



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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 1 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

# INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>3</b>
1.1	INTRODUZIONE	3
1.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	3
1.2.1	<i>Condizioni ambientali e classi di esposizione</i>	3
1.2.2	<i>Calcestruzzo</i>	3
1.2.3	<i>Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata</i>	5
1.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
1.4	PARAMETRI SISMICI	7
1.5	PARAMETRI GEOTECNICI	8
<b>2</b>	<b>ANALISI DELLE PALIFICATE DELLE SPALLE</b>	<b>9</b>
2.1	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO	11
2.2	AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA	12
2.3	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI	14
2.4	COMBINAZIONI DI CARICO	15
2.5	SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA	16
<b>3</b>	<b>VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLE</b>	<b>17</b>
3.1	VERIFICHE STRUTTURALI	17
3.1.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	17
3.1.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	18
3.1.3	<i>S.L.E. - Fessurazione e limitazione delle tensioni</i>	19
3.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI	21
3.2.1	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite verticale</i>	21
3.2.2	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale</i>	22
<b>4</b>	<b>ANALISI STRUTTURALE DELLE SPALLE</b>	<b>23</b>
4.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	23
4.2	ANALISI DEI CARICHI	24
4.3	SOLLECITAZIONI	24
4.4	ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI	24
4.5	VERIFICA DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LA SPALLA	25
4.5.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	25
4.5.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	25
4.6	CALCOLO TRAVE PARAGHIAIA	30
<b>5</b>	<b>PILA</b>	<b>36</b>
5.1	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO	37
5.2	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI	39
5.3	COMBINAZIONI DI CARICO	40
5.4	SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA	41
<b>6</b>	<b>VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE PILA</b>	<b>42</b>
6.1	VERIFICHE STRUTTURALI	42
6.1.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	42
6.1.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	43
6.1.3	<i>S.L.E. - Fessurazione e limitazione delle tensioni</i>	44
6.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI	46
6.2.1	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite verticale</i>	46
6.2.2	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale</i>	47

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 2 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>7</b>	<b>VERIFICA DELLA PILA .....</b>	<b>48</b>
7.1	PLINTO DI FONDAZIONE .....	50
7.2	PULVINO.....	51
<b>8</b>	<b>BAGGIOLI.....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>SCARICHI SUGLI APPOGGI .....</b>	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>MURI DI SOSTEGNO.....</b>	<b>54</b>
10.1	MODELLO DI CALCOLO .....	55
10.2	CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	57
10.3	VERIFICHE SLU .....	57
10.4	VERIFICHE SLE .....	63
10.5	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE.....	63

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 3 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

# 1 GENERALITÀ

## 1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano l'analisi strutturale e le verifiche di sicurezza delle sottostrutture del Cavalcavia CV11 con cui lo svincolo 5 attraversa l'asse principale, previsto nell'ambito del progetto esecutivo "S.S. N° 640 Di Porto Empedocle – Ammodernamento e adeguamento alla cat. B del D.M. 05.11.2001".

## 1.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 1.2.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

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

- elevazione spalle e pila: XF2;
- zattere spalle e pila: XA2.
- Pali: XA3

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

### 1.2.2 Calcestruzzo

<b>CALCESTRUZZO PALI DI FONDAZIONE C28/35</b>			
$R_{ck}$	<b>45.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	37.35	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	45.35	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	3.35	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	4.36	MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	3.07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	34625	MPa	modulo elastico istantaneo
$\gamma_c$	<b>1.50</b>		coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	<b>0.85</b>		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
$f_{cd}$	21.17	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	2.91	MPa	resistenza di calcolo a trazione
$\sigma_{cr}$	22.41	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	16.81	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XA3			classe di esposizione
S3 - S4			classe di consistenza

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 4 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>CALCESTRUZZO FONDAZIONE SPALLE - PILE C32/40</b>			
$R_{ck}$	<b>40.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	33.20	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	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
$f_{cfm}$	3.07	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
$\sigma_{cr}$	19.92	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	14.94	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XA2			classe di esposizione
S3 - S4			classe di consistenza
<b>CALCESTRUZZO ELEVAZIONE SPALLE - PILE - PULVINI C25/30</b>			
$R_{ck}$	<b>30.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	24.90	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	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
$\sigma_{cr}$	14.94	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	11.21	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XF2			classe di esposizione
S3 - S4			classe di consistenza
<b>CALCESTRUZZO BAGGIOLI SPALLE E PILE C25/30</b>			
$R_{ck}$	<b>30.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	24.90	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	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
$\sigma_{cr}$	14.94	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	11.21	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XF2			classe di esposizione
S4			classe di consistenza

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 5 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>CALCESTRUZZO SOLETTA-TRAVERSI-CORDOLI-MARCIAPIEDI-COPPELLE C32/40</b>			
$R_{ck}$	<b>40.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	33.20	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	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
$f_{cfm}$	3.07	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
$\sigma_{cr}$	19.92	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	14.94	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XD2			classe di esposizione
S4			classe di consistenza
<b>CALCESTRUZZO TRAVI CAP C45/55</b>			
$R_{ck}$	<b>55.00</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	45.65	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm}$	53.65	MPa	resistenza cilindrica media
$f_{ctm}$	3.83	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk}$	4.98	MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
$f_{cfm}$	3.07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$E_{cm}$	36416	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
$f_{cd}$	25.87	MPa	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctd}$	3.32	MPa	resistenza di calcolo a trazione
$\sigma_{cr}$	27.39	MPa	massima compressione in esercizio per comb. rara
$\sigma_{cqp}$	20.54	MPa	massima compressione in esercizio per comb. Q.perm.
XD2			classe di esposizione
S4			classe di consistenza
<b>CALCESTRUZZO MAGRONE C12/15</b>			

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

<b>ACCIAIO PER C.A. B450C</b>			
$f_{y,nom}$	<b>450.00</b>	MPa	tensione nominale di snervamento
$f_{t,nom}$	540.00	MPa	tensione nominale di rottura
$\gamma_s$	1.15		coefficiente di sicurezza
$f_{yd}$	391.30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
$\sigma_s$	360.00	MPa	massima tensione in condizione rara

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 6 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

### 1.3 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")
- UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale
- UNI EN 1991-1-4: Azioni sulle strutture – Azione del vento
- UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche
- UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti
- UNI EN 1992-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo
- UNI EN 1994-2: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti
- UNI EN 1998-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti
- UNI EN 1090 - 2: Execution of steel structures and aluminium structures - part 2: technical requirements for steel structures

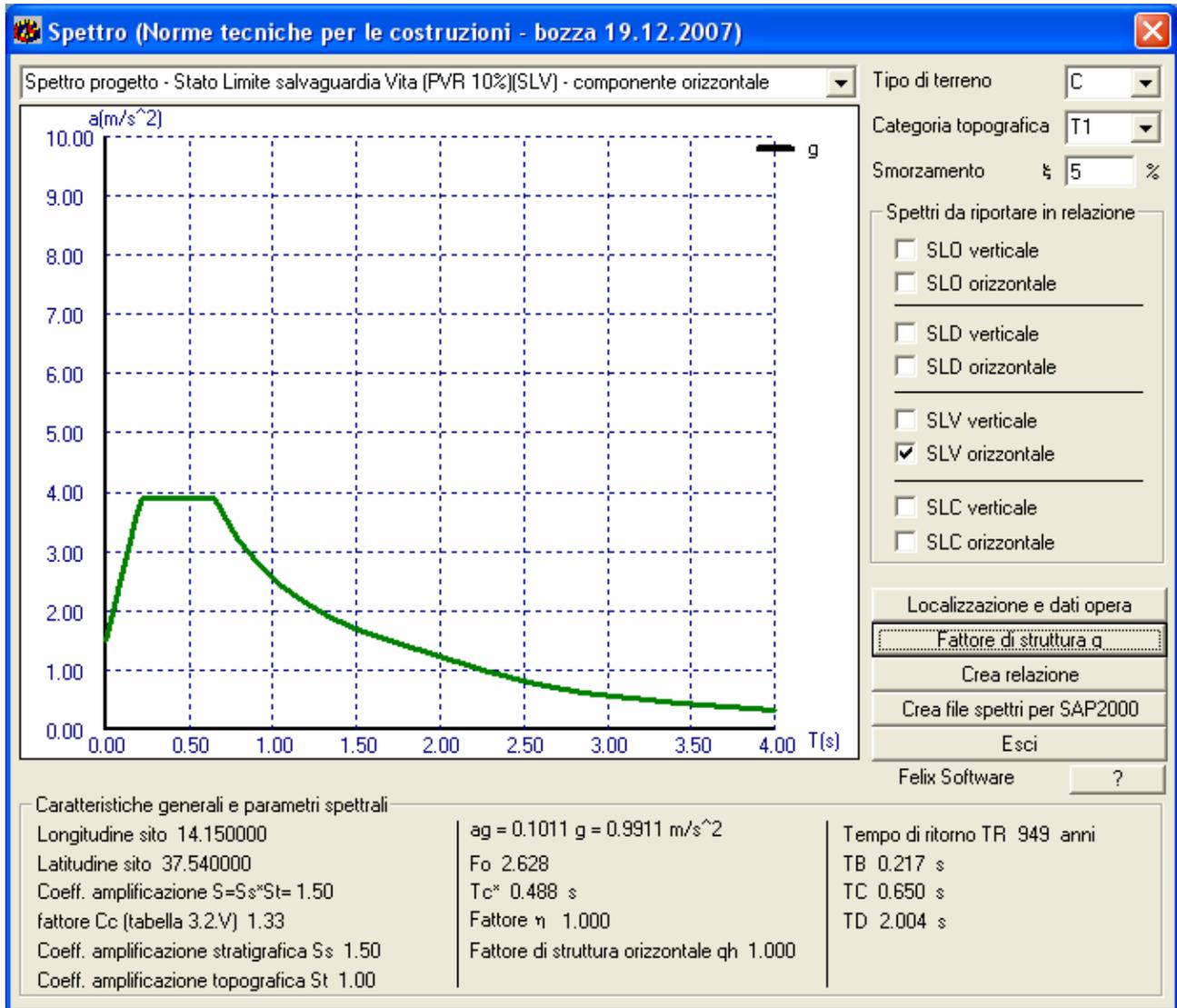
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 7 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 1.4 PARAMETRI SISMICI

L'analisi sismica nelle tre direzioni è effettuata considerando i seguenti parametri di riferimento:

Vn	50.00	anni	vita nominale per costruzione tipo 2
Cu	2.00		per classe d'uso IV
Vr	100.00	anni	periodo di riferimento
Tr	949	anni	tempo di ritorno per SLV (Pvr=10%)
Long	14.15	°	longitudine del sito
Lat	37.54	°	latitudine del sito
<b>SISMA ORIZZONTALE</b>			
Fo	2.628		
Tc*	0.488	sec	
ag	0.101	g	accelerazione di riferimento su sito rigido orizzontale
Ss	1.500		coefficiente di amplificazione stratigrafica per terreno tipo B
St	1.000		coefficiente di amplificazione topografica per sito T1
amax	0.152	g	accelerazione massima al suolo
<b>SISMA VERTICALE</b>			
Fv	1.128		accelerazione di riferimento su sito rigido orizzontale
Tc*	0.488	sec	amplificazione di ag (orizzontale)
ag	0.101	g	accelerazione di riferimento su sito rigido orizzontale
S	1.000		coefficiente di amplificazione
amax	0.101	g	accelerazione massima al suolo
<b>FATTORI DI STRUTTURA</b>			
q_spalle	1.000		
H	9.60	m	altezza pila
Lx	2.00	m	lunghezza pila in direzione longitudinale
Ly	5.25	m	lunghezza pila in direzione trasversale
αx	4.80		H/Lx
αy	1.83		H/ly
λx	1.00		
λy	0.78		
Ned	13447.78	kN	compressione alla base della pila
vk	0.05		compressione normalizzata sulla pila
<b>CLASSE DI DUTTILITA' B</b>			
qox	1.50		fattore di struttura per la pila in x
qoy	1.50		fattore di struttura per la pila in y
<b>Fattore di sovreresistenza</b>			
γrd	1.00		

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 8 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc



## 1.5 PARAMETRI GEOTECNICI

Le verifiche geotecniche sono state condotte a partire dai seguenti parametri geotecnici:

PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI							
<b>TERRENO DI RIPORTO</b>							
	$\gamma$	$\Phi$	$K_0$				
	kN/mc	°					
Terreno Incoerente	18.00	35.00	0.43				
<b>TERRENO DI FONDAZIONE</b>							
	quota_sup	quota_inf	spessore	$\gamma$	$c'$	$c_u$	$\Phi$
	m	m	m	kN/mc	kN/mq	kN/mq	°
<i>Valori medi</i>							
STRATO 1 (alluvioni)	0	-5.00	5.00	18.50	15.00	50.00	19.00
STRATO 1 (dep. colluviali)	-5	-10.00	5.00	20.00	9.00	167.00	31.10
STRATO 1 (dep. colluviali)	-10	-20.00	10.00	23.00	59.00	197.00	25.05
STRATO 2 (argille pliocen.)	-20.00	-40.00	20.00	20.70	9.00	208.00	25.05

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 9 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

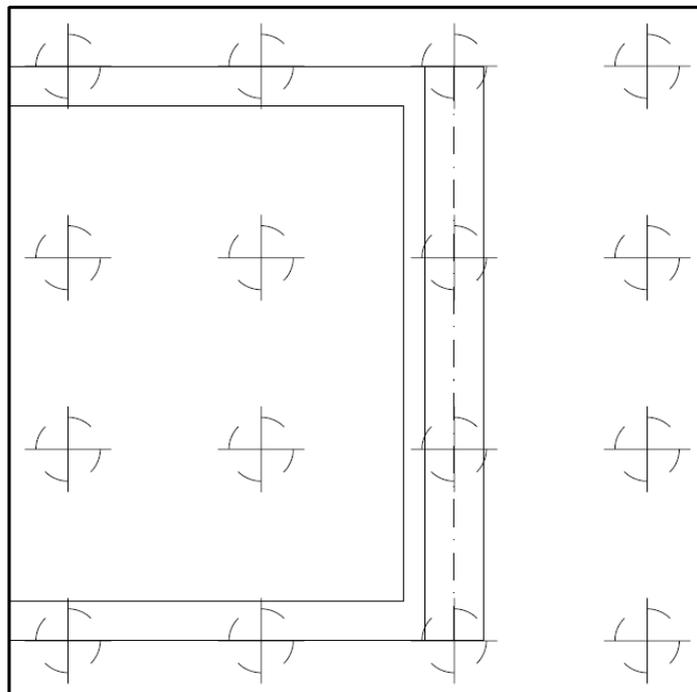
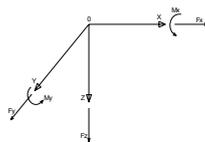
## 2 ANALISI DELLE PALIFICATE DELLE SPALLE

Si riporta nel presente capitolo il calcolo delle sollecitazioni nei pali di fondazione, e le relative verifiche di sicurezza, delle spalle. Le due spalle sono geometricamente simili, differenziandosi soltanto per il fatto che la spalla 2 è più alta della 1. Verrà eseguito il calcolo della sola spalla 2 che, essendo più alta è soggetta a carichi maggiori, mentre la spalla 1, a beneficio di sicurezza sarà armata come la 2.

Si precisa che entrambe le spalle sono collegate all'impalcato tramite appoggi scorrevoli in direzione longitudinale (x), mentre contribuiscono insieme alla pila centrale, all'assorbimento delle azioni orizzontali trasversali (y).

Il calcolo delle sollecitazioni in fondazione è stato effettuato facendo riferimento ad un sistema di coordinate ortogonali destrogiro, avente origine in corrispondenza del filo di monte del plinto di fondazione (a metà del lato parallelo alla direzione trasversale al viadotto), a livello dell'intradosso del plinto stesso, asse x parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato ed asse z diretto verso il basso.

Le azioni orizzontali ( $F_x$  ed  $F_y$ ) e verticali ( $F_z$ ) si assumono positive se di verso concorde con quello degli assi. Si indicheranno inoltre con  $M_x$  i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse x (momenti trasversali) e con  $M_y$  (momenti longitudinali) i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse y.



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**

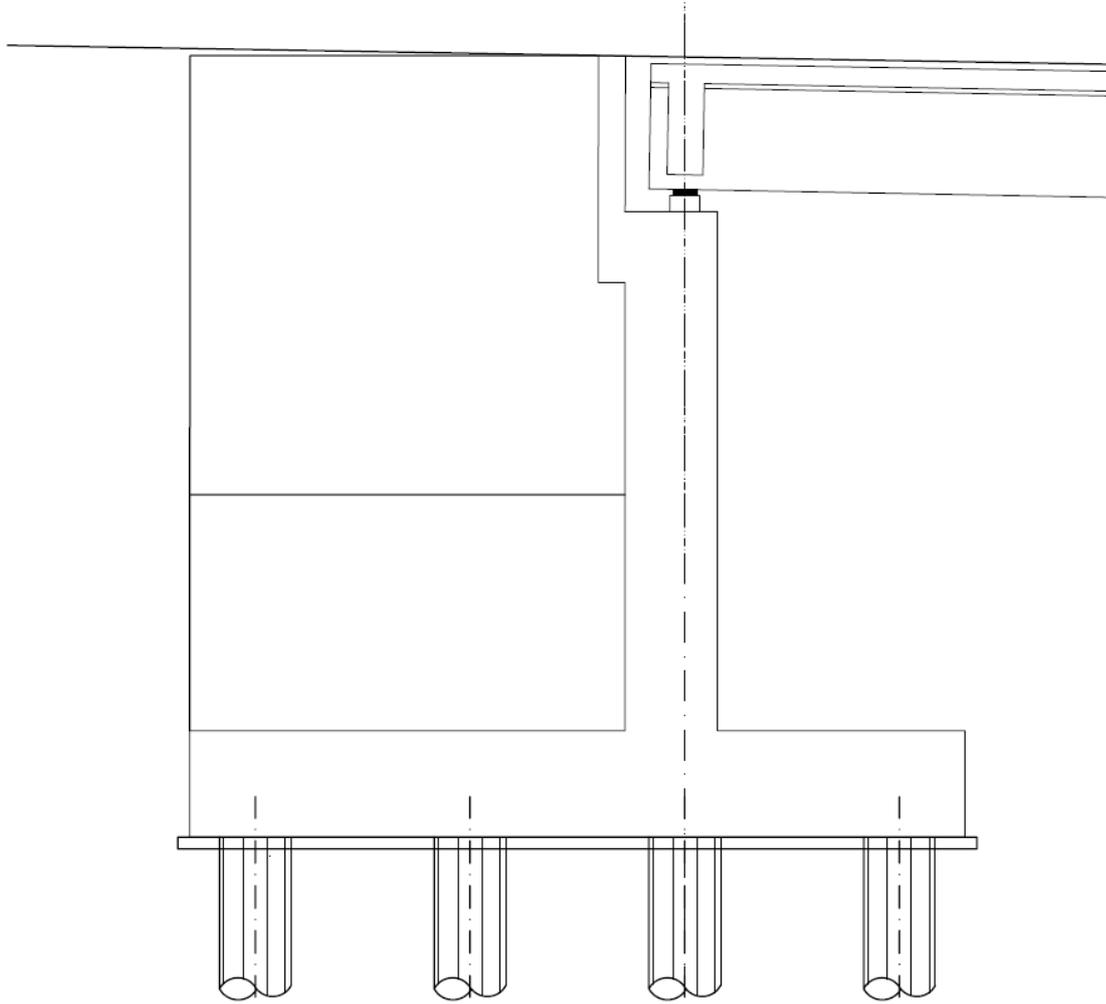
Opera: **CAVALCAVIA CV11**

Relazione di Calcolo Spalle e Pila

Pagina 10 di 65

Nome file:

CV11-BCL029\_A\_relazione calcolo spalle e pila.doc



GEOMETRIA SPALLA 2											
	num	Bx	By	Bz1	Bz2	Volume	X	Y	Z	Peso	Inerzie
		m	m	m	m	m <sup>3</sup>	m	m	m	kN	kN
plinto	1	13.00	13.00	1.80	1.80	304.20	6.50	0.00	-0.90	7605.00	1152.158
paramento	1	1.55	10.80	7.60	7.60	127.22	8.13	0.00	-5.60	3180.60	481.8609
pulvino	1	2.00	10.80	1.20	1.20	25.92	7.90	0.00	-10.00	648.00	98.172
paraghiaia	1	0.45	10.80	2.65	2.65	12.88	7.13	0.00	-11.93	321.98	48.77921
muro laterale sx_sup	1	7.35	0.50	7.45	7.45	27.38	3.68	5.15	-9.53	684.47	103.697
muro laterale dx_sup	1	7.35	0.50	7.45	7.45	27.38	3.68	-5.15	-9.53	684.47	103.697
muro laterale sx_inf	1	7.35	0.70	4.00	4.00	20.58	3.68	5.05	-3.80	514.50	77.94675
muro laterale dx_inf	1	7.35	0.70	4.00	4.00	20.58	3.68	-5.05	-3.80	514.50	77.94675
baggioli	4	1.00	1.00	0.15	0.15	0.60	8.30	0.00	-10.68	15.00	2.2725
appoggi	4	0.60	0.60	0.20	0.20	0.29	8.30	0.00	-10.85	7.20	1.0908
TOTALE SPALLA						567.03	6.47	0.00	-3.68	14175.71	2147.62
terreno su fondazione	1	7.35	9.40	11.45	11.45	791.08	3.68	0.00	-7.53	14239.45	2157.277
TOTALE SPALLA+TERR							5.07	0.00	-5.61	28415.16	4304.90

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 11 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 2.1 AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

Si riportano nel seguente prospetto le azioni trasmesse dall'impalcato. Tali azioni sono riferite al baricentro appoggi e sono state desunte dalla risoluzione del modello di calcolo del viadotto. Le azioni sismiche sono state valutate pseudo-staticamente considerando, ai sensi dei paragrafi 7.9.5.6.1 e 7.9.5.6.2 delle NTC, che la spalla si muova rigidamente con il suolo cosicchè le accelerazioni considerate sono quelle riportate al paragrafo 1.4 e coincidenti con l'ordinata spettrale corrispondente a  $T = 0$  s.

Il coefficiente di struttura per le strutture in elevazione e fondazione e per gli appoggi è unitario.

<b>GEOMETRIA IMPALCATO</b>			
L1	30.50	m	luce di calcolo campata
n	2		numero di campate
L	62.00	m	lunghezza totale
L.p	12.50	m	larghezza impalcato
nc	1		numero carreggiate
L.s	9.50	m	larghezza pavimentazione stradale
L.st	9.50	m	larghezza pavimentazione stradale totale
s.pav	0.12	m	spessore pavimentazione
L.c	3.00	m	larghezza totale cordoli laterali
L.m	0.85	m	larghezza singolo marciapiede
h.c	0.18	m	altezza (media) cordoli laterali

<b>ANALISI DEI CARICHI</b>			
<b>PESO PROPRIO (G1)</b>			
W.travi	84.43	kN/m	peso travi cap (n.4)
W.t	600.00	kN	peso totale n.4 traversi di testata (s=40 cm)
W.s	93.75	kN/m	peso soletta (compreso predalles)
<b>CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)</b>			
W.cor	13.50	kN/m	peso cordoli laterali
W.par	3.00	kN/m	peso barriere e parapetti
W.pav	22.80	kN/m	peso pavimentazione stradale
<b>CARICHI MOBILI (Q1)</b>			
Carichi concentrati e distribuiti su corsie e zona rimanente secondo schema 1			
Carico distribuito su marciapiedi secondo schema 5			
nc	3		numero corsie convenzionali singola carreggiata
l.c	3.00	m	larghezza corsie convenzionali
l.r	0.50	m	larghezza zona rimanente totale per singola carreggiata
<b>AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO/ACCELERAZIONE (Q3)</b>			
Fx fren	527.40	kN	carico longitudinale concentrato sulla pila
<b>AZIONE DEL VENTO (Q5)</b>			
<b>zona 4-rugosità C-categoria III</b>			
vb0	28.00	m/s	parametri per sicilia
ka	0.02	1/s	parametri per sicilia
a0	500.00	m	parametri per sicilia
as	300.00	m	altitudine SLM
vb	24.00	m/s	velocità di riferimento
qb	360.00	N/m2	pressione cinetica di riferimento
ce	2.14		coefficiente di esposizione (zona4-rugosC-categ.III)
cp	1.40		coefficiente di forma
cd	1.00		coefficiente dinamico
pv	1.08	kN/m2	pressione del vento (agente su altezza impalcato+3m di veicolo)
<b>AZIONE RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI (Q7) = 3% di (G1+G2+Q1)</b>			
Rs	5372.00	kN	peso permanente+accidentale sulla singola spalla
Fx_vincoli	161.16	kN	azione longitudinale di attrito sulla singola spalla

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 12 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>CARICHI DA IMPALCATO SU SPALLA 2 (riferiti al baricentro appoggi)</b>					
<b>PESO PROPRIO (G1)</b>					
P.travi	1308.73	kN			
P.t	150.00	kN			
P.s	1453.13	kN			
<b>Fz</b>	<b>2911.85</b>	<b>kN</b>			
<b>CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)</b>					
P.cor	209.25	kN			
P.par	46.50	kN			
P.pav	353.40	kN			
<b>Fz</b>	<b>609.15</b>	<b>kN</b>			
<b>CARICHI MOBILI (Q1)</b>					
<i>massima azione verticale (Q1-1)</i>					
P.concentrati	1200.00	kN	M.concentrati	-1500.00	kNm
P.distribuiti	651.00	kN	M.distribuiti	-1069.50	kNm
P.rimanente	19.38	kN	M.rimanente	87.19	kNm
P.marciapiede	65.88	kN	M.marciapiede	0.00	kNm
<b>Fz</b>	<b>1936.25</b>	<b>kN</b>	<b>Mx</b>	<b>-2482.31</b>	<b>kNm</b>
<i>massimo momento trasversale (Q1-2)</i>					
P.concentrati	1000.00	kN	M.concentrati	-2050.00	kNm
P.distribuiti	534.75	kN	M.distribuiti	-1389.19	kNm
P.rimanente	0.00	kN	M.rimanente	0.00	kNm
P.marciapiede	32.94	kN	M.marciapiede	-191.86	kNm
<b>Fz</b>	<b>1567.69</b>	<b>kN</b>	<b>Mx</b>	<b>-3631.05</b>	<b>kNm</b>
<b>FRENAMENTO (Q3)</b>					
<b>Fx</b>	<b>0.00</b>	<b>kN</b>	<b>My</b>	<b>0.00</b>	<b>kNm</b>
<b>AZIONE DEL VENTO (Q5)</b>					
<b>Fy</b>	<b>87.17</b>	<b>kN</b>	<b>Mx</b>	<b>-227.53</b>	<b>kNm</b>
<b>SISMA (Q6-1) da sap</b>					
<b>Fx</b>	<b>0.00</b>	<b>kN</b>	<b>My</b>	<b>0.00</b>	<b>kNm</b>
<i>su entrambe le spalle</i>					
<b>Fy</b>	<b>533.43</b>	<b>kN</b>	<b>Mx</b>	<b>-592.11</b>	<b>kNm</b>
<i>su entrambe le spalle</i>					
<b>Fz</b>	<b>355.62</b>	<b>kN</b>			
<b>RESISTENZE PASSIVE (Q7)</b>					
<b>Fx</b>	<b>161.16</b>	<b>kN</b>	<i>non amplificate perché q=1</i>		

## 2.2 AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA

Le azioni trasmesse dalla spalla sono calcolate sulla base della geometria della stessa precedentemente introdotta. Le forze di inerzia che compaiono nella suddetta descrizione sono state calcolate moltiplicando le masse dei vari elementi della spalla per le accelerazioni sismiche introdotte al paragrafo 1.4.

Si precisa inoltre che le spinte a tergo della spalla vengono calcolate considerando un comportamento rigido e pertanto a partire dal coefficiente di spinta a riposo  $K_0 = 1 - \sin \phi = 0.43$ .

Per il calcolo dell'incremento di spinta in condizioni sismiche si è utilizzata la nota formula di Wood.

Ai sensi del 7.9.5.6.1 delle NTC08, le azioni sismiche longitudinali sono amplificate del 30%.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 13 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>PESO PROPRIO SPALLA (G1)</b>			
Fz 14175.71 kN			
x	6.47	m	
y	0.00	m	
z	-3.68	m	
<b>PESO TERRENO SULLA FONDAZIONE (G3-1)</b>			
Fz 14239.45 kN			
x	3.68	m	
y	0.00	m	
z	-7.53	m	
<b>SPINTE TERRENO (G3-2)</b>			
<i>su spalla</i>		<i>su paramento</i>	
Fx	7276.78 kN	Fx	5433.985 kN
x	0.00 m	x	7.35 m
y	0.00 m	y	0.00 m
z	-4.42 m	z	-5.62 m
<b>SPINTA SOVRACCARICO q=20 kN/mq A TERGO SPALLA (Q1-3-1)</b>			
<i>su spalla</i>		<i>su paramento</i>	
Fx	1220.424 kN	Fx	1054.631 kN
x	0.00 m	x	7.35 m
y	0.00 m	y	0.00 m
z	-6.63 m	z	-7.53 m
<b>AZIONE VERTICALE SOVRACCARICO q=20 kN/mq A TERGO SPALLA (Q1-3-2)</b>			
<i>su spalla</i>			
Fz	1911 kN		
x	3.68 m		
y	0.00 m		
z	-1.80 m		
<b>INCREMENTO DI SPINTA PER SISMA (Q6-2-1)</b>			
<i>su spalla</i>		<i>su paramento</i>	
Fx	6721.775 kN	Fx	5019.532 kN
x	0.00 m	x	7.35 m
y	0.00 m	y	0.00 m
z	-6.63 m	z	-7.53 m
			<i>incrementate del 30% secondo 7.9.5.6.1-ntc</i>
<b>FORZE INERZIALI (Q6-2-2)</b>			
<i>su spalla</i>		<i>su paramento</i>	
Fx	5596.366 kN	Fx	1294.102 kN
Fy	4304.90 kN	Fy	995.46 kN
Fz	2869.931 kN	Fz	663.642 kN
x	5.07 m	x	6.43 m
y	0.00 m	y	0.00 m
z	-5.61 m	z	-6.90 m
			<i>incrementate del 30% secondo 7.9.5.6.1-ntc</i>

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 14 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

### 2.3 RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI

Nella tabella seguente vengono riepilogate le azioni trasmesse in fondazione dalla spalla e dall'impalcato. Dette azioni sono riferite al baricentro della paliificata.

Coordinate baricentro pali

x = 6.50 m coordinata x  
y = 0,00 m coordinata y  
z = 0,00 m coordinata z

Coordinate baricentro appoggi

x = 8.30 m coordinata x  
y = 0,00 m coordinata y  
z = -10.85 m coordinata z

<b>CARICHI SPALLA 2 (riferiti al baricentro paliificata)</b>									
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	X	Y	Z	descrizione
	kN	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	
G1 impalcato z			2911.85		5241.33	8.30	0.00	-10.85	peso proprio impalcato
G1 spalla z			14175.71		-457.30	6.47	0.00	-3.68	peso proprio spalla
G2 impalcato z			609.15		1096.47	8.30	0.00	-10.85	permanenti impalcato
G3-1 spalla z			14239.45		-40226.44	3.68	0.00	-7.53	terreno su fondazione spalla
G3-2 spalla x	7276.78				32139.11	0.00	0.00	-4.42	spinta terreno spalla
Q1-1 impalcato			1936.25	-2482.31	3485.25	8.30	0.00	-10.85	carico mobile (max. azione vert.)
Q1-2 impalcato			1567.69	-3631.05	2821.84	8.30	0.00	-10.85	carico mobile (max. momento trasv.)
Q1-3-1 spalla x	1220.42				8085.31	0.00	0.00	-6.63	spinta sovraccarico spalla
Q1-3-2 spalla z			1911.00		-5398.58	3.68	0.00	-1.80	azione vert. sovraccarico spalla
Q3 impalcato	0.00				0.00	8.30	0.00	-10.85	frenatura su impalcato
Q5 impalcato		87.17		-1173.37		8.30	0.00	-10.85	azione del vento trasversale su imp.
Q6-1 impalcato x	0.00				0.00	8.30	0.00	-10.85	sisma longitudinale impalcato
Q6-1 impalcato y		533.43		-6379.84		8.30	0.00	-10.85	sisma trasversale impalcato
Q6-1 impalcato z			355.621202		640.12	8.30	0.00	-10.85	sisma verticale impalcato
Q6-2-1 spalla x	6721.77548				44531.76	0.00	0.00	-6.63	incremento spinta sismica spalla
Q6-2-2 spalla x	5596.36606				31377.06	5.07	0.00	-5.61	inerzia longitudinale spalla
Q6-2-2 spalla y		4304.89697		-24136.20		5.07	0.00	-5.61	inerzia trasversale spalla
Q6-2-2 spalla z			2869.93131		-4109.06	5.07	0.00	-5.61	inerzia verticale spalla
Q7 impalcato x	161.16				1748.59	8.30	0.00	-10.85	azione parassita vincoli (incr.del 30%)



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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 16 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 2.5 SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA

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

		Q1				Q3				Q5			
		SLU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fx	KN	11616.27	11616.27	11616.27	11616.27	11204.38	11204.38	11204.38	11204.38	11204.38	11204.38	11204.38	11204.38
Fy	KN	78.46	-78.46	78.46	-78.46	78.46	-78.46	78.46	-78.46	130.76	-130.76	130.76	-130.76
Fz	KN	48398.98	48398.98	47901.42	47901.42	47100.53	47100.53	46727.36	46727.36	47100.53	47100.53	46727.36	46727.36
Mx	kNm	-4407.15	-2295.09	-5957.95	-3845.88	-3569.37	-1457.31	-4732.47	-2620.40	-4273.40	-753.29	-5436.49	-1916.38
My	kNm	7091.15	7091.15	6195.55	6195.55	5008.11	5008.11	4336.40	4336.40	5008.11	5008.11	4336.40	4336.40

Q6X								Q6Y							
SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
19691.62	19691.62	19691.62	19691.62	-4944.67	-4944.67	-4944.67	-4944.67	11068.92	3678.03	11068.92	3678.03	11068.92	3678.03	11068.92	3678.03
1451.50	-1451.50	1451.50	-1451.50	1451.50	-1451.50	1451.50	-1451.50	4838.33	4838.33	4838.33	4838.33	-4838.33	-4838.33	-4838.33	-4838.33
32903.83	32903.83	30968.50	30968.50	32903.83	32903.83	30968.50	30968.50	32903.83	32903.83	30968.50	30968.50	32903.83	32903.83	30968.50	30968.50
-1913.95	1913.95	-1913.95	1913.95	-1913.95	1913.95	-1913.95	1913.95	-6379.84	-6379.84	-6379.84	-6379.84	6379.84	6379.84	6379.84	6379.84
29178.69	29178.69	31260.06	31260.06	-33575.42	-33575.42	-31494.06	-31494.06	7214.75	-11611.48	9296.12	-9530.12	7214.75	-11611.48	9296.12	-9530.12

Q6Z								Rare				Frequent				Q.Perm.
SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLE								
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
11068.92	3678.03	11068.92	3678.03	11068.92	3678.03	11068.92	3678.03	8593.90	8593.90	8593.90	8593.90	8288.79	8288.79	7373.48	7373.48	7373.48
1451.50	1451.50	-1451.50	-1451.50	1451.50	-1451.50	1451.50	-1451.50	52.30	-52.30	52.30	-52.30	0.00	0.00	17.43	-17.43	0.00
35161.72	35161.72	35161.72	35161.72	28710.61	28710.61	28710.61	28710.61	35783.41	35783.41	35414.85	35414.85	34821.60	34545.18	31936.16	31936.16	31936.16
-1913.95	-1913.95	1913.95	1913.95	-1913.95	-1913.95	1913.95	1913.95	-3186.33	-1778.29	-4335.07	-2927.03	-1861.73	-2723.29	-234.67	234.67	0.00
4786.49	-14039.74	4786.49	-14039.74	11724.38	-7101.86	11724.38	-7101.86	5014.30	5014.30	4350.89	4350.89	3471.31	2973.75	-1157.68	-1157.68	-1157.68

Considerando la seguente geometria della palificata:

GEOMETRIA PALIFICATA SPALLA							
PALO	Xi	Yi	Jx	Jy	diametro palo		
	m	m	m <sup>4</sup>	m <sup>4</sup>			
1	5.40	5.40	33.06	33.06	1.20		m
2	5.40	1.80	3.76	33.06	1.13		m <sup>2</sup>
3	5.40	-1.80	3.76	33.06	0.1017		m <sup>4</sup>
4	5.40	-5.40	33.06	33.06		16	
5	1.80	5.40	33.06	3.76		18.09	m <sup>2</sup>
6	1.80	1.80	3.76	3.76		294.6275	m <sup>4</sup>
7	1.80	-1.80	3.76	3.76		294.6275	m <sup>4</sup>
8	1.80	-5.40	33.06	3.76			
9	-1.80	5.40	33.06	3.76			
10	-1.80	1.80	3.76	3.76		5.40	m
11	-1.80	-1.80	3.76	3.76		5.40	m
12	-1.80	-5.40	33.06	3.76			
13	-5.40	5.40	33.06	33.06			
14	-5.40	1.80	3.76	33.06			
15	-5.40	-1.80	3.76	33.06			
16	-5.40	-5.40	33.06	33.06			

Si ottengono le seguenti sollecitazioni massime (o minime) su un singolo palo per le varie sollecitazioni:

		Q1				Q3				Q5			
		SLU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hx	KN	726.02	726.02	726.02	726.02	700.27	700.27	700.27	700.27	700.27	700.27	700.27	700.27
Hy	KN	4.90	-4.90	4.90	-4.90	4.90	-4.90	4.90	-4.90	8.17	-8.17	8.17	-8.17
H_ris	KN	726.03	726.03	726.03	726.03	700.29	700.29	700.29	700.29	700.32	700.32	700.32	700.32
N_max	KN	3263.16	3219.40	3245.64	3201.88	3121.49	3077.74	3108.35	3064.59	3136.08	3063.15	3122.94	3050.01
N_min	KN	2786.71	2830.47	2742.04	2785.80	2766.07	2809.83	2732.57	2776.33	2751.49	2824.42	2717.98	2790.91

Q6X								Q6Y							
SLV															
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1230.73	1230.73	1230.73	1230.73	-309.04	-309.04	-309.04	-309.04	691.81	229.88	691.81	229.88	691.81	229.88	691.81	229.88
90.72	-90.72	90.72	-90.72	90.72	-90.72	90.72	-90.72	302.40	302.40	302.40	302.40	-302.40	-302.40	-302.40	-302.40
1234.07	1234.07	1234.07	1234.07	322.08	322.08	322.08	322.08	755.01	379.85	755.01	379.85	755.01	379.85	755.01	379.85
2700.67	2700.67	2622.84	2622.84	2791.77	2791.77	2627.69	2627.69	2338.15	2429.24	2260.31	2265.16	2338.15	2429.24	2260.31	2265.16
1412.30	1412.30	1248.22	1248.22	1321.21	1321.21	1243.38	1243.38	1774.83	1683.74	1610.75	1605.90	1774.83	1683.74	1610.75	1605.90

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 17 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Q6Z								Rare				Frequenti				Q.Perm.	
SLV	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE							
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	45
691.81	229.88	691.81	229.88	691.81	229.88	691.81	229.88	537.12	537.12	537.12	537.12	518.05	518.05	460.84	460.84	460.84	460.84
90.72	90.72	-90.72	-90.72	90.72	90.72	-90.72	-90.72	3.27	-3.27	3.27	-3.27	0.00	0.00	1.09	-1.09	0.00	0.00
697.73	247.13	697.73	247.13	697.73	247.13	697.73	247.13	537.13	537.13	537.13	537.13	518.05	518.05	460.84	460.84	460.84	460.84
2336.43	2528.14	2336.43	2528.14	2076.98	1981.20	2076.98	1981.20	2406.37	2377.19	2393.39	2364.21	2286.84	2277.11	2024.86	2024.86	2024.86	2020.00
2058.79	1867.07	2058.79	1867.07	1511.85	1607.62	1511.85	1607.62	2066.56	2095.73	2033.47	2062.64	2065.86	2041.04	1967.16	1967.16	1967.16	1972.03

Da cui discendono le seguenti sollecitazioni massime (o minime) assolute:

H_slu_max	kN	<b>1234.07</b>	per verifiche strutturali
N_slu_max	kN	<b>3263.16</b>	per verifiche geotecniche drenate
N_slv_max	kN	<b>2791.77</b>	per verifiche geotecniche non drenate
N_slu_min	kN	<b>1243.38</b>	per verifiche strutturali

H_sle_rara	kN	<b>537.13</b>	per verifiche tensionali
H_sle_freq	kN	<b>518.05</b>	per verifiche fessurative
H_sle_q.perm	kN	<b>460.84</b>	per verifiche tensionali e fessurative

### 3 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLE

#### 3.1 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. Il terreno è assunto come coesivo sovra consolidato e pertanto si assegna una costante di reazione orizzontale uniforme con la profondità. Per la determinazione della lunghezza elastica del palo,  $\lambda$ , si adotta l'espressione di Zimmerman.

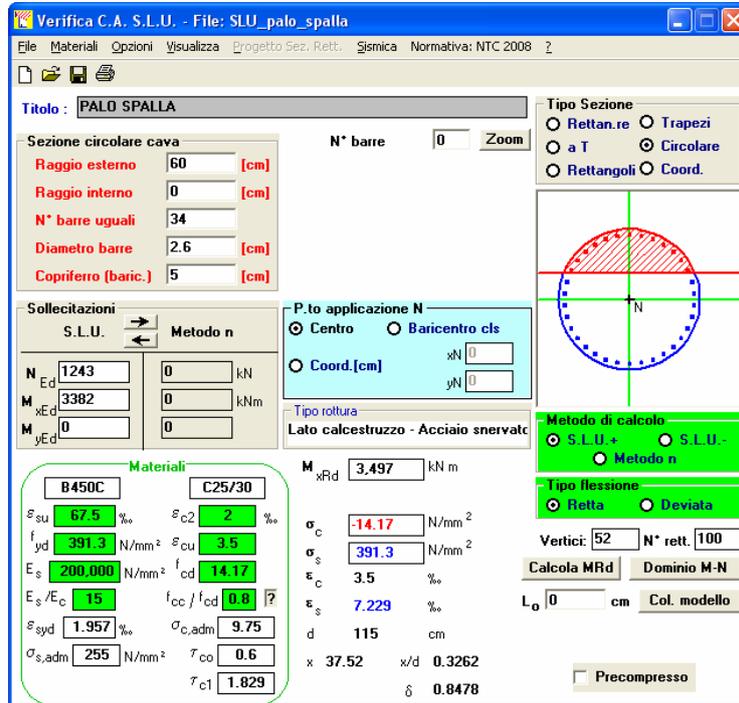
Di seguito si riporta il dettaglio dei calcoli di dimensionamento e verifica.

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

La prima gabbia viene armata con 34 Ø26, mentre per le successive sono sufficienti 15 Ø18.

VERIFICHE SLU - PRESSOFLESSIONE PALI SPALLA 2									
Kh	13000	kN/m <sup>3</sup>	costante di reazione orizzontale del terreno (assunta costante per terreni coesivi sovraconsolidati)						
E	34625485	kN/m <sup>2</sup>	modulo elastico del calcestruzzo dei pali						
D	1.20	m	diametro del palo						
A	1.13	m <sup>2</sup>	area del palo						
J	0.1017	m <sup>4</sup>	momento di inerzia del palo						
L	25.00	m	lunghezza del palo						
$\lambda$	5.48	m	lunghezza caratteristica del palo						
y_max	14.43	mm	spostamento massimo in testa						
T	1234.07	kN	taglio alla testa del palo						
N	1243.38	kN	sforzo normale minimo in testa						
M_1	3382.67	kNm	momento massimo in testa per gabbia 1						
M_2+	274.29	kNm	momento massimo per gabbia 2 (a quota -7 m)						
M_2-	-225.96	kNm	momento massimo per gabbia 2 (a quota -13 m)						
M_res1	3497.00	kNm	<b>CS</b>	n	$\Phi$ (mm)	Af (mm <sup>2</sup> )	min (mm <sup>2</sup> )		
M_res2	1291.00	kNm	<b>1.03</b>	OK	34	26	18042.44	3391.20	
M_res2	1291.00	kNm	<b>4.71</b>	OK	15	18	3815.10	3391.20	
M_res2	1291.00	kNm	<b>5.71</b>	OK	15	18	3815.10	3391.20	

Il momento ultimo del palo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output del programma relative alla sola sezione di testa.



### 3.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si dispongono spirali Ø16/25 nella prima gabbia dove le sollecitazioni taglianti sono maggiori, mentre nelle altre sono sicuramente sufficienti delle spirali Ø10/30. 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:

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

$D$ : diametro della sezione

$d$ : altezza utile della sezione

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

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

$s$ : interasse tra due armature trasversali consecutive

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 19 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

$\alpha_c$  : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

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

VERIFICHE SLU - TAGLIO PALI SPALLA 2					
d	1150.00	mm	altezza utile della sezione		
he	892.00	mm	altezza utile equivalente		
be	1080.00	mm	larghezza equivalente della sezione		
Af	9021.22	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale tesa		
R <sub>ck</sub>	45	Mpa	resistenza caratteristica cubica del c.a.		
f <sub>ck</sub>	37.35	Mpa	resistenza caratteristica cilindrica del c.a.		
0.2*f <sub>cd</sub>	4.23	Mpa			
k	1.47				
v.min	0.38				
ρ1	0.01		Asl/(d*bw)		
N	1243.38	kN	sforzo normale minimo in testa		
V_max	1234.07	kN	taglio massimo in testa		
σ <sub>c</sub>	1.29	Mpa	compressione media nel calcestruzzo	<b>CS</b>	
V <sub>rd</sub>	743.58	kN	taglio resistente senza armatura a taglio	<b>0.60</b>	NO
cotgθ	2.5				
alfa	90	°			
cotgα	0.00				
senα	1.00				
f <sub>yd</sub>	391.30	Mpa	per B 450 C		
s	250.00	mm	interasse staffe		
n	2		numero bracci		
φ	16.00	mm	diametro staffe		
Asw	401.9200	mm <sup>2</sup>	area staffa		
f <sub>cd</sub> '	10.58	Mpa		<b>CS</b>	
V <sub>rcd</sub> -V <sub>rsd</sub>	1262.588	kN	taglio resistente con armatura a taglio	<b>1.02</b>	OK

### 3.1.3 S.L.E. - Fessurazione e limitazione delle tensioni

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.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 20 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Diametro massimo $\phi$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Spaziatura massima $s$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Definita la massima tensione ammissibile nell'acciaio dalla tabella riportata (160 Mpa sia per combinazione frequente che per combinazione quasi permanente) sopra si considerano per ogni combinazione le condizioni di sollecitazioni associate allo sforzo normale minimo e al taglio massimo. Con l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U., utilizzando un'analisi elastica, si determinano le massime tensioni di trazione nel ferro e compressione nel calcestruzzo nella sezione trasversale del palo.

Le verifiche tensionali si effettuano secondo il punto 4.1.2.2.5 delle NTC. Nella tabella seguente si riportano i valori delle verifiche:

VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE PALI SPALLA 2							
T_rara	537.13	kN	taglio alla testa del palo - rara				
T_freq	518.05	kN	taglio alla testa del palo - frequente				
T_qperm	460.84	kN	taglio alla testa del palo - q.permanente				
$\lambda$	5.48	m	lunghezza caratteristica del palo				
N	1967.16	kN	sforzo normale minimo sle				
M_rara	1472.31	kNm	momento alla testa del palo - rara				
M_freq	1420.01	kNm	momento alla testa del palo - frequente				
M_qperm	1263.20	kNm	momento alla testa del palo - q.permanente				
$\sigma_c$ _rara	9.34	Mpa	tensione nel calcestruzzo - rara	22.41	Mpa	OK	verifica tensionale
$\sigma_c$ _qperm	8.00	Mpa	tensione nel calcestruzzo - q.permanente	16.81	Mpa	OK	verifica tensionale
$\sigma_s$ _rara	145.00	Mpa	tensione nell'acciaio - rara	360.00	Mpa	OK	verifica tensionale
$\sigma_s$ _freq	137.00	Mpa	tensione nell'acciaio - frequente	160.00	Mpa	OK	verifica fessurazione
$\sigma_s$ _qperm	110.00	Mpa	tensione nell'acciaio - q.permanente	160.00	Mpa	OK	verifica fessurazione

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 21 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

### 3.2 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

Le verifiche a carico limite verticale delle opere dei pali di fondazione sono effettuate in accordo alle NTC cap.6.4, seguendo l'approccio 2. In particolare viene verificato che sia verificato:

$$E_d \leq R_d$$

nella quale  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione, mentre  $R_d$  rappresenta il valore di progetto della resistenza. Il valore di progetto dell'azione viene determinata amplificando i valori dei carichi agenti attraverso i coefficienti parziali definiti nei paragrafi precedenti. Nelle due tabelle seguenti vengono riportati i coefficienti parziali da applicare ai parametri geotecnici ed i coefficienti parziali attraverso i quali le resistenze caratteristiche alla punta e laterale del palo vengono convertite in resistenze di calcolo (per pali trivellati).

	$\gamma_\gamma$	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{c'}$	$\gamma_{cu}$
tipo di combinazione	peso specifico	angolo di attrito	coesione drenata	coesione non drenata
<b>M1</b>	1	1	1	1

	$\gamma_{R,b}$	$\gamma_{R,s}$
tipo di combinazione	resistenza alla base	resistenza laterale
<b>R3</b>	1,35	1,15

In funzione del numero di verticali investigate, è stato adottato un fattore di correlazione di 1.40 coerentemente con quanto riportato nella relazione geotecnica e nella tabella 6.4.IV delle NTC.

verticali investigate	1	2	3	4	5	7	>10
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	<b>1,40</b>
$\xi_4$	1,70	1,65	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

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

Si fornisce al presente paragrafo la verifica a carico limite verticale del palo di diametro Ø1200 mm e lunghezza 25.0 m. La verifica viene eseguita in condizioni drenate e non drenate. Per la verifica in condizioni drenate si considera il massimo carico assiale agente sul palo più sollecitato, mentre per la verifica in condizioni non drenate ci si è limitati a considerare il massimo carico assiale tra le sole combinazioni sismiche.

Per il calcolo della portata laterale e di punta si è fatto riferimento alle formulazioni teoriche suggerite dalla A.G.I.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 22 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

CALCOLO PORTATA PALO TRIVELLATO IN CONDIZIONI DRENATE - SPALLA 2																	
Diametro palo		<b>120</b>	[cm]														
A base		1.13	[m <sup>2</sup> ]														
Perimetro		3.77	[m]														
Quota sommità palo		<b>0.00</b>	[m]														
Quota base palo		<b>-25.00</b>	[m]														
Lunghezza palo		25.00	[m]														
Coefficiente di Berezantzev	Nq	<b>8.00</b>															
Coefficiente	Nc	14.98															
<b>Parametri geotecnici assunti</b>																	
Strato	Descrizione	Quote strato [m]	H	$\gamma_{terr}$	$\Delta p'_{vm}$	$p'_{vm}$	$\phi$	$c'$	$\alpha$	qa	$\mu=\tan\phi$	k	$\mu^*k^*p'v$	qs(i)	Qs(i)	Qp	
		da	a	[m]	[t/m <sup>3</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]			[t/m <sup>2</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[t]	[t]	
1	alluvioni	0.00	-5.00	5.00	1.85	4.63	4.63	19.00	1.50	0.9	1.35	0.34	0.50	0.796	2.15	40.46	
2	argille marnose	-5.00	-10.00	5.00	2.00	5.00	14.25	31.10	0.90	0.9	0.81	0.60	0.50	4.298	5.11	96.28	
3	argille marnose	-10.00	-20.00	10.00	2.30	11.50	30.75	25.05	5.90	0.4	2.36	0.47	0.50	7.186	9.55	359.87	
4	argille marnose	-20.00	-25.00	5.00	2.07	5.18	47.43	25.05	0.90	0.9	0.81	0.47	0.50	11.08	11.89	224.17	
														52.60			
														R_m	[t]	720.78	491.16
														R_k	[t]	436.84	297.67
														R_d	[t]	600.35	
														R_d	[kN]	6003.5	
														Fed	[kN]	3263.00	1.00
														PP	[kN]	706.86	1.30
														Fed_tot	[kN]	4181.92	
														cs		1.44	

CALCOLO PORTATA PALO TRIVELLATO IN CONDIZIONI NON DRENATE - SPALLA 2																	
Diametro palo		<b>120</b>	[cm]														
A base		1.13	[m <sup>2</sup> ]														
Perimetro		3.77	[m]														
Quota sommità palo		<b>0.00</b>	[m]														
Quota base palo		<b>-25.00</b>	[m]														
Lunghezza palo		25.00	[m]														
Coefficiente di Berezantzev	Nq	<b>1.00</b>															
Coefficiente	Nc	<b>9.00</b>															
<b>Parametri geotecnici assunti</b>																	
Strato	Descrizione	Quote strato [m]	H	$\gamma_{terr}$	$\Delta p'_{vm}$	$p'_{vm}$	$\phi$	$c_u$	$\alpha$	qa	$\mu=\tan\phi$	k	$\mu^*k^*p'v$	qs(i)	Qs(i)	Qp	
		da	a	[m]	[t/m <sup>3</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]			[t/m <sup>2</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[t]	[t]	
1	alluvioni	0.00	-5.00	5.00	1.85	4.63	4.63	0.00	5.00	0.4	2.00	0.00	0.50	0	2.00	37.70	
2	argille marnose	-5.00	-10.00	5.00	2.00	5.00	14.25	0.00	16.70	0.4	6.68	0.00	0.50	0	6.68	125.92	
3	argille marnose	-10.00	-20.00	10.00	2.30	11.50	30.75	0.00	19.70	0.4	7.88	0.00	0.50	0	7.88	297.07	
4	argille marnose	-20.00	-25.00	5.00	2.07	5.18	47.43	0.00	20.80	0.4	8.32	0.00	0.50	0	8.32	156.83	
														52.60			
														R_m	[t]	617.51	271.21
														R_k	[t]	374.25	164.37
														R_d	[t]	447.19	
														R_d	[kN]	4471.9	
														Fed	[kN]	2792.00	1.00
														PP	[kN]	706.86	1.00
														Fed_tot	[kN]	3498.86	
														cs		1.28	

### 3.2.2 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.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 23 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

CALCOLO PORTATA ORIZZONTALE PALO TRIVELLATO - SPALLA 2			
My	3497.00	kNm	Momento di plasticizzazione del palo
My/(c <sub>u</sub> d <sup>3</sup> )	12.12		
L/d	20.83		
			ξ <sub>3_3</sub> 1.65
			γ <sub>3_trasv</sub> 1.3
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	174.00		Meccanismo di palo corto per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	65.67		Meccanismo di palo intermedio per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	11.37		Meccanismo di palo lungo per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare
H <sub>max_m</sub>	2734.19	kN	Carico limite orizzontale (valore medio)
H <sub>max_k</sub>	1657.08	kN	Carico limite orizzontale (valore caratteristico)
H <sub>max_d</sub>	1274.68	kN	Carico limite orizzontale (valore di calcolo)
Hd	1234.00	kN	Carico limite orizzontale (valore di calcolo)
	1.03		OK

## 4 ANALISI STRUTTURALE DELLE SPALLE

Si descrive in questo capitolo l'analisi strutturale della spalla 2. Le due spalle sono geometricamente simili, differenziandosi soltanto per il fatto che la spalla 2, essendo più alta è certamente più caricata. Poiché si adotteranno le medesime armature per le due strutture, nel presente documento si riportano soltanto i calcoli relativi alla spalla2.

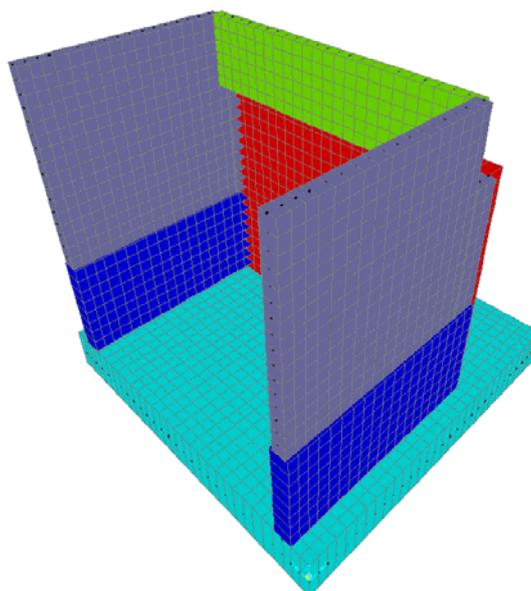
### 4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo delle sollecitazioni agenti sugli elementi che costituiscono la spalla è stato eseguito in SAP2000 schematizzando gli elementi strutturali (plinto di fondazione, paramento, pulvino, trave paraghiaia e muri laterali) come piastre rettangolari, con il plinto vincolato mediante incastri in corrispondenza degli assi dei 9 pali di fondazione.

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. Gli elementi shell impiegati includono gli effetti della deformabilità a taglio.

Nella seguente figura si illustra la geometria del modello.

Il sistema di riferimento globale è impostato con asse X parallelo ai muri laterali, asse Y parallelo al muro frontale e asse Z verticale.



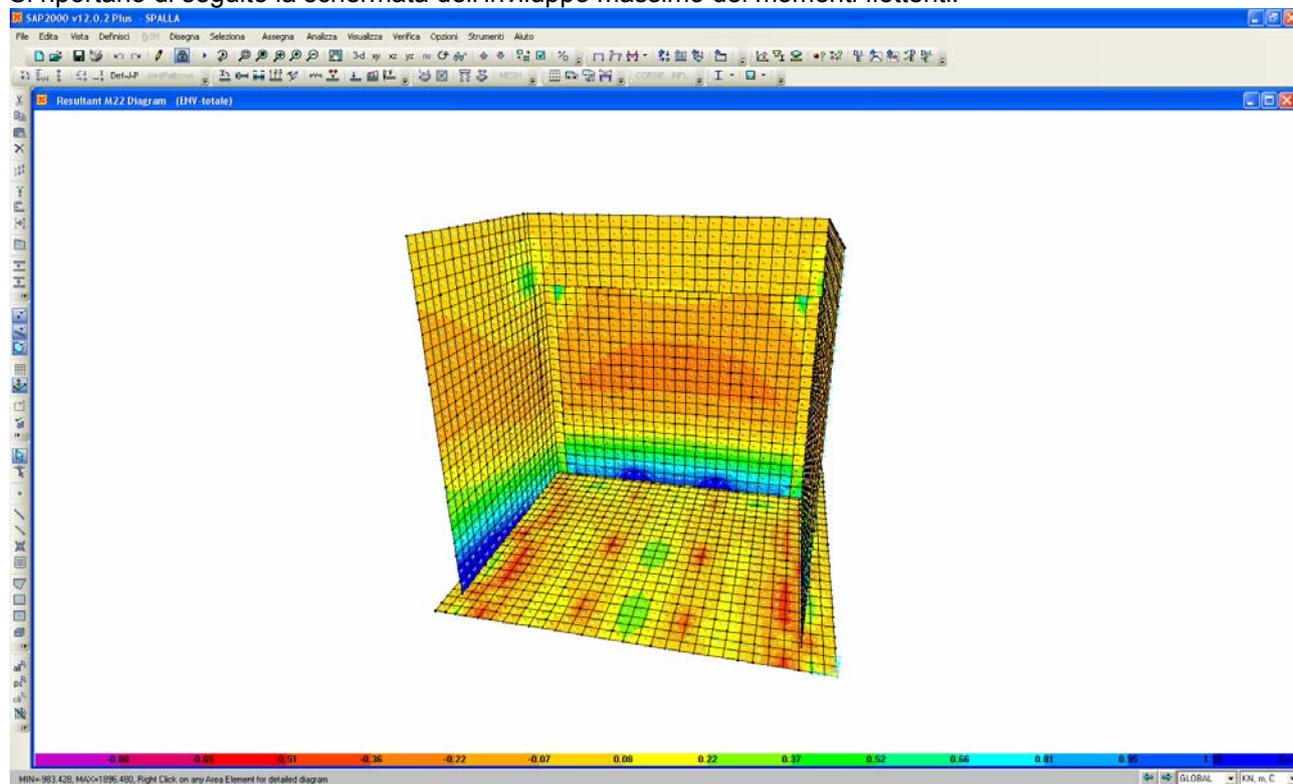
## 4.2 ANALISI DEI CARICHI

La spalla risulta sollecitata da forze concentrate trasmesse dall'impalcato in corrispondenza degli appoggi. Si è tenuto conto dell'eccentricità longitudinale dell'asse appoggi rispetto all'asse del muro frontale inserendo degli elementi frame rigidi, i quali trasmettono le forze concentrate alla spalla.

Oltre alle suddette forze concentrate sono state applicate le forze di superficie che agiscono sulle piastre e che simulano le spinte dei terreni. Le condizioni di carico elementari, i valori delle forze agenti e le combinazioni sono le stesse precedentemente introdotte per la verifica dei pali. Si precisa che i valori delle spinte sulla spalla presi in considerazione nella presente analisi sono quelli che nel paragrafo 2.2 riportano la citazione: "su paramento".

## 4.3 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito la schermata dell'involuppo massimo dei momenti flettenti.



M22max

## 4.4 ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI

Sulla base delle sollecitazioni massime ottenute da SAP, è stata disposta la seguente armatura a flessione nelle due direzioni di ciascun elemento della spalla:

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 25 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>ARMATURA</b>								
		<i>dirz. Armatura</i>	<b>n</b>	<b>tesa</b>	<b>mm</b>	<b>n</b>	<b>compr</b>	<b>mm</b>
<b>plinto</b>	X		5	Φ	22	5	Φ	22
	Y		5	Φ	22	5	Φ	22
<b>paramento</b>	Y		5	Φ	16	5	Φ	16
	Z		5	Φ	20	5	Φ	16
<b>muro laterale superiore</b>	X		5	Φ	16	5	Φ	16
	Z		5	Φ	20	5	Φ	20
<b>muro laterale inferiore</b>	X		5	Φ	16	5	Φ	16
	Z		10	Φ	22	5	Φ	22

X = armatura posta in direzione longitudinale  
Y = armatura posta in direzione trasversale  
Z = armatura posta in direzione verticale

#### 4.5 VERIFICA DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LA SPALLA

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

Sulla base delle armature precedentemente introdotte, si calcolano i momenti resistenti per le varie membrature costituenti la spalla mediante V.C.A.S.L.U. I momenti resistenti sono riportati nella tabella che segue dove sono confrontati con i rispettivi momenti di calcolo nelle condizioni più sfavorevoli.

<b>MOMENTI DI CALCOLO E RESISTENTI</b>				
<i>dirz. Armatura</i>			<b>Md (kNm)</b>	<b>Mrd (kNm)</b>
<b>plinto</b>	X	$M_{dy}$	<b>815</b>	<b>1289</b>
	Y	$M_{dx}$	<b>860</b>	<b>1289</b>
<b>paramento</b>	Z	$M_{dy}$	<b>1025</b>	<b>1098</b>
<b>muro laterale superiore</b>	Z	$M_{dx}$	<b>250</b>	<b>280</b>
<b>muro laterale inferiore</b>	Z	$M_{dx}$	<b>1050</b>	<b>1060</b>

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

Le sollecitazioni taglianti massime di calcolo per i vari elementi della spalla risultano:

<b>TAGLI MASSIMI DI CALCOLO</b>	
	<b>Vd(kN)</b>
<b>plinto</b>	<b>1300</b>
<b>paramento</b>	<b>500</b>
<b>muro laterale superiore</b>	<b>250</b>
<b>muro laterale inferiore</b>	<b>500</b>



CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 27 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## PLINTO

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE		
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	1300 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.34 [-]
		1.34 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_l$	0.0010799 [-]
		0.0010799 [-]

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

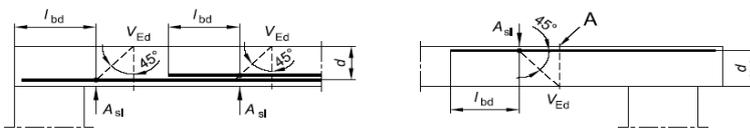
$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_l = A_{s,tesa} / (b d)$$

figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	432.22 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	548.78 [kN]
<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>548.78 [kN]</b>

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ck})^{1/2}) b d$$

E' necessario predisporre armatura a taglio

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	24 [mm]
Numero di braccia	$n_b$	2 [-]
Passo delle staffe	s	1000 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	20 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	905 [mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	1584 [mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot \theta$	2.75 [-]
		2.50 [-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot \alpha$	0.00 [-]
Seno di $\alpha$	$\sin \alpha$	1.00 [-]
<b>Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)</b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>1402.01 [kN]</b>
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	9.41 [MPa]
<b>Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)</b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>4788.82 [kN]</b>
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot \theta = 1$	$A_{sw,max}$	14423.56 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1402.01 [kN]</b>

Generalmente si adotta  $\theta = 45^\circ$

Generalmente si adotta  $\alpha = 90^\circ$

$$A_{sw} = n_b (\pi \phi_{sw}^2) / 4 \leq A_{sw,max}$$

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$$

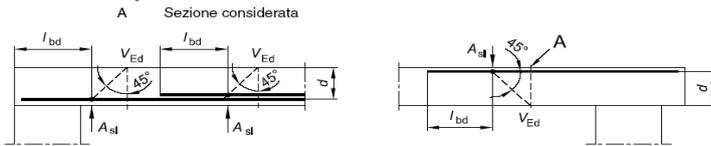
$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$

**PARAMENTO**

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE		
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	500 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.38 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_t$	0.001155 [-]
		0.001155 [-]

$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$   
 $k = 1 + (200/d)^{0,5} <= 2,00$   
 $\rho_t = A_{s,tesa} / (b d)$

figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)  
 Legenda



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	321.09 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	386.52 [kN]

$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_t f_{ctk})^{1/3} b d$   
 $V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ctk})^{1/2}) b d$

<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>386.52 [kN]</b>
--	----------------------------	--------------------

E' necessario predisporre armatura a taglio

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Diámetro delle staffe	$\phi_{sw}$	14 [mm]
Numero di braccia	$n_b$	2 [-]
Passo delle staffe	s	200 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	45 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	308 [mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	1224 [mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot\theta$	1.00 [-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot\alpha$	1.00 [-]
Seno di $\alpha$	$\sin\alpha$	0.00 [-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	$V_{Rsd}$	737.30 [kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	7.06 [MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	$V_{Rcd}$	4317.66 [kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	2163.53 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>737.30 [kN]</b>

Generalmente si adotta  $\theta = 45^\circ$   
 Generalmente si adotta  $\alpha = 90^\circ$   
 $A_{sw} = n_b (\pi \phi_{sw}^2) / 4 <= A_{sw,max}$   
 $z = 0,9d$

$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$

$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$

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

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 29 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## MURO LATERALE SUPERIORE

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE		
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	250 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.65 [-]
		1.65 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_t$	0.0033421 [-]
		0.0033421 [-]

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

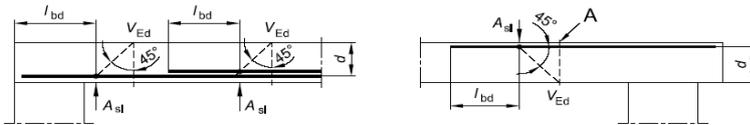
$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_t = A_{s,tesa} / (b d)$$

figura 6.3 Definizione di  $A_{st}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	188.85 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	174.35 [kN]

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_t f_{ctk})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ctk})^{1/2}) b d$$

E' necessario predisporre armatura a taglio

<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>188.85 [kN]</b>
--	----------------------------	--------------------

### § 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	16 [mm]
Numero di braccia	$n_b$	2 [-]
Passo delle staffe	s	400 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	20 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	402 [mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	423 [mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot \theta$	2.75 [-]
		2.50 [-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot \alpha$	0.00 [-]
Seno di $\alpha$	$\sin \alpha$	1.00 [-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	$V_{Rsd}$	416.00 [kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	7.06 [MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	$V_{Rcd}$	959.12 [kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot \theta = 1$	$A_{sw,max}$	4327.07 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>416.00 [kN]</b>

Generalmente si adotta  $\theta = 45^\circ$   
Generalmente si adotta  $\alpha = 90^\circ$

$$A_{sw} = n_b (\pi \phi_{sw}^2) / 4 \leq A_{sw,max}$$

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$$

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

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 30 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## MURO LATERALE INFERIORE

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE		
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	500 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.55 [-]
		1.55 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_l$	0.0056736 [-]
		0.0056736 [-]

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

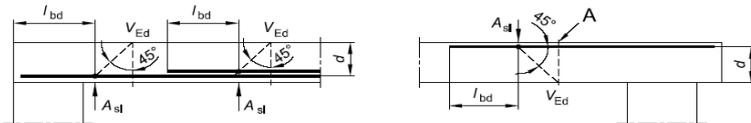
$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_l = A_{s,tesa} / (b d)$$

figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	300.55 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	225.01 [kN]
<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>300.55 [kN]</b>
§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Diametro delle staffe	$\phi_{sw}$	16 [mm]
Numero di braccia	$n_b$	2 [-]
Passo delle staffe	s	400 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	$\theta$	20 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	$\alpha$	90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	$A_{sw}$	402 [mm <sup>2</sup> ]
Braccio della coppia interna	z	603 [mm]
Cotangente di $\theta$	$\cot\theta$	2.75 [-]
		2.50 [-]
Cotangente di $\alpha$	$\cot\alpha$	0.00 [-]
Seno di $\alpha$	$\sin\alpha$	1.00 [-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	$V_{Rsd}$	593.02 [kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	$f'_{cd}$	7.06 [MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	$V_{Rcd}$	1367.26 [kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	4327.07 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>593.02 [kN]</b>

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ck})^{1/2}) b d$$

E' necessario predisporre armatura a taglio

Generalmente si adotta  $\theta = 45^\circ$   
Generalmente si adotta  $\alpha = 90^\circ$

$$A_{sw} = n_b (\pi \phi_{sw}^2) / 4 \leq A_{sw,max}$$

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha$$

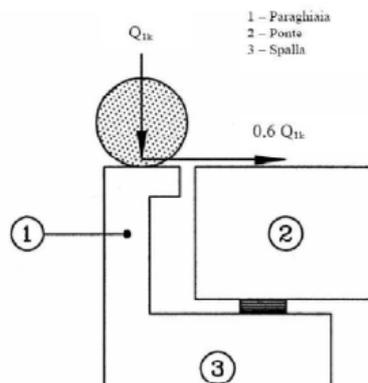
$$V_{Rcd} = z b f'_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot\theta^2)$$

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

## 4.6 CALCOLO TRAVE PARAGHIAIA

Ai fini del calcolo delle spalle, dei muri d'ala e dei muri laterali, i carichi orizzontali da traffico sui rilevati o sui terrapieni possono essere considerati assenti.

Per il calcolo dei muri paraghiaia si deve, invece, considerare un'azione orizzontale longitudinale di frenamento, applicata alla testa del muro paraghiaia, di valore caratteristico pari al 60% del carico asse Q1k. Pertanto, in ponti di 1a categoria si considererà un carico orizzontale di 180 kN, concomitante con un carico verticale di 300 kN.



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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 31 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Nel caso in esame la mensola paraghiaia ha spessore  $s=45$  cm ed altezza  $h=265$  cm, e sarà soggetta ai seguenti carichi riferiti ad una striscia di profondità unitaria:

<b>PESO PROPRIO</b>		
Fz	29.81	kN/m
<b>SPINTE TERRENO</b>		
Fx	26.95	kN/m
z	0.88	m
<b>SPINTA SOVRACCARICO <math>q=20</math> kN/mq</b>		
Fx	22.60	kN/m
z	1.33	m
<b>Q1k</b>		
Fz	300.00	kN
b	7.30	m
fz	41.10	kN/m
larghezza diffusione sollecitazione ( $45^\circ$ )		
<b>0.6*Q1k</b>		
Fx	180.00	kN
b	7.30	m
fx	24.66	kN/m
z	2.65	m
<b>INCREMENTO DI SPINTA PER SISMA</b>		
Fx	19.15	kN/m
z	1.33	m
<b>FORZE INERZIALI</b>		
Fx	4.52	kN/m
Fz	3.01	kN/m
z	1.33	m

Considerando i coefficienti amplificativi delle azioni in combinazione statica SLU, sismica SLV e SLE (rara, frequente, quasi permanente), nella sezione di incastro risultano le seguenti sollecitazioni.

<b>SLU</b>		
N	70.91	kN/m
M	136.52	kNm/m
T	81.88	kN/m
<b>SLV</b>		
N	26.80	kN/m
M	55.17	kNm/m
T	50.62	kN/m
<b>SLE-rara</b>		
N	70.91	kN/m
M	101.13	kNm/m
T	60.65	kN/m
<b>SLE-freq</b>		
N	29.81	kN/m
M	35.78	kNm/m
T	35.99	kN/m
<b>SLE-q.perm</b>		
N	29.81	kN/m
M	23.81	kNm/m
T	26.95	kN/m

Di seguito sono riportate le verifiche a flessione, taglio per le condizioni più gravose nonché le verifiche SLE, tensionali e fessurative.

Il paraghiaia è armato con armatura verticale simmetrica costituita da  $\Phi 18/20$ .

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 32 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

### DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

#### SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	450	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	30	[mm]
Altezza utile della sezione	d	420	[mm]

#### ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	$\phi_1$	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	$n_1$	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi_2$		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	$n_2$		[-]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	1272	[mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	$\phi'_1$	18	[mm]
Numero dei ferri correnti	$n'_1$	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	$\phi'_2$	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	$n'_2$	0	[-]
Area dell'armatura compressa	$A'_s$	1272	[mm <sup>2</sup> ]

### DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	$\omega_s$	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	$\delta$	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	$\rho$	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	$\xi_{2a}$	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	$\xi_{2b}$	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	$\xi'_3$	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	$\beta_{2a}$	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	$\beta_{2b}$	[-]
Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	[-]
Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	[-]
Coefficiente $\alpha'_s$ per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	$\omega_{2a}$	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	$\omega_{2b}$	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	$\omega_3$	[-]
	$\omega'_3$	[-]

#### Armatura simmetrica

Posizione adimensionale dell'asse neutro	$\xi$	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$	[-]
Coefficiente di riempimento	$\beta$	[-]
Coefficiente di baricentro	$\kappa$	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	$\alpha'_s$	[-]
Tensione nell'armatura compressa	$\sigma'_s$	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	$\epsilon'_s$	[-]

<b>Momento resistente della sezione</b>	$M_{Rd}$	194.17	[kNm]
<b>Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto</b>	$M_{Ed}$	136.5	[kNm]

**DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE**

**§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO**

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	$V_{Ed}$	82 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.69 [-]
		1.69 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	$\rho_l$	0.0030294 [-]
		0.0030294 [-]

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

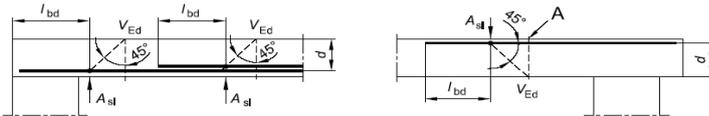
$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_l = A_{s,tesa} / (b \cdot d)$$

figura 6.3 Definizione di  $A_{sl}$  nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	167.05 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	161.17 [kN]
<b>Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso</b>	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>167.05 [kN]</b>

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ctk})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ck})^{1/2}) b d$$

Disporre il quantitativo minimo di orditura a taglio

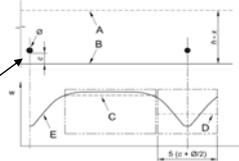
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 34 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS		
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica		
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	101.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	450 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [mm]
Copriferro	d'	30 [mm]
Altezza utile della sezione	d	420 [mm]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A'_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	x	98.33 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	2380792787 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	14.94 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>4.17 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>204.69 [MPa]</b>

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS		
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente		
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	24.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	450 [-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [-]
Copriferro	d'	30 [-]
Altezza utile della sezione	d'	420 [-]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A'_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	x	98.33 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	2380792787 [mm <sup>4</sup> ]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	11.205 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s$	360 [MPa]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>0.99 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>48.64 [MPa]</b>

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS		
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente		
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	$M_{Ed}$	36.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	450 [MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [-]
Copriferro	d'	30 [kNm]
Altezza utile della sezione	d'	420 [kNm]
Area dell'armatura tesa	$A_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	$A'_s$	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Posizione dell'asse neutro	x	98.33 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	2380792787 [mm <sup>4</sup> ]
<b>Tensione nel calcestruzzo</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b>1.49 [MPa]</b>
<b>Tensione nell'armatura tesa</b>	<b><math>\sigma_s</math></b>	<b>72.96 [MPa]</b>

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	450 [mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000 [mm]
Copriferro	d'	30 [mm]
Altezza utile della sezione	d	420 [mm]
Area dell'armatura tesa	A <sub>s</sub>	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Area dell'armatura compressa	A' <sub>s</sub>	1272 [mm <sup>2</sup> ]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	40 [mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	200 [mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	S <sub>ref,max</sub>	245 [mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente		
<b>Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente</b>	M <sub>Ed,q.p.</sub>	24 [kNm]
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	98.33 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ <sub>s</sub>	48.64 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f <sub>ct,eff</sub>	2.6 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	0.4 [-]
Altezza efficace	h <sub>c,eff</sub>	75 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A <sub>c,eff</sub>	75000 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ <sub>p,eff</sub>	0.01696 [-]
Rapporto tra E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub>	α <sub>e</sub>	6.36 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub>	-0.000091 [-] 0.000146 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ <sub>eq</sub>	18.00 [mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k <sub>1</sub>	0.8 [-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k <sub>2</sub>	0.5 [-]
	k <sub>3</sub>	3.4 [-]
	k <sub>4</sub>	0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	S <sub>r,max</sub>	316.38 [mm] 316.38 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure</b>	W <sub>k</sub>	0.0462 [mm]
<b>Ampiezza massima delle fessure</b>	W <sub>max</sub>	0.2 [mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente		
<b>Momento sollecitante per la combinazione Frequente</b>	M <sub>Ed,req.</sub>	36 [kNm]
Durata del carico		lunga [-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	98.33 [mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ <sub>s</sub>	72.96 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f <sub>ct,eff</sub>	2.6 [MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>t</sub>	0.4 [-]
Altezza efficace	h <sub>c,eff</sub>	75 [mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A <sub>c,eff</sub>	75000 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ <sub>p,eff</sub>	0.01696 [-]
Rapporto tra E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub>	α <sub>e</sub>	6.36 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub>	0.000031 [-] 0.000219 [-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ <sub>eq</sub>	18.00 [mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k <sub>1</sub>	0.8 [-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k <sub>2</sub>	0.5 [-]
	k <sub>3</sub>	3.4 [-]
	k <sub>4</sub>	0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	S <sub>r,max</sub>	316.38 [mm] 316.38 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure</b>	W <sub>k</sub>	0.0692 [mm]
<b>Ampiezza massima delle fessure</b>	W <sub>max</sub>	0.3 [mm]



Inserire: breve o lunga

$$h_{c,eff} = \min[2,5(h-d) ; (h-x)/3 ; h/2]$$

$$A_{c,eff} = bh_{c,eff}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$$

$$\alpha_e = E_s/E_{cm}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_1(f_{ct,eff}/\rho_{p,eff})(1 + \alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s \geq 0,6 \sigma_s/E_s$$

Coefficienti indicati sull'EC.2  
 Coefficienti indicati sull'EC.2

$$S_{r,max} = k_3C + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff}$$

$$W_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Inserire: breve o lunga

$$h_{c,eff} = \min[2,5(h-d) ; (h-x)/3 ; h/2]$$

$$A_{c,eff} = bh_{c,eff}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$$

$$\alpha_e = E_s/E_{cm}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_1(f_{ct,eff}/\rho_{p,eff})(1 + \alpha_e\rho_{p,eff})]/E_s \geq 0,6 \sigma_s/E_s$$

Coefficienti indicati sull'EC.2  
 Coefficienti indicati sull'EC.2

$$S_{r,max} = k_3C + k_1k_2k_4\phi/\rho_{p,eff}$$

$$W_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

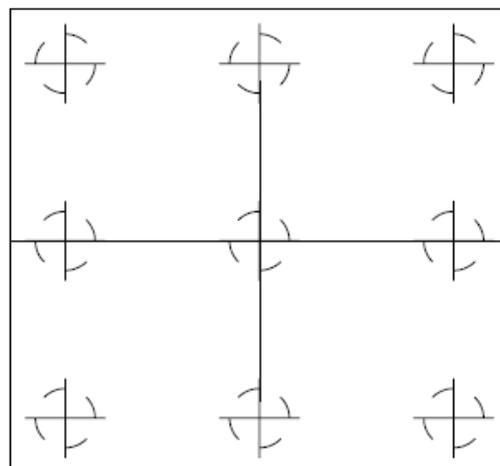
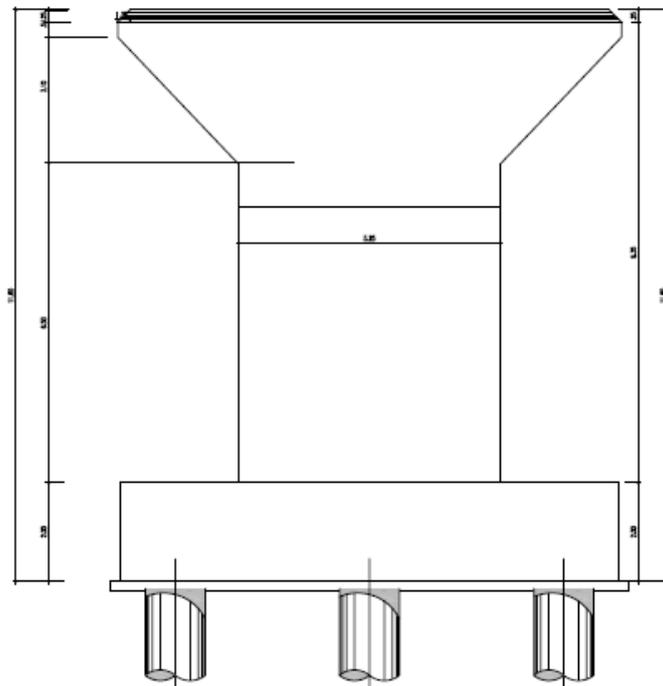
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 36 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 5 PILA

Si riporta nel presente capitolo il calcolo delle sollecitazioni nei pali di fondazione, e le relative verifiche di sicurezza, della pila.

Il calcolo delle sollecitazioni in fondazione è stato effettuato facendo riferimento ad un sistema di coordinate ortogonali destrogiro, avente origine in corrispondenza del filo di monte del plinto di fondazione (a metà del lato parallelo alla direzione trasversale al viadotto), a livello dell'intradosso del plinto stesso, asse x parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato ed asse z diretto verso il basso.

Le azioni orizzontali ( $F_x$  ed  $F_y$ ) e verticali ( $F_z$ ) si assumono positive se di verso concorde con quello degli assi. Si indicheranno inoltre con  $M_x$  i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse x (momenti trasversali) e con  $M_y$  (momenti longitudinali) i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse y.

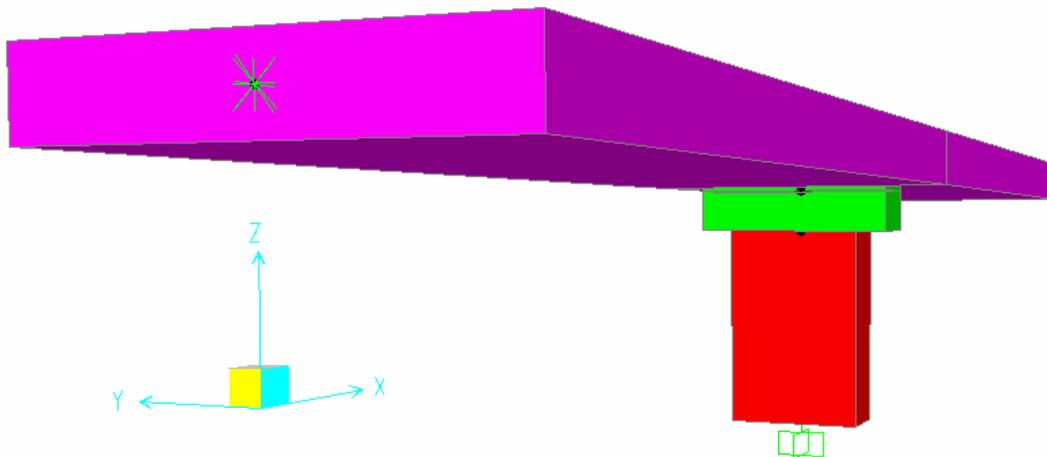


CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 37 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

GEOMETRIA PILA (fissa)											
	num	Bx	By	Bz1	Bz2	Volume	X	Y	Z	Peso	Inerzie
		m	m	m	m	m <sup>3</sup>	m	m	m	kN	kN
plinto	1	9.40	10.00	2.00	2.00	188.00	4.70	0.00	-1.00	4700.00	712.05
paramento	1	2.00	5.25	6.60	6.60	69.30	4.70	0.00	-5.30	1732.50	262.4738
pulvino	1	2.25	7.70	3.00	3.00	51.98	4.70	0.00	-10.10	1299.38	196.8553
baggioli	8	1.00	1.00	0.15	0.15	1.20	4.70	0.00	-11.68	30.00	4.545
appoggi	8	0.60	0.60	0.20	0.20	0.58	4.70	0.00	-11.85	14.40	2.1816
TOTALE PILA						311.05	4.70	0.00	-3.54	7776.28	1178.11

## 5.1 AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

Le sollecitazioni trasferite dall'impalcato alla pila sono state calcolate mediante una analisi dinamica modale con spettro di risposta definito dai parametri indicati al paragrafo 1.4 e tramite un modello di calcolo unifilare definito col software SAP2000-12, nel quale la pila e l'impalcato sono stati definiti come elementi "beam".



Le proprietà inerziali dell'impalcato sono state calcolate considerando la presenza delle quattro travi e della soletta collaborante, mentre per la pila sono state calcolate considerando l'effettivo stato fessurato della stessa con un'inerzia  $J_{y\_eff}=0.79 \text{ m}^2$  calcolata ai sensi del 7.9.3 delle NTC sulla base del momento resistente e della curvatura allo snervamento nella sezione di base.

TRAVE SINGOLA		
A	8443.40	cm <sup>2</sup>
Jgx	32330567.00	cm <sup>4</sup>
Yg	86.40	cm
Jgy	26669563.00	cm <sup>4</sup>
Xg	0.00	cm
SISTEMA TRAVI		
A	33773.60	cm <sup>2</sup>
Jgx	129322268.00	cm <sup>4</sup>
Yg	86.40	cm
Jgy	3166093581.60	cm <sup>4</sup>
Xg	0.00	cm
SOLETTA		
A	37500.00	cm <sup>2</sup>
Jgx	2812500.00	cm <sup>4</sup>
Yg	195.00	cm
Jgy	4882812500.00	cm <sup>4</sup>
Xg	0.00	cm

IMPALCATO				
A	71273.60	cm <sup>2</sup>	7.13	m <sup>2</sup>
Jgx	341709817.94	cm <sup>4</sup>	3.42	m <sup>4</sup>
Yg	143.54	cm	1.44	m
Jgy	8048906081.60	cm <sup>4</sup>	80.49	m
Xg	0.00	cm	0.00	m <sup>4</sup>

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 38 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Il modello rispetta le condizioni di vincolo effettive, con vincoli alla traslazione trasversale in corrispondenza delle spalle e della pila, mentre la traslazione orizzontale è interamente assorbita dalla pila stessa.

L'impalcato è realizzato con due campate semplicemente appoggiate e soletta di continuità, pertanto si ammette che per carichi verticali il sistema si comporti come semplicemente appoggiato.

Come visto al paragrafo 1.4, l'analisi sismica è condotta in classe di duttilità B, con un coefficiente di struttura  $q=1.50$  per pile verticali inflesse in calcestruzzo.

La verifica della sezione di pila alla base, nella quale si impone la formazione della cerniera plastica, è eseguita confrontando le sollecitazioni ricavate dalla suddetta analisi modale con un numero di modi tale da attivare almeno il 30% delle masse, ed il momento resistente calcolato considerando l'armatura utilizzata ed il contemporaneo sforzo normale e momento nella direzione ortogonale. Nelle zone della pila al di fuori della cerniera plastica la verifica è condotta ai sensi della gerarchia delle resistenze, ossia ponendo alla base il momento pari al momento resistente amplificato del coefficiente di sovraresistenza (che nel caso trattato è pari ad 1). Le sollecitazioni così calcolate verranno indicate dal pedice "gr".

Per le strutture di fondazione che dovranno restare in campo elastico, ai sensi del paragrafo 7.2.5 delle NTC, le sollecitazioni sono calcolate dall'analisi dinamica considerando il coefficiente di struttura  $q=1$ .

Analogo discorso vale per gli appoggi fissi della pila ai sensi del paragrafo 7.9.5.4.1 delle NTC.

<b>CARICHI DA IMPALCATO SU PILA (riferiti al baricentro appoggi)</b>			
<b>PESO PROPRIO (G1)</b>			
P.travi	2617.45	kN	
P.t	300.00	kN	
P.s	2906.25	kN	
Fz	5823.70	kN	
<b>CARICHI PERMANENTI PORTATI (G2)</b>			
P.cor	418.50	kN	
P.par	93.00	kN	
P.pav	706.80	kN	
Fz	1218.30	kN	
<b>CARICHI MOBILI (Q1)</b>			
<i>massima azione verticale (Q1-1)</i>			
P.concentrati	1200.00	kN	M.concentrati -1500.00 kNm
P.distribuiti	1302.00	kN	M.distribuiti -2139.00 kNm
P.rimanente	38.75	kN	M.rimanente 174.38 kNm
P.marciapiede	131.75	kN	M.marciapiede 0.00 kNm
Fz	2672.50	kN	Mx -3464.63 kNm
<i>massimo momento trasversale (Q1-2)</i>			
P.concentrati	1000.00	kN	M.concentrati -2050.00 kNm
P.distribuiti	1069.50	kN	M.distribuiti -2778.38 kNm
P.rimanente	0.00	kN	M.rimanente 0.00 kNm
P.marciapiede	65.88	kN	M.marciapiede -383.72 kNm
Fz	2135.38	kN	Mx -5212.10 kNm
<b>FRENAMENTO (Q3)</b>			
Fx	527.40	kN	My 1170.83 kNm
<b>AZIONE DEL VENTO (Q5)</b>			
Fy	174.35	kN	Mx -455.05 kNm
<b>SISMA (Q6-1) da sap</b>			
Fx	4707.00	kN	My 5224.77 kNm
<i>su entrambe le spalle</i>			
Fy	3485.00	kN	Mx -3868.35 kNm
<i>su entrambe le spalle</i>			
Fz	657.00	kN	
<b>RESISTENZE PASSIVE (Q7)</b>			
Fx	80.58	kN	

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 39 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

PESO PROPRIO PILA (G1)		
Fz	7776.28	kN
x	4.70	m
y	0.00	m
z	-3.54	m

## 5.2 RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI

Nella tabella seguente vengono riepilogate le azioni trasmesse in fondazione dalla pila e dall'impalcato. Dette azioni sono riferite al baricentro della paliificata.

Coordinate baricentro pali

x = 4.70 m coordinata x  
y = 0,00 m coordinata y  
z = 0,00 m coordinata z

Coordinate baricentro appoggi

x = 4.70 m coordinata x  
y = 0,00 m coordinata y  
z = -11.85 m coordinata z

I carichi verticali trasmessi dall'impalcato in corrispondenza dei carichi mobili sono stati considerati agenti su un solo asse di appoggi, le suddette azioni sono state trasferite con una eccentricità di 85 cm rispetto al baricentro della pila.

CARICHI PILA (riferiti al baricentro paliificata)									
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	X	Y	Z	descrizione
	kN	kN	kN	kNm	kNm	m	m	m	
G1_impalcato_z			5823.70		0.00	4.70	0.00	-11.85	peso proprio impalcato
G1_pila_z			7776.28		0.00	4.70	0.00	-3.54	peso proprio pila
G2_impalcato_z			1218.30		0.00	4.70	0.00	-11.85	permanenti impalcato
Q1-1_impalcato			2672.50	-3464.63	2298.35	5.56	0.00	-11.85	carico mobile (max. azione vert.)
Q1-2_impalcato			2135.38	-5212.10	1836.42	5.56	0.00	-11.85	carico mobile (max. momento trasv.)
Q3_impalcato	527.40				7420.52	4.70	0.00	-11.85	frenatura su impalcato
Q5_impalcato		174.35		-2521.09		4.70	0.00	-11.85	azione del vento trasversale su imp.
Q6-1_impalcato_x	4707.00				61002.72	4.70	0.00	-11.85	sisma longitudinale impalcato
Q6-1_impalcato_y		3485.00		-45165.60		4.70	0.00	-11.85	sisma trasversale impalcato
Q6-1_impalcato_z			657.00		0.00	4.70	0.00	-11.85	sisma verticale impalcato
Q7_impalcato_x	80.58				954.87	4.70	0.00	-11.85	azione parassita vincoli

*Il contributo dell'inerzia della pila nelle tre direzioni è inglobato, a beneficio di sicurezza, nelle azioni dall'impalcato, calcolate da SAP2000*



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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 41 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

### 5.4 SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA

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

		Q1				Q3				Q5			
		SLU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fx	KN	72.52	72.52	72.52	72.52	784.51	784.51	784.51	784.51	72.52	72.52	72.52	72.52
Fy	KN	156.91	-156.91	156.91	-156.91	156.91	-156.91	156.91	-156.91	261.52	-261.52	261.52	-261.52
Fz	KN	23795.30	23795.30	23070.18	23070.18	22893.33	22893.33	22349.49	22349.49	22893.33	22893.33	22349.49	22349.49
Mx	kNm	-6946.22	-2408.26	-9305.31	-4767.35	-5776.91	-1238.95	-7546.23	-3008.27	-7289.57	273.70	-9058.88	-1495.61
My	kNm	3962.16	3962.16	3338.56	3338.56	13204.16	13204.16	12736.46	12736.46	3186.47	3186.47	2718.76	2718.76

Q6X								Q6Y							
SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
4755.35	4755.35	4755.35	4755.35	-4658.65	-4658.65	-4658.65	-4658.65	1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75
1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	3485.00	3485.00	3485.00	3485.00	-3485.00	-3485.00	-3485.00	-3485.00
15015.38	15015.38	14621.18	14621.18	15015.38	15015.38	14621.18	14621.18	15015.38	15015.38	14621.18	14621.18	15015.38	15015.38	14621.18	14621.18
-13549.68	13549.68	-13549.68	13549.68	-13549.68	13549.68	-13549.68	13549.68	-45165.60	-45165.60	-45165.60	-45165.60	45165.60	45165.60	45165.60	45165.60
61575.64	61575.64	61575.64	61575.64	-60429.80	-60429.80	-60429.80	-60429.80	18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89

Q6Z								Rare				Frequenti				Q.Perm.
SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75	1460.45	-1363.75	48.35	48.35	48.35	48.35	48.35	48.35	48.35	48.35	
1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	1045.50	-1045.50	104.61	-104.61	104.61	-104.61	0.00	0.00	34.87	-34.87	
15475.28	15475.28	15475.28	15475.28	14161.28	14161.28	14161.28	14161.28	17490.78	17490.78	16953.65	16953.65	16822.65	16419.81	14818.28	14818.28	
-13549.68	-13549.68	13549.68	13549.68	-13549.68	-13549.68	13549.68	13549.68	-4977.28	-1951.97	-6724.75	-3699.44	-2598.47	-3909.07	-504.22	504.22	
18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89	18873.74	-17727.89	2871.27	2871.27	2409.35	2409.35	2296.69	1950.24	572.92	572.92	

Considerando la seguente geometria della palificata:

GEOMETRIA PALIFICATA PILA						
PALO	Xi	Yi	Jx	Jy		
	m	m	m <sup>4</sup>	m <sup>4</sup>		
1	3.60	3.90	17.30	14.75	diametro palo	1.20 m
2	3.60	0.00	0.10	14.75	area palo	1.13 m <sup>2</sup>
3	3.60	-3.90	17.30	14.75	inerzia palo	0.1017 m <sup>4</sup>
4	0.00	3.90	17.30	0.10	numero pali	9
5	0.00	0.00	0.10	0.10	area palificata	10.17 m <sup>2</sup>
6	0.00	-3.90	17.30	0.10	inerzia trasversale palificata_x	104.0759 m <sup>4</sup>
7	-3.60	3.90	17.30	14.75	inerzia longitudinale palificata_y	88.8155 m <sup>4</sup>
8	-3.60	0.00	0.10	14.75		
9	-3.60	-3.90	17.30	14.75		
					x_max_ass	3.60 m
					y_max_ass	3.90 m

Si ottengono le seguenti sollecitazioni massime (o minime) su un singolo palo per le varie sollecitazioni:

		Q1				Q3				Q5			
		SLU											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hx	KN	8.06	8.06	8.06	8.06	87.17	87.17	87.17	87.17	8.06	8.06	8.06	8.06
Hy	KN	17.43	-17.43	17.43	-17.43	17.43	-17.43	17.43	-17.43	29.06	-29.06	29.06	-29.06
H <sub>ris</sub>	KN	19.21	19.21	19.21	19.21	88.89	88.89	88.89	88.89	30.15	30.15	30.15	30.15
N <sub>max</sub>	KN	3119.70	2927.48	3110.49	2918.26	3393.41	3201.19	3386.50	3194.28	2998.48	2701.30	2991.57	2671.20
N <sub>min</sub>	KN	2168.14	2360.37	2016.22	2208.44	1694.00	1886.22	1580.05	1772.28	2088.92	2386.11	1974.98	2295.35

Q6X								Q6Y							
SLV															
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
528.37	528.37	528.37	528.37	-517.63	-517.63	-517.63	-517.63	162.27	-151.53	162.27	-151.53	162.27	-151.53	162.27	-151.53
116.17	-116.17	116.17	-116.17	116.17	-116.17	116.17	-116.17	387.22	387.22	387.22	387.22	-387.22	-387.22	-387.22	-387.22
540.99	540.99	540.99	540.99	530.50	530.50	530.50	530.50	419.85	415.81	419.85	415.81	419.85	415.81	419.85	415.81
5063.66	5063.66	5019.86	5019.86	5011.16	5011.16	4967.36	4967.36	4446.32	4393.82	4402.52	4350.02	4446.32	4393.82	4402.52	4350.02
-1726.91	-1726.91	-1770.71	-1770.71	-1674.41	-1674.41	-1718.21	-1718.21	-1109.57	-1057.07	-1153.37	-1100.87	-1109.57	-1057.07	-1153.37	-1100.87

Q6Z								Rare				Frequenti				Q.Perm.
SLV	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE	SLE								
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
162.27	-151.53	162.27	-151.53	162.27	-151.53	162.27	-151.53	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	
116.17	-116.17	-116.17	-116.17	116.17	116.17	-116.17	-116.17	11.62	-11.62	11.62	-11.62	-11.62	0.00	0.00	3.87	
199.57	190.93	199.57	190.93	199.57	190.93	199.57	190.93	12.80	12.80	12.80	12.80	5.37	5.37	6.62	6.62	
3158.20	3105.70	3158.20	3105.70	3012.20	2959.70	3012.20	2959.70	2285.81	2157.66	2278.99	2150.84	2084.48	2079.37	1694.08	1694.08	
280.75	333.25	280.75	333.25	134.75	187.25	134.75	187.25	1601.03	1729.18	1488.49	1616.64	1653.88	1569.48	1598.87	1598.87	

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 42 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Da cui discendono le seguenti sollecitazioni massime (o minime) assolute:

H_sl_u_max	kN	<b>540.99</b>	<i>per verifiche strutturali</i>
N_sl_u_max	kN	<b>5063.66</b>	<i>per verifiche geotecniche drenate</i>
N_sl_v_max	kN	<b>5063.66</b>	<i>per verifiche geotecniche non drenate</i>
N_sl_u_min	kN	<b>-1770.71</b>	<i>per verifiche strutturali</i>

H_sl_e_rara	kN	<b>12.80</b>	<i>per verifiche tensionali</i>
H_sl_e_freq	kN	<b>6.62</b>	<i>per verifiche fessurative</i>
H_sl_e_q.perm	kN	<b>5.37</b>	<i>per verifiche tensionali e fessurative</i>

## 6 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE PILA

### 6.1 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. Il terreno è assunto come coesivo sovra consolidato e pertanto si assegna una costante di reazione orizzontale uniforme con la profondità. 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.

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

La prima gabbia viene armata con 32 Ø22, mentre per le successive sono sufficienti 26 Ø18.

VERIFICHE SLU - PRESSOFLESSIONE PALI PILA									
Kh	13000	kN/m <sup>3</sup>	costante di reazione orizzontale del terreno (assunta costante)						
E	34625485	kN/m <sup>2</sup>	modulo elastico del calcestruzzo dei pali						
D	1.20	m	diametro del palo						
A	1.13	m <sup>2</sup>	area del palo						
J	0.1017	m <sup>4</sup>	momento di inerzia del palo						
L	35.00	m	lunghezza del palo						
$\lambda$	5.48	m	lunghezza caratteristica del palo						
y_max	6.33	mm	spostamento massimo in testa						
T	540.99	kN	taglio alla testa del palo						
N	-1770.71	kN	sforzo normale minimo in testa (trazione se negativo)						
M_1	1482.90	kNm	momento massimo in testa per gabbia 1						
M_2+	-83.25	kNm	momento massimo per gabbia 2 (a quota -11 m)						
M_2-	-34.25	kNm	momento massimo per gabbia 2 (a quota -20 m)						
			<b>CS</b>		n	$\Phi$ (mm)	Af (mm <sup>2</sup> )	min (mm <sup>2</sup> )	
M_res1	1518.00	kNm	1.02	OK	32	22	12158.08	3391.20	
M_res2	446.00	kNm	5.36	OK	26	18	6612.84	3391.20	
M_res3	446.00	kNm	13.02	OK	26	18	6612.84	3391.20	

Il momento ultimo del palo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output del programma relative alla sola sezione di testa.

### 6.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si dispongono spirali Ø12/25 nella prima gabbia dove le sollecitazioni taglianti sono maggiori, mentre nelle altre sono sicuramente sufficienti delle spirali Ø10/30. 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:

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

$D$ : diametro della sezione

$d$ : altezza utile della sezione

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

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 44 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

- $A_{sw}$  : 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

VERIFICHE SLU - TAGLIO PALI PILA					
d	1150.00	mm	altezza utile della sezione		
he	892.00	mm	altezza utile equivalente		
be	1080.00	mm	larghezza equivalente della sezione		
Af	6079.04	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale tesa		
R <sub>ck</sub>	45	Mpa	resistenza caratteristica cubica del c.a.		
f <sub>ck</sub>	37.35	Mpa	resistenza caratteristica cilindrica del c.a.		
0.2*f <sub>cd</sub>	4.23	Mpa			
k	1.47				
v.min	0.38				
ρ <sub>1</sub>	0.01		Asl/(d*bw)		
N	-1770.71	kN	sforzo normale minimo in testa		
V_max	540.99	kN	taglio massimo in testa		
σ <sub>c</sub>	-1.84	Mpa	compressione media nel calcestruzzo	<b>CS</b>	
V <sub>rd</sub>	222.79	kN	taglio resistente senza armatura a taglio	<b>0.41</b>	<b>NO</b>
cotgθ	<b>2.5</b>				
alfa	90	°			
cotgα	0.00				
senα	1.00				
f <sub>yd</sub>	391.30	Mpa	per B 450 C		
s	<b>250.00</b>	mm	interasse staffe		
n	2		numero bracci		
φ	<b>12.00</b>	mm	diametro staffe		
As <sub>w</sub>	226.0800	mm <sup>2</sup>	area staffa		
f <sub>cd</sub> '	10.58	Mpa		<b>CS</b>	
V <sub>rcd</sub> -V <sub>rsd</sub>	710.206	kN	taglio resistente con armatura a taglio	<b>1.31</b>	<b>OK</b>

### 6.1.3 S.L.E. - Fessurazione e limitazione delle tensioni

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.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 45 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Diametro massimo $\phi$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Spaziatura massima $s$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Definita la massima tensione ammissibile nell'acciaio dalla tabella riportata (160 Mpa sia per combinazione frequente che per combinazione quasi permanente) sopra si considerano per ogni combinazione le condizioni di sollecitazioni associate allo sforzo normale minimo e al taglio massimo. Con l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U., utilizzando un'analisi elastica, si determinano le massime tensioni di trazione nel ferro e compressione nel calcestruzzo nella sezione trasversale del palo.

Le verifiche tensionali si effettuano secondo il punto 4.1.2.2.5 delle NTC. Nella tabella seguente si riportano i valori delle verifiche:

VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE PALI PILA							
T_rara	12.80	kN	taglio alla testa del palo - rara				
T_freq	6.62	kN	taglio alla testa del palo - frequente				
T_qperm	5.37	kN	taglio alla testa del palo - q.permanente				
$\lambda$	5.48	m	lunghezza caratteristica del palo				
N	1488.49	kN	sforzo normale minimo sle				
M_rara	35.10	kNm	momento alla testa del palo - rara				
M_freq	18.16	kNm	momento alla testa del palo - frequente				
M_qperm	14.73	kNm	momento alla testa del palo - q.permanente				
$\sigma_c$ _rara	9.34	Mpa	tensione nel calcestruzzo - rara	MAX	22.41	Mpa	OK verifica tensionale
$\sigma_c$ _qperm	8.00	Mpa	tensione nel calcestruzzo - q.permanente		16.81	Mpa	OK verifica tensionale
$\sigma_s$ _rara	145.00	Mpa	tensione nell'acciaio - rara		360.00	Mpa	OK verifica tensionale
$\sigma_s$ _freq	136.00	Mpa	tensione nell'acciaio - frequente		160.00	Mpa	OK verifica fessurazione
$\sigma_s$ _qperm	110.00	Mpa	tensione nell'acciaio - q.permanente		160.00	Mpa	OK verifica fessurazione

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 46 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 6.2 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

Le verifiche a carico limite verticale delle opere dei pali di fondazione sono effettuate in accordo alle NTC cap.6.4, seguendo l'approccio 2. In particolare viene verificato che sia verificato:

$$E_d \leq R_d$$

nella quale  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione, mentre  $R_d$  rappresenta il valore di progetto della resistenza. Il valore di progetto dell'azione viene determinata amplificando i valori dei carichi agenti attraverso i coefficienti parziali definiti nei paragrafi precedenti. Nelle due tabelle seguenti vengono riportati i coefficienti parziali da applicare ai parametri geotecnici ed i coefficienti parziali attraverso i quali le resistenze caratteristiche alla punta e laterale del palo vengono convertite in resistenze di calcolo (per pali trivellati).

	$\gamma_\gamma$	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{c'}$	$\gamma_{cu}$
tipo di combinazione	peso specifico	angolo di attrito	coesione drenata	coesione non drenata
<b>M1</b>	1	1	1	1

	$\gamma_{R,b}$	$\gamma_{R,s}$
tipo di combinazione	resistenza alla base	resistenza laterale
<b>R3</b>	1,35	1,15

In funzione del numero di verticali investigate, è stato adottato un fattore di correlazione di 1.40 coerentemente con quanto riportato nella relazione geotecnica e nella tabella 6.4.IV delle NTC.

verticali investigate	1	2	3	4	5	7	>10
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	<b>1,40</b>
$\xi_4$	1,70	1,65	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

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

Si fornisce al presente paragrafo la verifica a carico limite verticale del palo di diametro Ø1200 mm e lunghezza 35.0 m. La verifica viene eseguita in condizioni drenate e non drenate. Per la verifica in condizioni drenate si considera il massimo carico assiale agente sul palo più sollecitato, mentre per la verifica in condizioni non drenate ci si è limitati a considerare il massimo carico assiale tra le sole combinazioni sismiche.

Per il calcolo della portata laterale e di punta si è fatto riferimento alle formulazioni teoriche suggerite dalla A.G.I.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 47 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

CALCOLO PORTATA PALO TRIVELLATO IN CONDIZIONI DRENATE - PILA																		
Diametro palo		<b>120</b>	[cm]															
A base		1.13	[m <sup>2</sup> ]															
Perimetro		3.77	[m]															
Quota sommità palo		<b>0.00</b>	[m]															
Quota base palo		<b>-35.00</b>	[m]															
Lunghezza palo		35.00	[m]															
Coefficiente di Berezantzev	Nq	<b>8.00</b>																
Coefficiente	Nc	14.98																
<b>Parametri geotecnici assunti</b>																		
Strato	Descrizione	Quote strato [m]	H	$\gamma_{terr}$	$\Delta p'_{vm}$	$p'_{vm}$	$\phi$	$c'$	$\alpha$	qa	$\mu=\tan\phi$	k	$\mu^*k^*p'v$	qs(i)	Qs(i)	Qp		
		da	a	[m]	[t/m <sup>3</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]			[t/m <sup>2</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[t]	[t]		
1	alluvioni	0.00	-5.00	5.00	1.85	4.63	4.63	19.00	1.50	0.9	1.35	0.34	0.50	0.796	2.15	40.46		
2	argille marnose	-5.00	-10.00	5.00	2.00	5.00	14.25	31.10	0.90	0.9	0.81	0.60	0.50	4.298	5.11	96.28		
3	argille marnose	-10.00	-20.00	10.00	2.30	11.50	30.75	25.05	5.90	0.4	2.36	0.47	0.50	7.186	9.55	359.87		
4	argille marnose	-20.00	-35.00	15.00	2.07	15.53	57.78	25.05	0.90	0.9	0.81	0.47	0.50	13.5	14.31	809.28		
														R_m	[t]	1305.89	678.45	
														R_k	[t]	791.45	411.18	
														R_d	[t]	992.79		
														R_d	[kN]	9927.9		
														Fed	[kN]	5064.00	1.00	
														PP	[kN]	989.60	1.30	
														Fed_tot	[kN]	6350.48		
														cs		1.56		

CALCOLO PORTATA PALO TRIVELLATO IN CONDIZIONI NON DRENATE - PILA																		
Diametro palo		<b>120</b>	[cm]															
A base		1.13	[m <sup>2</sup> ]															
Perimetro		3.77	[m]															
Quota sommità palo		<b>0.00</b>	[m]															
Quota base palo		<b>-35.00</b>	[m]															
Lunghezza palo		35.00	[m]															
Coefficiente di Berezantzev	Nq	<b>1.00</b>																
Coefficiente	Nc	<b>9.00</b>																
<b>Parametri geotecnici assunti</b>																		
Strato	Descrizione	Quote strato [m]	H	$\gamma_{terr}$	$\Delta p'_{vm}$	$p'_{vm}$	$\phi$	$c_u$	$\alpha$	qa	$\mu=\tan\phi$	k	$\mu^*k^*p'v$	qs(i)	Qs(i)	Qp		
		da	a	[m]	[t/m <sup>3</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]	[°]	[t/m <sup>2</sup> ]			[t/m <sup>2</sup> ]	[t/m <sup>2</sup> ]	[t]	[t]		
1	alluvioni	0.00	-5.00	5.00	1.85	4.63	4.63	0.00	5.00	0.4	2.00	0.00	0.50	0	2.00	37.70		
2	argille marnose	-5.00	-10.00	5.00	2.00	5.00	14.25	0.00	16.70	0.4	6.68	0.00	0.50	0	6.68	125.92		
3	argille marnose	-10.00	-20.00	10.00	2.30	11.50	30.75	0.00	19.70	0.4	7.88	0.00	0.50	0	7.88	297.07		
4	argille marnose	-20.00	-35.00	15.00	2.07	15.53	57.78	0.00	20.80	0.4	8.32	0.00	0.50	0	8.32	470.48		
														R_m	[t]	931.17	294.62	
														R_k	[t]	564.34	178.56	
														R_d	[t]	623.00		
														R_d	[kN]	6230.0		
														Fed	[kN]	5064.00	1.00	
														PP	[kN]	989.60	1.30	
														Fed_tot	[kN]	6053.60		
														cs		1.03		

## 6.2.2 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.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 48 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

CALCOLO PORTATA ORIZZONTALE PALO TRIVELLATO - PILA					
My	1518.00	kNm	Momento di plasticizzazione del palo	$\xi_{3.3}$	1.65
My/(c <sub>u</sub> d <sup>3</sup> )	5.26			$\gamma_{r3\_trasv}$	1.3
L/d	29.17				
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	249.00		Meccanismo di palo corto per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare		
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	95.98		Meccanismo di palo intermedio per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare		
H/(c <sub>u</sub> d <sup>2</sup> )	5.78		Meccanismo di palo lungo per palo in terreno coesivo con testa impedita di ruotare		
H <sub>max_m</sub>	1389.37	kN	Carico limite orizzontale (valore medio)		
H <sub>max_k</sub>	842.04	kN	Carico limite orizzontale (valore caratteristico)		
H <sub>max_d</sub>	647.72	kN	Carico limite orizzontale (valore di calcolo)		
Hd	541.00	kN	Carico limite orizzontale (valore di calcolo)		
	1.20		OK		

## 7 VERIFICA DELLA PILA

Come visto in precedenza le sollecitazioni ricavate dall'analisi dinamica modale sono state utilizzate per ricavare le sollecitazioni alla base della pila.

Per le zone al di fuori della cerniera plastica si adotta la gerarchia delle resistenze.

L'involuppo delle sollecitazioni massime trasferite alla base della pila e calcolate da SAP2000 per q=1.50 sono:

INVILUPPO SOLLECITAZIONI PILA ALLA BASE - da SAP 2000							
	SLU	SLV	SLE	SLE	SLE		
	statiche	sismiche	rare	freq.	q.perm.		
Vdx	784.00	3185.00	48.00	48.00	48.00	kN	taglio longitudinale massimo
Vdy	261.00	2322.00	105.00	35.00	0.00	kN	taglio trasversale massimo
N_min	17775.00	10711.00	13502.00	11368.00	11368.00	kN	sforzo normale minimo
Mdx	8950.00	21658.00	6488.00	3909.00	0.00	kNm	momento trasversale massimo
Mdy	11439.00	30193.00	2762.00	2188.00	464.00	kNm	momento longitudinale massimo
Bx	2.00	m	lunghezza sezione in direzione longitudinale				
By	5.25	m	lunghezza sezione in direzione trasversale				
H	9.60	m	altezza pila (compreso pulvino)				

VERIFICHE SLU - PRESSOFLESSIONE BASE PILA (zona di cerniera plastica)						
N	10711.00	kN	sforzo normale minimo in testa			
Mdx	21658.00	kNm	momento massimo trasversale			
Mcy	9383.00	kNm	momento longitudinale concomitante			
Mdy	30193.00	kNm	momento massimo longitudinale			
Mcx	6505.00	kNm	momento trasversale concomitante			
Mrx_cerniera	24474.00	kNm	momento resistente alla base		CS	armatura simmetrica in cerniera plastica
Mry_cerniera	30274.00	kNm	momento resistente alla base		1.13 OK	n    Φ (mm)    Af (mm <sup>2</sup> )
					1.00 OK	10    26    5306.60
						52    26    27594.32
VERIFICHE SLU - PRESSOFLESSIONE FUSTO PILA (fuori cerniera) secondo Gerarchia Resistenze						
N	10711.00	kN	sforzo normale minimo in testa			
γ	1.00		fattore di sovraresistenza			
Lc	4.00	m	lunghezza cerniera plastica			
M <sub>GRX</sub>	14276.50	kNm	momento massimo trasversale (GR)			
M <sub>GRY</sub>	17659.83	kNm	momento massimo longitudinale (GR)			
Mrx_fusto	15254.00	kNm	momento resistente sul fusto		CS	armatura simmetrica fuori cerniera plastica
Mry_fusto	19953.00	kNm	momento resistente sul fusto		1.07 OK	n    Φ (mm)    Af (mm <sup>2</sup> )
					1.13 OK	5    26    2653.30
						26    26    13797.16

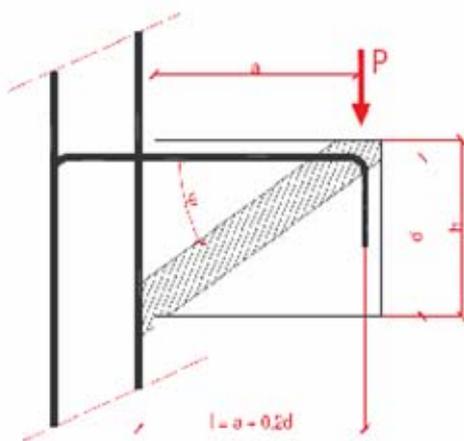
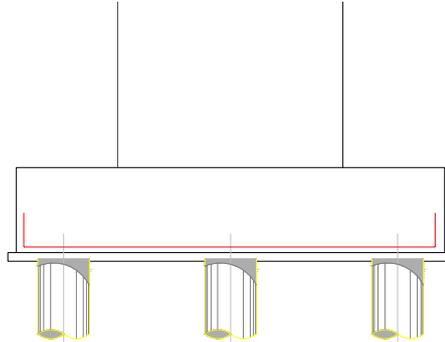
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 49 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

VERIFICHE SLU - TAGLIO LONGITUDINALE PILA							
d	1960.00	mm	altezza utile della sezione				
b	5250.00	mm	larghezza della sezione				
Af	27594.32	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale tesa				
R <sub>ck</sub>	30	Mpa	resistenza caratteristica cubica del c.a.				
f <sub>ck</sub>	24.90	Mpa	resistenza caratteristica cilindrica del c.a.				
0.2*f <sub>cd</sub>	2.82	Mpa					
k	1.32						
v.min	0.26						
ρ <sub>1</sub>	0.00		Asl/(d*bw)				
N	10711.00	kN	sfuerzo normale minimo in testa				
V <sub>dx</sub>	3185.00	kN	taglio longitudinale massimo				
V <sub>grx</sub>	3193.54	kN	taglio longitudinale massimo (GR)				
σ <sub>c</sub>	1.04	Mpa	compressione media nel calcestruzzo		<b>CS</b>		
V <sub>rx</sub>	4674.64	kN	taglio resistente senza armatura a taglio		<b>1.46</b>	OK	
cotgθ	2.5						
alfa	90	°					
cotgα	0.00						
senα	1.00						
f <sub>yd</sub>	391.30	Mpa	per B 450 C				
s	0.00	mm	interasse staffe				
n	2		numero bracci				
φ	0.00	mm	diametro staffe				
A <sub>sw</sub>	0.0000	mm <sup>2</sup>	area staffa				
f <sub>cd</sub> '	7.06	Mpa			<b>CS</b>		
V <sub>rcd</sub> -V <sub>rsd</sub>	---	kN	taglio resistente con armatura a taglio		<b>#####</b>	OK	
VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE PILA							
N	11368.00	kN	sfuerzo normale minimo sle				
My <sub>rara</sub>	2762.00	kNm	momento long - rara				
My <sub>freq</sub>	2188.00	kNm	momento long - frequente				
My <sub>qperm</sub>	464.00	kNm	momento long - q.permanente		MAX		
σ <sub>c_rara</sub>	1.65	Mpa	tensione nel calcestruzzo - rara	22.41	Mpa	OK	verifica tensionale
σ <sub>c_qperm</sub>	1.52	Mpa	tensione nel calcestruzzo - q.permanente	16.81	Mpa	OK	verifica tensionale
σ <sub>s_rara</sub>	0.00	Mpa	tensione nell'acciaio - rara	360.00	Mpa	OK	verifica tensionale
σ <sub>s_freq</sub>	0.00	Mpa	tensione nell'acciaio - frequente	160.00	Mpa	OK	verifica fessurazione
σ <sub>s_qperm</sub>	0.00	Mpa	tensione nell'acciaio - q.permanente	160.00	Mpa	OK	verifica fessurazione

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 50 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 7.1 PLINTO DI FONDAZIONE

L'armatura del plinto di fondazione viene determinata secondo un modello a mensola tozza con un meccanismo tirante-puntone seguendo le indicazioni date dal paragrafo C.4.1.2.1.5 delle istruzioni per l'applicazione delle NTC.



Con riferimento allo schema precedente, nel caso in esame, riferito alla zona di interesse tra i pali, avremo:

$P = 2164 \times 2 = 5064$  kN (massimo sforzo di compressione sul palo)

$b = 3.60$  m (interesse tra i pali)

$h = 2.00$  m (spessore fondazione)

$a = 1.30$  m (distanza palo da fusto pila)

$d = 1.94$  m

$L = 1.30 + 0.2 \times 1.94 = 1.69$  m

$\cotg \Psi = L / (0.9 \times d) = 0.96$ ,  $\Psi = 46^\circ$

La porzione assorbita dalla biella compressa è:  $N_c = P / \sin \Psi = 7044$  kN

La porzione assorbita dal tirante è:  $N_t = P \times \cotg \Psi = 4861$  kN.

Le resistenze di calcolo del calcestruzzo compresso e dell'acciaio di armatura teso sono:

$N_{rc} = 0.4 b d f_{cd} = 52548$  kN  $> N_c$

$N_{rt} = A_f f_{yd} = 5352$  kN  $> N_t$

Avendo assunto ferri  $\Phi 22/10$ , l'armatura utile per assorbire gli sforzi di trazione è:

$A_f = 36 \Phi 22 = 13678$  mm<sup>2</sup>.

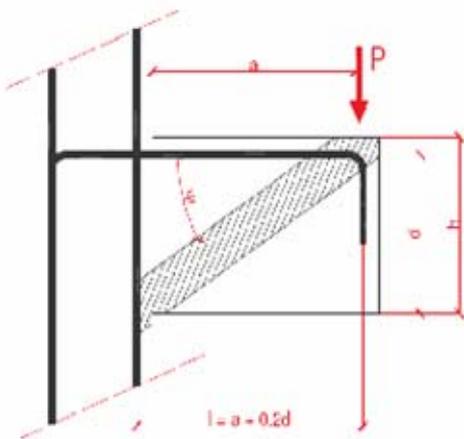
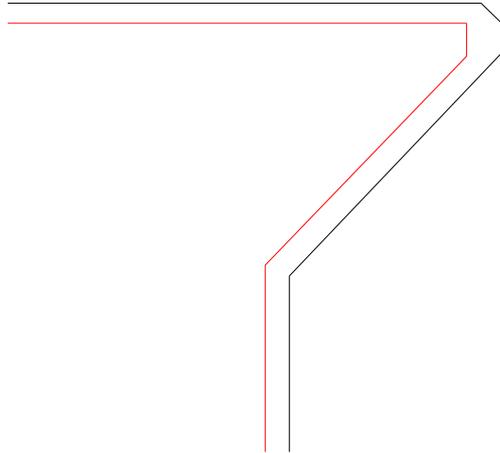
Tale armatura è disposta in entrambe le direzioni.

Nella parte superiore della pila, in entrambe le direzioni si dispongono invece  $\Phi 22/20$ .

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 51 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 7.2 PULVINO

Il dimensionamento dell'armatura orizzontale posta in testa al pulvino è stato eseguito ipotizzando un meccanismo resistente tirante-puntone, seguendo le indicazioni date dal paragrafo C.4.1.2.1.5 delle istruzioni per l'applicazione delle NTC.



Con riferimento allo schema precedente, nel caso in esame avremo:

$P = 2164 \times 2 = 4328$  kN (ricavato dalla relazione di calcolo considerando il taglio massimo sui due appoggi ed aggiungendovi il peso dei due traversi)

$b = 2.50$  m

$h = 3.00$  m

$a = 2.45$  m

$d = 2.97$  m

$L = 2.45 + 0.2 \times 2.97 = 3.04$  m

$\cotg \Psi = L / (0.9 \times d) = 1.13$ ,  $\Psi = 41.3^\circ$

La porzione assorbita dalla biella compressa è:  $N_c = P / \sin \Psi = 6554$  kN

La porzione assorbita dal tirante è:  $N_t = P \times \cotg \Psi = 4891$  kN.

Le resistenze di calcolo del calcestruzzo compresso e dell'acciaio di armatura teso sono:

$N_{rc} = 0.4 b d f_{cd} = 41907$  kN  $> N_c$

$N_{rt} = A_f f_{yd} = 5191$  kN  $> N_t$

Avendo assunto ferri  $\Phi 26/10$ , l'armatura utile per assorbire gli sforzi di trazione è

$A_f = 25 \Phi 26 = 13226$  mm<sup>2</sup>.

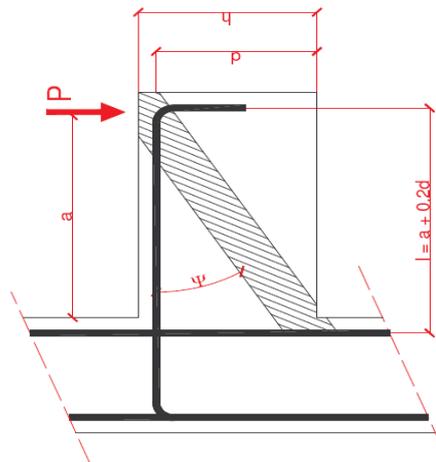
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 52 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 8 BAGGIOLI

Il dimensionamento dell'armatura dei baggioli è stato eseguito ipotizzando un meccanismo resistente tirante-puntone, seguendo le indicazioni date dal paragrafo C.4.1.2.1.5 delle istruzioni per l'applicazione delle NTC.

Il dimensionamento è effettuato sulla base della massima azione tagliante trasferita dagli appoggi per sisma e pari, come sarà meglio specificato nel paragrafo successivo, a  $V_d=1177$  kN.

Il baggio ha una altezza di circa 30 cm e dimensioni in pianta pari a 100 cm in entrambe le direzioni.



Con riferimento allo schema precedente, nel caso in esame avremo:

$$P = 1177 \text{ kN}$$

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

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

$$a = 0.30 \text{ m}$$

$$d = 0.97 \text{ m}$$

$$L = 0.30 + 0.2 \cdot 0.97 = 0.49 \text{ m}$$

$$\cotg \Psi = L / (0.9 \cdot d) = 0.56, \Psi = 61^\circ$$

La porzione assorbita dalla biella compressa è:  $N_c = P / \sin \Psi = 1350$  kN

La porzione assorbita dal tirante è:  $N_t = P \cdot \cotg \Psi = 660$  kN.

Le resistenze di calcolo del calcestruzzo compresso e dell'acciaio di armatura teso sono:

$$N_{rc} = 0.4 b d f_{cd} = 5475 \text{ kN} > N_c$$

$$N_{rt} = A_f f_{yd} = 697 \text{ kN} > N_t$$

Avendo assunto staffe  $7\Phi 18$  in entrambe le direzioni, l'armatura utile per assorbire gli sforzi di trazione è  $A_f = 7 \Phi 18 = 1780 \text{ mm}^2$ .

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):

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

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 53 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

in cui:

$N$  = carico concentrato massimo all'appoggio = 2164 kN (ricavato dalla relazione di calcolo dell'impalcato pari a 2127 kN più l'aliquota dovuta al peso del traverso di testata sul singolo appoggio).

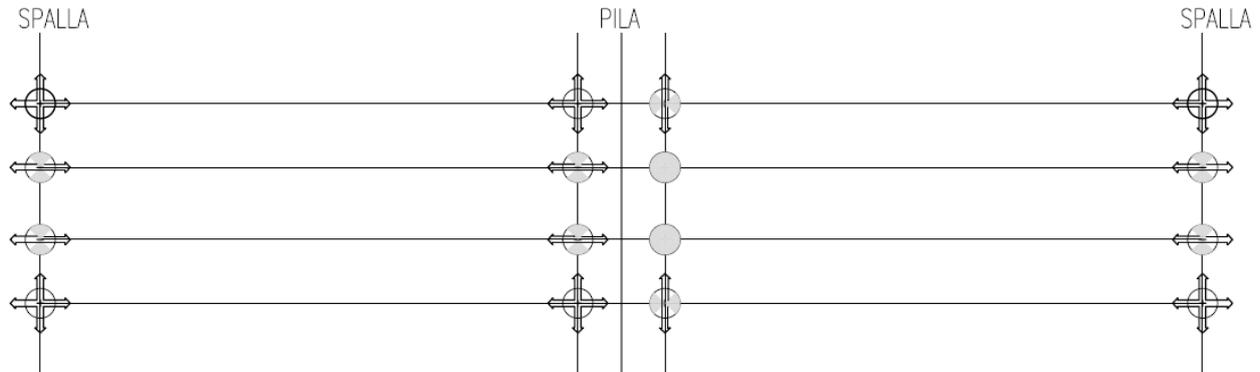
Si ricava pertanto  $T=459$  kN

Tale forza di trazione è assorbita da  $8\Phi 14$  (4 in x ed altrettanti in y) su due livelli che corrispondono ad un'area  $A_f = 2461$  mm<sup>2</sup>.

La forza resistente è quindi  $N_{rt} = A_f f_{yd} = 963$  kN > 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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 54 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 9 SCARICHI SUGLI APPOGGI



Come può leggersi dalla relazione di calcolo relativo all'impalcato il massimo taglio all'appoggio è pari a 2127 kN. Aggiungendovi l'aliquota dovuta al peso del traverso di testata, su ciascun appoggio avremo:  $V=2164$  kN.

Si precisa che le azioni sismiche trasmesse agli appoggi sono calcolate dall'analisi considerando  $q=1$ .

L'azione sismica longitudinale totale è  $F_x=4707$  kN viene assorbita dai due appoggi fissi e dai due appoggi unidirezionali della pila che singolarmente saranno soggetti ad una forza  $F_{ix}=1177$  kN.

In direzione trasversale, sulla pila agisce la forza  $F_{yp}=3485$  kN che, assorbita dagli appoggi fissi e dai due unidirezionali, si traduce su ciascuno di essi in forze  $F_{iyp}=871$  kN.

In direzione trasversale, su ciascuna spalla agiscono invece forze  $F_{ys}=533$  kN che, assorbite dai due appoggi unidirezionali, si traducono in forze  $F_{iys}=267$  kN.

Riassumendo:

PILA			
	N	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>
	kN	kN	kN
APPOGGI UNIDIREZIONALI-A	2164.5	---	871.25
APPOGGI FISSI	2164.5	1176.75	871.25

SPALLE			
	N	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>
	kN	kN	kN
APPOGGI MULTIDIREZIONALI	2164.5	---	---
APPOGGI UNIDIREZIONALI	2164.5	---	266.72

Per il dimensionamento dell'apparecchio d'appoggio si farà riferimento alla tabella di riferimento del manuale Fip, Apparecchi d'appoggio tipo Vasoflon considerando  $N_{max}$  e  $F_{max}$ .

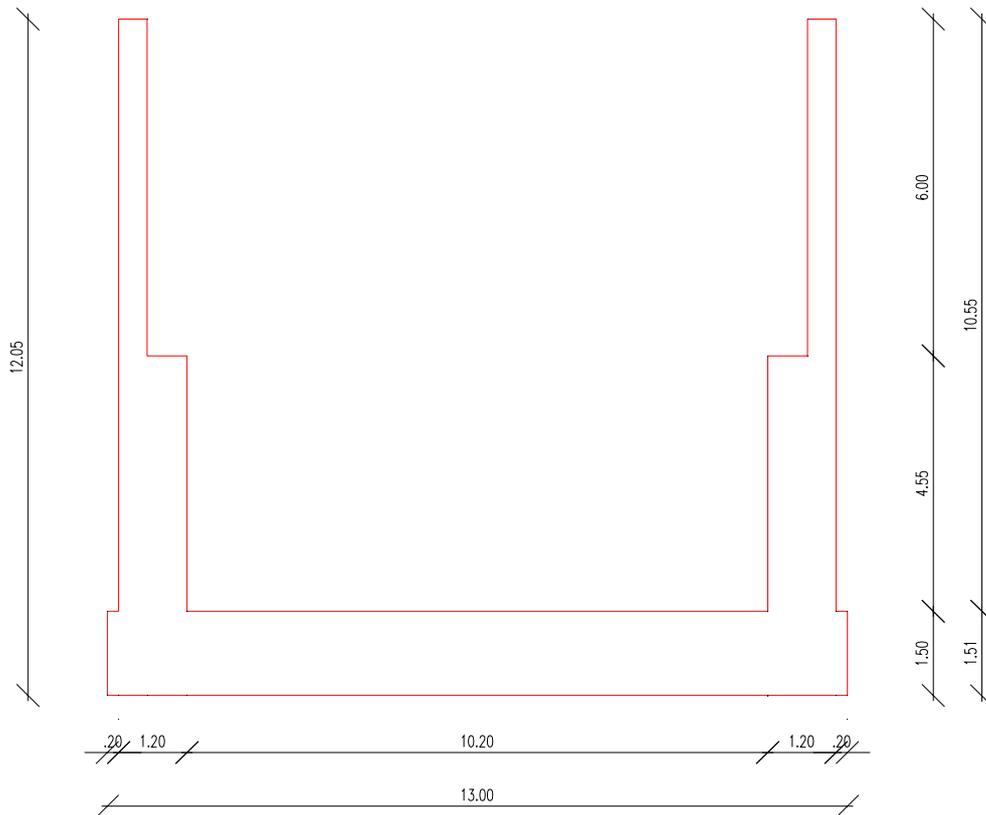
## 10 MURI DI SOSTEGNO

Nel presente paragrafo sono descritti i calcoli di verifica dei muri di sostegno in c.a. da realizzarsi per il sostegno del corpo stradale a tergo delle due spalle.

Per ciascuna spalla sono presenti due muri che sostengono il rilevato dai due lati e pertanto la platea di fondazione dei due muri è unica.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 55 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

I manufatti sono pertanto delle strutture ad U caricate dal terreno posto tra i piedritti. Questi hanno un'altezza massima dall'estradosso della fondazione pari a 9.26 m per la spalla A e pari a 10.55 m per la spalla B. Lo spessore dei piedritti è pari a 1.20 m nella parte inferiore e per un'altezza di 4.55 m dallo spiccatto della fondazione, mentre lo spessore sarà pari a 0.50 m nella parte superiore per una altezza di circa 6.00 m. La larghezza interna del manufatto è pari a 10.20 m, la fondazione presenta spessore pari a 1.50 m e considerando due aggetti laterali di 0.20 m, essa risulterà larga 13.00 m.



## 10.1 MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo è condotto in riferimento al muro della spalla B che, avendo piedritti più alti, sarà soggetto a carichi maggiori.

Il modello strutturale usato tiene conto del terreno compresso tramite il cosiddetto "terreno alla Winkler" avente rigidità di 20000 kN/m<sup>3</sup>. Il calcolo è stato eseguito tramite il software agli elementi finiti SAP 2000-12, nel quale i piedritti e la soletta sono stati modellati come elementi "beam" la cui lunghezza è pari a quella delle linee mediane degli elementi rappresentati. Pertanto nel modello, il telaio avrà le seguenti caratteristiche geometriche indicate anche nella figura successiva:

Lunghezza elementi verticali superiori: 6.00 m

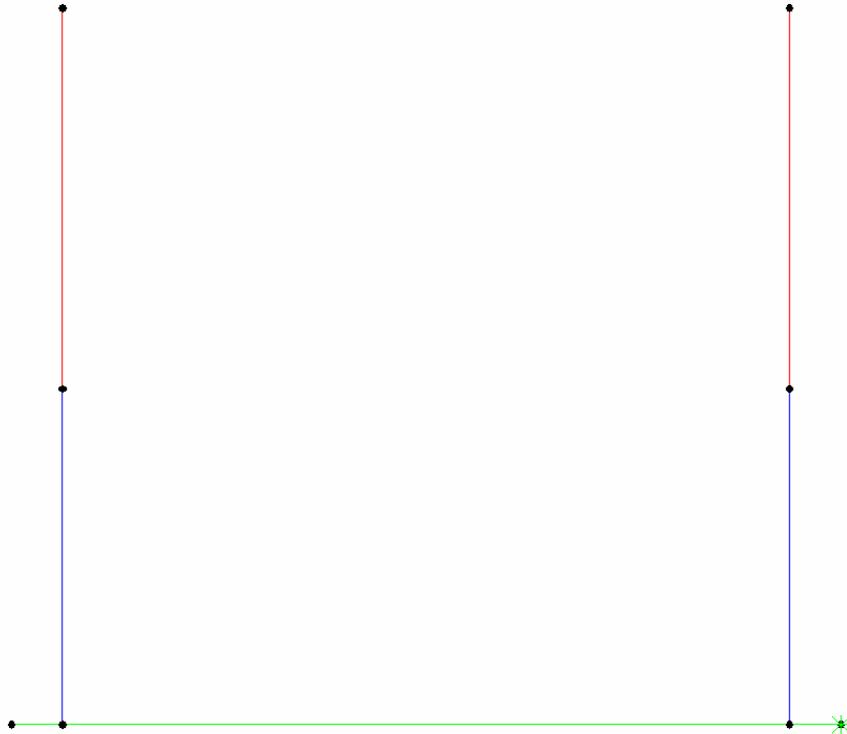
Lunghezza elementi verticali inferiori: 5.30 m

Lunghezza elemento orizzontale tra i piedritti = 11.40 m

Lunghezza elementi orizzontali laterali a sbalzo = 0.80 m

Il calcolo è condotto in riferimento ad un muro avente uno sviluppo unitario.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 56 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc



Il muro in oggetto sarà verificato adottando le opportune combinazioni di carico agli stati limite ultimi per le verifiche strutturali come suggerito dalle NTC08. Ai fini delle verifiche strutturali e di capacità portante della fondazione, verranno calcolati i pesi e le forze inerziali del muro, della fondazione ed ovviamente le spinte statiche e sismiche esercitate dal terreno e dal sovraccarico posto tra i due muri. A beneficio di sicurezza, le componenti verticali delle spinte, dipendenti dall'angolo di attrito terreno-muro verranno ignorate, fermo restando che l'angolo di attrito terra muro darà considerato nella definizione del coefficiente di spinta attiva calcolato con la formula di Coulomb rivista da Muller-Breslau:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \times \sin(\alpha - \delta) \times \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Essendo  $\phi$  è l'angolo d'attrito del terreno,  $\alpha$  rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale ( $\alpha=90^\circ$  per parete verticale),  $\delta$  è l'angolo d'attrito terreno-parete,  $\beta$  è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

Ovviamente in condizioni statiche la spinta sarà:  $S_{st} = 0.5 \cdot \gamma \cdot K_a \cdot H^2$

In condizioni sismiche, con l'introduzione dei coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale ( $k_h$  e  $k_v$ ), funzione della massima accelerazione sismica, si definisce il fattore  $\tan(\theta) = k_h / (1 + k_v)$ , da cui si ricava, il coefficiente di spinta sismica:

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi - \theta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta - \theta) * \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta - \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]}$$

Per cui risulta che la spinta in condizioni sismiche è:

$$S_{sism} = 0.5 (1 + K_v) \gamma K_a s H^2$$

Per la verifica della capacità portante si è fatto riferimento alla formula di Terzaghi:

$$q_{lim} = \gamma * D * N_q + c' * N_c + 0,5 * B' * \gamma * N_\gamma$$

dove:

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno di riporto;

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 57 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

D =1.50 m, approfondimento della fondazione;

B =13.00 m, larghezza totale della fondazione

$N_q - N_c - N_\gamma$  = coefficienti di fondazione calcolati in funzione dell'angolo di attrito del terreno di posa  $\phi$

Tutte le forze calcolate sono riferite a strisce di muro di un metro; i valori riportati nelle tabelle che seguono saranno i valori nominali mentre le forze risultanti per le verifiche sono calcolate considerando i rispettivi coefficienti moltiplicativi. Questi variano a seconda che la condizione di carico sia quella statica o sismica (quest'ultima impone coefficienti pari all'unità ma esclude i sovraccarichi).

## 10.2 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

I muri sono soggetti al peso proprio ed a quello permanente del terreno di riporto oltre alla spinta attiva (statica o sismica) calcolata con le formule precedentemente introdotte. A tergo dei muri si pone un sovraccarico accidentale pari a  $q=20$  kN/mq in grado di simulare il traffico sul rilevato stradale da sostenere.

Sono previste due combinazioni di carico: una statica (SLU) ed una sismica (SLV).

Vista che il manufatto ha la forma di un muro ad U, le verifiche allo scorrimento, ribaltamento e stabilità globale sono state omesse. Per simulare l'azione dell'attrito del terreno che impedisce lo scorrimento della struttura se soggetta ad azioni sbilanciate, è stato posto un vincolo alla traslazione orizzontale, in corrispondenza della mensola destra di fondazione.

Ai sensi delle NTC08 le verifiche strutturali e di portanza sono state condotte secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

Oltre alle verifiche allo stato limite ultimo sono state condotte le verifiche allo stato limite di esercizio in termini tensionali e fessurativi, trami le combinazioni di carico rara, frequente e quasi permanente.

## 10.3 VERIFICHE SLU

Nei paragrafi che seguono sono riportate le tabelle con la geometria del muro, i carichi agenti e le verifiche allo stato limite ultimo effettuate ai sensi delle NTC08.

<b>GEOMETRIA DEL MANUFATTO</b>			
L	1.000	m	lunghezza unitaria
B	13.000	m	larghezza platea (comprensiva delle mensole laterali)
H	12.050	m	altezza manufatto
b	10.200	m	larghezza interna
h	10.550	m	altezza piedritti
h_50	6.000	m	altezza piedritti con spessore 50cm
sf	1.500	m	spessore platea fondazione
a	0.200	m	mensole laterali
smt	0.500	m	spessore muri in testa
smb	1.200	m	spessore muri alla base

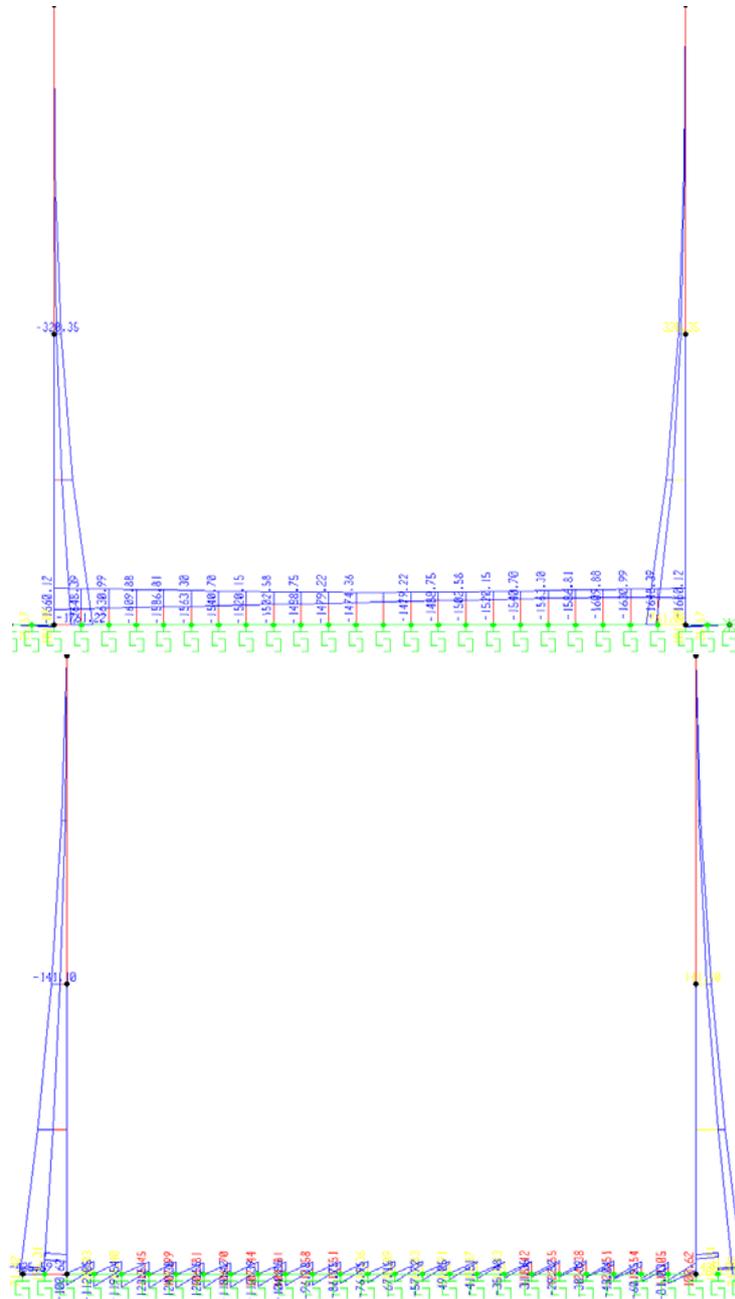
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 58 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

<b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>				
$\gamma$	18.00	kN/m3	peso dell'unità di volume del terreno di riporto	
$\phi$	35.00	°	angolo di attrito del terreno	
$\delta$	23.33	°	angolo di attrito terreno-muro	
Ka	0.24		coefficiente di spinta attiva secondo Muller-Breslau	
$\gamma$	18.50	kN/m3	peso dell'unità di volume del terreno di fondazione	
$\phi$	19.00	°	angolo di attrito del terreno di fondazione	
Kw	20000.00	kN/m3	costante di winkler del terreno di fondazione	

<b>PARAMETRI SISMICI ai sensi del DM 2008</b>				
ag	0.1010	g	accel. di rifer. su sito rigido orizzontale in zona intermedia tra la 3 e la 4	
S	1.50		coefficiente di amplificazione per terreno tipo C	

<b>ANALISI DEI CARICHI ai sensi del DM 2008</b>					<b>COEFF</b>					
<b>peso del manufatto - calcolato in automatico da SAP sulla base di <math>\gamma</math></b>					<b>SLU</b>	<b>SLV</b>	<b>SLE-rara</b>	<b>SLE-freq</b>	<b>SLE-q.per</b>	
$\gamma_c$	25.00	kN/m3	peso dell'unità di volume del c.a.		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
<b>carichi sulla soletta</b>										
pt	189.90	kN/m	carico dovuto al peso permanente del terreno		1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	
ps	20.00	kN/m	carico dovuto al sovraccarico		1.50	0.00	1.00	0.40	0.00	
<b>carichi sui piedritti</b>										
q <sub>pc</sub>	0.00	kN/m	pressione del terreno a quota piano campagna		1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	
q <sub>spess</sub>	26.40	kN/m	pressione terreno al cambio spessori		1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	
q <sub>base</sub>	46.41	kN/m	pressione del terreno alla base		1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	
q <sub>s.pc</sub>	4.89	kN/m	pressione del sovracc. (20kN/m2) a quota piano campagna		1.50	0.00	1.00	0.40	0.00	
q <sub>s.base</sub>	4.89	kN/m	pressione del sovracc. (20kN/m2) alla base		1.50	0.00	1.00	0.40	0.00	
beta	0.24		per suolo C - da 7.11.6.2.1							
kh	0.04		coefficiente sismico orizzontale							
k <sub>v</sub>	0.02		coefficiente sismico verticale							
$\theta$	2.045	°	= arc. tang (Kh/(1+Kv) )							
K <sub>as</sub>	0.26		coefficiente di spinta in condizioni sismiche (MONONOBE-OKABE)							
q <sub>s.pc</sub>	0.00	kN/m	pressione del terreno in condizioni sismiche a quota piano campagna							
q <sub>s.spess</sub>	29.13	kN/m	pressione del terreno in condizioni sismiche al cambio spessori							
q <sub>s.base</sub>	51.21	kN/m	pressione del terreno in condizioni sismiche alla base							
$\Delta q_{s.pc}$	0.00	kN/m	incremento di pressione dovuto al sisma a quota piano campagna		0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
$\Delta q_{s.spess}$	2.73	kN/m	incremento di pressione dovuto al sisma al cambio spessori		0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
$\Delta q_{s.sbase}$	4.80	kN/m	incremento di pressione dovuto al sisma alla base		0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
<b>l'azione sismica implica anche le forze inerziali sui piedritti, dovute al peso degli stessi ed al peso del terreno sulle eventuali mensole laterali</b>										
f <sub>sisma_sup</sub>	1.89	kN/m	pressioni dovute all'azione inerziale (muro superiore)		0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
f <sub>sisma_inf</sub>	4.55	kN/m	pressioni dovute all'azione inerziale (muro inferiore)		0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	

Nelle seguenti figure sono riportati gli involuipi del momento flettente e del taglio calcolati con SAP2000.



Le verifiche strutturali a presso/tenso-flessione sono state condotte utilizzando il software freeware VCASLU del prof. Gelfi.

Le verifiche a taglio sono state condotte ai sensi dei paragrafi 4.1.2.1.3.1 e 4.1.2.1.3.2 delle NTC08 mediante comuni fogli di calcolo.

Nella tabella che segue sono proprio riportate sinteticamente le azioni di calcolo e quelle resistenti per la soletta ed i piedritti, ottenute considerando la geometria delle sezioni e l'armatura utilizzata.

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 60 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

VERIFICHE STRUTTURALI ai sensi del DM 2008							
<b>soletta (estremità)</b>							
base	100.000	cm					
altezza	150.000	cm					
Af_sup	38.308	cm2/m					
			Armatura sup. tesa=	5	24	20	copriferro: 4cm
			Armatura sup. aggiuntiva tesa=	5	20	20	copriferro: 4cm
			Armatura inf. compressa=	5	20	20	copriferro: 4cm
N_d	-425.000	kN	sforzo normale di trazione di calcolo da SAP		Armatura taglio=		1cavallottoΦ12/mq
M_d	-1660.000	kNm	momento di calcolo da SAP		T_d	124.000	kN
M_r	-1840.000	kNm	momento resistente da GELFI		T_rw	174.37	kN
Coeff	1.108	>1: OK			Coeff	1.406	>1: OK
<b>pedritti (sezione di spessore s=50 cm)</b>							
base	100.000	cm					
altezza	50.000	cm					
Af_int	22.608	cm2/m					
Af_ext	15.700	cm2/m					
			Armatura int. tesa=	5	24	20	copriferro: 4cm
			Armatura ext. compressa=	5	20	20	copriferro: 4cm
N_d	75.000	kN	sforzo normale di calcolo da SAP (a beneficio di sicurezza tale valore non è amplificato)		T_d	141.00	kN
M_d	320.000	kNm	momento di calcolo da SAP		T_r	222.33	kN
M_r	398.000	kNm	momento resistente da GELFI		Coeff	1.577	>1: OK
Coeff	1.244	>1: OK					
<b>pedritti (sezione di spessore s=120 cm)</b>							
base	100.000	cm					
altezza	120.000	cm					
Af_int	38.308	cm2/m					
Af_ext	15.700	cm2/m					
			Armatura int. tesa=	5	24	20	copriferro: 4cm
			Armatura int. aggiuntiva tesa=	5	20	20	copriferro: 4cm
			Armatura ext. compressa=	5	20	20	copriferro: 4cm
N_d	234.000	kN	sforzo normale di calcolo da SAP (a beneficio di sicurezza tale valore non è amplificato)		T_d	426.00	kN
M_d	1761.000	kNm	momento di calcolo da SAP		T_r	432.73	kN
M_r	1810.000	kNm	momento resistente da GELFI		Coeff	1.016	>1: OK
Coeff	1.028	>1: OK					

Verifica C.A. S.L.U. - File: muroU

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

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

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	150	1	15.71	4
			2	38.33	146

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -425 -283.3 kN  
M<sub>xEd</sub> 1660 1.107 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura Lato acciaio - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C30/37

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> 17 N/mm²  
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> 11.5 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6933  
τ<sub>c1</sub> 2.029

M<sub>xRd</sub> 1.840 kN m  
σ<sub>c</sub> -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 2.86 ‰  
ε<sub>s</sub> 67.5 ‰  
d 146 cm  
x 5.936 w/d 0.04065  
δ 0.7

Verifica C.A. S.L.U. - File: muroU

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

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

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	4
			2	22.62	46

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

Solecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 75 -25 kN  
 M<sub>xEd</sub> 320 -310 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 398.2 kN m

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  
 $\tau_{c1}$  1.829

$\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  25.2 ‰  
 d 46 cm  
 x 5.611 x/d 0.122  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: muroU

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

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

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	15.71	4
			2	38.33	116

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

Solecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 234 -25 kN  
 M<sub>xEd</sub> 1761 -310 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipologia rottura:  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 1.810 kN m

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  
 $\tau_{c1}$  1.829

$\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  38.23 ‰  
 d 116 cm  
 x 9.73 x/d 0.08388  
 $\delta$  0.7

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

Per la verifica a taglio, la soletta di fondazione essendo tesa presenterà una armatura specifica costituita da un cavallotto  $\Phi 12/mq$  che equivale ad una armatura trasversale a due braccia posta con passo  $p=1000$  mm. Per i piedritti la verifica è stata invece condotta senza ricorrere alla specifica armatura a taglio.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 62 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

d	1460.00	mm	altezza utile della sezione
bw	1000.00	mm	larghezza della sezione
cotg $\theta$	1.5		
alfa	90	°	
cotg $\alpha$	0.00		
sen $\alpha$	1.00		
f <sub>yd</sub>	391.30	N/mm <sup>2</sup>	per B 450 C
s	1000.00	mm	interasse staffe
n	2		numero bracci
$\phi$	12.00	mm	diametro staffe
A <sub>sw</sub>	226.0800	mm <sup>2</sup>	area staffa
f <sub>cd</sub> '	9.41	N/mm <sup>2</sup>	
Tr <sub>w</sub>	174.367	kN	taglio resistente per elementi tesi con armatura a taglio
d	460.00	mm	altezza utile della sezione
bw	1000.00	mm	larghezza della sezione
A <sub>sl</sub>	2260.80	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale tesa
f <sub>ck</sub>	24.90	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cilindrica del c.a.
0,2*f <sub>cd</sub>	2.82	N/mm <sup>2</sup>	percentuale della resistenza di calcolo del c.a.
k	1.66		1+(200/d) <sup>0.5</sup> <2 - parametro adimensionale
v.min	0.3733		0.035*f <sub>ck</sub> *k <sup>(3/2)</sup> - parametro adimensionale
$\rho_1$	0.004915		<0.02 - rapporto geometrico di armatura longitudinale
$\sigma_c$	0.16	N/mm <sup>2</sup>	<0,2*f <sub>cd</sub> - tensione media di compressione
Tr	222.33	kN	taglio resistente per elementi senza armatura a taglio
d	1160.00	mm	altezza utile della sezione
bw	1000.00	mm	larghezza della sezione
A <sub>sl</sub>	3830.80	mm <sup>2</sup>	area armatura longitudinale tesa
f <sub>ck</sub>	24.90	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cilindrica del c.a.
0,2*f <sub>cd</sub>	2.82	N/mm <sup>2</sup>	percentuale della resistenza di calcolo del c.a.
k	1.42		1+(200/d) <sup>0.5</sup> <2 - parametro adimensionale
v.min	0.2940		0.035*f <sub>ck</sub> *k <sup>(3/2)</sup> - parametro adimensionale
$\rho_1$	0.003302		<0.02 - rapporto geometrico di armatura longitudinale
$\sigma_c$	0.20	N/mm <sup>2</sup>	<0,2*f <sub>cd</sub> - tensione media di compressione
Tr	432.73	kN	taglio resistente per elementi senza armatura a taglio

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 63 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc

## 10.4 VERIFICHE SLE

Da SAP si sono ricavate le sollecitazioni per le tre combinazioni SLE.  
Le verifiche sono state condotte col metodo indiretto previsto nelle istruzioni alle NTC08.

VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE FONDAZIONE							
N	-272.00	kN	sforzo normale (trazione)				
M_rara	1292.00	kNm	momento alla testa del palo - rara				
M_freq	1129.00	kNm	momento alla testa del palo - frequente				
M_qperm	1026.00	kNm	momento alla testa del palo - q.permanente				
σc_rara	4.76	Mpa		MAX			
				19.92	Mpa	OK	verifica tensionale
σc_qperm	3.72	Mpa		14.94	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_rara	280.00	Mpa		360.00	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_freq	249.00	Mpa		320.00	Mpa	OK	verifica fessurazione
σs_qperm	229.00	Mpa		240.00	Mpa	OK	verifica fessurazione

VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE PIEDRITTI (s=50 cm)							
N	75.00	kN	sforzo normale (compressione)				
M_rara	246.00	kNm	momento alla testa del palo - rara				
M_freq	194.00	kNm	momento alla testa del palo - frequente				
M_qperm	158.00	kNm	momento alla testa del palo - q.permanente				
σc_rara	7.24	Mpa		MAX			
				14.94	Mpa	OK	verifica tensionale
σc_qperm	4.69	Mpa		11.21	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_rara	246.00	Mpa		360.00	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_freq	191.00	Mpa		200.00	Mpa	OK	verifica fessurazione
σs_qperm	158.00	Mpa		160.00	Mpa	OK	verifica fessurazione

VERIFICHE SLE - TENSIONALE E FESSURAZIONE PIEDRITTI (s=120 cm)							
N	234.00	kN	sforzo normale minimo sle				
M_rara	1355.00	kNm	momento alla testa del palo - rara				
M_freq	1167.00	kNm	momento alla testa del palo - frequente				
M_qperm	1043.00	kNm	momento alla testa del palo - q.permanente				
σc_rara	7.75	Mpa		MAX			
				14.94	Mpa	OK	verifica tensionale
σc_qperm	6.01	Mpa		11.21	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_rara	304.00	Mpa		360.00	Mpa	OK	verifica tensionale
σs_freq	258.00	Mpa		320.00	Mpa	OK	verifica fessurazione
σs_qperm	228.00	Mpa		240.00	Mpa	OK	verifica fessurazione

## 10.5 VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE

Da SAP si è ricavato che il massimo abbassamento della fondazione è pari a 17.90 mm. Considerando la costante di sottofondo Kw=20000 kN/mc, il suddetto abbassamento equivale ad una pressione massima sul terreno pari a s=0.36 Mpa che risulta minore del carico ammissibile del terreno.

Il carico ammissibile è stato ricavato calcolando dapprima il carico limite e dividendo successivamente quest'ultimo per un coefficiente di sicurezza pari a 2.3.

Il carico limite è stato calcolato impiegando la formula di Terzaghi per fondazioni superficiali continue:

$$q_{lim} = c N_c + D \gamma_t N_q + 0,5 B \gamma_t N_\gamma$$

dove:

**c** = coesione del terreno

**γ<sub>t</sub>** = peso specifico del terreno

**D** = altezza della trave di fondazione

**B** = larghezza della trave di fondazione

**N<sub>c</sub> - N<sub>q</sub> - N<sub>γ</sub>** = funzioni esponenziali dell'angolo di attrito interno

dividendo per un coefficiente di sicurezza pari a γ<sub>r</sub>=2.3, si ricava la capacità portante in funzione di D e B.

Nel nostro caso, in funzione dei seguenti parametri geotecnici del terreno e della geometria delle fondazioni, si ha:

<b>c</b> =	0 Kg/mq	<b>N<sub>c</sub></b> =	46.12
<b>φ</b> =	35 °	<b>N<sub>q</sub></b> =	33.30
<b>γ</b> =	1850 Kg/mc	<b>N<sub>γ</sub></b> =	48.03

<b>D</b> (m)	<b>B</b> (m)	<b>q<sub>lim</sub></b> (mpa)
1.50	13.00	2.91

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>CAVALCAVIA CV11</b>
	Relazione di Calcolo Spalle e Pila
	Pagina 64 di 65
	Nome file: CV11-BCL029_A_relazione calcolo spalle e pila.doc