

# ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

## PA 12/09

### 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 ESECUTIVO

Contraente Generale:



## OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

### Viadotto San Filippo Neri

### Relazione di calcolo Pile - Carreggiata SX

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12\_09 - E 1 4 8 V I 2 0 5 V I 0 5 C C L 0 0 4 B - Scala:

F						
E						
D						
C						
B	Luglio 2011	Revisione a seguito di incontri con il Committente	T. FASOLO	F. NIGRELLI	M. LITI	P. PAGLINI
A	Aprile 2011	EMISSIONE	T. FASOLO	F. NIGRELLI	M. LITI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

**3TI ITALIA S.p.A.**  
DIRETTORE TECNICO  
Ing. Stefano Luca Possati  
Ordine degli Ingegneri  
Provincia di Roma n. 20809

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:





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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 1 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>3</b>
1.1	INTRODUZIONE	3
1.2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL VIADOTTO	3
1.3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
1.3.1	<i>Condizioni ambientali e classi di esposizione</i>	5
1.3.2	<i>Calcestruzzo</i>	6
1.3.3	<i>Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata</i>	7
1.4	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	8
<b>2</b>	<b>ANALISI GLOBALE DEL VIADOTTO</b>	<b>9</b>
2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	9
2.1.1	<i>Calcolo della rigidezza effettiva delle pile</i>	10
2.2	ANALISI DEI CARICHI	10
2.2.1	<i>Peso Proprio (g1)</i>	10
2.2.2	<i>Permanenti portati su impalcato (g2)</i>	11
2.2.3	<i>Effetti del ritiro (<math>\varepsilon_2</math>)</i>	11
2.2.4	<i>Effetti della temperatura (<math>\varepsilon_3</math>)</i>	11
2.2.5	<i>Carichi mobili (q1)</i>	12
2.2.6	<i>Incremento dinamico dei carichi mobili (q2)</i>	13
2.2.7	<i>Azione di frenatura/accelerazione (q3)</i>	13
2.2.8	<i>Forza centrifuga (Q4)</i>	13
2.2.9	<i>Azione di neve, vento (q5)</i>	13
2.2.10	<i>Azione sismica (q6)</i>	14
2.2.11	<i>Resistenza parassita dei vincoli (q7)</i>	16
2.3	RIPOSTA SISMICA DEL VIADOTTO	17
<b>3</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>19</b>
3.1	SOLLECITAZIONI NELLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	19
3.1.1	<i>Sollecitazioni nella sezione di base delle pile</i>	19
3.1.2	<i>Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino</i>	20
3.1.3	<i>Sollecitazioni della sottostruttura rispetto al baricentro della palificata</i>	20
3.2	COMBINAZIONI DI CARICO	21
3.3	SOLLECITAZIONI NELLE COMBINAZIONI DI CARICO	22
3.3.1	<i>Sollecitazioni nella sezione di base delle pile</i>	22
3.3.2	<i>Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino</i>	23
3.3.3	<i>Sollecitazioni sulla palificata</i>	24
<b>4</b>	<b>VERIFICA DEL FUSTO DELLE PILE</b>	<b>35</b>
4.1	S.L.U. – RESISTENZA: PRESSO-FLESSIONE	35
4.2	S.L.U. – RESISTENZA: TAGLIO	38
4.3	S.L.E. – FESSURAZIONE	40
4.4	S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI	41
<b>5</b>	<b>EFFETTI DEL SECONDO ORDINE</b>	<b>43</b>
5.1	METODO BASATO SULLA CURVATURA NOMINALE	43
5.1.1	<i>Valutazione della snellezza</i>	43
5.1.2	<i>Viscosità</i>	44
5.1.3	<i>Momenti flettenti</i>	44
5.1.4	<i>Curvatura</i>	45
5.1.5	<i>Flessione deviata</i>	45
5.2	VERIFICA ALL'INSTABILITÀ	47
5.2.1	<i>Momenti di calcolo al secondo ordine</i>	47
5.2.2	<i>Verifica di resistenza per l'instabilità</i>	52

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 2 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

<b>6</b>	<b>VERIFICA DEL PULVINO .....</b>	<b>56</b>
6.1	VERIFICA BAGGIOLI .....	57
<b>7</b>	<b>VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>60</b>
7.1	VERIFICHE STRUTTURALI .....	60
7.1.1	S.L.U. – Resistenza: presso-flessione .....	61
7.1.2	S.L.U. – Resistenza: taglio.....	62
7.1.3	S.L.E. – Fessurazione.....	63
7.1.4	S.L.E. – Limitazione delle tensioni.....	65
7.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI.....	66
7.2.1	S.L.U. – Verifica a carico limite verticale .....	66
7.2.2	S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale .....	69
<b>8</b>	<b>DISPOSITIVI ANTISISMICI .....</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>ANALSI DEL PLINTO DI FONDAZIONE .....</b>	<b>72</b>
9.1	ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	74
9.2	VERIFICHE DI RESISTENZA PER TENSIONI NORMALI.....	75
9.3	VERIFICHE DI RESISTENZA PER TENSIONI TANGENZIALI .....	77
9.4	S.L.E. - VERIFICHE A FESSURAZIONE .....	78
9.5	S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI .....	83

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 3 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 1 GENERALITÀ

### 1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di sicurezza delle pile della carreggiata sinistra del viadotto San Filippo Neri, previsto nell'ambito del progetto esecutivo "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".

### 1.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL VIADOTTO

Il viadotto in esame è a carreggiate separate (carreggiata dx e carreggiata sx). Esso presenta un tracciato planimetrico in rettilineo. Ciascuna delle due carreggiate è composta da n. 3 campate, con campata centrale di luce pari a 71.0 m e campate di riva di luce pari rispettivamente a 52.5 m e 50.0 m rispettivamente per la carreggiata sx e dx.

campate carr. SX	L [m]
1	52.5
2	71.0
3	52.5

campate carr. DX	L [m]
1	50.0
2	71.0
3	50.0

L'impalcato di ciascuna carreggiata è realizzato in acciaio-clt con schema statico di trave continua su 4 appoggi.

La sezione trasversale dell'impalcato è formata da una coppia di travi a "doppio T" in composizione saldata, disposte ad interasse trasversale pari a 5.75 m ed aventi altezza costante di 2.8 m; lo sviluppo longitudinale è suddiviso in conci collegati mediante giunzioni saldate a completo ripristino.

I traversi sono ad anima piena con sezione trasversale a doppia "T".

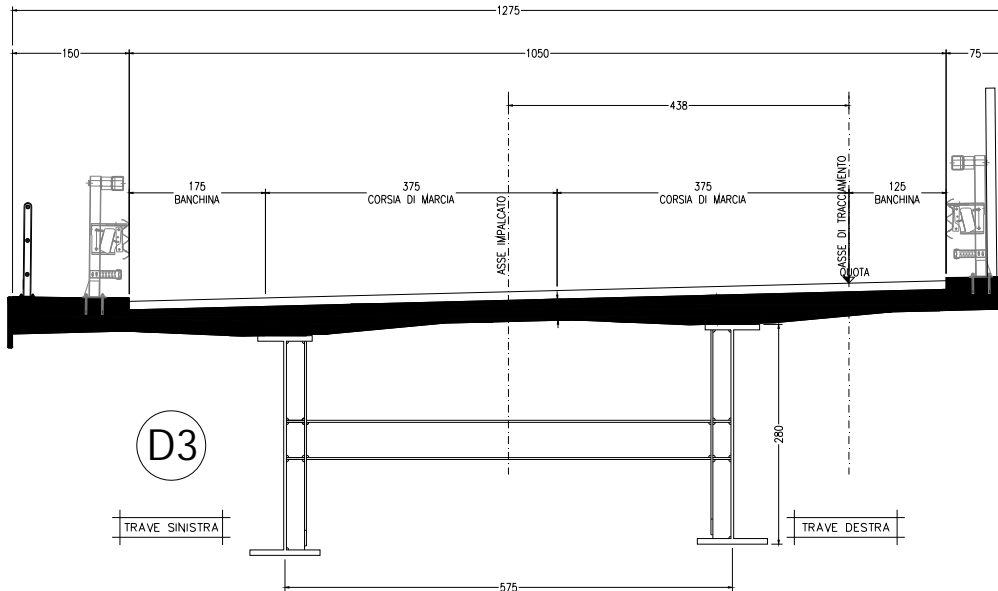
Le travi principali sono irrigidite mediante stiffeners trasversali e longitudinali per tutto lo sviluppo della travata. La stabilizzazione della struttura metallica durante le fasi antecedenti alla realizzazione e solidarizzazione della soletta in c.a. è assicurata da un sistema di controventi superiori a croce, realizzato mediante profili angolari standard che vengono rimossi dopo il varo dell'impalcato in acciaio effettuato a spinta a partire da una spalla del viadotto.

La soletta in calcestruzzo presenta larghezza complessiva di 12.75 m, e spessore variabile, pari a 375 mm in asse travi e 210 mm alle estremità. Il getto delle solette sarà effettuato mediante casseri autoportanti. La connessione soletta - travi è realizzata mediante pioli elettrosaldati tipo Nelson Ø22 mm.

Il piano viabile è di 10.50 m di larghezza, con due marciapiedi laterali, di larghezza pari a 1.50 m.e 0.75 m.

La figura seguente riporta la sezione trasversale dell'impalcato in sezione corrente.

SEZIONE TRASVERSALE CORRENTE  
 CARREGGIATA SX  
 SCALA 1:50



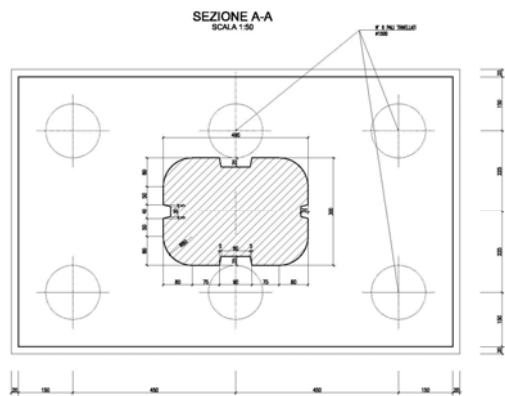
Le pile sono realizzate in c.a.. Esse presentano una sagoma cruciforme e sono costituite da un fusto a sezione piena costante, iscritta in un rettangolo di dimensioni 4.00 m × 3.00 m, e da un pulvino a sezione variabile che si allarga seguendo una curva circolare fino a raggiungere una larghezza tale da poter accogliere le due travi dell'impalcato.

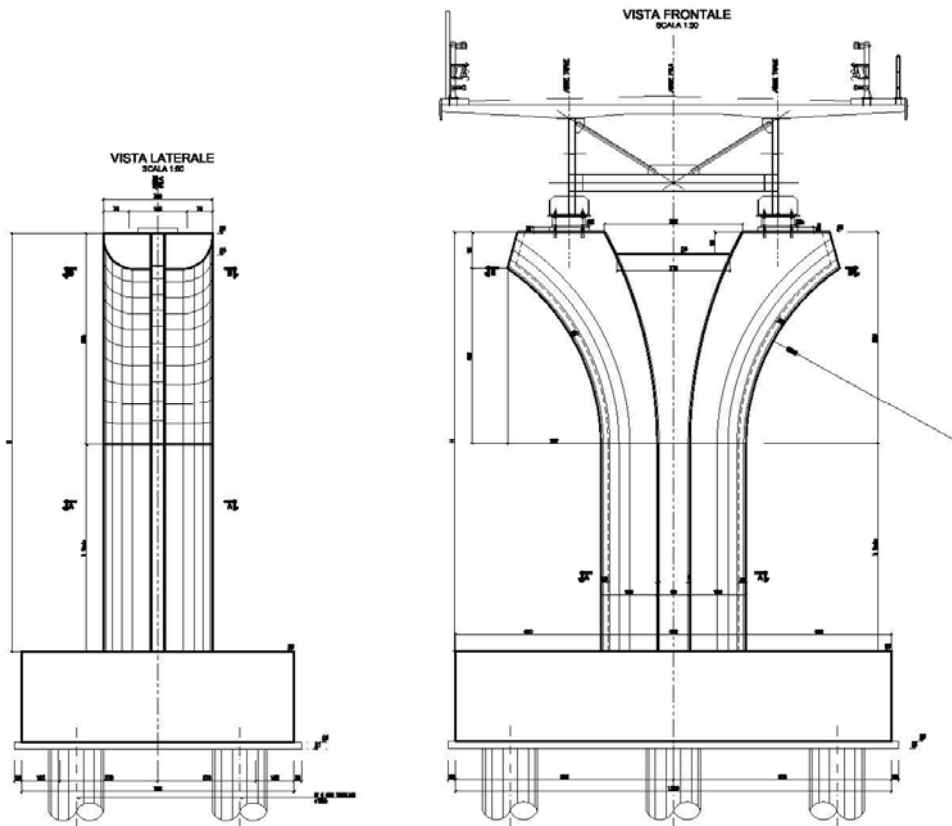
carreggiata SX	
pila	H [m]
P01	22.66
P02	21.46

carreggiata DX	
pila	H [m]
P01	14.26
P02	15.46

Tutte le pile di entrambe le carreggiate del viadotto sono fondate su pali trivellati di grande diametro. In particolare la palificata di ciascuna pila è costituita da 6 pali Ø1500 mm posti ad interasse di 4.50 m. I pali sono collegati in testa da un pinto di fondazione di altezza 2.50 m a pianta rettangolare.

Nelle seguenti figure si illustra la geometria delle pile attraverso una pianta spiccato, un prospetto laterale ed una sezione trasversale.





L'impalcato è vincolato alle pile ed alle spalle mediante isolatori sismici ad elastomero armato; questi funzionano come appoggi elastici lineari sia in fase sismica che per le azioni statiche agenti, compreso effetti lenti quali variazioni termiche, fluage, ritiro.

Per le caratteristiche di tali dispositivi si rimanda al paragrafo relativo alla descrizione del modello di calcolo impiegato per l'analisi statiche e sismiche delle sollecitazioni nelle sottostrutture.

## 1.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 1.3.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per l'umidità ambientale si assume  $RH = 70 \%$ . Per quanto riguarda le classi di esposizione, si prevede l'alternarsi di cicli di gelo/disgelo, in presenza di agenti disgelanti, per cui, si applicheranno le seguenti classi di esposizione:

- pali: XC2;
- zattere di pile: XA1;
- elevazione pile e pulvini: XF2;
- baggioli: XF4;
- soletta impalcato, cordoli e marciapiedi: XD2.

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno pertanto rispettare, oltre i requisiti di resistenza indicati ai punti seguenti, anche i criteri previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 6 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 1.3.2 Calcestruzzo

#### PALI C25/30

$R_{ck}$	=	<b>30</b> MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	24,90 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	20,75 MPa	resistenza caratteristica cilindrica a j giorni
$f_{cm}$	=	32,90 MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	2,56 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	=	3,33 MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	=	3,07 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	=	31447 MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	=	<b>1,50</b>	coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	<b>0,85</b>	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	14,11 MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	=	2,22 MPa	resistenza di calcolo a trazione

Classe di consistenza S3-S4.

Rapporto A/C = 0,6

#### ZATTERE PILE, ELEVAZIONE PILE E PULVINI C28/35

$R_{ck}$	=	<b>35</b> MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	29.05 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	24.11 MPa	resistenza caratteristica cilindrica a j giorni
$f_{cm}$	=	37.05 MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	2.83 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	=	3.69 MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	=	3.40 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	=	32588 MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	=	<b>1.50</b>	coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	<b>0.85</b>	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	16.46 MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	=	2.46 MPa	resistenza di calcolo a trazione

Classe di consistenza S3-S4.

Rapporto A/C = 0,6



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 7 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

#### BAGGIOLI C35/45

$R_{ck}$	=	<b>45</b> MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	37.35 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	31.00 MPa	resistenza caratteristica cilindrica a j giorni
$f_{cm}$	=	45.35 MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	3.35 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	=	4.36 MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	=	4.02 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	=	34625 MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	=	<b>1.50</b>	coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	<b>0.85</b>	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	21.17 MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	=	2.91 MPa	resistenza di calcolo a trazione

Classe di consistenza S4.

Rapporto A/C = 0,6

#### SOLETTA IMPALCATO, CORDOLI E MARCIAPIEDI C32/40

$R_{ck}$	=	<b>40</b> MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	33.20 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	27.56 MPa	resistenza caratteristica cilindrica a j giorni
$f_{cm}$	=	41.20 MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	3.10 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	=	4.03 MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	=	3.72 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	=	33643 MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	=	<b>1.50</b>	coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	<b>0.85</b>	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	18.81 MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	=	2.69 MPa	resistenza di calcolo a trazione

Classe di consistenza S4.

Rapporto A/C = 0,6

### 1.3.3 Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata

#### B450C

$f_{y,nom}$	=	<b>450</b> MPa	tensione nominale di snervamento
$f_{t,nom}$	=	<b>540</b> MPa	tensione nominale di rottura
$f_{yk}$	≥	$f_{y,nom}$	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk}$	≥	$f_{t,nom}$	tensione caratteristica di rottura
$E_s$	=	<b>200000</b> MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	=	<b>1.15</b>	coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd}$	=	391.3 MPa	tensione di snervamento di calcolo

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 8 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla vigente normativa italiana e da quella europea (Eurocodici). In particolare, al fine di conseguire un approccio il più unitario possibile relativamente alle prescrizioni ed alle metodologie/criteri di verifica, si è fatto diretto riferimento alle varie parti degli Eurocodici, unitamente ai relativi National Application Documents, verificando puntualmente l'armonizzazione del livello di sicurezza conseguito con quello richiesto dalla vigente normativa nazionale.

In dettaglio si sono prese in esame quindi i seguenti documenti, che volta in volta verranno opportunamente richiamati:

- D.M. 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC")
- Circolare n.617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale
- UNI EN 1991-1-4: Azioni sulle strutture – Azione del vento
- UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche
- UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti
- UNI EN 1992-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo
- UNI EN 1994-2: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti
- UNI EN 1998-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti
- UNI EN 1090 - 2: Execution of steel structures and aluminium structures - part 2: technical requirements for steel structures

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 9 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 2 ANALISI GLOBALE DEL VIADOTTO

### 2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Per la valutazione delle azioni trasmesse alle sottostrutture dall'impalcato ed, in particolare, per la valutazione della risposta sismica del viadotto, è stato messo a punto per ciascuna carreggiata un modello numerico agli elementi finiti dell'opera che, con buona approssimazione riproduce la distribuzione delle rigidità e delle masse della struttura reale. In questo capitolo, in particolare, si descrive il modello implementato per schematizzare la carreggiata sinistra del viadotto.

Tutte le membrature costituenti l'impalcato (travi longitudinali, trasversali) sono stati simulati attraverso elementi finiti del tipo beam a sei gradi di libertà per nodo. Con lo stesso tipo di elementi sono state modellate le pile del viadotto. Queste ultime sono state vincolate al piede – in corrispondenza dell'estradosso plinto – mediante vincoli di incastro. Allo scopo di simulare in maniera adeguata i cinematismi consentiti dagli apparecchi di appoggio di tipo elastomerico, tra l'impalcato e le pile sono stati introdotti degli elementi del tipo "Nlink". Nel caso specifico tali elementi sono caratterizzati da un comportamento elastico lineare:

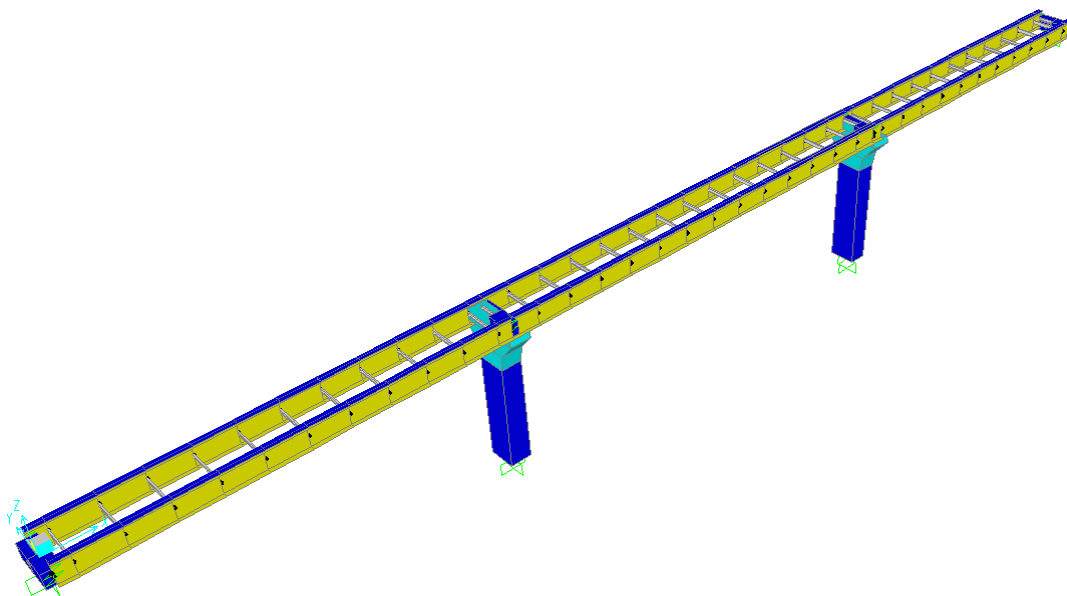
$$K_e = 3.03 \text{ kN/mm (rigidezza equivalente orizzontale);}$$

$$K_v = 2814 \text{ kN/mm (rigidezza verticale);}$$

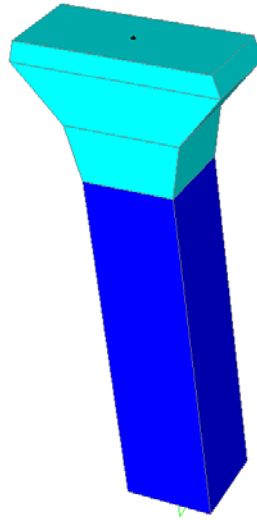
Anche sulle spalle sono previsti isolatori elastomerici aventi le medesime caratteristiche di quelli predisposti sulle pile, pertanto, trascurando la deformabilità delle spalle rispetto a quella dei dispositivi sismici, ossia ipotizzando che il moto sismico dell'impalcato risulti disaccoppiato rispetto a quello delle spalle, queste ultime sono state assimilate semplicemente a vincoli cedevoli elasticamente alla traslazione longitudinale, trasversale e verticale.

Come detto, le pile sono state schematizzate con elementi finiti del tipo beam a sei gradi di libertà per nodo. In particolare, gli elementi del fusto presentano sezione costante, sezione variabile quelli del pulvino.

I modelli numerici sono stati implementati mediante il codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000 della *Computers and Structures, Inc.* Nelle seguenti figure sono riportate delle viste di tali modelli.



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 10 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc



### 2.1.1 Calcolo della rigidezza effettiva delle pile

La rigidezza delle pile tiene in conto l'effettivo grado di fessurazione che queste raggiungono durante l'evento sismico. In luogo della rigidezza flessionale non-fessurata delle sezioni delle pile viene adottata una *rigidezza effettiva* valutata attraverso la seguente formula:

$$E_c \cdot J_{\text{eff}} = v \cdot M_{\text{Rd}} / \chi_y$$

dove:

$M_{\text{Rd}}$  = momento resistente di progetto (relativo allo sforzo normale prodotto dai soli carichi permanenti)

$\chi_y$  = curvatura di snervamento (calcolata sui diagrammi M- $\chi$ )

$v$  = fattore di correzione per la parte di pila non fessurata (~1.20).

## 2.2 ANALISI DEI CARICHI

### 2.2.1 Peso Proprio (g1)

Il peso proprio della carpenteria metallica dell'impalcato ( $g_{1,1}$ ) è stato inserito come carico uniformemente distribuito sulle due travi, sulla base di un'incidenza assunta pari a 2.5 kN/m<sup>2</sup>.

Il peso proprio della soletta è stato schematizzato come un carico uniformemente distribuito sulle due travi principali:

A	=	3.94	mq	area sezione trasversale soletta
$\gamma$	=	25	kN/m <sup>3</sup>	peso specifico calcestruzzo
n	=	2.00		numero travi
$g_{\text{soletta}}$	=	49.25	kN/m	peso soletta su ciascuna trave (cordoli esclusi)
$g_{\text{c,sx}}$	=	3.19	kN/m	peso cordolo sx
$g_{\text{c,dx}}$	=	6.38	kN/m	peso cordolo dx
$g_{1,2,\text{sx}}$	=	52.44	kN/m	peso soletta + cordolo su trave sx
$g_{1,2,\text{dx}}$	=	55.63	kN/m	peso soletta + cordolo su trave dx

Il peso delle pile è valutato automaticamente dal codice di calcolo sulla base dell'effettiva geometria delle pile, assumendo un peso specifico del calcestruzzo pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 11 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 2.2.2 Permanenti portati su impalcato (g2)

I sovraccarichi permanenti consistono nei seguenti contributi:

		carico unitario [kPa]	larghezza [m]	carico lineare [kN/m]	
g <sub>2.1.sx</sub>	=	<b>2.50</b>	5.63	14.06	pavimentazione lato trave sx
g <sub>2.1.dx</sub>	=	<b>2.50</b>	4.88	12.19	pavimentazione lato trave dx
g <sub>2.3.sx</sub>	=	-	-	<b>1.00</b>	guard-rail sx
g <sub>2.3.dx</sub>	=	-	-	<b>1.00</b>	guard-rail dx
g <sub>2.4.sx</sub>	=	-	-	<b>0.00</b>	barriera sx
g <sub>2.4.dx</sub>	=	-	-	<b>0.00</b>	barriera dx
g <sub>2.5.sx</sub>	=	-	-	<b>1.00</b>	veletta sx
g <sub>2.5.dx</sub>	=	-	-	<b>1.00</b>	veletta dx
g <sub>2</sub>	=			30.25	permanente portato totale
g <sub>2.sx</sub>	=			16.06	permanente portato su trave sx
g <sub>2.dx</sub>	=			14.19	permanente portato su trave dx

### 2.2.3 Effetti del ritiro (ε2)

Assumendo in questa fase una deformazione di ritiro pari allo 0.3‰, gli effetti del ritiro vengono schematizzati mediante delle forze e delle coppie concentrate alle estremità dell'impalcato, valutate come:

ε <sub>sh</sub>	=	<b>0.00030</b>	deformazione da ritiro
E* <sub>c</sub>	=	11214 MPa	modulo elastico ridotto calcestruzzo per fenomeni viscosi
σ <sub>sh</sub>	=	3.36 MPa	trazione nel calcestruzzo
A <sub>c</sub>	=	3.97 m <sup>2</sup>	area conglomerato
N <sub>sh</sub>	=	13356 kN	trazione nella soletta
e	=	<b>0.91</b> m	eccentricità rispetto a baricentro sezione composta
M <sub>sh</sub>	=	12150 kNm	momento flettente
n	=	2	numero travi
N <sub>rt</sub>	=	6678 kN	compressione su ciascuna trave
M <sub>rt</sub>	=	6075 kNm	momento flettente su ciascuna trave

### 2.2.4 Effetti della temperatura (ε3)

Ai fini della valutazione degli effetti delle variazioni termiche sulle sottostrutture è stata assunto un gradiente termico tra soletta e travi metalliche pari a ΔT = ±10 °C

La coazione prodotta dal gradiente termico si traduce, nel caso di gradiente termico positivo (soletta a temperatura maggiore di quella della trave metallica), in uno sforzo di compressione agente sulla sola soletta di calcestruzzo che si aggiunge ad una tenso-flessione agente, invece, sull'intera sezione composta acciaio-calcestruzzo. Quest'ultima è stata implementata nel modello di calcolo attraerso delle forze longitudinali e delle coppie concentrate alle estremità delle due travi.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 12 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$\Delta T_F$	=	<b>10 °C</b>	gradiente termico soletta-trave
$\alpha$	=	<b>0.000010</b> 1/°C	coefficiente di dilatazione termica cls
$\varepsilon_T$	=	0.0001	deformazione impedita
$E_c$	=	33643 MPa	modulo elastico calcestruzzo
$\sigma_T$	=	-3.36 MPa	compressione nel calcestruzzo
$A_c$	=	3.97 m <sup>2</sup>	area conglomerato
N	=	13356 kN	compressione/trazione nella soletta
e	=	<b>0.49</b> m	eccentricità rispetto a baricentro sezione composta
M	=	6569 kNm	momento flettente
n	=	2	numero travi
N	=	<b>6678</b> kN	trazione/compressione su ciascuna trave
M	=	<b>3285</b> kNm	momento flettente su ciascuna trave

## 2.2.5 Carichi mobili (q1)

Si seguono le disposizioni contenute nel D.M. 2008, cap. 5.1.3.3.5, equivalenti a quelle contenute in EN 1991-2. Si fa riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di lunghezza utile pari a 10.5 m, è in grado di ospitare 3 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m. La parte rimanente ("remaining area") risulta pari a 1.50 m.

### Corsia di carico n.1 costituita da:

- Schema di carico n.1: n. 4 carichi concentrati da 150 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al viadotto e 2.00 m in direzione trasversale;
- Carico uniformemente ripartito di intensità 9.0 kPa su una larghezza di 3.00 m.

### Corsia di carico n. 2 costituita da:

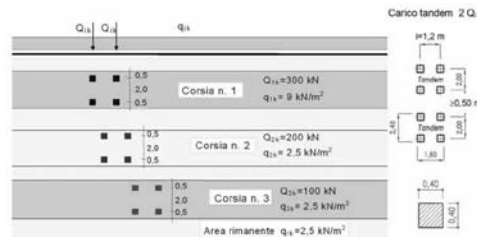
- Schema di carico n.1 ridotto: n. 4 carichi concentrati da 100 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al viadotto e 2.00 m in direzione trasversale;
- Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kPa su una larghezza di 3.00 m.

### Corsia di carico n. 3 costituita da:

- Schema di carico n.1 ridotto: n. 4 carichi concentrati da 50 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al viadotto e 2.00 m in direzione trasversale;
- Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kPa su una larghezza di 3.00 m.

### Corsia di carico n. 4 (Remaining area RA) costituita da:

- Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kPa su una larghezza residua di impalcato pari a (10.50-3.00×3) = 1.50 m.



Le stese dei carichi mobili prima definite sono state poste sull'impalcato nelle posizioni tali da produrre le sollecitazioni e le deformazioni più gravose, sia nelle membrature dell'impalcato sia nelle sottostrutture. La ricerca delle disposizioni sia longitudinali che trasversali dei carichi mobili più gravose è stata effettuata in maniera automatica dal codice di calcolo impiegato per l'analisi dell'impalcato. Infatti, il programma di calcolo SAP2000 esegue l'analisi delle sollecitazioni dovute ai carichi mobili partendo dalle linee d'influenza di ciascuna sezione e sommando soltanto i termini che contribuiscono a massimizzare il valore assoluto della sollecitazione stessa (rispettivamente per i valori massimi ed i valori minimi).

In tale maniera si ottempera a quanto previsto dalla Normativa che prevede che i carichi mobili siano disposti lungo l'asse della corsia nel modo più sfavorevole (disposizione a scacchiera).

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 13 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

In aggiunta allo schema di carico 1 deve essere considerato anche lo schema di carico 5, corrispondente alla presenza di folla compatta, ridotto del 50%: esso va modellato come un carico uniformemente ripartito di  $2.5 \text{ kN/m}^2$  agente sui due marciapiedi di larghezza pari a 1.50 m. Lo schema di carico 5 deve inoltre essere considerato al 100% come alternativa allo schema 1.

### 2.2.6 Incremento dinamico dei carichi mobili (q2)

I carichi mobili descritti includono gli effetti di amplificazione dinamica per pavimentazione di media rugosità.

### 2.2.7 Azione di frenatura/accelerazione (q3)

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_3 = 0.6 \times (2 \times Q_{1k}) + 0.1 \times q_{1k} \times w_1 \times L = 835 \leq 900 \text{ kN}$$

$w_1$	=	3.00 m	larghezza corsie convenzionali
$Q_{1k}$	=	<b>300 kN</b>	singolo asse Q1k
$q_{1k}$	=	<b>9 kPa</b>	carico uniformemente distribuito
$L$	=	176 m	lunghezza del viadotto
$Q_3$	=	835 kN	forza di frenatura (accelerazione) sull'intero viadotto
$q_{3l}$	=	<b>2.37 kN/m</b>	azione di frenatura per unità di lunghezza su singola trave

### 2.2.8 Forza centrifuga (Q4)

Essendo il raggio di curvatura molto elevato tale azione viene trascurata.

### 2.2.9 Azione di neve, vento (q5)

Il carico neve viene trascurato in questa analisi in quanto la sua azione è significativa solamente in fase di esecuzione dell'opera; per quanto riguarda invece il vento, a partire da informazioni quali l'ubicazione geografica del sito di realizzazione dell'opera, la rugosità e la topografia del terreno, la categoria di esposizione del sito e l'altezza dal suolo, la normativa (NTC cap.3.3) permette di valutare l'azione del vento in termini di azioni statiche equivalenti (la pressione statica del vento può essere rappresentata in termini di sollecitazioni globali applicate poi alle travi come carichi distribuiti verticali ed orizzontali).

zona	=	<b>4</b>	sicilia
$v_{b,0}$	=	<b>28 m/s</b>	
$a_0$	=	<b>500 m</b>	
$k_a$	=	<b>0.02 1/s</b>	
$a_s$	=	<b>499 m</b>	altitudine del sito
$v_b$	=	28 m/s	velocità di riferimento
$\rho$	=	<b>1.25 kg/m<sup>3</sup></b>	densità dell'aria
$q_b$	=	0.490 kN/m <sup>2</sup>	pressione cinetica di riferimento
	=	<b>D</b>	classe di rugosità del terreno
$C_t$	=	<b>1</b>	coefficiente di topografia
	=	<b>II</b>	categoria di esposizione del sito
$k_r$	=	<b>0.19</b>	
$Z_0$	=	<b>0.05 m</b>	
$Z_{min}$	=	<b>4.00 m</b>	

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 14 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

Z	=	<b>30.70</b> m	altezza sul suolo
C <sub>e</sub>	=	3.11	coefficiente di esposizione
C <sub>p</sub>	=	<b>1</b>	coefficiente di forma
C <sub>d</sub>	=	<b>1</b>	coefficiente dinamico
p	=	1.5 kN/m <sup>2</sup>	pressione del vento

#### Vento su impalcato

H <sub>vc</sub>	=	<b>3.00</b> m	altezza veicolo convenzionale
H <sub>imp</sub>	=	3.01 m	altezza impalcato
H <sub>vento</sub>	=	6.01 m	altezza superficie di spinta
F <sub>vento</sub>	=	9.16 kN/m	azione del vento su impalcato
Y <sub>G</sub>	=	2.36 m	distanza da intradosso baricentro impalcato
e	=	0.64 m	eccentricità dell'azione del vento
M <sub>vento</sub>	=	5.88 kNm/m	coppia torcente
d <sub>b</sub>	=	5.75 m	interasse travi
q <sub>5v</sub>	=	<b>1.02</b> kN/m	azione verticale su travi di bordo
q <sub>5h</sub>	=	<b>4.58</b> kN/m	azione orizzontale su ciascuna trave

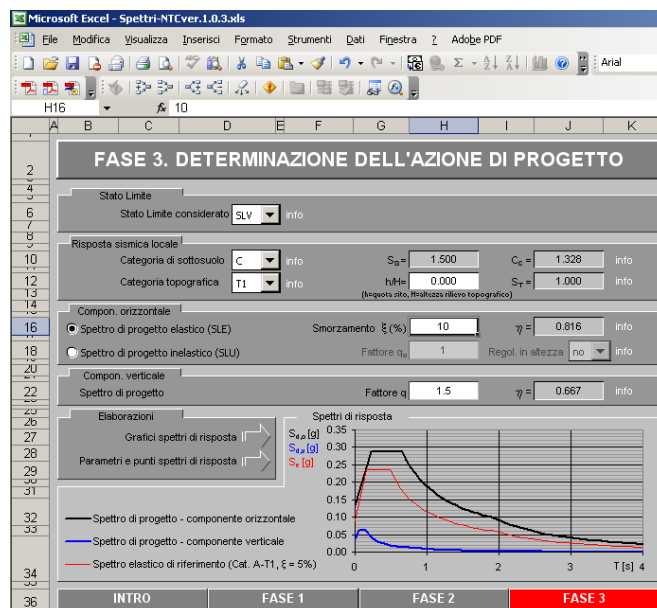
#### Vento su pile

B	=	<b>3</b> m	larghezza pila
q <sub>5,pile</sub>	=	<b>4.57</b> kN/m	azione del vento trasversale su pile

### 2.2.10 Azione sismica (q6)

La risposta sismica è stata determinata attraverso un'analisi dinamica elastico-lineare con spettro di risposta. A tal fine, sia per le due componenti orizzontali, sia per la componente verticale del sisma, si è fatto riferimento alla spettro di progetto elastico (coefficiente di struttura q=1) allo S.L.V. Per il dimensionamento dei dispositivi antisismici si è fatto invece riferimento allo S.L.C. Sebbene i dispositivi sismici di cui si prevede l'impiego garantiscano uno smorzamento superiore al 15%, nelle analisi eseguite, conformemente a quanto prescritto in normativa, è stato considerato uno smorzamento pari al 10 %.

Gli spettri considerati sono caratterizzati dai seguenti parametri:





Microsoft Excel - Spettri-NTCver.1.0.3.xls

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato \$L\_V\$

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_{sv}$	0.089 g
$F_{sv}$	2.650
$T_c$	0.491 s
$S_{sv}$	1.500
$C_c$	1.328
$S_T$	1.000
$q$	1.225

Parametri dipendenti	
$S$	1.500
$\eta$	0.816
$T_B$	0.217 s
$T_C$	0.652 s
$T_D$	1.955 s

Punti dello spettro di risposta	
T [s]	Se [g]
0.000	0.133
0.217	0.288
0.652	0.288
0.714	0.263
0.776	0.242
0.838	0.224
0.900	0.209
0.962	0.195
1.024	0.183
1.086	0.173
1.148	0.163
1.210	0.155
1.272	0.148
1.334	0.141
1.396	0.134
1.459	0.129
1.521	0.123
1.583	0.119
1.645	0.114
1.707	0.110
1.769	0.106
1.831	0.103
1.893	0.099
1.955	0.096
2.052	0.087
2.150	0.079
2.247	0.073
2.345	0.067
2.442	0.062
2.539	0.057
2.637	0.053
2.734	0.049
2.831	0.046
2.929	0.043
3.026	0.040
3.124	0.038
3.221	0.035
3.318	0.033
3.416	0.031
3.513	0.030
3.610	0.028
3.708	0.027
3.805	0.025
3.903	0.024
4.000	0.023

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_v \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{100(3 + \frac{1}{T})} \geq 0.55; \eta = 1/q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_c \cdot T_c$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4 \cdot 0.4 \cdot \eta / g + 1.6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

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

$0 \leq T < T_B$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$

$T_C \leq T < T_D$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo del

Microsoft Excel - Spettri-NTCver.1.0.3.xls

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato \$L\_V\$

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_{sv}$	0.036 g
$S_{sv}$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

Parametri dipendenti	
$F_v$	1.066
$S$	1.000
$\eta$	0.667

Punti dello spettro di risposta	
T [s]	Se [g]
0.000	0.036
0.050	0.063
0.150	0.063
0.235	0.040
0.320	0.030
0.405	0.023
0.490	0.019
0.575	0.016
0.660	0.014
0.745	0.013
0.830	0.011
0.915	0.010
1.000	0.009
1.094	0.008
1.188	0.007
1.281	0.006
1.375	0.005
1.469	0.004
1.563	0.004
1.656	0.003
1.750	0.003
1.844	0.003
1.938	0.003
2.031	0.002
2.125	0.002
2.219	0.002
2.313	0.002
2.406	0.002
2.500	0.002
2.594	0.001
2.688	0.001
2.781	0.001
2.875	0.001
2.969	0.001
3.063	0.001
3.156	0.001
3.250	0.001
3.344	0.001
3.438	0.001
3.531	0.001
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_v \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = 1/q$  (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$F_v = 1.35 \cdot F_v \left( \frac{a_{sv}}{g} \right)^{0.5}$  (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$0 \leq T < T_B$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$

$T_C \leq T < T_D$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T$   $S_v(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Microsoft Excel - Spettri-NTCver.1.0.3.xls

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

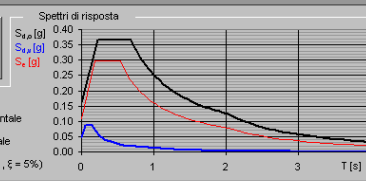
Stato Limite  
 Stato Limite considerato: **SLC** info

Risposta sismica locale  
 Categoria di sottosuolo: **C** info  $S_{sv} = 1.500$   $C_c = 1.292$  info  
 Categoria topografica: **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info  
(In questa sito, l'italianità sismica topografica)

Compon. orizzontale  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%): **10**  $\eta = 0.816$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLI) Fattore  $q$ : **1** Regol. in altezza: **no** info

Compon. verticale  
 Spettro di progetto Fattore  $q$ : **1.5**  $\eta = 0.667$  info

Elaborazioni  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta  


INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Microsoft Excel - Spettri-NTCver.1.0.3.xls

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLC

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLC
$a_{SL}$	0.108 g
$F_{a0}$	2.751
$T_{a0}$	0.534 s
$S_{a0}$	1.500
$C_c$	1.232
$S_T$	1.000
$q$	1.225

Punti dello spettro di risposta	
T [s]	Se [g]
0.000	0.162
0.230	0.365
0.630	0.365
0.754	0.334
0.818	0.308
0.882	0.285
0.945	0.266
1.009	0.249
1.073	0.234
1.137	0.221
1.201	0.209
1.265	0.199
1.329	0.189
1.393	0.180
1.457	0.173
1.521	0.165
1.585	0.159
1.649	0.152
1.713	0.147
1.777	0.142
1.841	0.137
1.905	0.132
1.969	0.128
2.033	0.124
2.126	0.113
2.220	0.104
2.314	0.095
2.408	0.088
2.501	0.082
2.595	0.076
2.689	0.071
2.782	0.066
2.876	0.062
2.970	0.058
3.063	0.054
3.157	0.051
3.251	0.048
3.344	0.046
3.438	0.043
3.532	0.041
3.625	0.039
3.719	0.037
3.813	0.035
3.906	0.033
4.000	0.032

Parametri dipendenti	
S	1.500
$\eta$	0.816
$T_a$	0.230 s
$T_c$	0.630 s
$T_b$	2.033 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_a \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_b = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_c = C_c \cdot T_c'$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_b = 4 \cdot 0 \cdot a_{SL} / g + 1.6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

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

$0 \leq T < T_b \quad S_e(T) = a_{SL} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \left[ \frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_e} \left( 1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$

$T_b \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_{SL} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e$

$T_c \leq T < T_b \quad S_e(T) = a_{SL} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$

$T_b \leq T \quad S_e(T) = a_{SL} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_e(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $q$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo del

Microsoft Excel - Spettri-NTCver.1.0.3.xls

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato IIRLC

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLC
$a_{IR}$	0.048 g
$S_{a0}$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_a$	0.050 s
$T_c$	0.150 s
$T_b$	1.000 s

Punti dello spettro di risposta	
T [s]	Se [g]
0.000	0.048
0.050	0.088
0.150	0.088
0.235	0.056
0.320	0.041
0.405	0.033
0.490	0.027
0.575	0.023
0.660	0.020
0.745	0.018
0.830	0.016
0.915	0.014
1.000	0.013
1.094	0.011
1.188	0.009
1.281	0.008
1.375	0.007
1.469	0.006
1.563	0.005
1.656	0.005
1.750	0.004
1.844	0.004
1.938	0.004
2.031	0.003
2.125	0.003
2.219	0.003
2.313	0.002
2.408	0.002
2.500	0.002
2.594	0.002
2.688	0.002
2.781	0.002
2.875	0.002
2.969	0.002
3.063	0.001
3.156	0.001
3.250	0.001
3.344	0.001
3.438	0.001
3.531	0.001
3.625	0.001
3.719	0.001
3.813	0.001
3.906	0.001
4.000	0.001

Parametri dipendenti	
$F_e$	1.222
S	1.000
$\eta$	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_a \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = 1/q$  (NTC-08 §. 3.2.3.5)

$F_e = 1.35 \cdot F_e \left( \frac{a_{SL}}{g} \right)^{0.5}$  (NTC-08 Eq. 3.2.11)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$0 \leq T < T_b \quad S_e(T) = a_{IR} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \cdot \left[ \frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_e} \left( 1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$

$T_b \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_{IR} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e$

$T_c \leq T < T_b \quad S_e(T) = a_{IR} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$

$T_b \leq T \quad S_e(T) = a_{IR} \cdot S \cdot \eta \cdot F_e \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

La massa delle pile è computata automaticamente dal programma di calcolo, una volta definite le caratteristiche geometriche delle sezioni e la densità del materiale (quest'ultima assunta pari a 2500 kg/m<sup>3</sup>). La massa dell'impalcato (comprensiva del peso proprio della carpenteria metallica, del peso della soletta e dei permanenti portati) è stata attribuita alle due travi principali come una massa per unità di lunghezza di valore 8.77 kN/m.

Sono stati considerati 200 modi di vibrare. Tale numero è risultato sufficiente ad eccitare in ciascuna delle tre direzioni del sisma una massa superiore allo 85% della massa totale. Le tre componenti x, y e z dell'azione sismica (rispettivamente longitudinale, trasversale e verticale) sono state combinate come di seguito:

- sisma 1)  $E_x + 0.3 \times E_y + 0.3 \times E_z;$
- sisma 2)  $0.3 \times E_x + E_y + 0.3 \times E_z;$
- sisma 3)  $0.3 \times E_x + 0.3 \times E_y + E_z;$

### 2.2.11 Resistenza parassita dei vincoli (q7)

Associati ai carichi verticali si considerano delle azioni orizzontali che a favore di sicurezza vengono valutati pari all'1% dei carichi verticali (tali azioni non sarebbero presenti in questa opera poichè non esiste un punto fisso rispetto al quale l'impalcato tende ad incipiente movimento) tenendo conto che sono dovute alle rotazioni degli isolatori che generano tali azioni orizzontali.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 17 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 2.3 RIPOSTA SISMICA DEL VIADOTTO

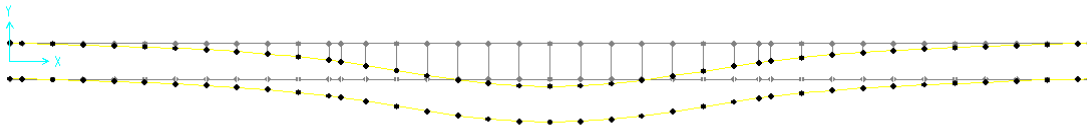
In seguito, si riportano i periodi di vibrazione per i primi 50 modi del viadotto in esame insieme alle prime tre deformate modali.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
modale	Mode	1	3.43656	0.29099	1.8283	3.3428
modale	Mode	2	2.604404	0.38396	2.4125	5.8203
modale	Mode	3	2.454612	0.4074	2.5597	6.5523
modale	Mode	4	2.377121	0.42068	2.6432	6.9865
modale	Mode	5	1.446979	0.69109	4.3423	18.855
modale	Mode	6	1.352582	0.73933	4.6453	21.579
modale	Mode	7	1.063915	0.93992	5.9057	34.878
modale	Mode	8	0.921323	1.0854	6.8197	46.509
modale	Mode	9	0.853086	1.1722	7.3652	54.247
modale	Mode	10	0.760358	1.3152	8.2635	68.285
modale	Mode	11	0.639733	1.5632	9.8216	96.463
modale	Mode	12	0.634435	1.5762	9.9036	98.081
modale	Mode	13	0.578233	1.7294	10.866	118.07
modale	Mode	14	0.562129	1.779	11.177	124.94
modale	Mode	15	0.545042	1.8347	11.528	132.89
modale	Mode	16	0.519346	1.9255	12.098	146.37
modale	Mode	17	0.491129	2.0361	12.793	163.67
modale	Mode	18	0.482985	2.0705	13.009	169.24
modale	Mode	19	0.456495	2.1906	13.764	189.45
modale	Mode	20	0.409848	2.4399	15.331	235.03
modale	Mode	21	0.38567	2.5929	16.292	265.42
modale	Mode	22	0.303352	3.2965	20.712	429.01
modale	Mode	23	0.261413	3.8254	24.035	577.7
modale	Mode	24	0.248046	4.0315	25.331	641.64
modale	Mode	25	0.24564	4.071	25.579	654.28
modale	Mode	26	0.203416	4.916	30.888	954.09
modale	Mode	27	0.169798	5.8893	37.004	1369.3
modale	Mode	28	0.169542	5.8983	37.06	1373.4
modale	Mode	29	0.164921	6.0635	38.098	1451.5
modale	Mode	30	0.162339	6.16	38.704	1498
modale	Mode	31	0.160363	6.2359	39.181	1535.2
modale	Mode	32	0.14446	6.9223	43.494	1891.8
modale	Mode	33	0.133289	7.5025	47.139	2222.1
modale	Mode	34	0.131888	7.5822	47.64	2269.6
modale	Mode	35	0.12467	8.0212	50.398	2540
modale	Mode	36	0.107818	9.2749	58.276	3396.1
modale	Mode	37	0.106258	9.411	59.131	3496.5
modale	Mode	38	0.106038	9.4306	59.254	3511
modale	Mode	39	0.0948	10.549	66.278	4392.8
modale	Mode	40	0.089739	11.143	70.016	4902.3
modale	Mode	41	0.087087	11.483	72.149	5205.4
modale	Mode	42	0.086875	11.511	72.325	5230.9

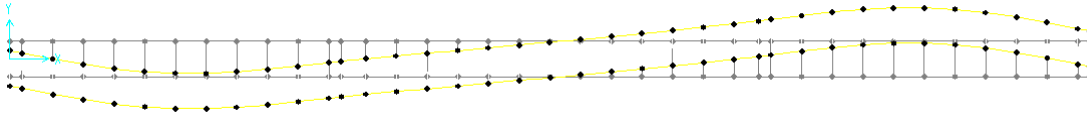
**TABLE: Modal Periods And Frequencies**

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
modale	Mode	43	0.085657	11.675	73.353	5380.7
modale	Mode	44	0.084578	11.823	74.288	5518.7
modale	Mode	45	0.084454	11.841	74.398	5535.1
modale	Mode	46	0.083333	12	75.398	5684.9
modale	Mode	47	0.074748	13.378	84.059	7065.9
modale	Mode	48	0.067631	14.786	92.904	8631.1
modale	Mode	49	0.067083	14.907	93.662	8772.6
modale	Mode	50	0.066408	15.059	94.615	8952.1

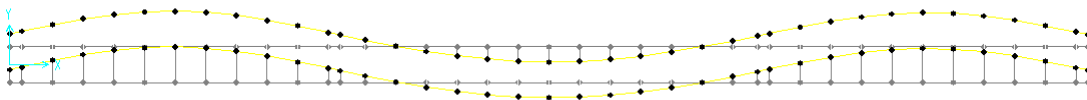
Prima forma modale



Seconda forma modale



Terza forma modale



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 19 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 3 SOLLECITAZIONI

#### 3.1 SOLLECITAZIONI NELLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

Si riportano al presente paragrafo le sollecitazioni nelle sezioni maggiormente significative della sottostruttura. Tali sollecitazioni sono state determinate attraverso la risoluzione del modello numerico globale illustrato nel paragrafo precedente. Le azioni verticali (Fz) si assumono positive se di compressione, mentre quelle orizzontali (Fx ed Fy) ed i momenti trasversali e longitudinali (Mx e My) si assumono in valore assoluto.

Nel seguito si indica con:

g1-impalcato	=	peso proprio dell'impalcato;
g1-pile	=	peso proprio della pila;
g1-plinto	=	peso proprio del plinto di fondazione;
g1-terreno	=	peso proprio del terreno di ricoprimento;
g2	=	permanenti portati su impalcato;
e2	=	ritiro;
e3	=	carico termico differenziale su impalcato ( $\pm 10$ °C);
q1.1	=	carichi mobili – configurazione 1 (massima azione verticale);
q1.2	=	carichi mobili – configurazione 2 (massimo momento trasversale);
q3	=	frenatura;
q4	=	azione centrifuga;
q5-impalcato	=	vento trasversale su impalcato;
q5-pile	=	vento trasversale su pile;
q6.1	=	sisma longitudinale + 0.3 sisma trasversale + 0.3 sisma verticale;
q6.2	=	0.3 sisma longitudinale + sisma trasversale + 0.3 sisma verticale;
q6.3	=	0.3 sisma longitudinale + 0.3 sisma trasversale + sisma verticale;
q7	=	resistenza parassita dei vincoli (1% dei carichi permanenti).

##### 3.1.1 Sollecitazioni nella sezione di base delle pile

Si riportano nel seguito le tabelle con le sollecitazioni nella sezione di spiccato per le condizioni di carico elementari.

###### AZIONI RISPETTO BASE PILA

H = 22.66 m altezza pila

	Fx	Fy	Fz	Mx	My
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
g1-impalcato	0	0	9951	0	0
g1-pile	0	0	7821	0	0
g2	0	0	2095	0	0
e2	12	0	267	0	270
e3	45	0	140	0	1046
q1.1	0	2	4807	3472	0
q1.2	0	7	3715	10260	0
q3	187	0	0	0	4340
q4	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	620	143	14316	0
q5-pile	0	103	0	1166	0
q6.1	1103	197	-111	3842	21171
q6.2	331	658	-111	12819	6345
q6.3	331	197	-372	3842	6345
q7	120	0	0	0	2730

PILA 01

###### AZIONI RISPETTO BASE PILA

H = 21.46 m altezza pila

	Fx	Fy	Fz	Mx	My
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
g1-impalcato	0	0	9951	0	0
g1-pile	0	0	7462	0	0
g2	0	0	2095	0	0
e2	12	0	267	0	261
e3	46	0	169	0	1010
q1.1	0	2	4807	3487	0
q1.2	0	6	3715	10301	0
q3	194	0	0	0	4251
q4	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	622	143	13636	0
q5-pile	0	98	0	1050	0
q6.1	1135	194	-108	3562	20617
q6.2	340	647	-108	11885	6179
q6.3	340	194	-361	3562	6179
q7	120	0	0	0	2585

PILA 02

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 20 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 3.1.2 Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino

In questo sottoparagrafo, sempre con riferimento alle condizioni di carico elementari, si riportano le tabelle con le sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino, valutate negli elementi Nlink.

#### PILA 01

##### AZIONI RISPETTO TESTA PULVINO

	D2			S2		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
g1-impalcato	0	0	4975	0	0	4975
g2	0	0	1048	0	0	1048
e2	6	0	134	6	0	134
e3	23	0	70	23	0	70
q1.1	0	3	3725	0	2	3190
q1.2	0	4	90	0	4	2579
q3	94	0	0	94	0	0
q4	0	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	310	79	0	310	63
q6.1	331	47	-65	331	47	-65
q6.2	99	156	-140	99	156	-140
q6.3	99	47	-176	99	47	-176
q7	60	0	0	60	0	0

#### PILA 02

##### AZIONI RISPETTO TESTA PULVINO

	D3			S3		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
g1-impalcato	0	0	4975	0	0	4975
g2	0	0	1048	0	0	1048
e2	6	0	134	6	0	134
e3	23	0	85	23	0	85
q1.1	0	2	3726	0	2	3191
q1.2	0	4	146	0	4	1130
q3	97	0	0	97	0	0
q4	0	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	311	76	0	311	66
q6.1	337	47	-64	337	47	-64
q6.2	101	158	-136	101	158	-136
q6.3	101	47	-175	101	47	-175
q7	60	0	0	60	0	0

### 3.1.3 Sollecitazioni della sottostruttura rispetto al baricentro della palificata

#### AZIONI SOTTOSTRUTTURA RISPETTO A BARICENTRO PALIFICATA

ex	0 m	eccentricità longitudinale baricentro pila rispetto a baricentro palificata
ey	0 m	eccentricità trasversale baricentro pila rispetto a baricentro palificata
ez	2.5 m	eccentricità verticale baricentro pila rispetto a baricentro palificata

#### peso plinto (g1) e peso terreno di ricoprimento (g2)

$\gamma_{cls}$	25.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico cls
$\gamma_{terreno}$	18.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
Bx	8.40 m	dimensione plinto lungo x
By	13.80 m	dimensione plinto lungo y
Bz	2.50 m	dimensione plinto lungo z
Dz	1.00 m	altezza terreno di ricoprimento

	Fx	Fy	Fz	Mx	My
g1-plinto	0	0	7245	0	0
g2-terreno	0	0	2087	0	0







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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 23 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

	S.L.U. e3								q6.x		S.L.V. q6.y		q6.z	
	178	67	178	67	178	67	178	67	1242	1196	447	401	447	401
Fx	178	67	178	67	178	67	178	67	1242	1196	447	401	447	401
Fy	650	650	-647	-647	654	654	-642	-642	194	194	647	647	194	194
Fz	31855	31448	31598	31192	30749	30342	30492	30086	19751	19582	19751	19582	19498	19329
Mx	16748	16748	-9687	-9687	23648	23648	-2787	-2787	3562	3562	11885	11885	3562	3562
My	3852	1427	3852	1427	3852	1427	3852	1427	22934	21924	8496	7485	8496	7485

	S.L.car				S.L.E.				S.L.freq				S.L.qp	
	112	57	112	57	112	57	112	57	112	57	112	57	107	61
Fx	112	57	112	57	112	57	112	57	112	57	112	57	107	61
Fy	433	433	-431	-431	428	428	-437	-437	145	145	-143	-143	0	0
Fz	23567	23364	23396	23193	17176	16973	17005	16802	23510	23307	23453	23250	16916	17062
Mx	11427	11427	-6197	-6197	1086	1086	-16538	-16538	5552	5552	-322	-322	-4789	-4789
My	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206

### 3.3.2 Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino

In queste tabelle si riportano le sollecitazioni relative alle diverse combinazioni di carico con riferimento alla sezione di testa del pulvino.

#### PILA 01

##### SOLLECITAZIONI SEZIONE DI TESTA PULVINO NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

D2	S.L.U.								S.L.U.									
	q1				q2				q3				q4					
Fx	78	45	77	45	78	45	77	45	45	218	186	218	185	q3	218	186	218	185
Fy	283	283	-275	-275	284	284	-274	-274	-274	282	282	-276	-276	-276	283	283	-275	-275
Fz	13441	13340	13299	13198	8535	8434	8392	8291	12184	12083	12042	11941	8504	8403	8362	8261	8261	8261
V	293	286	286	279	295	288	284	277	356	337	352	333	357	338	351	332	332	332

S2	S.L.U.								S.L.U.									
	q1				q2				q3				q4					
Fx	78	45	77	45	78	45	77	45	45	218	186	218	185	q3	218	186	218	185
Fy	282	282	-276	-276	284	284	-274	-274	-274	281	281	-277	-277	-277	283	283	-275	-275
Fz	12705	12605	12591	12490	11881	11780	11766	11665	11629	11528	11515	11414	11010	10909	10896	10795	10795	10795
V	293	286	286	279	295	288	284	277	356	337	352	333	357	338	351	332	332	332

D2	S.L.U.								S.L.U.									
	q4				q5				q6				q7					
Fx	78	45	77	45	78	45	77	45	45	78	45	77	45	78	45	77	45	
Fy	282	282	-276	-276	283	283	-275	-275	-275	468	468	-462	-462	-462	469	469	-461	-461
Fz	12184	12083	12042	11941	8504	8403	8362	8261	12232	12131	11994	11893	8552	8451	8314	8213	8213	8213
V	292	285	287	280	293	287	286	279	474	470	469	464	475	471	468	463	463	463

S2	S.L.U.								S.L.U.									
	q4				q5				q6				q7					
Fx	78	45	77	45	78	45	77	45	45	78	45	77	45	78	45	77	45	
Fy	281	281	-277	-277	283	283	-275	-275	-275	468	468	-463	-463	-463	469	469	-461	-461
Fz	11629	11528	11515	11414	11010	10909	10896	10795	11667	11566	11476	11376	11048	10947	10858	10757	10757	10757
V	292	285	287	280	293	287	286	279	474	470	469	465	475	471	468	463	463	463

D2	S.L.U. e3								q6.x		S.L.C. q6.y		q6.z	
	88	34	88	34	88	34	88	34	384	361	152	130	152	130
Fx	88	34	88	34	88	34	88	34	384	361	152	130	152	130
Fy	282	282	-276	-276	283	283	-275	-275	47	47	156	156	47	47
Fz	12218	12050	12075	11907	8538	8370	8395	8227	6127	6057	6052	5982	6015	5945
V	295	284	290	278	297	285	289	277	387	364	218	203	159	138

S2	S.L.U. e3								q6.x		S.L.C. q6.y		q6.z	
	88	34	88	34	88	34	88	34	384	361	152	130	152	130
Fx	88	34	88	34	88	34	88	34	384	361	152	130	152	130
Fy	281	281	-277	-277	283	283	-275	-275	47	47	156	156	47	47
Fz	11662	11494	11548	11380	11044	10876	10929	10761	6127	6057	6052	5982	6015	5945
V	295	284	290	279	297	285	289	277	387	364	218	203	159	138

#### PILA 02

##### SOLLECITAZIONI SEZIONE DI TESTA PULVINO NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

D3	S.L.U.								S.L.U.									
	q1				q2				q3				q4					
Fx	78	45	78	45	78	45	78	45	45	223	190	223	190	q3	223	190	223	190
Fy	283	283	-277	-277	285	285	-275	-275	-275	282	282	-278	-278	-278	284	284	-276	-276
Fz	13451	13329	13314	13192	8618	8496	8481	8359	12194	12072	12056	11934	8569	8447	8431	8309	8309	8309
V	294	287	288	281	296	289	286	279	360	340	356	336	361	342	355	335	335	335

S3	S.L.U.								S.L.U.									
	q1				q2				q3				q4					
Fx	78	45	78	45	78	45	78	45	45	223	190	223	190	q3	223	190	223	190
Fy	283	283	-277	-277	285	285	-275	-275	-275	282	282	-278	-278	-278	284	284	-276	-276
Fz	12720	12598	12601	12479	9938	9816	9818	9696	11643	11521	11524	11402	9556	9434	9437	9315	9315	9315
V	293	286	288	281	296	289	286	279	360	340	356	337	361	342	355	335	335	335

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 24 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

D3																	S.L.U.							
	q4								q5															
Fx	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45				
Fy	282	282	-278	-278	284	284	-276	-276	469	469	-464	-464	471	471	-463	-463	469	469	-464	-464				
Fz	12194	12072	12056	11934	8569	8447	8431	8309	12240	12118	12011	11889	8615	8493	8385	8264	12240	12118	12011	11889				
V	293	286	288	281	294	287	287	280	475	471	471	467	477	473	469	465	475	471	471	467				
S3																	S.L.U.							
	q4								q5															
Fx	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45	78	45				
Fy	282	282	-278	-278	284	284	-276	-276	469	469	-465	-465	471	471	-463	-463	469	469	-465	-465				
Fz	11643	11521	11524	11402	9556	9434	9437	9315	11683	11561	11484	11362	9596	9474	9397	9275	11683	11561	11484	11362				
V	293	286	289	282	294	287	287	280	475	471	471	467	477	473	469	465	475	471	471	467				
D3																	S.L.U.				S.L.C.			
	e3								q6.x				q6.y				q6.z							
Fx	89	34	89	34	89	34	89	34	391	368	155	132	155	132	391	368	155	132						
Fy	282	282	-278	-278	284	284	-276	-276	47	47	158	158	47	47	47	47	158	158						
Fz	12234	12031	12097	11894	8609	8406	8472	8269	6135	6051	6063	5979	6024	5939	6135	6051	6063	5979						
V	296	284	292	280	297	286	290	278	394	371	221	206	162	140	394	371	221	206						
S3																	S.L.U.				S.L.C.			
	e3								q6.x				q6.y				q6.z							
Fx	89	34	89	34	89	34	89	34	391	368	155	132	155	132	391	368	155	132						
Fy	282	282	-278	-278	284	284	-276	-276	47	47	158	158	47	47	47	47	158	158						
Fz	11684	11481	11565	11361	9597	9394	9478	9274	6135	6051	6063	5979	6024	5939	6135	6051	6063	5979						
V	296	284	292	280	297	286	290	278	394	371	221	206	162	140	394	371	221	206						

### 3.3.3 Sollecitazioni sulla palificata

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni sulla palificata, riferite al baricentro della stessa, nelle combinazioni di carico analizzate.

PILA 01 – SOLLECITAZIONI NEL BARICENTRO PALIFICATA					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My
SLU1	155	654	43641	20256	3147
SLU2	90	654	43439	20256	1802
SLU3	155	-648	43384	-10868	3147
SLU4	90	-648	43182	-10868	1802
SLU5	155	661	42166	29436	3147
SLU6	90	661	41964	29436	1802
SLU7	155	-642	41909	-1687	3147
SLU8	90	-642	41708	-1687	1802
SLU9	436	653	42018	19083	8954
SLU10	371	653	41817	19083	7610
SLU11	436	-649	41762	-12041	8954
SLU12	371	-649	41560	-12041	7610
SLU13	436	658	40912	25968	8954
SLU14	371	658	40711	25968	7610
SLU15	436	-644	40656	-5156	8954
SLU16	371	-644	40454	-5156	7610
SLU17	155	653	42018	19083	3147
SLU18	90	653	41817	19083	1802
SLU19	155	-649	41762	-12041	3147
SLU20	90	-649	41560	-12041	1802
SLU21	155	658	40912	25968	3147
SLU22	90	658	40711	25968	1802
SLU23	155	-644	40656	-5156	3147
SLU24	90	-644	40454	-5156	1802
SLU25	155	1087	42104	29457	3147
SLU26	90	1087	41902	29457	1802
SLU27	155	-1083	41676	-22416	3147
SLU28	90	-1083	41474	-22416	1802

<b>PILA 01 – SOLLECITAZIONI NEL BARICENTRO PALIFICATA</b>					
	<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
<b>SLU29</b>	155	1092	40998	36342	3147
<b>SLU30</b>	90	1092	40796	36342	1802
<b>SLU31</b>	155	-1078	40570	-15531	3147
<b>SLU32</b>	90	-1078	40368	-15531	1802
<b>SLU33</b>	177	653	42086	19083	3595
<b>SLU34</b>	68	653	41749	19083	1354
<b>SLU35</b>	177	-649	41829	-12041	3595
<b>SLU36</b>	68	-649	41493	-12041	1354
<b>SLU37</b>	177	658	40980	25968	3595
<b>SLU38</b>	68	658	40643	25968	1354
<b>SLU39</b>	177	-644	40723	-5156	3595
<b>SLU40</b>	68	-644	40387	-5156	1354
<b>SLV1</b>	1210	197	27338	4335	20577
<b>SLV2</b>	1165	197	27198	4335	19643
<b>SLV3</b>	437	658	27338	12540	8509
<b>SLV4</b>	392	658	27198	12540	7576
<b>SLV5</b>	437	197	27077	4335	7683
<b>SLV6</b>	392	197	26937	4335	6749
<b>SLc1</b>	111	436	31154	12982	2258
<b>SLc2</b>	57	436	30986	12982	1138
<b>SLc3</b>	111	-432	30983	-7767	2258
<b>SLc4</b>	57	-432	30815	-7767	1138
<b>SLc5</b>	111	429	24763	2667	2258
<b>SLc6</b>	57	429	24595	2667	1138
<b>SLc7</b>	111	-439	24592	-18083	2258
<b>SLc8</b>	57	-439	24424	-18083	1138
<b>SLf1</b>	111	146	31097	6066	2258
<b>SLf2</b>	57	146	30929	6066	1138
<b>SLf3</b>	111	-143	31040	-850	2258
<b>SLf4</b>	57	-143	30872	-850	1138
<b>SLf5</b>	111	139	24706	-4250	2258
<b>SLf6</b>	57	139	24538	-4250	1138
<b>SLf7</b>	111	-150	24649	-11166	2258
<b>SLf8</b>	57	-150	24481	-11166	1138
<b>SLqp1</b>	107	0	27449	0	2165
<b>SLqp2</b>	61	0	27309	0	1231

<b>PILA 02 – SOLLECITAZIONI NEL BARICENTRO PALIFICATA</b>					
	<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
<b>SLU1</b>	156	651	43177	19551	2977
<b>SLU2</b>	90	651	42933	19551	1688
<b>SLU3</b>	156	-646	42920	-10125	2977
<b>SLU4</b>	90	-646	42676	-10125	1688
<b>SLU5</b>	156	656	41702	28765	2977
<b>SLU6</b>	90	656	41458	28765	1688
<b>SLU7</b>	156	-640	41445	-911	2977
<b>SLU8</b>	90	-640	41201	-911	1688
<b>SLU9</b>	446	650	41554	18373	8628
<b>SLU10</b>	380	650	41310	18373	7338
<b>SLU11</b>	446	-647	41297	-11304	8628
<b>SLU12</b>	380	-647	41054	-11304	7338
<b>SLU13</b>	446	654	40448	25283	8628
<b>SLU14</b>	380	654	40204	25283	7338
<b>SLU15</b>	446	-642	40191	-4393	8628
<b>SLU16</b>	380	-642	39948	-4393	7338
<b>SLU17</b>	156	650	41554	18373	2977
<b>SLU18</b>	90	650	41310	18373	1688
<b>SLU19</b>	156	-647	41297	-11304	2977
<b>SLU20</b>	90	-647	41054	-11304	1688
<b>SLU21</b>	156	654	40448	25283	2977
<b>SLU22</b>	90	654	40204	25283	1688
<b>SLU23</b>	156	-642	40191	-4393	2977
<b>SLU24</b>	90	-642	39948	-4393	1688
<b>SLU25</b>	156	1082	41640	28265	2977
<b>SLU26</b>	90	1082	41396	28265	1688
<b>SLU27</b>	156	-1079	41212	-21196	2977
<b>SLU28</b>	90	-1079	40968	-21196	1688
<b>SLU29</b>	156	1086	40534	35176	2977
<b>SLU30</b>	90	1086	40290	35176	1688
<b>SLU31</b>	156	-1074	40106	-14285	2977
<b>SLU32</b>	90	-1074	39862	-14285	1688
<b>SLU33</b>	178	650	41636	18373	3407
<b>SLU34</b>	67	650	41229	18373	1258
<b>SLU35</b>	178	-647	41379	-11304	3407
<b>SLU36</b>	67	-647	40972	-11304	1258
<b>SLU37</b>	178	654	40529	25283	3407
<b>SLU38</b>	67	654	40123	25283	1258
<b>SLU39</b>	178	-642	40273	-4393	3407
<b>SLU40</b>	67	-642	39866	-4393	1258
<b>SLV1</b>	1242	194	26996	4047	19828
<b>SLV2</b>	1196	194	26827	4047	18933
<b>SLV3</b>	447	647	26996	11615	8228
<b>SLV4</b>	401	647	26827	11615	7332
<b>SLV5</b>	447	194	26743	4047	7377
<b>SLV6</b>	401	194	26574	4047	6482
<b>SLc1</b>	112	433	30812	12510	2139

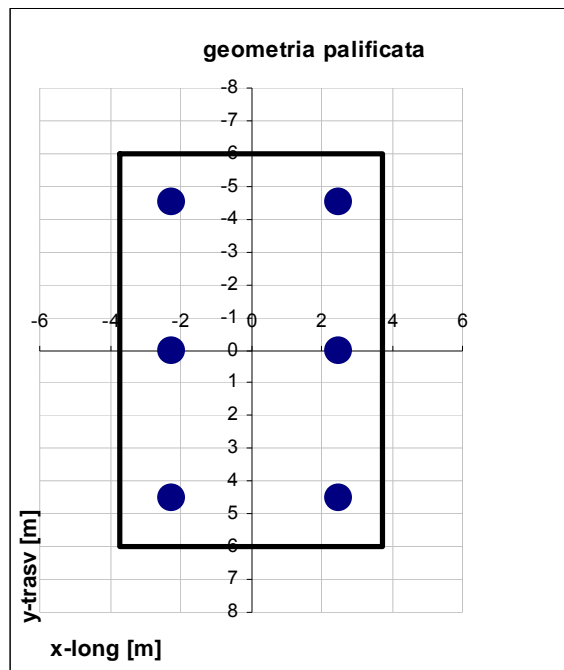
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 27 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

<b>PILA 02 – SOLLECITAZIONI NEL BARICENTRO PALIFICATA</b>					
	<b>Fx</b>	<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
<b>SLc2</b>	57	433	30609	12510	1064
<b>SLc3</b>	112	-431	30641	-7274	2139
<b>SLc4</b>	57	-431	30438	-7274	1064
<b>SLc5</b>	112	428	24421	2155	2139
<b>SLc6</b>	57	428	24218	2155	1064
<b>SLc7</b>	112	-437	24250	-17629	2139
<b>SLc8</b>	57	-437	24047	-17629	1064
<b>SLf1</b>	112	145	30755	5915	2139
<b>SLf2</b>	57	145	30552	5915	1064
<b>SLf3</b>	112	-143	30698	-679	2139
<b>SLf4</b>	57	-143	30495	-679	1064
<b>SLf5</b>	112	140	24364	-4440	2139
<b>SLf6</b>	57	140	24161	-4440	1064
<b>SLf7</b>	112	-149	24307	-11035	2139
<b>SLf8</b>	57	-149	24104	-11035	1064
<b>SLqp1</b>	107	0	27105	0	2049
<b>SLqp2</b>	61	0	26935	0	1154

La geometria delle palificate per la carreggiata SX è riportata di seguito:

#### **Geometria della palificata**

PALO	X	Y	trasv Jxi	long Jyi
1	<b>-2.25</b>	<b>4.50</b>	20.25	5.06
2	<b>-2.25</b>	<b>0.00</b>	0.00	5.06
3	<b>-2.25</b>	<b>-4.50</b>	20.25	5.06
4	<b>2.50</b>	<b>4.50</b>	20.25	6.25
5	<b>2.50</b>	<b>0.00</b>	0.00	6.25
6	<b>2.50</b>	<b>-4.50</b>	20.25	6.25



Si riportano ora gli sforzi normali e di taglio agenti sui pali della Pila P01 e P02.

<b>PILA 01 –SFORZI NORMALI SUI PALI [kN]</b>						
<b>PALO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
SLU1	8607	7482	6357	8167	7042	5916
SLU2	8485	7359	6234	8232	7107	5982
SLU3	6836	7439	8043	6395	6999	7603
SLU4	6713	7317	7920	6461	7064	7668
SLU5	8872	7236	5601	8431	6796	5161
SLU6	8749	7114	5478	8497	6861	5226
SLU7	7100	7194	7287	6659	6753	6847
SLU8	6977	7071	7165	6725	6818	6912
SLU9	8657	7597	6537	7404	6343	5283
SLU10	8534	7474	6414	7469	6409	5349
SLU11	6885	7554	8223	5632	6301	6970
SLU12	6762	7431	8100	5697	6366	7035
SLU13	8855	7412	5970	7602	6159	4716
SLU14	8732	7290	5847	7667	6225	4782
SLU15	7083	7370	7656	5830	6116	6403
SLU16	6960	7247	7533	5895	6182	6468
SLU17	8272	7212	6152	7831	6771	5711
SLU18	8149	7089	6029	7897	6837	5777
SLU19	6500	7169	7838	6060	6728	7397
SLU20	6377	7046	7715	6125	6794	7463
SLU21	8470	7027	5585	8030	6587	5144
SLU22	8347	6905	5462	8095	6652	5210
SLU23	6698	6985	7271	6258	6544	6831
SLU24	6575	6862	7148	6323	6610	6896

<b>PILA 01 –SFORZI NORMALI SUI PALI [kN]</b>						
<b>PALO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>SLU25</b>	8862	7226	5589	8422	6786	5149
<b>SLU26</b>	8740	7103	5467	8487	6851	5214
<b>SLU27</b>	5909	7155	8400	5469	6714	7960
<b>SLU28</b>	5787	7032	8277	5534	6780	8025
<b>SLU29</b>	9061	7042	5023	8620	6601	4582
<b>SLU30</b>	8938	6919	4900	8686	6667	4648
<b>SLU31</b>	6107	6970	7833	5667	6530	7393
<b>SLU32</b>	5985	6848	7710	5732	6595	7458
<b>SLU33</b>	8313	7253	6192	7810	6749	5689
<b>SLU34</b>	8108	7048	5988	7919	6858	5798
<b>SLU35</b>	6541	7210	7879	6038	6707	7376
<b>SLU36</b>	6336	7005	7674	6147	6816	7485
<b>SLU37</b>	8511	7068	5626	8008	6565	5122
<b>SLU38</b>	8306	6864	5421	8117	6674	5231
<b>SLU39</b>	6739	7025	7312	6236	6522	6809
<b>SLU40</b>	6534	6821	7107	6345	6631	6918
<b>SLV1</b>	6161	5921	5680	3281	3041	2800
<b>SLV2</b>	6076	5835	5594	3327	3086	2845
<b>SLV3</b>	5817	5120	4424	4626	3929	3233
<b>SLV4</b>	5732	5035	4339	4672	3975	3278
<b>SLV5</b>	5263	5022	4781	4188	3947	3706
<b>SLV6</b>	5178	4937	4696	4233	3992	3752
<b>SLc1</b>	6063	5342	4621	5747	5026	4305
<b>SLc2</b>	5961	5240	4519	5802	5081	4359
<b>SLc3</b>	4882	5314	5745	4566	4998	5429
<b>SLc4</b>	4780	5211	5643	4621	5052	5483
<b>SLc5</b>	4425	4277	4129	4109	3961	3813
<b>SLc6</b>	4323	4175	4026	4163	4015	3867
<b>SLc7</b>	3244	4248	5253	2928	3932	4937
<b>SLc8</b>	3141	4146	5151	2982	3987	4991
<b>SLf1</b>	5670	5333	4996	5354	5017	4680
<b>SLf2</b>	5567	5230	4893	5408	5071	4734
<b>SLf3</b>	5276	5323	5370	4960	5007	5054
<b>SLf4</b>	5174	5221	5268	5014	5062	5109
<b>SLf5</b>	4031	4267	4503	3715	3951	4187
<b>SLf6</b>	3929	4165	4401	3770	4006	4242
<b>SLf7</b>	3637	4258	4878	3321	3942	4562
<b>SLf8</b>	3535	4156	4776	3376	3996	4617
<b>SLqp1</b>	4718	4718	4718	4415	4415	4415
<b>SLqp2</b>	4633	4633	4633	4461	4461	4461

<b>PILA 01 –SFORZI TAGLIO SUI PALI [kN]</b>			
	<b>taglio Vx</b>	<b>taglio Vy</b>	<b>V</b>
<b>SLU1</b>	26	109	112
<b>SLU2</b>	15	109	110
<b>SLU3</b>	26	-108	111
<b>SLU4</b>	15	-108	109
<b>SLU5</b>	26	110	113
<b>SLU6</b>	15	110	111
<b>SLU7</b>	26	-107	110
<b>SLU8</b>	15	-107	108
<b>SLU9</b>	73	109	131
<b>SLU10</b>	62	109	125
<b>SLU11</b>	73	-108	130
<b>SLU12</b>	62	-108	125
<b>SLU13</b>	73	110	132
<b>SLU14</b>	62	110	126
<b>SLU15</b>	73	-107	130
<b>SLU16</b>	62	-107	124
<b>SLU17</b>	26	109	112
<b>SLU18</b>	15	109	110
<b>SLU19</b>	26	-108	111
<b>SLU20</b>	15	-108	109
<b>SLU21</b>	26	110	113
<b>SLU22</b>	15	110	111
<b>SLU23</b>	26	-107	110
<b>SLU24</b>	15	-107	108
<b>SLU25</b>	26	181	183
<b>SLU26</b>	15	181	182
<b>SLU27</b>	26	-181	182
<b>SLU28</b>	15	-181	181
<b>SLU29</b>	26	182	184
<b>SLU30</b>	15	182	183
<b>SLU31</b>	26	-180	182
<b>SLU32</b>	15	-180	180
<b>SLU33</b>	29	109	113
<b>SLU34</b>	11	109	109
<b>SLU35</b>	29	-108	112
<b>SLU36</b>	11	-108	109
<b>SLU37</b>	29	110	114
<b>SLU38</b>	11	110	110
<b>SLU39</b>	29	-107	111
<b>SLU40</b>	11	-107	108
<b>SLV1</b>	202	33	204
<b>SLV2</b>	194	33	197
<b>SLV3</b>	73	110	132
<b>SLV4</b>	65	110	128
<b>SLV5</b>	73	33	80
<b>SLV6</b>	65	33	73
<b>SLc1</b>	19	73	75
<b>SLc2</b>	9	73	73



<b>PILA 01 –SFORZI TAGLIO SUI PALI [kN]</b>			
	<b>taglio Vx</b>	<b>taglio Vy</b>	<b>V</b>
<b>SLc3</b>	19	-72	74
<b>SLc4</b>	9	-72	73
<b>SLc5</b>	19	71	74
<b>SLc6</b>	9	71	72
<b>SLc7</b>	19	-73	76
<b>SLc8</b>	9	-73	74
<b>SLf1</b>	19	24	31
<b>SLf2</b>	9	24	26
<b>SLf3</b>	19	-24	30
<b>SLf4</b>	9	-24	26
<b>SLf5</b>	19	23	30
<b>SLf6</b>	9	23	25
<b>SLf7</b>	19	-25	31
<b>SLf8</b>	9	-25	27
<b>SLqp1</b>	18	0	18
<b>SLqp2</b>	10	0	10

<b>PILA 02 –SFORZI NORMALI SUI PALI [kN]</b>						
<b>PALO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>SLU1</b>	8480	7393	6307	8063	6977	5891
<b>SLU2</b>	8354	7267	6181	8117	7031	5945
<b>SLU3</b>	6788	7351	7913	6371	6934	7497
<b>SLU4</b>	6662	7225	7787	6426	6988	7551
<b>SLU5</b>	8746	7148	5550	8329	6731	5133
<b>SLU6</b>	8620	7022	5424	8383	6785	5187
<b>SLU7</b>	7054	7105	7156	6638	6688	6739
<b>SLU8</b>	6928	6979	7029	6692	6743	6793
<b>SLU9</b>	8518	7498	6477	7311	6290	5269
<b>SLU10</b>	8392	7372	6351	7365	6344	5324
<b>SLU11</b>	6827	7455	8083	5619	6247	6875
<b>SLU12</b>	6701	7329	7957	5674	6302	6930
<b>SLU13</b>	8718	7313	5909	7510	6106	4701
<b>SLU14</b>	8592	7187	5783	7565	6160	4756
<b>SLU15</b>	7027	7271	7515	5819	6063	6307
<b>SLU16</b>	6900	7144	7389	5873	6117	6361
<b>SLU17</b>	8144	7123	6102	7727	6706	5686
<b>SLU18</b>	8018	6997	5976	7781	6761	5740
<b>SLU19</b>	6452	7080	7708	6036	6664	7292
<b>SLU20</b>	6326	6954	7582	6090	6718	7346
<b>SLU21</b>	8343	6939	5534	7927	6522	5117
<b>SLU22</b>	8217	6813	5408	7981	6576	5172
<b>SLU23</b>	6652	6896	7140	6235	6479	6723
<b>SLU24</b>	6526	6770	7014	6290	6534	6778
<b>SLU25</b>	8708	7137	5567	8291	6721	5150
<b>SLU26</b>	8582	7011	5441	8345	6775	5205

<b>PILA 02 –SFORZI NORMALI SUI PALI [kN]</b>						
<b>PALO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>SLU27</b>	5889	7066	8244	5472	6649	7827
<b>SLU28</b>	5762	6940	8117	5526	6704	7881
<b>SLU29</b>	8907	6953	4999	8491	6536	4582
<b>SLU30</b>	8781	6827	4873	8545	6591	4636
<b>SLU31</b>	6088	6882	7675	5671	6465	7259
<b>SLU32</b>	5962	6756	7549	5726	6519	7313
<b>SLU33</b>	8186	7165	6144	7709	6688	5668
<b>SLU34</b>	7976	6955	5934	7800	6779	5758
<b>SLU35</b>	6494	7122	7750	6018	6645	7273
<b>SLU36</b>	6284	6912	7540	6108	6736	7364
<b>SLU37</b>	8385	6981	5576	7909	6504	5099
<b>SLU38</b>	8175	6771	5366	7999	6594	5190
<b>SLU39</b>	6694	6938	7182	6217	6461	6705
<b>SLU40</b>	6484	6728	6972	6308	6552	6796
<b>SLV1</b>	6039	5814	5589	3264	3039	2814
<b>SLV2</b>	5951	5726	5502	3301	3076	2852
<b>SLV3</b>	5690	5045	4400	4539	3893	3248
<b>SLV4</b>	5603	4957	4312	4576	3931	3286
<b>SLV5</b>	5171	4946	4722	4139	3914	3689
<b>SLV6</b>	5084	4859	4634	4176	3952	3727
<b>SLc1</b>	5972	5277	4582	5673	4978	4283
<b>SLc2</b>	5867	5172	4477	5718	5023	4328
<b>SLc3</b>	4845	5249	5653	4545	4949	5353
<b>SLc4</b>	4739	5144	5548	4591	4995	5399
<b>SLc5</b>	4332	4212	4092	4032	3913	3793
<b>SLc6</b>	4227	4107	3987	4078	3958	3838
<b>SLc7</b>	3204	4183	5163	2905	3884	4864
<b>SLc8</b>	3099	4078	5058	2950	3929	4909
<b>SLf1</b>	5596	5268	4939	5297	4968	4640
<b>SLf2</b>	5491	5163	4834	5342	5014	4685
<b>SLf3</b>	5220	5258	5296	4921	4959	4997
<b>SLf4</b>	5115	5153	5191	4966	5004	5042
<b>SLf5</b>	3956	4202	4449	3656	3903	4150
<b>SLf6</b>	3851	4097	4344	3702	3948	4195
<b>SLf7</b>	3580	4193	4806	3281	3894	4507
<b>SLf8</b>	3475	4088	4701	3326	3939	4552
<b>SLqp1</b>	4653	4653	4653	4366	4366	4366
<b>SLqp2</b>	4566	4566	4566	4404	4404	4404

<b>PILA 02 –SFORZI TAGLIO SUI PALI [kN]</b>			
	<b>taglio Vx</b>	<b>taglio Vy</b>	<b>V</b>
<b>SLU1</b>	26	108	111
<b>SLU2</b>	15	108	109
<b>SLU3</b>	26	-108	111
<b>SLU4</b>	15	-108	109
<b>SLU5</b>	26	109	112
<b>SLU6</b>	15	109	110
<b>SLU7</b>	26	-107	110
<b>SLU8</b>	15	-107	108
<b>SLU9</b>	74	108	131
<b>SLU10</b>	63	108	125
<b>SLU11</b>	74	-108	131
<b>SLU12</b>	63	-108	125
<b>SLU13</b>	74	109	132
<b>SLU14</b>	63	109	126
<b>SLU15</b>	74	-107	130
<b>SLU16</b>	63	-107	124
<b>SLU17</b>	26	108	111
<b>SLU18</b>	15	108	109
<b>SLU19</b>	26	-108	111
<b>SLU20</b>	15	-108	109
<b>SLU21</b>	26	109	112
<b>SLU22</b>	15	109	110
<b>SLU23</b>	26	-107	110
<b>SLU24</b>	15	-107	108
<b>SLU25</b>	26	180	182
<b>SLU26</b>	15	180	181
<b>SLU27</b>	26	-180	182
<b>SLU28</b>	15	-180	180
<b>SLU29</b>	26	181	183
<b>SLU30</b>	15	181	182
<b>SLU31</b>	26	-179	181
<b>SLU32</b>	15	-179	180
<b>SLU33</b>	30	108	112
<b>SLU34</b>	11	108	109
<b>SLU35</b>	30	-108	112
<b>SLU36</b>	11	-108	108
<b>SLU37</b>	30	109	113
<b>SLU38</b>	11	109	110
<b>SLU39</b>	30	-107	111
<b>SLU40</b>	11	-107	108
<b>SLV1</b>	207	32	210
<b>SLV2</b>	199	32	202
<b>SLV3</b>	75	108	131
<b>SLV4</b>	67	108	127
<b>SLV5</b>	75	32	81
<b>SLV6</b>	67	32	74
<b>SLc1</b>	19	72	75
<b>SLc2</b>	9	72	73

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 34 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

<b>PILA 02 –SFORZI TAGLIO SUI PALI [kN]</b>			
	<b>taglio Vx</b>	<b>taglio Vy</b>	<b>V</b>
<b>SLc3</b>	19	-72	74
<b>SLc4</b>	9	-72	72
<b>SLc5</b>	19	71	74
<b>SLc6</b>	9	71	72
<b>SLc7</b>	19	-73	75
<b>SLc8</b>	9	-73	73
<b>SLf1</b>	19	24	31
<b>SLf2</b>	9	24	26
<b>SLf3</b>	19	-24	30
<b>SLf4</b>	9	-24	26
<b>SLf5</b>	19	23	30
<b>SLf6</b>	9	23	25
<b>SLf7</b>	19	-25	31
<b>SLf8</b>	9	-25	26
<b>SLqp1</b>	18	0	18
<b>SLqp2</b>	10	0	10

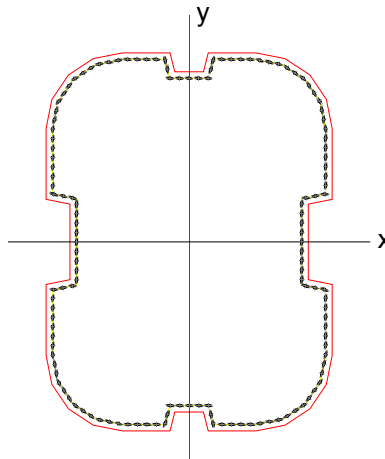
Si riporta ora un prospetto riepilogativo delle sollecitazioni più significative agenti sui pali agli stati limite considerati:

<b>PILA</b>	<b>Nmax,slu</b>	<b>Nmax,slv</b>	<b>Nmin</b>	<b>Vmax</b>
<b>1</b>	9061	6161	2800	204
<b>2</b>	8907	6039	2814	210
<b>Nmax</b>	<b>9061</b>	<b>6161</b>		
<b>Nmin</b>			<b>2800</b>	
<b>Vmax</b>				<b>210</b>

<b>S.L.E.</b>											
<b>Combinazioni Caratteristiche</b>				<b>Combinazioni Frequenti</b>				<b>Combinazioni Quasi Permanenti</b>			
<b>PILA</b>	<b>Nmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>Vmax</b>	<b>PILA</b>	<b>Nmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>Vmax</b>	<b>PILA</b>	<b>Nmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>Vmax</b>
<b>1</b>	6063	2928	76	<b>1</b>	5670	3321	31	<b>1</b>	4718	4415	18
<b>2</b>	5972	2905	75	<b>2</b>	5596	3281	31	<b>2</b>	4653	4366	18
<b>Nmax</b>	<b>6063</b>			<b>Nmax</b>	<b>5670</b>			<b>Nmax</b>	<b>4718</b>		
<b>Nmin</b>		<b>2905</b>		<b>Nmin</b>		<b>3281</b>		<b>Nmin</b>		<b>4366</b>	
<b>Vmax</b>			<b>76</b>	<b>Vmax</b>			<b>31</b>	<b>Vmax</b>			<b>18</b>

## 4 VERIFICA DEL FUSTO DELLE PILE

La sezione tipo del fusto pile è rappresentata nella figura seguente. Attraverso diverse analisi di predimensionamento si è scelto di armare longitudinalmente il fusto delle pile con 136 ferri posti ad interasse 10 cm. Il diametro dei ferri viene precisato nei paragrafi successivi. Le differenziazioni delle armature per le pile avvengono solo a livello dei diametri adottati:  $\Phi 24$  per la pila 01 e  $\Phi 22$  per la pila 02.



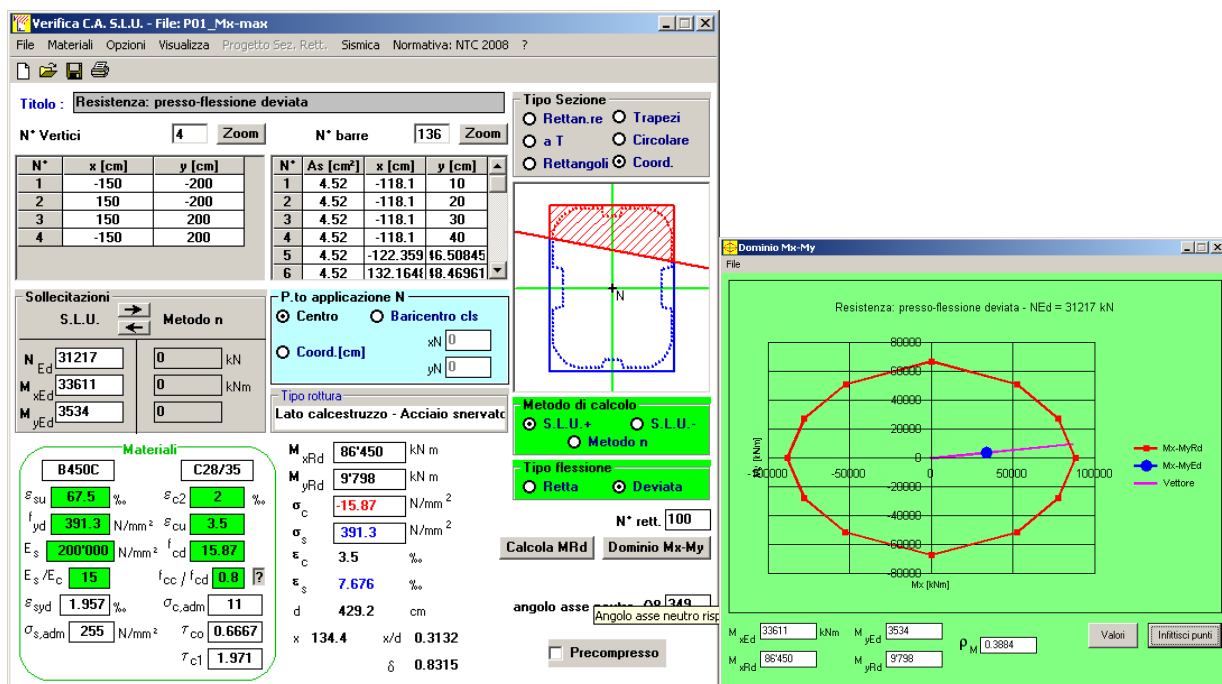
### 4.1 S.L.U. – RESISTENZA: PRESSO-FLESSIONE

Sulla base delle sollecitazioni ottenute si sono condotte le verifiche di resistenza a presso-flessione deviata nelle condizioni di massimo momento trasversale, massimo momento longitudinale e minimo sforzo assiale, utilizzando il programma V.C.A.S.L.U.

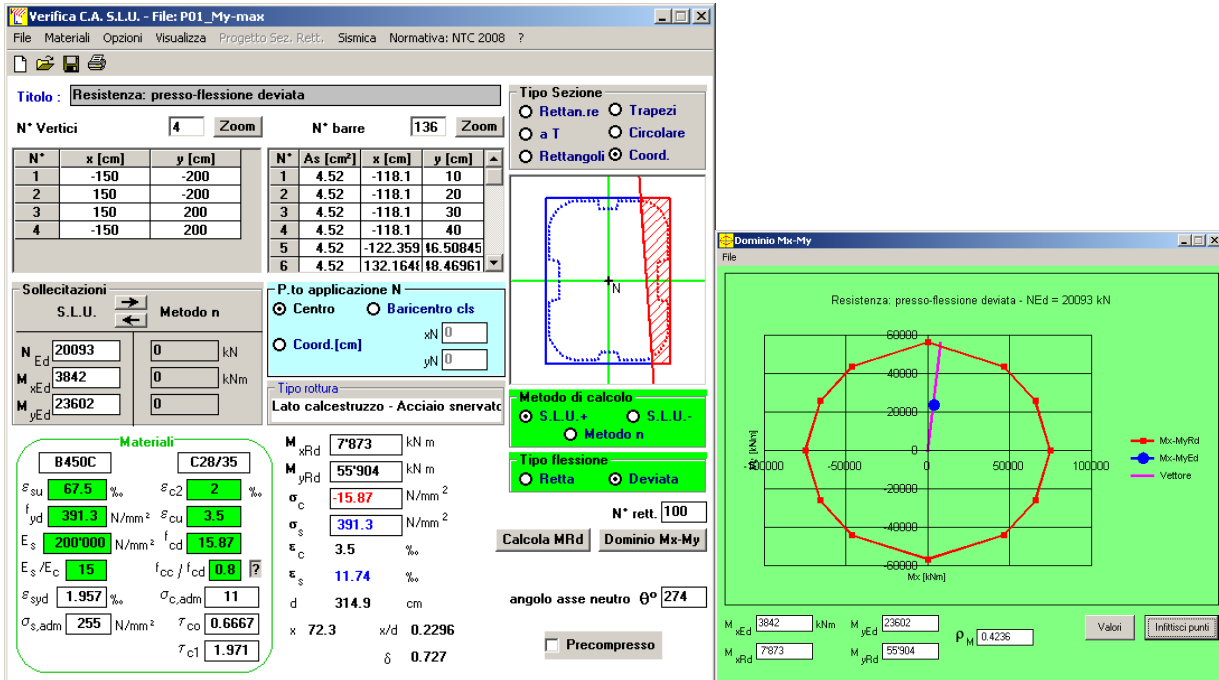
Si riporta di seguito l'output delle verifiche:

#### PILA 01

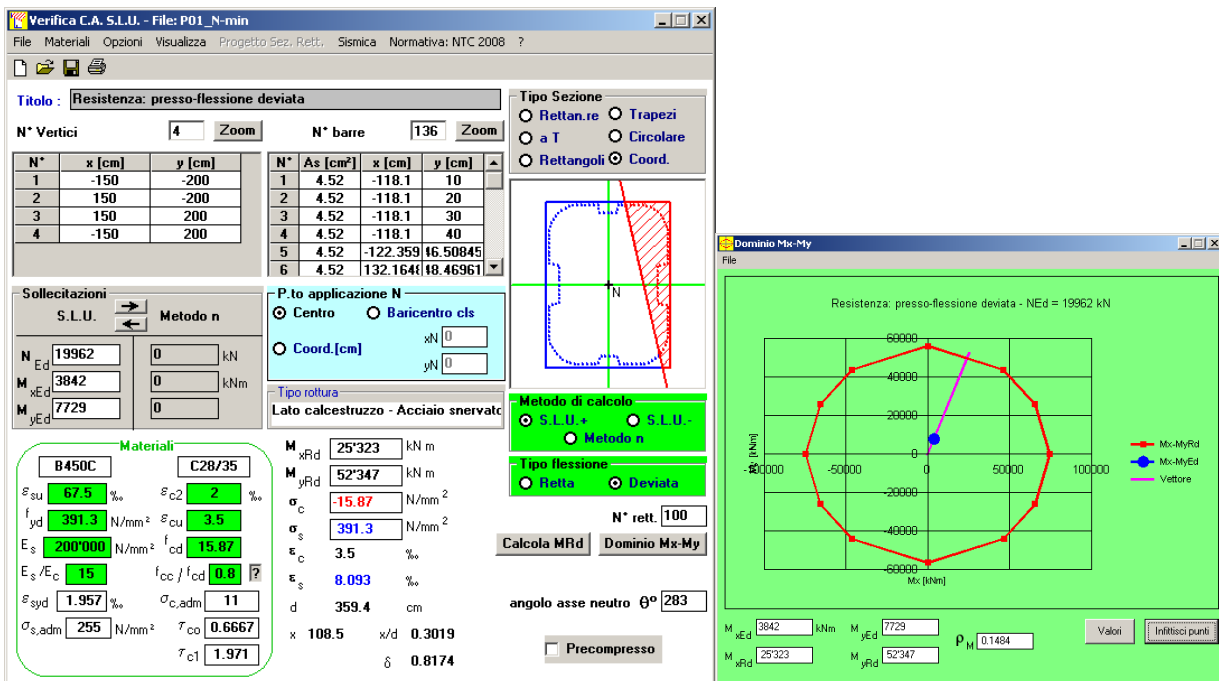
massimo momento trasversale



massimo momento longitudinale

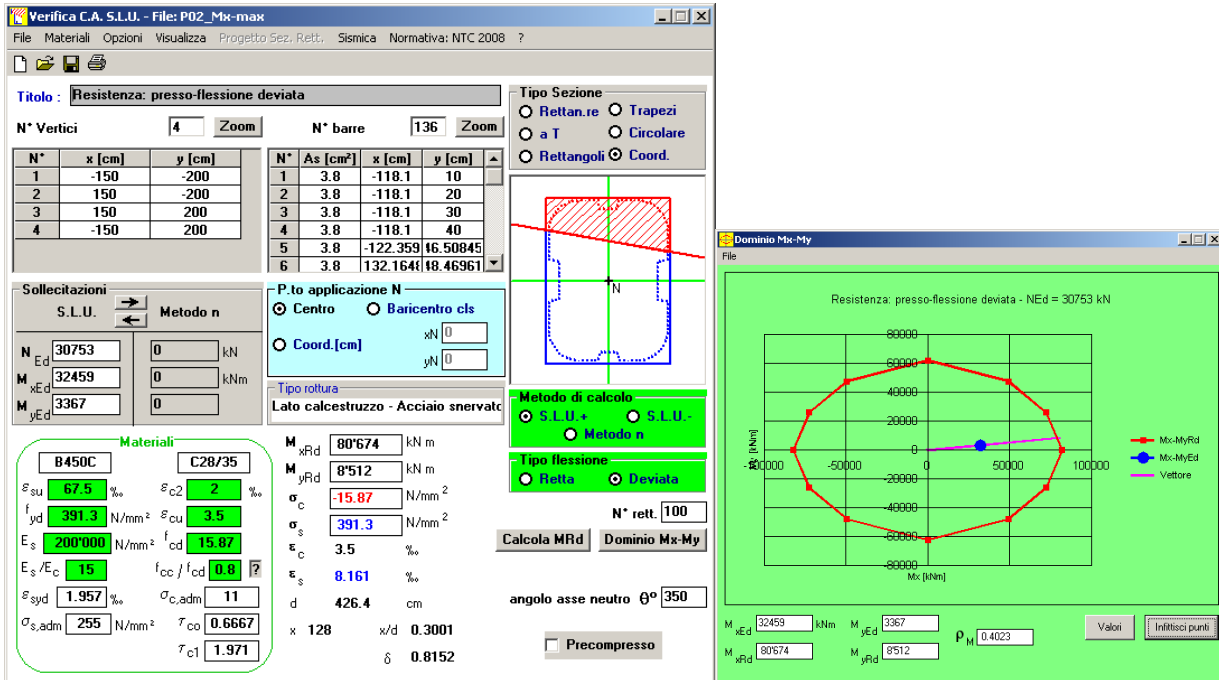


minimo sforzo assiale

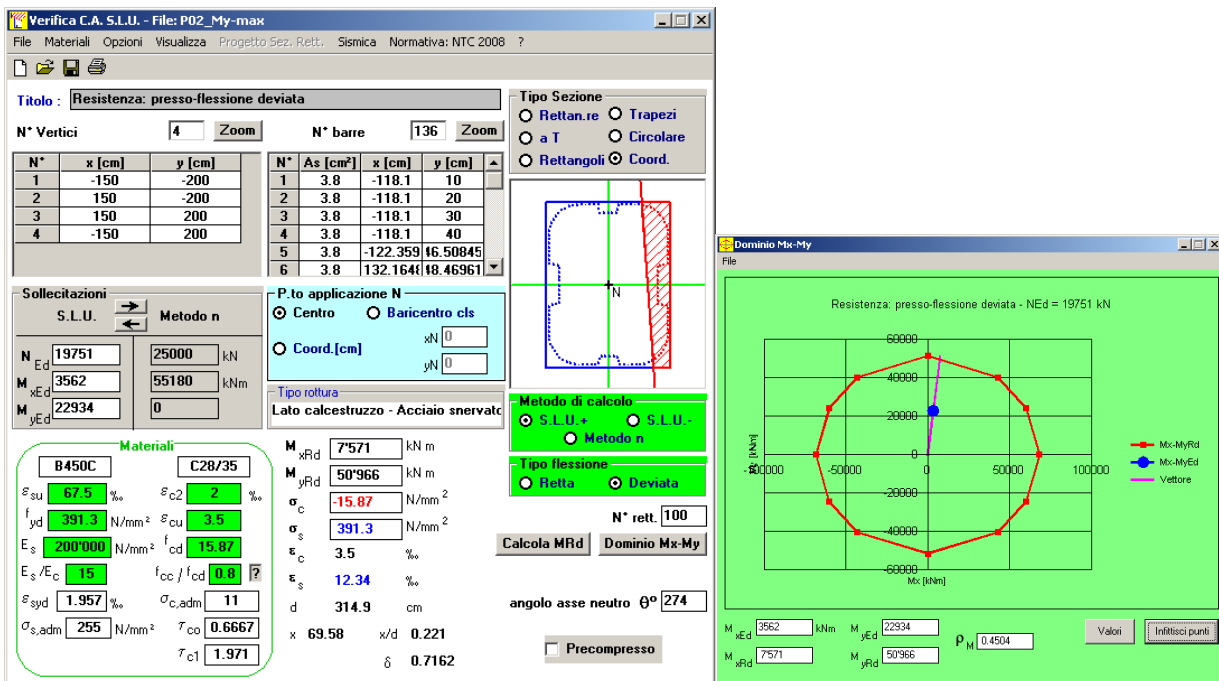


**PILA 02**

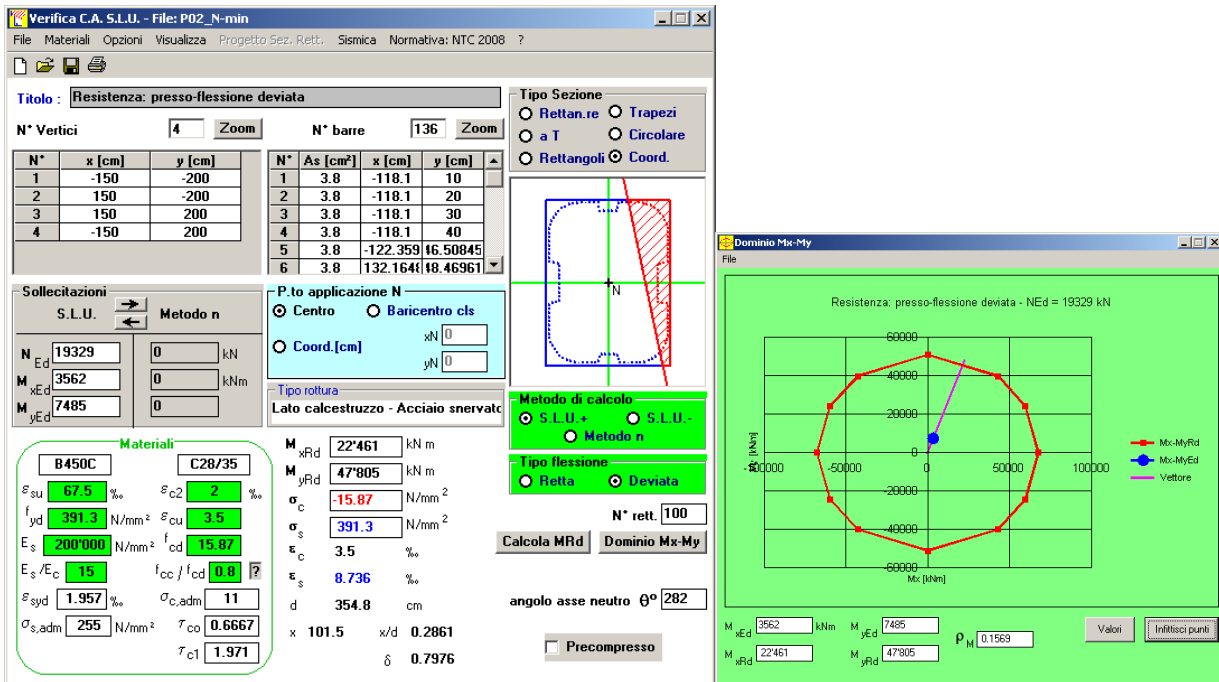
massimo momento trasversale



massimo momento longitudinale

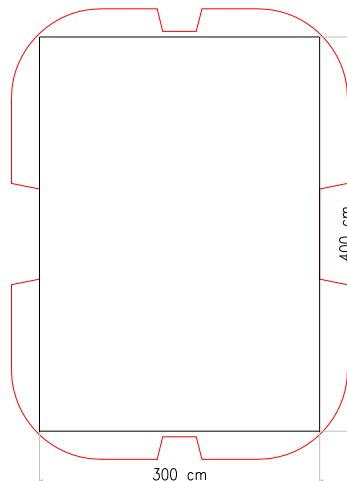


minimo sforzo assiale



## 4.2 S.L.U. – RESISTENZA: TAGLIO

Le verifiche alle tensioni tangenziali vengono effettuate nelle due combinazioni che massimizzano rispettivamente il taglio longitudinale ed il taglio trasversale, con i valori di sforzo assiale associati a tali combinazioni. Per le verifiche di taglio si fa riferimento a quanto prescritto nel paragrafo 4.1.2.1.3 delle norme tecniche per le costruzioni. A vantaggio di statica, per il calcolo del taglio resistente, ci riferiamo ad una sezione rettangolare ideale di calcestruzzo iscritta all'interno della sezione reale della pila. La verifica a taglio viene eseguita nella sezione più sfavorevole per tutte le pile che risulta essere quella all'estradosso del plinto di fondazione. La verifica condotta è riportata nel foglio di calcolo seguente, dal quale si evince che il taglio resistente del solo calcestruzzo risulta essere maggiore della sollecitazione di progetto e non risulterebbe quindi necessario disporre armatura a taglio; ciononostante, un'adeguata armatura trasversale viene comunque disposta lungo il fusto delle pile.





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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 39 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### PILA 01

	V long	V trasv		
<b>Sollecitazioni</b>				
V =	1209.9	1092.4	kN	taglio
N =	2092.9	31217.2	kN	sforzo normale (>0 compressione)

### **Geometria**

B =	3600	2500	mm	larghezza sezione
H =	3000	4000	mm	altezza sezione
d =	2950	3950	mm	altezza utile

### **Materiali**

R <sub>ck</sub> =	35	35		resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub> =	29.05	29.05	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ <sub>c</sub> =	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α <sub>cc</sub> =	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f <sub>cd</sub> =	16.46	16.46	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f' <sub>cd</sub> =	8.23	8.23	MPa	resistenza ridotta
γ <sub>s</sub> =	1.15	1.15		coefficiente di sicurezza acciaio
f <sub>yk</sub> =	450.0	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f <sub>yd</sub> =	391.3	391.3	MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

### **Verifica per elementi sprovvisti di armatura a taglio**

A <sub>sl</sub> =	61525	61525	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale
ρ <sub>l</sub> =	0.006	0.006		rapporto geometrico di armatura longitudinale
k =	1.260	1.225		
V <sub>min</sub> =	0.267	0.256		
σ <sub>cp</sub> =	1.86	3.12	MPa	tensione media calcestruzzo
σ <sub>cp,ad</sub> =	1.86	3.12	MPa	tensione media di compressione adottata (<=0.2f <sub>cd</sub> )
V <sub>Rd</sub> =	7079.9	8435.4	kN	taglio resistente
FS =	5.85	7.72		

### PILA 02

	V long	V trasv		
<b>Sollecitazioni</b>				
V =	1242.4	1086.5	kN	taglio
N =	19751.3	30753.0	kN	sforzo normale (>0 compressione)

### **Geometria**

B =	3600	2500	mm	larghezza sezione
H =	3000	4000	mm	altezza sezione
d =	2950	3950	mm	altezza utile

### **Materiali**

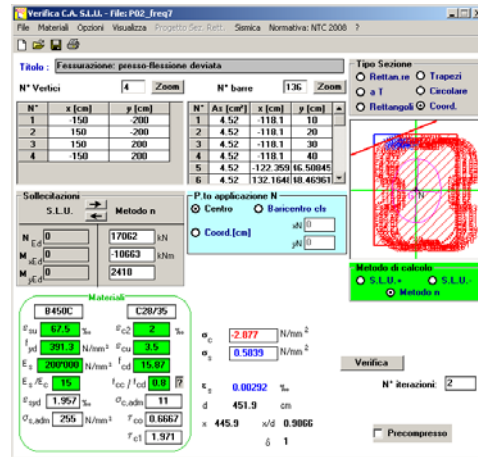
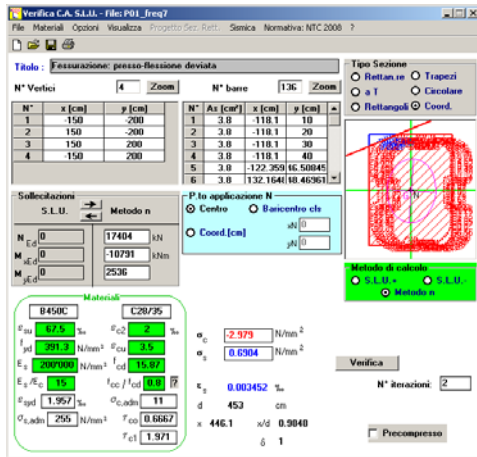
R <sub>ck</sub> =	35	35		resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub> =	29.05	29.05	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ <sub>c</sub> =	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α <sub>cc</sub> =	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f <sub>cd</sub> =	16.46	16.46	MPa	resistenza di calcolo a compressione



**PILA 02**

Sollecitazioni agenti

	freq 1	freq 2	freq 3	freq 4	freq 5	freq 6	freq 7	freq 8	qp1	qp2		
N	= 23510	23307	23453	23250	17119	16916	17062	16859	19860	19690	kN	sforzo assiale
M <sub>x</sub>	= 5552	5552	-322	-322	-4789	-4789	-10663	-10663	0	0	kNm	momento flettente trasversale
M <sub>y</sub>	= 2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2317	1307	kNm	momento flettente longitudinale
σ <sub>s,max</sub>	= 200	200	200	200	200	200	200	200	160	160	MPa	tensione massima nell'acciaio da normativa
σ <sub>Sd,max</sub>	=						<b>0.6</b>				MPa	tensione massima di trazione nell'acciaio di calcolo
	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>		



**4.4 S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI**

In accordo con quanto previsto dalle NTC al punto 4.1.2.2.5, si verifica ora che le massime tensioni agenti nel calcestruzzo e nell'acciaio in fase di esercizio per la combinazione caratteristica e per quella quasi permanente siano inferiori ai massimi valori consentiti (per il calcestruzzo, compressione: 0,60 f<sub>ck</sub> in combinazione caratteristica e 0,40 f<sub>ck</sub> in combinazione quasi permanente; per l'acciaio: 0,80 f<sub>yk</sub> in combinazione caratteristica). Le tensioni sono state ottenute con la stessa metodologia utilizzata per le verifiche di fessurazione.

**Materiali**

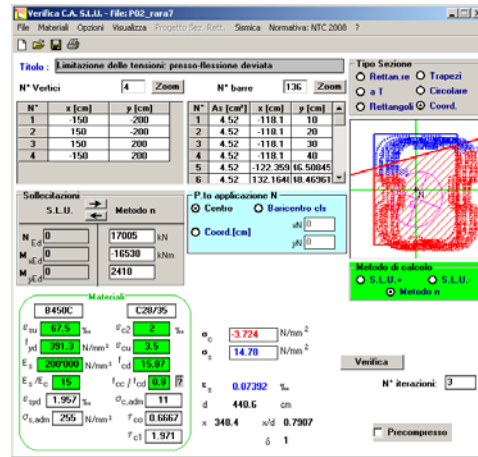
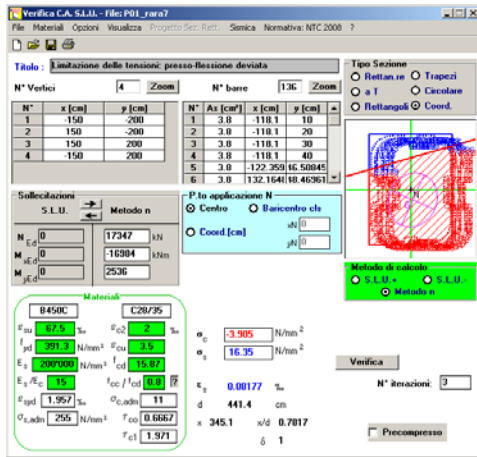
R <sub>ck</sub>	=	35	MPa	resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	=	29.05	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f <sub>yk</sub>	=	450.0	MPa	resistenza caratteristica di snervamento cilindrica

**PILA 01**

	rara1	rara2	rara3	rara4	rara5	rara6	rara7	rara8	qp1	qp2		
<b>Sollecitazioni agenti</b>												
N	= 23909	23741	23738	23570	17518	17350	17347	17179	20204	20064	kN	sforzo assiale
M <sub>x</sub>	= 11893	11893	-6686	-6686	1595	1595	-16984	-16984	0	0	kNm	momento flettente trasversale
M <sub>y</sub>	= 2536	1280	2536	1280	2536	1280	2536	1280	2431	1385	kNm	momento flettente longitudinale
<b>Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio</b>												
σ <sub>c,max</sub>	= 17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	13.07	13.07	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
σ <sub>c,Sd</sub>	=						<b>3.90</b>				[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>		
<b>Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio</b>												
σ <sub>s,max</sub>	= 360	360	360	360	360	360	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
σ <sub>s,Sd</sub>	=						<b>16.4</b>				[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>				

**PILA 02**

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara7	rara8	qp1	qp2			
<b>Sollecitazioni agenti</b>													
N	=	23567	23364	23396	23193	17176	16973	17005	16802	19860	19690	kN	sfuerzo assiale
M <sub>x</sub>	=	11427	11427	-6197	-6197	1086	1086	-16538	-16538	0	0	kNm	momento flettente trasversale
M <sub>y</sub>	=	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2418	1206	2317	1307	kNm	momento flettente longitudinale
<b>Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio</b>													
σ <sub>c,max</sub>	=	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	17.43	13.07	13.07	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
σ <sub>c,Sd</sub>	=	-	-	-	-	-	-	<b>3.72</b>	-	-	-	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
		<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>		
<b>Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio</b>													
σ <sub>s,max</sub>	=	360	360	360	360	360	360	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
σ <sub>s,Sd</sub>	=	-	-	-	-	-	-	<b>14.8</b>	-	-	-	[MPa]	tensione di calcolo dell' acciaio in esercizio
		<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>				



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 43 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 5 EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

Le pile del viadotto in questione, vista la notevole altezza, rientrano nella classe degli elementi strutturali snelli. Per la verifica di stabilità degli elementi snelli, nel punto 4.1.2.1.7.2 le NTC consentono l'utilizzo di metodi algebrici. In particolare, gli effetti del secondo ordine sono stati analizzati facendo riferimento alle norme UNI EN 1992-1-1:2005 e in particolare al metodo basato sulla "curvatura nominale" riportato al punto 5.8 della norma succitata. Nelle sezioni successive si illustra brevemente il metodo di verifica utilizzato nonché il dettaglio dei calcoli di verifica eseguiti.

### 5.1 METODO BASATO SULLA CURVATURA NOMINALE

Il metodo è adatto in primo luogo per elementi isolati con forza normale costante (cautelativamente si è assunto lo sforzo di compressione al piede della pila) e una lunghezza libera di inflessione  $l_0$  definita come nei paragrafi successivi. Il metodo dà un momento del secondo ordine nominale basato su un'inflessione che a sua volta è basata sulla lunghezza libera d'inflessione e su una curvatura massima stimata. Il momento di progetto risultante è utilizzato per il calcolo di sezioni trasversali con riferimento al momento flettente e alla forza assiale.

#### 5.1.1 Valutazione della snellezza

Gli effetti del secondo ordine possono essere trascurati se la snellezza  $\lambda$  è al di sotto di un certo valore  $\lambda_{lim}$ . Il valore raccomandato viene calcolato come di seguito indicato

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}$$

dove:

$$A = 1 / (1 + 0,2 \varphi_{ef}) \text{ (se } \varphi_{ef} \text{ non è noto, si può adottare } A = 0,7);$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \text{ (se } \omega \text{ non è noto, si può adottare } B = 1,1);$$

$$C = 1,7 - r_m \text{ (se } r_m \text{ non è noto, si può adottare } C = 0,7);$$

$\varphi_{ef}$  è il coefficiente efficace di viscosità; vedere punto 5.8.4;

$$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd}); \text{ rapporto meccanico di armatura;}$$

$A_s$  è l'area totale dell'armatura longitudinale;

$$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd}); \text{ forza assiale adimensionale;}$$

$$r_m = M_{01} / M_{02}; \text{ rapporto tra i momenti;}$$

$M_{01}, M_{02}$  sono i momenti del primo ordine alle estremità,  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$ .

Se i momenti finali  $M_{01}$  e  $M_{02}$  provocano trazione sullo stesso lato, si raccomanda che  $r_m$  sia assunto positivo (cioè  $C \leq 1,7$ ), in caso contrario negativo (cioè  $C > 1,7$ ).

Nei casi seguenti, si raccomanda che  $r_m$  sia assunto pari a 1,0 (cioè  $C = 0,7$ ):

- per telai a nodi fissi soggetti solo a momenti del primo ordine o a momenti dovuti prevalentemente ad imperfezioni o a carico trasversale;
- per telai a nodi mobili in generale.

Mentre la snellezza di calcolo  $l_0$  può essere valutata come segue:

$$\lambda = l_0 / i$$

dove:

$l_0$  è la lunghezza libera d'inflessione

$i$  è il raggio d'inerzia della sezione di calcestruzzo non fessurato.

Ipotizzando per le pile in esame, sia in direzione trasversale, sia in direzione longitudinale, uno schema di trave incastrata alla base e libera in sommità, è stata assunta una lunghezza libera di inflessione pari a  $l_0=2l$ .

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 44 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 5.1.2 Viscosità

L'effetto della viscosità deve essere tenuto in conto nell'analisi al secondo ordine, con particolare riferimento sia alle condizioni generali di viscosità, sia alla durata dei diversi carichi nelle combinazioni di carico considerate. La durata di applicazione dei carichi può essere presa in considerazione in modo semplificato adottando un coefficiente efficace di viscosità  $\varphi_{ef}$ , il quale, utilizzato insieme al carico di progetto, dà una deformazione viscosa (curvatura) corrispondente al carico quasi-permanente:

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed}$$

dove:

$\varphi_{(\infty, t_0)}$  è il coefficiente finale di viscosità

$M_{0Eqp}$  è il momento flettente del primo ordine sotto la combinazione di carico quasi-permanente (SLE);

$M_{0Ed}$  è il momento flettente del primo ordine sotto la combinazione di carico di progetto (SLU).

Secondo quanto prescritto al punto 5.8.4.4 è stato assunto un valore di  $\varphi_{(\infty, t_0)} = 2$ .

### 5.1.3 Momenti flettenti

Si riporta per esteso quanto descritto al punto 5.8.8.2 dell'eurocodice 2 per i momenti flettenti:

5.8.8.2	<p>Momenti flettenti</p> <p>(1) Il momento di progetto è:</p> $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (5.31)$ <p>dove:</p> <p><math>M_{0Ed}</math> è il momento del primo ordine, che tiene conto dell'effetto delle imperfezioni, vedere anche punto 5.8.8.2 (2);</p> <p><math>M_2</math> è il momento del secondo ordine nominale, vedere punto 5.8.8.2 (3).</p> <p>Il valore massimo di <math>M_{Ed}</math> è dato dalle distribuzioni di <math>M_{0Ed}</math> e <math>M_2</math>; quest'ultimo può essere preso come parabolico oppure sinusoidale sulla lunghezza libera d'inflessione.</p> <p>Nota Nel caso di elementi iperstatici, <math>M_{0Ed}</math> è determinato per le condizioni reali di vincolo, mentre <math>M_2</math> dipenderà dalle condizioni di vincolo attraverso la lunghezza libera d'inflessione, vedere punto 5.8.8.1 (1).</p> <p>(2) Momenti diversi del primo ordine alle estremità <math>M_{01}</math> e <math>M_{02}</math> possono essere sostituiti con un momento del primo ordine equivalente di estremità <math>M_{0e}</math>:</p> $M_{0e} = 0,6 M_{02} + 0,4 M_{01} \geq 0,4 M_{02} \quad (5.32)$ <p><math>M_{01}</math> e <math>M_{02}</math> dovrebbero avere lo stesso segno se essi provocano trazione sullo stesso lato, altrimenti segni opposti. Inoltre, <math> M_{02}  \geq  M_{01} </math>.</p> <p>(3) Il momento nominale del secondo ordine <math>M_2</math> nell'espressione (5.31) è</p> $M_2 = N_{Ed} e_2 \quad (5.33)$ <p>dove:</p> <p><math>N_{Ed}</math> è il valore di progetto della forza assiale;</p> <p><math>e_2</math> è l'inflessione = <math>(1/r) l_0^2 / c</math>;</p> <p><math>1/r</math> è la curvatura, vedere punto 5.8.8.3;</p> <p><math>l_0</math> è la lunghezza libera d'inflessione, vedere punto 5.8.3.2;</p> <p><math>c</math> è un fattore che dipende dalla distribuzione della curvatura, vedere punto 5.8.8.2 (4).</p> <p>(4) Nel caso di sezione trasversale costante, si utilizza generalmente <math>c = 10 (\approx \pi^2)</math>. Se il momento del primo ordine è costante, si raccomanda di utilizzare un valore minore (8 è un limite inferiore, che corrisponde a momento totale costante).</p> <p>Nota Il valore <math>\pi^2</math> corrisponde ad una distribuzione di curvatura sinusoidale. Il valore per una curvatura costante è 8. Si noti che <math>c</math> dipende dalla distribuzione della curvatura totale, mentre <math>c_0</math> nel punto 5.8.7.3 (2) dipende soltanto dalla curvatura corrispondente al momento del primo ordine.</p>
---------	--

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 45 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 5.1.4 Curvatura

Si riporta per esteso quanto descritto al punto 5.8.8.3 dell'eurocodice 2 per la valutazione della curvatura nominale:

5.8.8.3

Curvatura

- (1) Nel caso di elementi con sezioni trasversali simmetriche (comprese le armature), si può utilizzare la seguente relazione:

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 \quad (5.34)$$

dove:

$K_r$  è un coefficiente correttivo che dipende dal carico assiale, vedere punto 5.8.8.3 (3);

$K_\varphi$  è un coefficiente per tener conto della viscosità, vedere punto 5.8.8.3 (4);

$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 d)$ ;

$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$ ;

$d$  è l'altezza utile; vedere anche punto 5.8.8.3 (2).

- (2) Se le armature non sono tutte concentrate su lati opposti, ma parte di esse è distribuita parallelamente al piano d'inflessione,  $d$  è definito come

$$d = (h / 2) + i_s \quad (5.35)$$

dove  $i_s$  è il raggio d'inerzia dell'area totale delle armature.

- (3) Nell'espressione (5.34) si dovrebbe adottare  $K_r$  pari a:

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1 \quad (5.36)$$

dove:

$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$ , forza assiale adimensionale;

$N_{Ed}$  è il valore di progetto della forza assiale;

$n_u = 1 + \omega$ ;

$n_{bal}$  è il valore di  $n$  corrispondente al massimo valore del momento resistente; si può adottare il valore 0,4;

$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$ ;

$A_s$  è l'area totale delle armature;

$A_c$  è l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

- (4) Si raccomanda che l'effetto della viscosità sia tenuto in conto attraverso il seguente coefficiente:

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1 \quad (5.37)$$

dove:

$\varphi_{ef}$  è il coefficiente efficace di viscosità, vedere punto 5.8.4;

$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150$ ;

$l$  è la snellezza, vedere punto 5.8.3.1.

### 5.1.5 Flessione deviata

Il metodo descritto precedentemente può essere utilizzato anche nel caso di presso-flessione deviata. In una prima fase si effettuano calcoli separati – a presso-flessione retta – per ciascuna delle direzioni principali. Si tiene conto delle imperfezioni soltanto nella direzione nella quale esse provocano l'effetto più sfavorevole. Nel punto 5.8.9 l'EN 1992 prescrive la verifica a presso-flessione deviata solo nel caso in cui non siano rispettate le seguenti limitazioni:

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 46 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

Nessun'altra verifica è necessaria se i rapporti di snellezza soddisfano le due condizioni seguenti:

$$\lambda_y / \lambda_z \leq 2 \text{ e } \lambda_z / \lambda_y \leq 2 \quad (5.38a)$$

e se le eccentricità relative  $e_y/h$  e  $e_z/b$  (vedere figura 5.7) soddisfano una delle seguenti condizioni:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} \leq 0,2 \text{ oppure } \frac{e_z/b_{eq}}{e_y/h_{eq}} \leq 0,2 \quad (5.38b)$$

dove:

$b, h$  sono la larghezza e l'altezza della sezione;

$b_{eq} = i_y \cdot \sqrt{12}$  e  $h_{eq} = i_z \cdot \sqrt{12}$  per una sezione rettangolare equivalente;

$\lambda_y, \lambda_z$  sono le snellezze  $l_0 / i$  rispettivamente secondo gli assi  $y$  e  $z$ ;

$i_y, i_z$  sono i raggi d'inerzia rispettivamente secondo gli assi  $y$  e  $z$ ;

$e_z = M_{Edy} / N_{Ed}$ ; eccentricità lungo l'asse  $z$ ;

$e_y = M_{Edz} / N_{Ed}$ ; eccentricità lungo l'asse  $y$ ;

$M_{Edy}$  è il momento di progetto che include il momento di inerzia lungo l'asse  $y$ ;

$M_{Edz}$  è il momento di progetto che include il momento di inerzia lungo l'asse  $z$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di progetto del carico assiale nella rispettiva combinazione di carico.

Nel caso in cui queste limitazioni non siano rispettate occorre verificare la presso-flessione deviata secondo le indicazioni del punto 5.8.9.4:

Se la condizione dell'espressione (5.38) non è soddisfatta, si raccomanda di tener conto della flessione deviata compresi gli effetti del secondo ordine in ogni direzione [a meno che essi non possano essere trascurati secondo i punti 5.8.2 (6) o 5.8.3]. In assenza di un calcolo accurato della sezione trasversale per flessione deviata, si può utilizzare il seguente criterio semplificato:

$$\left( \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left( \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1,0 \quad (5.39)$$

dove:

$M_{Edz/y}$  è il momento di progetto intorno all'asse considerato, comprendente un momento nominale del secondo ordine;

$M_{Rdz/y}$  è il momento resistente nella direzione considerata;

$a$  è l'esponente;

per sezioni circolari ed ellittiche:  $a = 2$

per sezioni rettangolari:

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0,1	0,7	1,0
$a =$	1,0	1,5	2,0

con interpolazione lineare per valori intermedi;

$N_{Ed}$  è il valore di progetto della forza assiale;

$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$ , valore di progetto della forza normale resistente:

dove:

$A_c$  è l'area lorda della sezione di calcestruzzo,

$A_s$  è l'area delle armature longitudinali.



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 47 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 5.2 VERIFICA ALL'INSTABILITÀ

Le verifiche per le pile sono state condotte secondo quanto descritto ai paragrafi precedente. In particolare si è fatto riferimento a n. 3 condizioni di sollecitazione:

- sforzo normale massimo ( $N_{x,max}$ );
- momento trasversale massimo ( $M_{x,max}$ );
- momento longitudinale massimo ( $M_{y,max}$ ).

La sezione critica analizzata per le verifiche è quella di attacco fondazione pila. La verifica è stata condotta considerando il momento di calcolo  $M_{ed}$  amplificato degli effetti del secondo ordine in base al metodo della curvatura nominale. La verifica di resistenza è stata sempre condotta in presso-flessione deviata. Si distinguono però due casi:

1. la limitazione al punto 5.8.9.3 EN 1992 è rispettata: si considera il momento di calcolo amplificato degli effetti del secondo ordine solo nella direzione più gravosa;
2. la limitazione al punto 5.8.9.3 EN 1992 non è rispettata: si considerano i momenti di calcolo amplificati degli effetti del secondo ordine in entrambe le direzioni.

### 5.2.1 Momenti di calcolo al secondo ordine

In questo paragrafo riportiamo i fogli di calcolo dove sono stati determinati i momenti di progetto  $M_{ed}$  amplificati degli effetti del secondo ordine. Nel caso in cui è stato necessario condurre la verifica a presso-flessione deviata secondo il punto 5.8.9.4 EN 1992 in questi fogli è presente anche tale verifica.

#### PILA 01

##### EFFETTI DEL SECONDO ORDINE IN PRESENZA DI CARICO ASSIALE (EC2 - § 5.8)

##### METODO DELLA CURVATURA NOMINALE

		N <sub>max</sub>	M <sub>x,max</sub>	M <sub>y,max</sub>		
<b>Materiali</b>						
$R_{ck}$	=	35	35	35	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	29.1	29.1	29.1	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_c$	=	1.50	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	0.85	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	14.11	14.11	14.11	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{cm}$	=	37.05	37.05	37.05	MPa	resistenza cilindrica media
$E_{cm}$	=	32588	32588	32588	MPa	modulo elastico istantaneo
$f_{yk}$	=	450.0	450.0	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
$\gamma_s$	=	1.15	1.15	1.15		coefficiente di sicurezza
$f_{yd}$	=	391	391	391	MPa	tensione di snervamento di calcolo acciaio
$E_s$	=	<b>206000</b>	<b>206000</b>	<b>206000</b>	MPa	modulo elastico acciaio
$\varepsilon_{yd}$	=	0.0019	0.0019	0.0019		deformazione allo snervamento di calcolo
<b>Geometria</b>						
$d_x$	=	<b>2.95</b>	2.95	2.95	m	altezza utile longitudinale
$d_y$	=	<b>3.95</b>	3.95	3.95	m	altezza utile trasversale
$A_c$	=	<b>10.88</b>	10.88	10.88	m <sup>2</sup>	area sezione trasversale
L	=	22.66	22.66	22.66	m	altezza elemento

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 48 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$J_x$	=	<b>13.63</b>	13.63	13.63	$m^4$	momento d'inerzia trasversale
$J_y$	=	<b>7.22</b>	7.22	7.22	$m^4$	momento d'inerzia longitudinale
$i_x$	=	<b>0.81</b>	0.81	0.81	$m^4$	raggio d'inerzia longitudinale
$i_y$	=	<b>1.12</b>	1.12	1.12	$m^4$	raggio d'inerzia trasversale
$A_s$	=	<b>61525</b>	61525	61525	$mm^2$	area armatura longitudinale totale disposta nella sezione
$\omega$	=	<b>0.16</b>	0.16	0.16		rapporto meccanico di armatura
$\alpha_x$	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00		coefficiente di vincolo longitudinale
$\alpha_y$	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00		coefficiente di vincolo trasversale
$L_{0x}$	=	<b>45.32</b>	45.32	45.32	m	lunghezza libera d'inflessione longitudinale
$L_{0y}$	=	<b>45.32</b>	45.32	45.32	m	lunghezza libera d'inflessione trasversale
$\lambda_x$	=	<b>55.6</b>	55.6	55.6		snellezza longitudinale
$\lambda_y$	=	<b>40.5</b>	40.5	40.5		snellezza trasversale
$\lambda$	=	<b>55.6</b>	55.6	55.6		snellezza massima

#### Eccentricità

$\vartheta_0$	=	<b>0.005</b>	<b>0.005</b>	<b>0.005</b>		
$\alpha_h$	=	<b>0.67</b>	0.67	0.67		
$\alpha_m$	=	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>		
$\vartheta_1$	=	<b>0.003</b>	0.003	0.003		
$e_{ix}$	=	<b>0.08</b>	0.08	0.08	m	eccentricità aggiuntiva longitudinale
$e_{iy}$	=	<b>0.08</b>	0.08	0.08	m	eccentricità aggiuntiva trasversale

#### Sollecitazioni

$N_{Ed}$	=	33860.0	<b>31217.2</b>	<b>20092.9</b>	kN	sfuerzo normale di calcolo
$M_{1,x}$	=	<b>18621.1</b>	33611.5	<b>3841.7</b>	$kN*m$	momento flettente trasversale del primo ordine
$M_{2,x}$	=	18621.1	33611.5	3841.7	$kN*m$	momento flettente trasversale del primo ordine
$M_{1,y}$	=	0.0	0.0	0.0	$kN*m$	momento flettente longitudinale del primo ordine
$M_{2,y}$	=	<b>3534.0</b>	<b>3534.0</b>	23601.6	$kN*m$	momento flettente longitudinale del primo ordine
$M_{01,x}$	=	21179	35969	5359	$kN*m$	minimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{02,x}$	=	21179	35969	5359	$kN*m$	massimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{01,y}$	=	2557.6	2357.9	1517.7	$kN*m$	minimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{02,y}$	=	6091.6	5891.9	25119.3	$kN*m$	massimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{0Ed,x}$	=	21178.7	35969.4	5359.4	$kN*m$	momento flettente di calcolo trasversale equivalente
$M_{0Ed,y}$	=	4678.0	4478.3	15678.6	$kN*m$	momento flettente di calcolo longitudinale equivalente

#### Valutazione della snellezza limite

A	=	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>		
B	=	1.15	1.15	1.15		coefficiente funzione del rapporto meccanico di armatura
C	=	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>		coefficiente funzione del rapporto dei momenti flettenti alle estremità (=0.7 se il rapporto non è noto)
n	=	0.22	0.20	0.13		forza assiale adimensionale
$\lambda_{lim}$	=	<b>23.9</b>	<b>24.9</b>	<b>31.0</b>		snellezza limite
		NO	NO	NO		

#### Buckling

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 49 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$n_u$	=	1.16	1.16	1.16	
$n_{bal}$	=	<b>0.40</b>	0.40	0.40	
$K_r$	=	1.00	1.00	1.00	coefficiente correttivo funzione del carico assiale
$\varphi(\infty, t_0)$	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00	coefficiente di viscosità a tempo infinito
$c$	=	9.87	9.87	9.87	fattore funzione della distribuzione della curvatura

#### Buckling longitudinale

$M_{SLE}/M_{SLU}$	=	<b>0.74</b>	0.74	0.74	rapporto momento SLE/momento SLU
$\varphi_{eff,x}$	=	1.48	1.48	1.48	coefficiente di viscosità efficace
$\beta_x$	=	0.12	0.12	0.12	
$K_{\varphi x}$	=	1.18	1.18	1.18	coefficiente che tiene conto della viscosità
$(1/r_0)_x$	=	0.0014	0.0014	0.0014	
$(1/r)_x$	=	0.0017	0.0017	0.0017	curvatura longitudinale
$e_{2x}$	=	0.35	0.35	0.35	m inflessione longitudinale
$M_{2y}$	=	11940.4	11008.4	7085.6	kNm momento nominale del 2° ordine longitudinale
$M_{Edy}$	=	<b>16618.3</b>	<b>15486.8</b>	<b>22764.2</b>	kNm momento di progetto longitudinale

#### Buckling trasversale

$M_{SLE}/M_{SLU}$	=	<b>0.74</b>	0.74	0.74	rapporto momento SLE/momento SLU
$\varphi_{eff,y}$	=	1.48	1.48	1.48	coefficiente di viscosità efficace
$\beta_y$	=	0.23	0.23	0.23	
$K_{\varphi y}$	=	1.33	1.33	1.33	
$(1/r_0)_y$	=	0.0011	0.0011	0.0011	curvatura trasversale
$(1/r)_y$	=	0.0014	0.0014	0.0014	curvatura trasversale
$e_{2y}$	=	0.30	0.30	0.30	m inflessione trasversale
$M_{2x}$	=	10043.7	9259.8	5960.0	kNm momento nominale del 2° ordine trasversale
$M_{Edx}$	=	<b>31222.4</b>	<b>45229.2</b>	<b>11319.4</b>	kNm momento di progetto trasversale

#### Buckling flessione deviata - verifica geometrica

$\lambda_{max}/\lambda_{min}$	=	<b>1.37</b>	1.37	1.37	rapporto di snellezza massimo (se $\leq 2$ sufficiente verifica a flessione semplice)
$b_{x,eq}$	=	2.82	2.82	2.82	m dimensione longitudinale equivalente
$b_{y,eq}$	=	3.88	3.88	3.88	m dimensione trasversale equivalente
$e_x$	=	0.06	0.07	0.70	m eccentricità longitudinale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_y$	=	0.55	1.08	0.19	m eccentricità trasversale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_{x0}$	=	0.14	0.14	0.78	m eccentricità longitudinale
$e_{y0}$	=	0.63	1.15	0.27	m eccentricità trasversale
$e/b$	=	<b>0.16</b>	<b>0.09</b>	<b>2.13</b>	minimo rapporto eccentricità/dimensioni equivalenti

#### Buckling flessione deviata - verifica semplificata

$N_{Rd}$	=	-	-	177592	kN forza nominale resistente
$a$	=	-	-	1.50	esponente del dominio
$M_{Rdx}$	=	-	-	<b>74822</b>	kNm momento resistente trasversale per pressoflessione retta
$M_{Rdy}$	=	-	-	<b>56469</b>	kNm momento resistente longitudinale per pressoflessione retta
check	=	-	-	<b>0.31</b>	se $< 1$ verifica soddisfatta

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 50 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## PILA 02

### EFFETTI DEL SECONDO ORDINE IN PRESENZA DI CARICO ASSIALE (EC2 - § 5.8)

#### METODO DELLA CURVATURA NOMINALE

		Nmax	Mx,max	My,max		
<b>Materiali</b>						
R <sub>ck</sub>	=	35	35	35	MPa	resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	=	29.1	29.1	29.1	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ <sub>c</sub>	=	1.50	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α <sub>cc</sub>	=	0.85	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f <sub>cd</sub>	=	14.11	14.11	14.11	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f <sub>cm</sub>	=	37.05	37.05	37.05	MPa	resistenza cilindrica media
E <sub>cm</sub>	=	32588	32588	32588	MPa	modulo elastico istantaneo
f <sub>yk</sub>	=	450.0	450.0	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
γ <sub>s</sub>	=	1.15	1.15	1.15		coefficiente di sicurezza
f <sub>yd</sub>	=	391	391	391	MPa	tensione di snervamento di calcolo acciaio
E <sub>s</sub>	=	<b>206000</b>	<b>206000</b>	<b>206000</b>	MPa	modulo elastico acciaio
ε <sub>yd</sub>	=	0.0019	0.0019	0.0019		deformazione allo snervamento di calcolo
<b>Geometria</b>						
d <sub>x</sub>	=	<b>2.95</b>	2.95	2.95	m	altezza utile longitudinale
d <sub>y</sub>	=	<b>3.95</b>	3.95	3.95	m	altezza utile trasversale
A <sub>c</sub>	=	<b>10.88</b>	10.88	10.88	m <sup>2</sup>	area sezione trasversale
L	=	21.46	21.46	21.46	m	altezza elemento
J <sub>x</sub>	=	<b>13.63</b>	13.63	13.63	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia trasversale
J <sub>y</sub>	=	<b>7.22</b>	7.22	7.22	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia longitudinale
i <sub>x</sub>	=	0.81	0.81	0.81	m <sup>2</sup>	raggio d'inerzia longitudinale
i <sub>y</sub>	=	1.12	1.12	1.12	m <sup>2</sup>	raggio d'inerzia trasversale
A <sub>s</sub>	=	<b>51698</b>	51698	51698	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale totale disposta nella sezione
ω	=	0.13	0.13	0.13		rapporto meccanico di armatura
α <sub>x</sub>	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00		coefficiente di vincolo longitudinale
α <sub>y</sub>	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00		coefficiente di vincolo trasversale
L <sub>0x</sub>	=	42.92	42.92	42.92	m	lunghezza libera d'inflessione longitudinale
L <sub>0y</sub>	=	42.92	42.92	42.92	m	lunghezza libera d'inflessione trasversale
λ <sub>x</sub>	=	52.7	52.7	52.7		snellezza longitudinale
λ <sub>y</sub>	=	38.3	38.3	38.3		snellezza trasversale
λ	=	<b>52.7</b>	<b>52.7</b>	<b>52.7</b>		snellezza massima
<b>Eccentricità</b>						
ϑ <sub>0</sub>	=	<b>0.005</b>	<b>0.005</b>	<b>0.005</b>		
α <sub>h</sub>	=	0.67	0.67	0.67		
α <sub>m</sub>	=	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>		
ϑ <sub>i</sub>	=	0.003	0.003	0.003		
e <sub>ix</sub>	=	0.07	0.07	0.07	m	eccentricità aggiuntiva longitudinale

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 51 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$e_{iy}$  = 0.07 0.07 0.07 m eccentricità aggiuntiva trasversale

#### Sollecitazioni

$N_{Ed}$	=	33395.9	<b>30753.0</b>	<b>19751.3</b>	kN	sforzo normale di calcolo
$M_{1,x}$	=	<b>17924.3</b>	32459.3	<b>3562.0</b>	kN*m	momento flettente trasversale del primo ordine
$M_{2,x}$	=	17924.3	32459.3	3562.0	kN*m	momento flettente trasversale del primo ordine
$M_{1,y}$	=	0.0	0.0	0.0	kN*m	momento flettente longitudinale del primo ordine
$M_{2,y}$	=	<b>3366.8</b>	<b>3366.8</b>	22933.8	kN*m	momento flettente longitudinale del primo ordine
$M_{01,x}$	=	20313	34659	4975	kN*m	minimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{02,x}$	=	20313	34659	4975	kN*m	massimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{01,y}$	=	2388.9	2199.9	1412.9	kN*m	minimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{02,y}$	=	5755.7	5566.7	24346.7	kN*m	massimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{0Ed,x}$	=	20313.2	34659.2	4974.9	kN*m	momento flettente di calcolo trasversale equivalente
$M_{0Ed,y}$	=	4409.0	4219.9	15173.2	kN*m	momento flettente di calcolo longitudinale equivalente

#### Valutazione della snellezza limite

A	=	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	
B	=	1.12	1.12	1.12	coefficiente funzione del rapporto meccanico di armatura
C	=	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	coefficiente funzione del rapporto dei momenti flettenti alle estremità (=0.7 se il rapporto non è noto)
n	=	0.22	0.20	0.13	forza assiale adimensionale
$\lambda_{lim}$	=	23.6	24.6	30.7	snellezza limite
		NO	NO	NO	

#### Buckling

$n_u$	=	1.13	1.13	1.13	
$n_{bal}$	=	<b>0.40</b>	0.40	0.40	
$K_r$	=	1.00	1.00	1.00	coefficiente correttivo funzione del carico assiale
$\varphi(\infty, t_0)$	=	<b>2.00</b>	2.00	2.00	coefficiente di viscosità a tempo infinito
c	=	9.87	9.87	9.87	fattore funzione della distribuzione della curvatura

#### Buckling longitudinale

$M_{SLE}/M_{SLU}$	=	<b>0.74</b>	0.74	0.74	rapporto momento SLE/momento SLU
$\varphi_{eff,x}$	=	1.48	1.48	1.48	coefficiente di viscosità efficace
$\beta_x$	=	0.14	0.14	0.14	
$K_{\varphi x}$	=	1.21	1.21	1.21	coefficiente che tiene conto della viscosità
$(1/r_0)_x$	=	0.0014	0.0014	0.0014	
$(1/r)_x$	=	0.0017	0.0017	0.0017	curvatura longitudinale
$e_{2x}$	=	0.32	0.32	0.32	m inflessione longitudinale
$M_{2y}$	=	10822.0	9965.6	6400.4	kNm momento nominale del 2° ordine longitudinale
$M_{Edy}$	=	15231.0	14185.5	21573.6	kNm momento di progetto longitudinale

#### Buckling trasversale

$M_{SLE}/M_{SLU}$	=	<b>0.74</b>	0.74	0.74	rapporto momento SLE/momento SLU
$\varphi_{eff,y}$	=	1.48	1.48	1.48	coefficiente di viscosità efficace

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 52 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$\beta_y$	=	0.24	0.24	0.24	
$K_{\theta y}$	=	1.35	1.35	1.35	
$(1/r_0)_y$	=	0.0011	0.0011	0.0011	curvatura trasversale
$(1/r)_y$	=	0.0014	0.0014	0.0014	curvatura trasversale
$e_{2y}$	=	0.27	0.27	0.27	m inflessione trasversale
$M_{2x}$	=	9025.7	8311.4	5338.1	kNm momento nominale del 2° ordine trasversale
$M_{Edx}$	=	29338.9	42970.6	10312.9	kNm momento di progetto trasversale

#### Buckling flessione deviata - verifica geometrica

$\lambda_{max}/\lambda_{min}$	=	1.37	1.37	1.37	rapporto di snellezza massimo (se $\leq 2$ sufficiente verifica a flessione semplice)
$b_{x,eq}$	=	2.82	2.82	2.82	m dimensione longitudinale equivalente
$b_{y,eq}$	=	3.88	3.88	3.88	m dimensione trasversale equivalente
$e_x$	=	0.06	0.07	0.70	m eccentricità longitudinale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_y$	=	0.54	1.06	0.18	m eccentricità trasversale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_{x0}$	=	0.13	0.14	0.77	m eccentricità longitudinale
$e_{y0}$	=	0.61	1.13	0.25	m eccentricità trasversale
$e/b$	=	0.16	0.09	2.22	minimo rapporto eccentricità/dimensioni equivalenti

#### Buckling flessione deviata - verifica semplificata

$N_{Rd}$	=	-	-	173746	kN forza nominale resistente
$a$	=	-	-	1.50	esponente del dominio
$M_{Rdx}$	=	-	-	68338	kNm momento resistente trasversale per pressoflessione retta
$M_{Rdy}$	=	-	-	51476	kNm momento resistente longitudinale per pressoflessione retta
check	=	-	-	0.33	se $< 1$ verifica soddisfatta

## 5.2.2 Verifica di resistenza per l'instabilità

Nelle figure seguenti sono riportate le verifiche di resistenza a presso-flessione deviata per le due pile del viadotto. Le verifiche sono state condotte con l'ausilio del programma V.C.A.S.L.U. così come già illustrato nel paragrafo per le verifiche di resistenza.

Si fa notare che, nella combinazione che massimizza lo sforzo assiale, la verifica è stata condotta in presso-flessione deviata considerando agenti contemporaneamente i due momenti di progetto (trasversali e longitudinali): questa scelta, a favore di sicurezza, è stata fatta per semplificare i calcoli e non realizzare due verifiche in presso-flessione retta.

**PILA 01**

massimo sforzo assiale

massimo momento trasversale

massimo momento longitudinale

**Buckling flessione deviata - verifica semplificata**

$N_{Rd}$	=	177592	kN	forza nominale resistente
$a$	=	1.50		esponente del dominio
$M_{Rdx}$	=	74822	kNm	momento resistente trasversale per pressoflessione retta
$M_{Rdy}$	=	56469	kNm	momento resistente longitudinale per pressoflessione retta
check	=	0.31		se <1 verifica soddisfatta

PILA 02

massimo sforzo assiale

The image shows a screenshot of a structural analysis software interface. The main window is titled "Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_N-max". It displays various input parameters and results for a pile verification.

**Titolo:** Instabilità: presso-flessione deviata

**N° Vertici:** 4 **N° barre:** 136

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-150	-200	1	3.8	-118.1	10
2	150	-200	2	3.8	-118.1	20
3	150	200	3	3.8	-118.1	30
4	-150	200	4	3.8	-118.1	40
			5	3.8	-122.359	16.50845
			6	3.8	132.164	18.46961

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : 33395.9 kN  
 $M_{xEd}$ : 29338.9 kNm  
 $M_{yEd}$ : 15231.0 kNm

**Materiali:** B450C, C28/35

$\epsilon_{su}$ : 67.5‰,  $\epsilon_{c2}$ : 2‰,  $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5‰,  $E_s$ : 200'000 N/mm²,  $f_{cd}$ : 15.87,  $E_s/E_c$ : 15,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8,  $\sigma_{s,adm}$ : 1.957‰,  $\sigma_{c,adm}$ : 11,  $\tau_{co}$ : 0.6667,  $\tau_{c1}$ : 1.971

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+, Metodo n

**Tipo flessione:** Retta, Deviata

**Calcola MRd** **Dominio Mx-My**

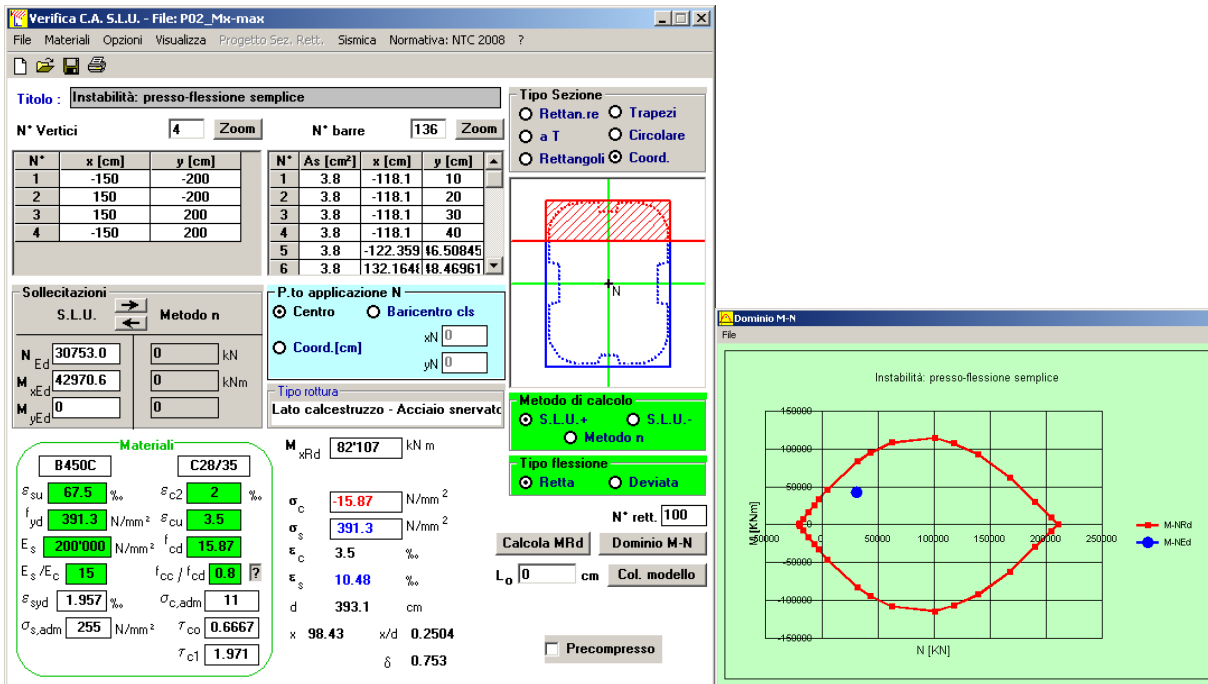
**Calcolo MRd:**  $M_{xRd}$ : 67'591 kNm,  $M_{yRd}$ : 35'761 kNm,  $\sigma_c$ : -15.87 N/mm²,  $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²,  $\epsilon_c$ : 3.5‰,  $\epsilon_s$ : 4.985‰,  $d$ : 458.9 cm,  $x$ : 189.3,  $x/d$ : 0.4125,  $\delta$ : 0.9556

**Dominio Mx-My:** Instabilità: presso-flessione deviata - NEd = 33395.9 kN. The diagram shows a moment interaction diagram with axes  $M_x$  (kNm) and  $M_y$  (kNm). A red polygon represents the  $M_x-M_y$  interaction, and a blue dot represents the  $M_x-M_y$  design point. A pink vector is also shown.

**Valori:**  $M_{xEd}$ : 29338.9 kNm,  $M_{yEd}$ : 15231.0 kNm,  $\rho_M$ : 0.4323,  $M_{xRd}$ : 67591,  $M_{yRd}$ : 35761



massimo momento trasversale



massimo momento longitudinale

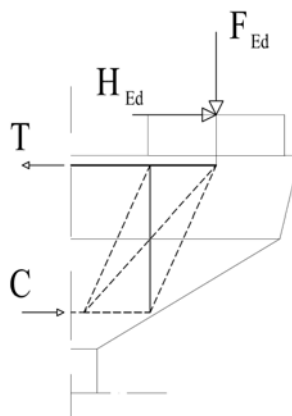
**Buckling flessione deviata - verifica semplificata**

$N_{Rd}$	=	173746 kN	forza nominale resistente
$a$	=	1.50	esponente del dominio
$M_{Rdx}$	=	<b>68338</b> kNm	momento resistente trasversale per pressoflessione retta
$M_{Rdy}$	=	<b>51476</b> kNm	momento resistente longitudinale per pressoflessione retta
check	=	<b>0.33</b>	se <1 verifica soddisfatta

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 56 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 6 VERIFICA DEL PULVINO

Il dimensionamento dell'armatura del pulvino è stato eseguito ipotizzando un meccanismo resistente tirante-puntone, seguendo le indicazioni dell' EC2.



Tale dimensionamento viene eseguito prendendo a riferimento due distinte condizioni di carico: la prima relativa alla massima azione verticale trasmessa dall'impalcato assieme alla corrispondente azione trasversale; la seconda relativa alla massima azione trasversale ed alla corrispondente azione verticale.

### RIEPILOGO Pulvini più sollecitati combinazione

	Nmax	Vmax
Fz	13451	<b>8615</b>
V	<b>294</b>	477
	<b>D3</b>	<b>D3</b>

Si riporta di seguito il dettaglio dei calcoli di verifica.

### Bridge Cap - Strut & Tie Model (calcolo mensole tozze con $a < z/2$ )

#### Materiali

$R_{ck}$	=	35	35	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ck}$	=	29.05	29.05	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{cd}$	=	16.5	16.5	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{yd}$	=	<b>391.3</b>	<b>391.3</b>	MPa	tensione di snervamento di calcolo
$\beta_1$	=	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>		coefficiente per la resistenza del nodo compresso
$\sigma_{1Rd,max}$	=	<b>14.55</b>	<b>14.55</b>	MPa	resist a compr per nodi compressi

#### Mensola

	D3	D3		
$F_{Ed}$	=	13451	8615	kN azione verticale di calcolo appoggio
$H_{Ed}$	=	294	477	kN azione orizzontale di calcolo appoggio

#### Geometria

$a_c$	=	<b>1075</b>	1075	mm	distanza asse appoggio estradosso pila
B	=	<b>3000</b>	3000	mm	larghezza pulvino
$h_c$	=	<b>3200</b>	3200	mm	altezza pulvino
c	=	<b>50</b>	50	mm	copriferro
s	=	<b>600</b>	600	mm	altezza dente estradosso pulvino
$b_1$	=	<b>1100</b>	1100	mm	larghezza baggiolo

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 57 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$b_2$	=	<b>1100</b>	1100	mm	lunghezza baggiolo
$b_{3,max}$	=	<b>300</b>	300	mm	altezza baggiolo (massima: a favore di sicurezza)
$d$	=	3150	3150	mm	altezza utile
$z$	=	2520	2520	mm	braccio della coppia interna
$x_1$	=	308.2	197.4	mm	larghezza biella compressa
$y_1$	=	630.0	630.0	mm	altezza biella compressa
$a$	=	1229.1	1173.7	mm	distanza tra $F_{Ed}$ e asse larghezza pila collaborante
$a_H$	=	950	950	mm	distanza tra $H_{Ed}$ e armatura

#### Verifica puntone e tirante principale (armatura orizzontale)

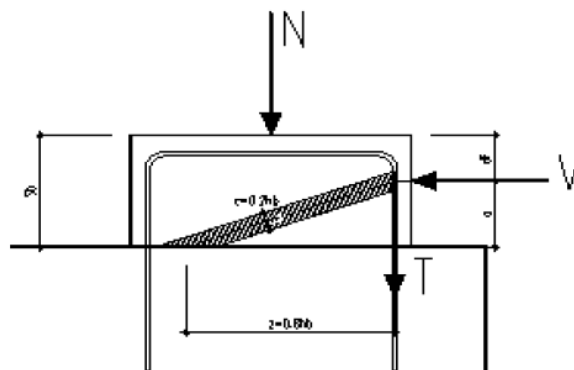
$C$	=	6671	4192	kN	risultante di compressione
$T$	=	6965	4669	kN	risultante di trazione
$\sigma_c$	=	<b>1.76</b>	<b>1.11</b>	MPa	tensione di compressione nel puntone
FS	=	8.24	13.12		
$n$	=	<b>40</b>	40		numero ferri superiore
$\emptyset$	=	<b>24</b>	24	mm	diametro armatura superiore
$A_s$	=	18095.6	18095.6	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
$\sigma_s$	=	<b>384.90</b>	<b>258.02</b>	MPa	tensione di trazione nel tirante
FS	=	1.02	1.52		

#### Verifica tirante secondario (armatura verticale)

		orizz	orizz		disposizione staffe
$F_{wd}$	=	4124	2732	kN	risultante forza di taglio
$n_w$	=	<b>8</b>	8		numero staffe
$s_w$	=	<b>200</b>	200	mm	passo staffe
$\emptyset_w$	=	<b>18</b>	18	mm	diametro staffe
$k_2$	=	<b>0.25</b>	0.25		coefficiente per l'armatura a taglio minima (0.25 se orizzontale 0.5 se verticale)
$A_{s,ink}$	=	4523.9	4523.9	mm <sup>2</sup>	armatura minima a taglio
$A_{sw}$	=	12510.7	11946.7	mm <sup>2</sup>	armatura di progetto
$\sigma_s$	=	<b>329.61</b>	<b>228.67</b>	MPa	tensione di trazione staffe
FS	=	1.19	1.71		

## 6.1 VERIFICA BAGGIOLI

La verifica è condotta considerando un meccanismo resistente tirante-puntone, seguendo le indicazioni dell'EC2, secondo quanto già fatto per il pulvino.



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 58 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

Inoltre, viene effettuata la verifica dell'armatura orizzontale considerando le forze di fenditura secondo quanto indicato nelle raccomandazioni FIP-CEB

Nella verifica della pressione di contatto si può osservare che le pressioni possono raggiungere valori molto elevati, prossimi a quelli della resistenza del calcestruzzo, a patto però che l'area caricata sia opportunamente distanziata dal bordo del calcestruzzo. In tal caso la diffusione del carico all'interno dell'elemento in calcestruzzo genera tensioni di trazione perpendicolari alla direzione del carico e bisogna predisporre un'opportuna armatura. L'armatura può essere calcolata mediante la seguente formulazione (FIP-CEB):

$$T = \frac{N}{3.3} \cdot \left( \frac{b - b_0}{b} \right)$$

in cui:

N = carico concentrato all'appoggio

b = larghezza del baggio

b<sub>0</sub> = larghezza dell'appoggio

#### Bridge Cap - Strut & Tie Model (calcolo mensole tozze con a < z/2)

##### Materiali

R <sub>ck</sub>	=	45	45	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f <sub>ck</sub>	=	37.35	37.35	MPa	resistenza caratteristica cubica
f <sub>cd</sub>	=	21.2	21.2	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f <sub>yd</sub>	=	391.3	391.3	MPa	tensione di snervamento di calcolo
β <sub>1</sub>	=	1.00	1.00		coefficiente per la resistenza del nodo compresso
σ <sub>1Rd,max</sub>	=	18.00	18.00	MPa	resist a compr per nodi compressi

##### Mensola

		D3	D3		
F <sub>Ed</sub>	=	13451	8615	kN	azione verticale di calcolo appoggio
H <sub>Ed</sub>	=	294	477	kN	azione orizzontale di calcolo appoggio

##### Geometria

b <sub>1</sub>	=	1100	1100	mm	larghezza baggio
b <sub>2</sub>	=	1100	1100	mm	lunghezza baggio
b <sub>3,max</sub>	=	300	300	mm	altezza baggio (massima: a favore di sicurezza)
b <sub>0</sub>		<b>950</b>	950	mm	larghezza appoggio
c	=	<b>30</b>	30	mm	copriferro
d	=	1070	1070	mm	altezza utile
z	=	856	856	mm	braccio della coppia interna
x <sub>1</sub>	=	14.8	24.1	mm	larghezza biella compressa
y <sub>1</sub>	=	214.0	214.0	mm	altezza biella compressa
a	=	307.4	312.0	mm	
α	=	0.34	0.35	rad	

##### Verifica puntone e tirante principale (armatura orizzontale)

C	=	312	508	kN	risultante di compressione
T	=	105	174	kN	risultante di trazione

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 59 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$\sigma_c$	=	0.66	1.08	MPa	tensione di compressione nel puntone
FS	=	27.17	16.70		
$n$	=	6	6		numero ferri superiore
$\emptyset$	=	14	14	mm	diametro armatura superiore
$A_s$	=	923.6	923.6	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
$\sigma_s$	=	114.15	188.25	MPa	tensione di trazione nel tirante
FS	=	3.43	2.08		

#### Verifiche a fenditura (armatura verticale)

T	=	556	356	kN	risultante forza di taglio
$A_s$	=	1420.5	1420.5	mm <sup>2</sup>	armatura necessaria
$n_{str}$	=	2	2		numero strati
$n_{br}$	=	8	8		numero bracci x strato
$\emptyset_w$	=	14	14	mm	diametro staffe
$A_{sw}$	=	2463.0	2463.0	mm <sup>2</sup>	armatura di progetto
FS	=	1.73	1.73		

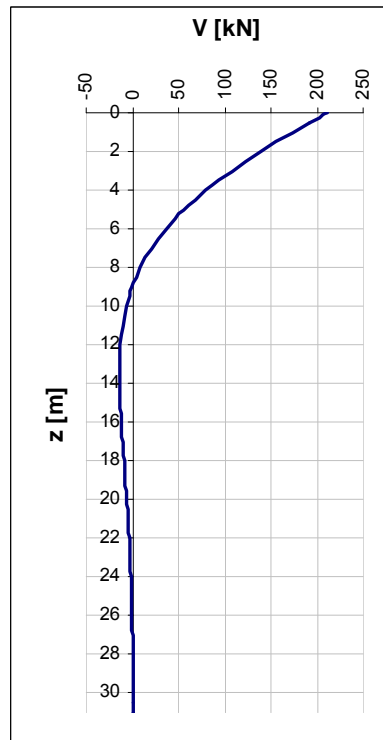
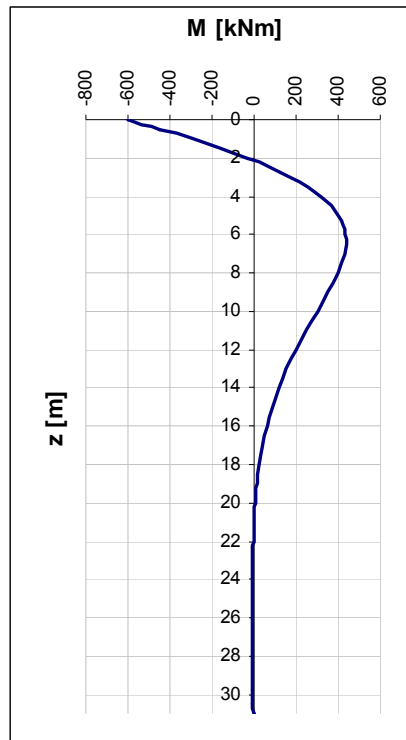
## 7 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

### 7.1 VERIFICHE STRUTTURALI

Per il calcolo delle sollecitazioni flettenti e taglianti agenti lungo il fusto del palo si adotta lo schema di palo con la testa impedita di ruotare, ma libera di traslare per effetto dell'azione orizzontale ivi applicata, ed immerso in un terreno schematizzato alla Winkler. Per la determinazione della lunghezza elastica del palo,  $\lambda$ , si adotta l'espressione di Zimmerman.

Le verifiche strutturali sono condotte sul palo più sollecitato della carreggiata sinistra. Nel seguito si riportano i calcoli eseguiti per la determinazione dei momenti massimi e gli andamenti delle sollecitazioni taglianti e flettenti del palo più caricato.

E	=	31476 MPa	modulo elastico calcestruzzo
D	=	<b>1500</b> mm	diametro palo
J	=	0.2485 m <sup>4</sup>	momento d'inerzia del palo
K	=	<b>13000</b> kN/m <sup>3</sup>	costante di reazione del terreno
B	=	2.25 m	larghezza efficace del palo
E <sub>s</sub>	=	29250 kN/m <sup>2</sup>	modulo di elasticità del terreno
L0	=	5.72 m	lunghezza elastica del palo
h	=	<b>0.00</b> m	altezza tratto libero
V	=	<b>210.0</b> kN	taglio alla testa del palo
M <sub>max</sub>	=	<b>600.5</b> kNm	massimo momento flettente
d <sub>max</sub>	=	1.26 mm	spostamento massimo in testa
			profondità di calcolo momento flettente
z2	=	<b>6.00</b> m	
M(z2)	=	<b>435.9</b> kNm	momento flettente alla profondità z
			profondità di calcolo momento flettente
z3	=	<b>18.00</b> m	
M(z3)	=	<b>25.5</b> kNm	momento flettente alla profondità z



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 61 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 7.1.1 S.L.U. – Resistenza: presso-flessione

La verifica di resistenza è condotta sul palo più sollecitato della carreggiata sinistra. Il momento ultimo, calcolato con il programma VcaSLU, è determinato in funzione della minima azione normale associata. Si riporta nel seguito la tabella riassuntiva delle verifiche svolte:

	Z <sub>in</sub> [m]	Z <sub>in</sub> [m]	c' [cm]	Φ [mm]	n	s [cm]	M <sub>Ed</sub> [kN*m]	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>res</sub> [kN*m]	
gabbia n.1	-1.1	10.9	5	22	16	27.5	600.5	2814.0	2935.0	OK
gabbia n.2	9.9	20.9	5	22	16	27.5	435.9	2814.0	2935.0	OK
gabbia n.3	19.9	30.9	5	22	16	27.5	25.5	2814.0	2935.0	OK

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window is titled 'Verifica C.A. S.L.U. - File:'. The menu bar includes 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez, Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2008'. The interface is divided into several sections:

- Sezione circolare cava:** Raggio esterno: 75 [cm], Raggio interno: 0 [cm], N° barre uguali: 16, Diametro barre: 2.2 [cm], Copriferro (baric.): 5 [cm].
- Tipologia:** Tipo Sezione:  Rettan.re,  Trapezi,  a T,  Circolare,  Rettangoli,  Coord.
- Sollecitazioni:** Metodo n: S.L.U. (selected), Metodo n. N<sub>Ed</sub>: 2814, M<sub>xEd</sub>: 0, M<sub>yEd</sub>: 0.
- P.to applicazione N:**  Centro,  Baricentro cls,  Coord.[cm].
- Materiali:** B450C and C25/30. Properties include ε<sub>su</sub>: 67.5‰, f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>, E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm<sup>2</sup>, ε<sub>syd</sub>: 1.957‰, σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup>, ε<sub>c2</sub>: 2‰, ε<sub>cu</sub>: 3.5‰, f<sub>cd</sub>: 14.17, σ<sub>c,adm</sub>: 9.75, τ<sub>co</sub>: 0.6, τ<sub>c1</sub>: 1.829.
- Metodo di calcolo:**  S.L.U.+,  S.L.U.-,  Metodo n.
- Tipologia flessione:**  Retta,  Deviata.
- Altri parametri:** Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato; M<sub>xRd</sub>: 2'935 kN m; σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>, σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>, ε<sub>c</sub>: 3.5‰, ε<sub>s</sub>: 9.939‰, d: 145 cm, x: 37.76, x/d: 0.2604, δ: 0.7655.

I pali della carreggiata sinistra del viadotto in esame sono armati con 16Ø22, ovvero il minimo di normativa richiesto. Le verifiche risultano soddisfatte.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 62 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### 7.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

La verifica a taglio risulta soddisfatta se:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

in cui:

$V_{Ed}$ : taglio di calcolo

$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$ : taglio resistente

$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d_e \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$ : resistenza di calcolo a taglio trazione

$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d_e \cdot b_{we} \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)}$ : resistenza di calcolo a taglio compressione

dove:

$d_e = 0.45 \cdot D + 0.64 \cdot (d - D/2)$ : altezza utile equivalente della sezione

$D$ : diametro della sezione

$d$ : altezza utile della sezione

$b_{we} = 0.9 \cdot D$ : base equivalente della sezione

$A_{sw}$ : area dell'armatura trasversale

$s$ : interasse tra due armature trasversali consecutive

$\alpha_c$ : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$ : resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

Nel seguito si riportano i calcoli effettuati:

#### Sollecitazioni

$V = 210.0$  kN      taglio di calcolo  
 $N = 2814.0$  kN      sforzo assiale di calcolo

#### Geometria

$D = 1500$  mm      diametro sezione  
 $d = 1450$  mm      altezza utile  
 $d_e = 1123$  mm      altezza utile equivalente  
 $b_{we} = 1350$  mm      base equivalente

#### Materiali

$R_{ck} = 30$  MPa      resistenza caratteristica cubica  
 $f_{ck} = 25$  MPa      resistenza caratteristica cilindrica  
 $\gamma_c = 1.50$       coefficiente parziale di sicurezza  
 $\alpha_{cc} = 0.85$       coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata  
 $f_{cd} = 14.17$  MPa      resistenza di calcolo a compressione



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 63 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$f_{cd}$	=	7.08	resistenza ridotta
$\gamma_s$	=	1.15	MPa coefficiente di sicurezza acciaio
$f_{yk}$	=	450.00	MPa tensione caratteristica di snervamento acciaio
$f_{yd}$	=	391.30	MPa tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

#### Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio

$\varnothing_w$	=	10	mm	di diametro dell'armatura a taglio
$\alpha$	=	90	°	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	300	mm	passo staffe in direzione longitudinale
$n_{br}$	=	2		numero bracci
$A_{sw}$	=	157.08	mm <sup>2</sup>	area resistente dell'armatura a taglio
$ctg\vartheta$	=	2.50		inclinazione delle bielle di calcestruzzo
$\sigma_{cp}$	=	1.592	MPa	tensione media di compressione nella sezione
$\alpha_c$	=	1.11		coefficiente maggiorativo per la presenza di sforzo assiale
$V_{Rsd}$	=	517.7	kN	resistenza a taglio trazione
$V_{Rcd}$	=	3707.3	kN	resistenza a taglio compressione
$V_{Rd}$	=	517.7		resistenza a taglio
FS	=	2.47		

Le verifiche a taglio sono soddisfatte disponendo delle armature a taglio a spirale  $\varnothing 10/30$ .

#### 7.1.3 S.L.E. – Fessurazione

La verifica a fessurazione prescritta al §4.1.2.2.4 dell'NTC08 è condotta per la combinazione di carico frequente e per la combinazione di carico quasi permanente. Le combinazioni di carico sono considerate in corrispondenza del palo più sollecitato della carreggiata SX del viadotto in esame. Per la verifica a fessurazione sono state considerate:

- Condizioni ambientali ordinarie;
- Armature poco sensibili.

Le sollecitazioni più gravose per le combinazioni di carico sono:

#### Sollecitazioni agenti

		combinazione			
		Freq	QP		
L0	=	5.72	5.72	m	lunghezza elastica del palo
N	=	3281	4366	kN	sforzo assiale
V	=	31	18	kN	taglio alla testa del palo
$M_{max}$	=	89	51	kN*m	massimo momento flettente

La sezione di calcolo del palo risulta essere sempre compressa. Per tale motivo non si procede al calcolo dell'apertura delle fessure. A conferma di quanto detto si riportano le schermate di VcaSLU con le combinazioni analizzate.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: SANFILIPPO**

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

**Titolo:** COMBINAZIONE FREQUENTE

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 75 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2.2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 3 3281 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 31 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

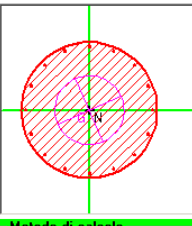
**Materiali**

**B450C** **C25/30**

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 9.75  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6  
 $\tau_{c1}$ : 1.829

$\sigma_c$ : -1.856 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0.1267 ‰

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso



**Verifica C.A. S.L.U. - File: SANFILIPPO**

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

**Titolo:** COMBINAZIONE QUAISI PERMANENTE

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 75 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2.2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 3 4366 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 18 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

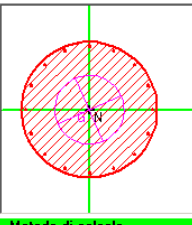
**Materiali**

**B450C** **C25/30**

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14.17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 9.75  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.6  
 $\tau_{c1}$ : 1.829

$\sigma_c$ : -2.405 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0.1731 ‰

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 65 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

#### 7.1.4 S.L.E. – Limitazione delle tensioni

In accordo con quanto previsto dalle NTC al punto 4.1.2.2.5, si verifica che le massime tensioni agenti nel calcestruzzo e nell'acciaio in fase di esercizio per la combinazione caratteristica e per quella quasi permanente siano inferiori ai massimi valori consentiti (per il calcestruzzo, compressione:  $0,60 f_{ck}$  in combinazione caratteristica e  $0,40 f_{ck}$  in combinazione quasi permanente; per l'acciaio:  $0,80 f_{yk}$  in combinazione caratteristica). Le tensioni sono state ottenute con la stessa metodologia utilizzata per le verifiche di fessurazione. Le analisi sono state condotte sul palo più sollecitato.

#### Materiali

Rck	=	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	25	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{yk}$	=	450.0	MPa	resistenza caratteristica di snervamento cilindrica

combinazione  
Rara      Quasi  
            Permanente

#### Sollecitazioni agenti

L0	=	<b>5.72</b>	<b>5.72</b>	m	lunghezza elastica del palo
N	=	<b>2929</b>	<b>4366</b>	kN	sforzo assiale
V	=	<b>75</b>	<b>18</b>	kN	taglio alla testa del palo
$M_{max}$	=	215	51	kN*m	massimo momento flettente

#### Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

$\sigma_{c,max}$	=	15.00	11.25	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$	=	<b>1.80</b>	<b>2.50</b>	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
		<b>OK</b>	<b>OK</b>		

#### Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

$\sigma_{s,max}$	=	360	[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$	=	<b>0.00</b>	[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
		<b>OK</b>		

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 66 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 7.2 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

Nella seguente tabella si riportano i parametri fisico-meccanici dei terreni interessati dai pali di fondazione e adottati nel seguito per le verifiche geotecniche. Tali parametri derivano dal lavoro di caratterizzazione riportato nella relazione geotecnica a corredo del presente progetto esecutivo.

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
peso secco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>18.5</b>	<b>21.6</b>	<b>20.8</b>
peso saturo $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>18.5</b>	<b>21.6</b>	<b>20.8</b>
coesione non dren. $c_u$ <sup>1</sup> (kPa)	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>250</b>
coesione dren. $c'$ (kPa)	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>25</b>
angolo attrito $\phi'$ (°)	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>22</b>

### 7.2.1 S.L.U. – Verifica a carico limite verticale

Il carico limite verticale  $Q_{lim}$  dei singoli pali (trivellati) è stato calcolato in condizioni non drenate e drenate in funzione del diametro  $d$  e della lunghezza  $L$  dei pali. La formula utilizzata è:

$$Q_{lim} = p_{lim} \frac{\pi d^2}{4} + \pi d \int_0^L s_{lim} dz$$

dove le resistenze unitarie alla punta e laterale sono rispettivamente calcolate come:

$$p_{lim,u} = \sigma_{vL} + N_c c_u$$

$$s_{lim,u} = \alpha c_u$$

in condizioni non drenate, e come:

$$p_{lim,d} = N_c c' + N_q \sigma_{vL}'$$

$$s_{lim,d} = k \mu \sigma_{vz}'$$

in condizioni drenate. In queste equazioni, si sono indicate rispettivamente con  $\sigma_{vL}$  e con  $\sigma_{vL}'$  la tensione totale ed efficace agenti in sito alla quota della punta del palo. I valori assunti per il coefficiente di adesione  $\alpha$  sono stati ricavati in funzione della coesione non drenata secondo i valori riportati di seguito:

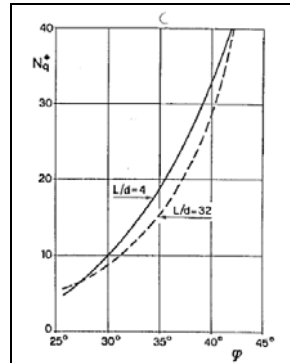
$c_u$ (kPa)	$\alpha$ (-)
<25	0.9
25 ÷ 50	0.8
50 ÷ 75	0.6
≥ 75	0.4

Il coefficiente di tensione orizzontale  $k$  è stato determinato con la formula di Jacky:  $k = 1 - \sin \phi'$ , mentre il coefficiente di attrito vale:  $\mu = \tan \phi'$ .

Si osserva che in condizioni drenate, *al fine di limitare i cedimenti*, si è volutamente considerato un ridotto contributo della resistenza alla punta (è infatti noto che tale resistenza si mobilita per cedimenti prossimi al 25% del diametro del palo) considerando  $N_q$  i valori desunti dal grafico riportato in figura. Riguardo  $N_c$ , si è assunto in condizioni non drenate  $N_c = 9$  e in condizioni drenate  $N_c$  è stato determinato con la relazione:

<sup>1</sup>Con riferimento alle raccomandazioni AGI per pali trivellati in terreni coesivi, la coesione non drenata  $c_u$  è stata limitata superiormente a 250 kPa affinché l'adesione  $s_{lim,u} \leq 100$  kPa.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 67 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc



$$N_c = (N_q - 1) \cdot (\tan(\phi'))^{-1}$$

In tabella si riportano ora i valori dei coefficienti  $N_c$  ed  $N_q$  adottati per i diverse unità geotecniche.

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
coeff. $N_q$ (cond. drenate)	4.0	4.0	4.0
coeff. $N_c$ (cond. drenate)	8.7	7.0	7.4

Per i rapporti opere-terreni considerati nei calcoli, si è fatto riferimento al profilo geotecnico a corredo del presente progetto esecutivo. Nelle verifiche si è considerata l'assenza di falda.

Di seguito le stratigrafie apprese dal profilo geotecnico sotto ogni opera.

STRATIGRAFIA SOTTO SPICCATO FONDAZIONE Pila 1 - CARR. SX				
strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale
		(m)	m	m
1° strato	TRBa_2a	9	0	9
2° strato	TRBa_2b	36	9	45

STRATIGRAFIA SOTTO SPICCATO FONDAZIONE Pila 2 - CARR. SX				
strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale
		(m)	m	m
1° strato	TRBa_1	1	0	1
2° strato	TRBa_2a	8	1	9
3° strato	TRBa_2b	36	9	45

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo;

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato direttamente come  $E_d = E_k \gamma_E$  con  $\gamma_E = \gamma_F$ :

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 68 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

$$E_d = \gamma_E E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

La verifica della relazione  $R_d \geq E_d$  è stata effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (cfr tabelle sotto), rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) qualora i carichi permanenti non strutturali siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_{M1}$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_f$	1,0	1,0

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito dei due approcci progettuali distinti e alternativi consentiti dal DM 14/01/08 per la progettazione geotecnica.

Nel caso specifico, le verifiche geotecniche (GEO) in termini di capacità portante dei pali sono state condotte sulla base dell'approccio 2, con i coefficienti parziali → A1+M1+R3.

La capacità portante dei pali, determinata mediante procedura analitica basata sui parametri geotecnici dei terreni interessati, è stata ridotta del fattore di correlazione  $\zeta$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate. Considerando l'adozione di una sola relazione analitica per la valutazione del carico limite si è assunto il fattore  $\zeta_3$ . Per i terreni interessati dall'opera in esame, il numero di verticali di indagine è 4.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\zeta_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\zeta_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\zeta_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\zeta_4} \right\}$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
$\zeta_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\zeta_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte. Si evidenzia che ai carichi in testa palo si è aggiunto il contributo del peso palo compensato, cioè sottraendo al peso del palo il peso della colonna di terreno (ovvero calcolando il peso del palo con peso specifico  $\gamma_p = \gamma_{c.a} - \gamma_t$ ).

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 69 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

azioni verticali massime in testa palo			caratteristiche pali fondazione			PP. Compensato	carico limite		check dr	check ud
pila/spalla	statica	dinamica	diam. Palo	N° pali	lunghezza palo		Qlim_d	Qlim_u		
	kN	kN	m		m	kN	kN	kN		
Pila1	9061	6161	1.5	6	31	293.43	10948.65	10707.04	ok	ok
Pila2	8907	6039	1.5	6	31	300.83	10868.61	10545.80	ok	ok

## 7.2.2 S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale

Il calcolo del carico limite orizzontale dei pali viene effettuato secondo il metodo proposto da Broms per terreni coesivi. Si riporta di seguito il dettaglio del calcolo del carico limite trasversale del palo.

### CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE IN TERRENI COESIVI

D	=	1.50	m	diametro palo
L	=	31.00	m	lunghezza palo
M <sub>y</sub>	=	2350.0	kNm	momento di plasticizzazione del palo
c <sub>u</sub>	=	250.0	kPa	coesione non drenata

#### palo corto

Q <sub>lim,1</sub>	=	97031.3	kN	carico limite per palo corto
M <sub>max</sub>	=	1613145	kNm	momento massimo

#### palo intermedio

Q <sub>lim,2</sub>	=	36239.4	kN	carico limite per palo intermedio
f	=	10.7	m	
M <sub>max</sub>	=	273751.4	kNm	momento massimo

#### palo lungo

Q <sub>lim,3</sub>	=	1860.9	kN	carico limite per palo lungo
MR		PALO LUNGO		meccanismo di rottura
Q <sub>lim,m</sub>	=	1860.9	kN	carico limite (valore medio)
ξ <sub>3</sub>	=	4.00		fattore di correlazione
Q <sub>lim,k</sub>	=	465.2	kN	carico limite (valore caratteristico)
γ <sub>T</sub>	=	1.30		coefficiente parziale
Q <sub>lim,d</sub>	=	357.9	kN	carico limite (valore di progetto)
F <sub>h</sub>	=	210.0	kN	azione trasversale testa palo
FS		1.70		

## 8 DISPOSITIVI ANTISISMICI

Vengono disposti degli isolatori elastomerici con l'obiettivo di migliorare la risposta della struttura in caso di eventi sismici. Essi consentono sostanzialmente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 70 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento orizzontale della struttura isolata. I dispositivi previsti presentano le seguenti caratteristiche:

V	<b>10980</b>	kN	massimo carico verticale agente sull'isolatore in fase di sisma
F <sub>zd</sub>	<b>21220</b>	kN	massimo carico verticale allo SLU in esercizio
K <sub>e</sub>	<b>3.03</b>	kN/mm	rigidezza orizzontale equivalente
K <sub>v</sub>	<b>2814</b>	kN/mm	rigidezza verticale
d	<b>0.300</b>	m	massimo spostamento dell'isolatore
D <sub>g</sub>	<b>0.900</b>	m	diametro dell'elastomero
W	<b>1049</b>	kg	peso dell'isolatore

A partire dal modello di calcolo globale della carreggiata sinistra (che risulta quella dimensionante per via delle luci maggiori) sono state determinate le massime azioni verticali in fase di sisma (S.L.C.) e statica (S.L.U.) sui singoli isolatori per verificarne la loro portanza.

### AZIONI sugli APPOGGI

Azioni trasmesse dall'impalcato								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	pila
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
D2	G1+G2	0	0	6023	0	0	0	P01
D2	E2	6	0	134	0	0	0	
D2	E3	23	0	70	0	0	0	
D2	Q1	0	3	3725	0	0	0	
D2	Q5	0	310	79	0	0	0	
D2	Q7	60	0	0	0	0	0	
S2	G1+G2	0	0	6023	0	0	0	
S2	E2	6	0	134	0	0	0	
S2	E3	23	0	70	0	0	0	
S2	Q1	0	2	3190	0	0	0	
S2	Q5	0	310	63	0	0	0	
S2	Q7	60	0	0	0	0	0	
D3	G1+G2	0	0	6023	0	0	0	P02
D3	E2	6	0	134	0	0	0	
D3	E3	23	0	85	0	0	0	
D3	Q1	0	2	3726	0	0	0	
D3	Q5	0	311	76	0	0	0	
D3	Q7	60	0	0	0	0	0	
S3	G1+G2	0	0	6023	0	0	0	
S3	E2	6	0	134	0	0	0	
S3	E3	23	0	85	0	0	0	
S3	Q1	0	2	3191	0	0	0	
S3	Q5	0	311	66	0	0	0	
S3	Q7	60	0	0	0	0	0	

Azione sismica (S.L.C.3)								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	pila
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
D2	Q6	99	47	176	0	0	0	P01



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 71 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

S2	Q6	99	47	176	0	0	0	
D3	Q6	101	47	175	0	0	0	P02
S3	Q6	101	47	175	0	0	0	

#### Azioni totali sugli appoggi (Combinazione sismica S.L.C., max Fz)

Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	pila
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
D2	E	152	47	6298	0	0	0	P01
S2	E	152	47	6298	0	0	0	
D3	E	155	47	6290	0	0	0	P02
S3	E	155	47	6290	0	0	0	

#### Azioni totali sugli appoggi (Combinazione fondamentale)

Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	pila
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
D2	SLU	78	283	13340	0	0	0	P01
S2	SLU	78	282	12605	0	0	0	
D3	SLU	78	283	13329	0	0	0	P02
S3	SLU	78	283	12598	0	0	0	

Come si può vedere dalle tabelle precedenti i massimi carichi verticali agenti nelle due combinazioni risultano compatibili con il massimo carico che può sopportare il dispositivo in fase di sisma ed allo S.L.U. Gli spostamenti orizzontali subiti dall'isolatore, dovuti a quei singoli casi di carico che determinano spostamenti sul piano X-Y, sono stati valutati come rapporto tra la sollecitazione prodotta dal caso di carico nella direzione X o Y e la rigidità orizzontale equivalente dell'isolatore. Gli spostamenti nelle due direzioni sono stati infine combinati vettorialmente per le due combinazioni da verificare.

S.L.C.						
	D2	S2	D3	S3		
d <sub>Q6,x</sub>	0.1091	0.1091	0.1114	0.1114	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma longitudinale
d <sub>Q6,y</sub>	0.0514	0.0514	0.0521	0.0521	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma trasversale
d <sub>E2,x</sub>	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	m	dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
d <sub>E3,x</sub>	0.0075	0.0075	0.0076	0.0076	m	dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
d <sub>E,tot</sub>	0.1258	0.1258	0.1282	0.1282	m	spostamento longitudinale totale dell'impalcato
S.L.U.						
d <sub>E2,x</sub>	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	m	dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
d <sub>E3,x</sub>	0.0075	0.0075	0.0076	0.0076	m	dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
d <sub>Q1,y</sub>	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto ai carichi mobili
d <sub>Q5,y</sub>	0.1023	0.1023	0.1027	0.1027	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al vento
d <sub>E,tot</sub>	0.0942	0.0942	0.0944	0.0944	m	spostamento longitudinale totale dell'impalcato
d <sub>giunto</sub>	0.2564				m	massima escursione del giunto

Il massimo spostamento dell'isolatore è pari a 128 mm, inferiore quindi al massimo spostamento consentito all'isolatore, pari a 300 mm.

## 9 ANALISI DEL PLINTO DI FONDAZIONE

Il plinto, per entrambe le carreggiate, presenta pianta rettangolare di dimensioni 12,00×7,50 m ed altezza pari a 2,50 m. Esso è fondato su n. 6 pali Ø1500 mm posti ad interasse di 4.50 m.

Il calcolo delle sollecitazioni è stato eseguito schematizzando il plinto come un piastra rettangolare, vincolata mediante incastri al fusto della pila sovrastante e caricato da forze concentrate in corrispondenza degli assi dei pali, dal peso proprio e dal peso del terreno di ricoprimento del plinto stesso.

Lo schema statico appena descritto è stato risolto mettendo a punto un modello numerico agli elementi finiti che, con buona approssimazione, riproduce l'effettiva geometria e la effettiva distribuzione delle rigidezze della struttura reale. Il modello numerico è composto da elementi finiti di tipo shell. La quasi totalità degli elementi shell impiegati sono di tipo quadrangolare a quattro nodi e tutti includono gli effetti della deformabilità a taglio (formulazione di *Mindlin-Reissner*).

Nelle seguenti figure si illustrano la geometria del plinto e la sua schematizzazione numerica.

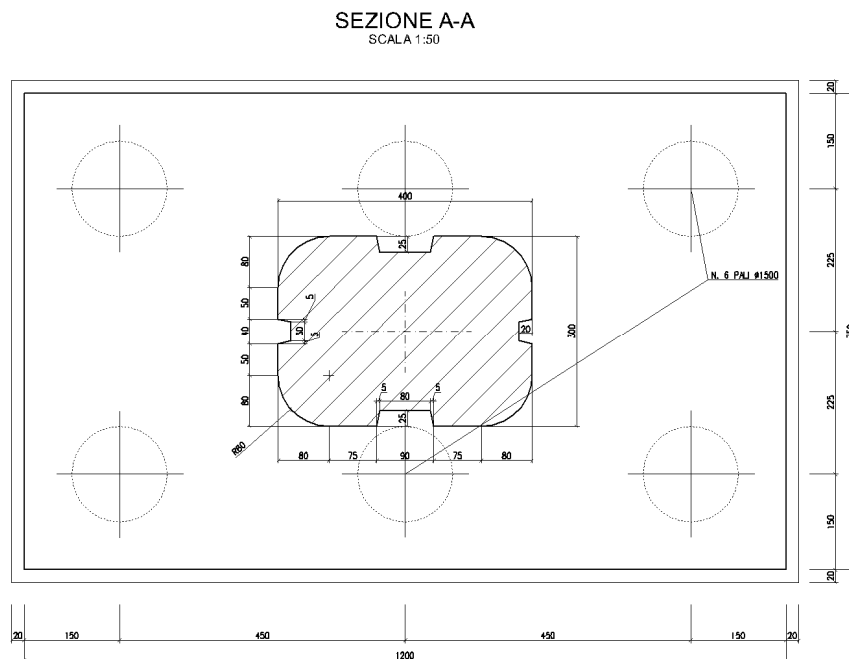
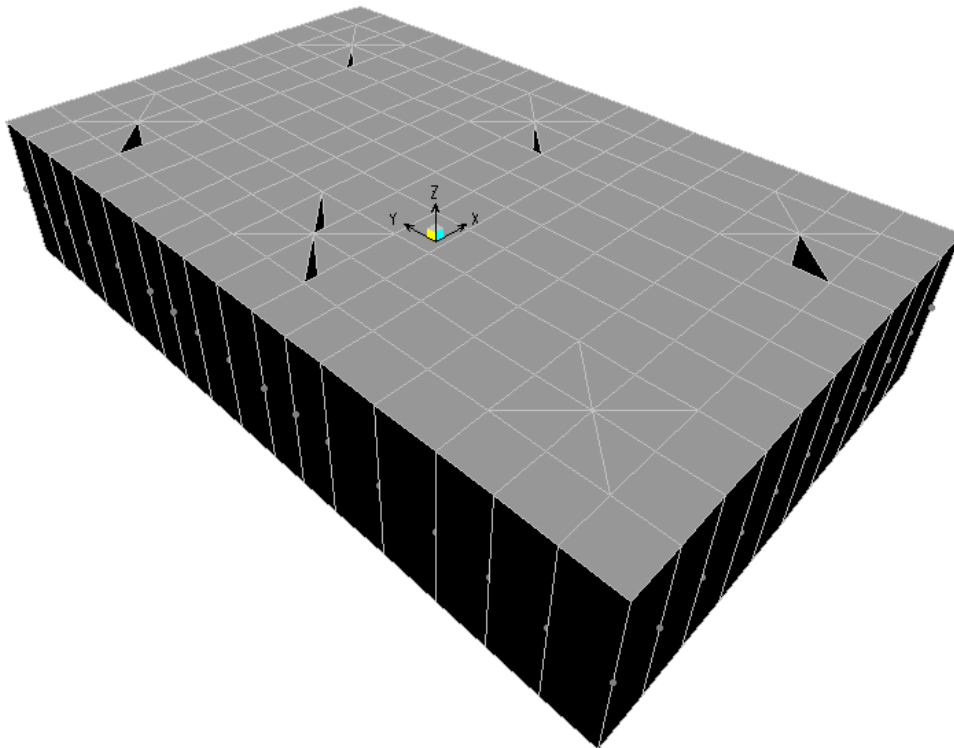
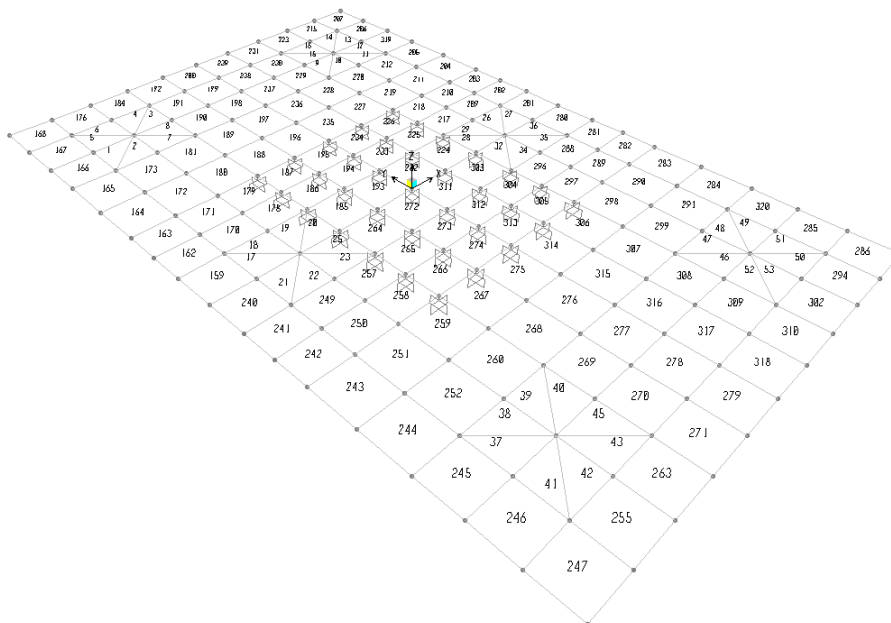


Figura 9-1 - Pianta del plinto di fondazione.



**Figura 9-2 - Modello di calcolo del plinto.**



**Figura 9-3 - Modello numerico con numerazione degli elementi shell.**

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 74 di 84
	Nome file:V105-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 9.1 ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

Il plinto risulta sollecitato da forze concentrate in corrispondenza dei pali. I valori di tali azioni sono quelli determinati ai precedenti paragrafi dedicati all'analisi delle palificate. In particolare, di seguito si riportano le azioni sui pali della pila P01 carreggiata SX, alle quali si fa riferimento per il dimensionamento dei plinti del viadotto San Filippo Neri, in quanto risultano essere le più gravose.

PILA	PALO	SLU-1	SLU-2	SLU-3	SLU-4	SLU-5	SLU-6	SLU-7	SLU-8	SLU-9	SLU-10	SLU-11	SLU-12	SLU-13
P01	1	8607	8485	6836	6713	8872	8749	7100	6977	8657	8534	6885	6762	8855
	2	7482	7359	7439	7317	7236	7114	7194	7071	7597	7474	7554	7431	7412
	3	6357	6234	8043	7920	5601	5478	7287	7165	6537	6414	8223	8100	5970
	4	8167	8232	6395	6461	8431	8497	6659	6725	7404	7469	5632	5697	7602
	5	7042	7107	6999	7064	6796	6861	6753	6818	6343	6409	6301	6366	6159
	6	5916	5982	7603	7668	5161	5226	6847	6912	5283	5349	6970	7035	4716

PILA	PALO	SLU-14	SLU-15	SLU-16	SLU-17	SLU-18	SLU-19	SLU-20	SLU-21	SLU-22	SLU-23	SLU-24	SLU-25
P01	1	8732	7083	6960	8272	8149	6500	6377	8470	8347	6698	6575	8862
	2	7290	7370	7247	7212	7089	7169	7046	7027	6905	6985	6862	7226
	3	5847	7656	7533	6152	6029	7838	7715	5585	5462	7271	7148	5589
	4	7667	5830	5895	7831	7897	6060	6125	8030	8095	6258	6323	8422
	5	6225	6116	6182	6771	6837	6728	6794	6587	6652	6544	6610	6786
	6	4782	6403	6468	5711	5777	7397	7463	5144	5210	6831	6896	5149

PILA	PALO	SLU-26	SLU-27	SLU-28	SLU-29	SLU-30	SLU-31	SLU-32	SLU-33	SLU-34	SLU-35	SLU-36	SLU-37
P01	1	8740	5909	5787	9061	8938	6107	5985	8313	8108	6541	6336	8511
	2	7103	7155	7032	7042	6919	6970	6848	7253	7048	7210	7005	7068
	3	5467	8400	8277	5023	4900	7833	7710	6192	5988	7879	7674	5626
	4	8487	5469	5534	8620	8686	5667	5732	7810	7919	6038	6147	8008
	5	6851	6714	6780	6601	6667	6530	6595	6749	6858	6707	6816	6565
	6	5214	7960	8025	4582	4648	7393	7458	5689	5798	7376	7485	5122

PILA	PALO	SLU-38	SLU-39	SLU-40	SLV-1	SLV-2	SLV-3	SLV-4	SLV-5	SLV-6
P01	1	8306	6739	6534	6161	6076	5817	5732	5263	5178
	2	6864	7025	6821	5921	5835	5120	5035	5022	4937
	3	5421	7312	7107	5680	5594	4424	4339	4781	4696
	4	8117	6236	6345	3281	3327	4626	4672	4188	4233
	5	6674	6522	6631	3041	3086	3929	3975	3947	3992
	6	5231	6809	6918	2800	2845	3233	3278	3706	3752

Tabella 9.1 - Azioni esercitate dai pali nelle combinazioni di carico relative alle verifiche di resistenza.

PILA	PALO	SLEf1	SLEf2	SLEf3	SLEf4	SLEf5	SLEf6	SLEf7	SLEf8
P01	1	5670	5567	5276	5174	4031	3929	3637	3535
	2	5333	5230	5323	5221	4267	4165	4258	4156
	3	4996	4893	5370	5268	4503	4401	4878	4776
	4	5354	5408	4960	5014	3715	3770	3321	3376
	5	5017	5071	5007	5062	3951	4006	3942	3996
	6	4680	4734	5054	5109	4187	4242	4562	4617

Tabella 9.2 - Azioni esercitate dai pali nelle combinazioni di carico Frequenti relative alle verifiche agli SLE.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 75 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

PILA	PALO	SLEp1	SLEp2
P01	1	4718	4633
	2	4718	4633
	3	4718	4633
	4	4415	4461
	5	4415	4461
	6	4415	4461

**Tabella 9.3 - Azioni esercitate dai pali nelle combinazioni di carico Quasi Permanenti relative alle verifiche agli SLE.**

PILA	PALO	SLEc1	SLEc2	SLEc3	SLEc4	SLEc5	SLEc6	SLEc7	SLEc8
P01	1	6063	5961	4882	4780	4425	4323	3244	3141
	2	5342	5240	5314	5211	4277	4175	4248	4146
	3	4621	4519	5745	5643	4129	4026	5253	5151
	4	5747	5802	4566	4621	4109	4163	2928	2982
	5	5026	5081	4998	5052	3961	4015	3932	3987
	6	4305	4359	5429	5483	3813	3867	4937	4991

**Tabella 9.4 - Azioni esercitate dai pali nelle combinazioni di carico Rare relative alle verifiche agli SLE.**

Oltre che dalle azioni trasmesse dai pali il plinto risulta sollecitato dal peso proprio e dal peso del terreno di ricoprimento.

Il peso proprio è stato valutato in maniera automatica dal codice di calcolo una volta definito lo spessore del plinto, pari a 2,50 m, ed il peso specifico del calcestruzzo, assunto pari a 25,0 kN/m<sup>3</sup>.

Il peso del terreno di ricoprimento, coerentemente con quanto riportato nell'analisi della palificata, è stato determinato assumendo uno spessore del terreno stesso di 1,0 m. Quest'ultima azione è stata implementata nel modello di calcolo come un carico di superficie uniformemente distribuito sull'estradosso del plinto, ma al di fuori della superficie di ingombro della sezione di base della pila, di valore pari a:

$$g_2 = 18.0 \times 1.0 = 18.0 \text{ kPa} \quad (\text{peso terreno}).$$

Nelle combinazioni di carico sia il peso proprio del plinto, sia il peso del terreno di ricoprimento, sono stati combinati con le azioni esercitate dai pali impiegando un coefficiente parziale pari a 1.35; nelle combinazioni di carico SLE il coefficiente parziale è stato assunto di valore pari a 1.

## 9.2 VERIFICHE DI RESISTENZA PER TENSIONI NORMALI

Nelle seguenti figure si rappresentano gli involuipi massimi del momento flettente longitudinale ( $M_{11}$ ) e trasversale ( $M_{22}$ ). Tali momenti si intendono positivi se tendono le fibre inferiori del plinto.

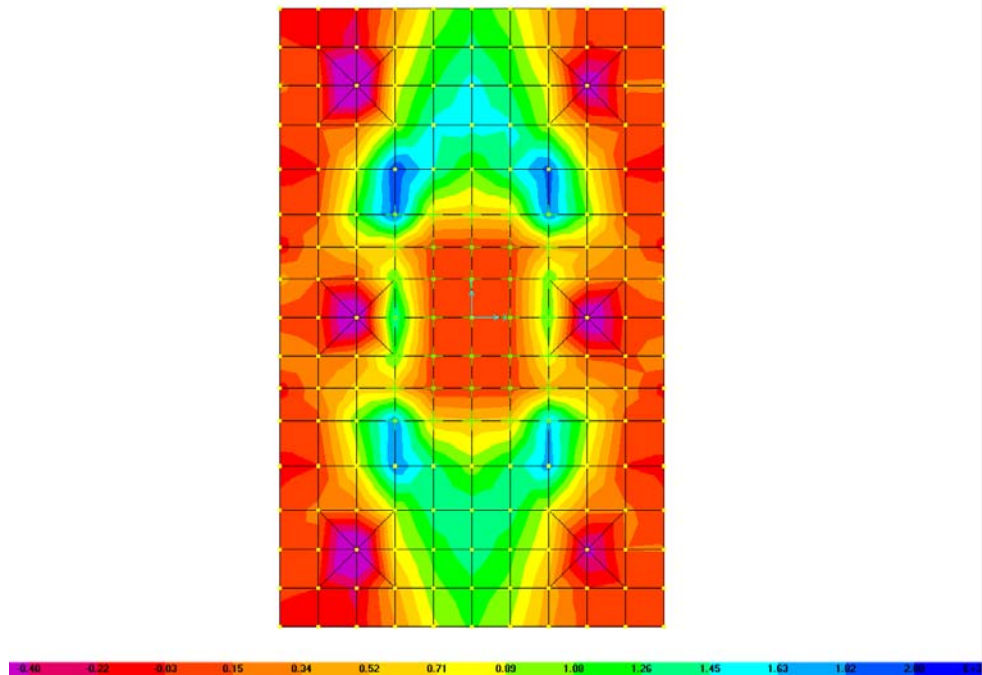


Figura 9-4: Involuppo dei massimi per il momento flettente longitudinale  $M_{11}$

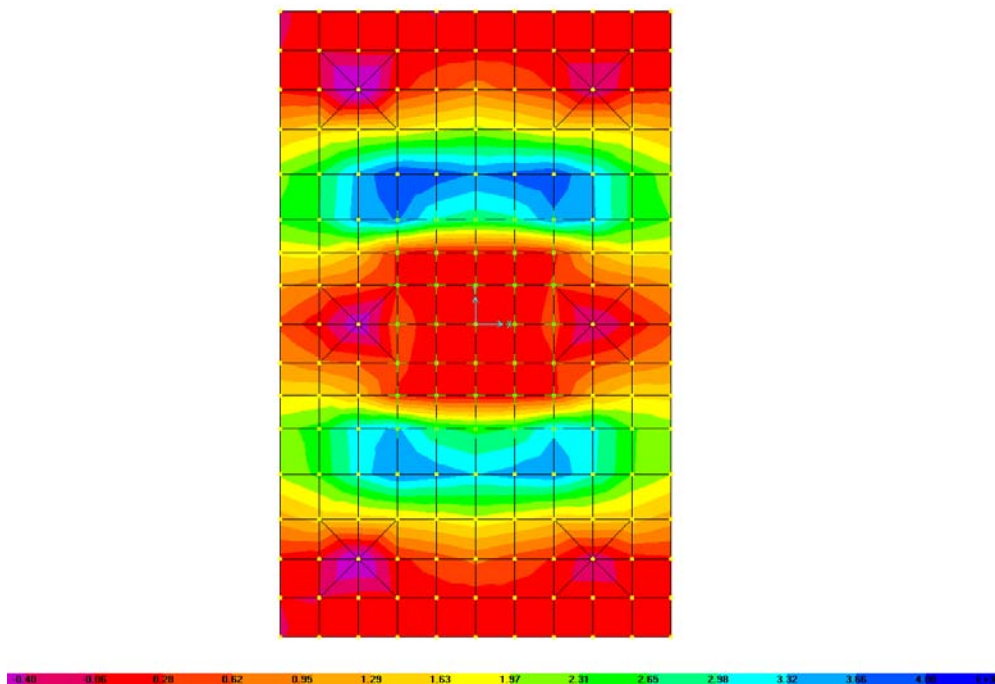


Figura 9-5: Involuppo dei massimi per il momento flettente trasversale  $M_{22}$

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 77 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

Le verifiche sono state condotte facendo riferimento ad una sezione di larghezza unitaria; le sollecitazioni assunte a base delle verifiche sono quelle desunte dalla risoluzione del modello di calcolo del plinto, mediate sulla larghezza di riferimento della sezione oggetto di verifica.

VERIFICA A PRESSO FLESSIONE							
PLINTO DI FONDAZIONE		$A_{res,TOT}$	$M_{Sd}$	$M_{Rd}$	FS		
Momento trasversale M22		[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]			
Arm-inf	10 $\Phi$ 26	53.1	4013	5016	1.25	OK	momento trasversale Mx+=M22
Arm-sup	5 $\Phi$ 20	15.7	230	1496	6.50	OK	momento trasversale Mx-=M22-
Momento longitudinale M11							
Arm-inf	10 $\Phi$ 24	45.2	1971	4283	2.17	OK	momento longitudinale My+=M11+
Arm-sup	5 $\Phi$ 20	15.7	502	1496	2.98	OK	momento longitudinale My-=M11-

L'armatura inferiore posta in direzione trasversale è costituita da barre  $\varnothing 24/10$ , mentre l'armatura superiore è costituita da  $\varnothing 20/20$ . L'armatura inferiore posta in direzione longitudinale è costituita da barre  $\varnothing 26/10$ , mentre l'armatura superiore è costituita da  $\varnothing 20/20$ .

### 9.3 VERIFICHE DI RESISTENZA PER TENSIONI TANGENZIALI

Sulla base delle mappe tensionali generate dal modello di calcolo sono state estrapolate le sollecitazioni di taglio massime V13 e V23. Successivamente, è stata condotta la verifica SLU per tensioni tangenziali riferendosi ad una sezione 1.00 x 2.50 m. Nel seguito si riporta la procedura di calcolo seguita.

#### VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO SEZIONE RETTANGOLARE (NTC 2008)

	plinto	plinto		
	V13max	V23max		
<b>Sollecitazioni</b>				
V	= 2653	3393	kN	taglio
N	= 0	0	kN	sforzo normale (>0 compressione)
<b>Geometria</b>				
B	= 1000	1000	mm	larghezza sezione
H	= 2500	2500	mm	altezza sezione
c	= 50	50	mm	copriferro
d	= 2450	2450	mm	altezza utile
<b>Materiali</b>				
$R_{ck}$	= 35.0	35.0	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	= 28.0	28.0	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_c$	= 1.5	1.5		coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	= 0.9	0.9		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	= 15.9	15.9	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$\gamma_s$	= 1.15	1.15		coefficiente di sicurezza acciaio
$f_{yk}$	= 450.0	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
$f_{yd}$	= 391.3	391.3	MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

**Verifica per elementi sprovvisti di armatura a taglio**

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 78 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO SEZIONE RETTANGOLARE (NTC 2008)

	<b>plinto</b>	<b>plinto</b>		
	V13max	V23max		
$A_{sl}$	= <b>6094.0</b>	<b>6880.0</b>	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale
$\rho_l$	= 0.00244	0.00275		rapporto geometrico di armatura longitudinale
k	= 1.3	1.3		
$v_{min}$	= 0.3	0.3		
$\sigma_{cp}$	= 0.0	0.0	MPa	tensione media calcestruzzo
$\sigma_{cp,ad}$	= 0.0	0.0	MPa	tensione media di compressione adottata (<=0.2fcd)
$V_{Rd}$	= <b>717.0</b>	<b>746.6</b>	kN	taglio resistente
check	= <b>NO</b>	<b>NO</b>		

#### Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio

$\emptyset_w$	= <b>24</b>	<b>24</b>	mm	diametro armatura resistente a taglio
a	= <b>90.0</b>	<b>90.0</b>	°	inclinazione armatura
s	= <b>500</b>	<b>500</b>	mm	interasse armature a taglio
$n_{br}$	= <b>2.0</b>	<b>2.0</b>		numero bracci armatura trasversale
$A_{sw}$	= 904.78	904.78	mm <sup>2</sup>	area armatura trasversale posta nell'interasse s
ctg $\Theta$ (V)	= 16.4	12.8		
ctg $\Theta$	= 2.5	2.5		
$\Theta$	= 22	22	°	inclinazione bielle di calcestruzzo
$V_{Rsd}$	= <b>3903.33</b>	<b>3903.33</b>	kN	taglio resistente armatura
$a_c$	= 1.00	1.00		coefficiente maggiorativo
$f_{cd}$	= 7.93	7.93	MPa	resistenza ridotta
$V_{Rcd}$	= <b>12495.0</b>	<b>12495.0</b>	kN	taglio resistente calcestruzzo
$V_{Rd}$	= <b>3903.3</b>	<b>3903.3</b>	kN	taglio resistente sezione
check	= <b>OK</b>	<b>OK</b>		

L'armatura a taglio per il plinto in progetto sarà costituita da cavallotti 2Ø24/mq.

## 9.4 S.L.E. - VERIFICHE A FESSURAZIONE

Le verifiche in oggetto vengono eseguite confrontando l'apertura delle fessure con l'apertura limite fissata dalle norme. Nell'ipotesi di ambiente aggressivo, l'apertura limite delle fessure vale 0.3 mm per le combinazioni di carico Frequenti e 0.2 mm per le combinazioni di carico Quasi Permanenti

Nel caso in cui il momento di fessurazione della sezione dovesse risultare maggiore del momento agente, non si procederà con la valutazione dell'ampiezza delle fessure, ritenendosi, in tal caso, la verifica automaticamente soddisfatta. Nel seguito si riportano le verifiche per la condizione frequente e quasi permanente.



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 <b>Progetto Esecutivo</b>	<b>Opera: Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 79 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE
	Momento trasversale M11=Mx		Momento longitudinale M22=My	
	inf	sup	inf	sup

**diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione**

$\sigma_s$ [MPa]	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm
	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
160	32	32	32	32
200	25	25	25	25
240	16	16	16	16
280	12	12	12	12
320	10	10	10	10
360	8	8	8	8

**spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione**

$\sigma_s$ [MPa]	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm	w2=0.30 mm
	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
160	300	300	300	300
200	250	250	250	250
240	200	200	200	200
280	150	150	150	150
320	100	100	100	100
360	50	50	50	50

$M_{Ed}$	=	<b>1195</b>	<b>305</b>	<b>2429</b>	<b>155</b>	kNm	Momento di calcolo (fibre tese verso il basso)
$N_{Ed}$	=	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	kN	Sforzo Normale di calcolo (>0 compressione)

	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE
--	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

**Materiali**

Rck	=	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	=	36.00	36.00	36.00	36.00	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	2.77	2.77	2.77	2.77	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm}$	=	2.43	2.43	2.43	2.43	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$\sigma_t$	=	2.31	2.31	2.31	2.31	MPa	tensione limite apertura fessure
n	=	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>		coefficiente di omogeneizzazione armature
n'	=	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		coefficiente di omogeneizzazione cls tesato

**Geometria**

B	=	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	mm	base sezione
H	=	<b>2500</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>	mm	altezza sezione

**Armatura**

$n_1$	=	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		n. tondini inferiori
$\emptyset_1$	=	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	mm	diametro tondini inferiori
$d_1$	=	2450	2450	2450	2450	mm	distanza da lembo compresso
$A_{s1}$	=	4524	1571	5309	1571	mm <sup>2</sup>	area armatura inferiore
$n_2$	=	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>		n. tondini superiori

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	<b>Opera: Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 80 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

		comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE	comb. FREQUENTE		
		Momento trasversale M11=Mx		Momento longitudinale M22=My			
		inf	sup	inf	sup		
$\varnothing_2$	=	20	24	20	26	mm	diametro tondini superiori
$d_2$	=	50	50	50	50	mm	distanza da lembo compresso (copriferro)
$A_{s2}$	=	1571	4524	1571	5309	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
<b>Sollecitazioni</b>							
M	=	1195.0	305.0	2429.0	155.0	kNm	Momento di calcolo (fibre tese verso il basso)
N	=	0.0	0.0	0.0	0.0	KN	Sforzo Normale di calcolo (>0 compressione)
e	=	Inf	Inf	Inf	Inf	mm	eccentricità
<b>Caratteristiche sezione interamente reagente a compressione</b>							
$A_{cis}$	=	2500000	2500000	2500000	2500000	mm <sup>2</sup>	area calcestruzzo
$A_s$	=	6094.7	6094.7	6880.1	6880.1	mm <sup>2</sup>	area armatura
$A_{id}$	=	2.59E+06	2.59E+06	2.60E+06	2.60E+06	mm <sup>2</sup>	area sezione ideale
$d_G$	=	1270.5	1229.5	1275.9	1224.1	mm	distanza baricentro sezione ideale da lembo superiore
$J_{id}$	=	1.43E+12	1.43E+12	1.45E+12	1.45E+12	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia baricentrico sezione ideale
$\rho_{id}$	=	743.5	743.5	746.1	746.1	mm	raggio d'inerzia sezione
$Y_{nocc,s}$	=	820.9	794.4	821.2	787.9	mm	quota punto di nocciolo superiore
<b>Caratteristiche sezione interamente reagente a trazione</b>							
$A_{cis,t}$	=	-	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area calcestruzzo teso omogeneizzato
$A_s$	=	-	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area armatura
$A_{id,t}$	=	-	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area sezione ideale
$d_{G,t}$	=	-	-	-	-	mm	distanza baricentro sezione ideale da lembo superiore
$J_{id,t}$	=	-	-	-	-	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia baricentrico sezione ideale
$\rho_{id,t}$	=	-	-	-	-	mm	raggio d'inerzia sezione
$Y_{nocc,i}$	=	-	-	-	-	mm	quota punto di nocciolo inferiore
<b>Comportamento sezione</b>							
		parzializzata	parzializzata	parzializzata	parzializzata		
<b>Caratteristiche sezione parzializzata</b>							
$Y_n$	=	494.43	269.96	531.81	262.95	mm	distanza asse neutro da lembo compresso
$J_n$	=	3.04E+11	1.22E+11	3.49E+11	1.22E+11	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia sezione parzializzata
$S_n$	=	0.00	0.00	0.00	0.00	mm <sup>3</sup>	momento statico sezione parzializzata
$f(Y_n)=0$	=	-	-	-	-		
<b>Tensioni nei materiali</b>							
$\sigma_c$	=	-1.94	-0.68	-3.71	-0.33	MPa	tensione nel lembo più compresso del cis calcolata nella sezione fessurata
$\sigma_s$	=	115.1	81.9	200.5	41.6	MPa	tensione dell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata
<b>Verifica a fessurazione</b>							
$M_{fess}$	=	2686.1	2599.4	2728.6	2618.0	kNm	momento limite di apertura fessure
$M_{fess} / M$	=	2.25	8.52	1.12	16.89		check1
$w_{max}$	=	0.30	0.30	0.30	0.30	mm	valore limite ampiezza fessure

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 81 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.
	Momento trasversale M11=Mx		Momento longitudinale M22=My	
	inf	sup	inf	sup

**diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione**

$\sigma_s$ [MPa]	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm
	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
160	25	25	25	25
200	16	16	16	16
240	12	12	12	12
280	8	8	8	8
320	6	6	6	6
360	0	0	0	0

**spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione**

$\sigma_s$ [MPa]	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm	w1=0.20 mm
	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
160	200	200	200	200
200	150	150	150	150
240	100	100	100	100
280	50	50	50	50
320	0	0	0	0
360	0	0	0	0

$M_{Ed}$	=	<b>956</b>	<b>244</b>	<b>1943</b>	<b>124</b>	kNm	Momento di calcolo (fibre tese verso il basso)
$N_{Ed}$	=	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	kN	Sforzo Normale di calcolo (>0 compressione)

	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.	comb. QUASI PERM.
--	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Materiali**

$R_{ck}$	=	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	=	36.00	36.00	36.00	36.00	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	=	2.77	2.77	2.77	2.77	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm}$	=	2.43	2.43	2.43	2.43	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$\sigma_t$	=	2.31	2.31	2.31	2.31	MPa	tensione limite apertura fessure
n	=	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>		coefficiente di omogeneizzazione armature
n'	=	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		coefficiente di omogeneizzazione cls tesato

**Geometria**

B	=	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	mm	base sezione
H	=	<b>2500</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>	mm	altezza sezione

**Armatura**

$n_1$	=	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		n. tondini inferiori
$\emptyset_1$	=	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	mm	diametro tondini inferiori
$d_1$	=	2450	2450	2450	2450	mm	distanza da lembo compresso
$A_{s1}$	=	4524	1571	5309	1571	mm <sup>2</sup>	area armatura inferiore
$n_2$	=	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>		n. tondini superiori
$\emptyset_2$	=	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	mm	diametro tondini superiori

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	<b>Opera: Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 82 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

	comb.	comb.	comb.	comb.		
	QUASI PERM.	QUASI PERM.	QUASI PERM.	QUASI PERM.		
	Momento trasversale M11=Mx		Momento longitudinale M22=My			
	inf	sup	inf	sup		
d <sub>2</sub>	= 50	50	50	50	mm	distanza da lembo compresso (copriferro)
A <sub>s2</sub>	= 1571	4524	1571	5309	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
<b>Sollecitazioni</b>						
M	= 956.0	244.0	1943.2	124.0	kNm	Momento di calcolo (fibre tese verso il basso)
N	= 0.0	0.0	0.0	0.0	KN	Sforzo Normale di calcolo (>0 compressione)
e	= Inf	Inf	Inf	Inf	mm	eccentricità
<b>Caratteristiche sezione interamente reagente a compressione</b>						
A <sub>cls</sub>	= 2500000	2500000	2500000	2500000	mm <sup>2</sup>	area calcestruzzo
A <sub>s</sub>	= 6094.7	6094.7	6880.1	6880.1	mm <sup>2</sup>	area armatura
A <sub>id</sub>	= 2.59E+06	2.59E+06	2.60E+06	2.60E+06	mm <sup>2</sup>	area sezione ideale
d <sub>G</sub>	= 1270.5	1229.5	1275.9	1224.1	mm	distanza baricentro sezione ideale da lembo superiore
J <sub>id</sub>	= 1.43E+12	1.43E+12	1.45E+12	1.45E+12	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia baricentrico sezione ideale
ρ <sub>id</sub>	= 743.5	743.5	746.1	746.1	mm	raggio d'inerzia sezione
Y <sub>nocc,s</sub>	= 820.9	794.4	821.2	787.9	mm	quota punto di nocciolo superiore
<b>Caratteristiche sezione interamente reagente a trazione</b>						
A <sub>cls,t</sub>	= -	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area calcestruzzo teso omogeneizzato
A <sub>s</sub>	= -	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area armatura
A <sub>id,t</sub>	= -	-	-	-	mm <sup>2</sup>	area sezione ideale
d <sub>G,t</sub>	= -	-	-	-	mm	distanza baricentro sezione ideale da lembo superiore
J <sub>id,t</sub>	= -	-	-	-	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia baricentrico sezione ideale
ρ <sub>id,t</sub>	= -	-	-	-	mm	raggio d'inerzia sezione
Y <sub>nocc,i</sub>	= -	-	-	-	mm	quota punto di nocciolo inferiore
<b>Comportamento sezione</b>						
	parzializzata	parzializzata	parzializzata	parzializzata		
<b>Caratteristiche sezione parzializzata</b>						
Y <sub>n</sub>	= 494.43	269.96	531.81	262.95	mm	distanza asse neutro da lembo compresso
J <sub>n</sub>	= 3.04E+11	1.22E+11	3.49E+11	1.22E+11	mm <sup>4</sup>	momento d'inerzia sezione parzializzata
S <sub>n</sub>	= 0.00	0.00	0.00	0.00	mm <sup>3</sup>	momento statico sezione parzializzata
f(Y <sub>n</sub> )=0	= -	-	-	-		
<b>Tensioni nei materiali</b>						
σ <sub>c</sub>	= -1.55	-0.54	-2.96	-0.27	MPa	tensione nel lembo più compresso del cls calcolata nella sezione fessurata
σ <sub>s</sub>	= 92.1	65.5	160.4	33.2	MPa	tensione dell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata
<b>Verifica a fessurazione</b>						
M <sub>fess</sub>	= 2686.1	2599.4	2728.6	2618.0	kNm	momento limite di apertura fessure
M <sub>fess</sub> / M	= 2.81	10.65	1.40	21.11		check1
w <sub>max</sub>	= 0.20	0.20	0.20	0.20	mm	valore limite ampiezza fessure

Dai risultati ottenuti emerge che il momento di prima fessurazione della sezione è sempre maggiore del momento di calcolo, non è quindi necessario il calcolo dell'apertura delle fessure.

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 83 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

## 9.5 S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

In accordo con quanto previsto dalle NTC al punto 4.1.2.2.5, si verifica ora che le massime tensioni agenti nel calcestruzzo e nell'acciaio in fase di esercizio per la combinazione caratteristica e per quella quasi permanente siano inferiori ai massimi valori consentiti (per il calcestruzzo, compressione:  $0,60 f_{ck}$  in combinazione caratteristica e  $0,40 f_{ck}$  in combinazione quasi permanente; per l'acciaio:  $0,8 f_{yk}$  in combinazione caratteristica). Definita la massima tensione ammissibile nelle barre e nel calcestruzzo, si considerano per ogni combinazione le condizioni momento flettente e, con l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U., utilizzando un'analisi elastica, si determina lo stato tensionale della sezione.

### Materiali

Rck	=	<b>30</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	<b>25</b>	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{yk}$	=	<b>450</b>	MPa	resistenza caratteristica di snervamento cilindrica

### Momento trasversale M22

**comb. RARA**      **comb. QUASI PERM.**

#### Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

$M_{Edmax}$	=	<b>2634</b>	<b>1943</b>	kNm	momento massimo nella combinazione analizzata
$\sigma_c$	=	15.0	11.3	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$	=	<b>4.0</b>	<b>3.0</b>	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
		3.75	3.75		se >1 verifica soddisfatta
		verifica_ok	verifica_ok		

**comb. RARA**

#### Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

$\sigma_s$	=	360.0	[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$	=	<b>216.0</b>	[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
		1.67		se >1 verifica soddisfatta
		verifica_ok		

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 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Filippo Neri</b>
	Relazione di calcolo Pile – Carreggiata SX
	Pagina 84 di 84
	Nome file:VI05-C-CL004_B.00_relazione_calcolo_pile_SX.doc

### Momento longitudinale M11

**comb. RARA      comb. QUASI PERM.**

#### Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

$M_{Edmax}$	=	<b>1295</b>	<b>956</b>	kNm	momento massimo nella combinazione analizzata	
$\sigma_c$	=	15.0	11.3	[MPa]	massima tensione del cls da normativa	
$\sigma_{c,Sd}$	=	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio	VcaSlu
		7.14	7.50		se >1 verifica soddisfatta	
		verifica_ok	verifica_ok			

**comb. RARA**

#### Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

$\sigma_s$	=	360.0	[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa	
$\sigma_{s,Sd}$	=	<b>124.0</b>	[MPa]	tensione di calcolo dell' acciaio in esercizio	
		2.90		se >1 verifica soddisfatta	VcaSlu
		verifica_ok			

Le verifiche risultano soddisfatte.