

# ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

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

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

## PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



### OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

Viadotto San Giuliano

Opere Provvisoriale - Relazione di Calcolo

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

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

Scala:

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A	Aprile 2011	EMISSIONE				T. FASOLO	F. NIGRELLI	M. LITI	P. PAGLINI										
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO										

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

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

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 1 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORME E RIFERIMENTI.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>PROCEDURA DI CALCOLO AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008 .....</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE.....</b>	<b>10</b>
7.1	ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE.....	10
7.2	PARAMETRI DEL TERRENO .....	10
7.3	FASI DI CALCOLO .....	11
7.4	MODELLAZIONE PARATIA .....	11
7.5	RISULTATI DELL'ANALISI.....	11
<b>8</b>	<b>VERIFICHE SLU.....</b>	<b>14</b>
8.1	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARATIA .....	14
8.2	VERIFICHE DEI TIRANTI.....	16
8.2.1	VERIFICA ALLO SFILAMENTO .....	16
8.2.2	VERIFICA STRUTTURALE DEI TREFOLI .....	18
8.3	VERIFICA DELLE CORREE.....	18
<b>9</b>	<b>VERIFICHE GEO DELL'INSIEME OPERA TERRENO .....</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>22</b>

## 1 PREMESSA

Nella presente relazione si riportano le verifiche geotecnico-strutturali dell'opera di sostegno necessaria per la realizzazione della spalla A della carreggiata sinistra. L'opera consiste in una paratia di pali accostati di diametro 800mm tirantata da un ordine di tiranti.

La descrizione dettagliata delle opere è riportata al paragrafo 4.

L'interazione opera terreno è studiata con analisi numerica agli elementi finiti (FEM). Nel calcolo sono simulate le differenti fasi esecutive. Nelle fasi di calcolo non è simulata la presenza del sisma data la provvisorietà dell'opera (tempo inferiore a 2 anni). Le verifiche geotecniche-strutturali sono svolte in accordo al DM 14-01-2008.

Il rapporto opera terreni è ricostruito sulla base del profilo geotecnico a corredo del presente progetto. (cfr. paragrafo 5).



Figura 1 – Pianta.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 3 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

## 2 NORME E RIFERIMENTI

I calcoli sono svolti in conformità alle normative vigenti con particolare riferimento a:

1. D.M. 14 gennaio 2008 – “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” – pubblicato sul S.O. n. 30 alla G.U. 4 febbraio 2008, n.29
2. Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
3. EUROCODICE 1 – UNI-ENV 1991-3 “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture”;
4. EUROCODICE 7 – UNI-ENV 1997 “Progettazione geotecnica”;
5. D.M. 16 gennaio 1996 - “Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
6. Circolare n° 156AA.GG./STC. del 04.07.1996 del Min. LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione delle <<Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>> di cui al D.M. 16/01/1996”.
7. D.M. 16 gennaio 1996 - “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
8. CIRC. LL. PP. 15 ottobre 1996 n. 252 - “Istruzioni per l'applicazione delle <<Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche>> di cui al D.M. 09/01/1996”.
9. D.M. LL. PP. 09 gennaio 1996 - “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
10. D. M. LL.PP. del 14 Febbraio 1992 – “Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.”
11. D.M. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.

## 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### CALCESTRUZZO

Classe di resistenza	<b>C28/35</b>		
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck}$	$\geq$	<b>35.00</b> MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	=	29.05 MPa
coefficiente del materiale	$\gamma_c$	=	<b>1.50</b>
Modulo elastico (istantaneo)	$E_{cm}$	=	32 588.11 MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu$	=	<b>0.20</b>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{ck}$	=	16.46 MPa
Resistenza a trazione semplice (assiale)	$f_{ctm}$	=	2.83 MPa
Resistenza a trazione semplice (assiale) caratteristica	$f_{ctk}$	=	1.98 MPa
Resistenza (media) a trazione per flessione	$f_{ctm}$	=	3.40 MPa

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 4 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

Resistenza a trazione per flessione caratteristica  $f_{ctk}$  = 2.38 MPa

#### ACCIAIO PER ARMATURE C.A.

Acciaio **B450C**

tensione caratteristica di rottura  $f_{tk}$   $\geq$  **540.00** MPa

tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk}$   $\geq$  **450.00** MPa

coefficiente del materiale  $\gamma_s$  = **1.15**

tensione caratteristica di snervamento di calcolo  $f_{yd}$   $\geq$  391.30 MPa

Modulo elastico  $E_s$  = 206 000.00 MPa

#### ACCIAIO PER CORREE

Acciaio per corree **S355J0**

tensione caratteristica di rottura  $f_{tk}$  = **510** MPa

tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk}$  = **355** MPa

#### TIRANTI

trefoli di acciaio armonico

sezione nominale  $A_p$  = 140 mm<sup>2</sup>

resistenza caratteristica a rottura  $f_{ptk}$  = **1860** MPa

resistenza caratteristica allo 1% di deformazione totale  $f_{pt(1)k}$  = **1670** MPa

coefficiente del materiale  $\gamma_s$  = **1.15**

tensione limite ultima di calcolo ( $0.9f_{ptk}/\gamma_s$ )  $f_{ptud}$  = 1 307 MPa

tensione massima di esercizio ( $0.6*f_{pt(1)k}$ )  $f_{pt\_es}$  = 1 116 MPa

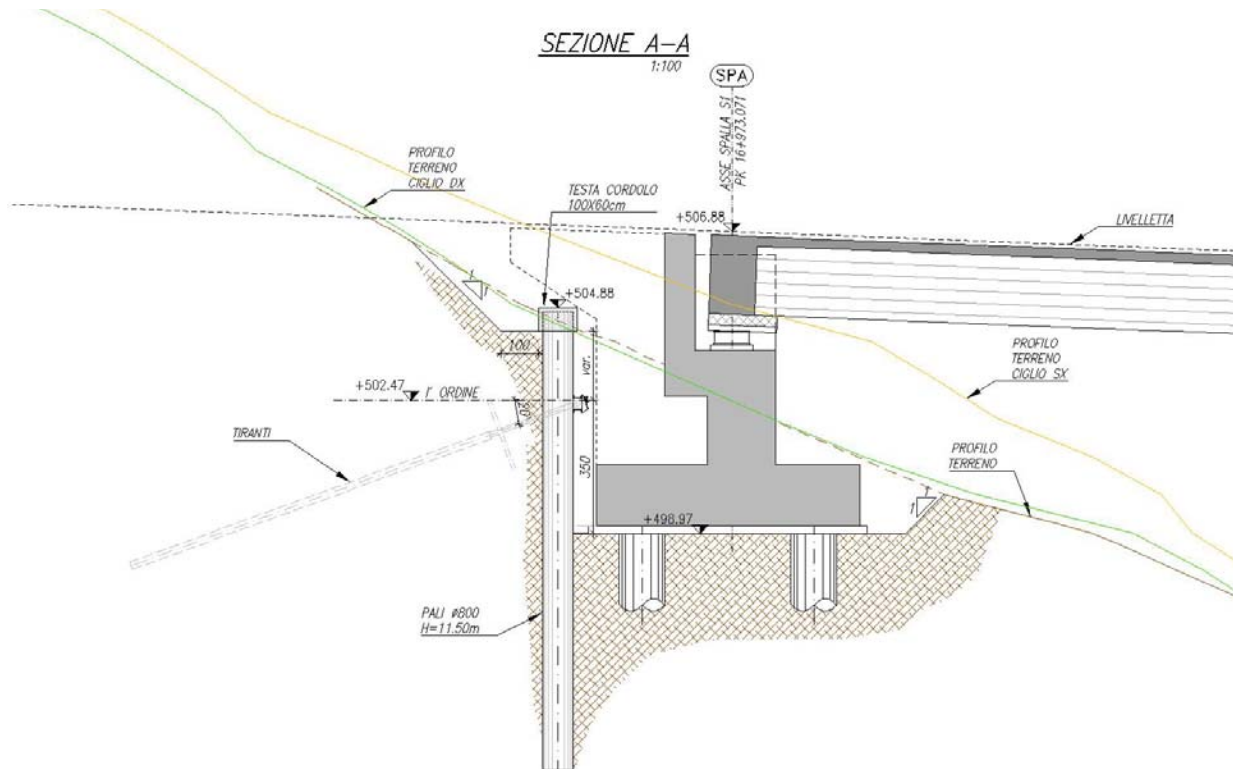
## 4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Al fine di limitare la superficie degli scavi per la realizzazione del plinto della spalla A carreggiata sinistra, che altrimenti interferirebbe con la paratia di imbocco della galleria Caltanissetta, si prevede il sostegno degli scavi con paratia di pali. Il diametro di perforazione dei pali è 800mm. I pali hanno interasse 100cm.

La paratia ha massima altezza fuori terra di 6m circa. Il tratto di infissione dei pali è 6m. Le altezze della paratia sono calibrate in modo da non interferire con le "bandiere" (dette anche "orecchie") dei muri andatori della spalla.

Il profilo del terreno a monte della paratia è acclive con inclinazione superiore a 29°.

I pali sono collegati in testa da un cordolo di c.a. avente sezione rettangolare 100x60cm.



**Figura 2 – Sezione longitudinale tra le spalle B**

Nel seguito, l'analisi è condotta per la sezione longitudinale in asse carreggiata (cfr. Figura 2).

I tiranti hanno le caratteristiche riportate in Tabella 1.

CARATTERISTICHE DEI TIRANTI									
ordine	Llib		Tiro pret	diametro bulbo	lunghezza bulbo	interasse tir	Tiro pret./m	Num trefoli	AREA
	(m)	(°)	kN	m	m	m	kN/m		mm <sup>2</sup>
I	12	20	200	0.18	10	2	100	4	560

**Tabella 1 – Caratteristiche dei tiranti**

L'inclinazione dei tiranti è alternata tra 20 e 25°. I profili delle corree sono UPN220.

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

A partire dal profilo geotecnico del viadotto San Giuliano allegato al presente progetto è stato definito il rapporto opera-terreni.

Lo scavo per la realizzazione della spalla A interessa le brecce argillose (TRB). Queste si presentano alterate nello strato superficiale (TRBa1), per uno spessore di 4m circa. La consistenza di tali terreni aumenta con la profondità.

I parametri fisico-meccanici dei terreni sono riportati in Tabella 3.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 6 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

In corrispondenza dell'opera in esame non si rileva la presenza di falda.

Profondità (m)	Litotipo
0.00 ÷ 4.00	<u>Brecce Argillose sommitali alterate – TRBA1 :</u> limo argilloso e argilla limosa plastica ed alterata

Profondità (m)	Litotipo
4.00 ÷ 15.00	<u>Brecce Argillose intermedie – TRBA 2a:</u> argilla limosa a tratti scagliose
15.00 ÷ in prof.	<u>Brecce Argillose profonde – TRBA 2b:</u> argilla e argilla limosa consistente brecciate scagliose consistenti

**Tabella 2 – Stratigrafia dei terreni**

	peso nell'unità di volume	coesione drenata	angolo d'attrito	Modulo elastico
<b>litotipo</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$E'$ [MPa]
TRBA1	18.5	15	19	7
TRBA2a	21.6	19	23.1	12
TRBA2b	20.8	25	22.15	25

**Tabella 3 – Parametri fisico-meccanici dei terreni**

## 6 PROCEDURA DI CALCOLO AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni, come prescritto dal DM 14/01/08, si sono adottati criteri probabilistici scientificamente comprovati in accordo al **metodo semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la *resistenza* dei materiali e le *azioni* sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. I frattili sono stati assunti pari al 5%.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite di esercizio** è stata effettuata controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 7 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

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

$$R_d \geq E_d$$

dove:

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

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

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

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Fj}$  delle azioni, dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ :

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

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \gamma_E$  con  $\gamma_E = \gamma_F$ :

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

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

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 primo approccio progettuale (**Approccio 1**) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale (STR) delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico (GEO).

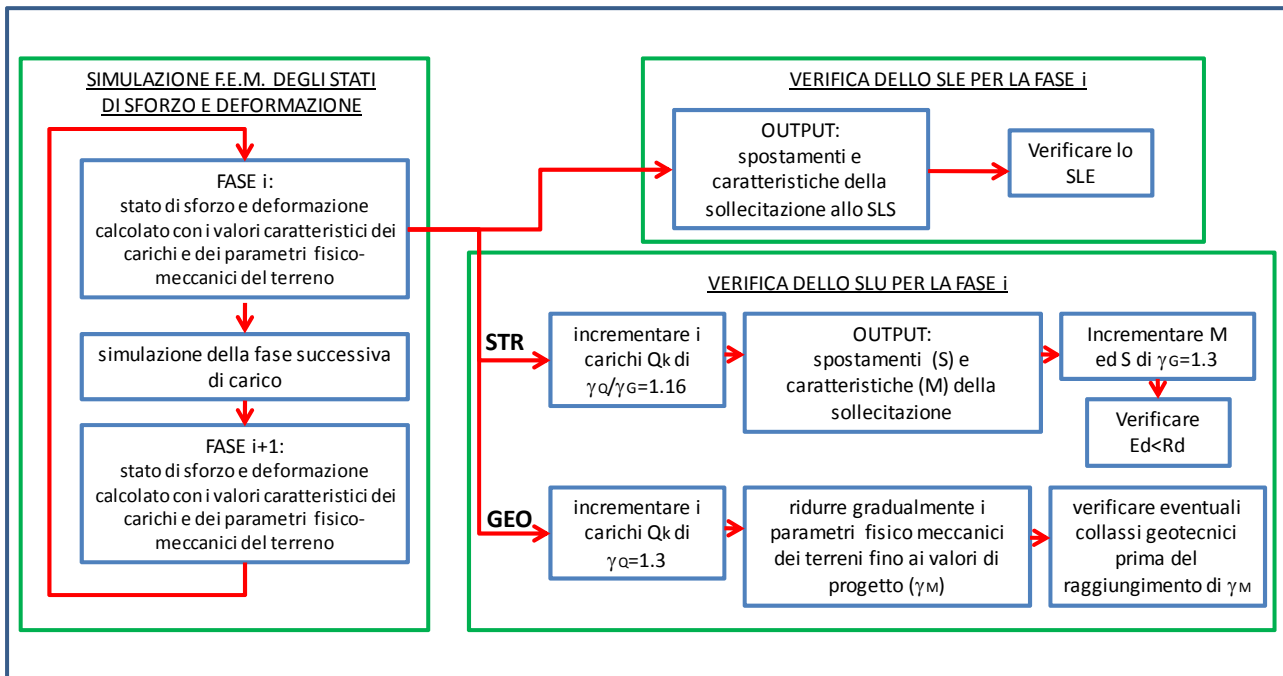
Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

L'analisi di interazione opera-terreno è stata eseguita modellando opportunamente l'articolata successione delle previste fasi esecutive attraverso un **codice di calcolo agli elementi finiti** nell'ipotesi di stato piano di deformazione. Per simulare le fasi esecutive, si sono adottate mesh a geometria e proprietà meccaniche variabili, disattivando gli elementi finiti corrispondenti ai volumi scavati e attivando gli elementi finiti che modellano gli interventi di sostegno.



CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 8 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

Le analisi FEM, le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate sulla base del diagramma di flusso di Figura 3. Tale diagramma è coerente con le indicazioni riportate da Bauduin (2005) e Bauduin et Al (2005)<sup>1</sup> a proposito dell'applicazione dell'Eurocodice 7.



**Figura 3 Diagramma di flusso per le analisi FEM d'interazione opera-terreno e per le verifiche strutturali e geotecniche**

Gli stati di sforzo e deformazione derivanti dall'interazione opera-terreno sono stati calcolati considerando valori caratteristici per i carichi e per i parametri fisico-meccanici dei terreni. In tal modo si è modellato in maniera efficace e quanto più realisticamente possibile l'interazione opera-terreno durante le varie fasi esecutive.

Per ogni fase di calcolo si ottengono come output spostamenti e sollecitazioni allo **SLE** che sono stati confrontati con i limiti prestazionali indicati dal DM 14/01/08. In particolare si sono verificati i seguenti stati limite di servizio:

- Stati tensionali nei materiali;
- Spostamenti orizzontali dell'opera;
- spostamenti del piano campagna.

<sup>1</sup> Bauduin et Al (2005) Use of Finite Element Methods in Geotechnical Ultimate Limit State, *Design Proc XVI ICSMGE*, Osaka pp 2775-2779  
Bauduin (2005) , Possibilities yield by Eurocode 7 for design of geotechnical structures in urban areas

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 9 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

In definitiva, le **verifiche allo SLU** sono state effettuate secondo l'**Approccio Progettuale 1** illustrato in precedenza. Si sono considerati quindi due gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente per il dimensionamento degli elementi strutturali (STR) e per il dimensionamento geotecnico (GEO):

STR → A1; M1

GEO → A2; M2

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

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 4 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [DM 14/01/08]

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

Tabella 5 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [DM 14/01/08]

Le verifiche agli Stati limite ultimi degli elementi strutturali e della stabilità geotecnica del sistema opera-terreno sono state effettuate nelle fasi di costruzione dell'opera che determinano nei vari elementi lo stato di sollecitazione e di spostamento più gravosi. In particolare si è verificato, per ogni fase di scavo la resistenza dei materiali costituenti l'opera (STR) e la stabilità geotecnica del sistema opera-terreno (GEO)

Come illustrato in precedenza, le analisi FEM sono state condotte utilizzando valori caratteristici per carichi e parametri meccanici del terreno e solamente nelle fasi in cui si intende verificare uno SLU si sono introdotti i coefficienti parziali sui carichi, materiali e resistenze specificati nel DM 14/01/08.

In particolare, nella condizione STR (A1; M1) si è proceduto, nella fase relativa allo SLU di interesse, all'amplificazione dei carichi accidentali  $Q_k$  di  $\gamma_Q / \gamma_G = 1.5 / 1.3 = 1.16$ . I risultati del calcolo FEM (spostamenti e sollecitazioni) di questa fase sono stati poi amplificati di  $\gamma_G = 1.3$  raggiungendo in tal modo i moltiplicatori prescritti nel DM 14/01/08 sia per i carichi permanenti  $\gamma_G = 1.3$  che per i carichi accidentali  $\gamma_Q = 1.5$ . Le sollecitazioni e gli spostamenti ( $E_d$ ) così ottenuti sono stati confrontati con i valori ultimi di resistenza e deformazione ( $R_d$ ) secondo la relazione:

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 10 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

$$E_d \geq R_d$$

Nella condizione GEO (A2; M2) si è proceduto, nella fase relativa allo SLU di interesse, all'amplificazione dei carichi accidentali  $Q_k$  di  $\gamma_Q = 1.3$ . Successivamente si è proceduto alla riduzione dei parametri fisico-meccanici dei terreni applicando gradualmente i coefficienti parziali  $\gamma_M$  specificati nel DM 14/01/08 ai valori caratteristici di resistenza dei terreni. Si è infine verificato che in corrispondenza dei moltiplicatori finali  $\gamma_M$  sia garantita la stabilità del sistema geotecnico nei confronti di collassi sia locali che globali.

## 7 ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE

Lo studio dell'interazione opera-terreno è stata condotta con analisi numerica agli elementi finiti (FEM).

### 7.1 ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE

Per le sezioni di calcolo, il dominio d'interesse è stato discretizzato con elementi finiti isoparametrici triangolari a 6 nodi. Ai nodi alla base della mesh sono impediti gli spostamenti sia orizzontali che verticali; ai nodi sul contorno laterale del dominio sono impediti solo gli spostamenti orizzontali.

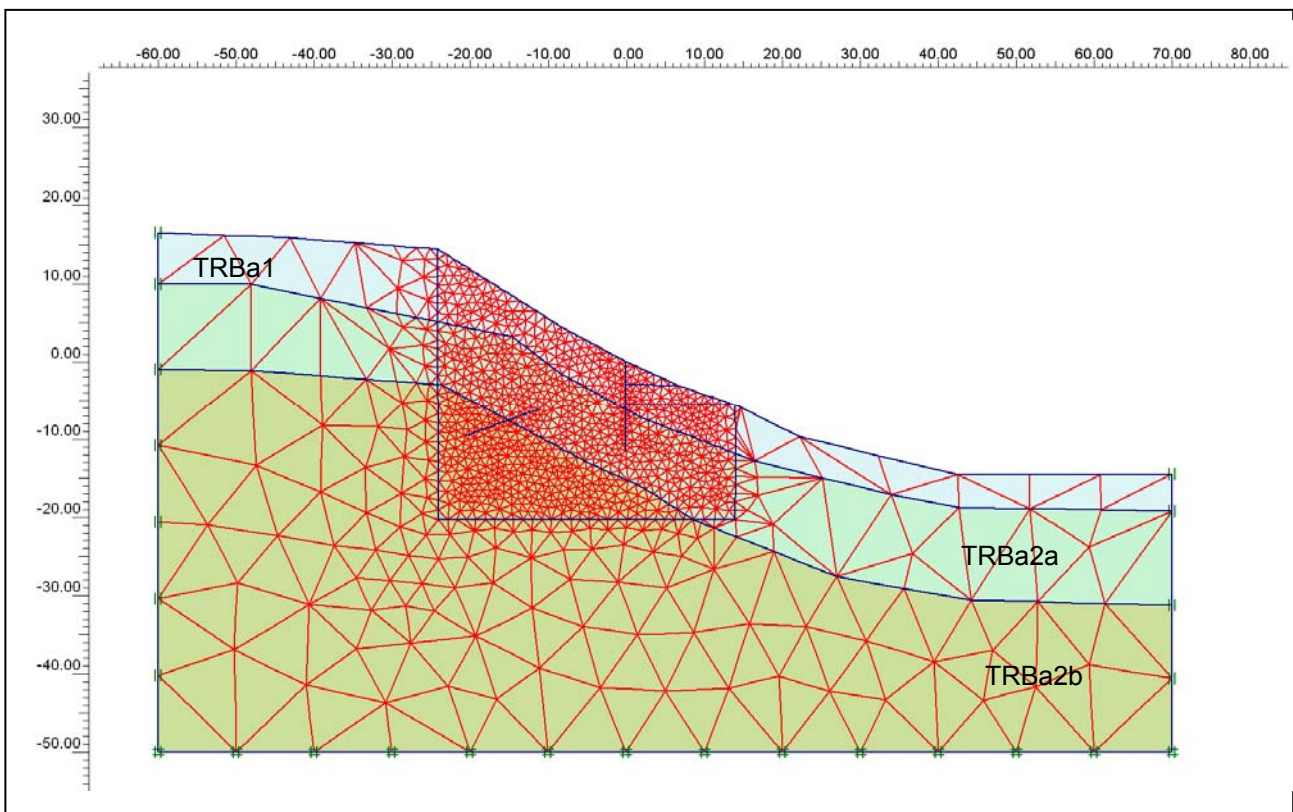


Figura 4 – Mesh e condizioni al contorno considerate nelle analisi numeriche

### 7.2 PARAMETRI DEL TERRENO

I parametri fisico meccanici adottati nelle analisi per i terreni interessati dall'opera sono riportati in tabella sotto.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 11 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

	peso nell'unità di volume	coesione drenata	angolo d'attrito	Modulo elastico
<b>litotipo</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$E'$ [MPa]
TRBA1	18.5	15	19	7
TRBA2a	21.6	19	23.1	12
TRBA2b	20.8	25	22.15	25

**Tabella 6 – Parametri geotecnici dei terreni**

### 7.3 FASI DI CALCOLO

Per simulare le fasi esecutive, si analizza un dominio a geometria variabile, disattivando gli elementi finiti triangolari corrispondenti alle aree di scavo e attivando gli elementi finiti trave e asta che modellano i vari elementi strutturali.

In particolare le fasi considerate nel calcolo sono:

1. Generazione dello stato tensionale iniziale;
2. attivazione della paratia;
3. scavo parziale, sino a 1m sotto quota di imposta del 1° ordine di tiranti;
4. attivazione del 1° ordine di tiranti e applicazione del pretiro;
5. scavo sino alla quota di imposta della fondazione della spalla.

Le analisi sono state svolte nelle ipotesi di risposta drenata, assumendo l'opera sopra falda.

### 7.4 MODELLAZIONE PARATIA

La paratia è stata modellata con elementi finiti trave a comportamento elastico.

Le caratteristiche di rigidezza della paratia, relativamente all'estensione di un metro, sono:

Rigidezze PARATIA								
peso palo /m	Resistenza caratteristica a compressione Rck	Modulo elastico E	DIAMETRO PALO d	interasse palo i	Area palo Sxl	Inerzia palo m <sup>4</sup>	Rigidezza assiale EA	Rigidezza flessionale EI
kN/m <sup>2</sup>	MPa	MPa	m	m	m <sup>2</sup>		kN	kNm <sup>2</sup>
12.57	35.00	32 588.11	0.80	1.00	0.50	0.0201	<b>16 380 569.62</b>	<b>655 222.78</b>

### 7.5 RISULTATI DELL'ANALISI

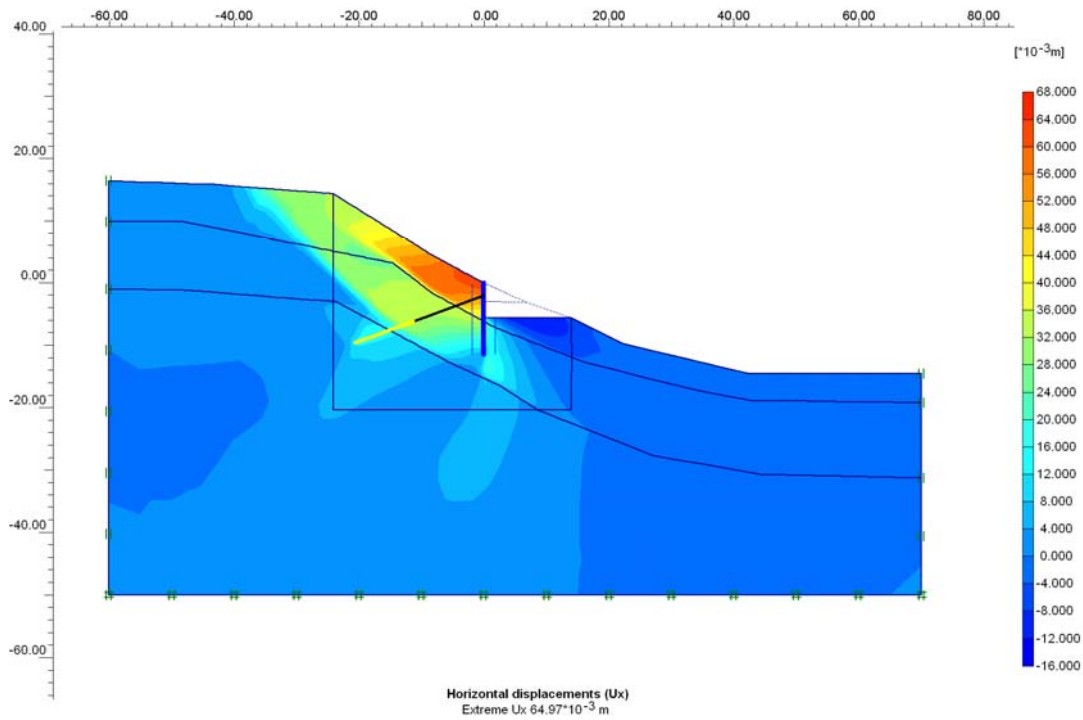
Con riferimento alle fasi riepilogate al Paragrafo 7.3, i risultati più significativi dell'analisi sono presentati dalla Figura 5 alla Figura 6 in termini di distribuzioni di spostamenti orizzontali e verticali.

Al raggiungimento della quota di scavo finale lo spostamento orizzontale massimo della paratia è  $u_h=6.6\text{cm}$ , rilevato in testa alla paratia. Nella stessa fase il sollevamento massimo del fondo scavo è  $u_v=8\text{cm}$ .

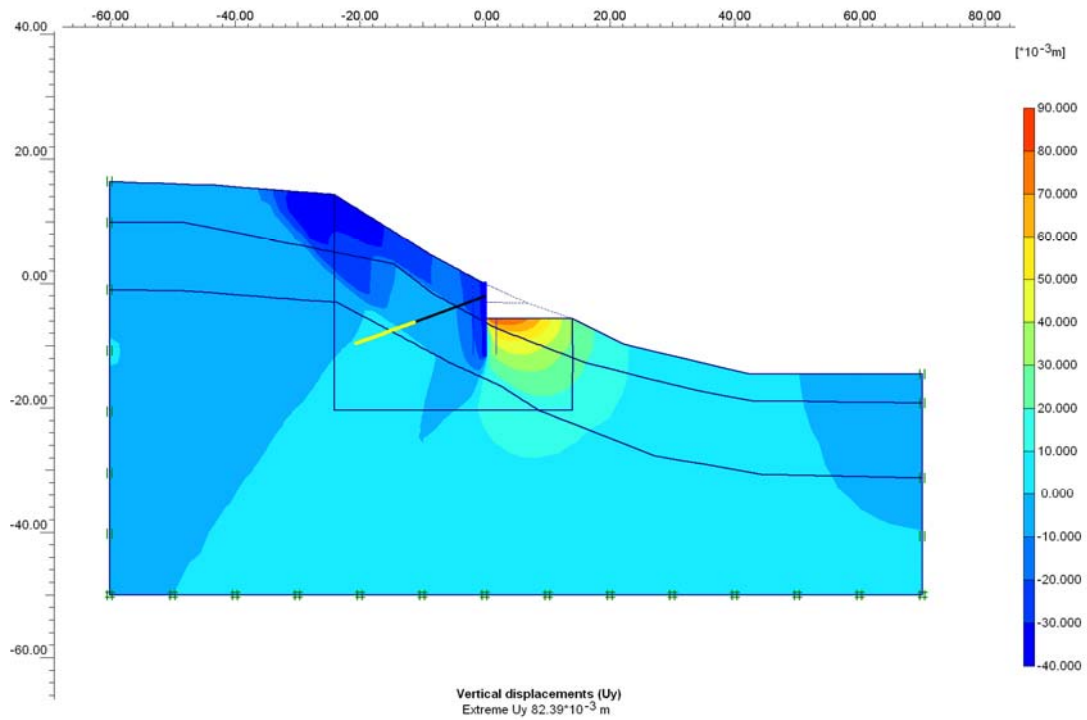
In Tabella 7 sono riportati i principali risultati. In tale tabella, si evidenzia che le sollecitazioni sugli elementi strutturali sono determinati per carichi variabili non amplificati, validi, pertanto per le verifiche allo SLE. In Figura 7 è riportata la distribuzione delle sollecitazioni sulla paratia per la fase di calcolo più gravosa in termini di momento flettente, corrispondente con la fase di calcolo che precede l'attivazione dei tiranti.

	PALI					tiranti
	spostamento max orizzontale paratia	spostamento max verticale fondo scavo	Sollecitazioni massime (/m)			Sollecitazioni massime
fasi	$u_h$ (cm)	$u_v$ (cm)	Nmax (kN)	Mmax (kNm)	Tmax (kN)	Nmax (kN)
scavo 1	4.4	3.8	-96.3	182	85	--
scavo finale	6.6	82	-219	102	96	154

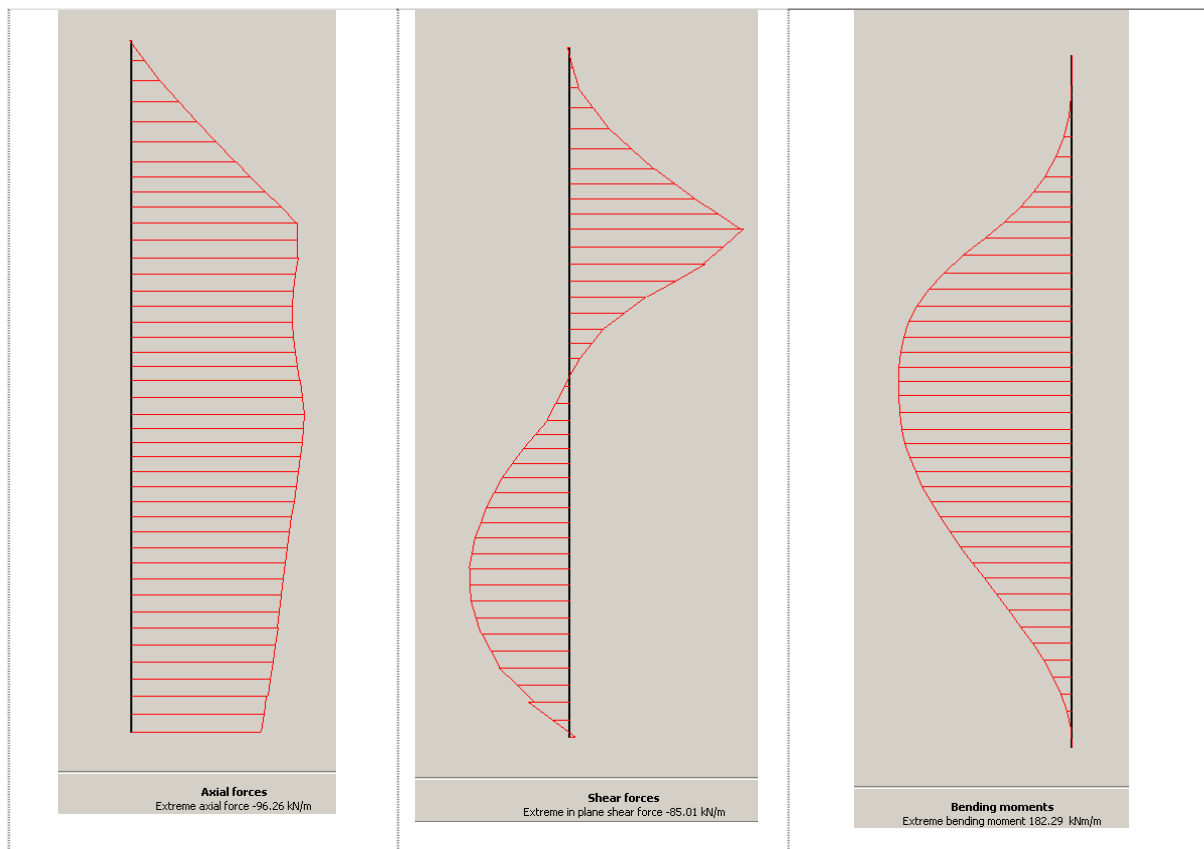
**Tabella 7 – sintesi dei risultati dell'analisi**



**Figura 5 -- Distribuzione degli spostamenti orizzontali a fine scavo**



**Figura 6 - - Distribuzione degli spostamenti verticali a fine scavo**



**Figura 7 - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia al termine dello scavo parziale**

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 14 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

## 8 VERIFICHE SLU

Di seguito si riportano le verifiche allo SLU degli elementi strutturali per le fasi di calcolo più gravose.

### 8.1 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARATIA

Per le verifiche strutturali della paratia si adotta il metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare, si considerano valori caratteristici le sollecitazioni calcolate con le analisi numeriche di interazione ammasso-struttura descritte nei paragrafi precedenti. Nelle verifiche tali sollecitazioni sono amplificate mediante un coefficiente moltiplicativo di 1.3 (cfr paragrafo 6):

$$N_{ed} = 1.3 N$$

$$M_{ed} = 1.3 M$$

$$V_{ed} = 1.3 V$$

I punti rappresentativi dello stato di sollecitazione di calcolo ( $N_{ed}$ ,  $M_{ed}$ ) relativo a un elevato numero di sezioni dei sostegni sono riportati nel piano  $N$ ,  $M$  per verificare che questi non siano esterni al dominio di resistenza che caratterizza la sezione strutturale.

Il dominio di resistenza dei pali della paratia è stato tracciato considerando il calcestruzzo  $R_{ck}=35\text{MPa}$  e un'armatura longitudinale costituita da  $16\phi 18$ .

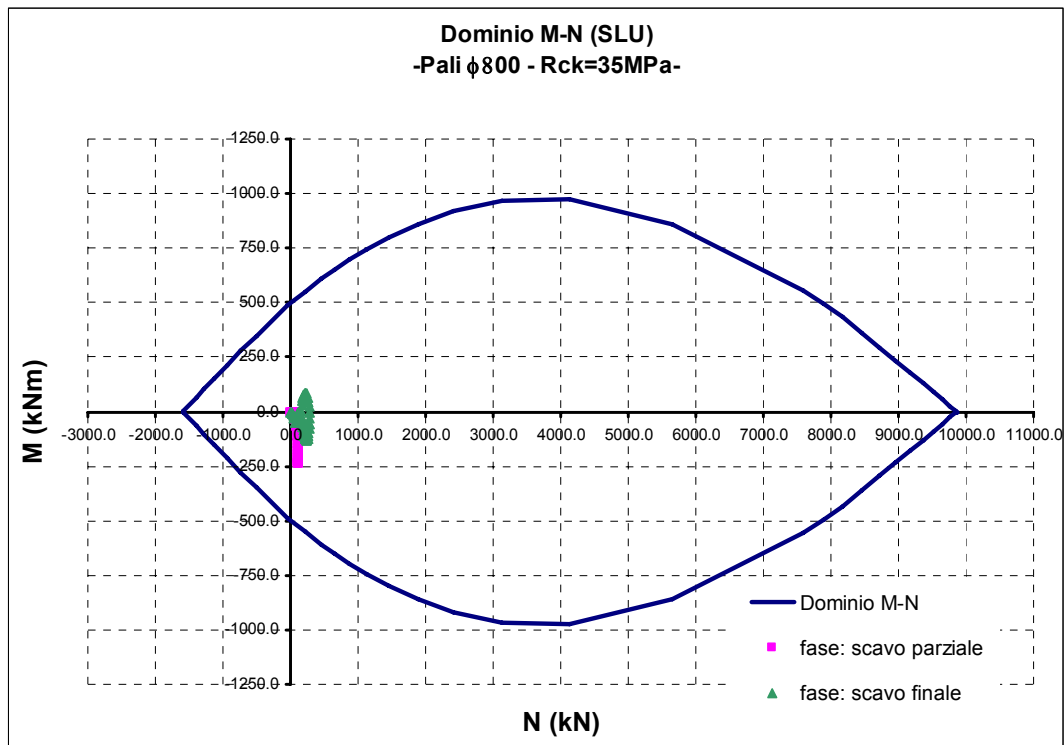


Figura 8. - Dominio di resistenza dei pali e punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo ( $N_{ed}$ ,  $M_{ed}$ )

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 15 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

Le verifiche a taglio sono condotte dapprima in assenza di specifica armatura. Si è proceduto, pertanto, a verificare che la sollecitazione di calcolo ( $V_{ed}$ ) risultasse inferiore alla resistenza a taglio delle sezioni  $V_{rd}$ . In questo caso la resistenza a taglio della sezione in assenza di specifica armatura è stata calcolata con la relazione di seguito riportata:

$$V_{rd} = \left[ 0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_l = A_{sl} / (b \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b$  è la larghezza minima della sezione (in mm)

Nel caso di necessità di armatura trasversale, si è verificato che la sollecitazione di calcolo ( $V_{ed}$ ) fosse inferiore al minimo della resistenza della biella compressa e dell'armatura trasversale  $V_{rd} = \min[V_{Rcd}, V_{Rsd}]$ , queste ultime calcolate con le relazioni:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

La verifica a taglio del palo è condotta equiparando la sezione circolare a una rettangolare di dimensioni  $b_{eq} \times h_{eq}$ , determinate con le relazioni:

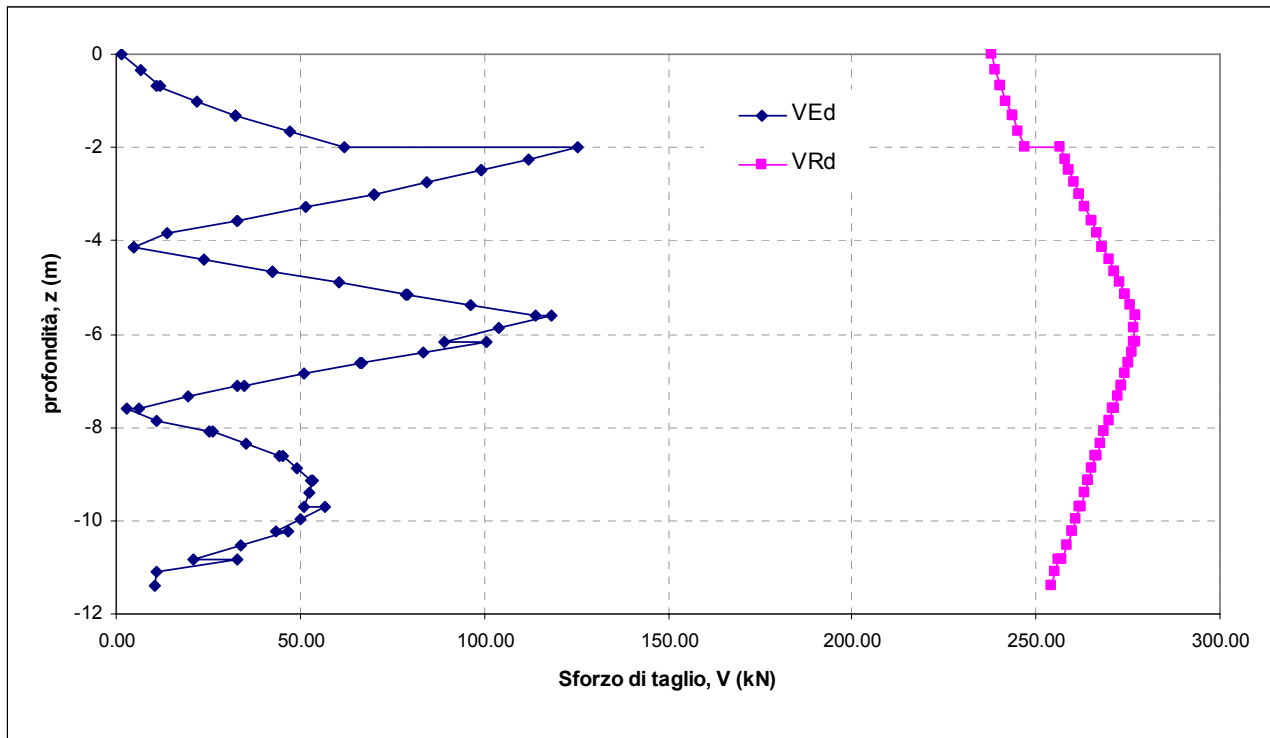
$$b_{eq} = 0,9 \cdot \phi_{palo}$$

$$h_{eq} = 0,45 \cdot \phi_{palo} + 0,64 \cdot \left( \frac{\phi_{palo}}{2} - cp \right) + cp$$

Determinazione sezione equivalente			
Øpalo	$d_p$	800	mm
larghezza sez. ret. eq	$b_{wq}$	638	mm
altezza sez. ret. eq	$H_{eq}$	720	mm
area	$A=$	459072	mm <sup>2</sup>
copriferro	$cp=$	60	mm
altezza utile sezione	$d=$	660	mm

In Figura 9 si riporta la distribuzione degli sforzi di taglio  $V_{ed}$  (in valore assoluto) e della resistenza a taglio della sezione rettangolare equivalente dei pali in assenza di specifica armatura a taglio ( $V_{rd}$ ). Confrontando tali distribuzioni si evince  $V_{ed} < V_{rd}$  per tutta la lunghezza dei pali, quindi, la verifica a taglio è soddisfatta.





**Figura 9 – Distribuzione degli sforzi di taglio di calcolo ( $V_{ed}$ ) e della resistenza a taglio della sezione in assenza di specifica armatura a taglio ( $V_{rd}$ )**

## 8.2 VERIFICHE DEI TIRANTI

In tabella sotto si riportano le caratteristiche dei tiranti.

CARATTERISTICHE DEI TIRANTI									
ordine	Llib		Tiro pret	diametro bulbo	lunghezza bulbo	interasse tir	Tiro pret./m	Num trefoli	AREA
	(m)	(°)	kN	m	m	m	kN/m		mm <sup>2</sup>
I	12	20	200	0.18	10	2	100	4	560

L'interasse dei tiranti è 2m. L'inclinazione tra tiranti adiacenti, rispetto l'orizzontale, è sfalsata ed è pari a 20° e 25°. Anche la minima inclinazione consente di raggiungere profondità tali da ottenere un adeguato confinamento del bulbo di ancoraggio.

Nei paragrafi che seguono, in funzione di tali caratteristiche dei tiranti, si è proceduto alle verifiche allo sfilamento bulbo-terreno e alla rottura dei trefoli.

### 8.2.1 VERIFICA ALLO SFILAMENTO

Il tiro limite che determina lo sfilamento bulbo-terreno è calcolato in funzione delle caratteristiche geometriche dei tiranti e dalla tensione tangenziale limite  $\tau_{lim}$ :

$$T_{lim} = \pi \cdot d \cdot L_{anc} \cdot \tau_{lim}$$

dove  $d$  è il diametro del bulbo di ancoraggio e  $L_{anc}$  è la lunghezza del bulbo di ancoraggio.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 17 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

Il diametro del bulbo  $d$  è stato determinato amplificando il diametro di perforazione del coefficiente  $\alpha$ . Considerando l'iniezione del micropalo in unica soluzione ((IGU, injection globale unique) si adotta, cautelativamente, un coefficiente amplificativo  $\alpha = 1$  (cfr. Tabella 8)

**Valori del coefficiente  $\alpha$  ( $V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$ )**

TERRENO	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2	fratturati	
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più	

**Tabella 8 – Valori del coefficiente amplificativo  $\alpha$  in funzione dei terreni e del metodo di iniezione**

Per la tensione tangenziale limite si considera  $\tau_{lim} = 150$  kPa.

La verifica allo sfilamento dei tiranti definitivi è condotta considerando il coefficiente correttivo in funzione delle indagini geotecniche disponibili  $\xi_{a3} = 1,65$ .

numero di profili di indagine	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Si considera il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi  $\gamma_{Ra,t} = 1,1$ .

	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE
	$\gamma_R$	
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

Pertanto la verifica allo sfilamento è soddisfatta se il rapporto tra il tiro limite e quello massimo di esercizio (amplificato di 1,3) non è inferiore di  $\gamma_{Ra,t} \times \xi_{a3} = 1,1 \times 1,65 = 1,82$ .

Dai risultati riportati in Tabella 9 si evince che le verifiche sono soddisfatte.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 18 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

verifiche sfilamento bulbo in condizioni statiche

ordine	$\tau_{lim}$	Tiro pret	diámetro bulbo	lunghezza bulbo	interasse tir	Tiro pret./m	$T_{ES}/m$	$T_{ES}/tir$	$T_{ed}/tir$	$T_{lim}/tir$	$\mu$
	kPa	kN	m	m	m	kN/m	kN/m	kN	kN	kN	
I	150	200	0.18	10	2	100.0	154	308	400	848	2.12

**Tabella 9 – Verifiche allo sfilamento dei tiranti**

### 8.2.2 VERIFICA STRUTTURALE DEI TREFOLI

Il tiro limite ultimo dei trefoli, posto pari al tiro limite elastico convenzionale, è calcolato con la relazione:

$$T_{lim} = 0.9^2 \cdot n \cdot a_{tr} \cdot f_{pt(1)k}$$

dove  $n$  è il numero dei trefoli dei tiranti,  $a_{tr}$  è l'area del singolo trefolo e  $f_{pt(1)k}$  è resistenza caratteristica all'1% di deformazione totale.

Di seguito si riporta il confronto tra gli sforzi normali massimi nei tiranti derivanti dal calcolo, incrementati di 1.3, e i corrispettivi tiri limite strutturali.

Da tale confronto si evince che la verifica è soddisfatta.

verifiche rottura trefoli in condizioni statiche

ordine	interasse tir	Num trefoli	AREA trefoli	tensione limite elastico trefoli	tensione rottura trefoli	coeff. Materiale $\gamma_s$	$T_{ES}/m$	$T_{ES}/tir$	$T_{ed}/tir$	$T_{RES}/tir$	$\mu$
	m		mm <sup>2</sup>	MPa	MPa		kN/m	kN	kN	kN	
I	2	4	560	1670	1860	1.15	154	308	400	732	1.83

**Tabella 10 – Verifica a rottura dei trefoli**

### 8.3 VERIFICA DELLE CORREE

La verifica strutturale delle travi di ripartizione è condotta modellando tali elementi strutturali come una trave continua su appoggi posti ad interasse pari a quello tra i tiranti ( $i$ ), e assumendo un carico  $q$  uniformemente distribuito sulla trave stessa, pari al rapporto fra il massimo sforzo assiale d'esercizio nei tiranti e il suddetto interasse.

Il momento massimo nella trave di ripartizione in corrispondenza dei tiranti, posti ad interasse  $i$ , può essere

quindi valutato come valore intermedio tra il momento di incastro perfetto ( $\frac{q \cdot i^2}{12}$ ) e il momento in mezzzeria

per trave su due appoggi ( $\frac{q \cdot i^2}{8}$ ), quindi:

$$M_{max} = \frac{q \cdot i^2}{10}$$

Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profilati accoppiati UPN220 di acciaio S355 (ex FE510).

<sup>2</sup> In accordo con le Raccomandazioni AICAP, per la determinazione del tiro limite elastico convenzionale dell'armatura dei tiranti si considera il 90% della resistenza dei trefoli all'1% di deformazione totale.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 19 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

Per la verifica a taglio del profilato di acciaio si è proceduto a determinare il taglio resistente  $V_{c,Rd}$  della sezione con la relazione:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}},$$

e a confrontare quest'ultimo con il massimo taglio agente amplificato di 1.3 ( $V_{ed}$ ).

**Trave di ripartizione**  
**profilato UPN220**

#### Verifica a flessione retta

i	=	<b>2</b>	m	interasse tiranti
P <sub>d</sub>	=	<b>308</b>	kN	tiro massimo di progetto
A	=	<b>3740</b>	mm <sup>2</sup>	area profilato
h	=	<b>220</b>	mm	altezza sezione
b	=	<b>80</b>	mm	larghezza ali
t <sub>f</sub>	=	<b>12.5</b>	mm	spessore ali
r <sub>l</sub>	=	<b>12.5</b>	mm	raccordo anima ala
t <sub>w</sub>	=	<b>9</b>	mm	spessore anima
f <sub>yk</sub>	=	<b>355</b>	Mpa	tensione di snervamento dell'acciaio caratteristica
γ <sub>M0</sub>	=	<b>1.05</b>		coefficiente di sicurezza
M <sub>Ed</sub>	=	80.08	KNm	massimo momento di calcolo agente
W <sub>y</sub>	=	<b>245000</b>	mm <sup>3</sup>	modulo resistente
M <sub>c,Rd</sub>	=	165.7	KNm	massimo momento di calcolo resistente
FS	=	2.07		coefficiente di sicurezza

#### Verifica a taglio

V <sub>Ed</sub>	=	200.2	KN	massimo taglio di calcolo agente
A <sub>v</sub>	=	2009	mm <sup>2</sup>	area resistente a taglio
V <sub>c,Rd</sub>	=	784	KN	massimo taglio di calcolo resistente
FS	=	3.92		coefficiente di sicurezza

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f;$$

## 9 VERIFICHE GEO DELL'INSIEME OPERA TERRENO

La stabilità globale del sistema opera-terreno è stata valutata mediante l'analisi numerica degli effetti della riduzione dei parametri di resistenza del terreno  $c'$  e  $\tan\phi'$ . In particolare, all'analisi sopra descritta è stata aggiunta un'ulteriore fase di calcolo a partire dalla condizione di scavo finale nella quale sono stati amplificati i carichi variabili di 1,3 (cfr. paragrafo 7.2). Tale step di calcolo è stato finalizzato alla determinazione del coefficiente di sicurezza parziale  $\gamma_{lim}$  corrispondente al collasso del sistema opera-terreno:

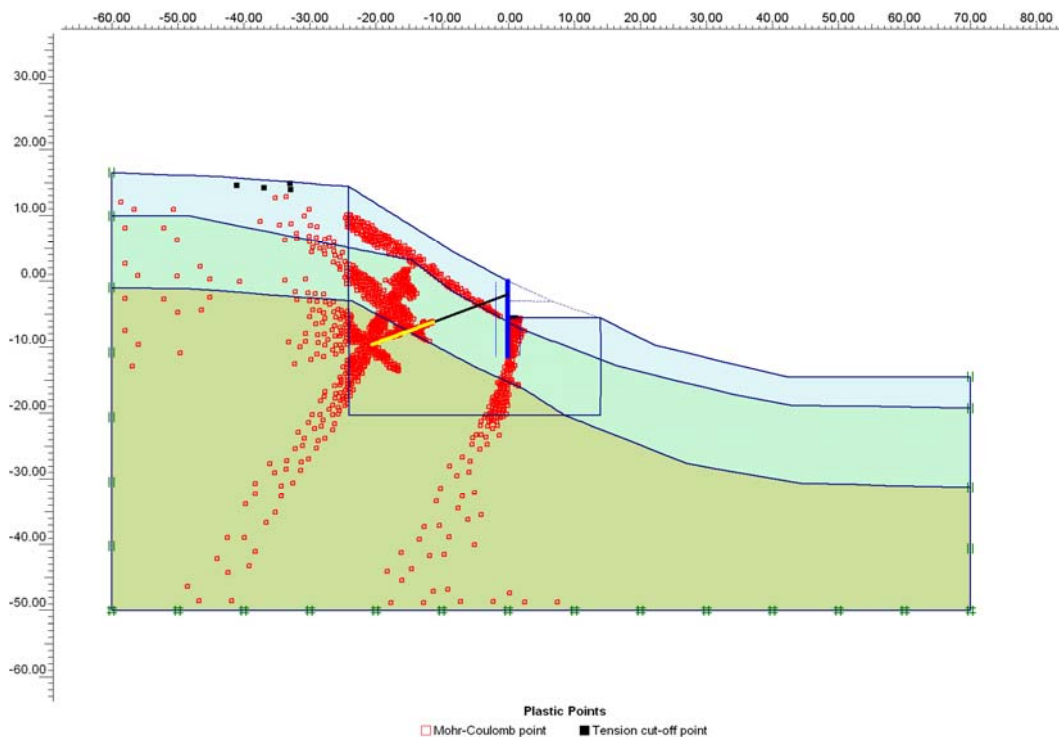
$$\gamma_{lim} = \frac{\text{parametro resistenza caratteristico}}{\text{parametro resistenza ultima}}$$

In termini di risultati numerici, il raggiungimento di un meccanismo di collasso è manifestato da grandi deformazioni e diffusa plasticizzazione. Si riportano nelle figure di seguito la distribuzione dei punti di plasticizzazione calcolata rispettivamente alla fine dello scavo (con valori caratteristici dei parametri) e al raggiungimento di condizioni di instabilità (con valori ridotti dei parametri). In particolare, il minimo del coefficiente di sicurezza parziale è  $\gamma_{lim}=1.26$ , maggiore quindi dei coefficienti parziali da applicare ai parametri meccanici del terreno per la valutazione della stabilità opera-terreno secondo la NTC2008:

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici  
del terreno  $\gamma_M$

Parametro	(M2)
tangente dell'angolo d'attrito $tg\phi'$	1,25
coesione drenata $c'$	1,25
coesione non drenata $c_u$	1,4
peso specifico $\gamma$	1

Le verifiche di stabilità sono quindi soddisfatte. Dalla Figura 11 si evince che il fenomeno di instabilità calcolato è un meccanismo di collasso locale che interessa il terreno superficiale a monte dell'opera.



**Figura 10 – Distribuzione dei punti di plasticizzazione nella fase di calcolo corrispondente allo scavo finale (valori caratteristici dei parametri di resistenza)**

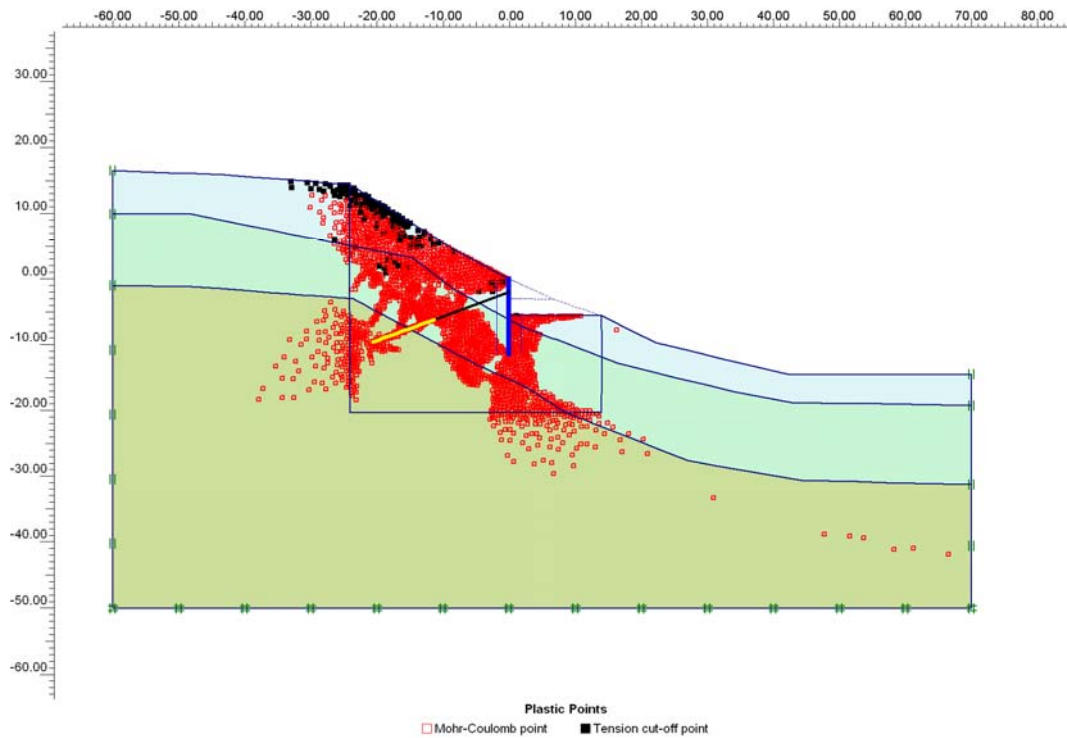


Figura 11 – Distribuzione dei punti di plasticizzazione a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale

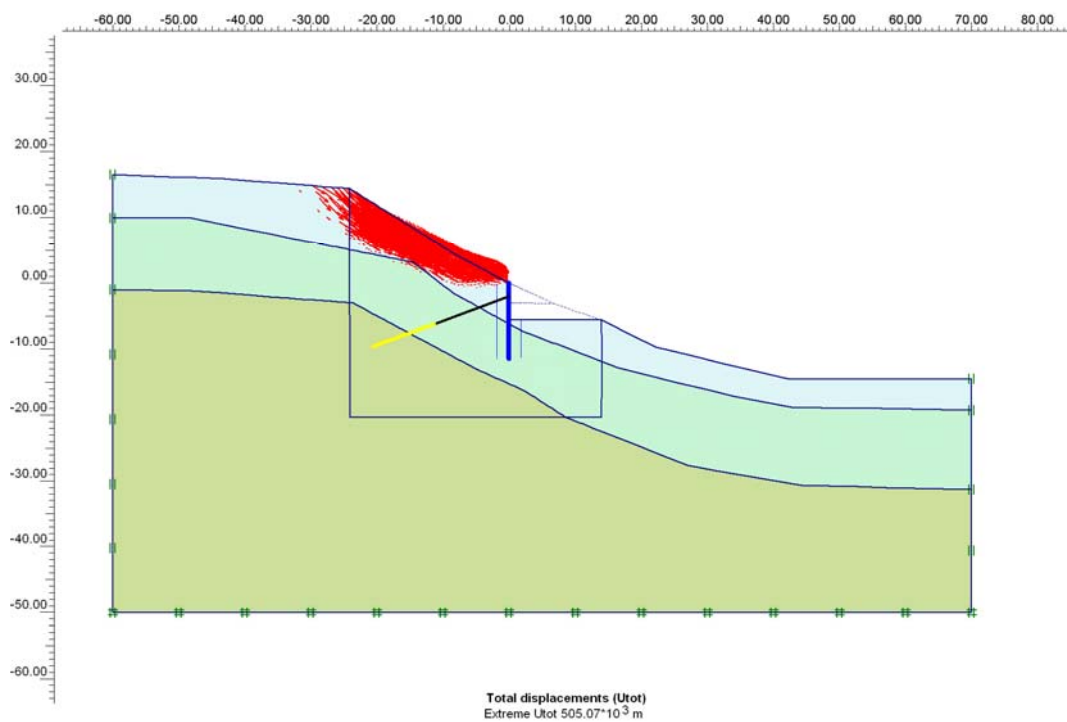


Figura 12 – Distribuzione dei vettori spostamento a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 <b>Progetto Esecutivo</b>	Opera: <b>Viadotto San Giuliano</b>
	Relazione di Calcolo opere provvisionali
	Pagina 22 di 22
	Nome file: VI04-2-CL010_A.00_relazione calcolo op-prov.doc

## 10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1]. AGI, (1997), "*Raccomandazioni sui pali di fondazione*".
- [2]. Mancina M., Nori R., Iasiello P., (2007) "*Progetti e calcoli di geotecnica con Excel*", Vol. II, DEI
- [3]. Lancellotta, R. (1987), "*Geotecnica*", Zanichelli.
- [4]. Viggiani C. (1999), "*Fondazioni*", Hedilius.
- [5]. Boweles, J. (1998), "*Fondazioni progetto e analisi*", Mc Graww-Hill.
- [6]. Cestelli Guidi C. (1991), "*Geotecnica e tecnica delle fondazioni 2*", ottava edizione, Hoepli.