

ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

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

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

Viadotto Busita II

Relazione di calcolo Spalle - Carreggiata SX

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 5 0 V I 2 0 7 V I 0 7 B C L 0 0 7 A -

Scala:

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A	Aprile 2011	EMISSIONE				T. FASOLO	F. NIGRELLI	M. LITI	P. PAGLINI										
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO										
Responsabile del procedimento:		Ing. MASSIMILIANO FIDENZI																	

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

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

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 1 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

INDICE

1	GENERALITÀ	3
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>	4
1.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
2	ANALISI DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA A	6
2.1	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO	7
2.2	AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA	8
2.3	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI.....	10
2.4	COMBINAZIONI DI CARICO	10
2.5	SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA	11
3	ANALISI DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA B	14
3.1	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO	15
3.2	AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA	16
3.3	RIEPILOGO SOLLECITAZIONI RISPETTO A BARICENTRO PALI.....	18
3.4	COMBINAZIONI DI CARICO	18
3.5	SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA	19
4	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLA A	22
4.1	VERIFICHE STRUTTURALI.....	22
4.1.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	22
4.1.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	23
4.1.3	<i>S.L.E. – Fessurazione</i>	25
4.1.4	<i>S.L.E. – Limitazione delle tensioni</i>	26
4.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI	26
4.2.1	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite verticale</i>	27
4.2.2	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale</i>	29
5	VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLA B	30
5.1	VERIFICHE STRUTTURALI.....	30
5.1.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	30
5.1.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	31
5.1.3	<i>S.L.E. – Fessurazione</i>	33
5.1.4	<i>S.L.E. – Limitazione delle tensioni</i>	34
5.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI	34
5.2.1	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite verticale</i>	35
5.2.2	<i>S.L.U. – Verifica a carico limite orizzontale</i>	37
6	ANALISI STRUTTURALE DELLA SPALLA A	38
6.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	38
6.2	ANALISI DEI CARICHI.....	39
6.3	COMBINAZIONI DI CARICO	39
6.4	SOLLECITAZIONI	40
6.5	ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI	47
6.6	VERIFICA DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LA SPALLA.....	47
6.6.1	<i>S.L.U. – Resistenza: presso-flessione</i>	47
6.6.2	<i>S.L.U. – Resistenza: taglio</i>	47
6.6.3	<i>S.L.E. – Fessurazione</i>	49

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 2 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

7	ANALISI STRUTTURALE DELLA SPALLA B	51
8	BAGGIOLI.....	52
9	DISPOSITIVI ANTISISMICI	54

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 3 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

1 GENERALITÀ

1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di sicurezza delle spalle della carreggiata sinistra del viadotto Busita II, previsto nell'ambito del progetto esecutivo "CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA - ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 - S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" - AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 - dal km 44+000 allo svincolo con l'A19".

1.2 CARATTERISTICHE 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:

- pali: XC2;
- zattere spalle: XA1;
- elevazione spalle: XF2;
- baggioli: XF4.

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

PALI C25/30

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

Classe di consistenza S3-S4.

Rapporto A/C = 0,6

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 4 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

ZATTERE SPALLE, ELEVAZIONE SPALLE C28/35

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

Classe di consistenza S3-S4.

Rapporto A/C = 0,6

BAGGIOLI C35/45

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

Classe di consistenza S4.

Rapporto A/C = 0,6

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

B450C

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

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 5 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

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:

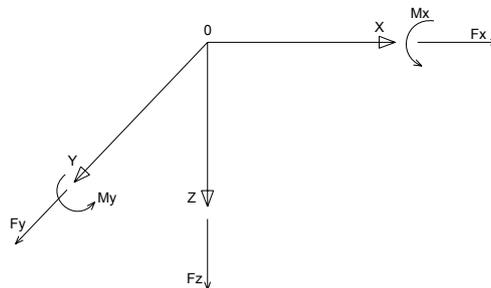
- D.M. 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC")
- Circolare n.617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale
- UNI EN 1991-1-4: Azioni sulle strutture – Azione del vento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

2 ANALISI DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA A

Si riporta nel presente capitolo il calcolo delle sollecitazioni nei pali di fondazione della spalla A della carreggiata sinistra.

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.

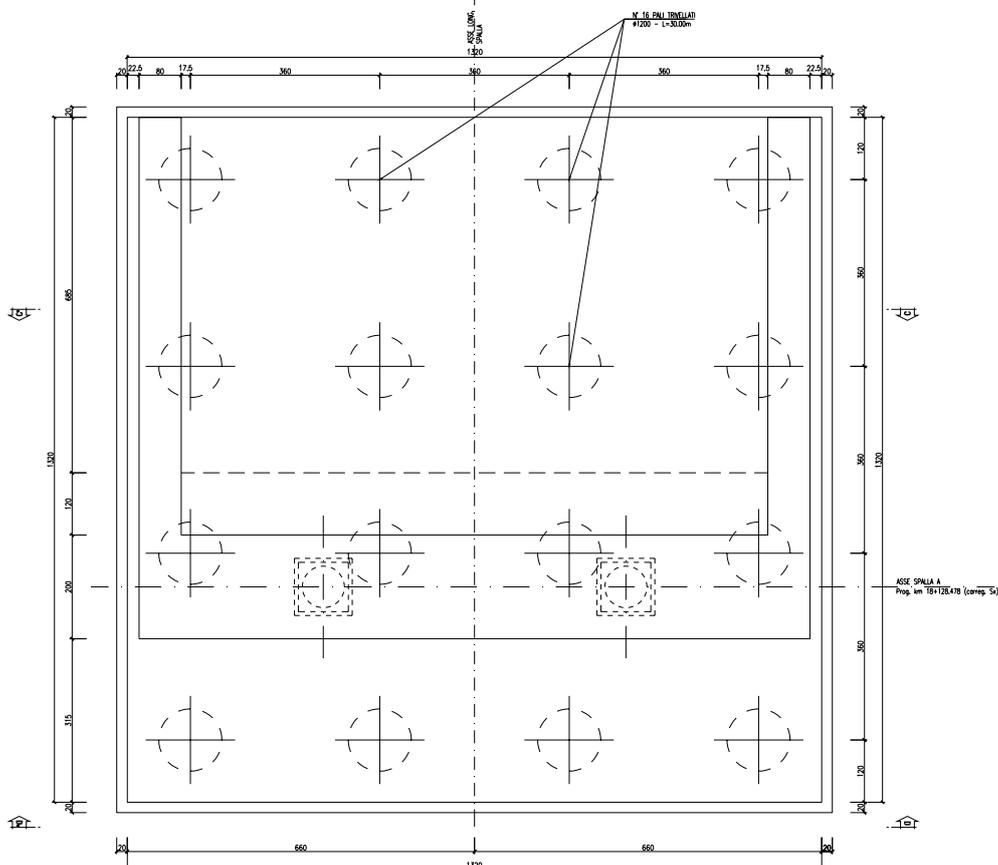
Le azioni orizzontali (F_x ed F_y) e verticali (F_z) si assumono positive se di verso concorde con quello degli assi. Si indicheranno inoltre con M_x i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse x (momenti trasversali) e con M_y (momenti longitudinali) i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse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

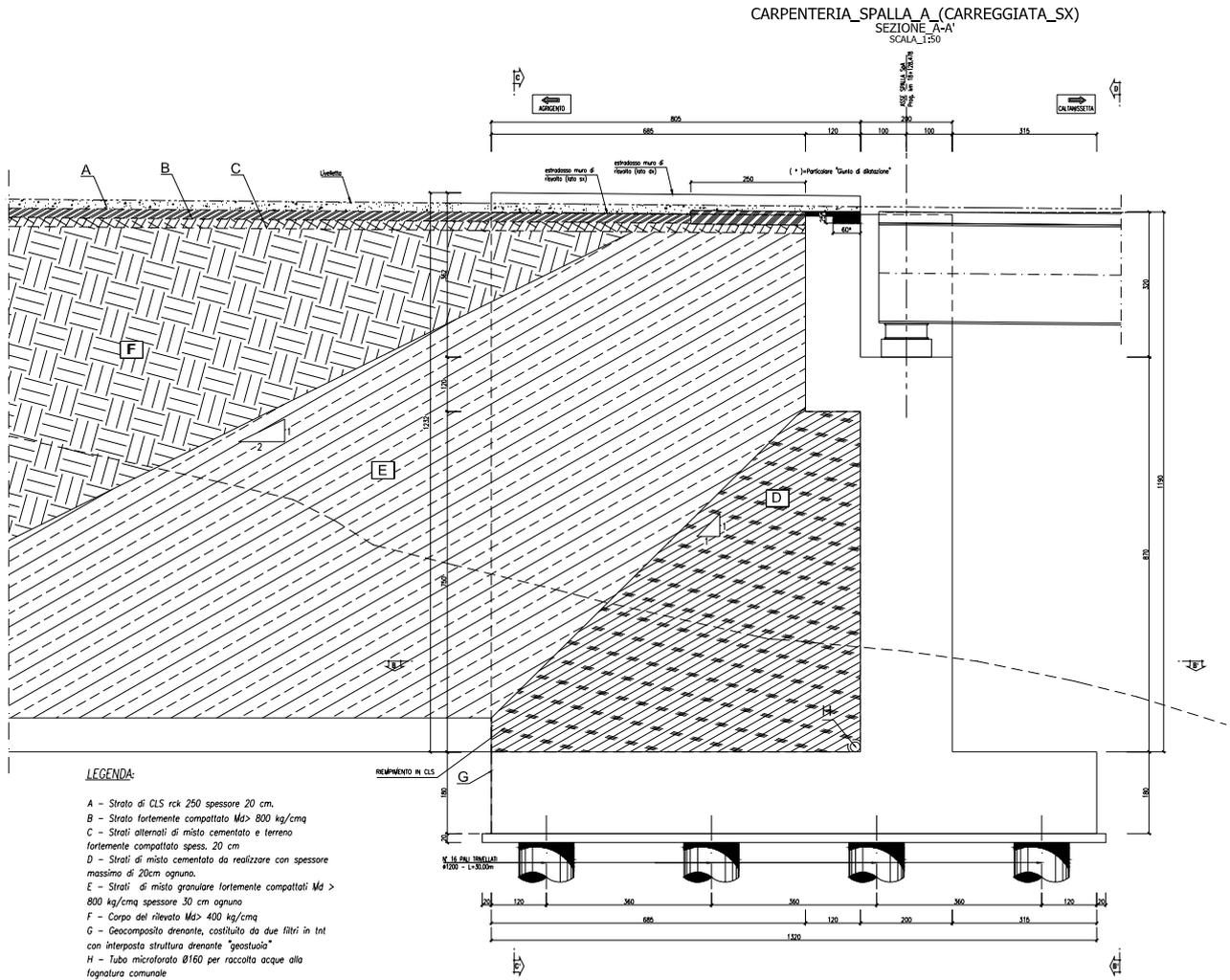


CARPENTERIA_SPALLA_A (CARREGGIATA_SX)

SEZIONE B-B'

SCALA 1:50





Geometrie Spalla

	n.	Bx	By	Bz,min	Bz,max	V	X	Y	Z
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m]	[m]	[m]
plinto di fondazione	1	13.20	13.20	1.80	-	313.6	6.60	0.00	-0.90
muro frontale	1	2.00	12.75	8.70	-	221.9	9.05	0.00	-6.15
muro paraghiaia	1	1.20	12.75	3.20	-	49.0	7.45	0.00	-12.10
muro laterale sx	1	8.05	0.80	12.30	-	79.2	4.03	5.98	-7.95
muro laterale dx	1	8.05	0.80	12.30	-	79.2	4.03	-5.98	-7.95
bandiera sx	0	3.00	1.50	2.00	3	0.00	-1.40	5.63	-12.83
bandiera dx	0	1.00	1.00	1.00	1	0.00	-0.50	-5.88	-13.60
baggioli	2	1.10	1.10	0.15	-	0.36	9.05	0.00	-10.58
apparecchi di appoggio	2	0.90	0.90	0.35	-	0.57	9.05	0.00	-10.83
elemento 1	0	5.40	0.60	4.40	-	0.00	4.55	4.75	-7.90
elemento 2	0	5.40	0.60	4.40	-	0.00	4.55	-4.75	-7.90

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.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 8 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO (RIFERITE AL BARICENTRO APPOGGI)

Coordinate baricentro appoggi

x	=	9.05 m	coordinata x
y	=	0.00 m	coordinata y
z	=	-10.83 m	coordinata z

	Fx	Fy	Fz	Mx	My	
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	
g1	1	2	1549	17	1	peso proprio impalcato
g2	48	0	-195	7	48	permanenti portati
e2	45	1	195	6	45	ritiro
e3.6	167	1	216	7	167	temperatura - massima azione verticale
e3.8	479	5	-194	1	479	temperatura - massima azione trasversale
q1.1	2	1	1939	109	1	carico mobile - configurazione 1 (massima azione verticale)
q1.2	2	3	1373	4844	26	carico mobile - configurazione 2 (massimo momento trasversale)
q3	203	3	0	3	203	frenatura
q4	0	0	0	0	0	azione centrifuga
q5	65	154	1	230	64	azione del vento trasversale
q6.1x	1010	92	-19	94	1010	sisma longitudinale
q6.1y	307	288	-23	294	307	sisma trasversale
q6.1z	303	87	-63	89	303	sisma verticale
q7	14	0	0	0	0	azione parassita dei vincoli

2.2 AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA

Si riportano ora per singoli casi di carico le azioni trasmesse dalla spalla, inserite nel modello SAP rispettivamente come: peso proprio (g₁), carichi di superficie (g₂, g₃, q_{1.t}, q_{6.1}, q_{6.2-ter}) e accelerazioni (q_{6.2-sp}).

AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA

Peso proprio spalla (g1)

γ _{cls}	=	25 kN/m³	peso specifico calcestruzzo
g1.1	=	7840.8 kN	plinto di fondazione
g1.2	=	5546.3 kN	muro frontale
g1.3	=	1224.0 kN	muro paraghiaia
g1.4	=	1980.3 kN	muro laterale sx
g1.5	=	1980.3 kN	muro laterale dx
g1.6	=	0.0 kN	bandiera sx
g1.7	=	0.0 kN	bandiera dx
g1.8	=	9.1 kN	baggioli
g1.9	=	10.3 kN	apparecchi di appoggio
g1.10	=	0.0 kN	elemento 1
g1.11	=	0.0 kN	elemento 2
Fz	=	18591.0 kN	azione verticale
x	=	6.84 m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00 m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-4.72 m	coordinata z punto di applicazione

Peso terreno su fondazione (g2)

γ _t	=	18 kN/m³	peso dell'unità di volume del terreno
V	=	1148.6 m ³	volume di terreno sopra fondazione
Fz	=	20674.3 kN	peso del terreno
x	=	4.03 m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00 m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-7.95 m	coordinata z punto di applicazione

Spinta del terreno (g3)

		intradosso	base muro		
		plinto	frontale		
γ	=	18	18	kN/m ³	peso dell'unità di volume del terreno
φ	=	35	35	°	angolo di attrito del terreno
Ka	=	0.271	0.271		coefficiente di spinta attiva
K0	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta a riposo
K	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta adottato
H	=	13.70	11.9	m	altezza di spinta terreno (rispetto a intradosso plinto)
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
Fx	=	9184.1	6929.3	kN	spinta del terreno
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-4.57	-5.77	m	coordinata z punto di applicazione

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 9 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

Effetti del sovraccarico stradale sul rilevato (q1.t)

		intradosso base muro			
		plinto	frontale		
Incremento di spinta					
q	=	20.00	20.00	kPa	sovraccarico stradale
ϕ	=	35	35	°	angolo di attrito del terreno
K	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta
H	=	13.70	11.90	m	altezza di spinta terreno
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
Fx	=	1489.7	1294.0	kN	spinta del terreno per effetto del sovraccarico
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-6.85	-7.75	m	coordinata z punto di applicazione
Incremento di azione verticale					
Bx	=	8.05	-	m	lunghezza del plinto interessata dal sovraccarico
Fz	=	2052.8	-	kN	risultante verticale sovraccarico
x	=	4.03	-	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	-	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-1.80	-	m	coordinata z punto di applicazione

Azioni sismiche (q6)

parametri sismici					
a_g	=	0.091	g		accelerazione di picco
S_s	=	1.50			coefficiente di amplificazione stratigrafica
S_T	=	1.00			coefficiente di amplificazione topografica
S	=	1.50			
β_m	=	1.00			coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima
a_{max}	=	0.137	g		accelerazione massima
K_h	=	0.137			coefficiente sismico orizzontale
K_v	=	0.068			coefficiente sismico verticale

Incremento di spinta terreno in fase sismica (q6.1)

Ipotesi di struttura rigida

		intradosso base muro			
		plinto	frontale		
γ	=	18	18	kN/m ³	peso dell'unità di volume del terreno
H	=	13.70	11.90	m	altezza di spinta terreno
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
ΔP	=	5879.7	4436.2		incremento di spinta in fase sismica (ipotesi di struttura rigida)
Ipotesi di struttura flessibile					
ϕ	=	35	35	°	angolo di attrito
ψ	=	90	90	°	angolo di inclinazione rispetto all'orizz della parete del muro rivolta a monte
β	=	0	0	°	angolo di inclinazione rispetto all'orizz della superficie del terrapieno
δ	=	0	0	°	angolo di resistenza a taglio tra terreno-muro
θ	=	7.29	7.29	°	angolo definito per livello di falda al di sotto dell'opera di sostegno
K1	=	0.621	0.621		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) per $\beta < \phi - \theta$
K2	=	0.797	0.797		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) per $\beta > \phi - \theta$
K	=	0.621	0.621		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) effettivo
Ed	=	14297	10787	kN	spinta terreno in fase sismica (Mononobe-Okabe)
ΔS	=	5112.6	3857.4	kN	incremento di spinta in fase sismica (ipotesi struttura flessibile)
Valore adottato					
ΔP	=	5879.7	4436.2	kN	incremento di spinta terreno in fase sismica
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0.00	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-6.85	-7.75	m	coordinata z punto di applicazione

Forze d'inerzia (q6.2)

	forza d'inerzia	coord x p.to di applicaz	coord y p.to di applicaz	coord z p.to di applicaz
	Fi	x	y	z
plinto	1070	6.60	0.00	-0.90
muro frontale	757	9.05	0.00	-6.15
paraghiaia	167	7.45	0.00	-12.10
muro laterale sx	270	4.03	5.98	-7.95
muro laterale dx	270	4.03	-5.98	-7.95
bandiera sx	0	-1.40	5.63	-12.83
bandiera dx	0	-0.50	-5.88	-13.60
baggioli	1	9.05	0.00	-10.58
apparecchi di appoggio	1	9.05	0.00	-10.83
elemento 1	0	4.55	4.75	-7.90
elemento 2	0	4.55	-4.75	-7.90
terreno su plinto	2822	4.03	0.00	-7.95
risultante intradosso plinto	5360	5.36	0.00	-6.42
risultante base muro frontale	1466	7.01	0.00	-7.50

	S.L.U.								q5							
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
e3.6-imp	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0
e3.8-imp	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	1.50	1.50	-1.50	-1.50	1.50	1.50	-1.50	-1.50
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

	S.L.U.								q6.x		S.L.V.		q6.z	
	e3										q6.y			
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1	1	1	1	1	1
e3.6-imp	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00
e3.8-imp	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0	0	0	0	0	0
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

	S.L.car								S.L.E.								S.L.freq		S.L.qp		
g1-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g1-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g2-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g3-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e3.6-imp	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60
e3.8-imp	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00
q1.1-imp	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q1.2-imp	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0
q1t-sp	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	0	0	0
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7-imp	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

2.5 SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA

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

SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

	SLU								q3							
Fx	14722	14947	14606	14830	14722	14947	14606	14830	14523	14748	14406	14631	14523	14747	14406	14631
Fy	144	147	-133	-130	147	150	-130	-127	148	150	-130	-127	150	153	-127	-125
Fz	60615	60320	60614	60318	59850	59555	59849	59554	59268	58972	59267	58971	58694	58399	58693	58397
Mx	1961	1986	-1456	-1431	8384	8410	4967	4993	1965	1991	-1452	-1426	6783	6808	3366	3391
My	-12382	-13865	-11232	-12715	-10472	-11955	-9322	-10805	-12098	-13581	-10948	-12431	-10665	-12148	-9515	-10998

	SLU								q5							
Fx	14219	14444	14102	14327	14219	14443	14102	14327	14258	14482	14063	14288	14258	14482	14063	14288
Fy	144	147	-133	-131	146	149	-131	-128	236	239	-226	-223	239	241	-224	-221
Fz	59268	58972	59267	58971	58694	58399	58693	58397	59268	58973	59266	58971	58695	58399	58692	58397
Mx	1921	1946	-1496	-1471	6738	6764	3321	3347	3060	3085	-2635	-2610	7877	7903	2183	2208
My	-9111	-10594	-7961	-9444	-7679	-9162	-6529	-8012	-9494	-10978	-7578	-9061	-8062	-9545	-6145	-7628

	S.L.U.								q6.x		S.L.V.		q6.z	
	e3										q6.y			
Fx	14299	14673	14182	14557	14299	14673	14182	14557	21616	21774	9676	9832	9672	9828
Fy	144	149	-133	-128	147	151	-131	-126	96	98	5651	5653	90	92
Fz	59371	58879	59370	588										

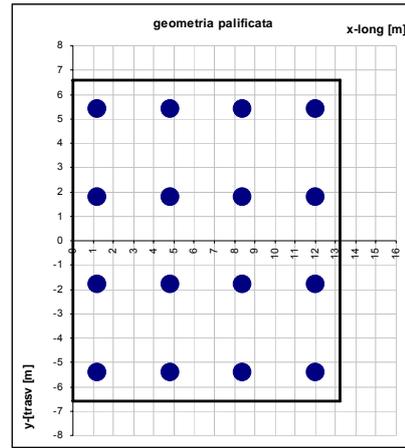
	S.L.car								S.L.E.		S.L.freq						S.L.qp	
Fx	10543	10731	10466	10653	10541	10728	10463	10650	10518	10705	10492	10679	10515	10702	10489	10676	9369	9525
Fy	97	99	-88	96	94	96	-91	-89	35	37	-24	-24	32	34	-30	-27	3	5
Fz	43938	43692	43937	43691	41454	41208	41453	41207	43938	43692	43938	43691	41454	41207	41453	41207	40922	40717
Mx	1299	1320	-879	-958	-2448	-2427	-4726	-4705	540	561	-219	-198	-3207	-3186	-3966	-3945	69	87
My	-6943	-8179	-6176	-7412	-846	-2082	-79	-1315	-6687	-7923	-6432	-7668	-590	-1826	-335	-1571	925	-105

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

CALCOLO AZIONI SUI PALI

Geometria della palificata

PALO	X	Y	Xp	Yp	trasm Jxi	long Jyi
1	1.20	5.40	-5.40	5.40	29.16	29.16
2	1.20	1.80	-5.40	1.80	3.24	29.16
3	1.20	-1.80	-5.40	-1.80	3.24	29.16
4	1.20	-5.40	-5.40	-5.40	29.16	29.16
5	4.80	5.40	-1.80	5.40	29.16	3.24
6	4.80	1.80	-1.80	1.80	3.24	3.24
7	4.80	-1.80	-1.80	-1.80	3.24	3.24
8	4.80	-5.40	-1.80	-5.40	29.16	3.24
9	8.40	5.40	1.80	5.40	29.16	3.24
10	8.40	1.80	1.80	1.80	3.24	3.24
11	8.40	-1.80	1.80	-1.80	3.24	3.24
12	8.40	-5.40	1.80	-5.40	29.16	3.24
13	12.00	5.40	5.40	5.40	29.16	29.16
14	12.00	1.80	5.40	1.80	3.24	29.16
15	12.00	-1.80	5.40	-1.80	3.24	29.16
16	12.00	-5.40	5.40	-5.40	29.16	29.16



SFORZO NORMALE PALO	q1								q3							
	1	3571	3523	3524	3475	3697	3648	3650	3601	3493	3444	3446	3397	3587	3539	3540
2	3544	3495	3544	3495	3581	3532	3581	3532	3466	3417	3466	3417	3493	3444	3493	3444
3	3517	3467	3564	3515	3464	3415	3512	3462	3439	3389	3486	3437	3399	3350	3447	3397
4	3490	3440	3585	3535	3348	3298	3443	3393	3411	3361	3506	3456	3305	3255	3400	3350
5	3743	3715	3680	3652	3943	3814	3779	3751	3661	3633	3598	3570	3736	3707	3672	3644
6	3716	3687	3700	3672	3726	3698	3710	3682	3634	3605	3618	3589	3641	3613	3626	3597
7	3689	3660	3720	3692	3610	3581	3641	3612	3607	3578	3638	3609	3547	3518	3579	3550
8	3662	3632	3741	3711	3493	3464	3572	3543	3579	3550	3658	3629	3453	3424	3532	3503
9	3915	3908	3836	3828	3988	3980	3909	3901	3829	3822	3750	3742	3884	3876	3805	3797
10	3888	3880	3856	3848	3872	3864	3840	3832	3802	3794	3770	3762	3790	3782	3758	3750
11	3861	3852	3876	3868	3755	3747	3771	3762	3775	3766	3790	3782	3695	3687	3711	3703
12	3834	3825	3897	3888	3639	3630	3702	3693	3747	3739	3810	3802	3601	3592	3664	3656
13	4087	4100	3992	4005	4133	4146	4038	4051	3997	4010	3902	3915	4032	4045	3937	3950
14	4060	4073	4012	4025	4017	4030	3969	3982	3970	3983	3922	3935	3938	3950	3890	3903
15	4033	4045	4032	4045	3901	3913	3900	3913	3943	3955	3942	3955	3843	3856	3843	3855
16	4006	4017	4053	4065	3784	3796	3831	3843	3915	3927	3962	3974	3749	3761	3796	3808
Nmax	4087	4100	4053	4065	4133	4146	4038	4051	3997	4010	3962	3974	4032	4045	3937	3950
TAGLIO																
taglio Vx	920	934	913	927	920	934	913	927	908	922	900	914	908	922	900	914
taglio Vy	9	9	-8	-8	9	9	-8	-8	9	9	-8	-8	9	10	-8	-8
V	920	934	913	927	920	934	913	927	908	922	900	914	908	922	900	914

SFORZO NORMALE PALO	q4								q5							
	1	3554	3506	3507	3458	3649	3600	3601	3553	3570	3521	3491	3443	3665	3616	3586
2	3528	3479	3528	3479	3555	3506	3555	3506	3528	3479	3528	3479	3555	3506	3555	3506
3	3501	3452	3549	3499	3462	3412	3509	3460	3485	3436	3565	3515	3446	3396	3525	3476
4	3474	3425	3569	3520	3368	3318	3463	3413	3443	3393	3601	3551	3336	3286	3495	3445
5	3681	3653	3618	3589	3755	3727	3692	3664	3702	3674	3597	3568	3777	3748	3671	3643
6	3654	3626	3638	3610	3662	3633	3646	3617	3660	3631	3633	3605	3667	3639	3641	3612
7	3628	3599	3659	3630	3568	3539	3600	3571	3617	3588	3670	3641	3558	3529	3610	3582
8	3601	3572	3680	3651	3475	3445	3554	3524	3575	3545	3706	3677	3448	3419	3580	3551
9	3808	3800	3728	3721	3862	3854	3783	3775	3834	3826	3702	3694	3889	3881	3756	3749
10	3781	3773	3749	3741	3769	3761	3737	3729	3791	3783	3738	3730	3779	3771	3726	3718
11	3754	3746	3770	3761	3675	3667	3691	3682	3749	3741	3775	3767	3670	3661	3696	3687
12	3727	3719	3791	3782	3581	3573	3644	3636	3706	3698	3812	3803	3560	3552	3665	3657
13	3934	3947	3839	3852	3959	3992	3874	3886	3956	3979	3807	3820	4000	4013	3842	3855
14	3907	3920	3860	3872	3875	3886	3827	3840	3823	3836	3844	3856	3861	3904	3811	3824
15	3881	3893	3880	3893	3782	3794	3781	3794	3881	3893	3880	3893	3782	3794	3781	3793
16	3854	3866	3901	3913	3688	3700	3735	3747	3838	3850	3917	3929	3672	3684	3751	3763
Nmax	3934	3947	3901	3913	3969	3982	3874	3886	3966	3979	3917	3929	4000	4013	3842	3855
TAGLIO																
taglio Vx	889	903	881	895	889	903	881	895	891	905	879	893	891	905	879	893
taglio Vy	9	9	-8	-8	9	9	-8	-8	15	15	-14	-14	15	15	-14	-14
V	889	903	881	895	889	903	881	895	891	905	879	893	891	905	879	893

	S.L.U. e3								q6.x		S.L.V. q6.y		q6.z		
	SFORZO NORMALE														
PALO															
1	3539	3458	3492	3411	3634	3552	3586	3505	838	805	3303	3269	2774	2740	
2	3513	3431	3513	3431	3540	3458	3540	3458	822	788	2777	2743	2759	2724	
3	3486	3403	3533	3451	3446	3364	3494	3411	806	772	2251	2216	2743	2709	
4	3459	3376	3554	3471	3353	3270	3448	3365	790	755	1724	1690	2728	2693	
5	3680	3633	3617	3570	3755	3708	3692	3645	2000	1980	3331	3312	2754	2734	
6	3654	3606	3638	3590	3661	3614	3645	3598	1984	1964	2805	2785	2739	2719	
7	3627	3579	3658	3610	3567	3519	3599	3551	1968	1948	2279	2259	2723	2703	
8	3600	3551	3679	3630	3474	3425	3553	3504	1951	1931	1753	1732	2708	2688	
9	3821	3809	3742	3729	3876	3863	3797	3784	3161	3156	3360	3354	2734	2729	
10	3795	3781	3763	3749	3782	3769	3750	3737	3145	3140	2833	2828	2719	2713	
11	3768	3754	3783	3770	3689	3675	3704	3690	3129	3123	2307	2301	2704	2698	
12	3741	3727	3804	3790	3595	3580	3658	3643	3113	3107	1781	1775	2688	2682	
13	3962	3984	3867	3889	3997	4019	3902	3923	4323	4332	3388	3397	2714	2723	
14	3936	3957	3888	3909	3903	3924	3856	3877	4307	4315	2862	2871	2699	2708	
15	3909	3929	3908	3929	3810	3830	3809	3830	4291	4299	2336	2344	2684	2692	
16	3882	3902	3929	3949	3716	3736	3763	3783	4274	4283	1809	1818	2668	2677	
Nmax	3962	3984	3929	3949	3997	4019	3902	3923	4323	4332	3388	3397	2714	2723	
TAGLIO															
taglio Vx	894	917	886	910	894	917	886	910	1351	1361	605	615	605	614	
taglio Vy	9	9	-8	-8	9	9	-8	-8	6	6	353	353	6	6	
V	894	917	886	910	894	917	886	910	1351	1361	700	709	605	614	

	S.L.car								S.L.E.		S.L.freq				S.L.qp			
	SFORZO NORMALE																	
PALO																		
1	2629	2588	2597	2556	2522	2482	2491	2450	2618	2577	2608	2567	2512	2471	2501	2461	2578	2544
2	2611	2570	2611	2570	2556	2515	2556	2515	2611	2570	2611	2570	2556	2515	2556	2515	2577	2543
3	2592	2551	2624	2583	2590	2549	2622	2581	2603	2562	2614	2572	2601	2560	2611	2570	2576	2542
4	2574	2533	2638	2596	2624	2583	2688	2646	2596	2554	2617	2575	2645	2604	2666	2625	2575	2541
5	2725	2701	2683	2659	2534	2510	2492	2468	2711	2687	2697	2673	2520	2496	2506	2482	2565	2546
6	2707	2683	2696	2673	2568	2544	2557	2534	2703	2680	2700	2676	2564	2541	2561	2537	2565	2545
7	2689	2665	2710	2686	2602	2578	2623	2599	2696	2672	2703	2679	2609	2585	2616	2592	2564	2543
8	2671	2646	2724	2699	2636	2612	2689	2664	2688	2664	2706	2682	2654	2629	2671	2647	2563	2542
9	2821	2815	2769	2762	2546	2539	2493	2487	2804	2797	2786	2780	2528	2522	2511	2504	2553	2547
10	2803	2797	2782	2776	2580	2573	2559	2552	2796	2790	2789	2783	2573	2566	2566	2559	2552	2546
11	2785	2778	2796	2789	2614	2607	2624	2617	2789	2782	2792	2785	2617	2610	2621	2614	2551	2545
12	2767	2760	2809	2802	2648	2640	2690	2683	2781	2774	2795	2788	2662	2655	2676	2669	2550	2544
13	2918	2929	2854	2865	2558	2568	2494	2505	2897	2907	2876	2886	2536	2547	2515	2526	2540	2549
14	2900	2910	2868	2878	2591	2602	2560	2570	2889	2900	2879	2889	2581	2591	2570	2581	2539	2548
15	2882	2892	2882	2892	2625	2636	2625	2636	2882	2892	2882	2892	2625	2636	2625	2636	2538	2546
16	2864	2874	2895	2905	2659	2669	2691	2701	2874	2884	2885	2895	2670	2680	2680	2690	2537	2545
Nmax	2918	2929	2895	2905	2659	2669	2691	2701	2897	2907	2885	2895	2670	2680	2680	2690	2578	2549
TAGLIO																		
taglio Vx	659	671	654	666	659	670	654	666	657	669	656	667	657	669	656	667	586	595
taglio Vy	6	6	-6	-5	6	6	-6	-6	2	2	-2	-2	2	2	-2	-2	0	0
V	659	671	654	666	659	671	654	666	657	669	656	667	657	669	656	667	586	595

RIEPILOGO

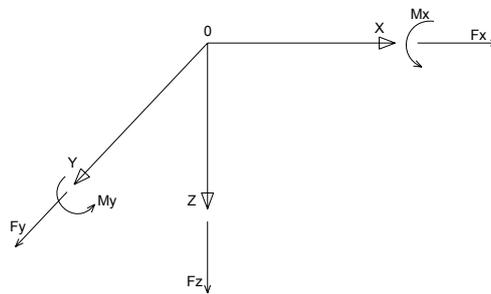
	SLU	SLV	SLE	
Nmax	4332	4146	2929	kN
Nmin	755	3255	2929	kN
Vmax	1361	934	671	kN

3 ANALISI DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA B

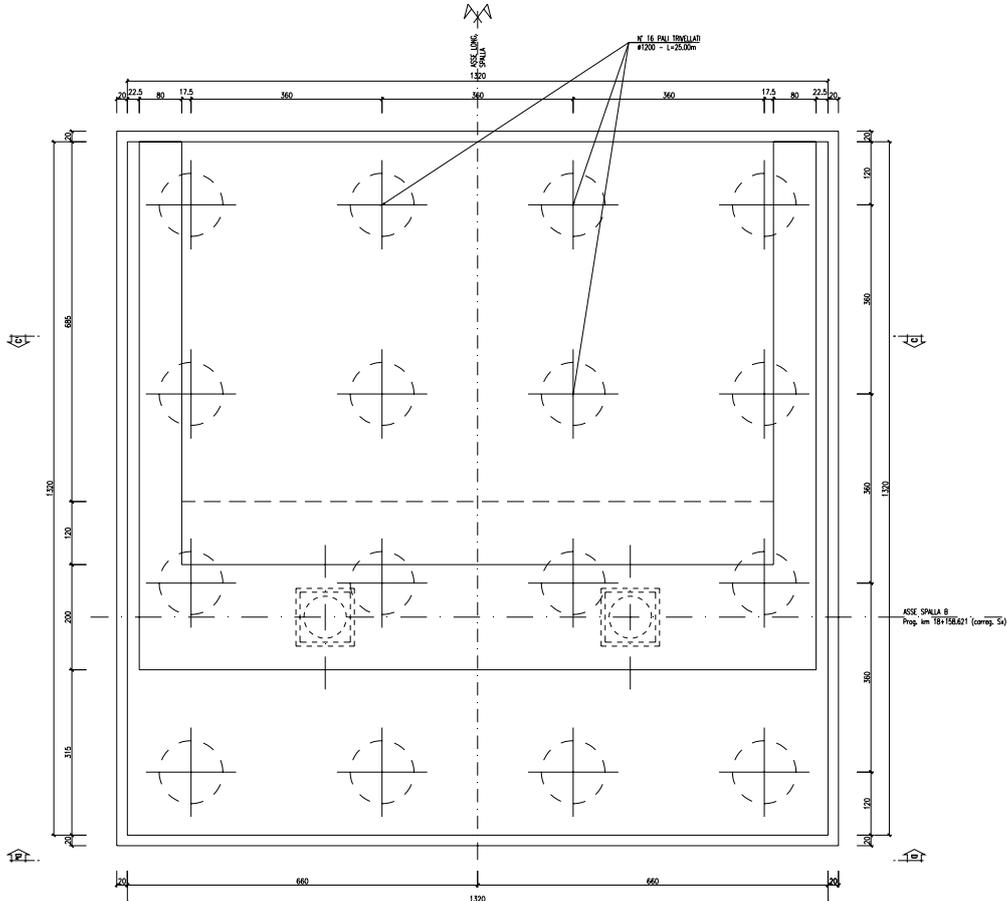
Si riporta nel presente capitolo il calcolo delle sollecitazioni nei pali di fondazione della spalla B della carreggiata sinistra.

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.

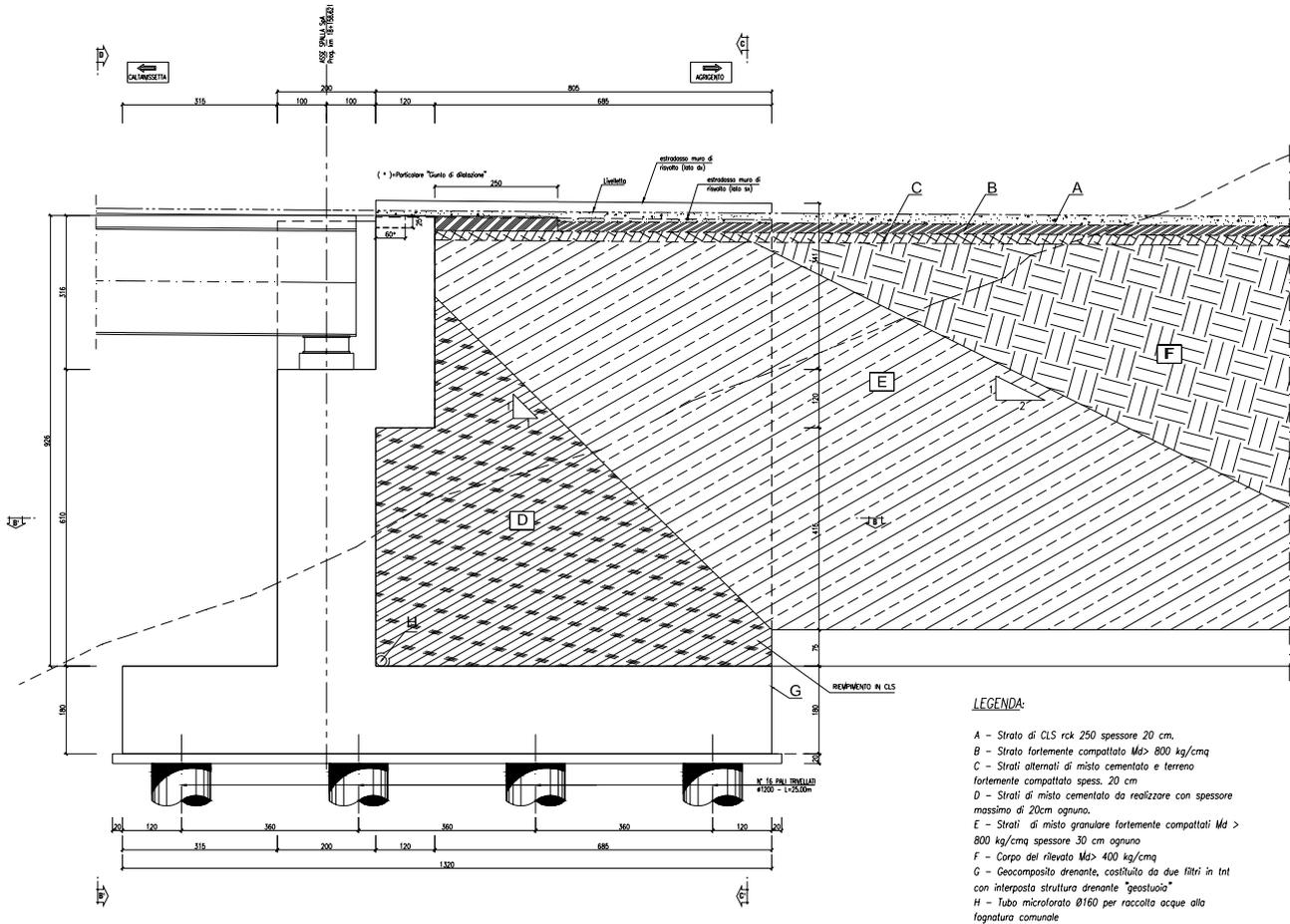
Le azioni orizzontali (F_x ed F_y) e verticali (F_z) si assumono positive se di verso concorde con quello degli assi. Si indicheranno inoltre con M_x i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse x (momenti trasversali) e con M_y (momenti longitudinali) i momenti aventi asse-momento parallelo all'asse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



CARPENTERIA_SPALLA_B (CARREGGIATA_SX)
 SEZIONE B-B'
 SCALA 1:50



CARPENTERIA_SPALLA_B (CARREGGIATA_SX)
 SEZIONE A-A'
 SCALA 1:50



Geometrie Spalla

	n.	Bx	By	Bz,min	Bz,max	V	X	Y	Z
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m]	[m]	[m]
plinto di fondazione	1	13.20	13.20	1.80	-	313.6	6.60	0.00	-0.90
muro frontale	1	2.00	12.75	6.10	-	155.6	9.05	0.00	-4.85
muro paraghiaia	1	1.20	12.75	3.20	-	49.0	7.45	0.00	-9.50
muro laterale sx	1	8.05	0.80	9.60	-	61.8	4.03	5.98	-6.60
muro laterale dx	1	8.05	0.80	9.60	-	61.8	4.03	-5.98	-6.60
bandiera sx	0	3.00	1.50	2.00	3	0.00	-1.40	5.63	-10.13
bandiera dx	0	1.00	1.00	1.00	1	0.00	-0.50	-5.88	-10.90
baggioli	2	1.10	1.10	0.15	-	0.36	9.05	0.00	-7.98
apparecchi di appoggio	2	0.90	0.90	0.35	-	0.57	9.05	0.00	-8.23
elemento 1	0	5.40	0.60	4.85	-	0.00	4.55	4.75	-7.90
elemento 2	0	5.40	0.60	4.85	-	0.00	4.55	-4.75	-7.90

3.1 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.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 16 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO (RIFERITE AL BARICENTRO APPOGGI)

Coordinate baricentro appoggi

x	=	9.05 m	coordinata x
y	=	0.00 m	coordinata y
z	=	-8.23 m	coordinata z

	Fx	Fy	Fz	Mx	My	
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	
g1	0	7	3072	45	10	peso proprio impalcato
g2	0	4	535	95	16	permanenti portati
e2	59	6	-147	12	58	ritiro
e3.6	227	31	221	29	227	temperatura - massima azione verticale
e3.8	649	102	-199	101	649	temperatura - massima azione trasversale
q1.1	2	8	2544	802	139	carico mobile - configurazione 1 (massima azione verticale)
q1.2	2	9	1738	6410	1134	carico mobile - configurazione 2 (massimo momento trasversale)
q3	202	33	0	33	202	frenatura
q4	0	0	0	0	0	azione centrifuga
q5	14	491	5	675	19	azione del vento trasversale
q6.1x	1008	136	-25	189	1011	sisma longitudinale
q6.1y	309	325	-43	557	310	sisma trasversale
q6.1z	303	101	-73	169	304	sisma verticale
q7	36	0	0	0	0	azione parassita dei vincoli

3.2 AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA

Si riportano ora per singoli casi di carico le azioni trasmesse dalla spalla, inserite nel modello SAP rispettivamente come: peso proprio (g₁), carichi di superficie (g₂, g₃, q_{1.t}, q_{6.1}, q_{6.2-ter}) e accelerazioni (q_{6.2-sp}).

AZIONI TRASMESSE DALLA SPALLA

Peso proprio spalla (g1)

γ _{cls}	=	25 kN/m ³	peso specifico calcestruzzo
g1.1	=	7840.8 kN	plinto di fondazione
g1.2	=	3888.8 kN	muro frontale
g1.3	=	1224.0 kN	muro paraghiaia
g1.4	=	1545.6 kN	muro laterale sx
g1.5	=	1545.6 kN	muro laterale dx
g1.6	=	0.0 kN	bandiera sx
g1.7	=	0.0 kN	bandiera dx
g1.8	=	9.1 kN	baggioli
g1.9	=	10.3 kN	apparecchi di appoggio
g1.10	=	0.0 kN	elemento 1
g1.11	=	0.0 kN	elemento 2
Fz	=	16064.1 kN	azione verticale
x	=	6.77 m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00 m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-3.62 m	coordinata z punto di applicazione

Peso terreno su fondazione (g2)

γ _t	=	18 kN/m ³	peso dell'unità di volume del terreno
V	=	896.4 m ³	volume di terreno sopra fondazione
Fz	=	16136.1 kN	peso del terreno
x	=	4.03 m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00 m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-6.60 m	coordinata z punto di applicazione

Spinta del terreno (g3)

		intradosso	base muro		
		plinto	frontale		
γ	=	18	18	kN/m ³	peso dell'unità di volume del terreno
φ	=	35	35	°	angolo di attrito del terreno
Ka	=	0.271	0.271		coefficiente di spinta attiva
K0	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta a riposo
K	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta adottato
H	=	11.10	9.3	m	altezza di spinta terreno (rispetto a intradosso plinto)
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
Fx	=	6028.9	4232.1	kN	spinta del terreno
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-3.70	-4.90	m	coordinata z punto di applicazione

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 17 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

Effetti del sovraccarico stradale sul rilevato (q1.t)

		intradosso	base muro		
		plinto	frontale		
Incremento di spinta	=				
q	=	20.00	20.00	kPa	sovraccarico stradale
ϕ	=	35	35	°	angolo di attrito del terreno
K	=	0.426	0.426		coefficiente di spinta
H	=	11.10	9.30	m	altezza di spinta terreno
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
Fx	=	1207.0	1011.3	kN	spinta del terreno per effetto del sovraccarico
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-5.55	-6.45	m	coordinata z punto di applicazione
Incremento di azione verticale	=				
Bx	=	8.05	-	m	lunghezza del plinto interessata dal sovraccarico
Fz	=	2052.8	-	kN	risultante verticale sovraccarico
x	=	4.03	-	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	-	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-1.80	-	m	coordinata z punto di applicazione

Azioni sismiche (q6)

parametri sismici	=				
a_g	=	0.091	g		accelerazione di picco
S_s	=	1.50			coefficiente di amplificazione stratigrafica
S_T	=	1.00			coefficiente di amplificazione topografica
S	=	1.50			
β_m	=	1.00			coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima
a_{max}	=	0.137	g		accelerazione massima
K_h	=	0.137			coefficiente sismico orizzontale
K_v	=	0.068			coefficiente sismico verticale

Incremento di spinta terreno in fase sismica (q6.1)

Ipotesi di struttura rigida

		intradosso	base muro		
		plinto	frontale		
γ	=	18	18	kN/m ³	peso dell'unità di volume del terreno
H	=	11.10	9.30	m	altezza di spinta terreno
B	=	12.75	12.75	m	larghezza trasversale interessata dalla spinta (y-y)
ΔP	=	3859.8	2709.5		incremento di spinta in fase sismica (ipotesi di struttura rigida)
Ipotesi di struttura flessibile	=				
ϕ	=	35	35	°	angolo di attrito
ψ	=	90	90	°	angolo di inclinazione rispetto all'orizz della parete del muro rivolta a monte
β	=	0	0	°	angolo di inclinazione rispetto all'orizz della superficie del terrapieno
δ	=	0	0	°	angolo di resistenza a taglio tra terreno-muro
θ	=	7.29	7.29	°	angolo definito per livello di falda al di sotto dell'opera di sostegno
K1	=	0.621	0.621		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) per $\beta < \phi - \psi$
K2	=	0.797	0.797		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) per $\beta > \phi - \psi$
K	=	0.621	0.621		coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico) effettivo
Ed	=	9385	6588	kN	spinta terreno in fase sismica (Mononobe-Okabe)
ΔS	=	3356.2	2355.9	kN	incremento di spinta in fase sismica (ipotesi struttura flessibile)
Valore adottato	=				
ΔP	=	3859.8	2709.5	kN	incremento di spinta terreno in fase sismica
x	=	0.00	8.05	m	coordinata x punto di applicazione
y	=	0.00	0.00	m	coordinata y punto di applicazione
z	=	-5.55	-6.45	m	coordinata z punto di applicazione

Forze d'inerzia (q6.2)

	forza	coord x	coord y	coord z
	d'inerzia	p.to di	p.to di	p.to di
		applicaz	applicaz	applicaz
	Fi	x	y	z
plinto	1070	6.60	0.00	-0.90
muro frontale	531	9.05	0.00	-4.85
paraghiaia	167	7.45	0.00	-9.50
muro laterale sx	211	4.03	5.98	-6.60
muro laterale dx	211	4.03	-5.98	-6.60
bandiera sx	0	-1.40	5.63	-10.13
bandiera dx	0	-0.50	-5.88	-10.90
baggioli	1	9.05	0.00	-7.98
apparecchi di appoggio	1	9.05	0.00	-8.23
elemento 1	0	4.55	4.75	-7.90
elemento 2	0	4.55	-4.75	-7.90
terreno su plinto	2203	4.03	0.00	-6.60
risultante intradosso plinto	4395	5.39	0.00	-5.11
risultante base muro frontale	1122	6.91	0.00	-6.20

	S.L.U.								q5								
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
e3.6-imp	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72
e3.8-imp	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	1.50	1.50	-1.50	-1.50	1.50	1.50	-1.50	-1.50	0
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

	S.L.U.								q6.x		S.L.V.		q6.z	
	e3										q6.y			
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1	1	1	1	1	1
e3.6-imp	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00
e3.8-imp	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0	0	0	0	0	0
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

	S.L.car								S.L.E.								S.L.freq		S.L.qp		
g1-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g1-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g2-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g3-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e3.6-imp	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60
e3.8-imp	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00
q1.1-imp	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q1.2-imp	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0	0	0
q1t-sp	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7-imp	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

3.5 SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA

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

SOLLECITAZIONI SULLA PALIFICATA NELLE COMBINAZIONI DI CARICO

	q1								q3							
Fx	10051	10355	10026	10330	10051	10355	10026	10330	9946	10250	9921	10225	9946	10250	9921	10225
Fy	499	550	-385	-334	500	551	-384	-333	546	597	-338	-287	547	598	-337	-286
Fz	54532	54230	54524	54222	53444	53142	53436	53133	52981	52679	52973	52670	52164	51862	52156	51854
Mx	6014	6487	-2470	-1997	13594	14066	5110	5582	6184	6656	-2300	-1828	11868	12341	3384	3857
My	-1689	-3146	-1499	-2956	2320	863	2510	1053	-1338	-2795	-1147	-2604	1669	212	1859	402

	q4								q5							
Fx	9643	9947	9618	9922	9643	9947	9618	9923	9651	9955	9610	9914	9651	9956	9610	9914
Fy	496	547	-388	-337	496	548	-387	-336	790	841	-683	-632	791	842	-682	-631
Fz	52981	52679	52973	52670	52164	51862	52156	51854	52984	52681	52970	52668	52167	51865	52153	51851
Mx	5720	6193	-2764	-2291	11405	11877	2921	3393	8548	9021	-5592	-5119	14233	14705	93	565
My	849	-608	1039	-418	3856	2399	4046	2589	786	-671	1103	-354	3792	2335	4109	2652

	S.L.U.								q6.x		S.L.V.		q6.z	
	e3										q6.y			
Fx	9752	10259	9727	10234	9752	10259	9727	10234	15487	15698	6533	6744	6527	6738
Fy	511	596	-373											

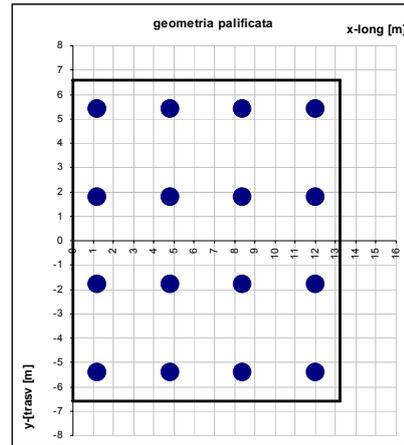
	S.L.car								S.L.E.				S.L.freq				S.L.qp	
Fx	7161	7415	7145	7398	7159	7412	7142	7396	7156	7409	7150	7404	7153	7407	7148	7401	6224	6435
Fy	337	380	-252	-209	324	367	-265	-223	141	183	56	-13	128	170	-69	-26	33	69
Fz	39243	38991	39238	38986	36031	35780	36026	35774	39241	38990	39239	38988	36030	35778	36028	35776	35771	35561
Mx	3949	4343	-1707	-1313	-1568	-1175	-7224	-6851	2064	2457	178	572	-3453	-3060	-5339	-4945	440	768
My	503	-711	630	-584	7436	6222	7563	6349	545	-669	587	-627	7479	6264	7521	6307	6424	5412

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

CALCOLO AZIONI SUI PALI

Geometria della palificata

PALO	X	Y	Xp	Yp	trasp Jxi	long Jyi
1	1.20	5.40	-5.40	5.40	29.16	29.16
2	1.20	1.80	-5.40	1.80	3.24	29.16
3	1.20	-1.80	-5.40	-1.80	3.24	29.16
4	1.20	-5.40	-5.40	-5.40	29.16	29.16
5	4.80	5.40	-1.80	5.40	29.16	3.24
6	4.80	1.80	-1.80	1.80	3.24	3.24
7	4.80	-1.80	-1.80	-1.80	3.24	3.24
8	4.80	-5.40	-1.80	-5.40	29.16	3.24
9	8.40	5.40	1.80	5.40	29.16	3.24
10	8.40	1.80	1.80	1.80	3.24	3.24
11	8.40	-1.80	1.80	-1.80	3.24	3.24
12	8.40	-5.40	1.80	-5.40	29.16	3.24
13	12.00	5.40	5.40	5.40	29.16	29.16
14	12.00	1.80	5.40	1.80	3.24	29.16
15	12.00	-1.80	5.40	-1.80	3.24	29.16
16	12.00	-5.40	5.40	-5.40	29.16	29.16



	q1								S.L.U.								q3																								
SFORZO NORMALE																																									
PALO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Nmax	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8
TAGLIO																																									
taglio Vx	628	647	627	646	628	647	627	646	622	641	620	639	622	641	620	639		628	647	627	646	628	647	627	646	622	641	620	639	622	641	620	639	628	647	627	646	628	647	627	646
taglio Vy	31	34	-24	-21	31	34	-24	-21	34	37	-21	-18	34	37	-21	-18		31	34	-24	-21	31	34	-24	-21	34	37	-21	-18	34	37	-21	-18	31	34	-24	-21	31	34	-24	-21
V	629	648	627	646	629	648	627	646	623	642	620	639	623	642	620	639		629	648	627	646	629	648	627	646	623	642	620	639	623	642	620	639	629	648	627	646	629	648	627	646

	q4								S.L.U.								q5																								
SFORZO NORMALE																																									
PALO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Nmax	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8
TAGLIO																																									
taglio Vx	603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620		603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620	603	622	601	620
taglio Vy	31	34	-24	-21	31	34	-24	-21	49	53	-43	-39	49	53	-43	-39		31	34	-24	-21	31	34	-24	-21	49	53	-43	-39	49	53	-43	-39	31	34	-24	-21	31	34	-24	-21
V	603	623	602	621	603	623	602	621	605	624	602	621	605	624	602	621		603	623	602	621	603	623	602	621	605	624	602	621	605	624	602	621	603	623	602	621	603	623	602	621

	S.L.U.								q6.x		S.L.V.		q6.z		
	e3										q6.y				
SFORZO NORMALE															
PALO															
1	3436	3370	3263	3197	3566	3500	3393	3327	1340	1312	2867	2840	2546	2518	
2	3364	3278	3299	3222	3406	3329	3350	3274	1315	1283	2504	2472	2526	2494	
3	3273	3186	3336	3248	3245	3158	3308	3220	1291	1255	2141	2105	2506	2469	
4	3192	3093	3372	3274	3085	2987	3265	3167	1267	1226	1778	1737	2486	2445	
5	3439	3407	3263	3231	3527	3495	3351	3319	1960	1947	2807	2794	2448	2434	
6	3357	3314	3299	3256	3367	3324	3308	3266	1936	1918	2444	2426	2428	2410	
7	3276	3222	3336	3282	3206	3152	3266	3212	1912	1889	2081	2059	2408	2385	
8	3195	3130	3372	3307	3046	2981	3224	3159	1887	1860	1718	1691	2388	2361	
9	3441	3443	3263	3264	3488	3490	3309	3311	2581	2582	2748	2748	2349	2350	
10	3360	3351	3299	3290	3328	3318	3267	3258	2557	2553	2385	2381	2329	2326	
11	3279	3259	3336	3316	3167	3147	3224	3204	2532	2524	2022	2013	2309	2301	
12	3197	3166	3372	3341	3007	2976	3182	3151	2508	2495	1659	1646	2289	2276	
13	3444	3480	3263	3298	3449	3484	3268	3303	3202	3216	2688	2703	2251	2266	
14	3363	3387	3299	3324	3289	3313	3225	3250	3177	3187	2325	2335	2231	2241	
15	3281	3295	3336	3349	3128	3142	3183	3196	3153	3159	1962	1968	2211	2217	
16	3200	3203	3372	3375	2968	2971	3140	3143	3129	3130	1599	1600	2191	2192	
Nmax	3444	3480	3372	3375	3566	3500	3393	3327	3202	3216	2867	2840	2546	2518	
TAGLIO															
taglio Vx	609	641	608	640	610	641	608	640	968	981	408	422	408	421	
taglio Vy	32	37	-23	-18	32	37	-23	-18	11	13	297	299	8	11	
V	610	642	608	640	610	642	608	640	968	981	505	517	408	421	

	S.L.car								S.L.E.				S.L.freq				S.L.qp	
	SFORZO NORMALE																	
PALO																		
1	2545	2513	2430	2397	2374	2341	2259	2226	2507	2474	2468	2436	2336	2303	2297	2264	2379	2351
2	2491	2452	2454	2415	2396	2358	2359	2321	2478	2440	2466	2428	2384	2345	2371	2333	2373	2341
3	2436	2392	2477	2434	2418	2374	2459	2416	2450	2406	2463	2420	2432	2388	2445	2402	2366	2330
4	2381	2332	2501	2452	2440	2390	2560	2510	2421	2372	2461	2412	2480	2430	2520	2470	2360	2319
5	2538	2522	2421	2405	2271	2255	2154	2138	2499	2483	2480	2444	2232	2216	2193	2177	2289	2276
6	2484	2462	2445	2423	2293	2271	2254	2233	2471	2449	2458	2436	2280	2258	2267	2245	2283	2265
7	2429	2402	2469	2442	2314	2288	2354	2327	2442	2415	2455	2428	2328	2301	2341	2314	2277	2255
8	2374	2342	2492	2460	2336	2304	2455	2422	2413	2381	2453	2420	2376	2343	2415	2383	2271	2244
9	2531	2532	2412	2413	2168	2169	2049	2049	2492	2493	2452	2453	2128	2129	2088	2089	2200	2201
10	2477	2472	2436	2432	2189	2185	2149	2144	2463	2459	2450	2445	2176	2171	2162	2158	2194	2190
11	2422	2412	2460	2450	2211	2201	2249	2239	2434	2424	2447	2437	2224	2214	2237	2227	2188	2180
12	2367	2351	2484	2468	2233	2217	2350	2334	2406	2390	2445	2429	2272	2256	2311	2295	2182	2169
13	2524	2542	2404	2421	2064	2082	1944	1961	2484	2502	2444	2462	2024	2042	1984	2002	2111	2116
14	2470	2482	2427	2440	2086	2098	2044	2056	2456	2468	2441	2454	2072	2084	2058	2070	2105	2125
15	2415	2422	2451	2458	2108	2115	2144	2151	2427	2434	2439	2446	2120	2127	2132	2139	2099	2104
16	2360	2361	2475	2476	2130	2131	2245	2246	2398	2400	2437	2438	2168	2169	2206	2208	2093	2094
Nmax	2545	2542	2501	2476	2440	2390	2560	2510	2507	2502	2468	2462	2480	2430	2520	2470	2379	2351
TAGLIO																		
taglio Vx	448	463	447	462	447	463	446	462	447	463	447	463	447	463	447	463	389	402
taglio Vy	21	24	-16	-13	20	23	-17	-14	9	11	-3	-1	8	11	-4	-2	2	4
V	448	464	447	463	448	464	447	462	447	463	447	463	447	463	447	463	389	402

RIEPILOGO

	SLU	SLV	SLE	
Nmax	3672	3672	2560	kN
Nmin	1226	2885	2560	kN
Vmax	981	648	464	kN

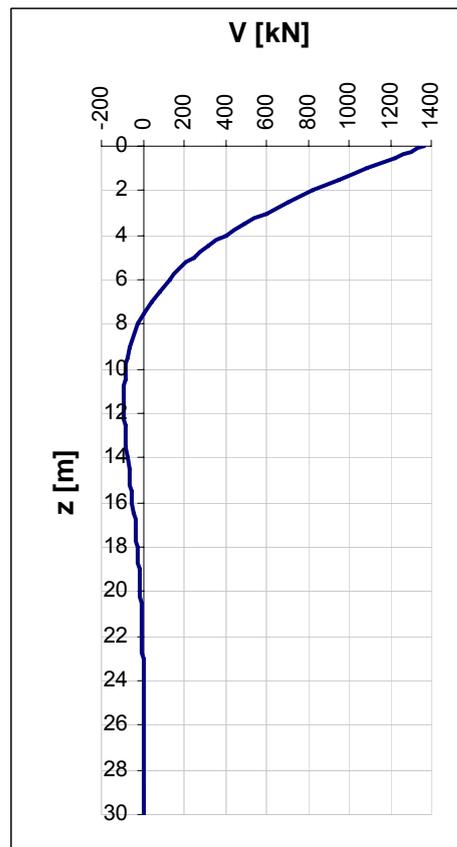
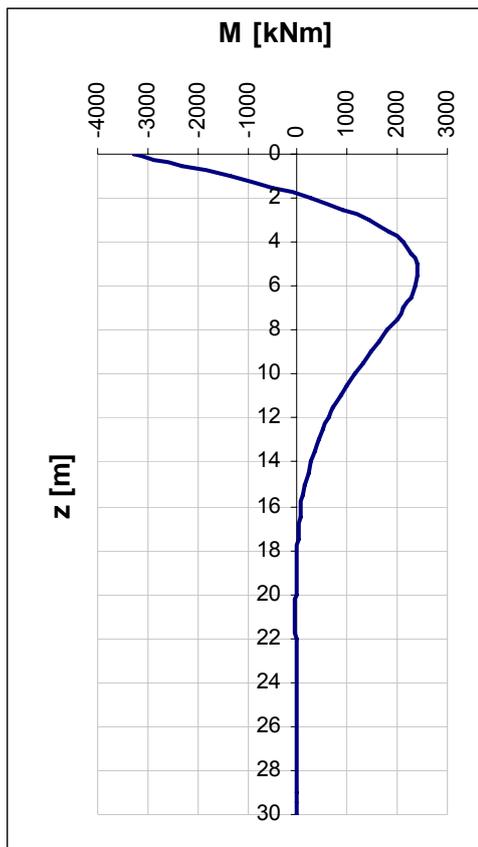
4 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLA A

4.1 VERIFICHE STRUTTURALI

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

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

E	=	31447 MPa	modulo elastico calcestruzzo
D	=	1200 mm	diametro palo
J	=	0.1018 m ⁴	momento d'inerzia del palo
K	=	13000 kN/m ³	costante di reazione del terreno
B	=	1.80 m	larghezza efficace del palo
E _s	=	23400 kN/m ²	modulo di elasticità del terreno
L ₀	=	4.84 m	lunghezza elastica del palo
h	=	0.00 m	altezza tratto libero
V	=	1360.9 kN	taglio alla testa del palo
M _{max}	=	3291.0 kNm	massimo momento flettente
d _{max}	=	12.02 mm	spostamento massimo in testa



4.1.1 S.L.U. – Resistenza: presso-flessione

La prima gabbia viene armata con 42 Ø26, mentre per le successive sono sufficienti 20 Ø18.

Il momento ultimo del palo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output del programma relative alle sezioni verificate (z = 0 m, 9.7 m, 20.7 m).

	Z _{in} [m]	Z _{in} [m]	c' [cm]	Φ [mm]	n	s [cm]	M _{Ed} [kN*m]	N _{Ed} [kN]	M _{res} [kN*m]	
gabbia n.1	-1.3	10.7	5	26	42	8.2	3291.0	755.3	4003.0	OK
gabbia n.2	9.7	21.7	5	18	20	17.3	1234.7	755.3	1317.0	OK
gabbia n.3	20.7	30.0	5	18	20	17.3	38.4	755.3	1317.0	OK

4.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si dispongono spirali Ø14/150 nella prima gabbia dove le sollecitazioni taglianti sono maggiori, mentre nelle altre sono sicuramente sufficienti delle spirali Ø10/300. La verifica a taglio risulta soddisfatta se:

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

in cui:

V_{Ed} : taglio di calcolo

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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 24 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

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

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

dove:

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

D : diametro della sezione

d : altezza utile della sezione

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

A_{sw} : area dell'armatura trasversale

s : interasse tra due armature trasversali consecutive

α_c : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

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

Sollecitazioni

V	=	1360.9 kN	taglio di calcolo
N	=	755.3 kN	sforzo assiale di calcolo

Geometria

D	=	1200 mm	diametro sezione
d	=	1140 mm	altezza utile
d _e	=	886 mm	altezza utile equivalente
b _{we}	=	1080 mm	base equivalente

Materiali

R _{ck}	=	30	resistenza caratteristica cubica
f _{ck}	=	24.90 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ _c	=	1.50	coefficiente parziale di sicurezza
α _{cc}	=	0.85	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f _{cd}	=	14.11 MPa	resistenza di calcolo a compressione
f' _{cd}	=	7.06 MPa	resistenza ridotta
γ _s	=	1.15	coefficiente di sicurezza acciaio
f _{yk}	=	450.0 MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f _{yd}	=	391.3 MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio

Ø _w	=	14 mm	diametro dell'armatura a taglio
α	=	90 °	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	150 mm	passo staffe in direzione longitudinale
n _{br}	=	2	numero bracci
A _{sw}	=	307.9 mm ²	area resistente dell'armatura a taglio
ctg θ	=	2.50	inclinazione delle bielle di calcestruzzo
σ _{cp}	=	0.668 MPa	tensione media calcestruzzo
α _c	=	1.05	
V _{Rsd}	=	1600.4 kN	resistenza taglio trazione
V _{Rcd}	=	2193.2 kN	resistenza taglio compressione
V _{Rd}	=	1600.4 kN	resistenza a taglio
FS	=	1.18	

4.1.3 S.L.E. – Fessurazione

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

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

- condizioni ambientali aggressive;
- armature poco sensibili.

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

condizioni ambientali ordinarie
 armature poco sensibili

Diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione

σ_s [MPa]	w3=0,40 mm								w2=0,30 mm	
	\emptyset									
160	40	40	40	40	40	40	40	40	32	32
200	32	32	32	32	32	32	32	32	25	25
240	20	20	20	20	20	20	20	20	16	16
280	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12
320	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10
360	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8

Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione

σ_s [MPa]	w3=0,40 mm								w2=0,30 mm	
	\emptyset									
160	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
200	300	300	300	300	300	300	300	300	250	250
240	250	250	250	250	250	250	250	250	200	200
280	200	200	200	200	200	200	200	200	150	150
320	150	150	150	150	150	150	150	150	100	100
360	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50

Sollecitazioni agenti

	freq 1	freq 2	freq 3	freq 4	freq 5	freq 6	freq 7	freq 8	qp1	qp2		
L0	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	m	lunghezza elastica del palo
h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N	2596	2554	2608	2567	2512	2471	2501	2461	2537	2541	kN	sforzo assiale
V	657	669	656	667	657	669	656	667	586	595	kN	taglio alla testa del palo
M _{max}	1590	1618	1586	1614	1589	1617	1585	1614	1416	1440	kN*m	massimo momento flettente
$\sigma_{s,max}$	200	200	200	200	200	200	200	200	160	160	MPa	tensione massima nell'acciaio da normativa
$\sigma_{Sd,max}$	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	MPa	tensione massima di trazione nell'acciaio di calcolo
	OK	OK	OK									

Verifica C.A. S.L.U. - File: SpA-freq7

Titolo: Fessurazione: presso-flessione semplice

Sezione circolare cava

- Raggio esterno: 160 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 42
- Diametro barre: 2.6 [cm]
- Copriferro (baric.): 5 [cm]

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{E,d}: 2501 kN

M_{Ed}: 1585 kNm

M_{yEd}: 0

P.to applicazione N

Centro

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

Materiali

- B450C: σ_{su} 67.9%, σ_{c2} 2%
- C25/30: f_{yd} 391.3 N/mm², σ_{cu} 3.5
- E_s : 200000 N/mm², f_{cd} 14.17
- E_s/E_c : 15, f_{cc}/f_{cd} 0.8
- $\sigma_{s,adm}$: 1.957%, $\sigma_{c,adm}$: 9.75
- $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm², τ_{co} : 0.6
- τ_{c1} : 1.829

Stress and Strain Results:

- σ_c : -9.448 N/mm²
- σ_s : 119.6 N/mm²
- ϵ_s : 0.5979%
- d: 115 cm
- x: 62.37, x/d: 0.5423

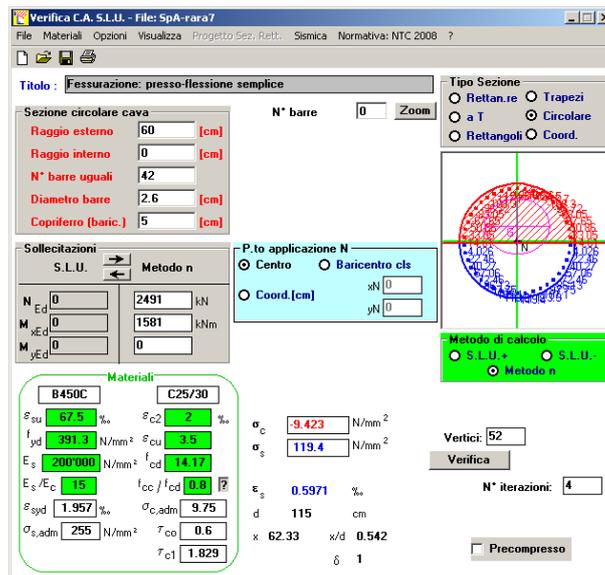
Vertici: 52, N° iterazioni: 4, Precompresso

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 26 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

4.1.4 S.L.E. – Limitazione delle tensioni

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

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara7	rara8	qp1	qp2		
					rara5	rara6						
Sollecitazioni agenti												
LO =	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	m	lunghezza elastica del palo
h =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N =	2574	2533	2597	2556	2522	2482	2491	2450	2537	2541	kN	sforzo assiale
V =	659	671	654	666	659	671	654	666	586	595	kN	taglio alla testa del palo
M _{max} =	1594	1622	1582	1610	1593	1621	1581	1610	1416	1440	kN*m	massimo momento flettente
Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio												
$\sigma_{c,max}$ =	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	11.21	11.21	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	9.42	-	-	-	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio												
$\sigma_{s,max}$ =	360	360	360	360	360	360	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	130	-			[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				



4.2 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

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

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
peso secco γ_d (kN/m ³)	19.1	20.4	19.6
peso saturo γ_{sat} (kN/m ³)	19.1	20.4	19.6
coesione non dren. cu (kPa)	70	198	158
coesione dren. c' (kPa)	12	36	26
angolo attrito phi' (°)	15	20	22

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 27 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

4.2.1 S.L.U. – Verifica a carico limite verticale

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

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

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

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

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

in condizioni non drenate, e come:

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

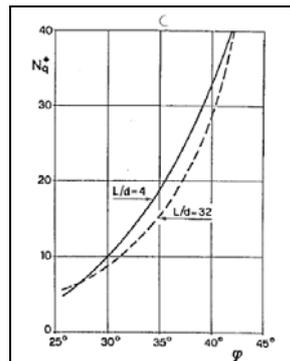
$$s_{lim,d} = k \mu \sigma_{vz}'$$

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

c_u (kPa)	α (-)
<25	0.9
25 ÷ 50	0.8
50 ÷ 75	0.6
≥ 75	0.4

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

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



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

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

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
coeff. N_q (cond. drenate)	4.0	4.0	4.0
coeff. N_c (cond. drenate)	11.2	8.4	7.5

Per i rapporti opere-terreni considerati nei calcoli, si è fatto riferimento al profilo geotecnico a corredo del presente progetto esecutivo. Nelle verifiche si è considerata l'assenza di falda. Di seguito le stratigrafie apprese dal profilo geotecnico sotto la spalla in esame.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 28 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

STRATIGRAFIA SOTTO SPICCATO FONDAZIONE SPALLA A - CARR. SX

strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale
		(m)	m	m
1° strato	TRBa_1	3	0	3
2° strato	TRBa_2a	10	3	13
3° strato	TRBa_2b	32	13	45

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

$$R_d \geq E_d$$

dove:

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

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

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

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

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

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{01}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{02}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{03}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

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

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 29 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito dei due approcci progettuali distinti e alternativi consentiti dal DM 14/01/08 per la progettazione geotecnica. Nel caso specifico, le verifiche geotecniche (GEO) in termini di capacità portante dei pali sono state condotte sulla base dell'approccio 2, con i coefficienti parziali → A1+M1+R3.

La capacità portante dei pali, determinata mediante procedura analitica basata sui parametri geotecnici dei terreni interessati, è stata ridotta del fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate. Considerando l'adozione di una sola relazione analitica per la valutazione del carico limite si è assunto il fattore ξ_3 . Per i terreni interessati dall'opera in esame, il numero di verticali di indagine è 3.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

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

azioni verticali massime in testa palo			caratteristiche pali fondazione			PP. Compensato	carico limite	
pila/spalla	statica	dinamica	diam. Palo	N° pali	lunghezza palo		Qlim_d	Qlim_u
	kN	kN	m		m	kN	kN	kN
spalla A	4164.4	4331.9	1.2	16	30	237.42	6813.393	5166.269

4.2.2 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.

D	=	1.20 m	diametro palo
L	=	30.00 m	lunghezza palo
M_y	=	4003.0 kNm	momento di plasticizzazione del palo
c_u	=	158.3 kPa	coesione non drenata

palo corto

$Q_{lim,1}$	=	48201.7 kN	carico limite per palo corto
M_{max}	=	766407 kNm	momento massimo

palo intermedio

$Q_{lim,2}$	=	18482.0 kN	carico limite per palo intermedio
f	=	10.8 m	
M_{max}	=	129185.7 kNm	momento massimo

palo lungo

$Q_{lim,3}$	=	2992.5 kN	carico limite per palo lungo
-------------	---	-----------	------------------------------

MR		PALO LUNGO	meccanismo di rottura
$Q_{lim,m}$	=	2992.5 kN	carico limite (valore medio)
ξ_3	=	1.60	fattore di correlazione
$Q_{lim,k}$	=	1870.3 kN	carico limite (valore caratteristico)
γ_T	=	1.30	coefficiente parziale
$Q_{lim,d}$	=	1438.7 kN	carico limite (valore di progetto)
F_h	=	1360.9 kN	azione trasversale testa palo
FS		1.06	

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 30 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

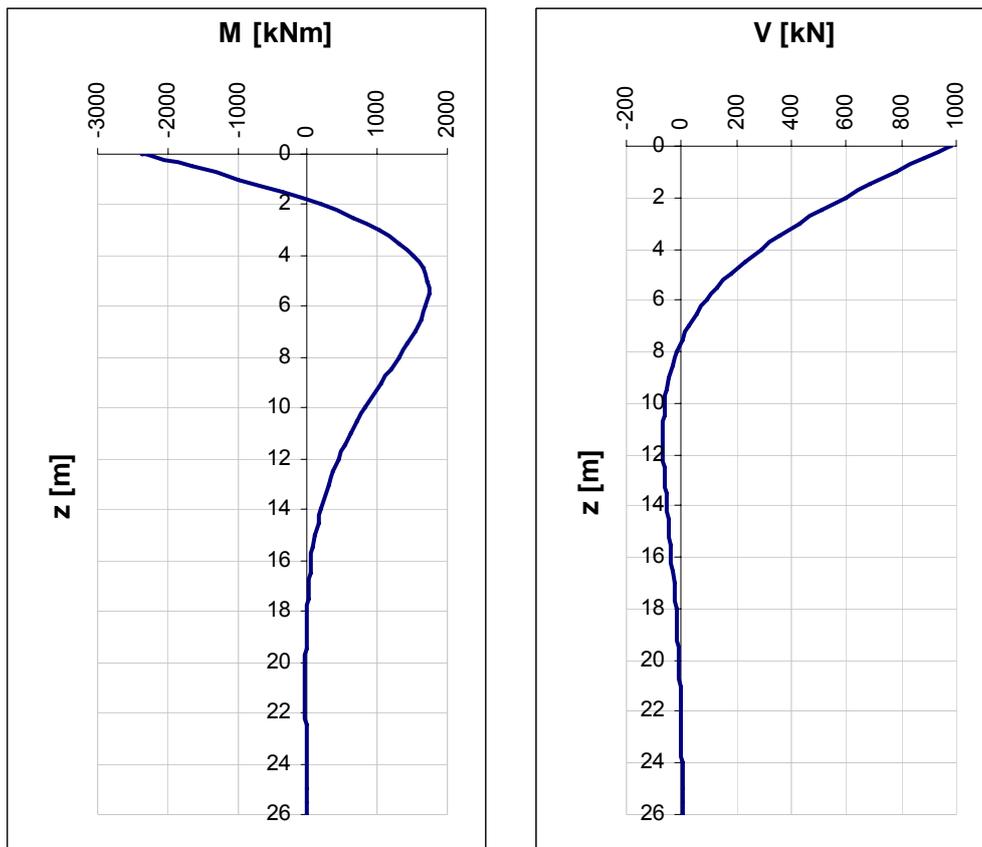
5 VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE SPALLA B

5.1 VERIFICHE STRUTTURALI

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

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

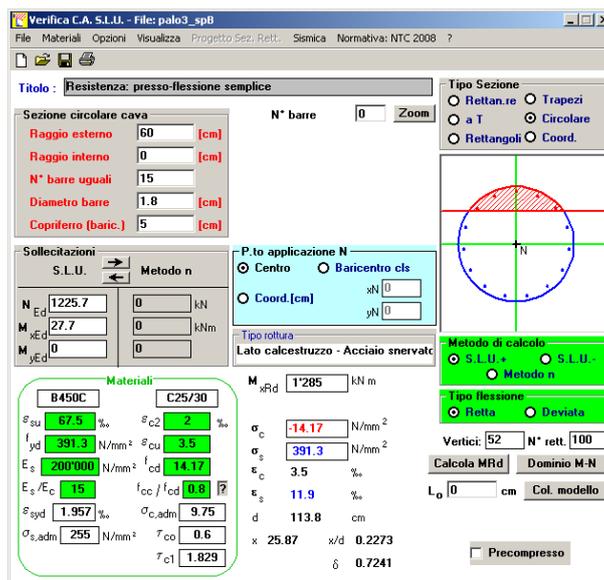
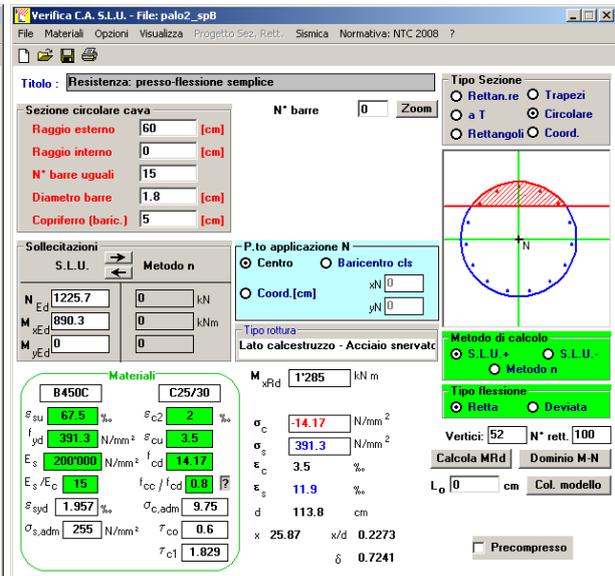
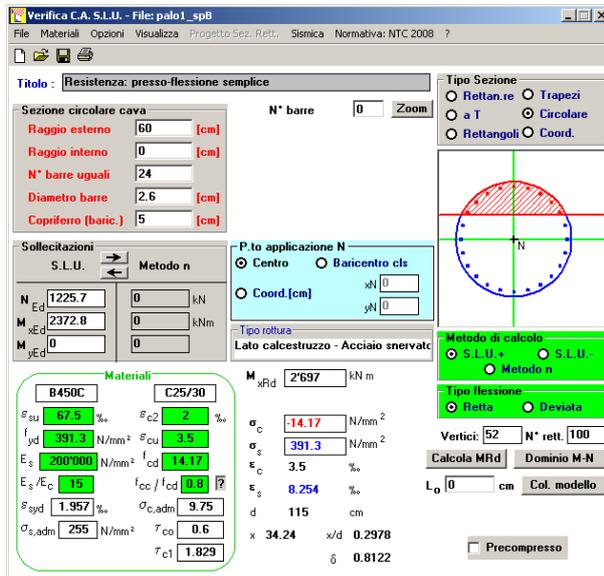
E	=	31447 MPa	modulo elastico calcestruzzo
D	=	1200 mm	diametro palo
J	=	0.1018 m ⁴	momento d'inerzia del palo
K	=	13000 kN/m ³	costante di reazione del terreno
B	=	1.80 m	larghezza efficace del palo
E _s	=	23400 kN/m ²	modulo di elasticità del terreno
L ₀	=	4.84 m	lunghezza elastica del palo
h	=	0.00 m	altezza tratto libero
V	=	981.2 kN	taglio alla testa del palo
M _{max}	=	2372.8 kNm	massimo momento flettente
d _{max}	=	8.67 mm	spostamento massimo in testa



5.1.1 S.L.U. – Resistenza: presso-flessione

La prima gabbia viene armata con 24 Ø26, mentre per la successiva sono sufficienti 15 Ø18.

Il momento ultimo del palo viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output del programma relative alle sezioni verificate ($z = 0$ m, 9.7 m, 20.7 m).



	Z _{in}	Z _{in}	c'	Φ	n	s	M _{Ed}	N _{Ed}	M _{res}	
	[m]	[m]	[cm]	[mm]		[cm]	[kN*m]	[kN]	[kN*m]	
gabbia n.1	-1.3	10.7	5	26	24	14.4	2372.8	1225.7	2697.0	OK
gabbia n.2	9.7	21.7	5	18	15	23.0	890.3	1225.7	1285.0	OK
gabbia n.3	20.7	25.0	5	18	15	23.0	27.7	1225.7	1285.0	OK

5.1.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Si dispongono spirali Ø14/200 nella prima gabbia dove le sollecitazioni taglianti sono maggiori, mentre nelle altre sono sicuramente sufficienti delle spirali Ø10/300. La verifica a taglio risulta soddisfatta se:

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

in cui:

V_{Ed} : taglio di calcolo

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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 32 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

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

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

dove:

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

D : diametro della sezione

d : altezza utile della sezione

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

A_{sw} : area dell'armatura trasversale

s : interasse tra due armature trasversali consecutive

α_c : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

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

Sollecitazioni

V	=	981.2 kN	taglio di calcolo
N	=	1225.7 kN	sforzo assiale di calcolo

Geometria

D	=	1200 mm	diametro sezione
d	=	1140 mm	altezza utile
d _e	=	886 mm	altezza utile equivalente
b _{we}	=	1080 mm	base equivalente

Materiali

R _{ck}	=	30	resistenza caratteristica cubica
f _{ck}	=	24.90 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ _c	=	1.50	coefficiente parziale di sicurezza
α _{cc}	=	0.85	coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f _{cd}	=	14.11 MPa	resistenza di calcolo a compressione
f' _{cd}	=	7.06 MPa	resistenza ridotta
γ _s	=	1.15	coefficiente di sicurezza acciaio
f _{yk}	=	450.0 MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f _{yd}	=	391.3 MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio

Ø _w	=	14 mm	diametro dell'armatura a taglio
α	=	90 °	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	200 mm	passo staffe in direzione longitudinale
n _{br}	=	2	numero bracci
A _{sw}	=	307.9 mm ²	area resistente dell'armatura a taglio
ctg θ	=	2.50	inclinazione delle bielle di calcestruzzo
σ _{cp}	=	1.084 MPa	tensione media calcestruzzo
α _c	=	1.08	
V _{Rsd}	=	1200.3 kN	resistenza taglio trazione
V _{Rcd}	=	2255.0 kN	resistenza taglio compressione
V _{Rd}	=	1200.3 kN	resistenza a taglio
FS	=	1.22	

5.1.3 S.L.E. – Fessurazione

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

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

- condizioni ambientali aggressive;
- armature poco sensibili.

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

condizioni ambientali ordinarie
 armature poco sensibili

Diametri massimi delle barre per il controllo della fessurazione

σ_s [MPa]	w3=0,40 mm								w2=0,30 mm	
	\emptyset									
160	40	40	40	40	40	40	40	40	32	32
200	32	32	32	32	32	32	32	32	25	25
240	20	20	20	20	20	20	20	20	16	16
280	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12
320	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10
360	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8

Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione

σ_s [MPa]	w3=0,40 mm								w2=0,30 mm	
	\emptyset									
160	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
200	300	300	300	300	300	300	300	300	250	250
240	250	250	250	250	250	250	250	250	200	200
280	200	200	200	200	200	200	200	200	150	150
320	150	150	150	150	150	150	150	150	100	100
360	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50

Sollecitazioni agenti

	freq 1	freq 2	freq 3	freq 4	freq 5	freq 6	freq 7	freq 8	qp1	qp2		
L0	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	m	lunghezza elastica del palo
h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N	2398	2372	2437	2412	2024	2042	1984	2002	2093	2094	kN	sforzo assiale
V	447	463	447	463	447	463	447	463	389	402	kN	taglio alla testa del palo
M _{max}	1082	1120	1081	1119	1081	1120	1080	1119	941	973	kN*m	massimo momento flettente
$\sigma_{s,max}$	200	200	200	200	200	200	200	200	160	160	MPa	tensione massima nell'acciaio da normativa
$\sigma_{sd,max}$	-	-	-	-	-	-	-	117	-	-	MPa	tensione massima di trazione nell'acciaio di calcolo
	OK	OK	OK									

Verifica C.A. S.L.U. - File: SpB-freq0

Titolo: Fessurazione: presso-flessione semplice

Sezione circolare cava: Raggio esterno 160 [cm], Raggio interno 0 [cm], N° barre uguali 24, Diametro barre 2.6 [cm], Copriferro (baric.) 5 [cm]

Sollecitazioni: Metodo n, N_{E,d} 2002 kN, M_{Ed} 1119 kNm

Materiali: B450C, C25/30

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

σ_c -8.442 N/mm², σ_s 117 N/mm²

ε_s 0.5851 ‰, d 115 cm, x/d 0.5197

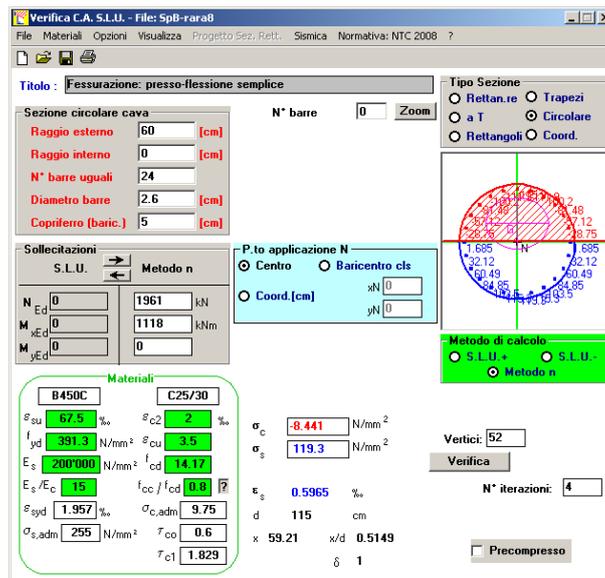
Verifica: Vertici: 52, N° iterazioni: 4

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 34 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

5.1.4 S.L.E. – Limitazione delle tensioni

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

	rara1	rara2	rara3	rara4	combinazione		rara7	rara8	qp1	qp2		
					rara5	rara6						
Sollecitazioni agenti												
LO =	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	m	lunghezza elastica del palo
h =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m	altezza tratto libero
N =	2360	2332	2404	2397	2064	2082	1944	1961	2093	2094	kN	sforzo assiale
V =	448	464	447	463	448	464	447	462	389	402	kN	taglio alla testa del palo
M _{max} =	1084	1122	1081	1119	1083	1122	1080	1118	941	973	kN*m	massimo momento flettente
Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio												
$\sigma_{c,max}$ =	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	14.94	11.21	11.21	[MPa]	massima tensione del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	-	8.44	-	-	[MPa]	tensione di calcolo del cls in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio												
$\sigma_{s,max}$ =	360	360	360	360	360	360	360	360			[MPa]	massima tensione dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$ =	-	-	-	-	-	-	-	119			[MPa]	tensione di calcolo dell'acciaio in esercizio
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				



5.2 VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

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

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
peso secco γ_d (kN/m ³)	19.1	20.4	19.6
peso saturo γ_{sat} (kN/m ³)	19.1	20.4	19.6
coesione non dren. cu (kPa)	70	198	158
coesione dren. c' (kPa)	12	36	26
angolo attrito phi' (°)	15	20	22

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 35 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

5.2.1 S.L.U. – Verifica a carico limite verticale

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

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

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

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

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

in condizioni non drenate, e come:

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

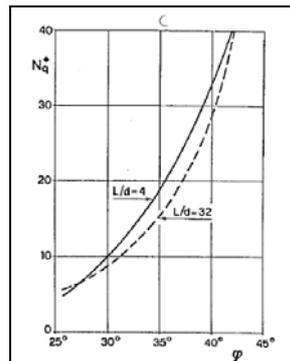
$$s_{lim,d} = k \mu \sigma_{vz}'$$

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

c_u (kPa)	α (-)
<25	0.9
25 ÷ 50	0.8
50 ÷ 75	0.6
≥ 75	0.4

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

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



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

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

	TRBa_1	TRBa_2a	TRBa_2b
coeff. N_q (cond. drenate)	4.0	4.0	4.0
coeff. N_c (cond. drenate)	11.2	8.4	7.5

Per i rapporti opere-terreni considerati nei calcoli, si è fatto riferimento al profilo geotecnico a corredo del presente progetto esecutivo. Nelle verifiche si è considerata l'assenza di falda. Di seguito le stratigrafie apprese dal profilo geotecnico sotto la spalla in esame.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 36 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

STRATIGRAFIA SOTTO SPICCATO FONDAZIONE SPALLA B - CARR. SX

strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale
		(m)	m	m
1° strato	TRBa_1	2	0	2
2° strato	TRBa_2a	9	2	11
3° strato	TRBa_2b	34	11	45

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

$$R_d \geq E_d$$

dove:

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

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

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

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

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

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{01}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{02}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{03}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

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

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 37 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito dei due approcci progettuali distinti e alternativi consentiti dal DM 14/01/08 per la progettazione geotecnica. Nel caso specifico, le verifiche geotecniche (GEO) in termini di capacità portante dei pali sono state condotte sulla base dell'approccio 2, con i coefficienti parziali → A1+M1+R3.

La capacità portante dei pali, determinata mediante procedura analitica basata sui parametri geotecnici dei terreni interessati, è stata ridotta del fattore di correlazione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate. Considerando l'adozione di una sola relazione analitica per la valutazione del carico limite si è assunto il fattore ζ_3 . Per i terreni interessati dall'opera in esame, il numero di verticali di indagine è 3.

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

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ζ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ζ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

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

azioni verticali massime in testa palo			caratteristiche pali fondazione			PP. Compensato	carico limite	
pila/spalla	statica	dinamica	diam. Palo	N° pali	lunghezza palo		Qlim_d	Qlim_u
	kN	kN	m		m	kN	kN	kN
spalla B	3671.8	3216.3	1.2	16	25	196.65	5355.118	4487.437

5.2.2 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.

D	=	1.20 m	diametro palo
L	=	25.00 m	lunghezza palo
M_y	=	2697.0 kNm	momento di plasticizzazione del palo
c_u	=	158.3 kPa	coesione non drenata

palo corto

$Q_{lim,1}$	=	39668.7 kN	carico limite per palo corto
M_{max}	=	531560 kNm	momento massimo

palo intermedio

$Q_{lim,2}$	=	14936.9 kN	carico limite per palo intermedio
f	=	8.7 m	
M_{max}	=	89431.7 kNm	momento massimo

palo lungo

$Q_{lim,3}$	=	2206.0 kN	carico limite per palo lungo
MR		PALO LUNGO	meccanismo di rottura
$Q_{lim,m}$	=	2206.0 kN	carico limite (valore medio)
ζ_3	=	1.60	fattore di correlazione
$Q_{lim,k}$	=	1378.8 kN	carico limite (valore caratteristico)
γ_T	=	1.30	coefficiente parziale
$Q_{lim,d}$	=	1060.6 kN	carico limite (valore di progetto)
F_h	=	981.2 kN	azione trasversale testa palo
FS		1.08	

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 38 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

6 ANALISI STRUTTURALE DELLA SPALLA A

Si descrive in questo capitolo l'analisi strutturale della spalla A della carreggiata sinistra.

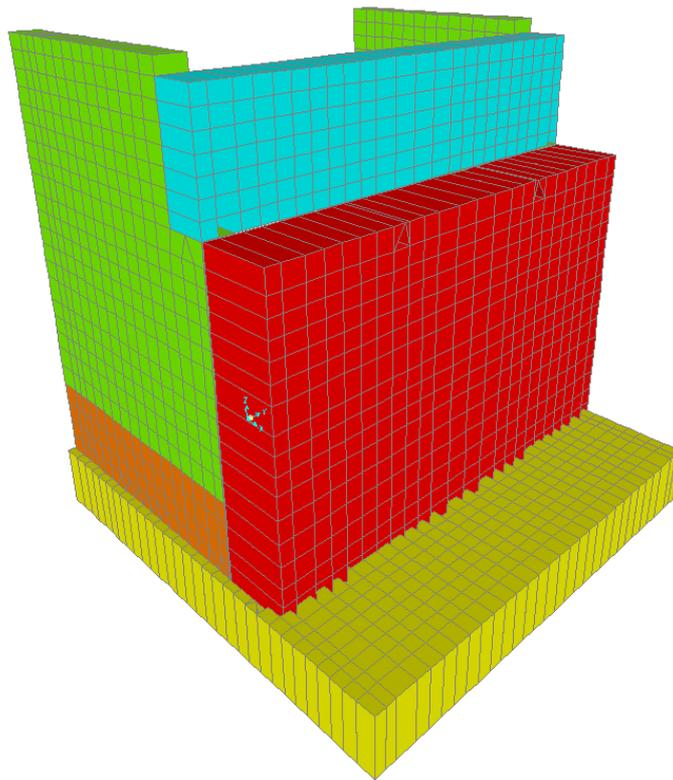
6.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

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



Geometrie Spalla

	n.	Bx	By	Bz,min
	[-]	[m]	[m]	[m]
plinto di fondazione	1	13.20	13.20	1.80
muro frontale	1	2.00	12.75	8.70
muro paraghiaia	1	1.20	12.75	3.20
muro laterale sx	1	8.05	0.80	12.30
muro laterale dx	1	8.05	0.80	12.30
bandiera sx	0	3.00	1.50	2.00
bandiera dx	0	1.00	1.00	1.00
baggioli	2	1.10	1.10	0.15
apparecchi di appoggio	2	0.90	0.90	0.35
elemento 1	0	5.40	0.60	4.40
elemento 2	0	5.40	0.60	4.40

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 40 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

	S.L.U.								q5								
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
e3.6-imp	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72
e3.8-imp	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0	0.72	0
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q4-imp	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	1.50	1.50	-1.50	-1.50	1.50	1.50	-1.50	-1.50	1.50
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

	S.L.U.								S.L.V.				S.L.qp							
	e3								q6.x				q6.y				q6.z			
g1-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
g1-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
g2-imp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
g2-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
g3-sp	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
e2-imp	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
e3.6-imp	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50			
e3.8-imp	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	1.20	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00			
q1.1-imp	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q1.2-imp	0	0	0	0	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q1t-sp	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q5-imp	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0.90	0.90	-0.90	-0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0			
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0			
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0			
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0			
q7-imp	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60			

	S.L.car								S.L.E.								S.L.freq				S.L.qp			
g1-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
g1-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
g2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
g2-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
g3-sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
e2-imp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
e3.6-imp	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60							
e3.8-imp	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00							
q1.1-imp	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0	0	0							
q1.2-imp	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	0	0	0	0	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75							
q1t-sp	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75							
q3-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q4-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q5-imp	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.60	0.60	-0.60	-0.60	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20	0.20	-0.20	-0.20	0.20							
q6.1x-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.1y-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.1z-imp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.1x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.2x-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.2y-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q6.2z-sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
q7-imp	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60							

6.4 SOLLECITAZIONI

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

Ricordiamo che non si è tenuto conto nel modello dell'effetto della frenatura sul terrapieno (C5.1.3.3.7.2, Circolare n. 617) in quanto, per il dimensionamento della trave paragonata risulta dimensionante la combinazione sismica. Infatti, nonostante il momento della combinazione sismica (valutato con un calcolo a mensola in una striscia centrale in corrispondenza dell'incastro con il muro frontale) risulti di leggermente inferiore rispetto a quello della combinazione statica (valutato nel medesimo punto e con il medesimo metodo), la sollecitazione nelle vicinanze dei muri andatori in combinazione sismica è di gran lunga maggiore di quella ottenuta considerando la frenatura.

S.L.U.- fren	M(g3)	17.7 kN*m	S.L.V.	M(g3)	13.1 kN*m
	M(q3)	102.9 kN*m		M(q6.1)	12.3 kN*m
	Mtot	120.5 kN*m		M(q6.2)	67.1 kN*m
			Mtot	92.5 kN*m	

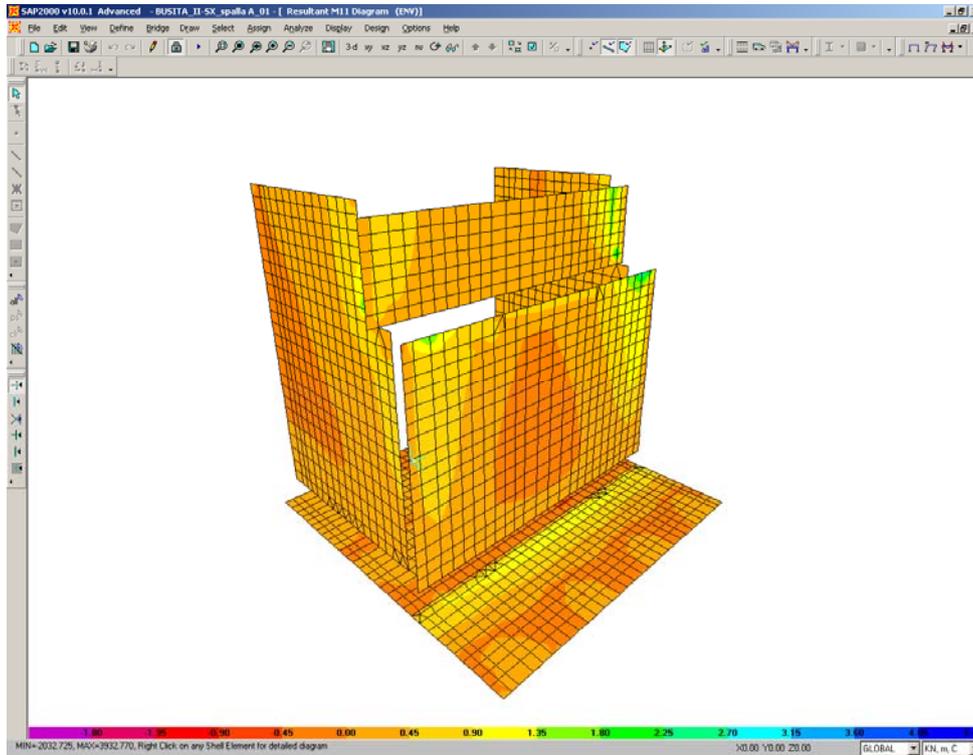
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA
ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19
S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M.
5.11.2001
Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19
Progetto Esecutivo

Opera: **Viadotto Busita II**

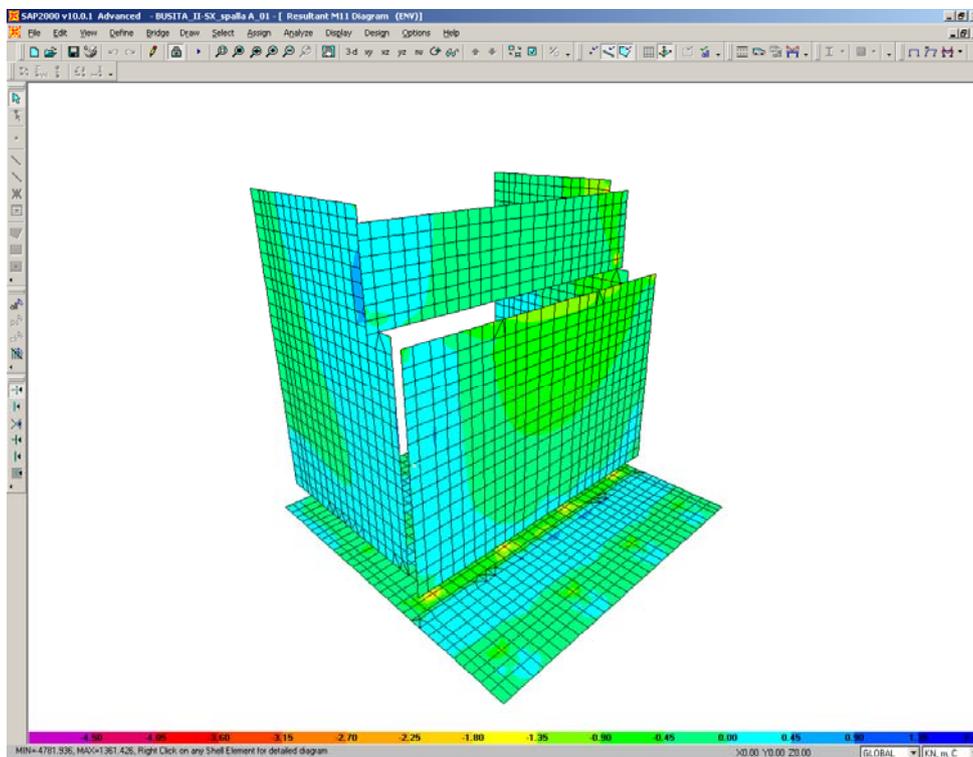
Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx

Pagina 41 di 56

Nome file: VI07-B-CL007-
A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx



M11max



M11min

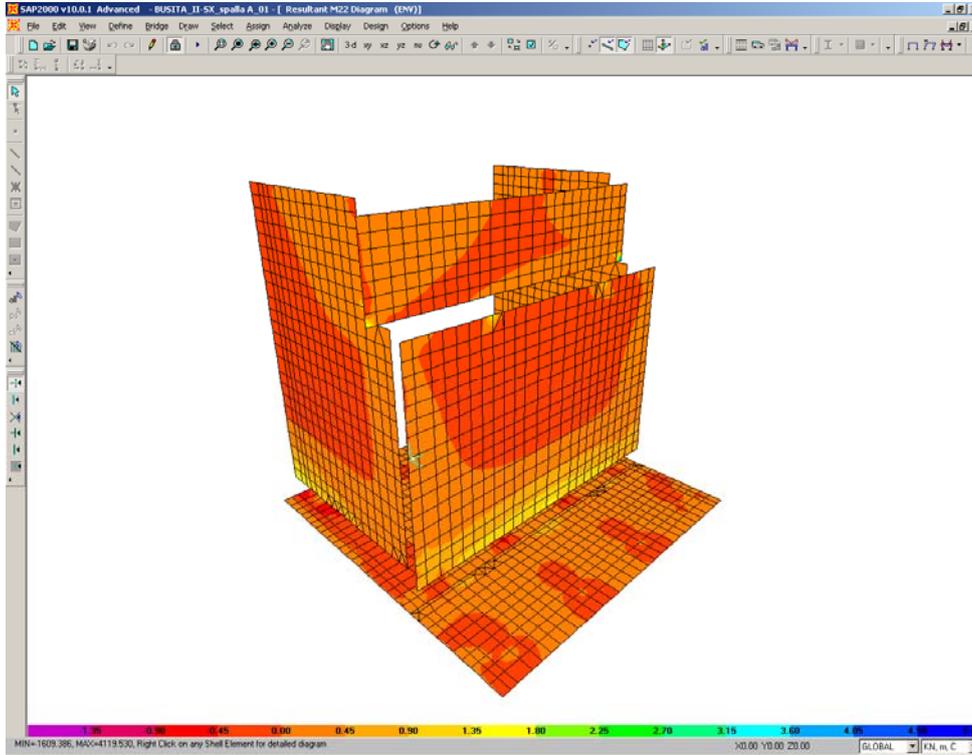
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA
ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19
S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M.
5.11.2001
Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19
Progetto Esecutivo

Opera: **Viadotto Busita II**

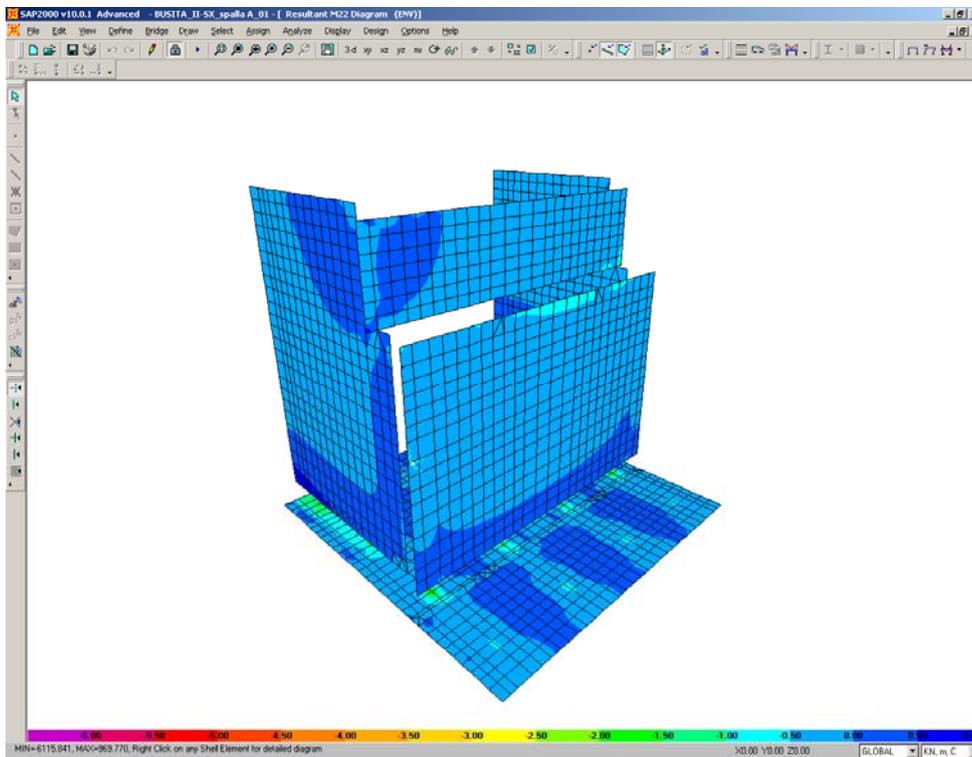
Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx

Pagina 42 di 56

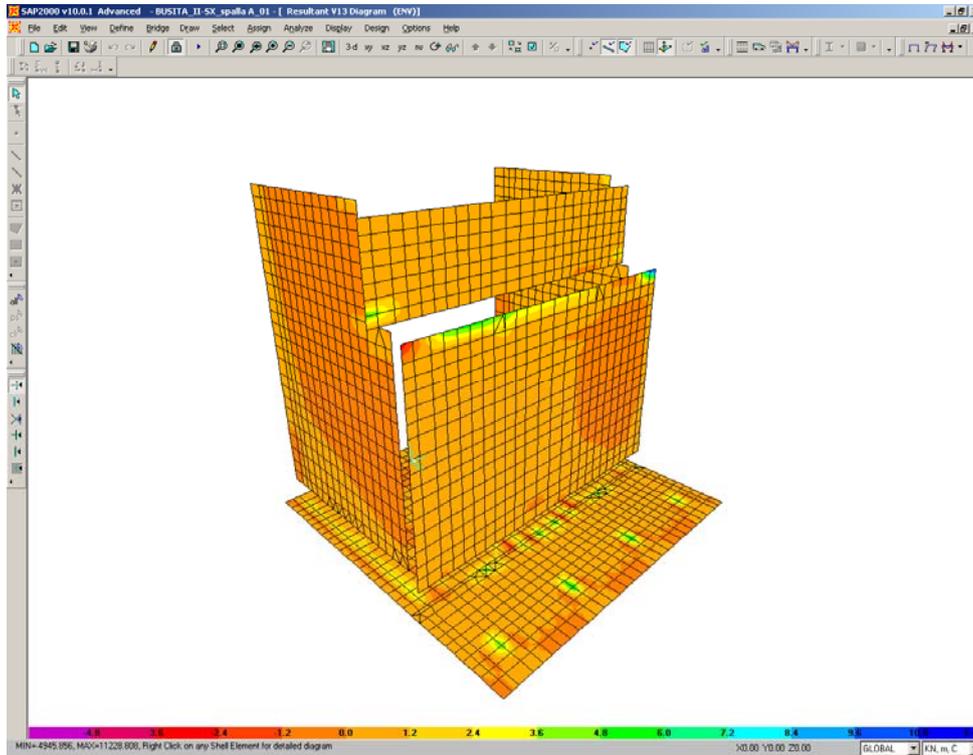
Nome file: VI07-B-CL007-
A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx



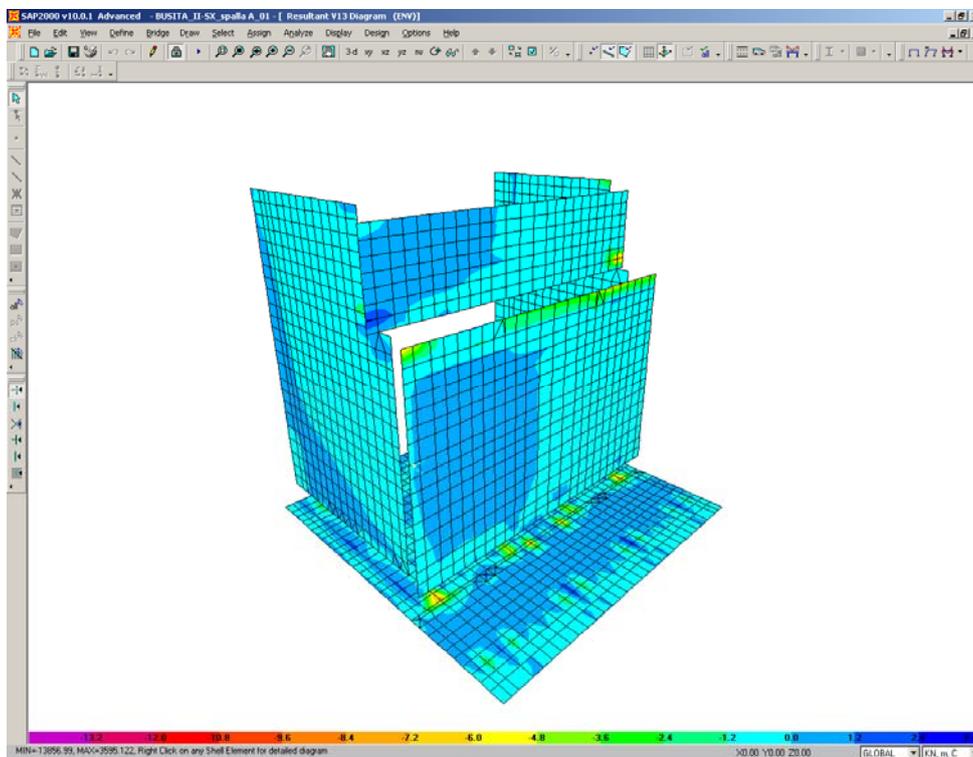
M22max



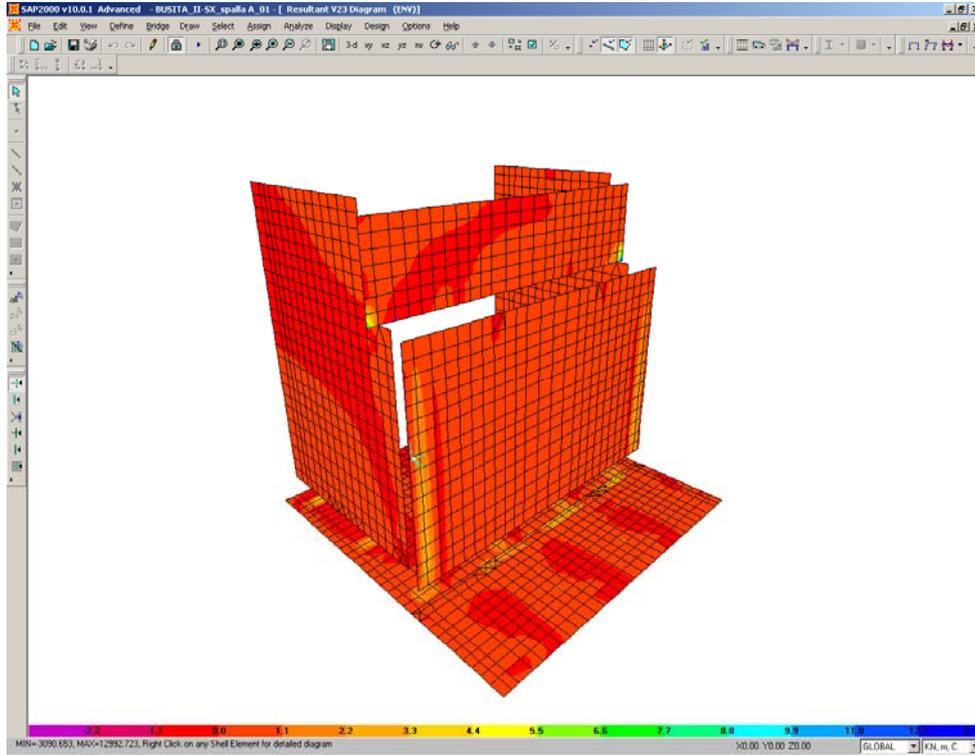
M22min



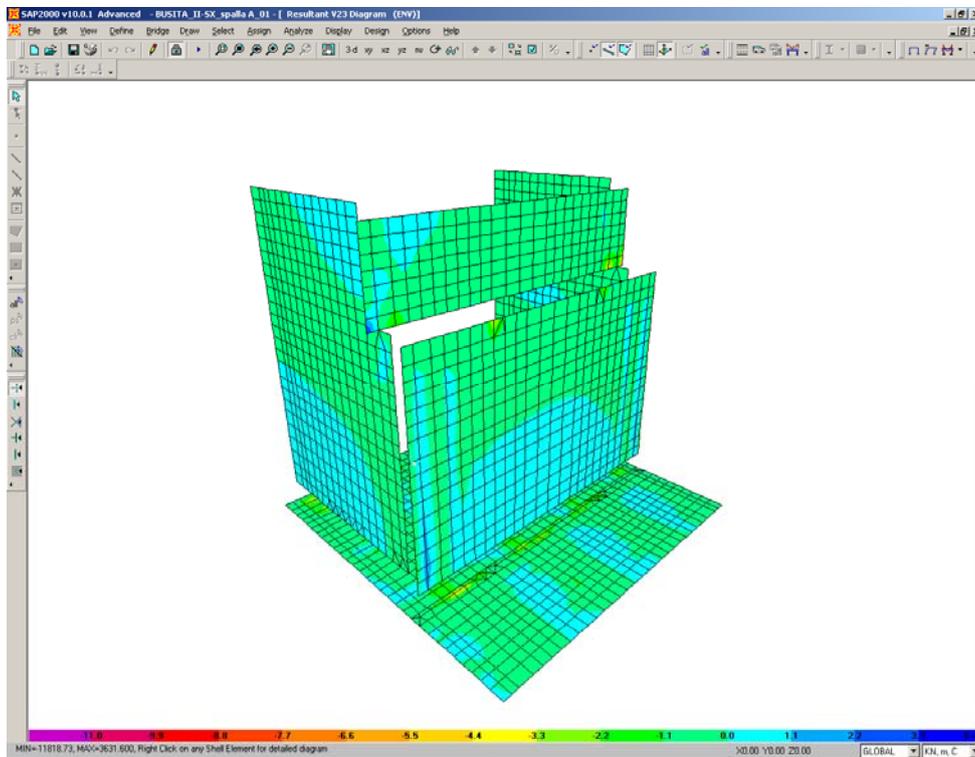
V13max



V13min

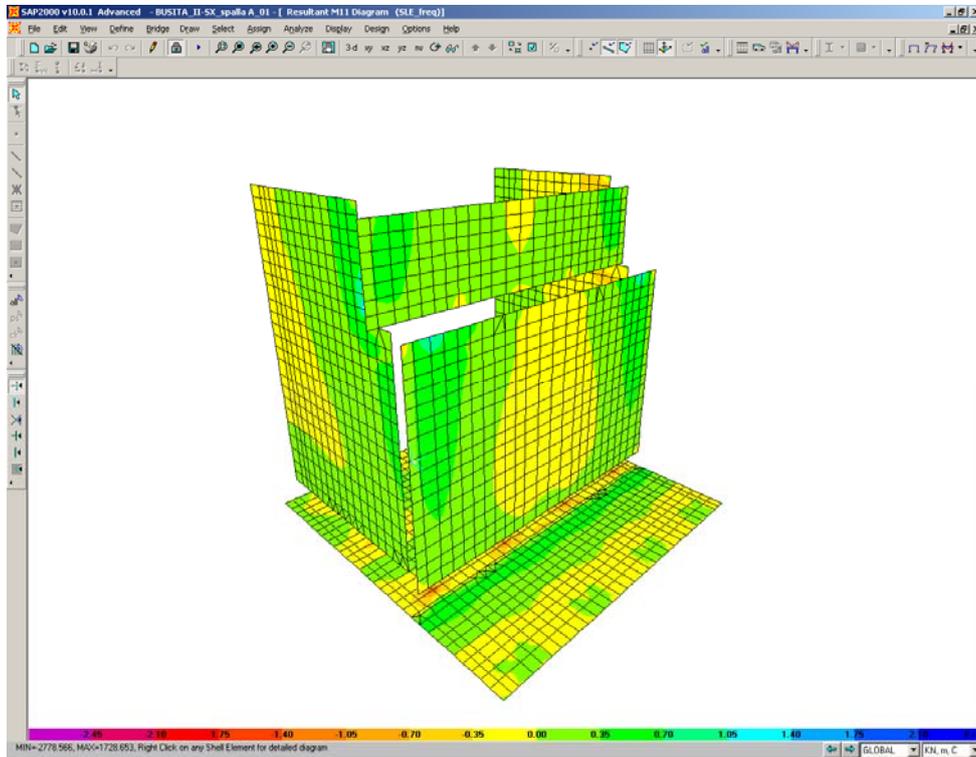


V23max

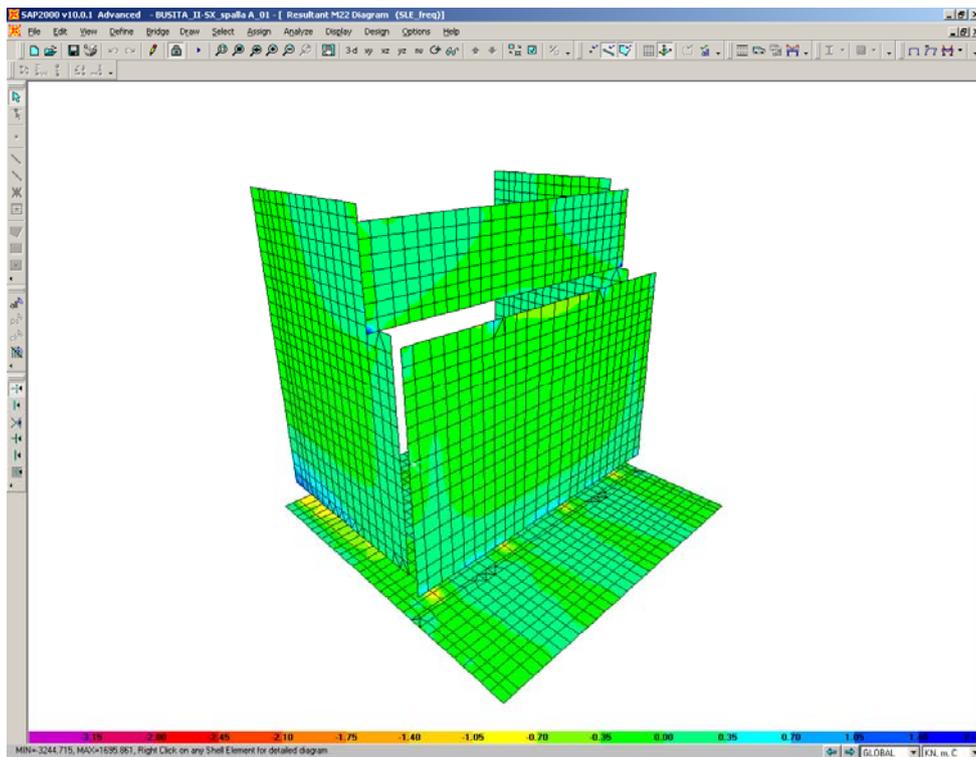


V23min

Sono ora presentate le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11, M22) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite di esercizio (combinazioni frequenti), necessarie per effettuare le verifiche a fessurazione.

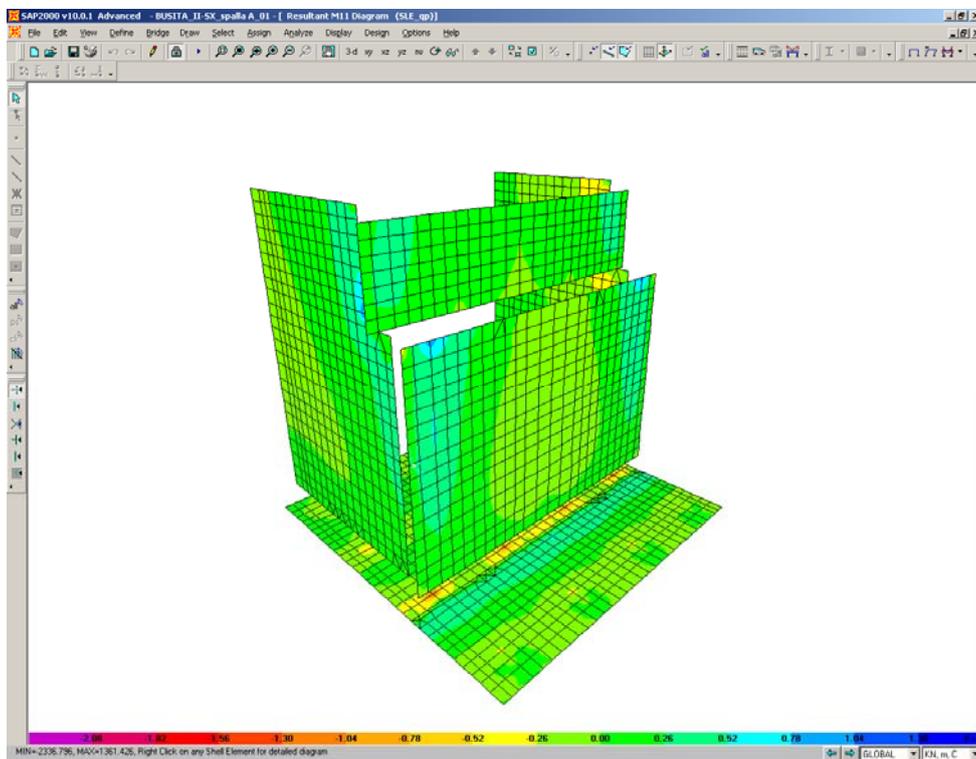


M11

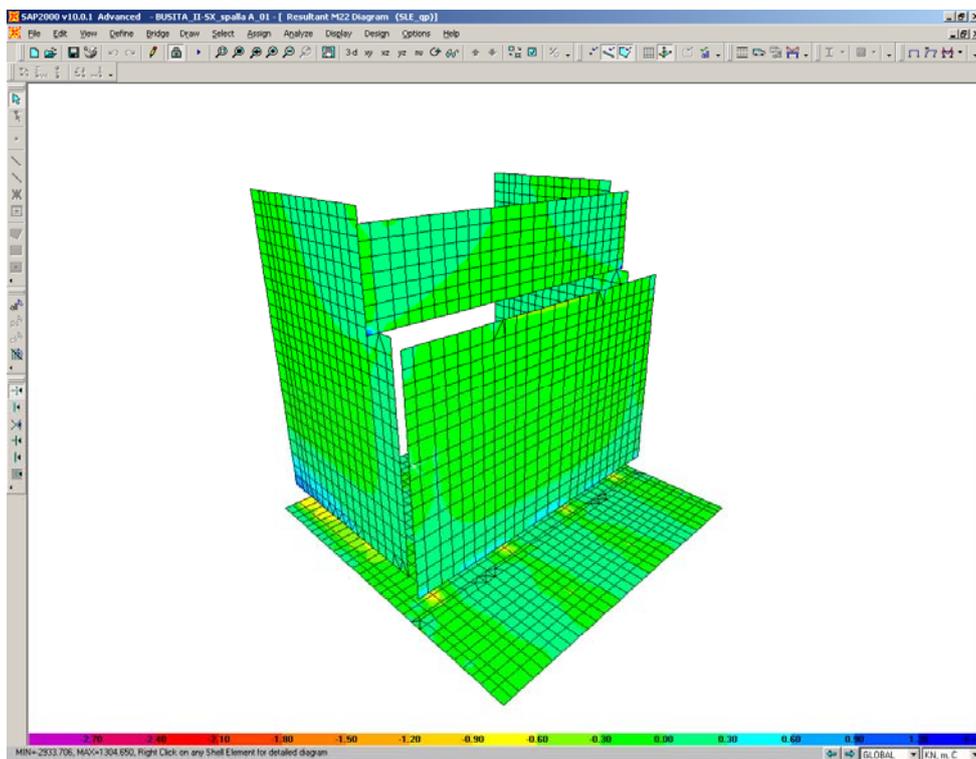


M22

Infine si riportano di seguito le schermate delle sollecitazioni risultanti (M11, M22) per l'involuppo delle combinazioni relative allo stato limite di esercizio (combinazioni quasi permanenti), necessarie anch'esse per effettuare le verifiche a fessurazione.



M11



M22

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 47 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

6.5 ARMATURA A FLESSIONE DEGLI ELEMENTI

Sulla base delle sollecitazioni ottenute è stata disposta la seguente armatura a flessione, avendo di cura di definire due sezioni per il muro andatore, una che si estende per 2.00 m in altezza a partire dall'estradosso del plinto ed un'altra che considera la restante parte di muro.

		Armatura Lato terra				Ferri		Armatura Lato fuori terra					
		A _{res,1}		A _{res,2}	A _{res,TOT}		A _{res,1}		A _{res,2}	A _{res,TOT}			
		[cm ²]		[cm ²]	[cm ²]		[cm ²]		[cm ²]	[cm ²]			
plinto	X	5 Φ 22	19.0	+	0 Φ 0	0.0	19.0	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
	Y	5 Φ 22	19.0	+	0 Φ 0	0.0	19.0	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
muro	Y	5 Φ 22	19.0	+	0 Φ 0	0.0	19.0	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
front	Z	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
trave	Y	5 Φ 20	15.7	+	5 Φ 20	15.7	31.4	5 Φ 20	15.7	+	0 Φ 0	0.0	15.7
paragh	Z	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
muro	X	5 Φ 18	12.7	+	5 Φ 18	12.7	25.4	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
and inf	Z	5 Φ 26	26.5	+	5 Φ 26	26.5	53.1	5 Φ 18	12.7	+	5 Φ 18	12.7	25.4
muro	X	5 Φ 26	26.5	+	5 Φ 26	26.5	53.1	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7
and sup	Z	5 Φ 26	26.5	+	0 Φ 0	0.0	26.5	5 Φ 18	12.7	+	0 Φ 0	0.0	12.7

Per il plinto lato terra = superiore, lato fuori terra = inferiore

6.6 VERIFICA DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LA SPALLA

6.6.1 S.L.U. – Resistenza: presso-flessione

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

		M _{Ed} ^{ter}	M _{Rd} ^{ter}		M _{Ed} ^{f.ter}	M _{Rd} ^{f.ter}	
		[kN*m]	[kN*m]		[kN*m]	[kN*m]	
plinto	X	1150	1282	OK	840	861	OK
	Y	1020	1289	OK	710	751	OK
muro	Y	1370	1429	OK	870	960	OK
front	Z	980	1038	OK	490	1038	OK
trave	Y	1210	1379	OK	550	697	OK
paragh	Z	270	554	OK	180	554	OK
muro	X	610	727	OK	230	367	OK
and inf	Z	1460	1485	OK	280	428	OK
muro	X	1450	1480	OK	160	367	OK
and sup	Z	510	526	OK	190	357	OK

6.6.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

Per quanto riguarda la platea si è ritenuto opportuno disporre un cavallotto al metro quadro per assolvere la funzione di armatura resistente a taglio, mentre sugli altri elementi sono state disposte staffe aperte (a C) a passo costante (20 cm) nelle due direzioni.

Considerando una striscia di un metro di parete, 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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 48 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

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

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

dove:

d :	altezza utile della sezione
b_w :	base equivalente della sezione
A_{sw} :	area dell'armatura trasversale
s :	interasse tra due armature trasversali consecutive
α_c :	coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale
$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$:	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

	plinto	muro fr	tr paragh	m and inf	m and sup			
Sollecitazioni								
V	=	1610	2870	2200	1310	1280	kN	taglio di calcolo
N	=	0	96	0	206	0	kN	sforzo assiale di calcolo
Geometria								
h	=	1800	2000	1200	800	800	mm	altezza della sezione
d'	=	30	30	30	30	30	mm	copriferro
d	=	1770	1970	1170	770	770	mm	altezza utile della sezione
b_w	=	1000	1000	1000	1000	1000	mm	base della sezione
Materiali								
R_{ck}	=	35	35	35	35	35	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck}	=	29.05	29.05	29.05	29.05	29.05	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
γ_c	=	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α_{cc}	=	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f_{cd}	=	16.46	16.46	16.46	16.46	16.46	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f_{cd}'	=	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	MPa	resistenza ridotta
γ_s	=	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15		coefficiente di sicurezza acciaio
f_{yk}	=	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	MPa	tensione caratteristica di snervamento acciaio
f_{yd}	=	391.3	391.3	391.3	391.3	391.3	MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio
Verifica per elementi provvisti di armatura a taglio								
\varnothing_w	=	26	14	14	14	14	mm	diametro dell'armatura a taglio
α	=	90	90	90	90	90	°	inclinazione dell'armatura trasversale
s	=	1'000	200	200	200	200	mm	passo staffe in direzione longitudinale
n_{br}	=	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0		numero bracci
A_{sw}	=	1'061.86	769.69	769.69	769.69	769.69	mm ²	area resistente dell'armatura a taglio
ctg θ	=	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50		inclinazione delle bielle di calcestruzzo
σ_{cp}	=	0.000	0.048	0.000	0.258	0.000	MPa	tensione media calcestruzzo
$\sigma_{cp,ad}$	=	0.000	0.048	0.000	0.258	0.000	MPa	tensione media di compressione adottata (<=0.2fcd)
α_c	=	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00		
V_{Rsd}	=	1654.8	6675.0	3964.3	2609.0	2609.0	kN	resistenza taglio trazione
V_{Rcd}	=	9365.5	10454.2	6190.8	4138.0	4074.3	kN	resistenza taglio compressione
V_{Rd}	=	1654.8	6675.0	3964.3	2609.0	2609.0	kN	resistenza a taglio
FS	=	1.03	2.33	1.80	1.99	2.04		

Si considera agente come sforzo assiale sul muro frontale il peso della trave paraghiaia e sul muro andatore inferiore il peso della porzione di muro andatore sovrastante.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 51 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

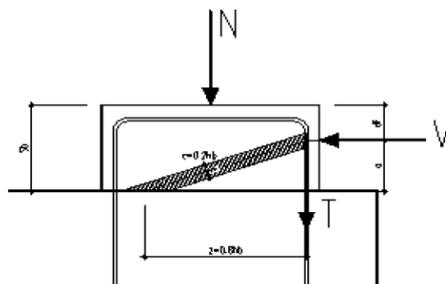
7 ANALISI STRUTTURALE DELLA SPALLA B

Essendo la spalla B della carreggiata sinistra molto simile in termini geometrici alla spalla A della carreggiata destra (presenta solo il muro frontale più basso di 120 cm) ed essendo rispetto a questa soggetta a carichi meno elevati, si è omesso l'analisi strutturale di tale spalla, ritenendo il dimensionamento dell'altra spalla valido anche per questa.

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 52 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

8 BAGGIOLI

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



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

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

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

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

in cui:

N = carico concentrato all'appoggio

b = larghezza del baggiolo

b₀ = larghezza dell'appoggio

RIEPILOGO Baggioli più sollecitati

	combinazione	
	Nmax	Vmax
Fz	5278	1809
Vx	254	803
baggiolo	SpB-D	SpB-S

Materiali

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

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 53 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

Mensola

F_{Ed}	=	SpB-D	SpB-S		
		5278	1809	kN	azione verticale di calcolo appoggio
H_{Ed}	=	254	803	kN	azione orizzontale di calcolo appoggio

Geometria

b_1	=	1100	1100	mm	larghezza baggiolo
b_2	=	1100	1100	mm	lunghezza baggiolo
$b_{3,max}$	=	400	400	mm	altezza baggiolo (massima: a favore di sicurezza)
b_0	=	950	950	mm	larghezza appoggio
c	=	30	30	mm	copriferro
d	=	1070	1070	mm	altezza utile
z	=	856	856	mm	braccio della coppia interna
x_1	=	12.8	40.6	mm	larghezza biella compressa
y_1	=	214.0	214.0	mm	altezza biella compressa
a	=	406.4	420.3	mm	
α	=	0.44	0.46	rad	

Verifica puntone e tirante principale (armatura orizzontale)

C	=	281	895	kN	risultante di compressione
T	=	121	394	kN	risultante di trazione
σ_c	=	0.60	1.90	MPa	tensione di compressione nel puntone
FS	=	30.14	9.47		
n	=	6	6		numero ferri superiore
\emptyset	=	16	16	mm	diametro armatura superiore
A_s	=	1206.4	1206.4	mm ²	area armatura superiore
σ_s	=	99.99	326.98	MPa	tensione di trazione nel tirante
FS	=	3.91	1.20		

Verifiche a fenditura (armatura verticale)

T	=	218	75	kN	risultante forza di taglio
A_s	=	557.4	557.4	mm ²	armatura necessaria
n_{str}	=	2	2		numero strati
n_{br}	=	8	8		numero bracci x strato
\emptyset_w	=	14	14	mm	diametro staffe
A_{sw}	=	2463.0	2463.0	mm ²	armatura di progetto
FS	=	4.42	4.42		

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: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 54 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

9 DISPOSITIVI ANTISISMICI

Vengono disposti degli isolatori elastomerici con l'obiettivo di migliorare la risposta della struttura in caso di eventi sismici. Essi consentono sostanzialmente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento orizzontale della struttura isolata. I dispositivi previsti presentano le seguenti caratteristiche:

V	12130	kN	massimo carico verticale agente sull'isolatore in fase di sisma
F _{zd}	21220	kN	massimo carico verticale allo S.L.U. in esercizio
K _e	5.30	kN/mm	rigidezza orizzontale equivalente
K _v	3546	kN/mm	rigidezza verticale
d	0.300	m	massimo spostamento dell'isolatore
D _g	0.900	m	diametro dell'elastomero
W	1049	kg	peso dell'isolatore

A partire dal modello di calcolo globale sono state determinate le massime azioni verticali in fase di sisma (S.L.C.) e statica (S.L.U.) sui singoli isolatori per verificarne la loro portanza.

Azioni trasmesse dall'impalcato								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	spalla
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
SpA-D	G1+G2	1	1	923	0	0	0	
SpA-D	E2	24	0	-97	0	0	0	
SpA-D	E3	83	1	107	0	0	0	
SpA-D	Q1	2	0	1600	0	0	0	
SpA-D	Q5	46	77	14	0	0	0	
SpA-D	Q7	9	0	0	0	0	0	
SpA-S	G1+G2	0	1	910	0	0	0	spalla A
SpA-S	E2	24	0	-99	0	0	0	
SpA-S	E3	84	1	109	0	0	0	
SpA-S	Q1	0	1	1142	0	0	0	
SpA-S	Q5	19	77	-13	0	0	0	
SpA-S	Q7	9	0	0	0	0	0	
SpB-D	G1+G2	1	6	1810	0	0	0	
SpB-D	E2	29	3	-74	0	0	0	
SpB-D	E3	113	15	110	0	0	0	
SpB-D	Q1	1	6	2084	0	0	0	
SpB-D	Q5	21	248	35	0	0	0	
SpB-D	Q7	18	0	0	0	0	0	
SpB-S	G1+G2	0	6	1797	0	0	0	spalla B
SpB-S	E2	30	3	-72	0	0	0	
SpB-S	E3	114	16	111	0	0	0	
SpB-S	Q1	0	1	1592	0	0	0	
SpB-S	Q5	8	243	-30	0	0	0	
SpB-S	Q7	18	0	0	0	0	0	

Azione sismica (S.L.C. - max Fz)								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	spalla
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
SpA-D	Q6	211	58	44	0	0	0	spalla A
SpA-S	Q6	212	58	45	0	0	0	
SpB-D	Q6	211	70	52	0	0	0	spalla B
SpB-S	Q6	212	69	57	0	0	0	

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Viadotto Busita II
	Relazione di Calcolo Spalle_carr_sx
	Pagina 55 di 56
	Nome file: VI07-B-CL007- A_relazione_calcolo_spalle_sx.doc_sx

Azioni totali sugli appoggi (Combinazione sismica - max Fz)								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	spalla
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
SpA-D	S.L.C.	283	59	924	0	0	0	spalla A
SpA-S	S.L.C.	284	59	911	0	0	0	
SpB-D	S.L.C.	308	86	1843	0	0	0	spalla B
SpB-S	S.L.C.	310	86	1836	0	0	0	
		310	86	1843				

Azioni totali sugli appoggi (Combinazione fondamentale)								
Joint	OutputCase	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	spalla
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
SpA-D	S.L.U.	143	72	3378	0	0	0	spalla A
SpA-S	S.L.U.	116	73	2719	0	0	0	
SpB-D	S.L.U.	155	254	5278	0	0	0	spalla B
SpB-S	S.L.U.	141	243	4541	0	0	0	
		155	254	5278				

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

S.L.C.

	SpA-D	SpA-S	SpB-D	SpB-S		
$d_{Q6,x}$	0.133	0.133	0.132	0.133	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma longitudinale
$d_{Q6,y}$	0.036	0.036	0.042	0.042	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al sisma trasversale
$d_{E2,x}$	0.004	0.005	0.006	0.006	m	dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
$d_{E3,x}$	0.045	0.045	0.061	0.061	m	dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
$d_{E,tot}$	0.164	0.164	0.174	0.175	m	spostamento longitudinale totale dell'impalcato

S.L.U.

	SpA-D	SpA-S	SpB-D	SpB-S		
$d_{E2,x}$	0.004	0.005	0.006	0.006	m	dilatazione dell'impalcato dovuto al ritiro
$d_{E3,x}$	0.045	0.045	0.061	0.061	m	dilatazione dell'impalcato dovuto all'effetto termico
$d_{Q1,y}$	0.003	0.003	0.008	0.008	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto ai carichi mobili
$d_{Q5,y}$	0.015	0.015	0.047	0.046	m	spostamento longitudinale dell'impalcato dovuto al vento
$d_{E,tot}$	0.042	0.042	0.074	0.073	m	spostamento longitudinale totale dell'impalcato

Il massimo spostamento dell'isolatore è pari a 175 mm, inferiore quindi al massimo spostamento consentito all'isolatore, pari a 300 mm.