

# 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 Giuliano

### Relazione di Calcolo Pile - Carreggiata SX

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12\_09 - E 1 4 7 V I 2 0 4 V I 0 4 C C L 0 0 5 A -

Scala:

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
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 Fossati  
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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 1 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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>	10
2.2.3	<i>Effetti del ritiro (<math>\epsilon_2</math>)</i>	12
2.2.4	<i>Effetti della temperatura (<math>\epsilon_3</math>)</i>	12
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>Azione di neve, vento (q5)</i>	14
2.2.9	<i>Azione sismica (q6)</i>	14
2.2.10	<i>Resistenza parassita dei vincoli (q7)</i>	16
2.3	RIPOSTA SISMICA DEL VIADOTTO	16
<b>3</b>	<b>SOLLECITAZIONI</b>	<b>18</b>
3.1	SOLLECITAZIONI NELLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	18
3.1.1	<i>Sollecitazioni nella sezione di base delle pile</i>	18
3.1.2	<i>Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino</i>	19
3.1.3	<i>Sollecitazioni della sottostruttura rispetto al baricentro della palificata</i>	20
3.2	COMBINAZIONI DI CARICO	20
3.3	SOLLECITAZIONI NELLE COMBINAZIONI DI CARICO	21
3.3.1	<i>Sollecitazioni nella sezione di base delle pile</i>	21
3.3.2	<i>Sollecitazioni nella sezione di testa del pulvino</i>	22
3.3.3	<i>Sollecitazioni sulla palificata</i>	23
<b>4</b>	<b>VERIFICA DEL FUSTO DELLE PILE</b>	<b>27</b>
4.1	S.L.U. – RESISTENZA: PRESSO-FLESSIONE	28
4.2	S.L.U. – RESISTENZA: TAGLIO	31
4.3	S.L.E. – FESSURAZIONE	32
4.4	S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI	34
<b>5</b>	<b>EFFETTI DEL SECONDO ORDINE</b>	<b>36</b>
5.1	METODO DELLA CURVATURA NOMINALE	36
5.1.1	<i>Valutazione della snellezza</i>	36
<b>6</b>	<b>VERIFICA DEL PULVINO</b>	<b>40</b>
6.1	VERIFICA BAGGIOLI	41
<b>7</b>	<b>VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE</b>	<b>43</b>
7.1	VERIFICHE STRUTTURALI	43
7.1.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	45
7.1.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	46

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 2 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

7.1.3	S.L.E. – Fessurazione.....	47
7.1.4	S.L.E. – Limitazione delle tensioni.....	49
7.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI.....	51
7.2.1	S.L.U. – Verifica a carico limite verticale.....	51
7.2.2	S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale.....	54
<b>8</b>	<b>DISPOSITIVI ANTISISMICI .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>ANALISI DEL PLINTO DI FONDAZIONE (6 PALI) .....</b>	<b>58</b>
9.1	ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO.....	58
9.2	SOLLECITAZIONI .....	59
9.3	ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI .....	64
9.4	VERIFICA DELLA SEZIONE DEL PLINTO .....	64
9.4.1	S.L.U. – Resistenza: presso-flessione.....	64
9.4.2	S.L.U. – Resistenza: taglio.....	64
9.4.3	S.L.E. – Fessurazione.....	65
9.4.4	S.L.E. – Limitazione delle tensioni.....	67

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 3 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## 1 GENERALITÀ

### 1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di sicurezza delle pile della carreggiata sinistra 1° e 2° tronco del viadotto San Giuliano, 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 separato in due da un rilevato, con campate di uguale lunghezza pari a 31 m.

campate carr. SX	L [m]
1 (1° tronco)	31.0
2 (1° tronco)	31.0
3 (2° tronco)	31.0
4 (2° tronco)	31.0

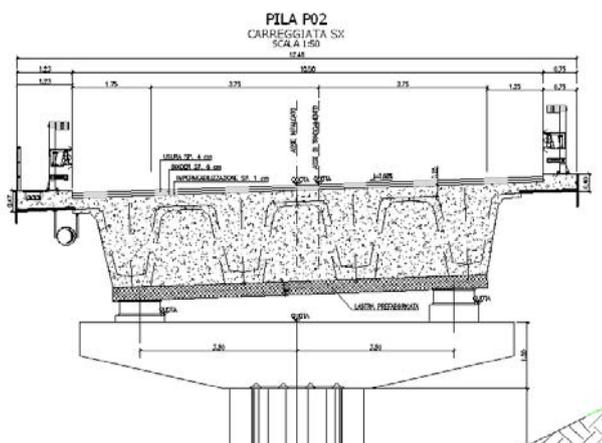
L'impalcato viene realizzato con travi a cassoncino in cemento armato precompresso a cavi pretesi, e sovrastante soletta gettata in opera. In asse ad ogni pila sono presenti traversi gettati in opera, che rendono tra loro solidali le travi, varate in semplice appoggio su dispositivi provvisori, realizzando uno schema finale di trave continua.

Oltre che dal traverso la continuità è garantita anche da un getto di calcestruzzo in opera all'interno della cavità dei cassoncini.

La sezione trasversale, ai fini del calcolo strutturale dell'impalcato, è formata da 4 travi a cassoncino, di altezza 1800 mm, disposte a interasse trasversale di 2.5 m.

La soletta ha uno spessore di 250 mm, al lordo delle predalle che ne sostengono il getto, e larghezza complessiva pari a 12.48m.

La figura seguente riporta la sezione trasversale dell'impalcato.



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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 4 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

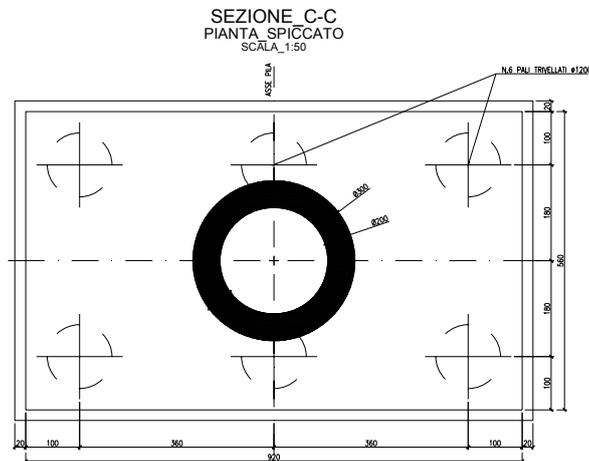
Le pile sono realizzate in c.a. Il fusto presenta sezione circolare cava, con raggio esterno pari a 1.50 m e raggio interno pari a 1.00 m; il pulvino è di forma trapezoidale con altezza complessiva di 3.00 m e dimensioni in pianta 3.20 x 9.70 m.

carreggiata SX 1° tronco	
pila	H [m]
P01	11.00

carreggiata SX 2° tronco	
pila	H [m]
P02	4.00

Tutte le pile di entrambe le carreggiate del viadotto sono fondate su pali trivellati di grande diametro. In particolare la palificata adottata è costituita da 6 pali di diametro Ø1200 mm, posti ad interasse di 3.60 m. I pali sono collegati in testa da un plinto di fondazione di altezza 2.50 m a pianta rettangolare 5.60 x 9.20 m.

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





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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 6 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### 1.3.2 Calcestruzzo

#### PALI 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

#### ELEVAZIONE PILE E PULVINI C25/30

$R_{ck}$	=	<b>30</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	24.90	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	20.67	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

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 7 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

#### BAGGIOLI 25/30

$R_{ck}$	=	<b>30</b> MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	24.90 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ckj}$	=	20.67 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 S4.

Rapporto A/C = 0,6

#### SOLETTA IMPALCATO, CORDOLI, MARCIAPIEDI E COPPELLE PREFABBRICATE 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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 8 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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 1998-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 9 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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 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 1° tronco 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. Per riprodurre il comportamento rigido nel piano trasversale, garantito dalla presenza della soletta, sono stati riprodotti dei frame (di massa nulla) aventi sezione di altezza pari a quella della soletta e larghezza pari all'interasse a cui sono posti. 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:

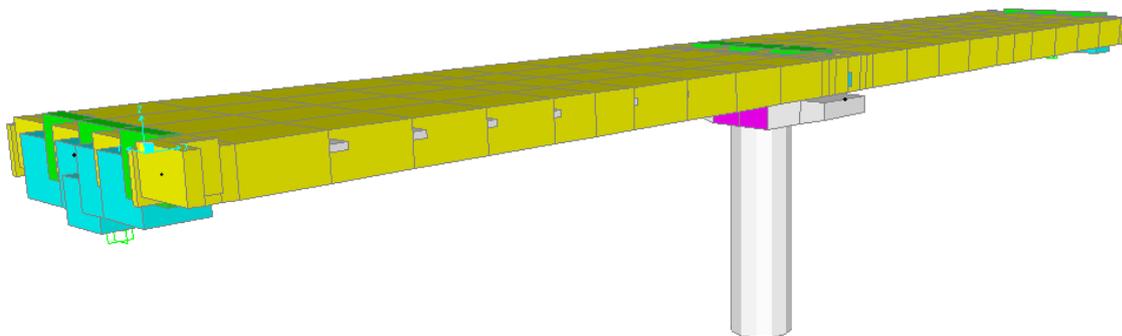
$$K_e = 3.03 \text{ kN/mm (rigidezza equivalente orizzontale);}$$

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

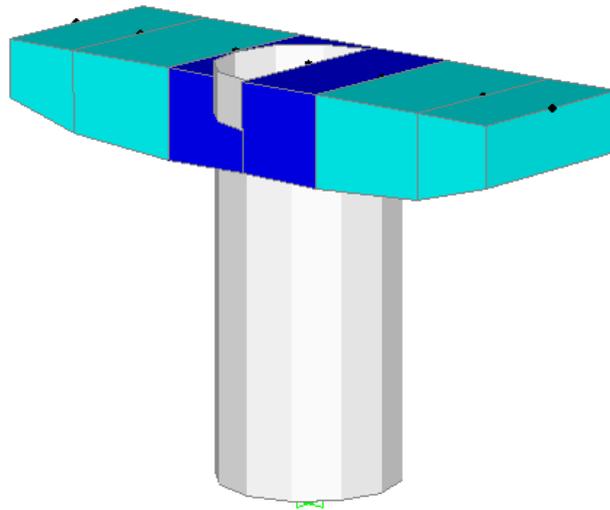
Anche sulle spalle sono previsti isolatori elastomerici aventi le medesime caratteristiche di quelli predisposti sulle pile, pertanto, trascurando la deformabilità delle spalle rispetto a quella dei dispositivi simili, ossia ipotizzando che il moto sismico dell'impalcato risulti disaccoppiato rispetto 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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 10 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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 delle travi (comprehensive di soletta), dei trasversi e delle pile viene fatto calcolare automaticamente dal codice di calcolo assumendo un peso specifico del calcestruzzo pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Permanenti portati su impalcato (g2)

I sovraccarichi permanenti sono stati computati, e successivamente assegnati, separatamente per il tratto a sezione variabile (dove si è assunta una sezione media di riferimento) e per il tratto a sezione costante; consistono nei seguenti contributi:

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 11 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### Permanenti portati (g<sub>2</sub>)

Trave bordo\_sx

	peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	area di competenza [m <sup>2</sup> ]	carico lineare [kN/m]	eccentricità [m]	momento [kNm]	
g <sub>2.1</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.28</b>	6.89	<b>0.00</b>	0.00	pavimentazione
g <sub>2.2</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.22</b>	5.54	<b>-1.87</b>	-10.35	cordolo marciapiede
g <sub>2.3</sub>	-	-	<b>1.00</b>	<b>-1.59</b>	-1.59	guard-rail
g <sub>2.4</sub>	-	-	<b>1.50</b>	<b>-2.34</b>	-3.51	barriera
g <sub>2.5</sub>	-	-	<b>1.00</b>	<b>-2.47</b>	-2.47	veletta
g <sub>2</sub>			15.9		-17.92	perm. portato totale

### Permanenti portati (g<sub>2</sub>)

Trave bordo\_dx

	peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	area di competenza [m <sup>2</sup> ]	carico lineare [kN/m]	eccentricità [m]	momento [kNm]	
g <sub>2.1</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.33</b>	8.24	<b>0.25</b>	2.03	pavimentazione
g <sub>2.2</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.25</b>	6.35	<b>2.12</b>	13.47	cordolo marciapiede
g <sub>2.3</sub>	-	-	<b>1.00</b>	<b>2.05</b>	2.05	guard-rail
g <sub>2.4</sub>	-	-	<b>1.50</b>	<b>2.37</b>	3.56	barriera
g <sub>2.5</sub>	-	-	<b>1.00</b>	<b>2.52</b>	2.52	veletta
g <sub>2</sub>			18.1		23.63	perm. portato totale

Trave interna

	peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	area di competenza [m <sup>2</sup> ]	carico lineare [kN/m]	eccentricità [m]	momento [kNm]	
g <sub>2.1</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.28</b>	6.88	<b>0.00</b>	0.00	pavimentazione
g <sub>2.3</sub>	<b>25.00</b>	<b>0.00</b>	0.00	<b>0.00</b>	0.00	cordolo marciapiede
g <sub>2.4</sub>	-	-	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	0.00	guard-rail
g <sub>2.5</sub>	-	-	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	0.00	barriera
g <sub>2.6</sub>	-	-	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	0.00	veletta
g <sub>2</sub>			6.9		0.00	perm. portato totale

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 12 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### 2.2.3 Effetti del ritiro ( $\epsilon_2$ )

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:

#### Ritiro ( $e_2$ )

$\epsilon_r$	=	<b>0.0003</b>	deformazione da ritiro impedita
$E^*_c$	=	11214 MPa	modulo elastico ridotto calcestruzzo per fenomeni viscosi
$\sigma_r$	=	3.36 MPa	trazione nel calcestruzzo
$A_c$	=	3.12 m <sup>2</sup>	area conglomerato
$N_r$	=	10497 kN	trazione nella soletta
$e$	=	<b>0.64</b> m	eccentricità rispetto a baricentro sezione composta
$M_r$	=	6736 kNm	momento flettente
$n_t$	=	<b>4</b>	numero travi
$N_{rt}$	=	<b>2624</b> kN	compressione su ciascuna trave
$M_{rt}$	=	<b>1684</b> kNm	momento flettente su ciascuna trave

### 2.2.4 Effetti della temperatura ( $\epsilon_3$ )

Ai fini della valutazione degli effetti iperstatici delle variazioni termiche sulle sottostrutture, in accordo con quanto previsto dalle norme EN 1991-1-5 sono stati assunti due gradienti termici tra soletta e travi metalliche pari a  $\Delta T_{M1} = +10$  °C/m (estradosso più caldo dell'intradosso) e  $\Delta T_{M2} = -5$  °C/m (estradosso più freddo dell'intradosso). Inoltre deve essere considerata anche la componente uniforme del carico termico, per i cui valori l'Eurocodice rimanda agli allegati nazionali, dai cui si desume:  $\Delta T_{N1} = -28$  °C e  $\Delta T_{N2} = +32$  °C.

Le componenti di temperatura uniformi e differenziali sono state considerate simultaneamente, adottando le 8 combinazioni proposte dalla suddetta normativa che scaturiscono dai 4 casi di carico elementari.

### 2.2.5 Carichi mobili ( $q_1$ )

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 larghezza utile massima pari a 11.52 m, è in grado di ospitare 3 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m. La parte rimanente ("remaining area") è variabile tra un massimo di 2.52 m ed un minimo di 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.

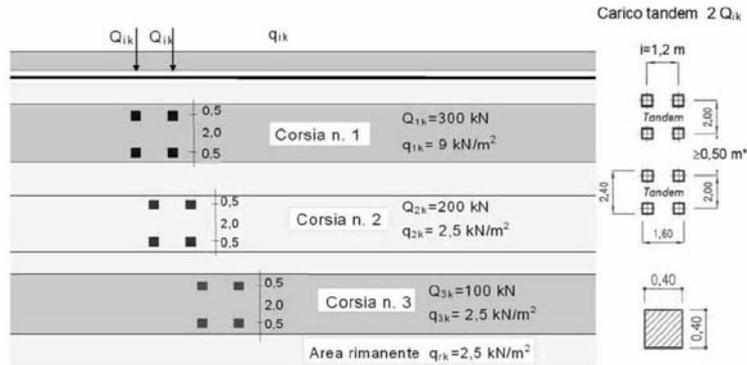
#### Corsia di carico n. 3 costituita da:

- 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.

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 13 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc



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).

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 kN/m<sup>2</sup> agente sui due marciapiedi. 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 prima descritti includono già 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:

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

$Q_{1k}$	=	<b>300.00</b>	[kN]	singolo asse Q1k
$q_{1k}$	=	<b>9.00</b>	[kN]	carico uniformemente distribuito
L	=	<b>31.0</b>	[m]	lunghezza campata
n	=	<b>4</b>		numero travi impalcato
w	=	<b>3</b>	[m]	larghezza corsia
$q_3$	=	<b>360.00</b>	[kN]	forza di frenatura (accelerazione) sull'intero viadotto
$q_{3i}$	=	<b>11.61</b>	[kN/m]	azione di frenatura per unità di lunghezza
$q_{3iu}$	=	<b>2.90</b>	[kN/m]	azione di frenatura per unità di lunghezza per singola trave

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 14 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### 2.2.8 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).

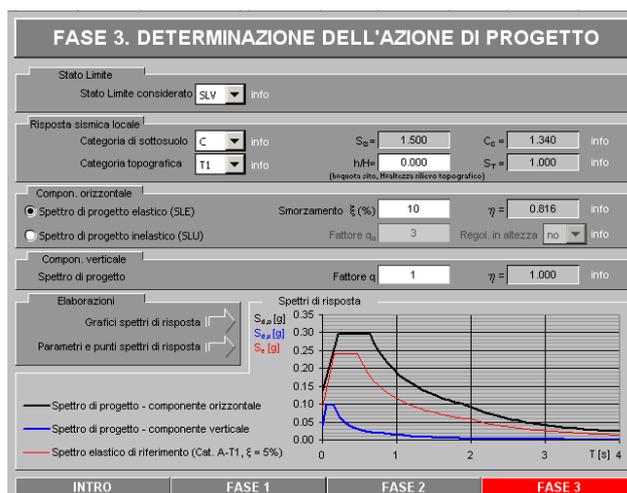
#### Azione del vento (q<sub>5</sub>)

q <sub>ref</sub>	=	<b>2.5</b>	kPa	pressione di riferimento
H <sub>vc</sub>	=	<b>3.00</b>	m	altezza veicolo convenzionale
H <sub>imp</sub>	=	<b>2.38</b>	m	altezza impalcato
H <sub>vento</sub>	=	5.38	m	altezza superficie di spinta
F <sub>vento</sub>	=	13.45	kN/m	azione del vento su impalcato
Y <sub>G</sub>	=	<b>1.28</b>	m	distanza da intradosso baricentro impalcato
e	=	1.41	m	eccentricità dell'azione del vento
M <sub>vento</sub>	=	18.92	kNm/m	coppia torcente
d <sub>b</sub>	=	<b>2.50</b>	m	interasse travi
W <sub>v</sub>	=	31.25	m <sup>2</sup>	modulo di resistenza fittizio travi
q <sub>5v,b</sub>	=	<b>2.27</b>	kN/m	azione verticale su travi di bordo
q <sub>5v,i</sub>	=	<b>0.76</b>	kN/m	azione verticale su travi interne
q <sub>5h</sub>	=	<b>3.36</b>	kN/m	azione orizzontale su ciascuna trave

### 2.2.9 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:



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

STATO LIMITE	SLC
$a_w$	0.10 g
$F_a$	2.739
$T_c$	0.525 s
$S_a$	1.500
$C_a$	1.239
$S_T$	1.000
$q$	1.225

Parametri dipendenti	
S	1.500
$\eta$	0.816
$T_B$	0.227 s
$T_C$	0.682 s
$T_D$	2.042 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_1 \cdot S_2$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)  
 $\eta = \sqrt{10(5+\xi)} \geq 0.55, \eta \leq 1/q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6, §. 3.2.3.5)  
 $T_B = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)  
 $T_C = C_a \cdot T_c$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)  
 $T_D = 4 \cdot 0.4 \cdot q / g + 1.6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

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

$0 \leq T < T_B$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$   
 $T_B \leq T < T_C$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1$   
 $T_C \leq T < T_D$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T}{T_C} \right)$   
 $T_D \leq T$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_x(T)$  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 dell

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.166
0.227	0.371
0.682	0.371
0.747	0.238
0.812	0.311
0.876	0.288
0.941	0.263
1.006	0.251
1.071	0.236
1.135	0.223
1.200	0.211
1.265	0.200
1.330	0.190
1.394	0.181
1.459	0.173
1.524	0.166
1.588	0.159
1.653	0.153
1.718	0.147
1.783	0.142
1.848	0.137
1.912	0.132
1.977	0.128
2.042	0.124
2.106	0.113
2.228	0.104
2.321	0.096
2.415	0.088
2.508	0.082
2.601	0.076
2.694	0.071
2.788	0.066
2.881	0.062
2.974	0.058
3.067	0.055
3.161	0.052
3.254	0.049
3.347	0.046
3.440	0.044
3.534	0.041
3.627	0.039
3.720	0.037
3.813	0.035
3.907	0.034
4.000	0.032

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato IIRSLC**

STATO LIMITE	SLC
$a_w$	0.050 g
$S_a$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

Parametri dipendenti	
$F_a$	1.229
S	1.000
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_1 \cdot S_2$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)  
 $\eta = 1/q$  (NTC-08 §. 3.2.3.5)  
 $F_a = 1.35 \cdot F_1 \left( \frac{a_w}{g} \right)^{0.5}$  (NTC-08 Eq. 3.2.11)

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

$0 \leq T < T_B$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$   
 $T_B \leq T < T_C$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1$   
 $T_C \leq T < T_D$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T}{T_C} \right)$   
 $T_D \leq T$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

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.

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.050
0.050	0.136
0.150	0.136
0.235	0.087
0.320	0.064
0.405	0.050
0.490	0.042
0.575	0.035
0.660	0.031
0.745	0.027
0.830	0.025
0.915	0.022
1.000	0.020
1.084	0.017
1.168	0.014
1.251	0.012
1.335	0.011
1.418	0.009
1.503	0.008
1.586	0.007
1.670	0.007
1.754	0.006
1.838	0.005
1.921	0.005
2.005	0.005
2.089	0.004
2.173	0.004
2.257	0.004
2.341	0.004
2.425	0.004
2.509	0.003
2.593	0.003
2.677	0.003
2.761	0.003
2.845	0.002
2.929	0.002
3.013	0.002
3.097	0.002
3.181	0.002
3.265	0.002
3.349	0.002
3.433	0.002
3.517	0.002
3.601	0.002
3.685	0.002
3.769	0.001
3.853	0.001
3.937	0.001
4.021	0.001

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

STATO LIMITE	SLV
$a_w$	0.091 g
$F_a$	2.648
$T_c$	0.479 s
$S_a$	1.500
$C_a$	1.340
$S_T$	1.000
$q$	1.225

Parametri dipendenti	
S	1.500
$\eta$	0.816
$T_B$	0.213 s
$T_C$	0.640 s
$T_D$	1.963 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_1 \cdot S_2$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)  
 $\eta = \sqrt{10(5+\xi)} \geq 0.55, \eta \leq 1/q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6, §. 3.2.3.5)  
 $T_B = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)  
 $T_C = C_a \cdot T_c$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)  
 $T_D = 4 \cdot 0.4 \cdot q / g + 1.6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

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

$0 \leq T < T_B$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$   
 $T_B \leq T < T_C$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1$   
 $T_C \leq T < T_D$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T}{T_C} \right)$   
 $T_D \leq T$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_x(T)$  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 dell

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.136
0.213	0.294
0.640	0.294
0.703	0.238
0.766	0.245
0.829	0.227
0.892	0.211
0.955	0.197
1.018	0.185
1.081	0.174
1.144	0.165
1.207	0.156
1.270	0.148
1.333	0.141
1.396	0.135
1.459	0.129
1.522	0.124
1.585	0.119
1.648	0.114
1.711	0.110
1.774	0.106
1.837	0.103
1.900	0.099
1.963	0.096
2.026	0.087
2.089	0.080
2.152	0.073
2.215	0.067
2.278	0.062
2.341	0.057
2.404	0.053
2.467	0.049
2.530	0.046
2.593	0.043
2.656	0.040
2.719	0.038
2.782	0.036
2.845	0.035
2.908	0.032
2.971	0.030
3.034	0.028
3.097	0.027
3.160	0.026
3.223	0.024
3.286	0.023

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato IIRSLV**

STATO LIMITE	SLV
$a_w$	0.037 g
$S_a$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

Parametri dipendenti	
$F_a$	1.077
S	1.000
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_1 \cdot S_2$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)  
 $\eta = 1/q$  (NTC-08 §. 3.2.3.5)  
 $F_a = 1.35 \cdot F_1 \left( \frac{a_w}{g} \right)^{0.5}$  (NTC-08 Eq. 3.2.11)

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

$0 \leq T < T_B$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$   
 $T_B \leq T < T_C$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1$   
 $T_C \leq T < T_D$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T}{T_C} \right)$   
 $T_D \leq T$   $S_x(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_1 \left( \frac{T \cdot T_D}{T^2} \right)$

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.

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.037
0.050	0.098
0.150	0.098
0.235	0.062
0.320	0.046
0.405	0.036
0.490	0.030
0.575	0.025
0.660	0.022
0.745	0.020
0.830	0.018
0.915	0.016
1.000	0.015
1.084	0.012
1.168	0.010
1.251	0.009
1.335	0.009
1.418	0.007
1.503	0.006
1.586	0.005
1.670	0.005
1.754	0.004
1.838	0.004
1.921	0.004
2.005	0.004
2.089	0.003
2.173	0.003
2.257	0.003
2.341	0.002
2.425	0.002
2.509	0.002
2.593	0.002
2.677	0.002
2.761	0.002
2.845	0.002
2.929	0.002
3.013	0.002
3.097	0.001
3.181	0.001
3.265	0.001
3.349	0.001
3.433	0.001
3.517	0.001
3.601	0.001
3.685	0.001
3.769	0.001
3.853	0.001
3.937	0.001
4.021	0.001

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 16 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

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 è stata attribuita alle travi ed ai trasversi come una massa per unità di lunghezza.

Sono stati considerati 50 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:

$$\begin{aligned} \text{sisma 1)} & E_x + 0.3 \times E_y + 0.3 \times E_z; \\ \text{sisma 2)} & 0.3 \times E_x + E_y + 0.3 \times E_z; \\ \text{sisma 3)} & 0.3 \times E_x + 0.3 \times E_y + E_z; \end{aligned}$$

### 2.2.10 Resistenza parassita dei vincoli (q7)

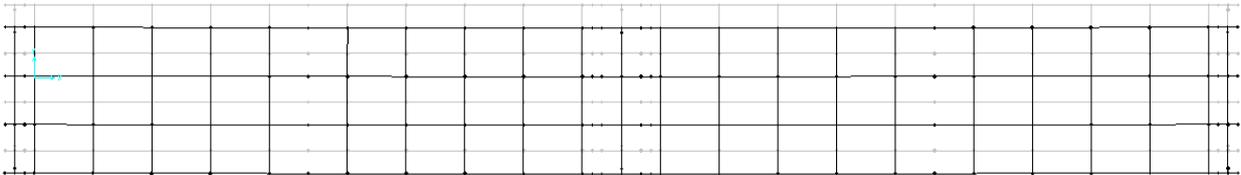
Associati ai carichi verticali si considerano delle azioni orizzontali che a favore di sicurezza vengono valutati pari all'1% dei carichi verticali (tali azioni non sarebbero presenti in questa opera poichè non esiste un punto fisso rispetto al quale l'impalcato tende ad incipiente movimento) tenendo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

## 2.3 RIPOSTA SISMICA DEL VIADOTTO

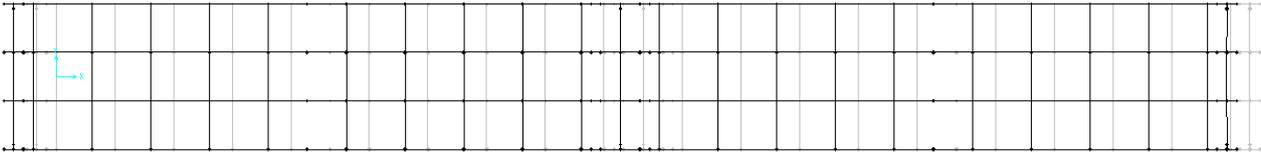
TABLE: Modal Periods And Frequencies									
StepType	StepNum	Period	Frequency	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Mode	1	1.205	0.830	0.000	0.810	0.616	0.000	0.810	0.616
Mode	2	1.199	0.834	0.810	0.000	0.000	0.810	0.810	0.616
Mode	3	0.875	1.142	0.000	0.000	0.237	0.810	0.810	0.852
Mode	4	0.265	3.771	0.000	0.000	0.000	0.810	0.810	0.852
Mode	5	0.183	5.464	0.000	0.134	0.102	0.810	0.944	0.954
Mode	6	0.181	5.528	0.000	0.000	0.000	0.810	0.944	0.954
Mode	7	0.173	5.764	0.187	0.000	0.000	0.997	0.944	0.954
Mode	8	0.146	6.860	0.000	0.000	0.000	0.997	0.944	0.955
Mode	9	0.101	9.923	0.000	0.035	0.026	0.997	0.979	0.981
Mode	10	0.096	10.381	0.000	0.000	0.000	0.997	0.979	0.981
Mode	11	0.072	13.908	0.000	0.000	0.000	0.997	0.979	0.981
Mode	12	0.067	14.844	0.000	0.000	0.000	0.997	0.979	0.981
Mode	13	0.062	16.259	0.000	0.000	0.000	0.997	0.979	0.981
Mode	14	0.060	16.766	0.000	0.000	0.001	0.997	0.979	0.982
Mode	15	0.058	17.373	0.000	0.016	0.012	0.997	0.995	0.994
Mode	16	0.051	19.747	0.000	0.000	0.000	0.997	0.995	0.994
Mode	17	0.050	19.810	0.000	0.000	0.000	0.997	0.995	0.994
Mode	18	0.045	22.132	0.000	0.000	0.000	0.997	0.995	0.994
Mode	19	0.045	22.325	0.000	0.000	0.000	0.997	0.995	0.994
Mode	20	0.043	23.298	0.000	0.000	0.000	0.997	0.995	0.994
Mode	21	0.038	26.079	0.000	0.002	0.002	0.997	0.997	0.996
Mode	22	0.036	27.508	0.000	0.000	0.000	0.997	0.997	0.996
Mode	23	0.033	30.209	0.000	0.000	0.000	0.997	0.997	0.996
Mode	24	0.032	31.207	0.000	0.000	0.000	0.997	0.997	0.996
Mode	25	0.031	31.880	0.000	0.000	0.000	0.997	0.997	0.996

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 17 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

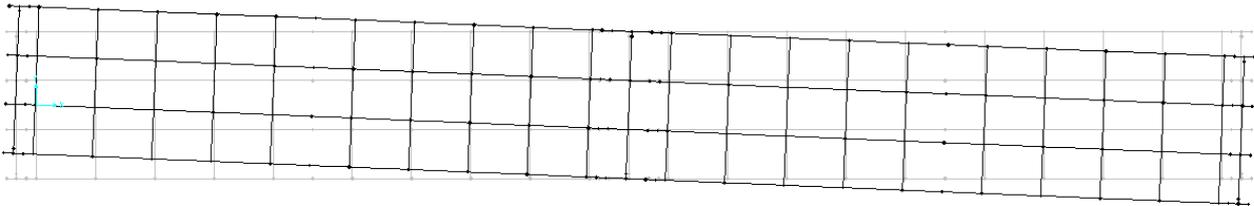
Prima forma modale



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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 19 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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

##### SOLLECITAZIONI RISPETTO TESTA PULVINO

	P01-D			P01-S		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
g1-impalcato	0	2	3101	0	2	3098
g2	0	1	969	0	0	861
e2	0	0	307	0	0	307
e3.3	0	0	88	0	0	88
e3.4	0	0	-176	0	0	-176
q1.1	1	7	1766	1	9	2052
q1.2	1	6	-20	1	5	-4
q3	123	0	0	123	0	0
q4	0	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	134	-42	0	134	42
q6.1	294	44	-61	294	44	-61
q6.2	88	148	-69	88	148	-69
q6.3	88	44	-202	88	44	-202
q7	41	0	0	40	0	0

#### PILA 02

##### SOLLECITAZIONI RISPETTO TESTA PULVINO

	P02-D			P02-S		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
g1-impalcato	0	2	3105	0	2	3101
g2	0	1	976	0	1	856
e2	0	0	307	0	0	307
e3.3	0	0	88	0	0	88
e3.4	0	0	-176	0	0	-176
q1.1	1	2	1802	1	3	2114
q1.2	1	3	-30	1	1	-8
q3	126	0	0	126	0	0
q4	0	0	0	0	0	0
q5-impalcato	0	137	-84	0	137	84
q6.1	300	45	-61	300	45	-60
q6.2	90	151	-65	90	151	-65
q6.3	90	45	-200	90	45	-200
q7	41	0	0	40	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 21 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

	S.L.U. e3								q6.x		S.L.V. q6.y		q6.z	
g1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g2	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
e2	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1	1	1	1	1	1
e3.3	1.20	0	1.20	0	1.20	0	1.20	0	0.50	0	0.50	0	0.50	0
e3.4	0	1.20	0	1.20	0	1.20	0	1.20	0	0.50	0	0.50	0	0.50
q1.1	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q1.2	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0	0	0	0	0	0
q6.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
q6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
q7	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

	S.L.car								S.L.E.				S.L.freq				S.L.qp		
g1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e3.3	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.50
e3.4	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0.50	0
q1.1	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0	0	0
q1.2	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0
q3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0	0	0
q6.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

### 3.3 SOLLECITAZIONI NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

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

In queste tabelle si riportano le sollecitazioni relative alle diverse combinazioni di carico con riferimento alla sezione di spiccato (per agevolare le verifiche da fare successivamente, sono qui evidenziati i valori massimi di ogni sollecitazione ed il valore minimo dello sforzo assiale nella combinazione sismica).

#### PILA 01

##### SOLLECITAZIONI SEZIONE DI BASE PILA NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

	SLU															
	q1								q3							
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	441	441	441	441	441	441	441	441
Fy	318	318	-310	-310	337	337	-292	-292	318	318	-311	-311	331	331	-297	-297
Fz	18735	18354	18735	18354	17883	17502	17883	17502	17696	17315	17696	17315	17057	16676	17057	16676
Mx	4878	4878	-2546	-2358	10607	10607	3372	3372	4689	4689	-2546	-2546	8986	8986	1751	1751
My	796	796	796	796	796	796	796	796	5354	5354	5354	5354	5355	5355	5355	5355

	SLU															
	q4								q5							
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Fy	318	318	-311	-311	331	331	-297	-297	527	527	-521	-521	541	541	-507	-507
Fz	17696	17315	17696	17315	17057	16676	17057	16676	17696	17315	17696	17315	17057	16676	17057	16676
Mx	4689	4689	-2546	-2546	8986	8986	1751	1751	7101	7101	-4958	-4958	11398	11398	-661	-661
My	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796	796

	SLU e3								S.L.V.							
									q6.x		q6.y		q6.z			
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	635	635	224	224	224	224		
Fy	318	318	-311	-311	331	331	-297	-297	91	91	302	302	91	91		
Fz	17781	17146	17781	17146	17142	16507	17142	16507	10769	10504	10769	10504	10554	10290		
Mx	4689	4689	-2546	-2546	8986	8987	1751	1751	1441	1441	3931	3931	1441	1441		
My	796	796	796	796	796	796	796	796	7579	7579	2645	2645	2645	2645		

	S.L.E.																	
	S.L.car								S.L.freq								S.L.qp	
Fx	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
Fy	212	212	-207	-207	199	199	-220	-220	72	72	-67	-67	60	60	-80	-80		
Fz	13188	12871	13188	12871	9042	8725	9042	8725	13188	12871	13188	12871	9042	8725	9042	8725		
Mx	3205	3206	-1618	-1618	-816	-816	-5639	-5639	1598	1598	-10	-10	-2424	-2424	-4031	-4031		
My	530	530	530	530	529	529	529	529	530	530	530	530	529	529	529	529		

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 22 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## PILA 02

### SOLLECITAZIONI SEZIONE DI BASE PILA NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

	SLU								q3							
	q1															
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	449	449	449	449	449	449	449	449
Fy	275	275	-272	-272	280	280	-267	-267	274	274	-272	-272	278	278	-268	-268
Fz	17827	17446	17827	17446	16974	16593	16974	16593	16787	16405	16787	16405	16147	15766	16147	15766
Mx	3347	3347	-458	-458	9917	9917	6112	6112	3131	3131	-674	-674	8058	8058	4253	4253
My	362	362	362	362	362	362	362	362	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378

	SLU								q5							
	q4															
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Fy	274	274	-272	-272	278	278	-268	-268	457	457	-454	-454	461	461	-450	-450
Fz	16787	16405	16787	16405	16147	15766	16147	15766	16787	16405	16787	16405	16147	15766	16147	15766
Mx	3131	3131	-674	-674	8058	8058	4253	4253	4399	4399	-1943	-1942	9326	9327	2985	2985
My	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362

	SLU								S.L.V.							
	e3								q6.x		q6.y		q6.z			
Fx	72	72	72	72	72	72	72	72	497	497	183	183	183	183		
Fy	274	274	-272	-272	278	278	-268	-268	69	69	228	228	69	69		
Fz	16871	16236	16871	16236	16232	15596	16232	15596	10095	9830	10095	9830	9886	9621		
Mx	3131	3131	-674	-674	8058	8058	4253	4253	824	824	1744	1744	824	824		
My	362	362	362	362	362	362	362	362	2643	2643	962	962	962	962		

	S.L.car								S.L.freq								S.L.qp	
Fx	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Fy	183	183	-181	-181	179	179	-185	-185	62	62	-60	-60	58	58	-64	-64	0	0
Fz	12515	12197	12515	12197	8364	8047	8364	8047	12515	12197	12515	12197	8364	8047	8364	8047	10185	9920
Mx	2178	2178	-358	-358	-2433	-2433	-4969	-4969	1333	1333	487	487	-3278	-3278	-4124	-4124	429	429
My	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241

### 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

P01-D	SLU								q3							
	q1															
Fx	38	38	38	38	38	38	38	38	222	222	222	222	222	222	222	222
Fy	135	135	-106	-106	134	134	-107	-107	132	132	-108	-108	132	132	-109	-109
Fz	8273	8083	8349	8159	5862	5671	5937	5747	7677	7487	7753	7563	5868	5678	5944	5754
V	140	140	112	112	139	139	113	113	259	259	247	247	258	258	247	247

P01-S	SLU								q3							
	q1															
Fx	37	37	37	37	37	37	37	37	221	221	221	221	221	221	221	221
Fy	136	136	-105	-105	130	131	-110	-110	133	133	-108	-108	129	129	-112	-112
Fz	8585	8394	8509	8318	5809	5619	5734	5543	7892	7702	7816	7626	5811	5620	5735	5545
V	141	141	111	111	136	136	116	116	258	258	246	246	256	256	248	248

P01-D	SLU								q5							
	q4															
Fx	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Fy	132	132	-108	-108	132	132	-109	-109	213	213	-188	-188	212	212	-189	-189
Fz	7677	7487	7753	7563	5868	5678	5944	5754	7652	7462	7778	7588	5843	5653	5969	5779
V	138	138	114	114	137	137	115	115	216	216	192	192	215	215	193	193

P01-S	SLU								q5							
	q4															
Fx	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Fy	133	133	-108	-108	129	129	-112	-112	213	213	-188	-188	209	209	-192	-192
Fz	7892	7702	7816	7626	5811	5620	5735	5545	7917	7727	7791	7601	5836	5646	5710	5519
V	138	138	114	114	134	134	118	117	216	216	192	191	212	212	195	195



Fx	SLU															
	q4								q5							
Fy	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Fz	318	318	-311	-311	331	331	-297	-297	527	527	-521	-521	541	541	-507	-507
Mx	23295	22914	23295	22914	22656	22275	22656	22275	23295	22914	23295	22914	22656	22275	22656	22275
My	5483	4849	-3324	-3958	9815	9181	1007	373	8419	7785	-6260	-6894	12750	12116	-1928	-2562
	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615	615

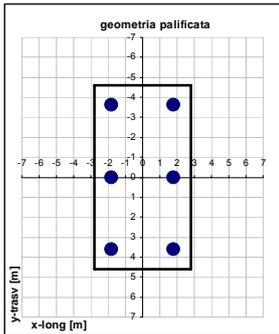
Fx	SLU								S.L.V.										
	e3								q6.x				q6.y				q6.z		
Fy	72	72	72	72	72	72	72	72	635	635	635	635	224	224	224	224			
Fz	318	318	-311	-311	331	331	-297	-297	91	91	91	91	302	302	302	302			
Mx	23380	22745	23380	22745	22741	22106	22741	22106	14916	14652	14916	14652	14916	14652	14701	14437			
My	5484	4427	-3324	-4380	9815	8758	1008	-49	1670	1230	3704	3263	1670	1230	1670	1230			
	615	615	615	615	615	615	615	615	5990	5990	2524	2524	2084	2084	2084	2084			

Fx	S.L.E.																
	S.L.car								S.L.freq								S.L.qp
Fy	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
Fz	212	212	-207	-207	199	199	-220	-220	72	72	72	72	60	60	-80	-80	
Mx	17335	17018	17335	17018	13190	12872	13190	12872	17335	17018	17335	17018	13190	12872	13190	12872	
My	3736	3207	-2136	-2664	-317	-846	-6189	-6717	1779	1250	-179	-707	-2274	-2803	-4232	-4760	
	410	410	410	410	409	409	409	409	410	410	410	410	409	409	409	409	

La geometria della palificata è riportata ai fini del calcolo delle azioni (sforzo assiale e taglio) sui singoli pali:

**CALCOLO AZIONI SUI PALI**  
**Geometria della palificata**

PALO	X	Y	trav	long
	Jxi	Jyi		
1	1.80	3.60	12.96	3.24
2	1.80	0.00	0.00	3.24
3	1.80	-3.60	12.96	3.24
4	-1.80	3.60	12.96	3.24
5	-1.80	0.00	0.00	3.24
6	-1.80	-3.60	12.96	3.24



SFORZO NORMALE N	q1								q3							
	PALO								PALO							
1	4393	4285	3781	3674	4652	4544	4040	3933	3870	3762	3258	3151	4064	3956	3452	3345
2	3999	3935	3999	3935	3857	3793	3857	3793	3489	3425	3489	3425	3382	3319	3382	3319
3	3605	3585	4216	4197	3062	3042	3673	3654	3108	3089	3720	3700	2701	2681	3312	3293
4	4507	4399	3895	3788	4766	4658	4154	4047	4657	4549	4045	3938	4851	4744	4240	4132
5	4113	4049	4113	4049	3971	3907	3971	3907	4276	4213	4276	4213	4170	4106	4170	4106
6	3719	3699	4330	4311	3176	3156	3787	3768	3895	3876	4507	4487	3488	3469	4100	4080
max	4507	4399	4330	4311	4766	4658	4154	4047	4657	4549	4507	4487	4851	4744	4240	4132
min	3605	3585	3781	3674	3062	3042	3673	3654	3108	3089	3258	3151	2701	2681	3312	3293

SFORZO NORMALE N	q4								q5							
	PALO								PALO							
1	4206	4099	3595	3487	4401	4293	3789	3682	4410	4303	3391	3283	4605	4497	3585	3478
2	3826	3762	3826	3762	3719	3656	3719	3656	3826	3762	3826	3762	3719	3656	3719	3656
3	3445	3425	4056	4037	3037	3018	3649	3630	3241	3221	4260	4241	2834	2814	3853	3834
4	4320	4213	3709	3601	4514	4407	3903	3795	4524	4417	3505	3397	4718	4611	3699	3591
5	3939	3876	3939	3876	3833	3769	3833	3769	3939	3876	3939	3876	3833	3769	3833	3769
6	3559	3539	4170	4151	3151	3132	3763	3744	3355	3335	4374	4355	2947	2928	3967	3947
max	4320	4213	4170	4151	4514	4407	3903	3795	4524	4417	4374	4355	4718	4611	3967	3947
min	3445	3425	3595	3487	3037	3018	3649	3630	3241	3221	3391	3283	2834	2814	3585	3478

TAGLI	q1								q3							
	PALO								PALO							
taglio Vx	12	12	12	12	12	12	12	12	74	74	74	74	74	74	74	74
taglio Vy	53	53	-52	-52	56	56	-49	-49	53	53	-52	-52	55	55	-50	-50
V	54	54	53	53	57	57	50	50	91	91	90	90	92	92	89	89

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 25 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

SFORZO NORMALE N									q6.x		S.L.V. q6.y		q6.z	
PALO														
	SLU e3													
1	4220	4041	3609	3430	4415	4236	3803	3624	2047	1973	2510	2435	2373	2299
2	3840	3734	3840	3734	3733	3627	3733	3627	1931	1887	2252	2208	2257	2213
3	3459	3426	4070	4038	3052	3019	3663	3631	1815	1802	1995	1982	2141	2128
4	4334	4155	3723	3544	4529	4349	3917	3738	3157	3082	2977	2902	2759	2684
5	3954	3848	3954	3848	3847	3741	3847	3741	3041	2997	2720	2676	2643	2599
6	3573	3540	4184	4152	3165	3133	3777	3745	2925	2911	2463	2449	2527	2514
max	4334	4155	4184	4152	4529	4349	3917	3745	3157	3082	2977	2902	2759	2684
min	3459	3426	3609	3430	3052	3019	3663	3624	1815	1802	1995	1982	2141	2128
<b>TAGLI</b>														
taglio Vx	12	12	12	12	12	12	12	12	106	106	37	37	37	37
taglio Vy	53	53	-52	-52	55	55	-50	-50	15	15	50	50	15	15
V	54	54	53	53	57	57	51	51	107	107	63	63	40	40

SFORZO NORMALE N									S.L.E.			S.L.freq			S.L.qp			
PALO																		
	S.L.car																	
1	3111	3021	2703	2613	2138	2049	1731	1641	2975	2885	2839	2749	2002	1913	1867	1777	2490	2415
2	2851	2798	2851	2798	2160	2108	2160	2108	2851	2798	2851	2798	2160	2108	2160	2108	2463	2419
3	2592	2576	3000	2983	2182	2166	2590	2574	2728	2712	2864	2847	2318	2302	2454	2438	2437	2424
4	3187	3097	2779	2689	2214	2125	1806	1717	3051	2961	2915	2825	2078	1989	1942	1853	2566	2491
5	2927	2874	2927	2874	2236	2183	2236	2183	2927	2874	2927	2874	2236	2183	2236	2183	2539	2495
6	2668	2652	3076	3059	2258	2242	2666	2650	2804	2787	2940	2923	2394	2378	2530	2514	2513	2500
max	3187	3097	3076	3059	2258	2242	2666	2650	3051	2961	2940	2923	2394	2378	2530	2514	2566	2500
min	2592	2576	2703	2613	2138	2049	1731	1641	2728	2712	2839	2749	2002	1913	1867	1777	2437	2415
<b>TAGLI</b>																		
taglio Vx	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
taglio Vy	35	35	-35	-35	33	33	-37	-37	12	12	-11	-11	10	10	-13	-13	0	0
V	36	36	35	35	34	34	37	37	14	14	14	14	13	13	16	16	8	8

## PILA 02

SLU														
q1									q3					
<b>Fx</b>	72	72	72	72	72	72	72	72	449	449	449	449	449	449
<b>Fy</b>	275	275	-272	-272	280	280	-267	-267	274	274	-272	-272	278	278
<b>Fz</b>	23426	23045	23426	23045	22573	22192	22573	22192	22385	22004	22385	22004	21746	21365
<b>Mx</b>	4033	3399	-1138	-1773	10617	9982	5445	4811	3817	3182	-1355	-1990	8754	8120
<b>My</b>	181	181	181	181	181	181	181	181	1255	1255	1255	1255	1255	1255

SLU														
q4								q5						
<b>Fx</b>	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
<b>Fy</b>	274	274	-272	-272	278	278	-268	-268	457	457	-454	-454	461	461
<b>Fz</b>	22385	22004	22385	22004	21746	21365	21746	21365	22385	22004	22385	22004	21746	21365
<b>Mx</b>	3817	3182	-1355	-1990	8754	8120	3583	2948	5540	4906	-3079	-3713	10478	9843
<b>My</b>	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181	181

SLU									S.L.V.					
e3									q6.x		q6.y		q6.z	
<b>Fx</b>	72	72	72	72	72	72	72	72	497	497	183	183	183	183
<b>Fy</b>	274	274	-272	-272	278	278	-268	-268	69	69	228	228	69	69
<b>Fz</b>	22470	21835	22470	21835	21831	21195	21831	21195	14243	13978	14243	13978	14033	13768
<b>Mx</b>	3817	2759	-1355	-2413	8754	7697	3583	2525	996	555	1521	1080	996	555
<b>My</b>	181	181	181	181	181	181	181	181	1400	1400	841	841	504	504

S.L.car									S.L.E.			S.L.freq			S.L.qp	
<b>Fx</b>	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
<b>Fy</b>	183	183	-181	-181	179	179	-185	-185	62	62	-60	-60	58	58	-64	-64
<b>Fz</b>	16662	16344	16662	16344	12512	12194	12512	12194	16662	16344	16662	16344	12512	12194	12512	12194
<b>Mx</b>	2636	2107	-812	-1341	-1985	-2514	-5433	-5961	1486	958	337	-192	-3134	-3663	-4283	-4812
<b>My</b>	121	121	121	121	120	120	120	120	121	121	121	121	120	120	120	120



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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 27 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

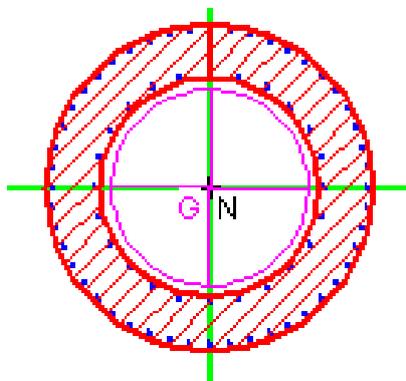
Si riporta ora un prospetto riepilogativo delle sollecitazioni più significative agenti sui pali agli stati limite considerati:

PILA	Nmax,slu	Nmax,slv	Nmin	Vmax
1	4851	3157	1641	107
2	4516	2573	1607	88
<b>Nmax</b>	<b>4851</b>	<b>3157</b>		
<b>Nmin</b>			<b>1607</b>	
<b>Vmax</b>				<b>107</b>

S.L.E.											
Combinazioni Caratteristiche				Combinazioni Frequenti				Combinazioni Quasi Permanenti			
PILA	Nmax	Nmin	Vmax	PILA	Nmax	Nmin	Vmax	PILA	Nmax	Nmin	Vmax
1	3187	1641	37.5	1	3051	1777	15.6	1	2566	2415	8.0
2	2971	1607	31.9	2	2891	1687	13.3	2	2430	2333	8.0
<b>Nmax</b>	<b>3187</b>			<b>Nmax</b>	<b>3051</b>			<b>Nmax</b>	<b>2566</b>		
<b>Nmin</b>		<b>1607</b>		<b>Nmin</b>		<b>1687</b>		<b>Nmin</b>		<b>2333</b>	
<b>Vmax</b>			<b>37</b>	<b>Vmax</b>			<b>16</b>	<b>Vmax</b>			<b>8</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 72  $\Phi$ 18, di cui 48 posti lungo il perimetro esterno (passo 19.2 cm) e 24 lungo quello interno (passo 25.3 cm).



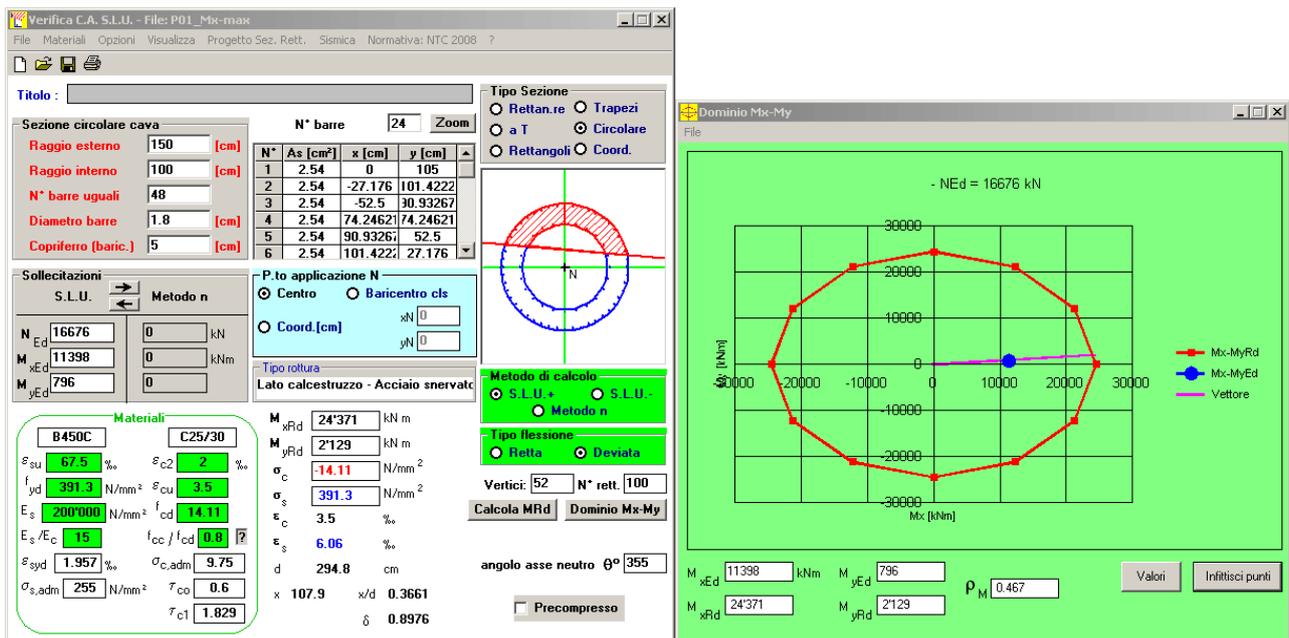
## 4.1 S.L.U. – RESISTENZA: PRESSO-FLESSIONE

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.

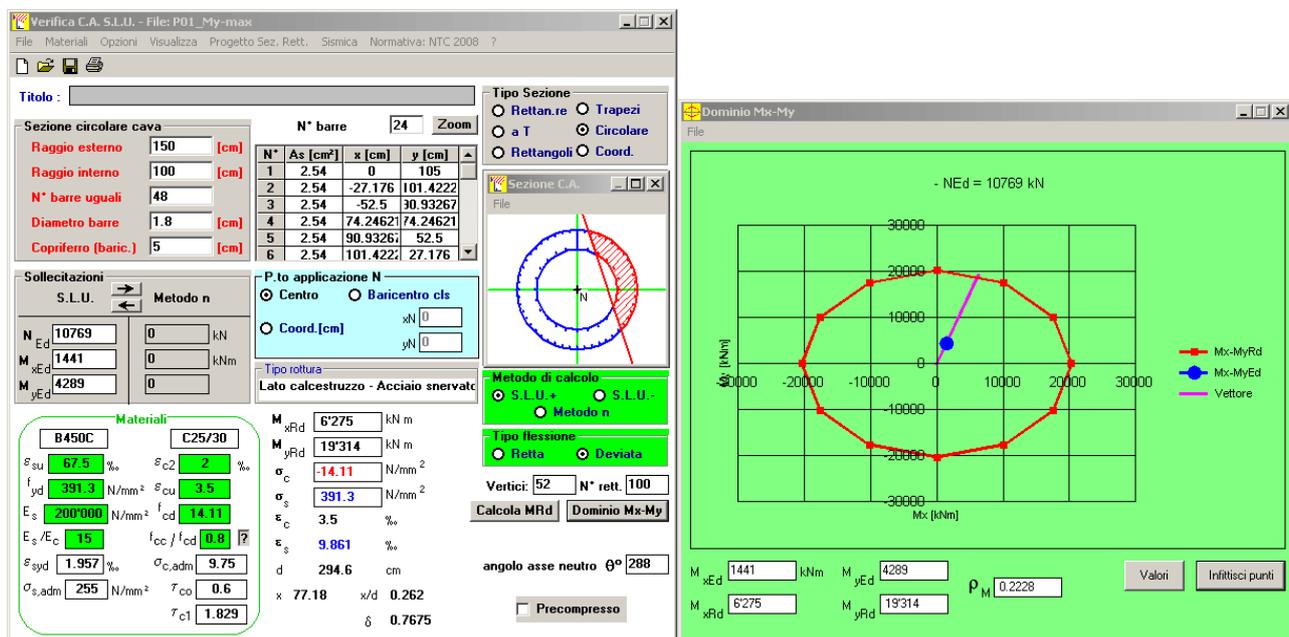
Si riporta di seguito l'output delle verifiche:

### PILA 01

#### massimo momento trasversale



#### massimo momento longitudinale



minimo sforzo assiale

Verifica C.A. S.L.U. - File: P01\_N-min

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 150 [cm]  
 Raggio interno 100 [cm]  
 N° barre uguali 48  
 Diametro barre 1.8 [cm]  
 Copriferno (baric.) 5 [cm]

N° barre 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 10290 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 1441 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 2645 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Lato calcestruzzo - Acciaio svernato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

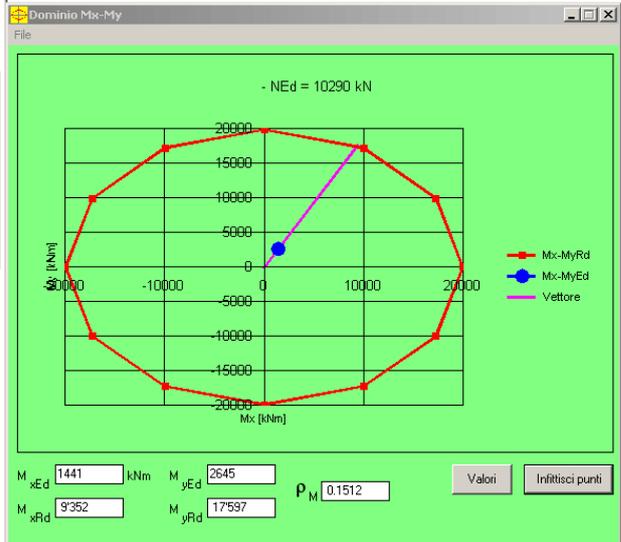
Materiali B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  14.17  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\sigma_{s,adm}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75  
 $\tau_{co}$  0.6  $\tau_{c1}$  1.829

M<sub>xRd</sub> 9'352 kNm  
 M<sub>yRd</sub> 17'597 kNm  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10.28 ‰  
 d 294.9 cm  
 x 74.88 x/d 0.2539  
 $\delta$  0.7574

angolo asse neutro  $\theta^{\circ}$  298

Precompresso



PILA 02

massimo momento trasversale

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_Mx-max

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

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 150 [cm]  
 Raggio interno 100 [cm]  
 N° barre uguali 48  
 Diametro barre 1.8 [cm]  
 Copriferno (baric.) 5 [cm]

N° barre 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 16593 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 9917 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 362 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Lato calcestruzzo - Acciaio svernato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

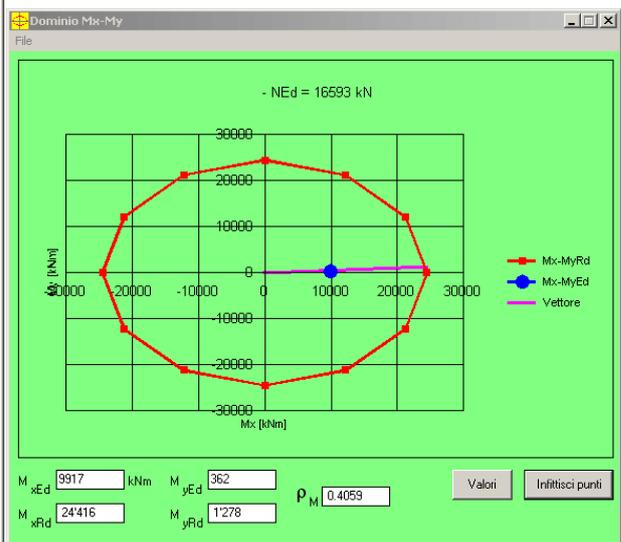
Materiali B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  14.17  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\sigma_{s,adm}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75  
 $\tau_{co}$  0.6  $\tau_{c1}$  1.829

M<sub>xRd</sub> 24'416 kNm  
 M<sub>yRd</sub> 1'278 kNm  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  6.15 ‰  
 d 294.6 cm  
 x 106.9 x/d 0.3627  
 $\delta$  0.8934

angolo asse neutro  $\theta^{\circ}$  357

Precompresso



massimo momento longitudinale

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_My-max

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

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 150 [cm]  
 Raggio interno 100 [cm]  
 N° barre uguali 48  
 Diametro barre 1.8 [cm]  
 Coprifero (baric.) 5 [cm]

N° barre 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

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

Sezione C.A. \_\_\_\_\_

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviate

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio Mx-My**

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 10095 0 kN  
 M xEd 824 0 kNm  
 M yEd 2643 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

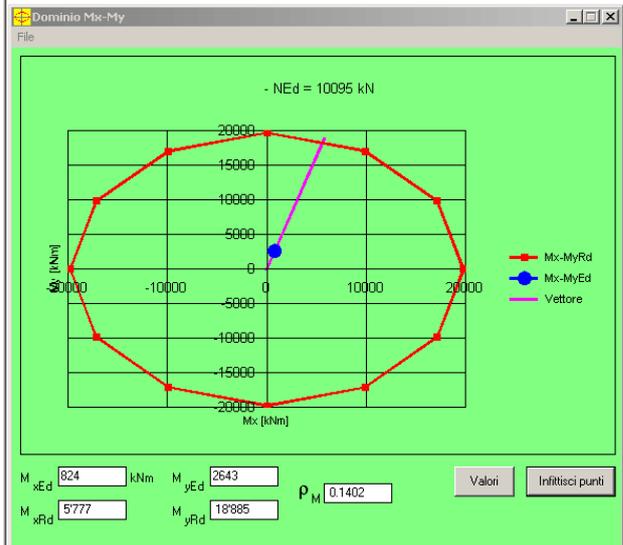
Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali  
 B450C C25/30  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  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/mm²  $\tau_{co}$  0.6  
 $\tau_{cl}$  1.829

M xRd 5'777 kN m  
 M yRd 18'885 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10.48 ‰  
 d 294.7 cm  
 x 73.78 x/d 0.2504  
 $\delta$  0.753

angolo asse neutro  $\theta^\circ$  287

Precompresso



minimo sforzo assiale

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_N-min

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

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 150 [cm]  
 Raggio interno 100 [cm]  
 N° barre uguali 48  
 Diametro barre 1.8 [cm]  
 Coprifero (baric.) 5 [cm]

N° barre 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

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

Sezione C.A. \_\_\_\_\_

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviate

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio Mx-My**

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 9621 0 kN  
 M xEd 824 0 kNm  
 M yEd 962 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

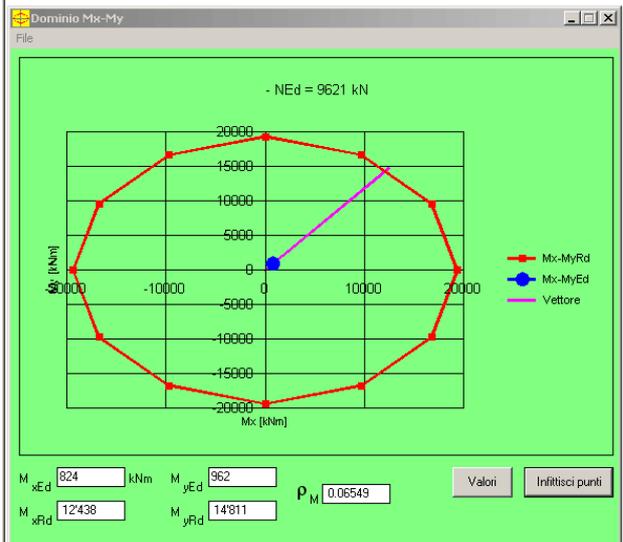
Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali  
 B450C C25/30  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  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/mm²  $\tau_{co}$  0.6  
 $\tau_{cl}$  1.829

M xRd 12'438 kN m  
 M yRd 14'811 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10.85 ‰  
 d 294.8 cm  
 x 71.88 x/d 0.2438  
 $\delta$  0.7448

angolo asse neutro  $\theta^\circ$  310

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 31 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## 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. 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.

### Geometria

$D_{est}$	=	3000	3000	mm	diametro esterno sezione
$D_{int}$	=	<b>2000</b>	2000	mm	diametro interno sezione
$d$	=	2950	2950	mm	altezza utile
$d_e$	=	2278	2278	mm	altezza utile equivalente
$b_{we}$	=	1000	1000	mm	larghezza sezione resistente a taglio

### Materiali

$R_{ck}$	=	30	30		resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	24.90	24.90	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_c$	=	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	=	14.11	14.11	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f'_{cd}$	=	7.06	7.06	MPa	resistenza ridotta
$\gamma_s$	=	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

### PILA 01

#### Sollecitazioni

$V$	=	635.4	541.0	kN	taglio
$N$	=	<b>10768.8</b>	<b>16676.1</b>	kN	sforzo normale (>0 compressione)

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

$A_{sl}$	=	18322	18322	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale
$\rho_l$	=	0.005	0.005		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$k$	=	1.296	1.296		
$v_{min}$	=	0.258	0.258		
$\sigma_{cp}$	=	2.74	4.25	MPa	tensione media calcestruzzo
$\sigma_{cp,ad}$	=	2.74	2.82	MPa	tensione media di compressione adottata ( $\leq 0.2f_{cd}$ )
$V_{Rd}$	=	1739.6	1766.8	kN	taglio resistente
FS	=	2.74	3.27		

### PILA 02

V long      V trasv

#### Sollecitazioni

$V$	=	497.2	460.7	kN	taglio
$N$	=	<b>10095.2</b>	<b>15765.7</b>	kN	sforzo normale (>0 compressione)

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

$A_{sl}$	=	18322	18322	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale
$\rho_l$	=	0.005	0.005		rapporto geometrico di armatura longitudinale
$k$	=	1.296	1.296		
$v_{min}$	=	0.258	0.258		
$\sigma_{cp}$	=	2.57	4.01	MPa	tensione media calcestruzzo
$\sigma_{cp,ad}$	=	2.57	2.82	MPa	tensione media di compressione adottata ( $\leq 0.2f_{cd}$ )
$V_{Rd}$	=	1681.0	1766.8	kN	taglio resistente
FS	=	3.38	3.84		

### 4.3 S.L.E. – FESSURAZIONE

Si procede alla verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta, così come riportata nell'ultimo capoverso del punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC, riferendosi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle tabelle seguenti. La tensione  $\sigma_s$  è quella nell'acciaio d'armatura prossimo al lembo teso della sezione calcolata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente.

Per quanto riguarda le condizioni ambientali e la sensibilità delle armature sono state assunte:

- condizioni ambientali aggressive;
- armature poco sensibili.

Definita la massima tensione ammissibile nelle barre di acciaio, si considerano per ogni combinazione le condizioni di sforzo normale e taglio agente e, con l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U., utilizzando un'analisi elastica, si determina la massima tensione di trazione nelle barre di armatura, per la combinazione più gravosa tra quelle frequenti e per quella più gravosa tra quelle quasi permanenti.

condizioni ambientali aggressive armature poco sensibili											
Diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione											
$\sigma_s$ [MPa]	$w_2=0.30$ mm									$w_1=0.20$ mm	
	$\emptyset$									$\emptyset$	
160	32	32	32	32	32	32	32	32	32	25	25
200	25	25	25	25	25	25	25	25	25	16	16
240	16	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12
280	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	8
320	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6	6
360	8	8	8	8	8	8	8	8	8	-	-

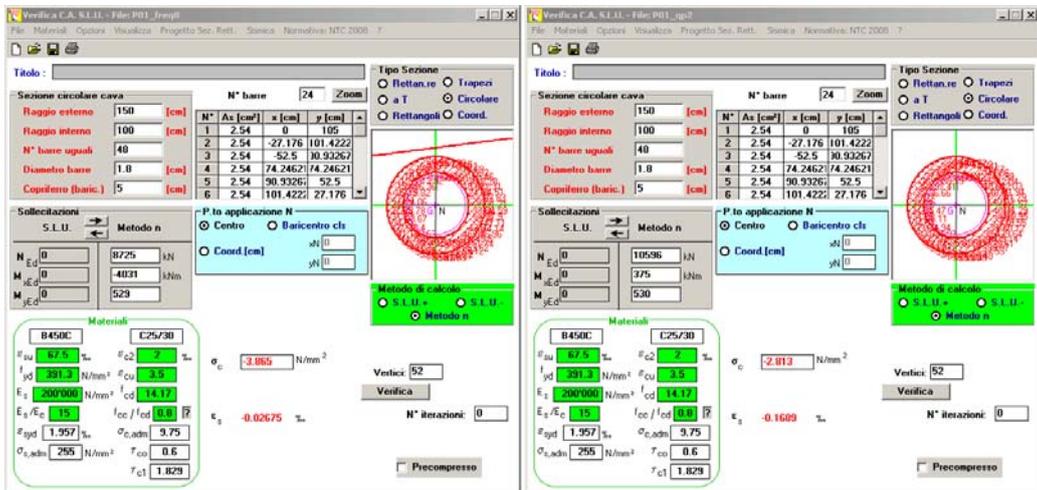
  

Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione											
$\sigma_s$ [MPa]	$w_2=0.30$ mm									$w_1=0.20$ mm	
	$\emptyset$									$\emptyset$	
160	300	300	300	300	300	300	300	300	300	200	200
200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	150	150
240	200	200	200	200	200	200	200	200	200	100	100
280	150	150	150	150	150	150	150	150	150	50	50
320	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
360	50	50	50	50	50	50	50	50	50	-	-

### PILA 01

#### Sollecitazioni agenti

											combinazione			
	freq 1	freq 2	freq 3	freq 4	freq 5	freq 6	freq 7	freq 8	qp1	qp2				
N	13188	12871	13188	12871	9042	8725	9042	8725	10861	10596	kN	sforzo assiale		
$M_x$	1598	1598	-10	-10	-2424	-2424	-4031	-4031	375	375	kNm	momento flettente trasversale		
$M_y$	530	530	530	530	529	529	529	529	530	530	kNm	momento flettente longitudinale		
$\sigma_{s,max}$	160	200	200	200	200	200	200	200	160	160	MPa	tensione massima nell'acciaio da normativa		
$\sigma_{sd,max}$	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	MPa	tensione massima di trazione nell'acciaio di calcolo		
	<b>OK</b>													



**PILA 02**

**Sollecitazioni agenti**

	freq 1	freq 2	freq 3	freq 4	freq 5	freq 6	freq 7	freq 8	qp1	qp2			
N	=	12515	12197	12515	12197	8364	8047	8364	8047	10185	9920	kN	sforzo assiale
M <sub>x</sub>	=	1333	1333	487	487	-3278	-3278	-4124	-4124	429	429	kNm	momento flettente trasversale
M <sub>y</sub>	=	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	kNm	momento flettente longitudinale
σ <sub>s,max</sub>	=	160	200	200	200	200	200	200	160	160	160	MPa	tensione massima nell'acciaio da normativa
σ <sub>sd,max</sub>	=	-	-	-	-	OK	OK	-	OK	OK	OK	MPa	tensione massima di trazione nell'acciaio di calcolo

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_freq8

Titolo:

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

Sezione circolare cava  
 Raggio esterno: 150 [cm]  
 Raggio interno: 100 [cm]  
 N° barre uguali: 48  
 Diametro barre: 1.8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n:  
 N<sub>Ed</sub>: 8047 kN  
 M<sub>xEd</sub>: -4124 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 241

Materiali:  
 B450C C25/30  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

σ<sub>c</sub>: -3.729 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: -0.01276 ‰  
 Vertici: 52  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_qp2

Titolo:

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

Sezione circolare cava  
 Raggio esterno: 150 [cm]  
 Raggio interno: 100 [cm]  
 N° barre uguali: 48  
 Diametro barre: 1.8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 24 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n:  
 N<sub>Ed</sub>: 9920 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 429 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 241

Materiali:  
 B450C C25/30  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

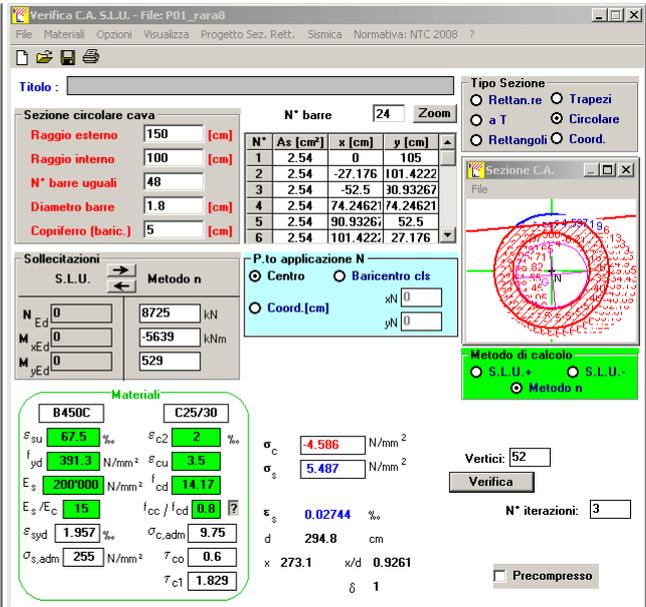
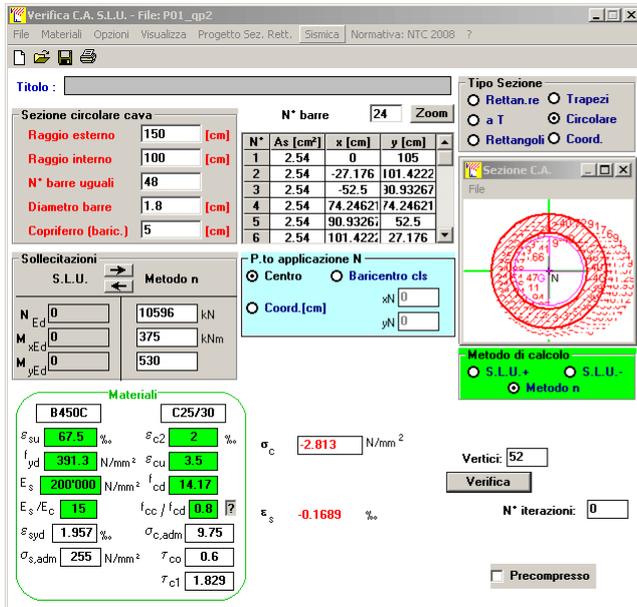
σ<sub>c</sub>: -2.582 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: -0.1618 ‰  
 Vertici: 52  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

#### 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:  $0,60 f_{ck}$  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.

#### PILA 01

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara8	qp1	qp2					
					rara5	rara6	rara7							
<b>Sollecitazioni agenti</b>														
N	=	13188	12871	13188	12871	9042	8725	9042	8725	10861	10596	kN	sfuerzo assiale	
M <sub>x</sub>	=	3205	3206	-1618	-1618	-816	-816	-5639	-5639	375	375	kNm	momento flettente trasversale	
M <sub>y</sub>	=	530	530	530	530	529	529	529	529	530	530	kNm	momento flettente longitudinale	
<b>Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio</b>														
σ <sub>c,max</sub>	=	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	11.21	11.21		[MPa]	massima tensione del cls da normativa	
σ <sub>c,Sd</sub>	=	-	-	-	-	-	-	-	4.58	-	2.81		[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
<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>	=	-	-	-	-	-	-	-	67			[MPa]	tensione di calcolo dell' acciaio in esercizio	
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK					



**PILA 02**

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara7	rara8	qp1	qp2			
					rara5	rara6							
<b>Sollecitazioni agenti</b>													
N	=	12515	12197	12515	12197	8364	8047	8364	8047	10185	9920	kN	sforzo assiale
M <sub>x</sub>	=	2178	2178	-358	-358	-2433	-2433	-4969	-4969	429	429	kNm	momento flettente trasversale
M <sub>y</sub>	=	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	kNm	momento flettente longitudinale
<b>Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio</b>													
σ <sub>c,max</sub>	=	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	11.21	11.21	[MPa]	massima tensione del cls da normativa	
σ <sub>c,Sd</sub>	=	-	-	-	-	-	-	-	<b>3.98</b>	-	<b>2.58</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			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa	
σ <sub>s,Sd</sub>	=	-	-	-	-	-	-	-	<b>59</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>				

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_qp2

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

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 150 [cm]  
 Raggio interno: 100 [cm]  
 N° barre uguali: 48  
 Diametro barre: 1.8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 24

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0  
 M<sub>xEd</sub>: 0  
 M<sub>yEd</sub>: 0

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

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

Materiali:  
 B450C C25/30  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

σ<sub>c</sub>: -2.582 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: -0.1618 ‰  
 Vertici: 52  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02\_rara8

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

Titolo: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 150 [cm]  
 Raggio interno: 100 [cm]  
 N° barre uguali: 48  
 Diametro barre: 1.8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 24

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	2.54	0	105
2	2.54	-27.176	101.4222
3	2.54	-52.5	30.93267
4	2.54	74.24621	74.24621
5	2.54	90.93267	52.5
6	2.54	101.4222	27.176

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0  
 M<sub>xEd</sub>: 0  
 M<sub>yEd</sub>: 0

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

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

Materiali:  
 B450C C25/30  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

σ<sub>c</sub>: -3.982 N/mm²  
 σ<sub>s</sub>: 1.146 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: 0.005728 ‰  
 d: 294.6 cm  
 x: 289.1 x/d: 0.9812  
 δ: 1  
 Vertici: 52  
 N° iterazioni: 2  
 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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 36 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## 5 EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

Le pile del viadotto in questione, vista la modesta altezza, non rientrano nella classe degli elementi strutturali snelli. Tuttavia in questo paragrafo si espongono i calcoli relativi alla valutazione della snellezza delle suddette pile. Nel caso fosse necessaria, 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 DELLA 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 in funzione dell'inflessione della pila, a sua volta dipendente dalla snellezza della pila stessa e della 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:

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

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

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

$\varphi_{ef}$  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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 37 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## PILA 01

### 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>	= 30	30	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	= 24.9	24.9	24.9	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>	= 18.81	18.81	18.81	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f <sub>cm</sub>	= 32.9	32.9	32.9	MPa	resistenza cilindrica media
E <sub>cm</sub>	= 31447	31447	31447	MPa	modulo elastico istantaneo
f <sub>yk</sub>	= 450	450	450	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>	= 206000	206000	206000	MPa	modulo elastico acciaio
ε <sub>yd</sub>	= 0.0019	0.0019	0.0019		deformazione allo snervamento di calcolo
<b>Geometria</b>					
D	= 3.00	3.00	3.00	m	diametro esterno
d	= 2.95	2.95	2.95	m	altezza utile
d <sub>eq</sub>	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile equivalente
d <sub>x</sub>	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile longitudinale
d <sub>y</sub>	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile trasversale
A <sub>c</sub>	= 3.93	3.93	3.93	m <sup>2</sup>	area sezione trasversale
L	= 11.00	11.00	11.00	m	altezza elemento
J <sub>x</sub>	= 3.19	3.19	3.19	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia trasversale
J <sub>y</sub>	= 3.19	3.19	3.19	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia longitudinale
i <sub>x</sub>	= 0.90	0.90	0.90	m	raggio d'inerzia longitudinale
i <sub>y</sub>	= 0.90	0.90	0.90	m	raggio d'inerzia trasversale
A <sub>s</sub>	= 18322	18322	18322	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale totale disposta nella sezione
ω	= 0.10	0.10	0.10		rapporto meccanico di armatura
α <sub>x</sub>	= 2.00	2.00	2.00		coefficiente di vincolo longitudinale
α <sub>y</sub>	= 2.00	2.00	2.00		coefficiente di vincolo trasversale
L <sub>0x</sub>	= 22.00	22.00	22.00	m	lunghezza libera d'inflessione longitudinale
L <sub>0y</sub>	= 22.00	22.00	22.00	m	lunghezza libera d'inflessione trasversale
λ <sub>x</sub>	= 24.4	24.4	24.4		snellezza longitudinale
λ <sub>y</sub>	= 24.4	24.4	24.4		snellezza trasversale
λ	= 24.4	24.4	24.4		snellezza massima
<b>Eccentricità</b>					
ϑ <sub>0</sub>	= 0.005	0.005	0.005		
α <sub>h</sub>	= 0.67	0.67	0.67		
α <sub>m</sub>	= 1.00	1.00	1.00		
ϑ <sub>1</sub>	= 0.003	0.003	0.003		
e <sub>ix</sub>	= 0.04	0.04	0.04	m	eccentricità aggiuntiva longitudinale
e <sub>iy</sub>	= 0.04	0.04	0.04	m	eccentricità aggiuntiva trasversale
<b>Sollecitazioni</b>					
N <sub>Ed</sub>	= 18735.2	16676.1	10768.8	kN	sforzo normale di calcolo
M <sub>1,x</sub>	= 4877.6	11398.2	1441.4	kN*m	momento flettente trasversale del primo ordine
M <sub>2,x</sub>	= 4877.6	11398.2	1441.4	kN*m	momento flettente trasversale del primo ordine
M <sub>1,y</sub>	= 0.0	0.0	0.0	kN*m	momento flettente longitudinale del primo ordine
M <sub>2,y</sub>	= 795.9	795.7	7578.8	kN*m	momento flettente longitudinale del primo ordine
M <sub>01,x</sub>	= 5565	12010	1836	kN*m	minimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
M <sub>02,x</sub>	= 5565	12010	1836	kN*m	massimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
M <sub>01,y</sub>	= 687.0	611.5	394.9	kN*m	minimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
M <sub>02,y</sub>	= 1482.8	1407.1	7973.7	kN*m	massimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
M <sub>0Ed,x</sub>	= 5564.6	12009.7	1836.2	kN*m	momento flettente di calcolo trasversale equivalente
M <sub>0Ed,y</sub>	= 1164.5	1088.9	4942.2	kN*m	momento flettente di calcolo longitudinale equivalente
<b>Valutazione della snellezza limite</b>					
A	= 0.70	0.70	0.70		
B	= 1.09	1.09	1.09		coefficiente funzione del rapporto meccanico di armatura
C	= 0.70	0.70	0.70		coefficiente funzione del rapporto dei momenti flettenti alle estremità (=0.7 se il rapporto non è noto)
n	= 0.25	0.23	0.15		forza assiale adimensionale
λ <sub>lim</sub>	= 21.3	22.5	28.0		snellezza limite
		NO	NO	OK	

Deve essere effettuata la verifica di instabilità.

**Buckling**

$n_u$	=	1.10	1.10	1.10	
$n_{dal}$	=	<b>0.40</b>	0.40	0.40	
$K_y$	=	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	
$\beta_x$	=	0.31	0.31	0.31		
$K_{\varphi x}$	=	1.46	1.46	1.46	coefficiente che tiene conto della viscosità	
$(1/r_0)_x$	=	0.0019	0.0019	0.0019		
$(1/r)_x$	=	0.0027	0.0027	0.0027	curvatura longitudinale	
$e_{2x}$	=	0.13	0.13	0.13	m	inflexione longitudinale
$M_{2y}$	=	2488.9	2215.4	1430.6	kNm	momento nominale del 2° ordine longitudinale
$M_{Edy}$	=	<b>3653.4</b>	<b>3304.2</b>	<b>6372.8</b>	kNm	momento di progetto longitudinale

**Buckling trasversale**

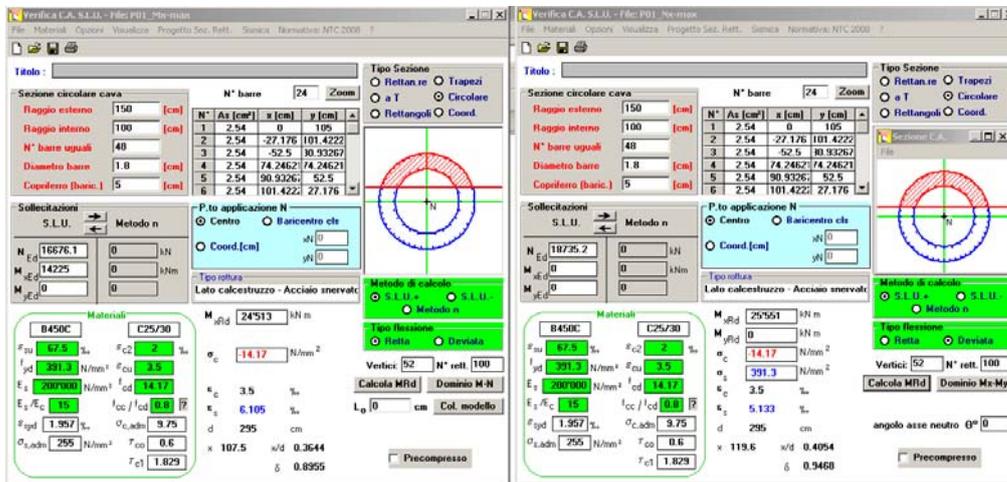
$M_{SLE}/M_{SLU}$	=	<b>0.74</b>	0.74	0.74	rapporto momento SLE/momento SLU	
$\varphi_{eff,y}$	=	1.48	1.48	1.48	coefficiente di viscosità efficace	
$\beta_y$	=	0.31	0.31	0.31		
$K_{\varphi y}$	=	1.46	1.46	1.46		
$(1/r_0)_y$	=	0.0019	0.0019	0.0019	curvatura trasversale	
$(1/r)_y$	=	0.0027	0.0027	0.0027	curvatura trasversale	
$e_{2y}$	=	0.13	0.13	0.13	m	inflexione trasversale
$M_{2x}$	=	2488.9	2215.4	1430.6	kNm	momento nominale del 2° ordine trasversale
$M_{Edx}$	=	<b>8053.5</b>	<b>14225.0</b>	<b>3266.8</b>	kNm	momento di progetto trasversale

**Buckling flessione deviata - verifica geometrica**

$\lambda_{max}/\lambda_{min}$	=	<b>1.00</b>	1.00	1.00	rapporto di snellezza massimo (se <=2 sufficiente verifica a flessione semplice)	
$b_{x,eq}$	=	3.12	3.12	3.12	m	dimensione longitudinale equivalente
$b_{y,eq}$	=	3.12	3.12	3.12	m	dimensione trasversale equivalente
$e_x$	=	0.03	0.03	0.42	m	eccentricità longitudinale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_y$	=	0.26	0.68	0.13	m	eccentricità trasversale che non tiene conto delle imperfezioni
$e_{x0}$	=	0.06	0.07	0.46	m	eccentricità longitudinale
$e_{y0}$	=	0.30	0.72	0.17	m	eccentricità trasversale
$e/b$	=	<b>0.21</b>	<b>0.09</b>	<b>2.69</b>		minimo rapporto eccentricità/dimensioni equivalenti

**Buckling flessione deviata - verifica semplificata**

$N_{Rd}$	=	81049	-	81049	kN	forza nominale resistente
$a$	=	2.00	-	2.00		esponente del dominio
$M_{Rdx}$	=	<b>25551</b>	-	<b>52615</b>	kNm	momento resistente trasversale per pressoflessione retta
$M_{Rdy}$	=	<b>25551</b>	-	<b>39474</b>	kNm	momento resistente longitudinale per pressoflessione retta
check	=	<b>0.12</b>	-	<b>0.03</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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 39 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## PILA 02

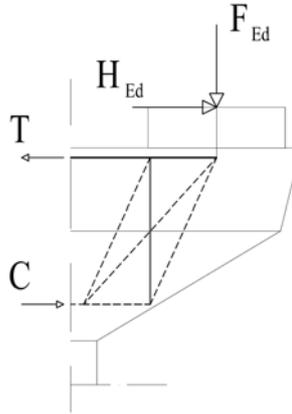
EFFETTI DEL SECONDO ORDINE IN PRESENZA DI CARICO ASSIALE (EC2 - § 5.8)  
METODO DELLA CURVATURA NOMINALE

	Nmax	Mx,max	My,max		
<b>Materiali</b>					
$R_{ck}$	= 30	30	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	= 24.9	24.9	24.9	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
$f_{cd}$	= 18.81	18.81	18.81	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{cm}$	= 32.9	32.9	32.9	MPa	resistenza cilindrica media
$E_{cm}$	= 31447	31447	31447	MPa	modulo elastico istantaneo
$f_{yk}$	= 450	450	450	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
$\epsilon_{yd}$	= 0.0019	0.0019	0.0019		deformazione allo snervamento di calcolo
<b>Geometria</b>					
D	= <b>3.00</b>	3.00	3.00	m	diametro esterno
d	= <b>2.95</b>	2.95	2.95	m	altezza utile
$d_{eq}$	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile equivalente
$d_x$	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile longitudinale
$d_y$	= 2.28	2.28	2.28	m	altezza utile trasversale
$A_c$	= <b>3.93</b>	3.93	3.93	m <sup>2</sup>	area sezione trasversale
L	= 5.00	5.00	5.00	m	altezza elemento
$J_x$	= <b>3.19</b>	3.19	3.19	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia trasversale
$J_y$	= <b>3.19</b>	3.19	3.19	m <sup>4</sup>	momento d'inerzia longitudinale
$i_x$	= 0.90	0.90	0.90	m <sup>2</sup>	raggio d'inerzia longitudinale
$i_y$	= 0.90	0.90	0.90	m <sup>2</sup>	raggio d'inerzia trasversale
$A_s$	= <b>18322</b>	18322	18322	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale totale disposta nella sezione
$\omega$	= 0.10	0.10	0.10		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
$L_{0x}$	= 10.00	10.00	10.00	m	lunghezza libera d'inflessione longitudinale
$L_{0y}$	= 10.00	10.00	10.00	m	lunghezza libera d'inflessione trasversale
$\lambda_x$	= 11.1	11.1	11.1		snellezza longitudinale
$\lambda_y$	= 11.1	11.1	11.1		snellezza trasversale
$\lambda$	= <b>11.1</b>	<b>11.1</b>	<b>11.1</b>		snellezza massima
<b>Eccentricità</b>					
$\vartheta_0$	= <b>0.005</b>	<b>0.005</b>	<b>0.005</b>		
$\alpha_h$	= 0.89	0.89	0.89		
$\alpha_m$	= <b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>		
$\vartheta_1$	= 0.004	0.004	0.004		
$e_{ix}$	= 0.02	0.02	0.02	m	eccentricità aggiuntiva longitudinale
$e_{iy}$	= 0.02	0.02	0.02	m	eccentricità aggiuntiva trasversale
<b>Sollecitazioni</b>					
$N_{Ed}$	= 17826.9	<b>16592.8</b>	<b>10095.2</b>	kN	sforzo normale di calcolo
$M_{1,x}$	= <b>3347.0</b>	9917.0	<b>823.8</b>	kN*m	momento flettente trasversale del primo ordine
$M_{2,x}$	= 3347.0	9917.0	823.8	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>362.1</b>	<b>362.2</b>	2643.0	kN*m	momento flettente longitudinale del primo ordine
$M_{01,x}$	= 3746	10288	1050	kN*m	minimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{02,x}$	= 3746	10288	1050	kN*m	massimo momento flettente trasversale (in valore assoluto)
$M_{01,y}$	= 398.6	371.0	225.7	kN*m	minimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{02,y}$	= 760.8	733.2	2868.7	kN*m	massimo momento flettente longitudinale (in valore assoluto)
$M_{0Ed,x}$	= 3745.6	10288.0	1049.5	kN*m	momento flettente di calcolo trasversale equivalente
$M_{0Ed,y}$	= 615.9	588.3	1811.5	kN*m	momento flettente di calcolo longitudinale equivalente
<b>Valutazione della snellezza limite</b>					
A	= <b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.70</b>		
B	= 1.09	1.09	1.09		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 r;
n	= 0.24	0.22	0.14		forza assiale adimensionale
$\lambda_{lim}$	= <b>21.8</b>	<b>22.6</b>	<b>29.0</b>		snellezza limite
	OK	OK	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 40 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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	8704	<b>4239</b>
V	<b>137</b>	329
	<b>P01-sx</b>	<b>P01-dx</b>

Si riporta di seguito il dettaglio dei calcoli di verifica.

### Materiali

$R_{ck}$	=	30	30	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ck}$	=	24.90	24.90	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{cd}$	=	14.1	14.1	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
$\beta_2$	=	<b>0.85</b>	<b>0.85</b>		coefficiente per la resistenza del nodo teso-compresso
$\beta_3$	=	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>		coefficiente per la resistenza del nodo teso-compresso
$\sigma_{1Rd,max}$	=	<b>14.95</b>	<b>14.95</b>	MPa	resistenza a compressione per nodi compressi
$\sigma_{2Rd,max}$	=	12.70	12.70	MPa	resistenza a compressione per nodi compressi-tesi con tiranti ancorati disposti in
$\sigma_{3Rd,max}$	=	11.21	11.21	MPa	resistenza a compressione per nodi compressi-tesi con tiranti ancorati disposti in

### Mensola

	P01-sx	P01-dx			
$F_{Ed}$	=	8704	4239	kN	azione verticale di calcolo appoggio
$H_{Ed}$	=	137	329	kN	azione orizzontale di calcolo appoggio

### Geometria

$a_c$	=	<b>2000</b>	2000	mm	distanza asse appoggio estradosso pila
B	=	<b>3200</b>	3200	mm	larghezza pulvino
$h_c$	=	<b>1500</b>	1500	mm	altezza pulvino
c	=	<b>200</b>	200	mm	copriferro
s	=	<b>0</b>	0	mm	altezza dente estradosso pulvino
$b_1$	=	<b>1100</b>	1100	mm	larghezza baggiolo
$b_2$	=	<b>1100</b>	1100	mm	lunghezza baggiolo
$b_3$	=	<b>330</b>	330	mm	altezza baggiolo
d	=	1300	1300	mm	altezza utile
z	=	1040	1040	mm	braccio della coppia interna
$x_1$	=	182.0	88.6	mm	larghezza biella compressa
$y_1$	=	208.0	208.0	mm	altezza biella compressa
a	=	2091.0	2044.3	mm	distanza tra $F_{Ed}$ e asse larghezza pila collaborante
$a_H$	=	530	530	mm	distanza tra $H_{Ed}$ e armatura

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 41 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

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

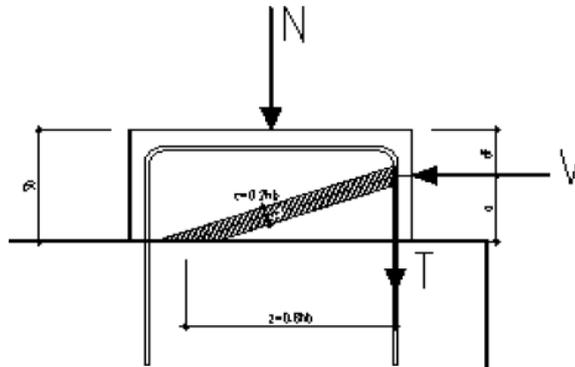
C	=	17570	8500	kN	risultante di compressione
T	=	17707	8829	kN	risultante di trazione
$\sigma_c$	=	13.20	6.39	MPa	tensione di compressione nel puntone
FS	=	1.13	2.34		
n	=	90	90		numero ferri superiore
$\emptyset$	=	26	26	mm	diametro armatura superiore
$A_s$	=	47783.6	47783.6	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
$\sigma_s$	=	370.56	184.76	MPa	tensione di trazione nel tirante
FS	=	1.06	2.12		

#### Verifica tirante secondario (armatura verticale)

$F_{wd}$	=	8765	4142	kN	risultante forza di taglio
$n_{br1}$	=	8	8		numero bracci in senso trasversale
$n_{br2}$	=	20	20		numero bracci in senso longitudinale
$\emptyset_w$	=	14	14	mm	diametro staffe
$k_2$	=	0.50	0.5		coefficiente per l'armatura a taglio minima
$A_{w,min1}$	=	22401	10585	mm <sup>2</sup>	armatura strettamente necessaria a taglio
$A_{w,min2}$	=	11122	5417	mm <sup>2</sup>	armatura minima a taglio
$A_{sw}$	=	24630	197041	mm <sup>2</sup>	armatura di progetto
$\sigma_s$	=	355.88	21.02	MPa	tensione di trazione staffe
FS	=	1.10	18.61		

## 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.



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 baggiolo

$b_0$  = larghezza dell'appoggio

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 42 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

#### Materiali

$R_{ck}$	=	55	55	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{ck}$	=	45.65	45.65	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{cd}$	=	25.9	25.9	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{yd}$	=	391.3	391.3	MPa	tensione di snervamento di calcolo
$\beta_1$	=	1.18	1.18		coefficiente per la resistenza del nodo compres
$\beta_2$	=	1.00	1.00		coefficiente per la resistenza del nodo teso-cc
$\beta_3$	=	0.88	0.88		coefficiente per la resistenza del nodo teso-cc
$\sigma_{1Rd,max}$	=	29.35	29.35	MPa	resistenza a compressione per nodi compres

#### Mensola

		P01-sx	P01-dx		
$F_{Ed}$	=	8704	4239	kN	azione verticale di calcolo appoggio
$H_{Ed}$	=	137	329	kN	azione orizzontale di calcolo appoggio

#### Geometria

$b_1$	=	1100	1100	mm	larghezza baggiolo
$b_2$	=	1100	1100	mm	lunghezza baggiolo
$b_3$	=	330	330	mm	altezza baggiolo
$b_0$	=	950	950	mm	larghezza appoggio
$c$	=	30	30	mm	copriferro
$d$	=	1070	1070	mm	altezza utile
$z$	=	856	856	mm	braccio della coppia interna
$x_1$	=	4.2	10.2	mm	larghezza biella compressa
$y_1$	=	171.2	171.2	mm	altezza biella compressa
$a$	=	332.1	335.1	mm	
$\alpha$	=	0.37	0.37	rad	

#### Verifiche Puntone-Tirante

$C$	=	147	353	kN	risultante di compressione
$T$	=	53	129	kN	risultante di trazione
$\sigma_c$	=	0.39	0.94	MPa	tensione di compressione nel puntone
$FS$	=	75.26	31.33		
$n$	=	6	6		numero ferri superiore
$\varnothing$	=	14	14	mm	diametro armatura superiore
$A_s$	=	923.6	923.6	mm <sup>2</sup>	area armatura superiore
$\sigma_s$	=	57.53	139.27	MPa	tensione di trazione nel tirante
$FS$	=	6.80	2.81		

#### Verifiche armatura a fenditura

$T$	=	360	175	kN	risultante forza di taglio
$A_s$	=	919.2	919.2	mm <sup>2</sup>	armatura necessaria
$s$	=	200	200	mm	passo
$n$	=	2	2		numero ferri verticali
$n$	=	8	8		numero ferri orizzontali
$\varnothing_w$	=	20	20	mm	diametro staffe
$A_{sw}$	=	5026.5	5026.5	mm <sup>2</sup>	armatura di progetto
$FS$	=	5.47	5.47		

## 7 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

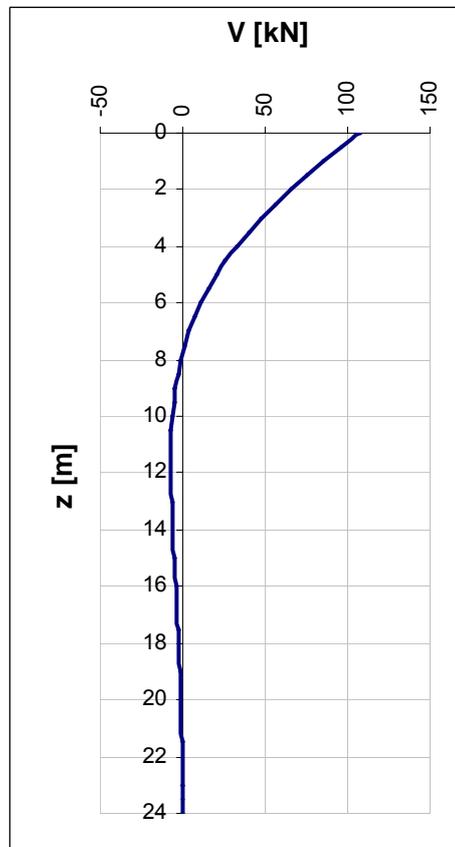
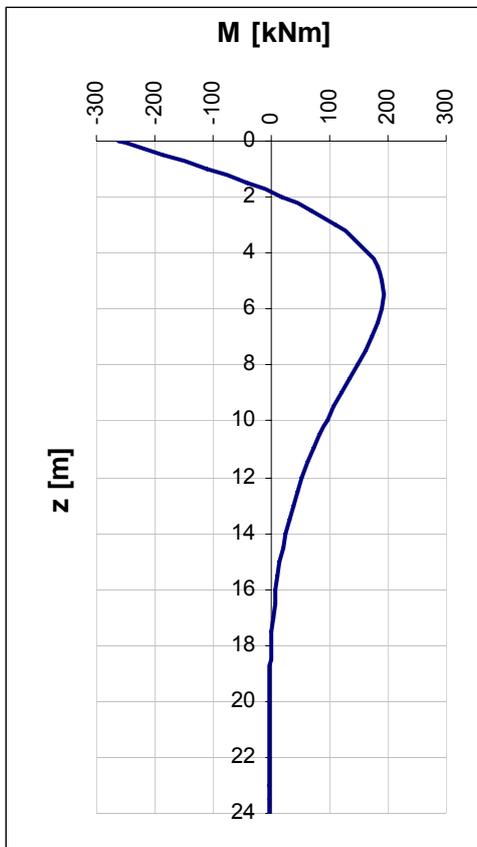
### 7.1 VERIFICHE STRUTTURALI

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.

Di seguito si riporta il dettaglio dei calcoli di dimensionamento e verifica delle palificate delle pile.

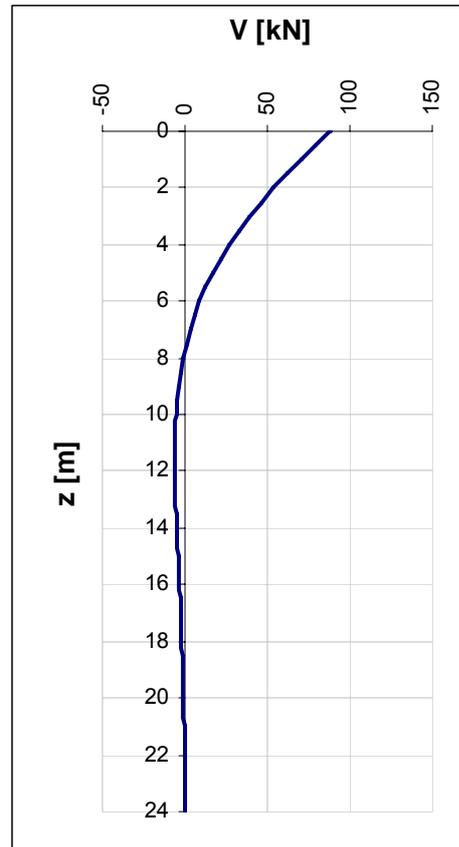
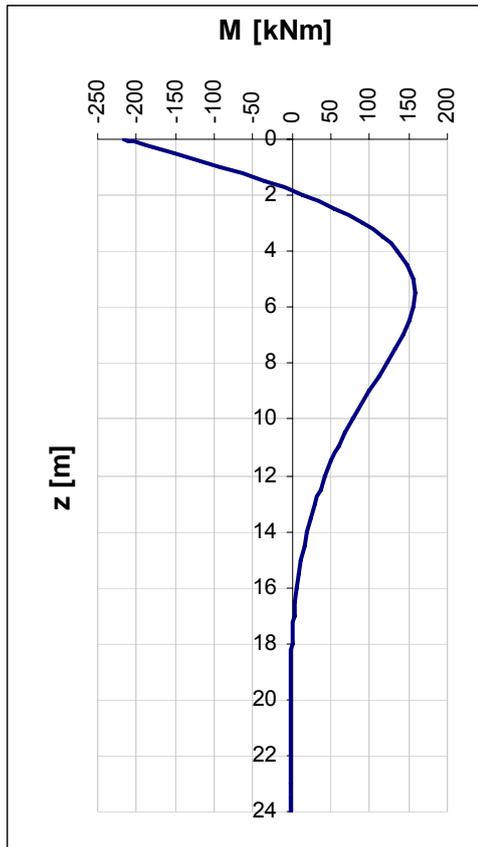
#### PILA 01

E	=	32588 MPa	modulo elastico calcestruzzo
D	=	1200 mm	diametro palo
J	=	0.1018 m <sup>4</sup>	momento d'inerzia del palo
K	=	13000 kN/m <sup>3</sup>	costante di reazione del terreno
B	=	1.80 m	larghezza efficace del palo
E <sub>s</sub>	=	23400 kN/m <sup>2</sup>	modulo di elasticità del terreno
L0	=	4.88 m	lunghezza elastica del palo
h	=	0.00 m	altezza tratto libero
V	=	107.0 kN	taglio alla testa del palo
M <sub>max</sub>	=	261.0 kNm	massimo momento flettente
d <sub>max</sub>	=	0.94 mm	spostamento massimo in testa
z2	=	10.10 m	profondità di calcolo momento flettente
M(z2)	=	90.2 kNm	momento flettente alla profondità z2
z3	=	21.10 m	profondità di calcolo momento flettente
M(z3)	=	-3.1 kNm	momento flettente alla profondità z3



**PILA 02**

E	=	32588 MPa	modulo elastico calcestruzzo
D	=	1200 mm	diametro palo
J	=	0.1018 m <sup>4</sup>	momento d'inerzia del palo
K	=	<b>13000</b> kN/m <sup>3</sup>	costante di reazione del terreno
B	=	1.80 m	larghezza efficace del palo
E <sub>s</sub>	=	23400 kN/m <sup>2</sup>	modulo di elasticità del terreno
L0	=	4.88 m	lunghezza elastica del palo
h	=	<b>0.00</b> m	altezza tratto libero
V	=	88.1 kN	taglio alla testa del palo
M <sub>max</sub>	=	<b>214.9</b> kNm	massimo momento flettente
d <sub>max</sub>	=	0.77 mm	spostamento massimo in testa
z2	=	10.10 m	profondità di calcolo momento flettente
M(z2)	=	<b>74.3</b> kNm	momento flettente alla profondità z2
z3	=	21.10 m	profondità di calcolo momento flettente
M(z3)	=	<b>-2.5</b> kNm	momento flettente alla profondità z3



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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 45 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

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

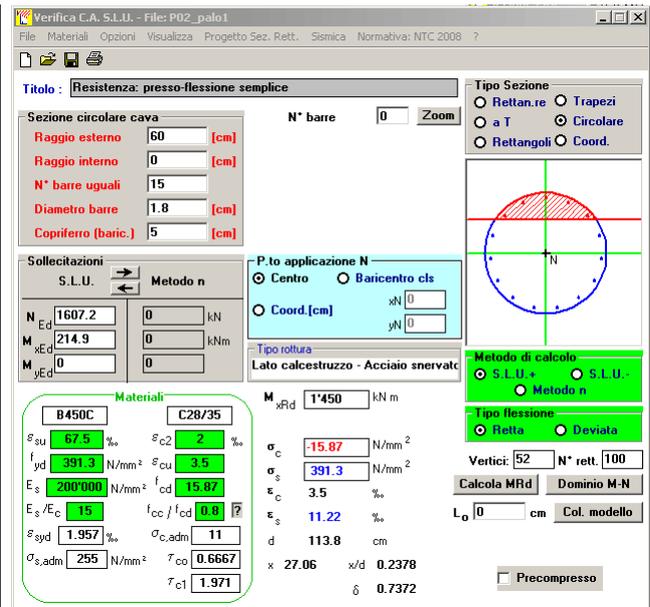
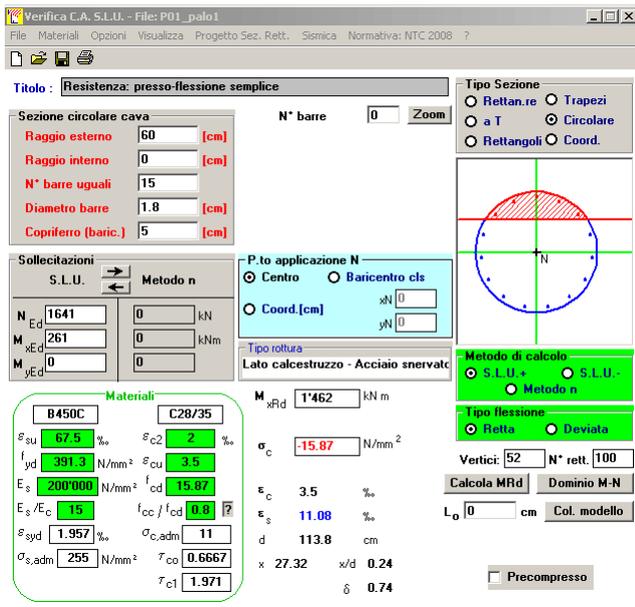
In tutte le palificate le gabbie vengono armate con 15 Ø18. Il momento ultimo del palo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output relative alle sezioni di testa.

#### PILA 01

	Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	c'	Φ	n	s	M <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>res</sub>	
	[m]	[m]	[cm]	[mm]		[cm]	[kN*m]	[kN]	[kN*m]	
gabbia n.1	-0.9	11.1	5	18	15	23.0	261.0	1641.0	1462.0	OK
gabbia n.2	10.1	22.1	5	18	15	23.0	90.2	1641.0	1462.0	OK
gabbia n.3	21.1	25.0	5	18	15	23.0	3.1	1641.0	1462.0	OK

#### PILA 02

	Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	c'	Φ	n	s	M <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>res</sub>	
	[m]	[m]	[cm]	[mm]		[cm]	[kN*m]	[kN]	[kN*m]	
gabbia n.1	-0.9	11.1	5	18	15	23.0	214.9	1607.2	1450.0	OK
gabbia n.2	10.1	22.1	5	18	15	23.0	74.3	1607.2	1450.0	OK
gabbia n.3	21.1	25.0	5	18	15	23.0	2.5	1607.2	1450.0	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 46 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### 7.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si dispongono spirali Ø10/200 nella prima gabbia dove le sollecitazioni taglianti sono maggiori, mentre nelle altre sono sicuramente sufficienti delle spirali Ø10/300. 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

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

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

dove:

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

$D$ : diametro della sezione

$d$ : altezza utile della sezione

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

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

$s$ : interasse tra due armature trasversali consecutive

$\alpha_c$ : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

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

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 47 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### Geometria

D	=	1200 mm	diametro sezione
d	=	1150 mm	altezza utile
d <sub>e</sub>	=	892 mm	altezza utile equivalente
b <sub>we</sub>	=	1080 mm	base equivalente

### Materiali

R <sub>ck</sub>	=	35	resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	=	29.05 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ <sub>c</sub>	=	1.50	coefficiente parziale di sicurezza
α <sub>cc</sub>	=	0.85	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f <sub>cd</sub>	=	16.46 MPa	resistenza di calcolo a compressione
f' <sub>cd</sub>	=	8.23	resistenza ridotta
γ <sub>s</sub>	=	1.15	coefficiente di sicurezza acciaio
f <sub>yk</sub>	=	450.00 MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f <sub>yd</sub>	=	391.30 MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

### PILA 01

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

∅ <sub>w</sub>	=	10 mm	diametro dell'armatura a taglio
α	=	90 °	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	200 mm	passo staffe in direzione longitudinale
n <sub>br</sub>	=	2	numero bracci
A <sub>sw</sub>	=	157.08 mm <sup>2</sup>	area resistente dell'armatura a taglio
ctgθ	=	2.50	inclinazione delle bielle di calcestruzzo
σ <sub>cp</sub>	=	1.451 MPa	tensione media di compressione nella sezione
α <sub>c</sub>	=	1.09	coefficiente maggiorativo per la presenza di sforzo assiale
V <sub>Rsd</sub>	=	616.8 kN	resistenza a taglio trazione
V <sub>Rcd</sub>	=	2677.7 kN	resistenza taglio compressione
V <sub>Rd</sub>	=	616.8	resistenza a taglio
FS	=	5.77	

### 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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 48 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio

$\varnothing_w$	=	<b>10</b> mm	di diametro dell'armatura a taglio
$\alpha$	=	<b>90</b> °	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	<b>200</b> mm	passo staffe in direzione longitudinale
$n_{br}$	=	<b>2</b>	numero bracci
$A_{sw}$	=	157.08 mm <sup>2</sup>	area resistente dell'armatura a taglio
ctg $\vartheta$	=	<b>2.50</b>	inclinazione delle bielle di calcestruzzo
$\sigma_{cp}$	=	1.421 MPa	tensione media di compressione nella sezione
$\alpha_c$	=	1.09	coefficiente maggiorativo per la presenza di sforzo assiale
$V_{Rsd}$	=	616.8 kN	resistenza a taglio trazione
$V_{Rcd}$	=	2673.2 kN	resistenza taglio compressione
$V_{Rd}$	=	<b>616.8</b>	resistenza a taglio
FS	=	7.00	

### 7.1.3 S.L.E. – Fessurazione

Si procede alla verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta, così come riportata nell'ultimo capoverso del punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC, riferendosi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle tabelle seguenti. La tensione  $\sigma_s$  è quella nell'acciaio d'armatura prossimo al lembo teso della sezione calcolata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente.

Per quanto riguarda le condizioni ambientali e la sensibilità delle armature sono state assunte:

- condizioni ambientali aggressive;
- armature poco sensibili.

Definita la massima tensione ammissibile nelle barre di acciaio, si considerano per ogni combinazione le condizioni di sforzo normale e taglio agente e, con l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U., utilizzando un'analisi elastica, si determina la massima tensione nelle barre nella combinazione più gravosa tra quelle frequenti e per quella più gravosa tra quelle quasi permanenti..

**condizioni ambientali aggressive  
armature poco sensibili**

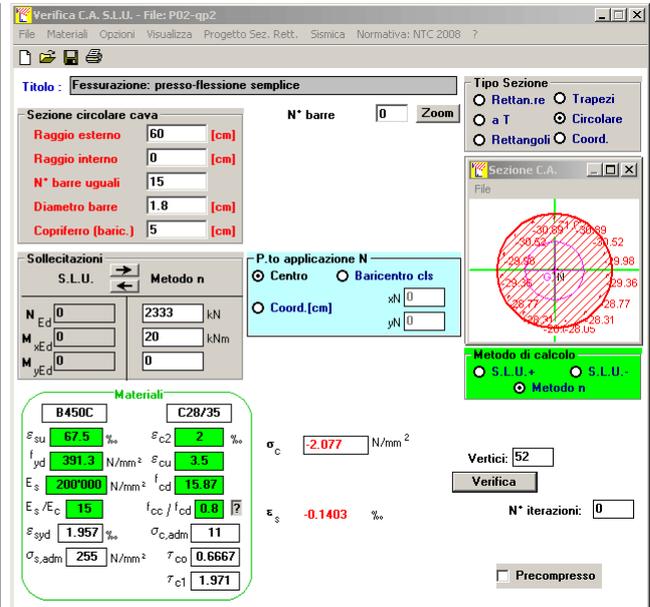
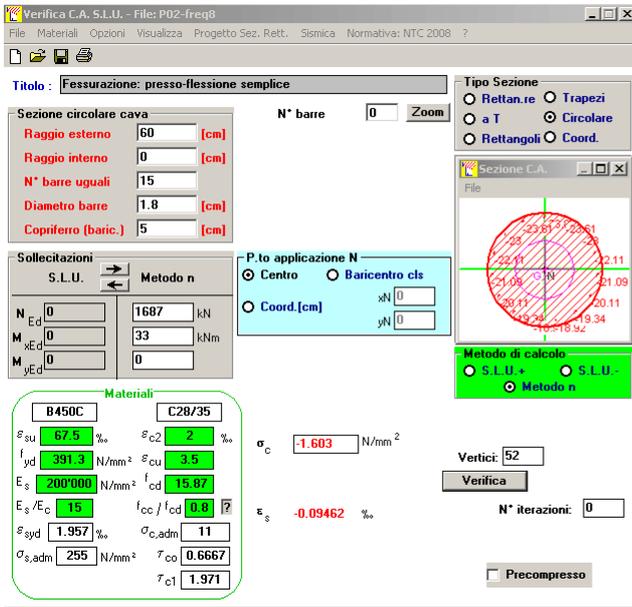
#### Diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione

$\sigma_s$ [MPa]	w2=0.30 mm								w1=0.20 mm	
	$\varnothing$									
160	32	32	32	32	32	32	32	32	25	25
200	25	25	25	25	25	25	25	25	16	16
240	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12
280	12	12	12	12	12	12	12	12	8	8
320	10	10	10	10	10	10	10	10	6	6
360	8	8	8	8	8	8	8	8	-	-

#### Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione

$\sigma_s$ [MPa]	w2=0.30 mm								w1=0.20 mm	
	$\varnothing$									
160	300	300	300	300	300	300	300	300	200	200
200	250	250	250	250	250	250	250	250	150	150
240	200	200	200	200	200	200	200	200	100	100
280	150	150	150	150	150	150	150	150	50	50
320	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
360	50	50	50	50	50	50	50	50	-	-



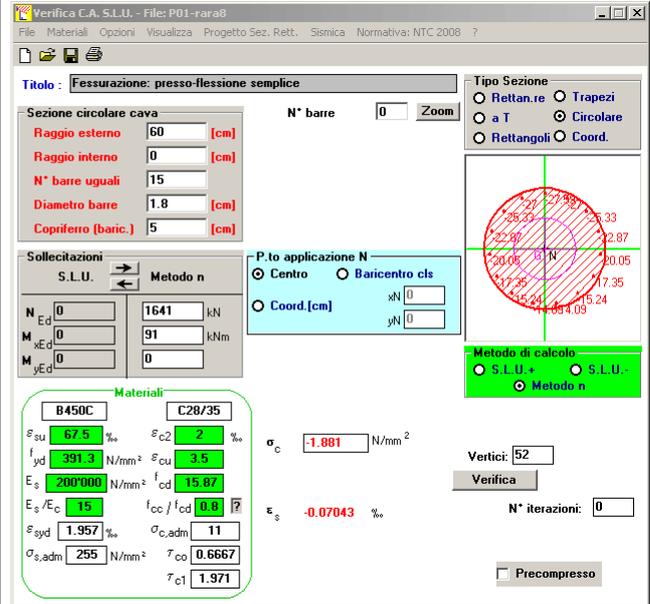
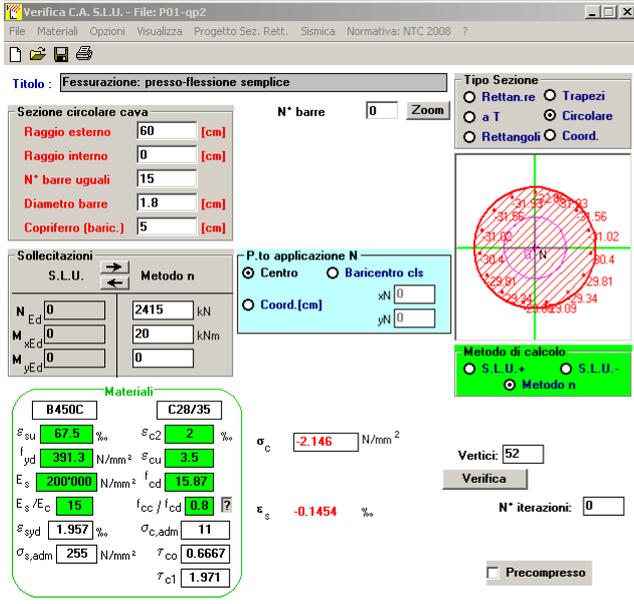


### 7.1.4 S.L.E. – Limitazione delle tensioni

In accordo con quanto previsto dalle NTC al punto 4.1.2.2.5, si verifica 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:  $0,80 f_{yk}$  in combinazione caratteristica). Le tensioni sono state ottenute con la stessa metodologia utilizzata per le verifiche di fessurazione.

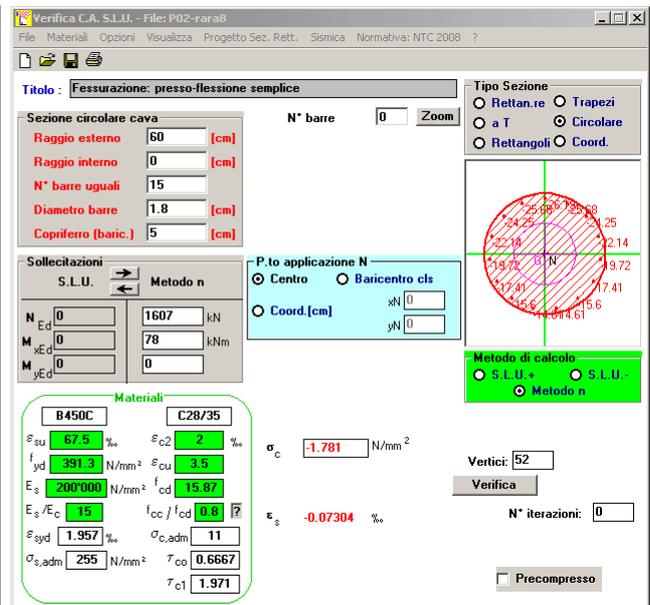
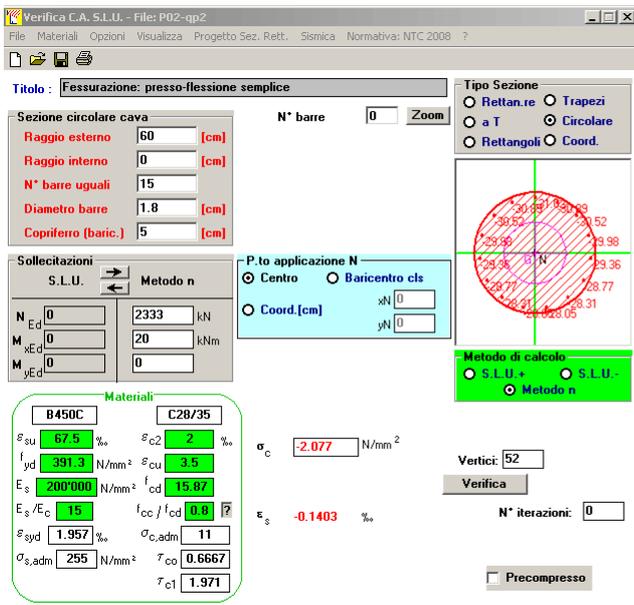
#### PILA 01

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara7	rara8	qp1	qp2		
					rara5	rara6						
<b>Sollecitazioni agenti</b>												
L0 =	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	m	lunghezza elastica del palo
h =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N =	2592	2576	2703	2613	2138	2049	1731	1641	2437	2415	kN	sforzo assiale
V =	36	36	35	35	34	34	37	37	8	8	kN	taglio alla testa del palo
M <sub>max</sub> =	88	88	86	86	83	83	91	91	20	20	kN*m	massimo momento flettente
<b>Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio</b>												
$\sigma_{c,max}$ =	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
$\sigma_{c,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	-	-	1.88	2.14	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
<b>Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio</b>												
$\sigma_{s,max}$ =	360	360	360	360	360	360	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	-	-	28		[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			



**PILA 02**

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione			rara8	qp1	qp2		
					rara5	rara6	rara7					
<b>Sollecitazioni agenti</b>												
L0 =	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	m	lunghezza elastica del palo
h =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N =	2583	2567	2709	2620	1936	1847	1697	1607	2348	2333	kN	sforzo assiale
V =	32	32	31	31	31	31	32	32	8	8	kN	taglio alla testa del palo
M <sub>max</sub> =	77	77	76	76	75	75	78	78	20	20	kN*m	massimo momento flettente
<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> =	-	-	-	-	-	-	-	1.78	-	2.08	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
<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> =	-	-	-	-	-	-	-	26			[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 52 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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/m3)	18.5	21.6	20.8	
gamma_sat (kN/m3)	18.5	21.6	20.8	
coesione non dren. cu (kPa)	50	250	250	
coesione dren. c' (kPa)	15	19	25	
angolo attrito phi' (°)	19	23	22	

### 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:

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

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:

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

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

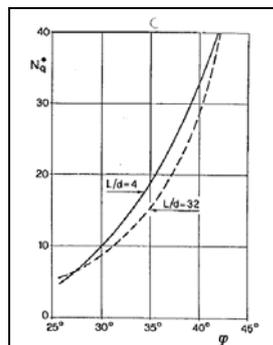
in condizioni drenate. In queste equazioni, si sono indicate rispettivamente con  $\sigma_{VL}$  e con  $\sigma_{VL}'$  la tensione totale ed efficace agenti in sito alla quota della punta del palo. I valori assunti per il coefficiente di adesione  $\alpha$  sono stati ricavati in funzione della coesione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

$C_u$	$\alpha$
(kPa)	(-)
<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:  $k = 1 - \sin \varphi'$ , mentre il coefficiente di attrito vale:  $\mu = \tan \varphi'$ .

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:

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 53 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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.

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 la falda contenuta tra -3÷-5m (tetto falda) e -10m (letto falda) al di sotto del p.c., ossia il letto della falda coincidente con il tetto dell'unità geotecnica TRV2a. 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	11	0	11
2° strato	TRBa_2b	34	11	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_2a	13	0	13
2° strato	TRBa_2b	32	13	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 54 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_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	$\gamma_{G3}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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 $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	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

<sup>(\*)</sup> 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  $\rightarrow$  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 6.

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

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\zeta_3$	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 55 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

azioni verticali massime in testa palo			caratteristiche pali fondazione					PP. Compensato	carico limite	
pila/spalla	statica	dinamica	diam. Palo	N° pali	lunghezza palo	Lungh- compl.	Volume		Qlim_d	Qlim_u
	kN	kN	m		m	m	m3	kN	kN	kN
P01	4851.2	3156.7	1.2	6	25	150	54.0	146.88	5684.378	6818.49
P02	4516.2	2572.5	1.2	6	25	150	54.0	144.44	5706.407	6819.355

## 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.

### PILA 01

#### CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE IN TERRENI COESIVI

D	=	1.20 m	diametro palo
L	=	25.00 m	lunghezza palo
M <sub>y</sub>	=	1462.0 kNm	momento di plasticizzazione del palo
c <sub>u</sub>	=	390.6 kPa	coesione non drenata (scalata per il fattore di correlazione)

#### **palo corto**

Q <sub>lim,1</sub>	=	97858.7 kN	carico limite per palo corto
M <sub>max</sub>	=	1311307 kNm	momento massimo

#### **palo intermedio**

Q <sub>lim,2</sub>	=	36555.3 kN	carico limite per palo intermedio
f	=	8.7 m	
M <sub>max</sub>	=	222739.5 kNm	momento massimo

#### **palo lungo**

Q <sub>lim,3</sub>	=	1480.2 kN	carico limite per palo lungo
MR		PALO LUNGO	meccanismo di rottura
Q <sub>lim,m</sub>	=	1480.2 kN	carico limite (valore medio)
ξ <sub>3</sub>	=	1.55	fattore di correlazione
Q <sub>lim,k</sub>	=	954.9 kN	carico limite (valore caratteristico)
γ <sub>T</sub>	=	1.30	coefficiente parziale
Q <sub>lim,d</sub>	=	734.6 kN	carico limite (valore di progetto)
F <sub>h</sub>	=	107.0 kN	azione trasversale testa palo
FS		6.87	

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 56 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## PILA 02

### CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE IN TERRENI COESIVI

D	=	1.20 m	diametro palo
L	=	25.00 m	lunghezza palo
M <sub>y</sub>	=	1450.0 kNm	momento di plasticizzazione del palo
c <sub>u</sub>	=	390.6 kPa	coesione non drenata (scalata per il fattore di correlazione)

#### **palo corto**

Q <sub>lim,1</sub>	=	97858.7 kN	carico limite per palo corto
M <sub>max</sub>	=	1311307 kNm	momento massimo

#### **palo intermedio**

Q <sub>lim,2</sub>	=	36554.7 kN	carico limite per palo intermedio
f	=	8.7 m	
M <sub>max</sub>	=	222744.4 kNm	momento massimo

#### **palo lungo**

Q <sub>lim,3</sub>	=	1469.0 kN	carico limite per palo lungo
MR		PALO LUNGO	meccanismo di rottura
Q <sub>lim,m</sub>	=	1469.0 kN	carico limite (valore medio)
ξ <sub>3</sub>	=	1.55	fattore di correlazione
Q <sub>lim,k</sub>	=	947.7 kN	carico limite (valore caratteristico)
γ <sub>τ</sub>	=	1.30	coefficiente parziale
Q <sub>lim,d</sub>	=	729.0 kN	carico limite (valore di progetto)
F <sub>h</sub>	=	88.1 kN	azione trasversale testa palo
FS		8.28	

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 57 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## 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 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 S.L.U. 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>q</sub>	<b>0.900</b>	m	diametro dell'elastomero
W	<b>1049</b>	kg	peso dell'isolatore

A partire dal modello di calcolo globale 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								pila
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
P1-D	G1+G2	0	4	4070	0	0	0	P01
P1-D	E2	0	0	307	0	0	0	
P1-D	E3	0	0	88	0	0	0	
P1-D	Q1	1	7	1766	0	0	0	
P1-D	Q5	0	134	-42	0	0	0	
P1-D	Q7	41	0	0	0	0	0	
P1-S	G1+G2	0	3	3959	0	0	0	
P1-S	E2	0	0	307	0	0	0	
P1-S	E3	0	0	88	0	0	0	
P1-S	Q1	1	9	2052	0	0	0	
P1-S	Q5	0	134	42	0	0	0	
P1-S	Q7	40	0	0	0	0	0	
P2-D	G1+G2	0	3	4081	0	0	0	P02
P2-D	E2	0	0	307	0	0	0	
P2-D	E3	0	0	88	0	0	0	
P2-D	Q1	1	2	1802	0	0	0	
P2-D	Q5	0	137	-84	0	0	0	
P2-D	Q7	41	0	0	0	0	0	
P2-S	G1+G2	0	3	3958	0	0	0	
P2-S	E2	0	0	307	0	0	0	
P2-S	E3	0	0	88	0	0	0	
P2-S	Q1	1	3	2114	0	0	0	
P2-S	Q5	0	137	84	0	0	0	
P2-S	Q7	40	0	0	0	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 58 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

Azione 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	
P1-D	Q6	88	44	202	0	0	0	P01
P1-S	Q6	88	44	202	0	0	0	
P2-D	Q6	90	45	200	0	0	0	P02
P2-S	Q6	90	45	200	0	0	0	

Azioni totali sugli appoggi (Combinazione sismica - max Fz)								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	pila
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
P1-D	S.L.C.	113	48	4624	0	0	0	P01
P1-S	S.L.C.	112	47	4512	0	0	0	
P2-D	S.L.C.	115	49	4632	0	0	0	P02
P2-S	S.L.C.	114	49	4509	0	0	0	
				<b>4632</b>				

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	
P1-D	S.L.U.	38	135	8273	0	0	0	P01
P1-S	S.L.U.	37	136	8585	0	0	0	
P2-D	S.L.U.	38	130	8297	0	0	0	P02
P2-S	S.L.U.	37	132	8704	0	0	0	
				<b>8704</b>				

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 reazione prodotta dal caso di carico analizzato nella direzione X o Y e la rigidezza orizzontale equivalente dell'isolatore. Gli spostamenti nelle due direzioni sono stati infine combinati vettorialmente per le due combinazioni da verificare.

S.L.C.					
	P1-D	P1-S	P2-D	P2-S	
d <sub>Q6,x</sub>	0.097	0.097	0.099	0.099	m spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma longitudinale
d <sub>Q6,y</sub>	0.049	0.049	0.050	0.050	m spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma trasversale
d <sub>E2,x</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	m dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
d <sub>E3,x</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	m dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
d <sub>E,tot</sub>	0.109	0.109	0.111	0.111	m spostamento longitudinale totale dell'impalcato
S.L.U.					
	P1-D	P1-S	P2-D	P2-S	
d <sub>E2,x</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	m dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
d <sub>E3,x</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	m dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
d <sub>Q1,y</sub>	0.002	0.002	0.001	0.000	m spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto ai carichi mobili
d <sub>Q5,y</sub>	0.044	0.044	0.045	0.045	m spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al vento
d <sub>E,tot</sub>	0.042	0.042	0.042	0.041	m spostamento longitudinale totale dell'impalcato
d <sub>giunto</sub>	0.222				m massima escursione del giunto

Il massimo spostamento dell'isolatore è pari a 111 mm, inferiore quindi al massimo spostamento consentito all'isolatore, pari a 300 mm.

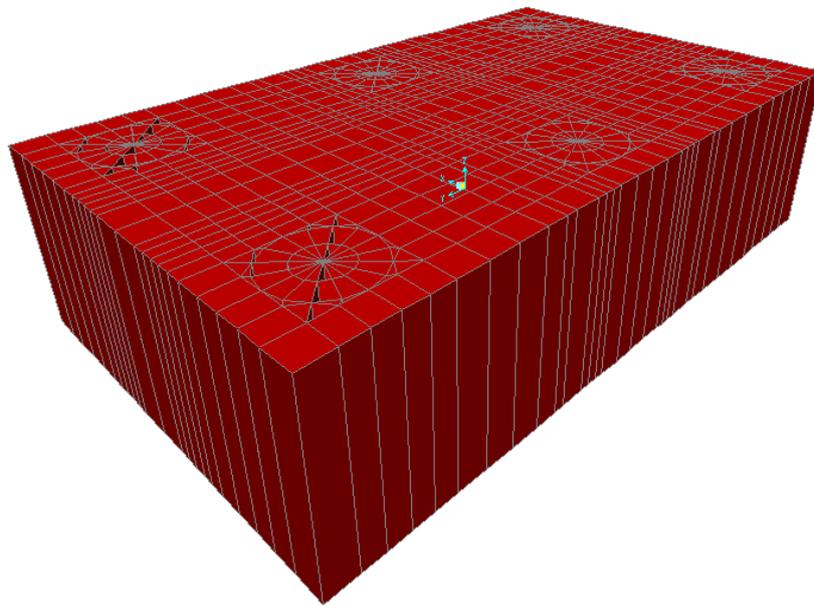
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 59 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

## 9 ANALISI DEL PLINTO DI FONDAZIONE (6 PALI)

Il plinto presenta pianta rettangolare di dimensioni 9.20 × 5.60 m ed altezza pari a 2.50 m. Esso è fondato su n. 6 pali Ø1200 mm posti ad interasse di 3.60 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. 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*).



### 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 della carreggiata sinistra, alle quali si fa riferimento per il dimensionamento di tutti i plinti, in quanto sono le più gravose.

SFORZO NORMALE N PALO	q1								q3							
	1	4393	4285	3781	3674	4652	4544	4040	3933	3870	3762	3258	3151	4064	3956	3452
2	3999	3935	3999	3935	3857	3793	3857	3793	3489	3425	3489	3425	3382	3319	3382	3319
3	3605	3585	4216	4197	3062	3042	3673	3654	3108	3089	3720	3700	2701	2681	3312	3293
4	4507	4399	3895	3788	4766	4658	4154	4047	4657	4549	4045	3938	4851	4744	4240	4132
5	4113	4049	4113	4049	3971	3907	3971	3907	4276	4213	4276	4213	4170	4106	4170	4106
6	3719	3699	4330	4311	3176	3156	3787	3768	3895	3876	4507	4487	3488	3469	4100	4080
max	4507	4399	4330	4311	4766	4658	4154	4047	4657	4549	4507	4487	4851	4744	4240	4132
min	3605	3585	3781	3674	3062	3042	3673	3654	3108	3089	3258	3151	2701	2681	3312	3293
<b>TAGLI</b>																
taglio Vx	12	12	12	12	12	12	12	12	74	74	74	74	74	74	74	74
taglio Vy	53	53	-52	-52	56	56	-49	-49	53	53	-52	-52	55	55	-50	-50
V	54	54	53	53	57	57	50	50	91	91	90	90	92	92	89	89

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 60 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

SFORZO NORMALE N									q4								q5							
PALO																								
1	4206	4099	3595	3487	4401	4293	3789	3682	4410	4303	3391	3283	4605	4497	3585	3478								
2	3826	3762	3826	3762	3719	3656	3719	3656	3826	3762	3826	3762	3719	3656	3719	3656								
3	3445	3425	4056	4037	3037	3018	3649	3630	3241	3221	4260	4241	2834	2814	3853	3834								
4	4320	4213	3709	3601	4514	4407	3903	3795	4524	4417	3505	3397	4718	4611	3699	3591								
5	3939	3876	3939	3876	3833	3769	3833	3769	3939	3876	3939	3876	3833	3769	3833	3769								
6	3559	3539	4170	4151	3151	3132	3763	3744	3355	3335	4374	4355	2947	2928	3967	3947								
max	4320	4213	4170	4151	4514	4407	3903	3795	4524	4417	4374	4355	4718	4611	3967	3947								
min	3445	3425	3595	3487	3037	3018	3649	3630	3241	3221	3391	3283	2834	2814	3585	3478								
TAGLI																								
taglio Vx	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12								
taglio Vy	53	53	-52	-52	55	55	-50	-50	88	88	-87	-87	90	90	-84	-84								
V	54	54	53	53	57	57	51	51	89	89	88	88	91	91	85	85								

SFORZO NORMALE N									SLU e3		q6.x		S.L.V. q6.y		q6.z	
PALO																
1	4220	4041	3609	3430	4415	4236	3803	3624	2047	1973	2510	2435	2373	2299		
2	3840	3734	3840	3734	3733	3627	3733	3627	1931	1887	2252	2208	2257	2213		
3	3459	3426	4070	4038	3052	3019	3663	3631	1815	1802	1995	1982	2141	2128		
4	4334	4155	3723	3544	4529	4349	3917	3738	3157	3082	2977	2902	2759	2684		
5	3954	3848	3954	3848	3847	3741	3847	3741	3041	2997	2720	2676	2643	2599		
6	3573	3540	4184	4152	3165	3133	3777	3745	2925	2911	2463	2449	2527	2514		
max	4334	4155	4184	4152	4529	4349	3917	3745	3157	3082	2977	2902	2759	2684		
min	3459	3426	3609	3430	3052	3019	3663	3624	1815	1802	1995	1982	2141	2128		
TAGLI																
taglio Vx	12	12	12	12	12	12	12	12	106	106	37	37	37	37		
taglio Vy	53	53	-52	-52	55	55	-50	-50	15	15	50	50	15	15		
V	54	54	53	53	57	57	51	51	107	107	63	63	40	40		

SFORZO NORMALE N									S.L.E.									
									S.L.car		S.L.freq				S.L.qp			
PALO																		
1	3111	3021	2703	2613	2138	2049	1731	1641	2975	2885	2839	2749	2002	1913	1867	1777	2490	2415
2	2851	2798	2851	2798	2160	2108	2160	2108	2851	2798	2851	2798	2160	2108	2160	2108	2463	2419
3	2592	2576	3000	2983	2182	2166	2590	2574	2728	2712	2864	2847	2318	2302	2454	2438	2437	2424
4	3187	3097	2779	2689	2214	2125	1806	1717	3051	2961	2915	2825	2078	1989	1942	1853	2566	2491
5	2927	2874	2927	2874	2236	2183	2236	2183	2927	2874	2927	2874	2236	2183	2236	2183	2539	2495
6	2668	2652	3076	3059	2258	2242	2666	2650	2804	2787	2940	2923	2394	2378	2530	2514	2513	2500
max	3187	3097	3076	3059	2258	2242	2666	2650	3051	2961	2940	2923	2394	2378	2530	2514	2566	2500
min	2592	2576	2703	2613	2138	2049	1731	1641	2728	2712	2839	2749	2002	1913	1867	1777	2437	2415
TAGLI																		
taglio Vx	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
taglio Vy	35	35	-35	-35	33	33	-37	-37	12	12	-11	-11	10	10	-13	-13	0	0
V	36	36	35	35	34	34	37	37	14	14	14	14	13	13	16	16	8	8

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>.

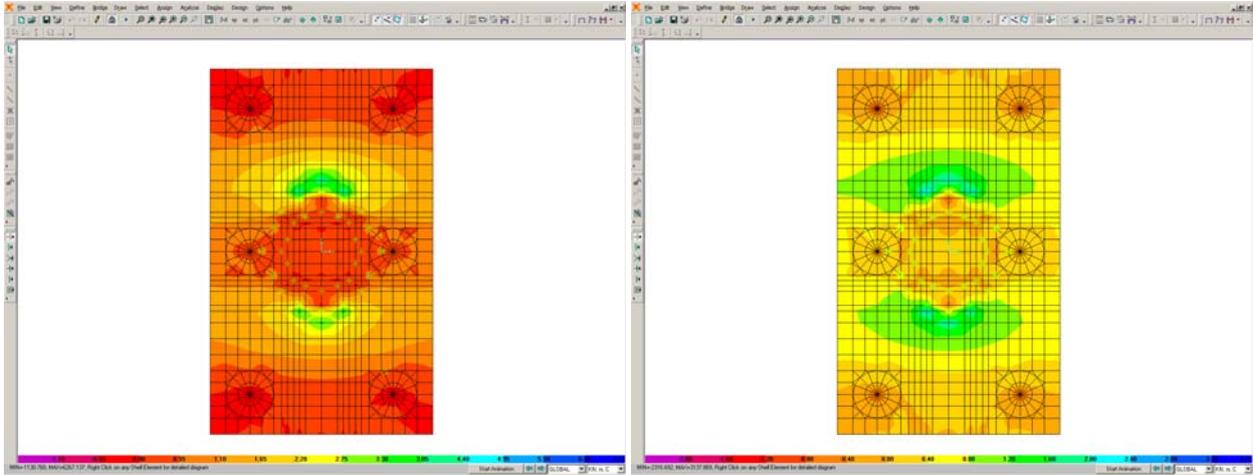
Il peso del terreno di ricoprimento, coerentemente con quanto riportato nell'analisi della palificata, è stato determinato assumendo uno spessore del terreno stesso di 1,0 m. Quest'ultima azione è stata implementata nel modello di calcolo come un carico di superficie uniformemente distribuito sull'estradosso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

$$g_2 = 18.0 \times 1.0 = 18.0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{peso terreno}).$$

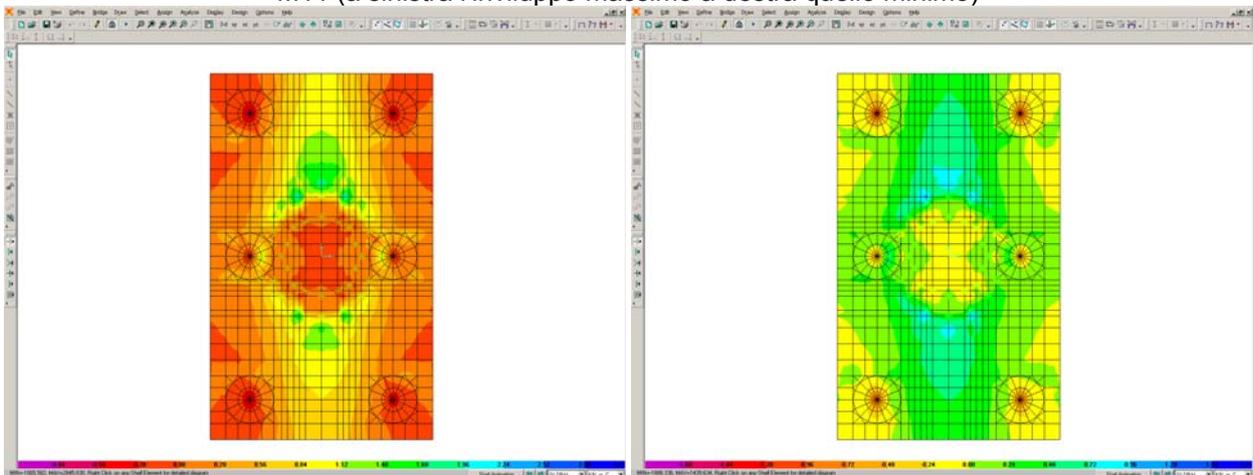
Nelle combinazioni di carico allo stato limite ultimo sia il peso proprio del plinto, sia il peso del terreno di ricoprimento, sono stati combinati con le azioni esercitate dai pali impiegando un coefficiente parziale pari a 1,35; nelle combinazioni di carico allo stato limite di salvaguardia della vita ed allo stato limite di esercizio il coefficiente parziale è stato invece assunto di valore pari a 1.

## 9.2 SOLLECITAZIONI

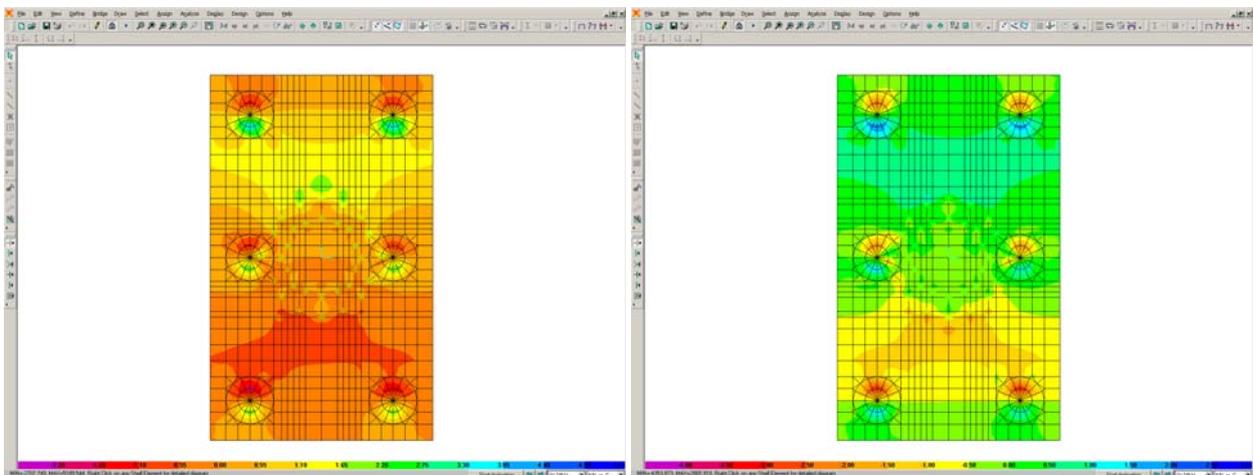
Si riportano di seguito le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11max, M11min, M22max, M22min, V13max, V13min, V23max, V23min) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite ultimo ed allo stato limite di salvaguardia della vita, necessarie per il dimensionamento dell'armatura a flessione e di quella a taglio.



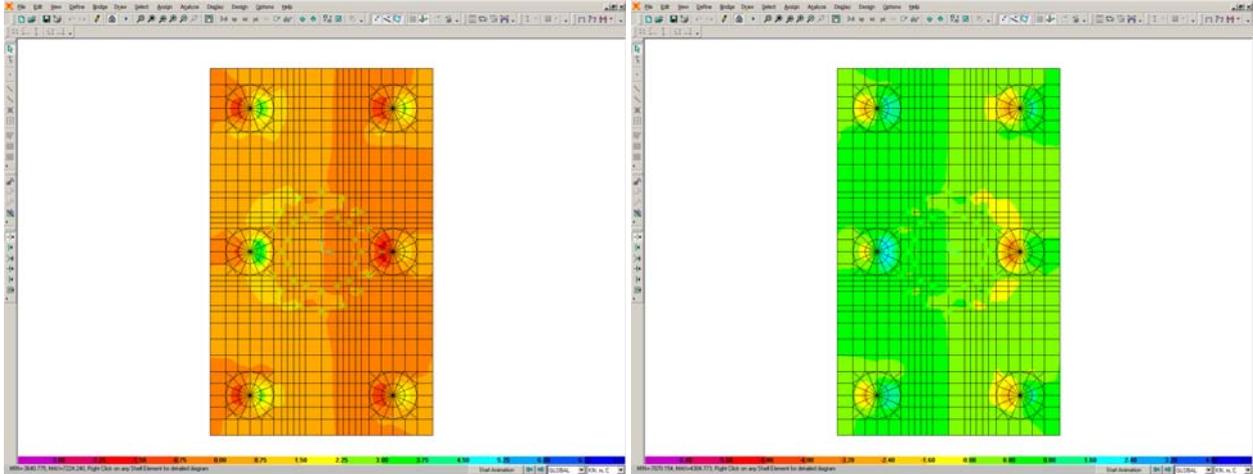
M11 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)



M22 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

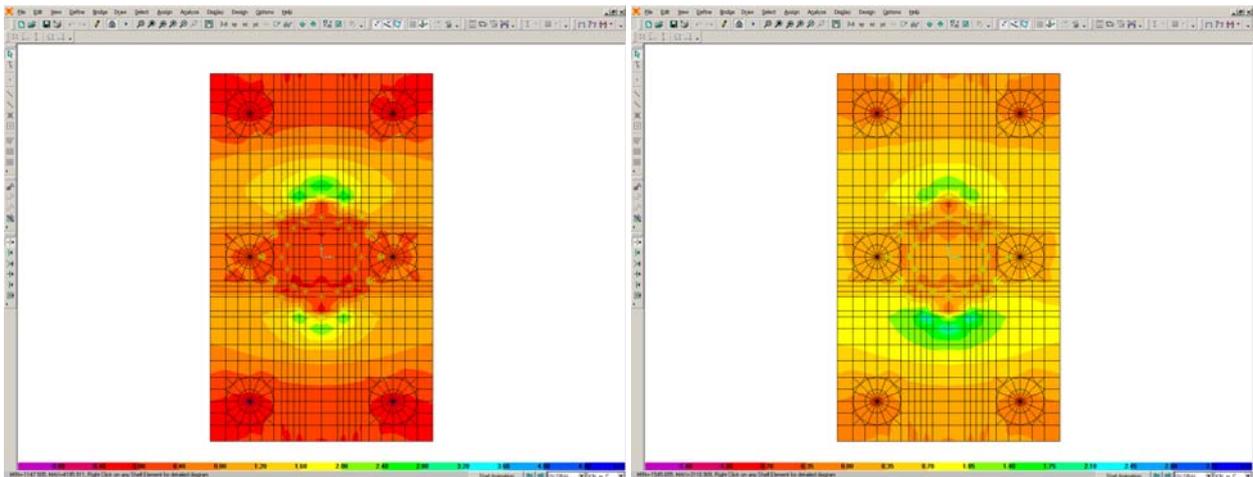


V13 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

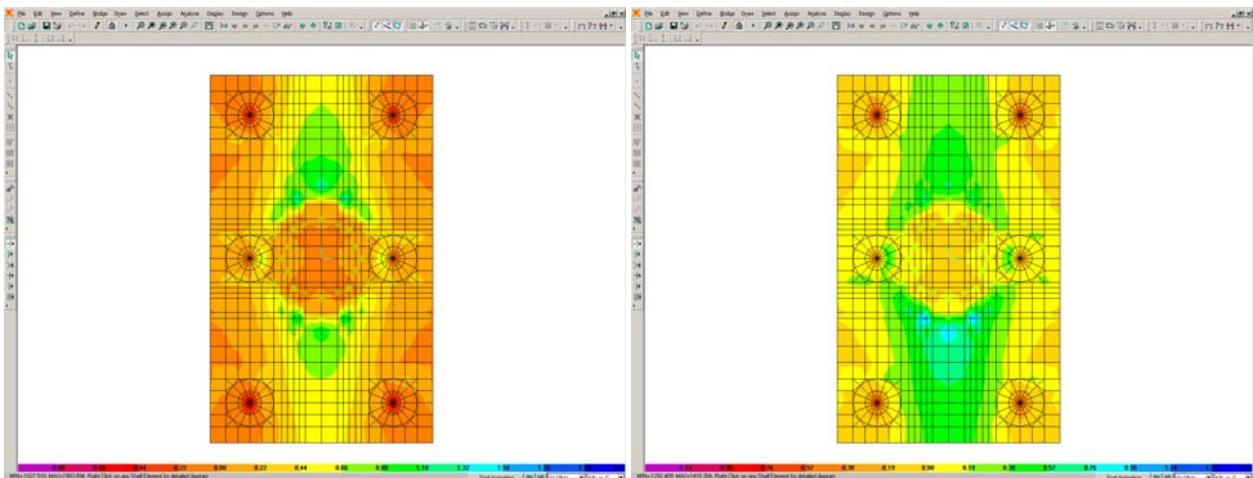


V23 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

Sono ora presentate le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11max, M11min, M22max, M22min) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite di esercizio (combinazioni frequenti), necessarie per effettuare le verifiche a fessurazione.

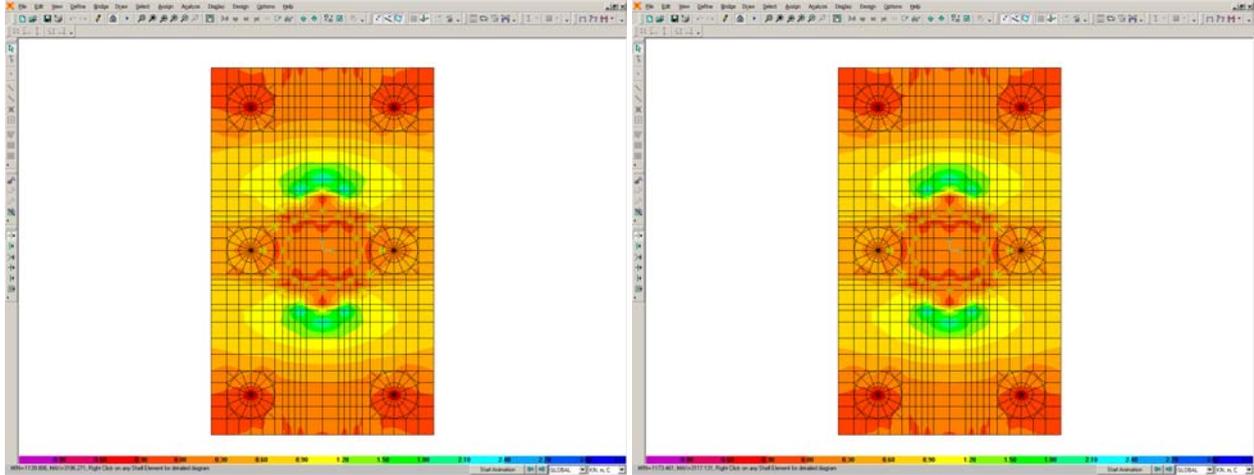


M11 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

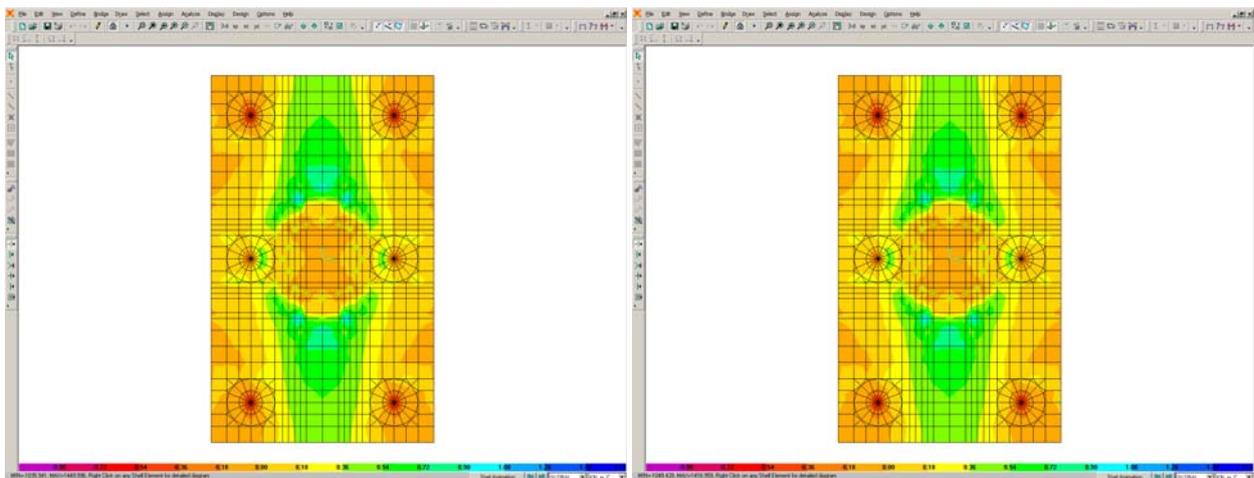


M22 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

Di seguito si riportano le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11max, M11min, M22max, M22min) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite di esercizio (combinazioni quasi permanenti), necessarie anch'esse per effettuare le verifiche a fessurazione.

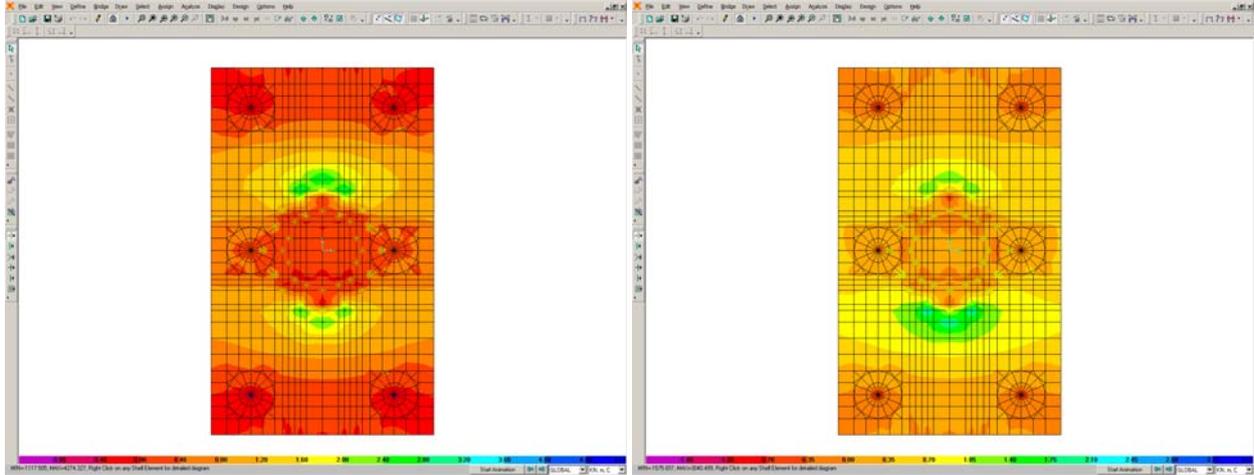


M11 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

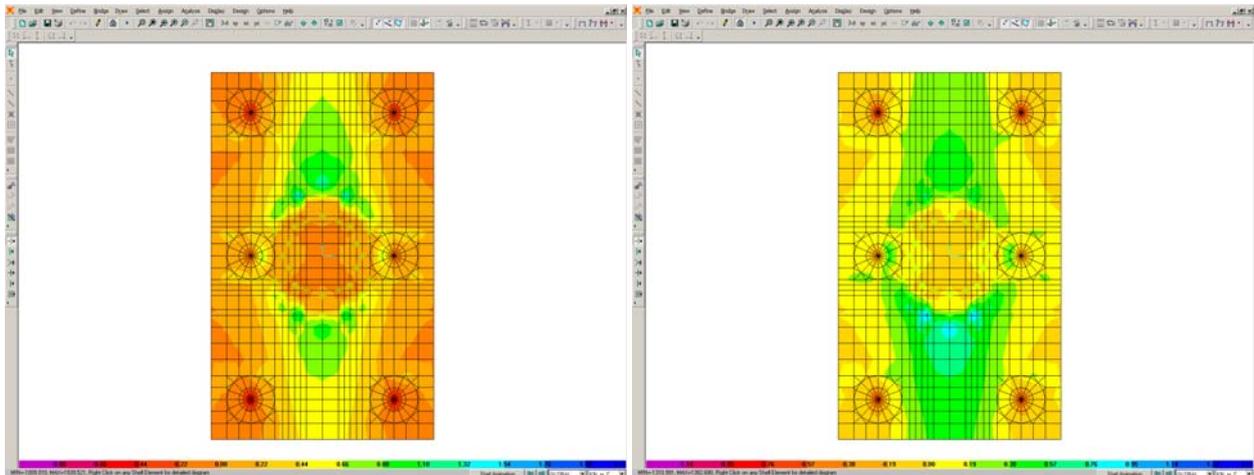


M22 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

Infine sono presentate le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11max, M11min, M22max, M22min) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite di esercizio (combinazioni caratteristiche), necessarie per effettuare le verifiche di limitazione delle tensioni.



M11 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)



M22 (a sinistra l'involuppo massimo a destra quello minimo)

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 65 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

### 9.3 ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI

Sulla base delle sollecitazioni ottenute allo S.L.U. è stata disposta la seguente armatura a flessione.

		Armatura Superiore				Ferri		Armatura Inferiore					
		$A_{res,1}$		$A_{res,2}$	$A_{res,TOT}$			$A_{res,1}$		$A_{res,2}$	$A_{res,TOT}$		
		[cm <sup>2</sup> ]		[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]			[cm <sup>2</sup> ]		[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]		
plinto6	X	5 Φ 20	15.7	+	0 Φ 0	0.0	15.7	5 Φ 26	26.5	+	0 Φ 0	0.0	26.5
	Y	5 Φ 20	15.7	+	0 Φ 0	0.0	15.7	10 Φ 26	53.1	+	0 Φ 0	0.0	53.1

### 9.4 VERIFICA DELLA SEZIONE DEL PLINTO

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

Il momento ultimo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei momenti resistenti:

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE					
$M_{Ed}^{sup}$	$M_{Rd}^{sup}$		$M_{Ed}^{inf}$	$M_{Rd}^{inf}$	
[kN*m]	[kN*m]		[kN*m]	[kN*m]	
190	1467	OK	2000	2463	OK
210	1484	OK	4400	4932	OK

#### 9.4.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si è ritenuto opportuno disporre un cavallotto al metro quadro per assolvere la funzione di armatura resistente a taglio. Considerando una striscia di un metro, 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

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

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

dove:

$d$ : altezza utile della sezione

$b_w$ : 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

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 66 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

<b>Sollecitazioni</b>				
V	=	1660	kN	taglio di calcolo
N	=	0	kN	sforzo assiale di calcolo
<b>Geometria</b>				
h	=	2500	mm	altezza della sezione
d'	=	50	mm	copriferro
d	=	2450	mm	altezza utile della sezione
b <sub>w</sub>	=	1000	mm	base della sezione
<b>Materiali</b>				
R <sub>ck</sub>	=	40	MPa	resistenza caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	=	33.20	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ <sub>c</sub>	=	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α <sub>cc</sub>	=	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f <sub>cd</sub>	=	18.81	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f <sub>cd</sub>	=	9.41	MPa	resistenza ridotta
γ <sub>s</sub>	=	1.15		coefficiente di sicurezza acciaio
f <sub>yk</sub>	=	450.00	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f <sub>yd</sub>	=	391.30	MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

<b>Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio</b>				
Ø <sub>w</sub>	=	24	mm	diametro dell'armatura a taglio
α	=	90	°	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	1'000	mm	passo staffe in direzione longitudinale
n <sub>br</sub>	=	2.0		numero bracci
A <sub>sw</sub>	=	904.78	mm <sup>2</sup>	area resistente dell'armatura a taglio
ctgφ	=	2.50		inclinazione delle bielle di calcestruzzo
σ <sub>cp</sub>	=	0.000	MPa	tensione media calcestruzzo
σ <sub>cp,ad</sub>	=	0.000	MPa	tensione media di compressione adottata (<=0.2f <sub>cd</sub> )
α <sub>c</sub>	=	1.00		
V <sub>Rsd</sub>	=	1951.7	kN	resistenza taglio trazione
V <sub>Rcd</sub>	=	14815.5	kN	resistenza taglio compressione
V <sub>Rd</sub>	=	1951.7	kN	resistenza a taglio
FS	=	1.18		

### 9.4.3 S.L.E. – Fessurazione

Le verifiche di fessurazione vengono condotte in relazione alle indicazioni riportate negli Eurocodici (in particolare si veda EN 1992-1-1 cap. 7.3) e riprese sia dalle NTC (cap. 4.1.2.2.4) che dalla Circolare n.617. È richiesto in particolare, laddove il momento agente superi quello di fessurazione, di verificare che la tensione nelle barre di armatura rientri in determinati limiti (dipendenti dal diametro e dalla spaziatura dei ferri) o in alternativa di controllare che l'ampiezza della fessura che si apre non superi un determinato valore (funzione dello stato limite, delle condizioni ambientali e del tipo di armatura).

Si riportano di seguito le tabelle per le combinazioni considerate (frequente e quasi permanente), ricordando che si opera con armature poco sensibili ed in condizioni ambientali ordinarie (classe di esposizione XA2).

Combinazione	frequente				quasi permanente								
	Sezione	plinto6		Y		plinto6		Y					
		sup	X	inf	sup	inf	sup	X	inf	sup	inf		
<b>Materiali</b>													
R <sub>ck</sub>	=	40		40		40		40		40		MPa	resist caratteristica cubica
f <sub>ck</sub>	=	33.20		33.20		33.20		33.20		33.20		MPa	resist caratteristica cilindrica
f <sub>cm</sub>	=	41.20		41.20		41.20		41.20		41.20		MPa	resist cilindrica media
f <sub>ctm</sub>	=	3.10		3.10		3.10		3.10		3.10		MPa	resist media a trazione semplice
f <sub>ctm</sub>	=	3.72		3.72		3.72		3.72		3.72		MPa	resist media a trazione per flessione
σ <sub>t</sub>	=	2.58		2.58		2.58		2.58		2.58		MPa	tensione limite di apertura delle fessure
n	=	15		15		15		15		15			coeff di omogeneizz armature (compr)
n'	=	0.001		0.001		0.001		0.001		0.001			coeff di omogeneizz armature (tens)
<b>Geometria</b>													
B	=	1000		1000		1000		1000		1000		mm	base sezione
H	=	2500		2500		2500		2500		2500		mm	altezza sezione

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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 67 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc

**Armatura**

$n_{1a}$	=	5	5	5	10	5	5	5	10	n° tondini zona tesa
$n_{1b}$	=	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\varnothing_{1a}$	=	20	26	20	26	20	26	20	26	mm diametro tondini armatura tesa
$\varnothing_{1b}$	=	0	0	0	0	0	0	0	0	mm diametro tondini armatura tesa
$\varnothing_{1eq}$	=	20	26	20	26	20	26	20	26	mm diametro equiv tondini armatura tesa
$d'_{sup}$	=	50	50	70	76	50	50	70	76	mm copriferro superiore
$d_1$	=	2450	2450	2430	2424	2450	2450	2430	2424	mm dist armatura tesa da lembo compr
$A_{s1}$	=	1571	2655	1571	5309	1571	2655	1571	5309	mm <sup>2</sup> area armatura tesa
$n_{2a}$	=	5	5	10	5	5	5	10	5	n° tondini zona compressa
$n_{2b}$	=	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\varnothing_{2a}$	=	26	20	26	20	26	20	26	20	mm diametro tondini armatura compressa
$\varnothing_{2b}$	=	0	0	0	0	0	0	0	0	mm diametro tondini armatura compressa
$\varnothing_{2eq}$	=	26	20	26	20	26	20	26	20	mm diametro equiv tondini armatura compr
$d'_{inf}$	=	50	50	76	70	50	50	76	70	mm copriferro inferiore
$d_2$	=	50	50	76	70	50	50	76	70	mm dist armatura compr da lembo compr
$A_{s2}$	=	2655	1571	5309	1571	2655	1571	5309	1571	mm <sup>2</sup> area armatura compressa

**Sollecitazioni**

M	=	180	1100	100	2410	140	900	80	1800	kN*m momento flettente
N	=	0	0	0	0	0	0	0	0	kN sforzo normale
e	=	0	0	0	0	0	0	0	0	mm eccentricità

**Caratteristiche sezione interamente reagente a compressione**

$A_{cls}$	=	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	mm <sup>2</sup> area calcestruzzo
$A_s$	=	4225	4225	6880	6880	4225	4225	6880	6880	mm <sup>2</sup> area armatura
$A_{id}$	=	2.6E+06	mm <sup>2</sup> area sezione ideale							
$d_G$	=	1242	1258	1225	1275	1242	1258	1225	1275	mm dist baric sezione ideale da lembo sup
$J_{id}$	=	1.4E+12	mm <sup>4</sup> momento d'inerzia baric sez ideale							
$\rho_{id,t}$	=	737	737	745	745	737	737	745	745	mm raggio giratore di inerzia della sezione
$Y_{nocc,s}$	=	1680	1690	1677	1710	1680	1690	1677	1710	mm dist p.to di nocciolo sup da asse baric

**Caratteristiche sezione interamente reagente a tensione**

$A_{cls,t}$	=	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	mm <sup>2</sup> area calcestruzzo
$A_s$	=	4225	4225	6880	6880	4225	4225	6880	6880	mm <sup>2</sup> area armatura
$A_{id,t}$	=	6.6E+04	6.6E+04	1.1E+05	1.1E+05	6.6E+04	6.6E+04	1.1E+05	1.1E+05	mm <sup>2</sup> area sezione ideale
$d_{G,t}$	=	954	1546	628	1872	954	1546	628	1872	mm dist baric sez ideale da lembo sup
$J_{id,t}$	=	8.7E+10	8.7E+10	1.0E+11	1.0E+11	8.7E+10	8.7E+10	1.0E+11	1.0E+11	mm <sup>4</sup> momento d'inerzia baric sez ideale
$\rho_{id,t}$	=	1148	1148	987	987	1148	1148	987	987	mm raggio giratore di inerzia della sezione
$Y_{nocc,i}$	=	2335	2398	2180	2392	2335	2398	2180	2392	mm dist p.to di nocciolo inf da asse baric

**Sezione**

parzializ parzializ parzializ parzializ parzializ parzializ parzializ parzializ parzializ

**Caratteristiche sezione parzializzata**

$Y_n$	=	292	357	273	492	292	357	273	492	mm distanza asse neutro da lembo compr
$J_n$	=	1.2E+11	1.9E+11	1.2E+11	3.4E+11	1.2E+11	1.9E+11	1.2E+11	3.4E+11	mm <sup>4</sup> momento d'inerzia sezione parzializzata
$S_n$	=	1.4E+06	-1.2E+07	2.2E+06	-2.3E+07	1.4E+06	-1.2E+07	2.2E+06	-2.3E+07	mm <sup>3</sup> momento statico sezione parzializzata
$f(Y_n)=0$	=	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Tensioni nei materiali**

$\sigma_c$	=	-0.44	-2.05	-0.23	-3.48	-0.34	-1.68	-0.18	-2.60	MPa max tens di compr nel cls (sez fess)
$\sigma_s$	=	48.4	180.0	27.1	204.7	37.7	147.3	21.7	152.9	MPa tens dell'armat tesa (sez fess)

**Controllo della fessurazione**

$M_{fess}$	=	2861	2896	2922	3043	2861	2896	2922	3043	kNm momento di fessurazione
$M_{fess} / M$	=	15.89	2.63	29.22	1.26	20.43	3.22	36.53	1.69	check1

### 9.4.4 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:  $0,60 f_{ck}$  in combinazione caratteristica e  $0,40 f_{ck}$  in combinazione quasi permanente; per l'acciaio:  $0,80 f_{yk}$  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.

combinazione

rara\_M11 rara\_M22 qp\_M11 qp\_M22

#### Sollecitazioni agenti

$M_x$	=	2400	0	1800	0	kNm	momento flettente trasversale
$M_y$	=	0	1100	0	900	kNm	momento flettente longitudinale

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

$\sigma_{c,max}$	=	19.92	19.92	14.94	14.94	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$	=	3.89	2.41	2.92	1.97	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
		OK	OK	OK	OK		

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

$\sigma_{s,max}$	=	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$	=	231	210			[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
		OK	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 Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo Pile carr_sx
	Pagina 69 di 69
	Nome file: VI04-C-CL005- A_relazione_calcolo_pile_carr_sx.doc_carr_sx.doc