



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

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

VARIANTE TECNICA N°4

ai sensi dell'art. 176, comma 5, secondo periodo lettera "a" e lettera "b", del D.Lgs. N. 163/2006 e Art. 11 del CSA-NG

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. **CARLO DAMIANI**

OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

Ponte San Giuliano

Carreggiata SX

Pila Provvisoria - Relazione di calcolo

Empedocle 2 s.c.p.a.

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

2481-72

Codice Elaborato:

PA12_09 - V 1 4 7 V I 2 0 4 V I 0 4 C C L 1 7 1 B

Scala:

-

F																	
E																	
D																	
C																	
B	Aprile 2021	Aggiornamento Cartiglio										A. ANTONELLI	A.FINAMORE				
A	Ottobre 2019	Revisione nota DL nr.003/CD/19 del 05.02.2019										A. ANTONELLI	A. ANTONELLI				
REV.	DATA	DESCRIZIONE										REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO		

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza:



Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. LUIGI MUPO

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina I
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

INDICE

1	GENERALITÀ	2
1.1	INTRODUZIONE	2
1.2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL VIADOTTO.....	2
1.3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	3
1.3.1	<i>Condizioni ambientali e classi di esposizione</i>	3
1.3.2	<i>Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata</i>	4
1.4	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
2	MODELLO DI CALCOLO	5
2.1	DESCRIZIONE ELEMENTI DEL MODELLO	5
2.2	MODELLO PILE PROVVISORIE.....	5
2.2.1	<i>Condizioni di carico</i>	6
2.2.2	<i>Combinazioni di carico S.L.U.</i>	6
3	AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO (SETECO)	7
4	VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE.....	9
4.1	SOLLECITAZIONI PLATEA	9
4.2	VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI	11
4.2.1	<i>Verifica a Flessione</i>	11
4.2.2	<i>Verifica a Taglio</i>	11
5	VERIFICA PALI DI FONDAZIONE	12
5.1	VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI	12
5.1.1	<i>Verifica a presso-flessione</i>	12
5.1.2	<i>Verifica a taglio</i>	12
6	VERIFICA GEOTECNICA DEI PALI	13
6.1	CRITERI DI VERIFICA.....	13
6.2	CARICO LIMITE VERTICALE.....	15
6.2.1	<i>Criteria di calcolo del carico limite verticale</i>	15
6.2.2	<i>Risultati</i>	16
6.3	CARICO LIMITE ORIZZONTALE	17
6.3.1	<i>Criteria di calcolo del carico limite orizzontale</i>	17
6.3.2	<i>Risultati</i>	18

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 2
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

1 GENERALITÀ

1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di sicurezza della pila provvisoria per il varo del ponte San Giuliano, previsto nell'ambito del progetto esecutivo "CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA - ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 - S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" - AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 - Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19".

1.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL VIADOTTO

Il ponte è in singola campata, di lunghezza 170 m, con struttura a archi esterni inclinati controventati, a via inferiore. Le travi catena delle strutture ad arco fungono da appoggio per i traversi.

La soletta ha larghezza totale di 17.50 m in cui la carreggiata comprenderà due corsie di transito larghe 3.50 m più due banchine di 1.25 m e 1.75 m, per un totale di 10.5 m. La distanza tra gli assi delle travi catena è pari a 18.0 m. Gli elementi di arredo sono costituiti dai sicurvia disposti ai margini della carreggiata.

La parte metallica dell'impalcato è costituita da:

- due travi catena con sezioni a doppio T saldate composte con anime inclinate di altezza costante pari a 3 m;
- traversi con sezione a doppio T, composta da piatti di diverso spessore, considerati incernierati alle travi catena ad interasse massimo di 8.5 m;
- archi esterni inclinati con sezione a doppio T saldato composto inclinata di altezza costante pari a 2.50 m. Gli archi sono collegati con traversi costituiti da profili a doppio T e controventati con elementi tubolari.
- Travi di spina con sezione a doppio T, composta da piatti di diverso spessore, considerati incernierati ai traversi ad interasse massimo di 4.3 m.

Infine la sezione trasversale del ponte è completata da una soletta con spessore di 26 cm, gettata su lastre in acciaio tralicciate e piolate. Queste lastre sono connesse alla carpenteria metallica tramite saldatura. La collaborazione tra soletta e struttura metallica è garantita dalla presente sugli elementi di connettori tipo Nelson.

Lo schema degli appoggi del ponte prevede tutti apparecchi di appoggio antisismici a pendolo scorrevole e una chiave di taglio in ognuna delle due spalle posta centralmente tra i due appoggi.

Il sistema fondale delle spalle è costituito da un pozzo di fondazione circolare di diametro pari a 11 m realizzato con una corona circolare di pali.

Le zattere di fondazione della due spalle hanno forma ottagonale in pianta con dimensioni massime di 24.00 m x 16.00 m; l'altezza è di 2.50 m. Il fusto delle spalle ha una sezione di base di 22.00 m x 3.60 m e altezza pari a 3.50 m relativamente alla spalla A e 6.50 m relativamente alla spalla B.

All'interno del fusto in direzione perpendicolare all'asse stradale sono presenti, rispettivamente nella spalla A e nella spalla B, 26 e 18 barre di precompressione Dywidag.

La pila provvisoria per il varo, posta in corrispondenza della mezzeria del ponte, è costituita da una zattera rettangolare di 7.50 m x 30.60 m x 2.00 m. Il sistema fondale è costituito da 14 pali di diametro pari a 1.5 m e lunghezza pari a 36 m, posti ad un interasse di 4.60 m in direzione trasversale e 4.50 m in direzione longitudinale.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 3
	Nome file: 2481-72_V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

1.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.3.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Calcestruzzo Pali – C28/35

Resistenza a compressione caratteristica cubica	Rck	Mpa	35
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 Rck$	Mpa	29.05
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	Mpa	37.05
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	Mpa	2.83
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	Mpa	3.40
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	Mpa	1.98
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	Mpa	2.38
Modulo elastico	$E_c = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	Mpa	32588

STATI LIMITE ULTIMI

	Var	unità	
coefficiente γ_c	γ_c		1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	Mpa	16.46
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	1.32

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

	Var	unità	
$\sigma_{c \max}$ - combinazione di carico rara	$\sigma_{c \max} = 0.60 f_{ck}$	Mpa	17.43
$\sigma_{c \max}$ - combinazione di carico q.perm.	$\sigma_{c \max} = 0.45 f_{ck}$	Mpa	13.07

ANCORAGGIO DELLE BARRE

	Var	unità	
Tensione tangenziale ultima di aderenza $\phi \leq 32$ mm	$f_{bd} = 2.25 f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	2.98

Calcestruzzo zattere di fondazione – C32/40

Resistenza a compressione caratteristica cubica	Rck	Mpa	40
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 Rck$	Mpa	33.20
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	Mpa	41.20
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	Mpa	3.10
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	Mpa	3.72
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	Mpa	2.17
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	Mpa	2.60
Modulo elastico	$E_c = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	Mpa	33643

STATI LIMITE ULTIMI

	Var	unità	
coefficiente γ_c	γ_c		1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	Mpa	18.81
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	1.45

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

	Var	unità	
$\sigma_{c \max}$ - combinazione di carico rara	$\sigma_{c \max} = 0.60 f_{ck}$	Mpa	19.92
$\sigma_{c \max}$ - combinazione di carico q.perm.	$\sigma_{c \max} = 0.45 f_{ck}$	Mpa	14.94

ANCORAGGIO DELLE BARRE

	Var	unità	
Tensione tangenziale ultima di aderenza $\phi \leq 32$ mm	$f_{bd} = 2.25 f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	3.25

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 4
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

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

ACCIAIO PER C.A. 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
$f_{t,nom}$	≥	$f_{t,nom}$		tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k$	≥	1.15		
$(f_t/f_y)_k$	<	1.35		
γ_s	=	1.15		coefficiente di sicurezza
f_{yd}	=	391	MPa	tensione di snervamento di calcolo
σ_s	=	360.0	MPa	massima tensione in esercizio

1.4 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

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

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

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

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 5
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

2 MODELLO DI CALCOLO

2.1 DESCRIZIONE ELEMENTI DEL MODELLO

Il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione delle pile è stato eseguito con il metodo degli elementi finiti, utilizzando il codice di calcolo SAP2000 (SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA).

La geometria delle due pile è stata definita mediante l'assegnazione delle coordinate geometriche dei nodi della struttura rispetto ad un sistema di riferimento fisso cartesiano ortogonale destrorso XYZ. Questo riferimento ha gli assi X e Y orizzontali e l'asse Z verticale ascendente.

Le strutture sono state modellate mediante elementi finiti monodimensionali e con elementi piani a quattro e/o a tre nodi con comportamento sia membranale che flessionale.

Per ogni elemento del modello strutturale è stato inoltre definito un proprio sistema di riferimento locale rispetto al quale sono state assegnate le proprietà geometriche ed inerziali ed i carichi sull'elemento, e rispetto al quale è fornita la risposta (in termini di spostamenti dei nodi e di caratteristiche di sollecitazione) dal codice di calcolo.

Gli assi del riferimento locale sono contrassegnati dai numeri 1, 2 e 3 ed il loro orientamento rispetto al riferimento globale XYZ è assegnato in modo diverso a seconda del tipo di elemento finito ("frame" o "shell"). Sia per gli elementi "frame" che per gli elementi "shell" uno degli assi locali rimane automaticamente individuato dalla geometria dello stesso elemento finito.

Per gli elementi "frame" il primo asse (1) è diretto secondo l'asse dell'elemento, mentre gli altri due assi (2 e 3) giacciono in un piano ortogonale all'elemento e che viene definita dall'utente. Per gli elementi "shell" i primi due assi locali giacciono nel piano dell'elemento con una orientazione che può essere definita dall'utente; il terzo asse è ortogonale a questi.

Le caratteristiche geometriche degli elementi "frame" sono state assegnate, definendo soltanto il materiale e la forma della sezione, il programma infatti determina in modo automatico per diversi tipi di sezioni le caratteristiche inerziali (area, momenti di inerzia) della sezione.

Per gli elementi "shell" è stato sufficiente definire lo spessore per assegnare le caratteristiche geometriche dei setti e delle platee di fondazione.

2.2 MODELLO PILE PROVVISORIE

Le sollecitazioni sugli elementi costituenti le pile provvisorie sono stati determinati tramite un modello che ricalca fedelmente la geometria delle due pile. La platea ed i pali sono stati modellati rispettivamente utilizzando elementi "shell" e "frame", per i quali è stato sufficiente definirne rispettivamente lo spessore e la sezione, assegnando il materiale previsto. In merito alle azioni agenti sulla pila provvisoria dovuta alla frana, si può ritenere che dato il breve periodo di funzionamento (inferiore ad un anno), esse provochino piccole deformazioni assorbibili con ampi margini di sicurezza dalle robuste strutture della pila stessa.

Il pali sono stati vincolati lateralmente mediante molle elastiche uniformemente distribuite lungo il contorno della sezione. L'interazione terreno-struttura viene schematizzata secondo il modello di Winkler, attraverso l'uso di molle elastiche tra loro indipendenti. In mancanza di specifiche prove sperimentali la calibrazione della costante elastica di Winkler K_h rappresentativa del comportamento del terreno nella porzione inferiore del fusto del pozzo è stata effettuata a partire da correlazioni di letteratura. In particolare è stata utilizzata la correlazione proposta da Broms (1964) e modificata da Davisson (1970) che lega la costante K_h alla coesione non drenata del terreno, oltre che naturalmente alle proprietà geometriche del palo:

$$K_h = 67 \frac{C_u}{D}$$

Alla base di ogni singolo palo è stata inserita una molla verticale che schematizza il comportamento del terreno.

Le azioni sollecitanti introdotte nel modello sono elencate nel capitolo 3 della presente relazione

Si riporta di seguito un'immagine del modello descritto.

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 6
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

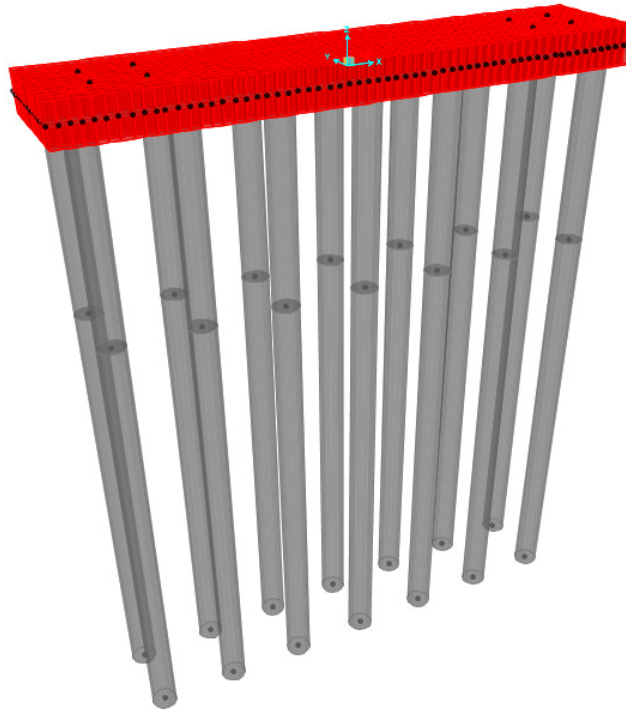


Immagine modello pila provvisoria

2.2.1 Condizioni di carico

Le azioni applicate alla struttura sono definite in gruppi separati detti "Load Case" (CCE), che sono riportate di seguito.

TABLE: Load Pattern Definitions		
LoadPat	DesignType	SelfWtMult
Text	Text	Unitless
DEAD	DEAD	1
G2	SUPER DEAD	0
Vento long	WIND	0
Vento trasv	WIND	0

2.2.2 Combinazioni di carico S.L.U

Le azioni precedentemente illustrate vengono composte nelle diverse "Combinazioni di carico" per poter effettuare le verifiche allo stato limite ultimo. Essendo la struttura provvisoria non si riportano verifiche in condizione d'esercizio.

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
Comb Vlong+	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1.35
Comb Vlong+			Linear Static	G2	1

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano	
	Relazione di Calcolo Spalle	
	Pagina 7	
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc	

Comb Vlong+			Linear Static	Vento long	1
Comb Vtrasv+	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1.35
Comb Vtrasv+			Linear Static	G2	1
Comb Vtrasv+			Linear Static	Vento trasv	1
Comb Vlong-	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1.35
Comb Vlong-			Linear Static	G2	1
Comb Vlong-			Linear Static	Vento long	-1
Comb Vtrasv-	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1.35
Comb Vtrasv-			Linear Static	G2	1
Comb Vtrasv-			Linear Static	Vento trasv	-1
Inviluppo	Envelope	No	Response Combo	Comb Vlong+	1
Inviluppo			Response Combo	Comb Vtrasv+	1
Inviluppo			Response Combo	Comb Vlong-	1
Inviluppo			Response Combo	Comb Vtrasv-	1

3 AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO (SETECO)

Nella seguente tabella si illustrano le azioni totali trasmesse dal portale alle due pile provvisorie durante le operazioni di varo nelle due combinazioni più significative, così come ricevute dal progettista delle strutture dell'impalcato.

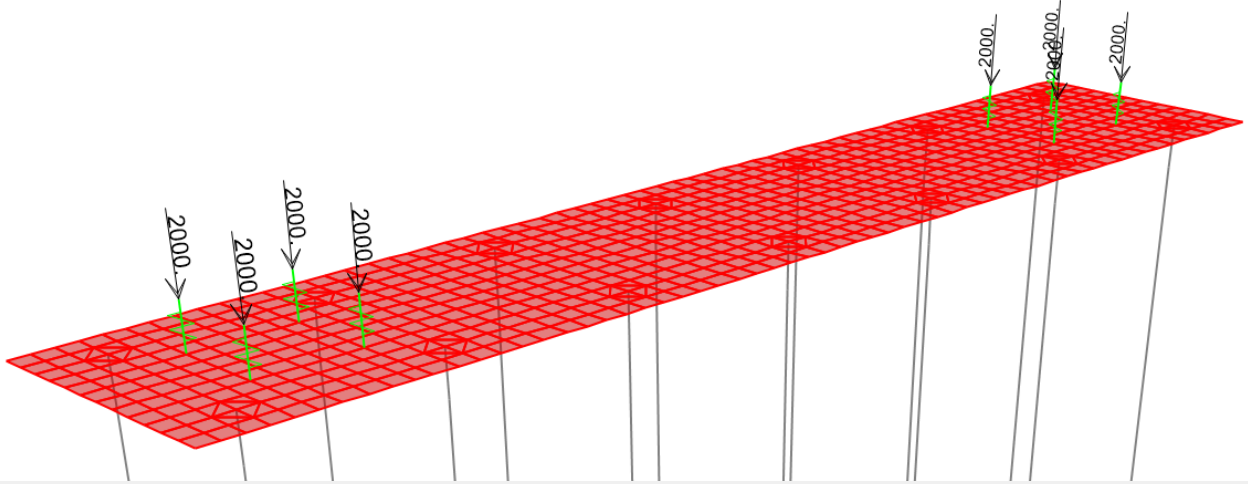
Combinazione 1 - Vento in direzione trasversale all'impalcato	N (kN)	16000
	Vt (kN)	2000
	Mt (kNm)	50000

Combinazione 2 - Vento in direzione longitudinale all'impalcato	N (kN)	16000
	VI (kN)	700
	MI (kNm)	18000

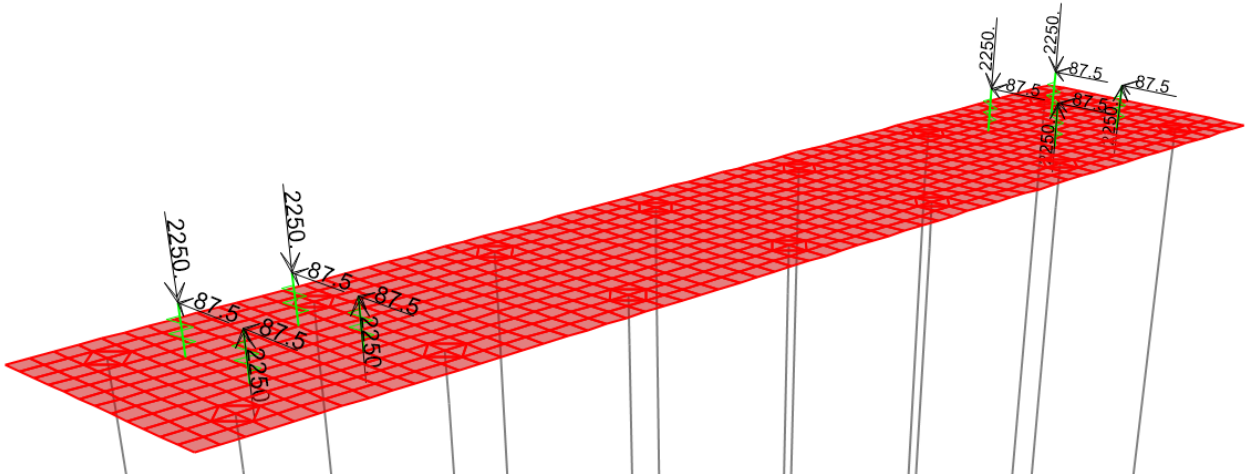
I carichi riportati sono valutati all'estradosso della fondazione.

In questa fase, essendo la geometria della torre di varo ancora non definita, si è ipotizzato che la gamba della torre sia costituita da quattro elementi posti ad interasse di 2.00 m in entrambe le direzioni. Si riportano di seguito le immagini dei carichi assegnati nel modello di calcolo riportati all'estradosso della fondazione tramite un elemento "link".

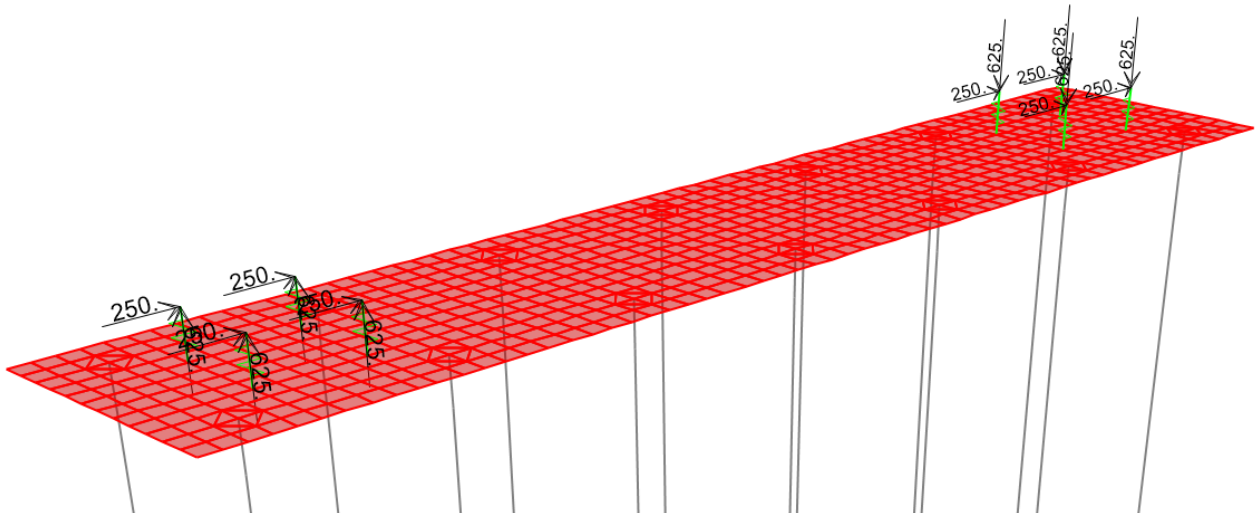
Joint Loads (G2) (As Defined)



Joint Loads (Vento long) (As Defined)



Joint Loads (Vento trasv) (As Defined)



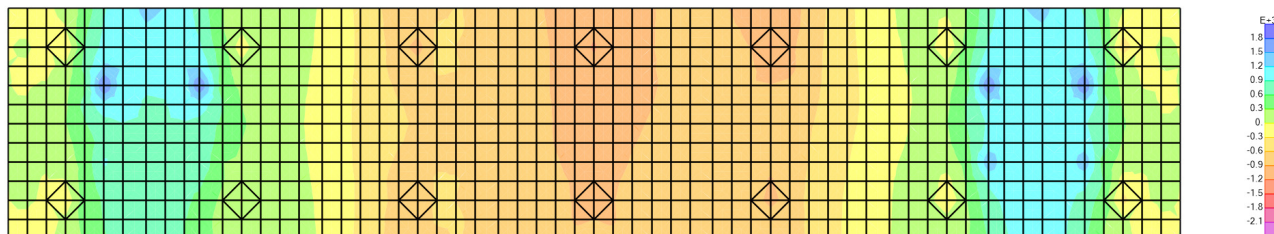
4 VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE

La verifica è stata fatta determinando i momenti e i tagli resistenti della sezioni di progetto (sezione rettangolare dimensioni 100 x 200 cm armata con armatura specificata negli elaborati grafici). La resistenza è stata determinata utilizzando un copriferro di calcolo di 4 cm.

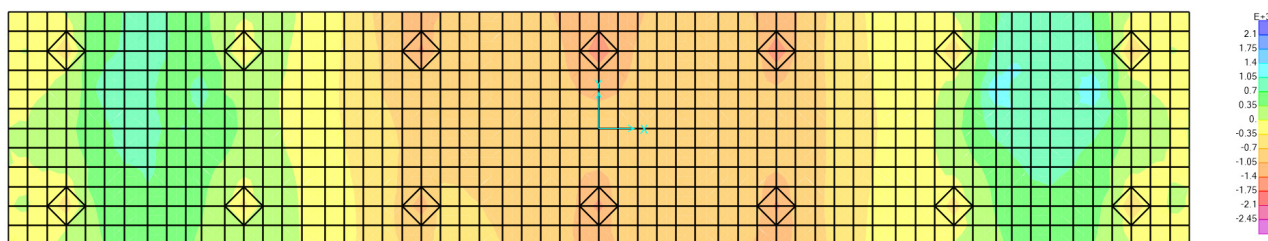
4.1 SOLLECITAZIONI PLATEA

Si riportano i momenti e i tagli sollecitanti massimi agenti nella platea di fondazione della pila provvisoria. Gli effetti locali derivanti dalla modellazione non vengono di fatto considerati. Gli assi 1 e 2 degli shell con cui sono state modellate le platee, lungo cui vengono visualizzati i momenti e i tagli sollecitanti, sono disposti, rispettivamente, in direzione trasversale e longitudinale all'asse del ponte.

Resultant M11 Diagram (involuppo - Max)

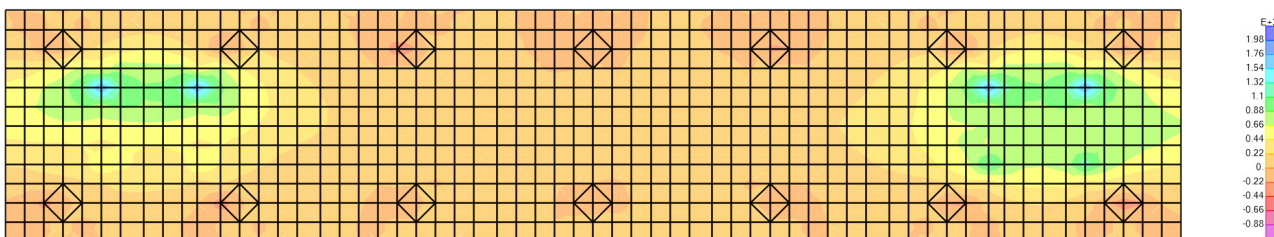


Resultant M11 Diagram (involuppo - Min)

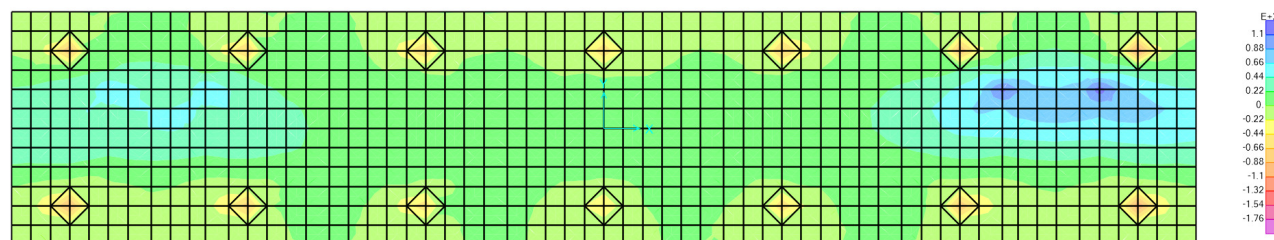


Sollecitazioni flettenti M11 – ENV SLU (kN,m,C)

Resultant M22 Diagram (involuppo - Max)

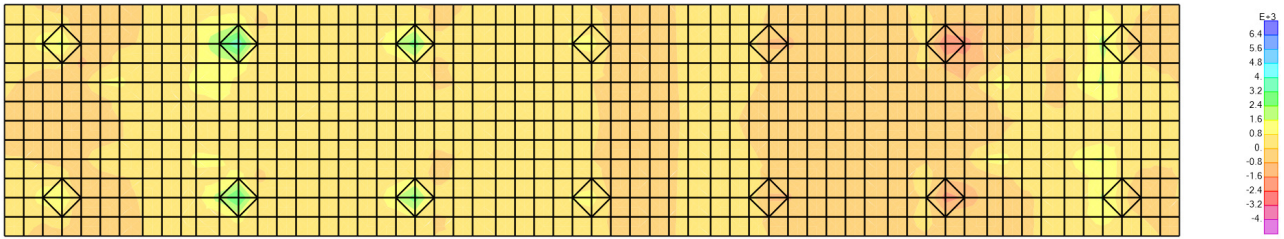


Resultant M22 Diagram (involuppo - Min)

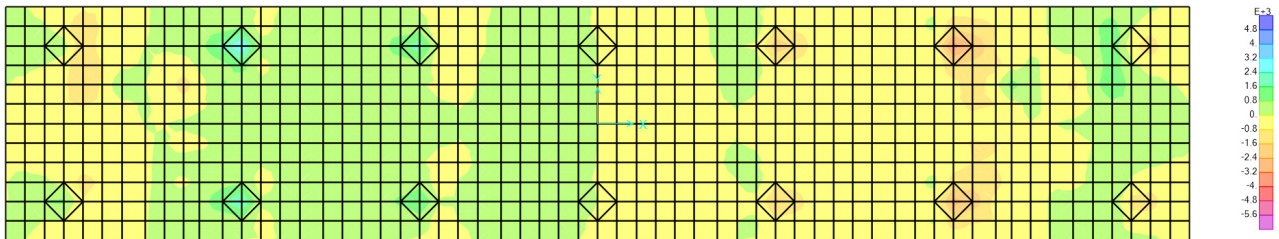


Sollecitazioni flettenti M22 – ENV SLU (kN,m,C)

Resultant V13 Diagram (involuppo - Max)

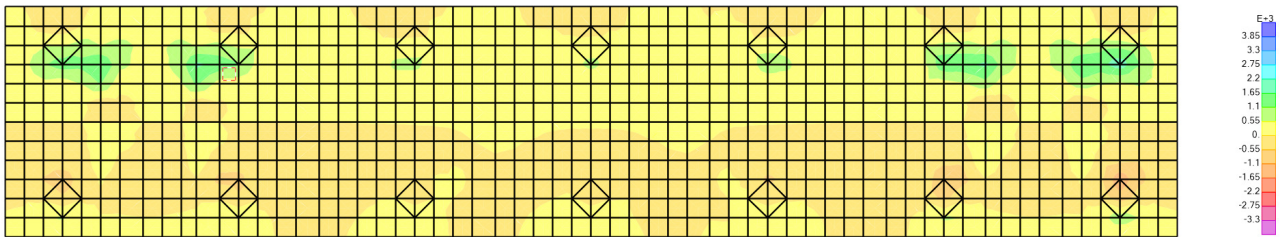


Resultant V13 Diagram (involuppo - Min)

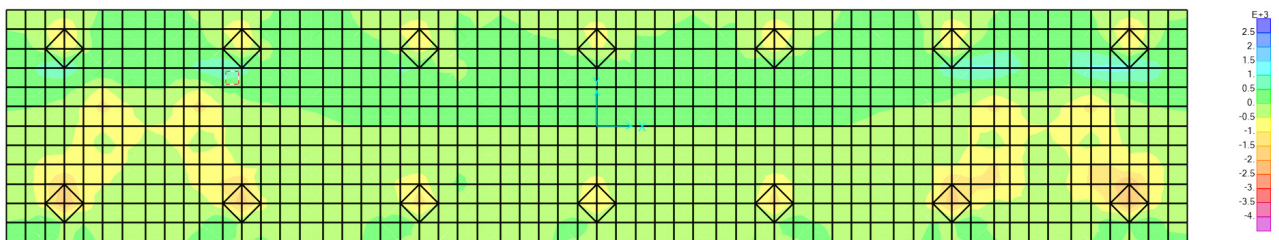


Sollecitazioni taglianti V13 – ENV SLU (kN,m,C)

Resultant V23 Diagram (involuppo - Max)



Resultant V23 Diagram (involuppo - Min)



Sollecitazioni taglianti V23 – ENV SLU (kN,m,C)

Riepilogo sollecitazioni per unità di larghezza:

M11	M_{SLU+} (kNm/m)	1860
	M_{SLU-} (kNm/m)	-1050
M22	M_{SLU+} (kNm/m)	1850
	M_{SLU-} (kNm/m)	-750
Tagli	$V_{SLU,1}$ (kN/m)	780
	$V_{SLU,2}$ (kN/m)	1100

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 11
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

4.2 VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI

4.2.1 Verifica a Flessione

La platea di fondazione è armata inferiormente con 1Ø26/10 in direzione trasversale (M11) e 1Ø22/10 in direzione longitudinale (M22). Superiormente si prevede 1Ø20/20 in entrambe le direzioni. Si riportano le verifiche a flessione della platea di fondazione (momenti resistenti e sollecitanti per unità di larghezza).

M11 positivo	x (mm)	x/d (-)	ϵ_{sc}	comp snerv	Fsc	Fc	M _{rd} (kNm)	M _{ed} (kNm)	verifica
	114.77	0.06	0.00188	no	621050	1456776	3946	1860	si
tesa snerv			si						

M11 negativo	x (mm)	x/d (-)	ϵ_{sc}	comp snerv	Fsc	Fc	M _{rd} (kNm)	M _{ed} (kNm)	verifica
	52.33	0.03	-0.00004	no	-49905	664253	1185	1050	si
tesa snerv			si						

M22 positivo	x (mm)	x/d (-)	ϵ_{sc}	comp snerv	Fsc	Fc	M _{rd} (kNm)	M _{ed} (kNm)	verifica
	98.87	0.05	0.00070	no	231934	1255022	2788	1850	si
tesa snerv			si						

M22 negativo	x (mm)	x/d (-)	ϵ_{sc}	comp snerv	Fsc	Fc	M _{rd} (kNm)	M _{ed} (kNm)	verifica
	71.50	0.04	-0.00037	no	-293168	907516	1177	750	si
tesa snerv			si						

4.2.2 Verifica a Taglio

Si riporta la verifica a taglio della platea di fondazione armata con spille verticali 1Ø22/40x40 (tagli resistenti e sollecitanti per unità di larghezza).

φ_s	n	A _{sw}	i (mm)	α	cotg θ	V _{Rsd} (N)	V _{Rcd} (N)	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	verifica
22	2,5	950,33	400	90	2,50	4073	4794	4073	1100	si

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 12
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

5 VERIFICA PALI DI FONDAZIONE

Il sistema fondale della pila provvisoria è costituito da 14 pali $\phi 1500$ di lunghezza 36 m. La sezione è armata longitudinalmente con $24\phi 24$ per i primi 20,30 m e con $24\phi 26$ per la restante lunghezza. L'armatura a taglio è costituita da una spirale $\phi 10/10$ per i primi 4,20 m e $\phi 10/20$ nella restante parte del palo.

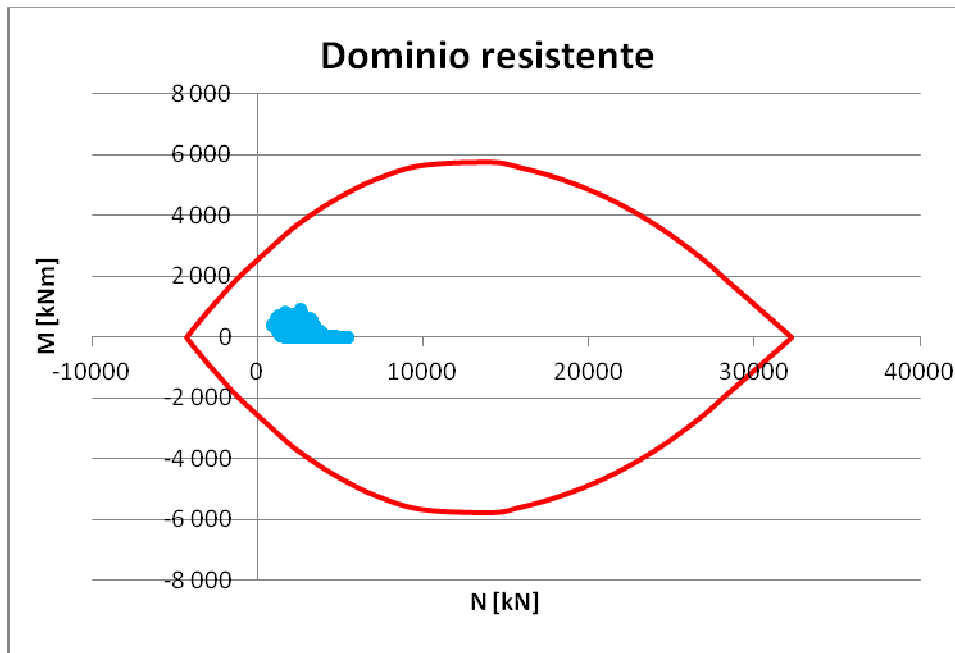
Di seguito si riportano le sollecitazioni massime che gravano la sezione del palo ricavate dal modello di calcolo:

	P	M	V
	KN	KNm	KN
min	-5458	911	224
max	-888		

5.1 VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI

5.1.1 Verifica a presso-flessione

Di seguito si controlla che i momenti flettenti sollecitanti siano interni al dominio resistente della sezione. Si esegue, a vantaggio di sicurezza, la verifica con la minima armatura presente lungo la lunghezza del palo ($24\phi 24$).



Come si può vedere le sollecitazioni rimangono sempre all'interno del dominio resistente.

5.1.2 Verifica a taglio

La verifica a taglio viene fatta considerando come sezione di verifica il quadrato inscritto all'interno del diametro del palo. A vantaggio di sicurezza si considera la minima armatura presente lungo la lunghezza del palo (spirale $\phi 10/20$).

φ_s	n°bracci:	A_{sw}	i (mm)	$\cotg \theta$	V_{Rsd} (N)	V_{Rcd} (N)	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)	verifica
10	2	157.08	200	2.50	649076	2451235	649	224	si

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 13
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

6 VERIFICA GEOTECNICA DEI PALI

In 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 progetto esecutivo approvato (PEA).

	peso	angolo resistenza al taglio	coesione drenata	coesione non drenata
	γ_k [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	c' [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]
TRBA2a	21.6	23	19	250
TRBA2b	20.8	22	25	250

6.1 CRITERI DI VERIFICA

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_{M_i} e γ_{F_j} , 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).

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 14
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	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_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

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.

Tabella 6.4.VI - Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T=1,0$	$\gamma_T=1,6$	$\gamma_T=1,3$

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:

Approccio 2, con i coefficienti parziali $\rightarrow A1+M1+R3$.

La capacità portante dei pali, determinata mediante procedura analitica basata sui parametri geotecnici dei terreni interessati, è stata ridotta del fattore di correlazione 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 **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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 15
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

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

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

Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

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

6.2 CARICO LIMITE VERTICALE

6.2.1 Criteri di calcolo del 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	α
(kPa)	(-)
<25	0.9
25 ÷ 50	0.8
50 ÷ 75	0.6
≥ 75	0.4

Il coefficiente di tensione orizzontale k è stato determinato con la formula di Jacky:

$$k = 1 - \text{sen} \varphi'$$

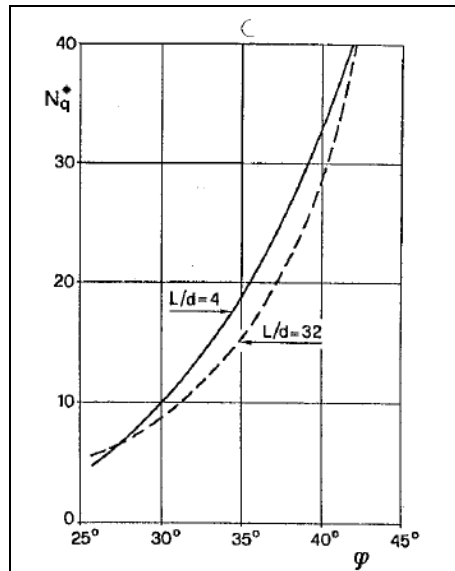
e il coefficiente di attrito $\mu = \tan \varphi'$

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 nella figura seguente.

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 16
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

Riguardo N_c , invece, si è assunto in condizioni non drenate $N_c=0$ e in condizioni drenate N_c è stato determinato con la relazione:

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



In Tabella valori dei coefficienti N_c ed N_q adottati per i diverse unità geotecniche

	TRBA2a	TRBA2b
coeff. N_q (cond. drenate)	4.0	4.0
coeff. N_c (cond. drenate)	7.1	7.4

Per i rapporti opere-terreni considerati nei calcoli, si è fatto riferimento al profilo geotecnico a corredo del progetto esecutivo approvato (PEA). Nelle verifiche si è considerata la falda contenuta tra -3m (tetto falda) e -10m (letto falda) al di sotto del p.c.

Di seguito si riporta la stratigrafia appresa dal profilo geotecnico.

strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	profondità iniziale	profondità finale
		(m)	m	m
1° strato	TRB2a	10.3	0	10.3
2° strato	TRB2b	25.7	10.3	36

6.2.2 Risultati

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche per i pali delle spalle.

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 $\gamma_p = \gamma_{c.a} - \gamma_t$).

Nelle tabelle di seguito si riportano le verifiche geotecniche per carichi verticali dei pali delle pile provvisoria, eseguite confrontando le massime azioni sollecitanti in testa al palo in condizioni (SLU) con il carico limite verticale in condizioni drenate e non drenate.

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 di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 17
	Nome file: 2481-72_V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

CAPACITA' PORTANTE VERTICALE PALI PILA PROVVISORIA						
	azioni verticali massime in testa palo	caratteristiche pali			carico limite	
		diametro	N°	lunghezza	Qlim_d	Qlim_u
elemento	[kN]	[m]		[m]	[kN]	[kN]
Pila provvisoria	3448	1.5	14	36	7706	11201

6.3 CARICO LIMITE ORIZZONTALE

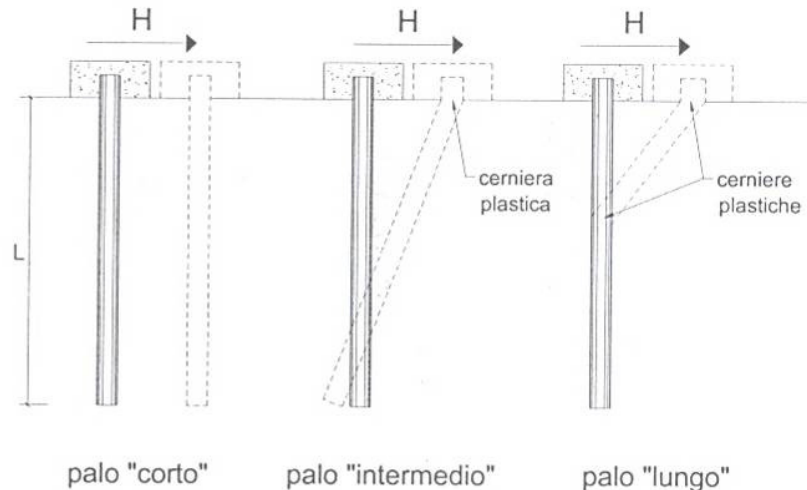
6.3.1 Criteri di calcolo del carico limite orizzontale

La resistenza del complesso palo terreno nei confronti delle azioni trasversali è stata calcolata secondo la teoria proposta da Broms (1964), in ipotesi di:

- comportamento flessionale del palo rigido perfettamente plastico dopo il raggiungimento del valore del momento di plasticizzazione;
- pressione di interazione palo–terreno dipendente solo dal tipo di terreno e dal diametro del palo;
- Terreno a comportamento rigido – plastico, con mobilitazione completa della resistenza per ogni non nullo dello spostamento.

La teoria di Broms fornisce stime sempre molto cautelative dell'effettivo carico limite trasversale del palo. In generale il massimo carico trasversale esperibile dal palo dipende dalla geometria (lunghezza, diametro), dalle condizioni di vincolo in testa del palo, dalle caratteristiche strutturali del palo (momento di plasticizzazione M_y), dalla resistenza del terreno e dal meccanismo di rottura, ovvero dalla eventuale formazione di cerniere plastiche lungo il fusto del palo che avviene quando in una data sezione il momento agente eguaglia il momento di plasticizzazione.

I possibili meccanismi di rottura possono essere indicati come rottura a palo "corto", "intermedio" e "lungo", come riportato nella figura seguente.



Il momento di plasticizzazione è variabile a seconda dell'armatura e diametro del palo di fondazione. Essendo i terreni di tipo coesivo, facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica nelle sezioni che raggiungono un momento di plasticizzazione pari a M_y , è possibile calcolare il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura:

palo corto
$$H = 9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo di Dettaglio	Opera: Viadotto San Giuliano
	Relazione di Calcolo Spalle
	Pagina 18
	Nome file: 2481-72 V_147_VI2.04 Relazione di calcolo Pila provvisoria - Ponte San Giuliano.doc

palo intermedio
$$H = -9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4.5}$$

palo lungo
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

6.3.2 Risultati

Le verifiche sono state svolte, a vantaggio di sicurezza, considerando il minor valore di c_u tra quelli degli strati di terreno interessati.

Nelle tabelle di seguito si riportano le verifiche geotecniche per carichi orizzontali dei pali della pila provvisoria, eseguite confrontando le massime azioni sollecitanti in testa al palo con, il carico limite orizzontale.

CAPACITA' PORTANTE ORIZZONTALE PALI PILA PROVVISORIA					
	azioni orizzontali massime in testa palo	caratteristiche pali			carico limite
		diametro	N°	lunghezza	Hlim
elemento	[kN]	[m]		[m]	[kN]
Pila provvisoria	224	1.5	14	36	1053