

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 Arenella III

Relazione di calcolo Opere Provvisionali

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 5 7 V I 2 1 4 V I 1 4 2 C L 0 1 1 C -

Scala:

| | | | | | | |
|------|----------------|--|-----------|-------------|-----------|-------------|
| F | | | | | | |
| E | | | | | | |
| D | | | | | | |
| C | Settembre 2011 | Aggiornamento Progettuale | T. FASOLO | F. NIGRELLI | M. LITI | P. PAGLINI |
| B | Luglio 2011 | Revisione a seguito di incontri con il Committente | T. FASOLO | F. NIGRELLI | M. LITI | P. PAGLINI |
| 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 1 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

INDICE

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | NORME E RIFERIMENTI..... | 5 |
| 3 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 6 |
| 4 | DESCRIZIONE DELL'OPERA..... | 7 |
| 4.1 | OPERA TIPO 1..... | 7 |
| 4.2 | OPERA TIPO 2..... | 8 |
| 5 | INQUADRAMENTO GEOTECNICO | 9 |
| 6 | PROCEDURA DI CALCOLO AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008 | 10 |
| 7 | ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE..... | 15 |
| 7.1 | ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE..... | 15 |
| 7.2 | PARAMETRI DEL TERRENO | 16 |
| 7.3 | FASI DI CALCOLO | 17 |
| 7.4 | MODELLAZIONE ELEMENTI STRUTTURALI..... | 18 |
| 7.5 | RISULTATI DELL'ANALISI | 20 |
| 7.5.1 | OPERA TIPO 1 | 20 |
| 7.5.2 | OPERA TIPO 2 | 24 |
| 8 | VERIFICHE SLU..... | 35 |
| 8.1 | VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARATIA | 36 |
| 8.1.1 | OPERA TIPO 1 | 36 |
| 8.1.2 | OPERA TIPO 2 | 37 |
| 8.2 | VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARETE DI CONTENIMENTO | 41 |
| 8.3 | VERIFICHE DEI TIRANTI..... | 42 |
| 8.3.1 | OPERA TIPO 1 | 42 |
| 8.3.2 | VERIFICA ALLO SFILAMENTO | 42 |
| 8.3.3 | VERIFICA STRUTTURALE DEI TREFOLI | 44 |
| 8.3.4 | OPERA TIPO 2 | 44 |
| 8.3.5 | VERIFICA ALLO SFILAMENTO | 44 |
| 8.3.6 | VERIFICA STRUTTURALE DEI TREFOLI | 46 |
| 8.4 | VERIFICA DELLE CORREE..... | 46 |
| 8.4.1 | OPERA TIPO 1 | 47 |
| 8.4.2 | OPERA TIPO 2 | 48 |
| 9 | VERIFICHE GEO DELL'INSIEME OPERA TERRENO | 49 |
| 9.1 | OPERA TIPO 1 | 49 |
| 9.2 | OPERA TIPO 2 | 52 |
| 10 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 55 |

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 2 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

1 PREMESSA

Nella presente relazione si riportano le verifiche geotecnico-strutturali delle opere di sostegno necessarie per la realizzazione delle pile P10 e P11 della carreggiata sinistra, delle pile P11 e P12 della carreggiata destra e della spalla A della carreggiata sinistra. Le opere provvisionali per la realizzazione delle pile si rendono necessarie data la prossimità delle opere all'asse ferroviario. La distanza media tra le pile e l'asse ferroviario, misurata dal bordo della fondazione, è di circa 6m. La profondità del piano di imposta delle fondazioni delle pile rispetto il piano campagna è circa 5m. Le opere provvisionali previste per le pile consistono in una paratia di pali di medio diametro ($\phi 540$) tirantata con un ordine di tiranti (opera Tipo 1).

Lo scavo per la realizzazione della spalla A carreggiata sinistra, invece, interferisce con il rilevato esistente a tergo della spalla sud del viadotto "IMERA". La spalla A è ubicata ad una profondità di circa 10m rispetto il piano viabile della strada attualmente in esercizio. Per sostenere il rilevato esistente, durante lo scavo per la realizzazione della spalla, si prevede una paratia di pali di grande diametro ($\phi 1200$) tirantata con un ordine di tiranti (opera Tipo 2). Tale opera è progettata in modo da consentire, dopo la deviazione del traffico sulla carreggiata sinistra realizzata, lo scavo della spalla A della carreggiata destra senza interferenze con il nuovo rilevato. 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 delle opere (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).

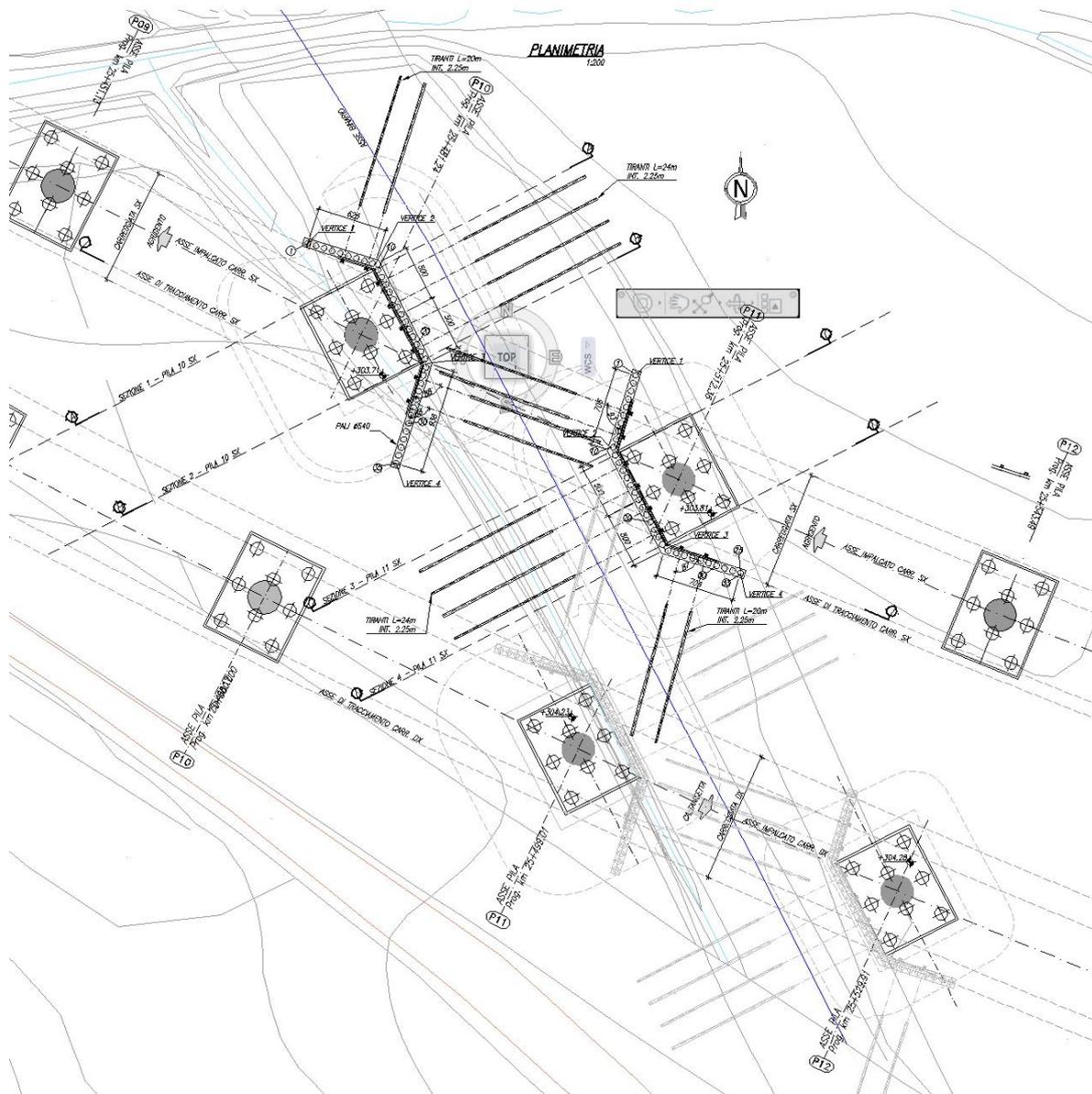


Figura 1 – Opera tipo 1 - Pianta in corrispondenza delle pile interessate dalle opere provvisionali.

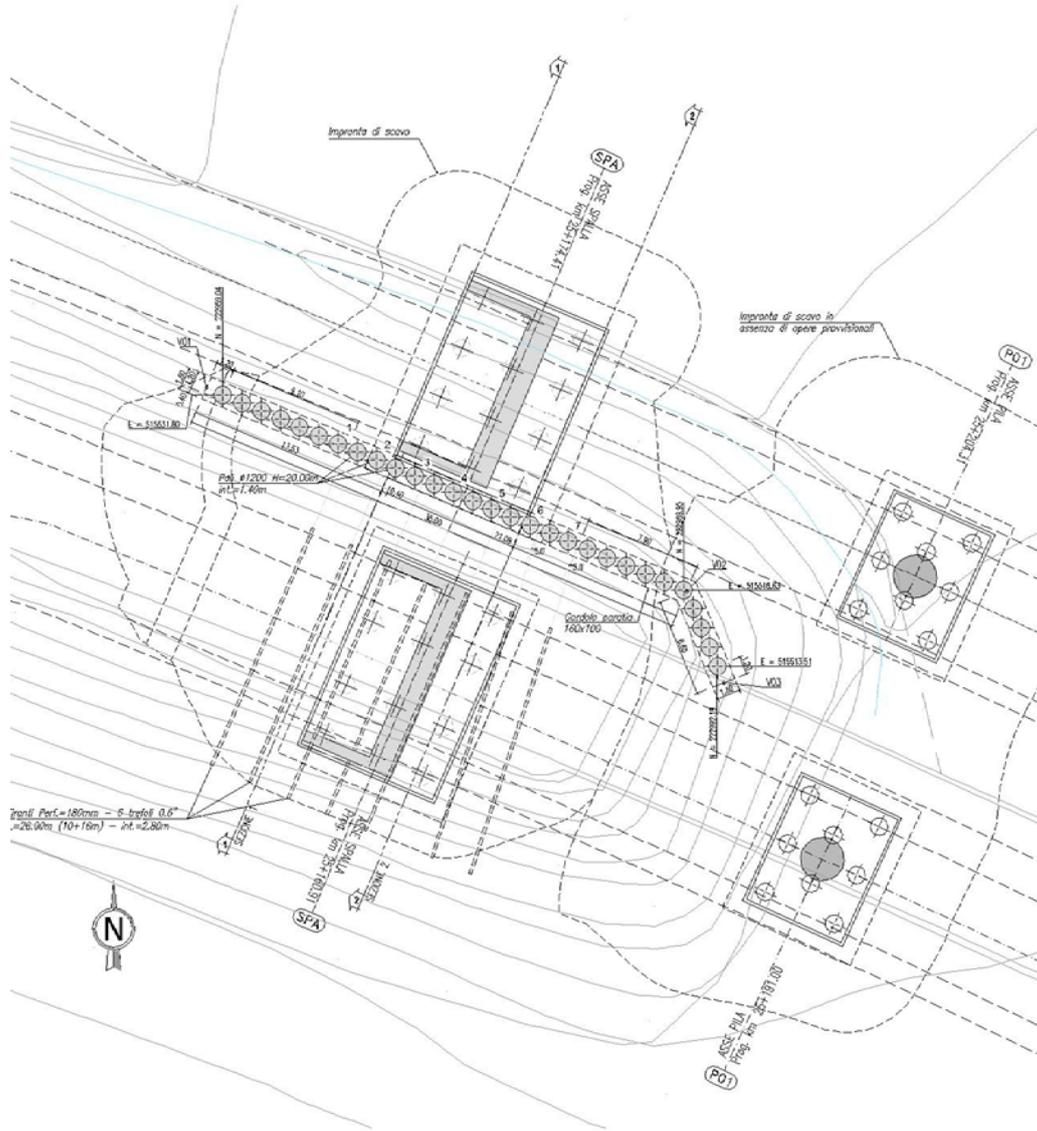


Figura 2 – Opera tipo 2 – Pianta in corrispondenza della spalla A carreggiata sinistra

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 5 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-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”.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 6 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZO

| | | | |
|---|---------------|--------|------------------|
| Classe di resistenza | C32/40 | | |
| Resistenza caratteristica cubica | R_{ck} | \geq | 40.00 MPa |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione | f_{ck} | $=$ | 33.20 MPa |
| coefficiente del materiale | γ_c | $=$ | 1.50 |
| Modulo elastico (istantaneo) | E_{cm} | $=$ | 33 642.78 MPa |
| Coefficiente di Poisson | ν | $=$ | 0.20 |
| Resistenza di calcolo a compressione | f_{ck} | $=$ | 18.81 MPa |
| Resistenza a trazione semplice (assiale) | f_{ctm} | $=$ | 3.10 MPa |
| Resistenza a trazione semplice (assiale) caratteristica | f_{ctk} | $=$ | 2.17 MPa |
| Resistenza (media) a trazione per flessione | f_{ctm} | $=$ | 3.72 MPa |
| Resistenza a trazione per flessione caratteristica | f_{ctk} | $=$ | 2.60 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 | γ_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 CARPENTERIA METALLICA

| | | | |
|--|---------------|-----|----------------|
| 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 ² |
| resistenza caratteristica a rottura | f_{ptk} | $=$ | 1860 MPa |
| resistenza caratteristica allo 1% di deformazione totale | $f_{pt(1)k}$ | $=$ | 1670 MPa |
| coefficiente del materiale | γ_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 |

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 8 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

| CARATTERISTICHE DEI TIRANTI | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|--------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|
| ordine | Llib | inclinazione | Tiro pret | diametro bulbo | area bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | Num trefoli | AREA trefoli |
| | (m) | (°) | kN | m | mm ² | m | m | kN/m | | mm ² |
| I | 10 | 30 | 225 | 0.18 | 25447 | 14 | 2.25 | 100 | 5 | 700 |

Tabella 1 – Opera tipo 1 - Caratteristiche dei tiranti

I tiranti sono posizionati in modo da non interferire con le opere adiacenti.

I profili delle corree sono UPN220.

I pali sono collegati in testa da un cordolo di c.a. avente sezione rettangolare (bxh) 80x60cm.

4.2 OPERA TIPO 2

Lo scavo per la realizzazione della spalla A carreggiata sinistra interferisce con il rilevato della attuale strada statale n°640. il Rilevato risulta in prosecuzione della spalla sud del viadotto "IMERA". La spalla A è ubicata ad una profondità di circa 10m rispetto il piano viabile della strada attualmente in esercizio. Per sostenere il rilevato esistente, durante lo scavo per la realizzazione della spalla A, si prevede una paratia di pali di grande diametro tirantata con un ordine di tiranti. La paratia è costituita da pali di diametro 1200mm disposti a interasse 1.40m. La lunghezza dei pali è 20m. In Figura 4 si riporta la sezioni trasversale in corrispondenza della spalla A. La massima altezza di scavo in corrispondenza della spalla A è 8m circa. Si prevede di contrastare la paratia con un ordine di tiranti disposti a interasse orizzontale di 2.40m.

I tiranti hanno le caratteristiche riportate in Tabella 2.

Le fasi costruttive prevedono la realizzazione alternata prima della carreggiata sinistra e dopo della carreggiata destra, in modo da garantire durante le lavorazioni la viabilità stradale. In particolare, mantenendo il traffico veicolare sul tracciato esistente si realizza la carreggiata sinistra di progetto e successivamente, una volta deviato il traffico sulla nuova sede, si realizza la carreggiata destra.

L'opera di sostegno sopra descritta è stata progettata in modo da contenere in seconda fase anche il rilevato della carreggiata sinistra durante gli approfondimenti dello scavo per la realizzazione della spalla A carreggiata destra. Per compensare il dislivello tra la testa della paratia e la scarpata del rilevato della carreggiata sinistra si prevede una parete verticale di contenimento ancorata alla testa della paratia. Tale parete ha altezza di 2.30m e spessore 40cm.

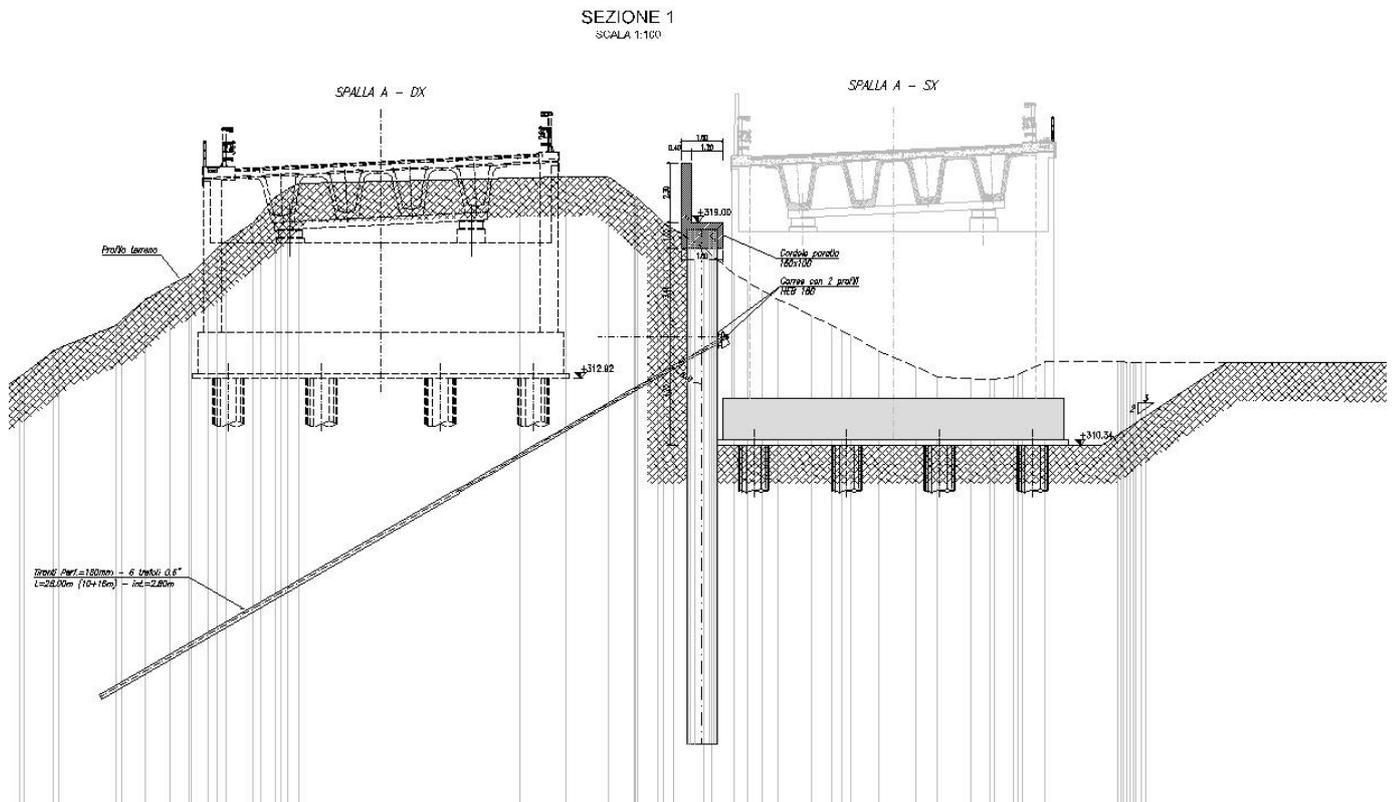


Figura 4 – Opera tipo 2 - Sezione trasversale spalla A carr. sx

| CARATTERISTICHE DEI TIRANTI | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|----------------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|
| ordine | Llib | inclinazione tirante | Tiro pret | diametro bulbo | area bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | Num trefoli | AREA |
| | (m) | (°) | kN | m | mm ² | m | m | kN/m | | mm ² |
| I | 10 | 30 | 450 | 0.18 | 25447 | 16 | 2.8 | 161 | 6 | 840 |

Tabella 2 – Opera tipo 2 - Caratteristiche dei tiranti

I tiranti sono posizionati in modo da non interferire con i pali della spalla A carreggiata destra da realizzare dopo deviazione del traffico sulla carreggiata sinistra di nuova costruzione.

I profili delle corree sono HEB180.

I pali sono collegati in testa da un cordolo di c.a. avente sezione rettangolare (bxh) 160x100cm.

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

A partire dai profili geotecnici del viadotto Fosso Arenella III allegati al presente progetto è stato definito il rapporto opera-terreni.

In particolare, lo scavo per la realizzazione delle pile in prossimità della linea ferroviaria interessa dapprima lo strato superficiale costituito da sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa (TF1), per un'altezza massima di 6m. I strati sottostanti sono costituiti da terreni argillosi (TRV).

I parametri fisico-meccanici dei terreni sono riportati in Tabella 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 10 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

In corrispondenza delle opere in esame si considera la presenza di falda a -6m dal piano campagna.

| Profondità (m) | Litotipo |
|------------------|--|
| 0.00 ÷ 6.00 | <u>Alluvioni TF1:</u> sabbie e ghiaie immerse in matrice limo sabbiosa. |
| 6.00 ÷ 10.00 | <u>Argille marnose sommitali alterate – TRV1:</u> argilla limosa plastica ed alterata |
| 10.00 ÷ 20.00 | <u>Argille marnose intermedie – TRV2a:</u> argilla marnosa a tratti scagliosa |
| 20.00 ÷ in prof. | <u>Argille marnose profonde – TRV2b:</u> argilla marnosa consistente a tratti scagliosa |

Tabella 3 – Stratigrafia dei terreni

| | peso nell'unità di volume | coesione drenata | angolo d'attrito | Modulo elastico |
|-----------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| litotipo | γ [kN/m ³] | c' [kPa] | φ' [°] | E' [MPa] |
| TF1 | 19.8 | 5 | 23 | 20000 |
| TRV1 | 19.6 | 19 | 21.17 | 20000 |
| TRV2a | 19.8 | 24 | 19.26 | 25000 |
| TRV2b | 19.3 | 21 | 22.75 | 30000 |

Tabella 4 – 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%.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 11 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

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

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 in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Fj}$ delle azioni, dei parametri di progetto X_k/γ_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

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 12 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

variabili, disattivando gli elementi finiti corrispondenti ai volumi scavati e attivando gli elementi finiti che modellano gli interventi di sostegno.

Le analisi FEM, le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate sulla base del diagramma di flusso di Figura 5. Tale diagramma è coerente con le indicazioni riportate da Bauduin (2005) e Bauduin et Al (2005)¹ a proposito dell'applicazione dell'Eurocodice 7.

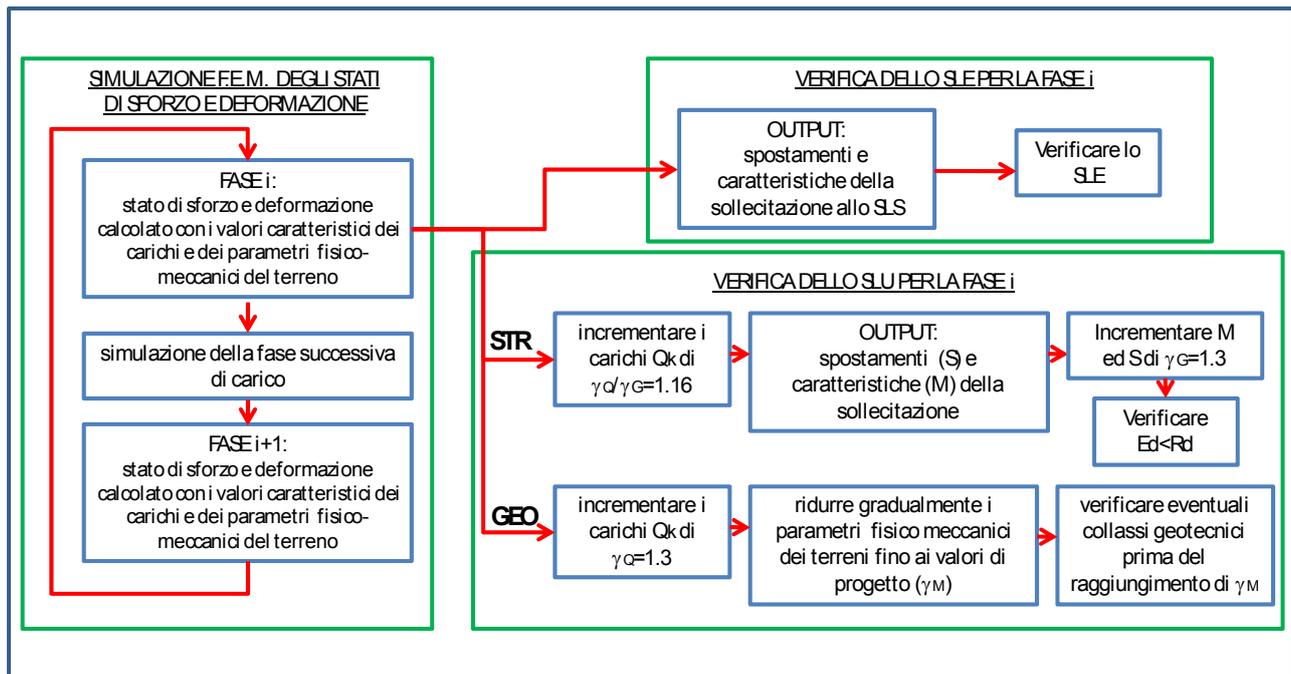


Figura 5 Diagramma di flusso per le analisi FEM d'interazione opera-terreno e per le verifiche strutturali e geotecniche

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.

¹ 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 13 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-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 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) 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 5 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 γ_M | (M1) | (M2) |
|--|---|--|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$ | γ_ψ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | γ_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 |

Tabella 6 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

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 14 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

sollecitazioni e gli spostamenti (E_d) così ottenuti sono stati confrontati con i valori ultimi di resistenza e deformazione (R_d) secondo la relazione:

$$E_d \geq R_d$$

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 γ_M specificati nel DM 14/01/08 ai valori caratteristici di resistenza dei terreni. Si è infine verificato che in corrispondenza dei moltiplicatori finali γ_M sia garantita la stabilità del sistema geotecnico nei confronti di collassi sia locali che globali.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 15 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

7 ANALISI DELL'INTERAZIONE OPERA-TERRENO E VERIFICHE

Lo studio dell'interazione opera-terreno è stato condotto 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.

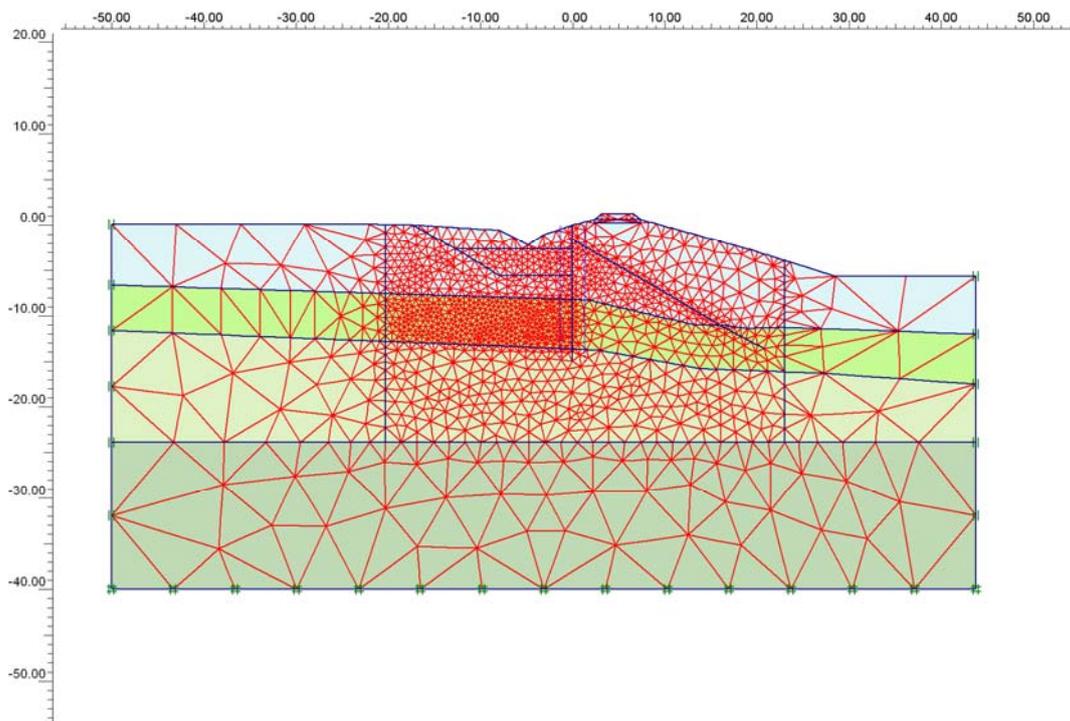


Figura 6 – Opera Tipo 1 - Mesh e condizioni al contorno considerate nelle analisi numeriche

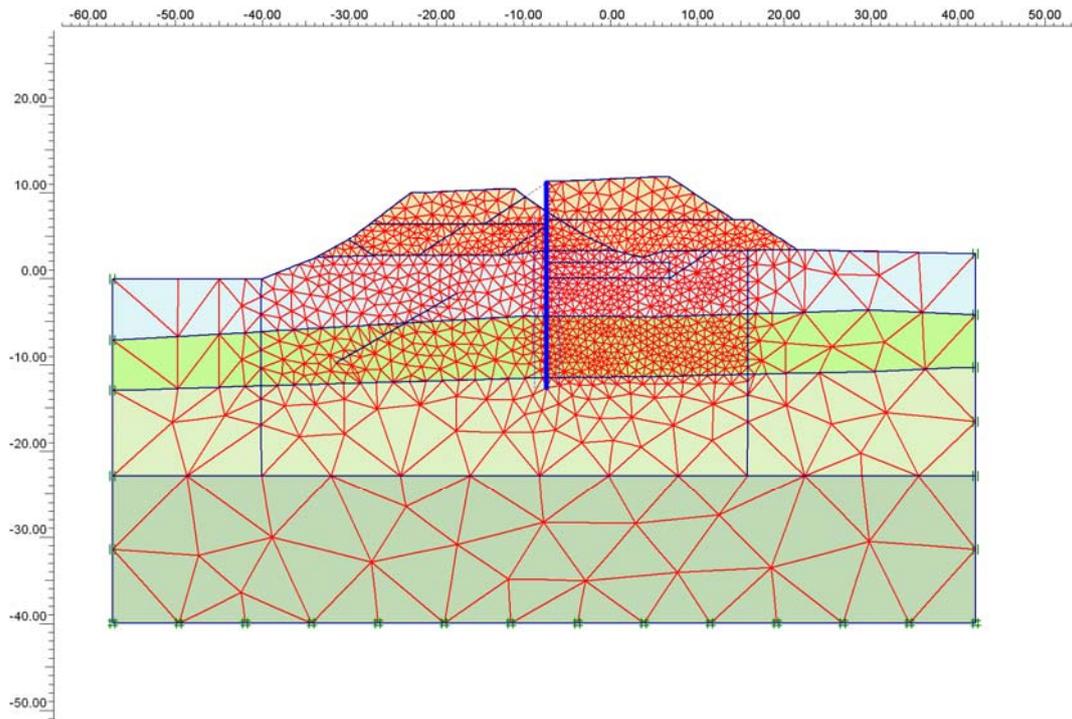


Figura 7 – Opera Tipo 2 - Mesh e condizioni al contorno considerate nelle analisi numeriche

7.2 PARAMETRI DEL TERRENO

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

| 77 | peso nell'unità di volume | coesione drenata | angolo d'attrito | Modulo elastico |
|-----------------|----------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| litotipo | γ [kN/m ³] | c' [kPa] | φ' [°] | E' [MPa] |
| RIL | 19 | 2 | 32 | 25000 |
| TF1 | 20 | 5 | 23 | 20000 |
| TRV1 | 20 | 19 | 21.17 | 20000 |
| TRV2a | 20 | 24 | 19.26 | 25000 |
| TRV2b | 20 | 21 | 22.75 | 30000 |

Tabella 7 – Parametri geotecnici dei terreni

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 17 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

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.

Le fasi considerate nel calcolo dell'opera tipo 1 sono:

1. Generazione dello stato tensionale iniziale. In tale fase si considera anche la presenza della sovrastruttura ferroviaria di spessore complessivo 1m.
2. Attivazione della paratia;
3. scavo sino a 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 pila;

Dopo ogni singola fase di scavo è stata inserita una fase di calcolo che simula la presenza del carico ferroviario $q=62.5kPa$). Tale carico è stato determinato considerando una traversina di lunghezza $l=2.4m$: $q=Qvk / l = 150/2.4 = 62.5kPa$

Per il calcolo dell'opera tipo 2 sono state considerate due fasizzazioni:

- a) fasi che simulano lo scavo per la realizzazione della carreggiata sinistra con il rilevato esistente in esercizio:
 - [1]. Generazione dello stato tensionale iniziale;
 - [2]. attivazione della paratia;
 - [3]. scavo sino a 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;
 - [6]. attivazione del cluster che simula la presenza del plinto di fondazione della spalla;
 - [7]. disattivazione del tirante;

Dopo ogni singola fase di scavo è stata inserita una fase di calcolo che simula la presenza del carico stradale (20kPa).

- b) fasi che simulano lo scavo per la realizzazione della carreggiata destra con carreggiata sinistra in esercizio. Dall'ultima delle suddette fasi si è proceduto con le seguenti fasi:
 - [1]. attivazione della parete di c.a. in sommità al cordolo della paratia;
 - [2]. attivazione del rilevato della carreggiata destra (si simula il rilevato subito a tergo della spalla A carr. dx);
 - [3]. scavo del rilevato esistente
 - [4]. attivazione del carico che simula la presenza del carico stradale (20kPa)

Le analisi sono state svolte nelle ipotesi di risposta drenata, assumendo la superficie piezometrica della falda ad una profondità media di 6m al di sotto del piano campagna.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 18 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

7.4 MODELLAZIONE ELEMENTI STRUTTURALI

Le paratie sono state modellate con elementi finiti trave a comportamento elastico.

Le caratteristiche di rigidezza delle paratie, relativamente all'estensione di un metro, sono riportate nelle tabelle sotto.

| Rigidezze PARATIA | | | | | | | | |
|-------------------|--|-------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|--------------------------|
| peso palo /m | Resistenza caratteristica a compressione Rck | Modulo elastico E | DIAMETRO PALO d | interasse palo i | Area palo S | Inerzia palo I | Rigidezza assiale EA | Rigidezza flessionale EI |
| kN/m ² | MPa | MPa | m | m | m ² | m ⁴ | kN | kNm ² |
| 7.63 | 40.00 | 33 642.78 | 0.54 | 0.75 | 0.2290 | 0.00417 | 10 273 252.99 | 187 230.04 |

Tabella 8 – Opera tipo 1 - Caratteristiche di rigidezza della paratia

| Rigidezze PARATIA | | | | | | | | |
|-------------------|--|-------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|--------------------------|
| peso palo /m | Resistenza caratteristica a compressione Rck | Modulo elastico E | DIAMETRO PALO d | interasse palo i | Area palo S | Inerzia palo I | Rigidezza assiale EA | Rigidezza flessionale EI |
| kN/m ² | MPa | MPa | m | m | m ² | m ⁴ | kN | kNm ² |
| 20.20 | 40.00 | 33 642.78 | 1.20 | 1.40 | 1.131 | 0.1018 | 27 177 917.97 | 2 446 012.62 |

Tabella 9 – Opera tipo 2 - Caratteristiche di rigidezza della paratia

| Rigidezza parete in sommità al cordolo della paratia | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|
| Resistenza caratteristica a compressione Rck | Modulo elastico E | Modulo elastico E | Area | Inerzia | Peso proprio /m | Rigidezza assiale /m EA | Rigidezza flessionale /m EI |
| MPa | MPa | kPa | m ² | m ⁴ | kN/m/m | kN/m | kPa/m |
| 40.00 | 33 642.78 | 33 642 777.68 | 0.40 | 0.0053 | 10.00 | 13 457 111.07 | 179 428.15 |

Tabella 10 – Opera tipo 2 - Caratteristiche di rigidezza della parete verticale in sommità al cordolo della paratia

Le rigidezze delle aste che modellano i tiranti sono riportate in tabella sotto.

| ordine | rigidezza assiale lungh. fond. EA/m | rigidezza assiale lungh. Lib. EA/m |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | kN | kN |
| I | 409964 | 64089 |

Tabella 11 – Opera tipo 1 - Caratteristiche di rigidezza dei tiranti

| ordine | rigidezza assiale lungh. fond. EA/m | rigidezza assiale lungh. Lib. EA/m |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | kN | kN |
| I | 338163 | 61800 |

Tabella 12 – Opera tipo 2 - Caratteristiche di rigidezza dei tiranti

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 19 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

Per la paratia della Pila 10, considerata la limitata estensione, nel tratto prospiciente la linea ferroviaria, e i risvolti a 45° sull'estremità della paratia, l'effetto di contrasto della trave di coronamento sulla paratia è simulata nel calcolo applicando in testa alla paratia una molla equivalente, la cui rigidezza è determinata come segue.

Si considera la trave di coronamento di luce 10m, incastrata ai lati e caricata uniformemente.

La rigidezza della molla equivalente è determinata con la relazione:

$$k = 384 \frac{EI}{l^4}$$

Si riporta in dettaglio il calcolo della rigidezza della molla equivalente.

| | | |
|--------------------------|--------------|----------------|
| Materiali | | |
| Rck | 40.00 | Mpa |
| E | 33 642.78 | MPa |
| Sezione retta | | |
| B | 0.60 | m |
| H | 0.80 | m |
| I | 0.0256 | m ⁴ |
| Geometria di calcolo | | |
| L | 10.00 | m |
| Rigidezza di 1m di trave | | |
| k | 33.07 | 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 20 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

7.5 RISULTATI DELL'ANALISI

7.5.1 OPERA TIPO 1

Con riferimento alle fasi riepilogate al Paragrafo 7.3 i risultati delle analisi sono presentati dalla Figura 8 alla Figura 11 in termini di distribuzioni di spostamenti orizzontali e verticali.

Lo spostamento massimo in testa paratia si rileva nella fase di calcolo che precede l'attivazione del tirante $u_h=16\text{mm}$.

Al raggiungimento della quota di scavo finale con la presenza del carico ferroviario lo spostamento orizzontale massimo della paratia è $u_h=12\text{mm}$, rilevato a -5m dalla testa della paratia. Nella stessa fase il sollevamento massimo del fondo scavo è $u_v=56\text{mm}$.

In Tabella 13 sono riportati i principali risultati dell'analisi per le differenti fasi di calcolo. In tale tabella, si evidenzia che le sollecitazioni sugli elementi strutturali sono determinati per carichi variabili non amplificati. In Figura 12, è riportata la distribuzione delle sollecitazioni sulla paratia per la fase di calcolo più significativa (scavo finale con carico ferroviario).

opere provvisionali in corrispondenza della pila P10 sx - Sintesi risultati

| fasi | spostamento max orizzontale testa paratia | spostamento max verticale fondo scavo | Sollecitazioni massime micropali | | | Sollecitazioni massime tiranti | reazione trave di coronamento |
|-------------------------|---|--|----------------------------------|------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | u_h (mm) | u_v (mm) | Nmax (kN) | Mmax (kNm) | Tmax (kN) | Nmax (kN) | Nmax (kN) |
| scavo1+carico ferrov. | -16 | 25 | -52 | 81 | 44 | -- | -0.62 |
| scavo fin.+carico ferr. | -12 | 56 | -207 | 123 | 96 | 148 | -0.2 |

Tabella 13 – sintesi dei risultati dell'analisi

Dai risultati dell'analisi si evince che la reazione della molla equivalente, che simula la trave di coronamento, risulta modesta e l'effetto di contrasto è trascurabile. Non si apprezzano, quindi, significative sollecitazioni sulla trave di coronamento.

scavo provvisorio

| | | |
|--|-------|------|
| Reazione della molla fornito dal calcolo | | |
| Rp | 0.62 | kN |
| Carico distribuito sulla trave di coronamento | | |
| q | 0.62 | kN/m |
| Momento in mezzeria della trave di coronamento | | |
| M | 2.58 | kN*m |
| Momento agli incastri della trave di coronamento | | |
| M | -5.17 | kN*m |
| Taglio agli incastri | | |
| T | 3.10 | kN |

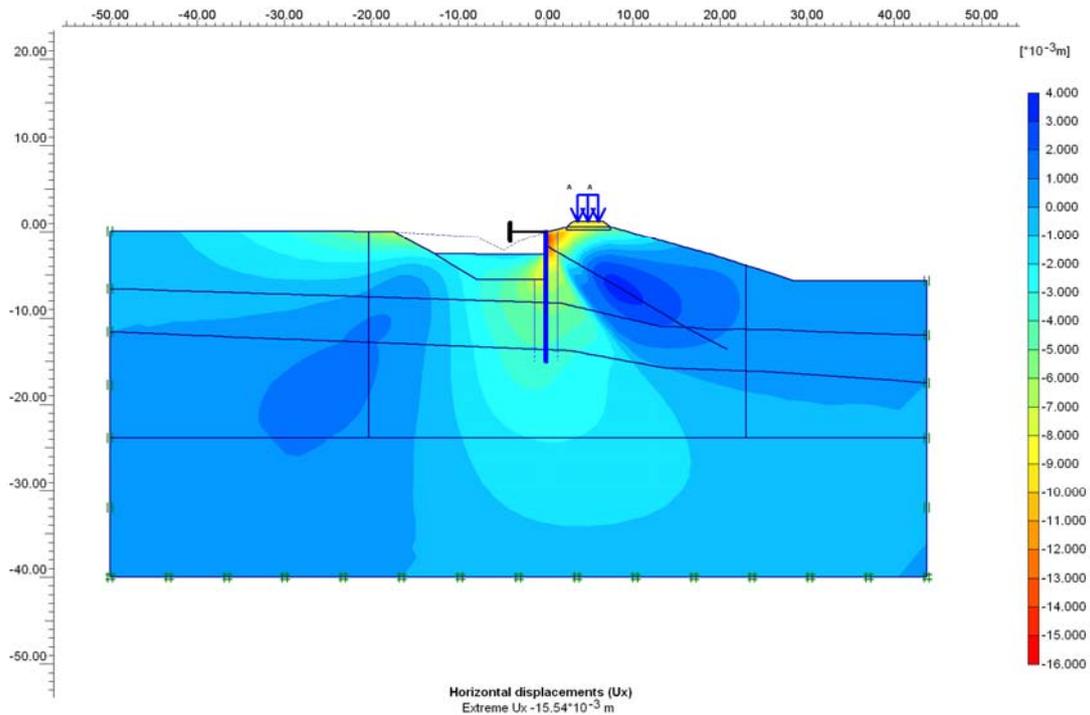


Figura 8 – Opera tipo 1 - Distribuzione degli spostamenti orizzontali dopo lo scavo per la realizzazione dei tiranti del 1° ord con carico ferroviario.

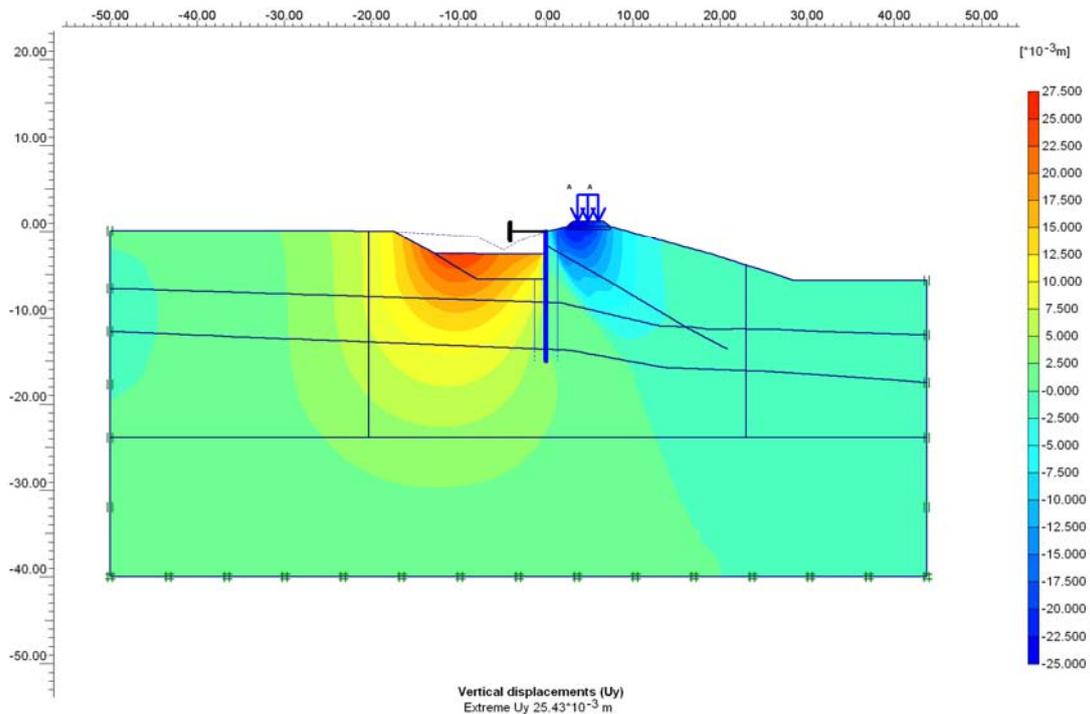


Figura 9 – Opera tipo 1 - Distribuzione degli spostamenti verticali dopo lo scavo per la realizzazione dei tiranti del 1° ord. con carico ferroviario

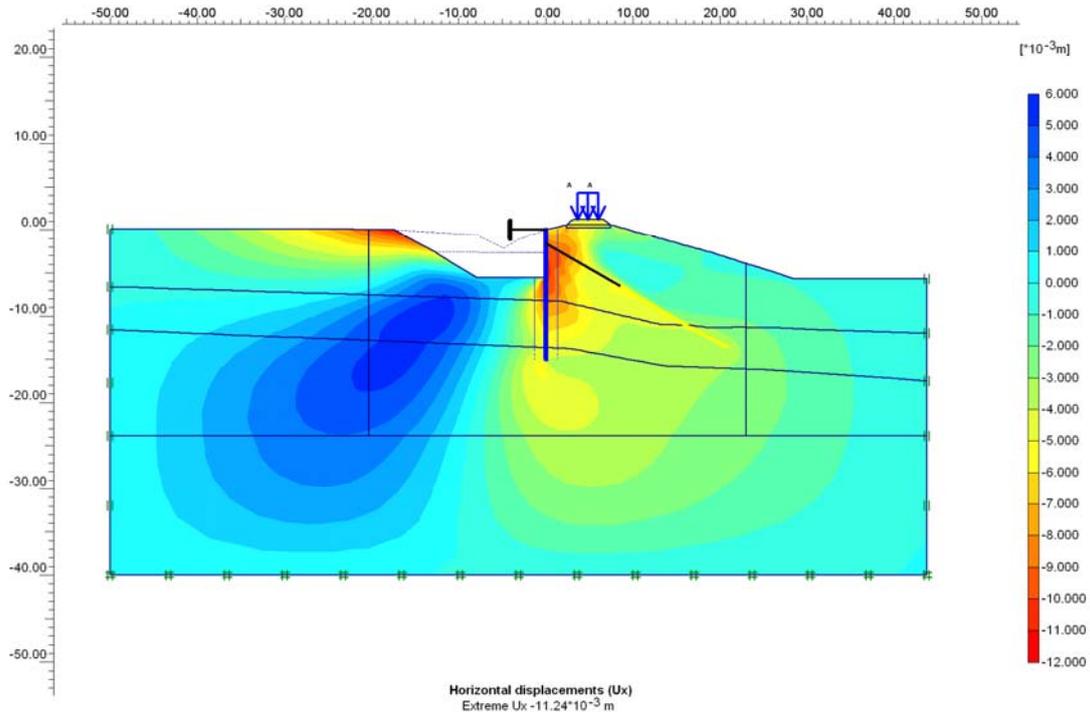


Figura 10 – Opera tipo 1 - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a fine scavo con carico ferroviario.

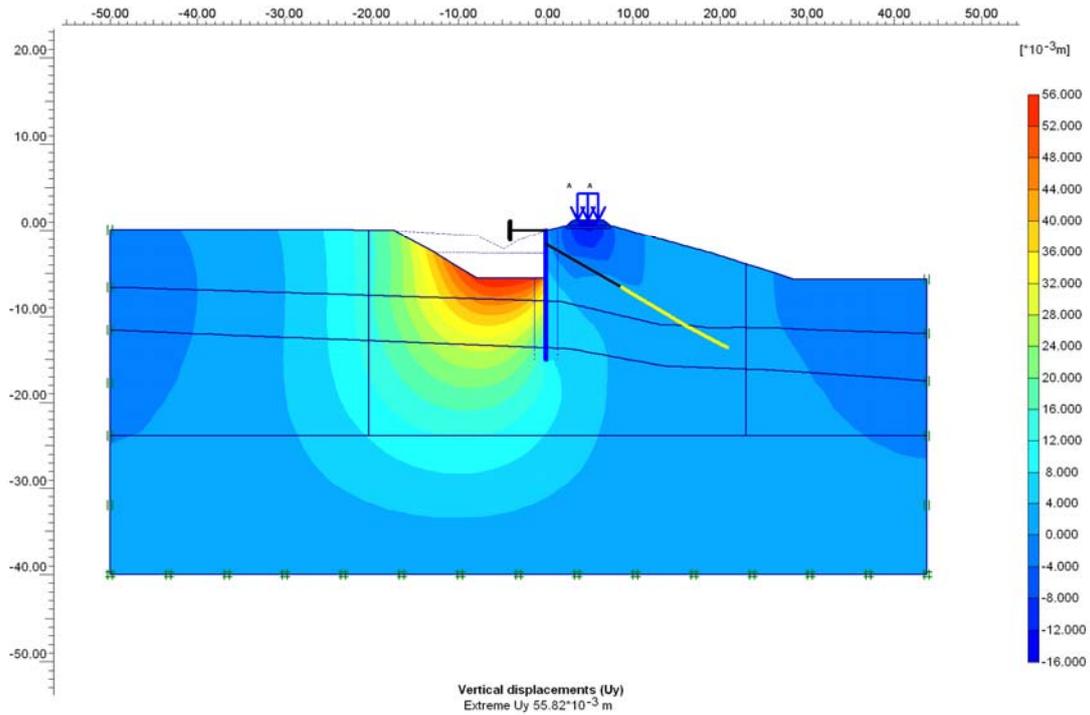


Figura 11 – Opera tipo 1 - Distribuzione degli spostamenti verticali a fine scavo con carico ferroviario.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 23 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

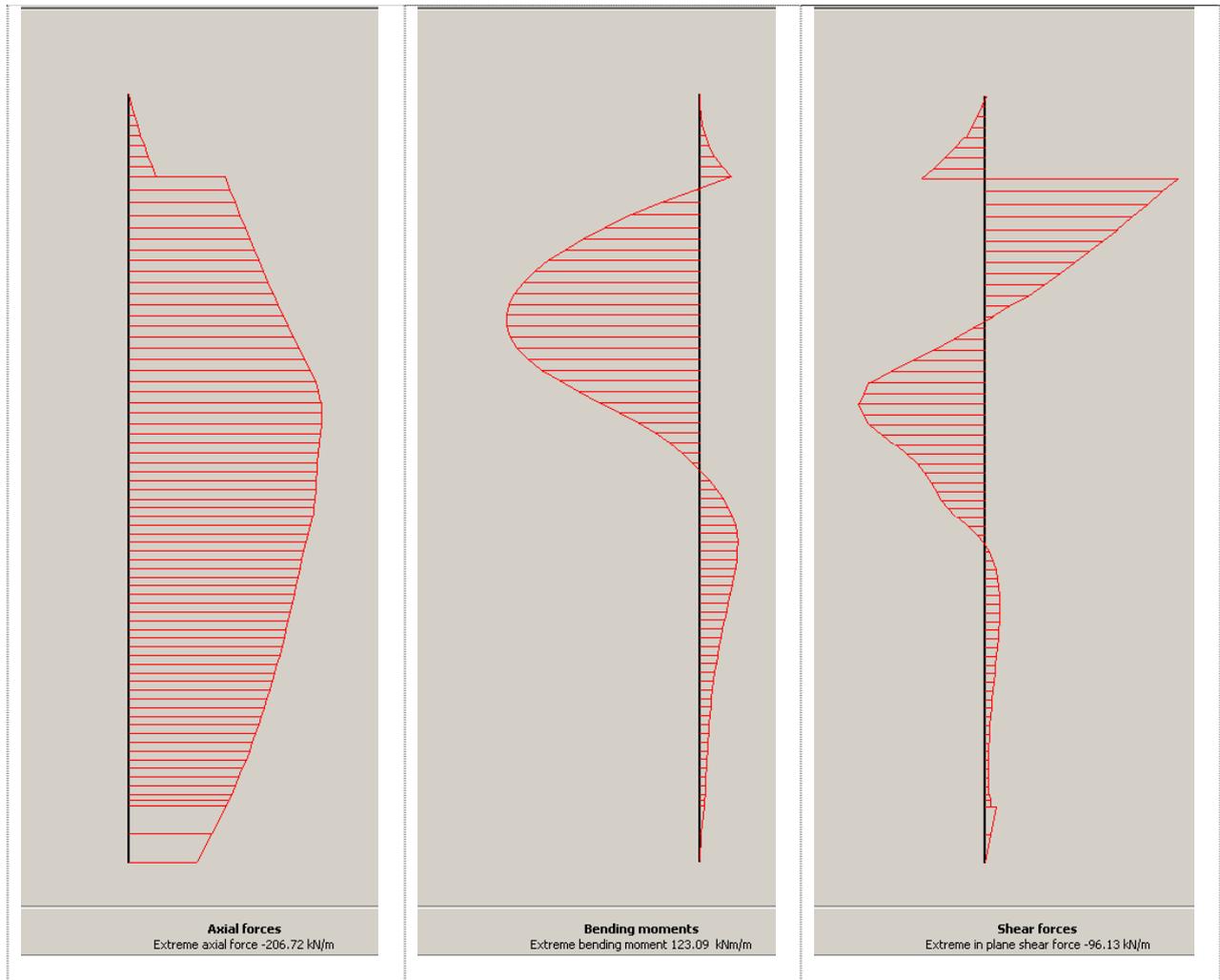


Figura 12 – Opera tipo 1 - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia a fine scavo con carico ferroviario

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 24 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

7.5.2 OPERA TIPO 2

Con riferimento alle fasi riepilogate al Paragrafo 7.3, si riportano nel seguito i risultati più significativi dell'analisi distinti per le due carreggiate.

7.5.2.1 Realizzazione della carreggiata sinistra

Dalla Figura 13 alla Figura 16 sono riportate le distribuzioni di spostamenti orizzontali e verticali.

Al raggiungimento della quota di scavo finale lo spostamento orizzontale massimo della paratia è $u_h=58\text{mm}$, rilevato in testa alla paratia. Nella stessa fase il sollevamento massimo del fondo scavo è $u_v=92\text{mm}$.

L'incremento di spostamento successivo alla disattivazione del tirante è $\Delta u_h=10\text{mm}$

In Tabella 14 sono riportati i principali risultati dell'analisi. In tale tabella, si evidenzia che le sollecitazioni sugli elementi strutturali sono determinate per carichi variabili non amplificati. In Figura 17 e Figura 18 sono riportate le distribuzioni delle sollecitazioni più significative, determinate rispettivamente per la fase di calcolo di fine scavo con tirante e relativa alla disattivazione del tirante.

opere provvisionali in corrispondenza delle spalle - Sintesi risultati

| | fasi | spostamento max orizzontale testa paratia | spostamento max verticale fondo scavo | Sollecitazioni massime pali | | | Sollecitazioni massime tiranti |
|---------------------------|------------------------|---|--|-----------------------------|------------|-----------|--------------------------------------|
| | | u_h (mm) | u_v (mm) | Nmax (kN) | Mmax (kNm) | Tmax (kN) | Nmax (kN) |
| realizzazione carr. Sx | scavo1+carico stradale | 20 | 40 | -225 | 396 | 114 | -- |
| | scavo2+carico stradale | 58 | 92 | -419 | 290 | 142 | 206 |
| | disatt. Tirante | 64 | 73 | -483 | 597 | 352 | -- |

Tabella 14 – Opera tipo 2 (a) - Sintesi dei risultati dell'analisi

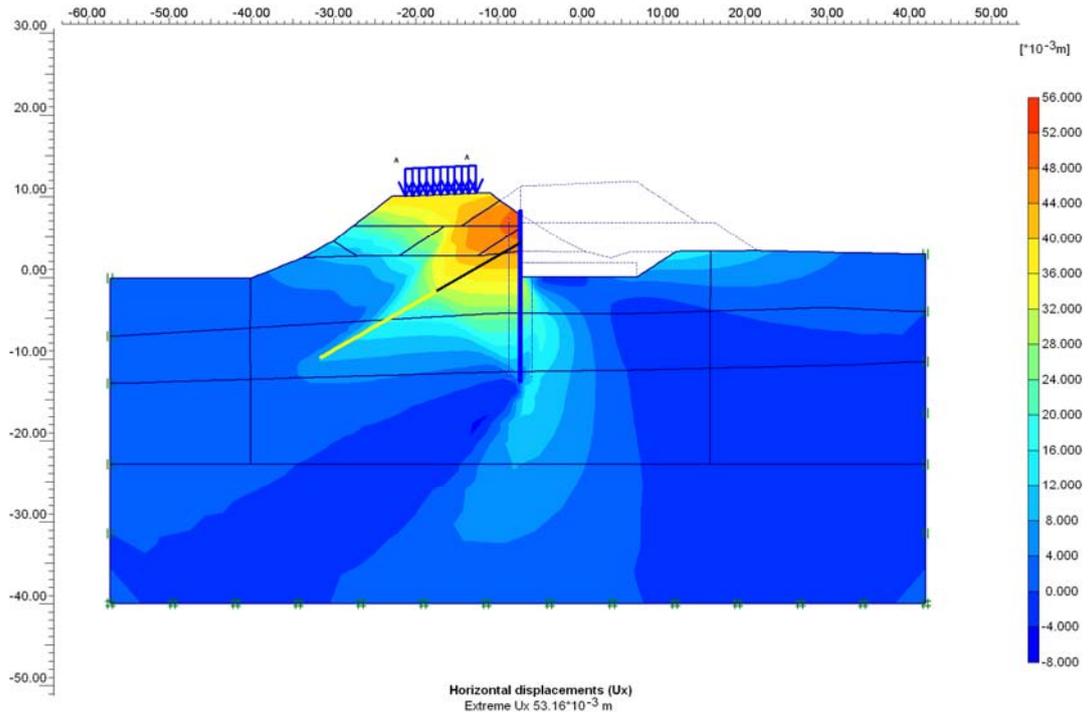


Figura 13 – Opera tipo 2 (a) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a fine scavo con carico stradale

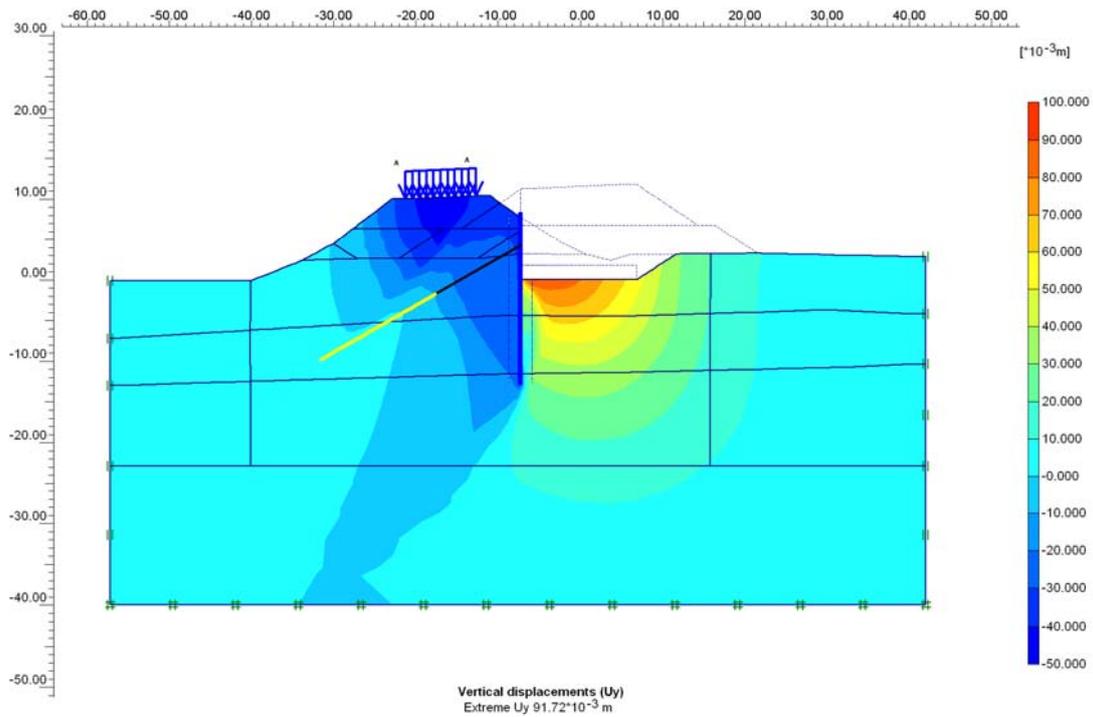


Figura 14 – Opera tipo 2 (a) - Distribuzione degli spostamenti verticali i a fine scavo con carico stradale

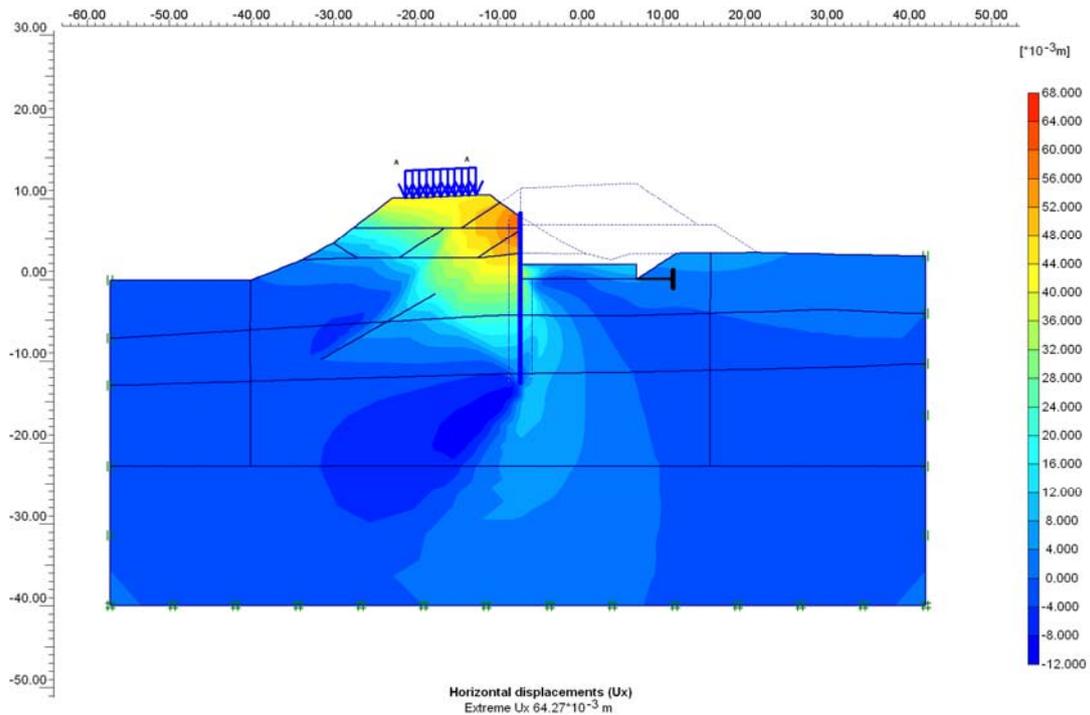


Figura 15 – Opera tipo 2 (a) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a seguito della disattivazione del tirante con carico stradale

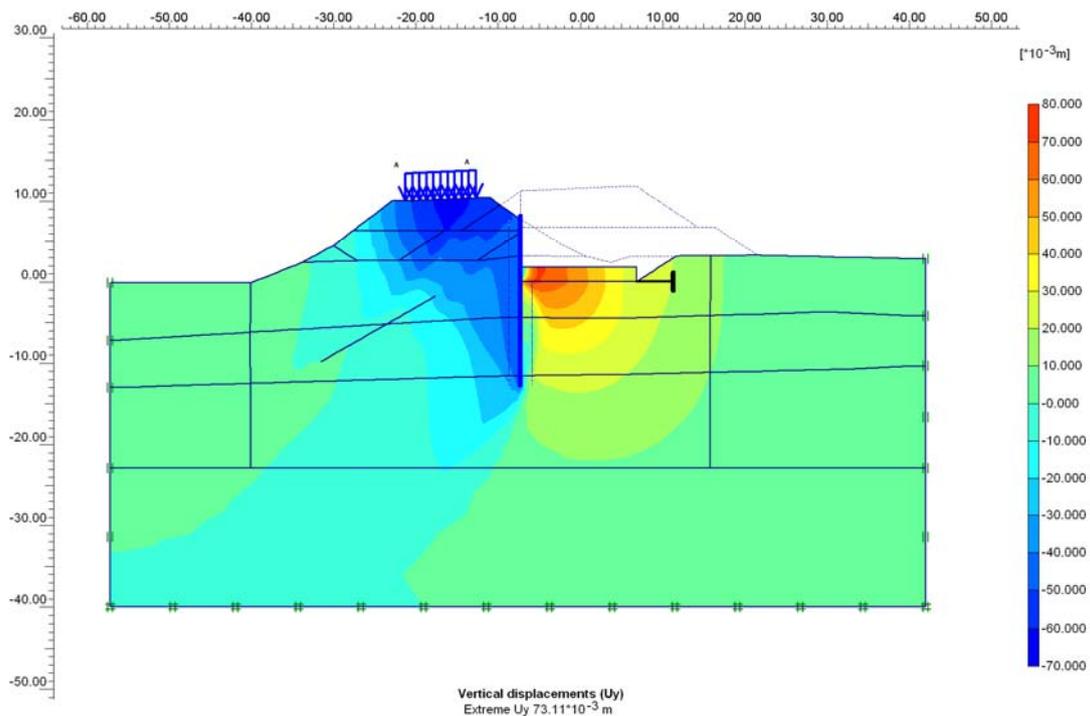


Figura 16 - Opera tipo 2 (a) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a seguito della disattivazione del tirante con carico stradale

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 27 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |



Figura 17 - Opera tipo 2 (a) - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia a fine scavo con carico stradale

| | |
|--|---|
| <p>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</p> | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 28 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

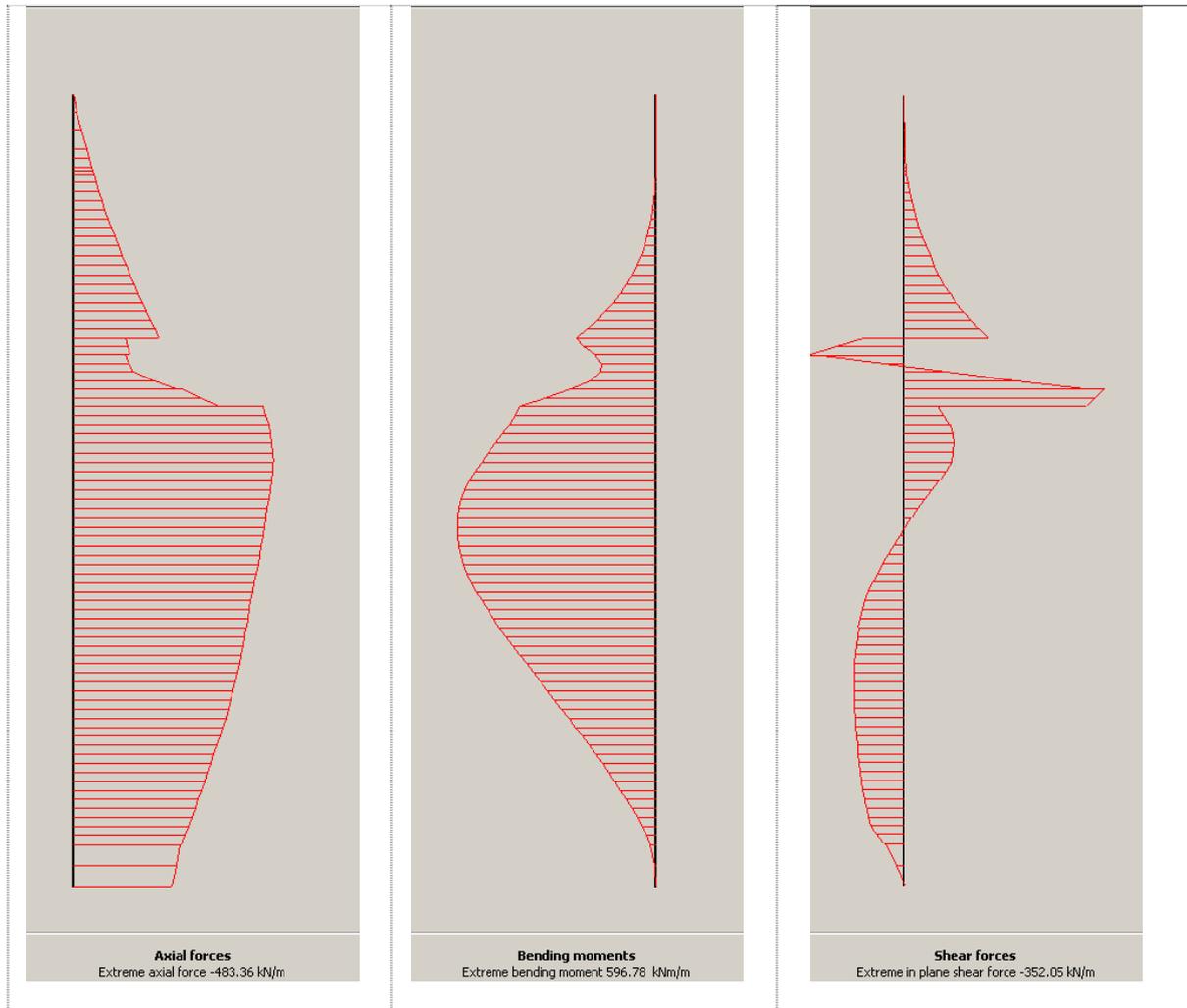


Figura 18 - Opera tipo 2 (a) - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia alla disattivazione del tirante con carico stradale

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 29 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

7.5.2.2 Realizzazione della carreggiata destra

Dalla Figura 19 alla Figura 22 sono riportate le distribuzioni di spostamenti orizzontali e verticali.

La realizzazione del rilevato della carreggiata sinistra conduce ad un cedimento del piano di posa del rilevato di circa 20cm. L'evoluzione degli spostamenti nelle fasi successive al completamento del rilevato sinistro ripartono da zero, cioè sono azzerati gli spostamenti accumulati sino alla fase di completamento del rilevato sinistro. Pertanto, al raggiungimento della quota di scavo finale lo spostamento orizzontale massimo della paratia è $u_h = -70\text{mm}$, rilevato in testa alla paratia. Nella stessa fase il sollevamento massimo del fondo scavo è $u_v = 130\text{mm}$.

In Tabella 14 sono riportati i principali risultati dell'analisi. Le sollecitazioni sugli elementi strutturali riportate in tale tabella, sono determinate per carichi variabili non amplificati.

La realizzazione del rilevato di destra con la presenza del rilevato esistente conduce ad un significativo incremento di sollecitazioni nel tratto in mezzzeria della paratia rispetto alle fasi precedenti.

In Figura 23 e in Figura 24 sono riportate le più significative distribuzioni delle sollecitazioni sulla paratia per la fase di completamento del rilevato sinistro e per la fase di scavo finale della carreggiata destra.

In Figura 25 sono riportate le distribuzioni delle sollecitazioni sulla parete verticale per la fase di completamento del rilevato sinistro.

opere provvisionali in corrispondenza delle spalle - Sintesi risultati

| fasi | spostamento max orizzontale testa paratia | spostamento max verticale fondo scavo | Sollecitazioni massime pali | | | Sollecitazioni massime tiranti | Sollecitazioni massime parete | | | |
|---------------------------|---|--|-----------------------------|------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------|------------|-----------|----|
| | u_h (mm) | u_v (mm) | Nmax (kN) | Mmax (kNm) | Tmax (kN) | Nmax (kN) | Nmax (kN) | Mmax (kNm) | Tmax (kN) | |
| realizzazione carr. Dx | rilevato sx terminato+carico strdale | 69 | -- | -673 | 1050 | 167 | -- | -80 | 61 | 57 |
| | scavo1+carico stradale | -17 | 66 | -425 | 943 | 167 | -- | -67 | 41 | 30 |
| | scavo2+carico stradale | -70 | 130 | -439 | 368 | 138 | -- | -68 | 24 | 22 |

Tabella 15 – Opera tipo 2 (b) - Sintesi dei risultati dell'analisi

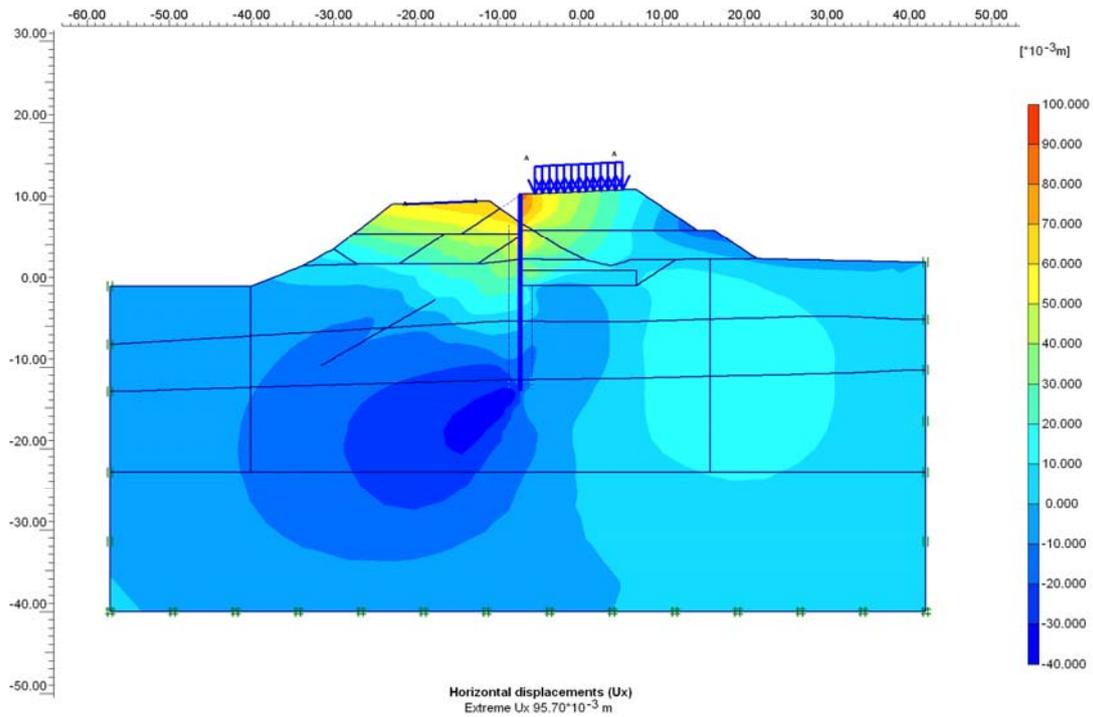


Figura 19 – Opera tipo 2 (b) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali al completamento del rilevato di sinistra con carico stradale

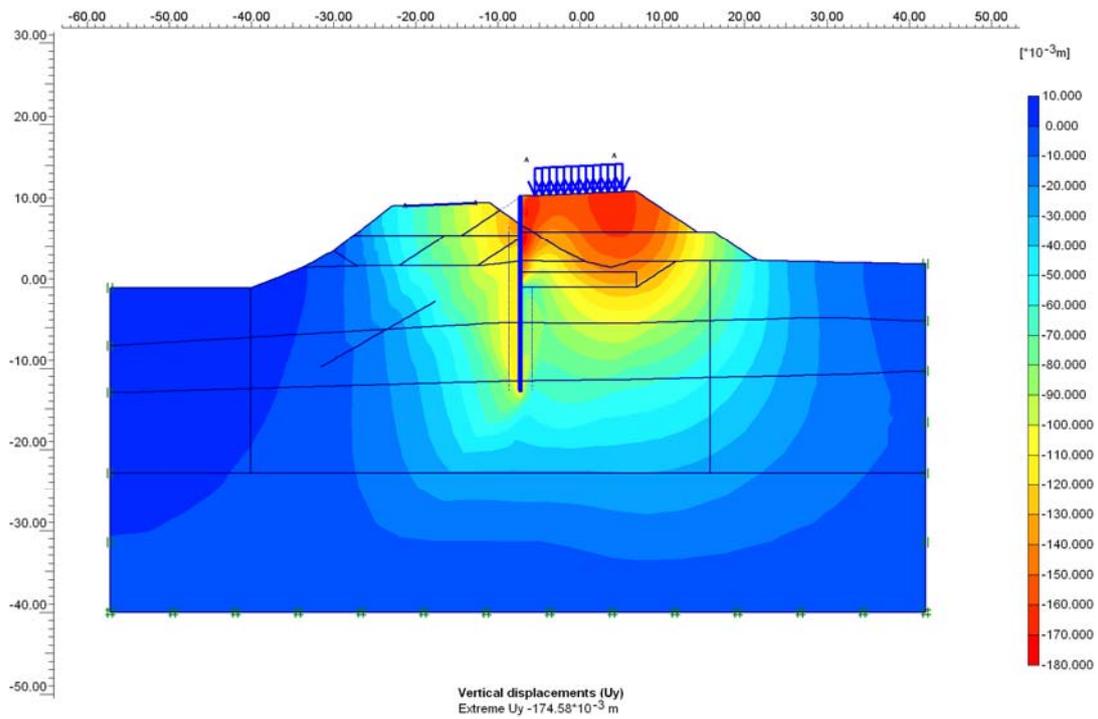


Figura 20 – Opera tipo 2 (b) - Distribuzione degli spostamenti verticali a fine scavo con carico stradale

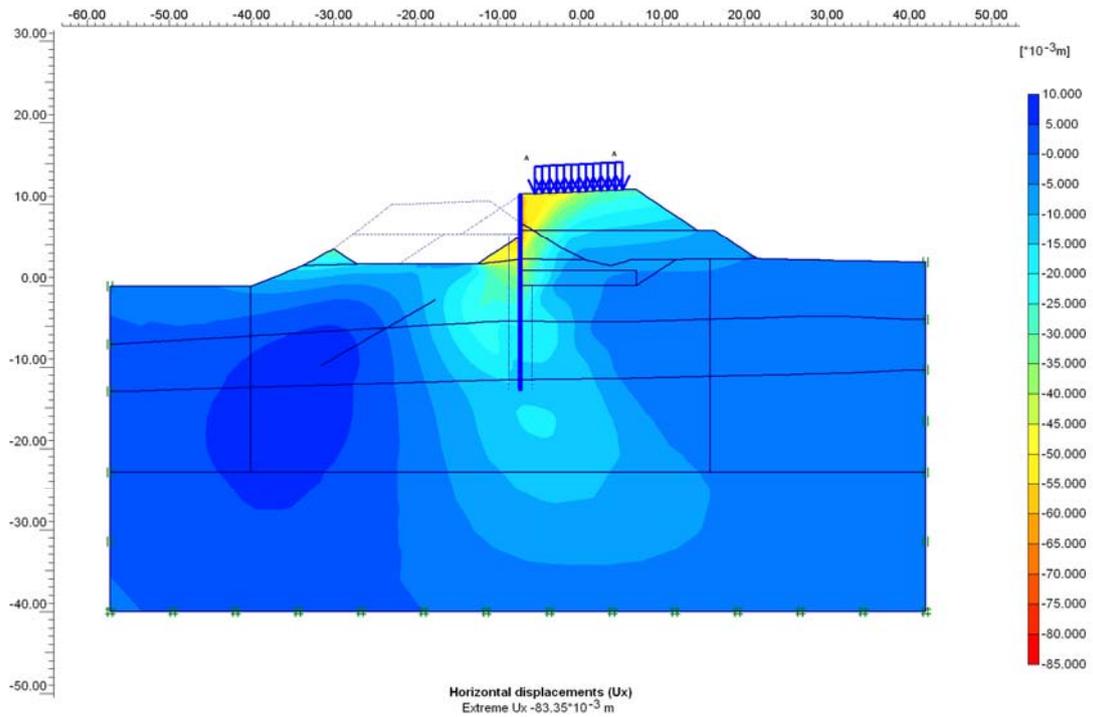


Figura 21 – Opera tipo 2 (b) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a seguito della disattivazione del tirante con carico stradale

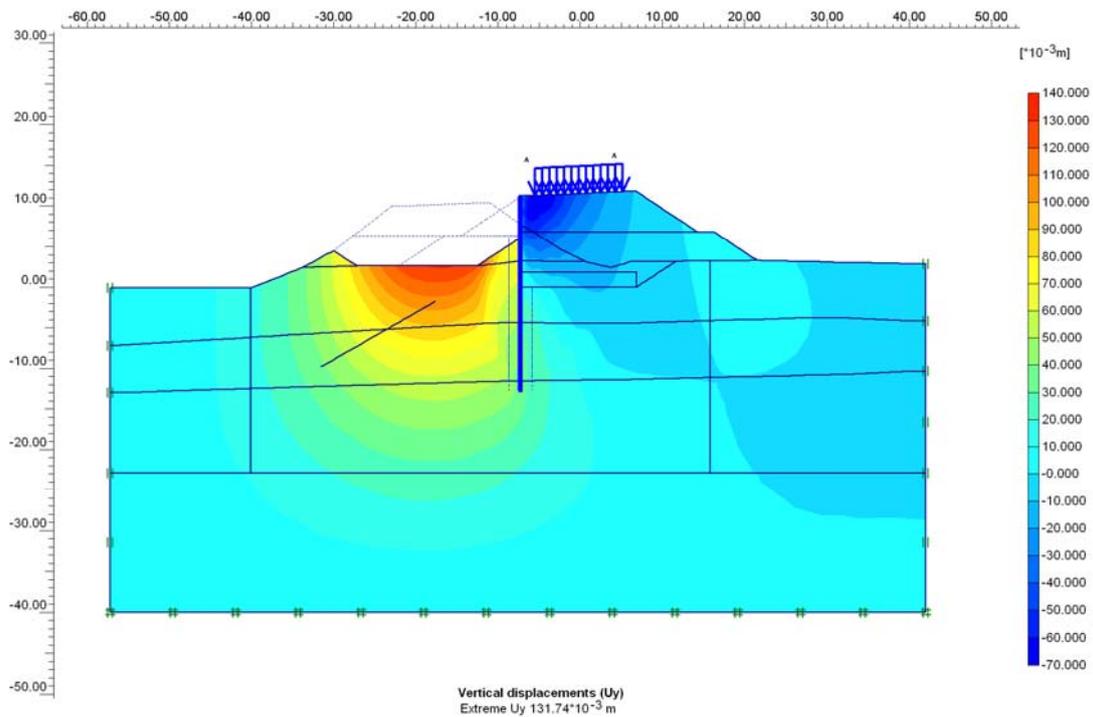


Figura 22 - Opera tipo 2 (b) - Distribuzione degli spostamenti orizzontali a seguito della disattivazione del tirante con carico stradale

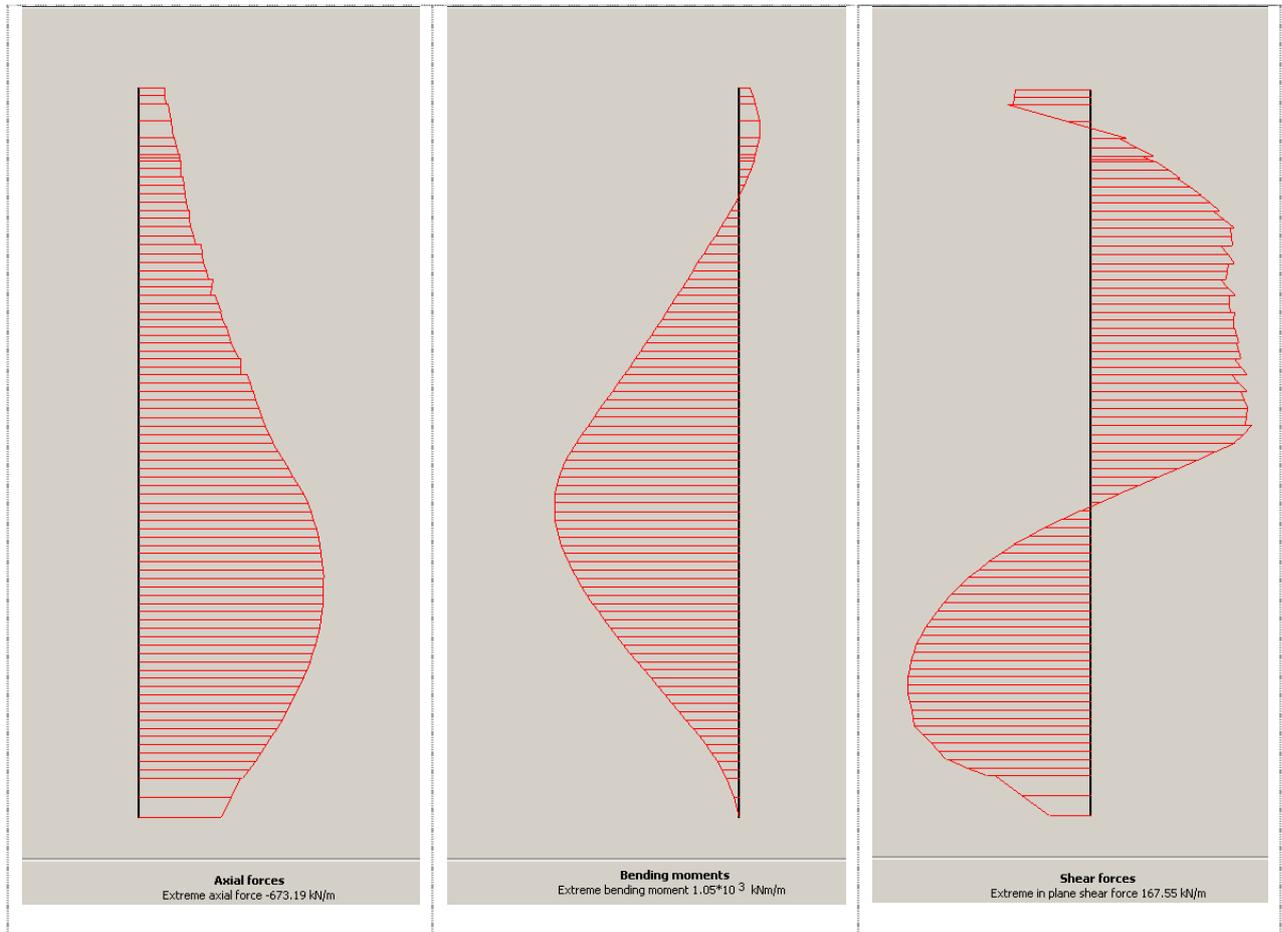


Figura 23 - Opera tipo 2 (b) - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia al completamento del rilevato sinistro con carico stradale

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 33 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |



Figura 24 - Opera tipo 2 (b) - Distribuzione delle sollecitazioni nella paratia a fine scavo con carico stradale

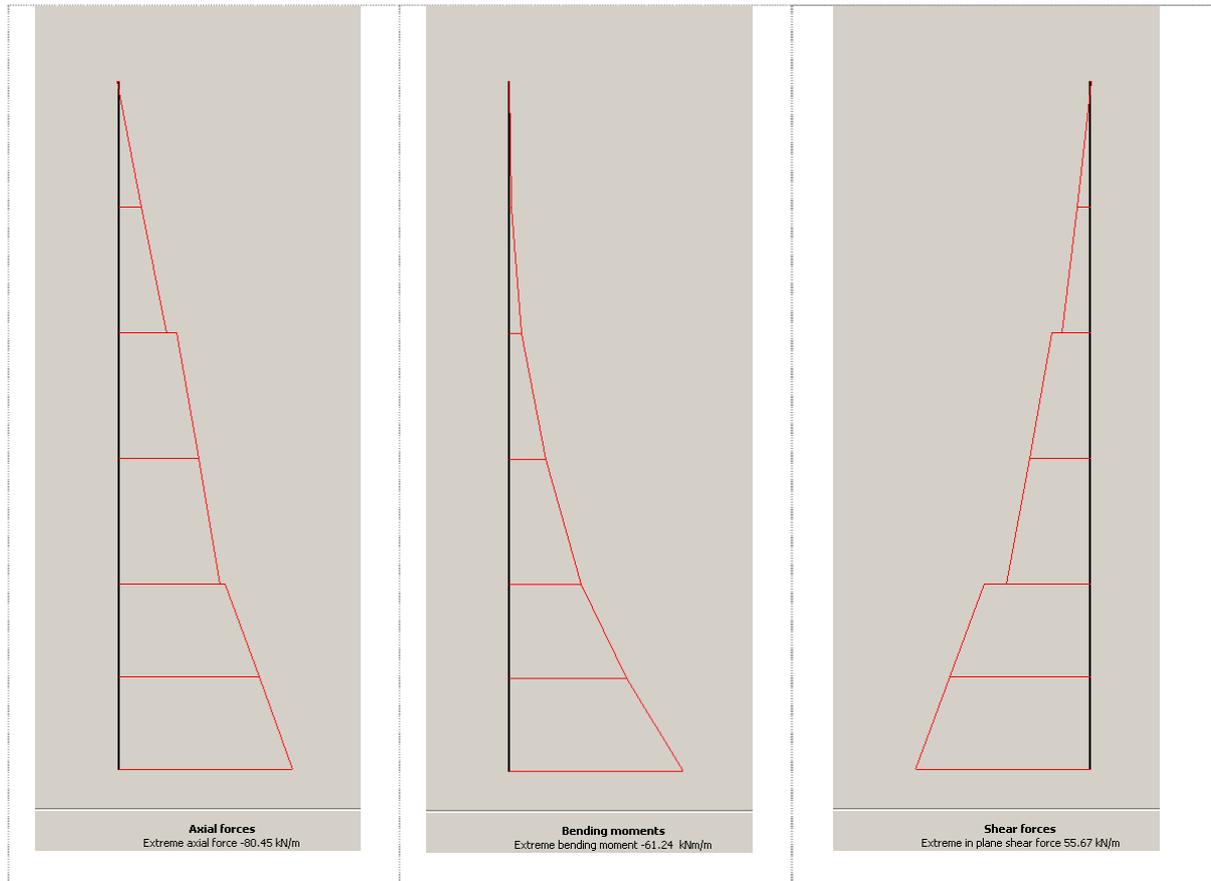


Figura 25 - Opera tipo 2 (b) - Distribuzione delle sollecitazioni nella parete verticale di contenimento al completamento del rilevato sinistro con carico stradale

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 35 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-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.

Per le verifiche strutturali 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.

Le verifiche a taglio delle sezioni di c.a. 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:

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

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

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 36 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.1 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARATIA

8.1.1 OPERA TIPO 1

Il dominio di resistenza dei pali della paratia è stato tracciato considerando il calcestruzzo $R_{ck}=40\text{MPa}$ e un'armatura longitudinale costituita da **12 ϕ 18**.

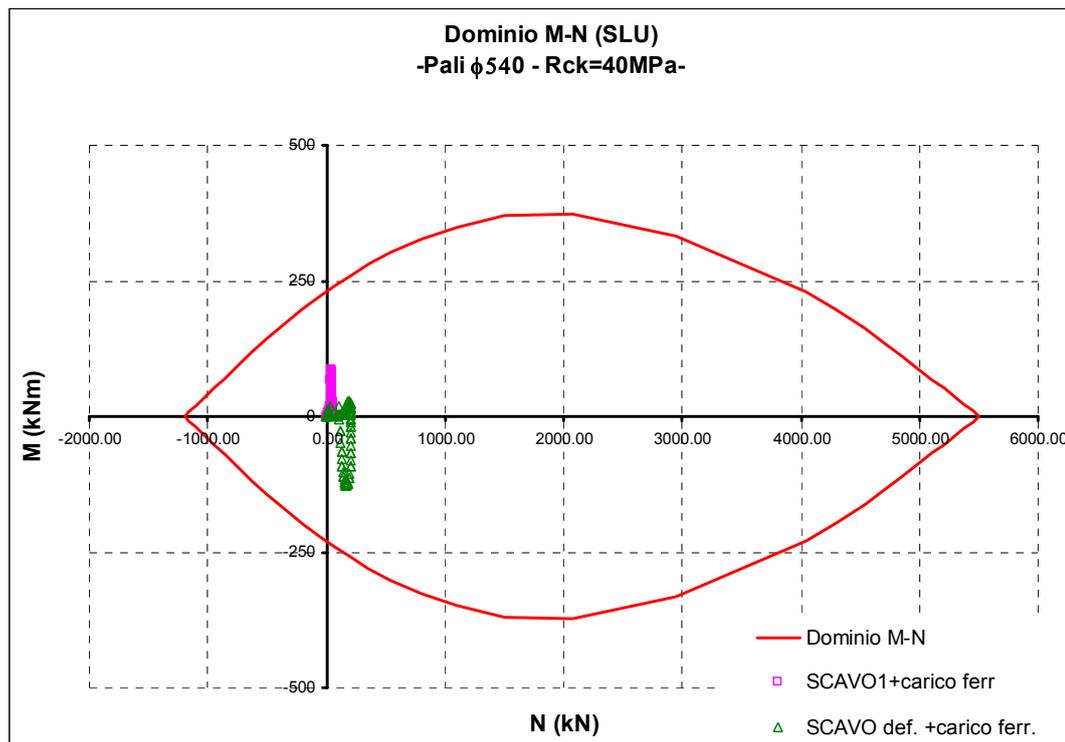


Figura 26. – Opera tipo 1 - Dominio di resistenza dei pali e punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo (N_{ed}, M_{ed})

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 | 540 | mm |
| larghezza sez. ret. eq | b_{wq} | 437 | mm |
| altezza sez. ret. eq | H_{eq} | 486 | mm |
| area | $A=$ | 212576 | mm ² |
| copriferro | $cp=$ | 60 | mm |
| altezza utile sezione | $d=$ | 426 | mm |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 37 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

In Figura 30 si riporta la distribuzione degli sforzi di taglio Ved (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 che $V_{ed} < V_{rd}$, escluso la zona in corrispondenza del tirante. Si prevede, pertanto, per i primi 7m di lunghezza palo, un armatura a taglio costituita da:

Armatura a taglio

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------|
| Diametro | mm | 12 |
| Numero barre | | 2 |
| A_{sw} | cm ² | 2.26 |
| Passo s | cm | 10 |
| Angolo α | ° | 90 |

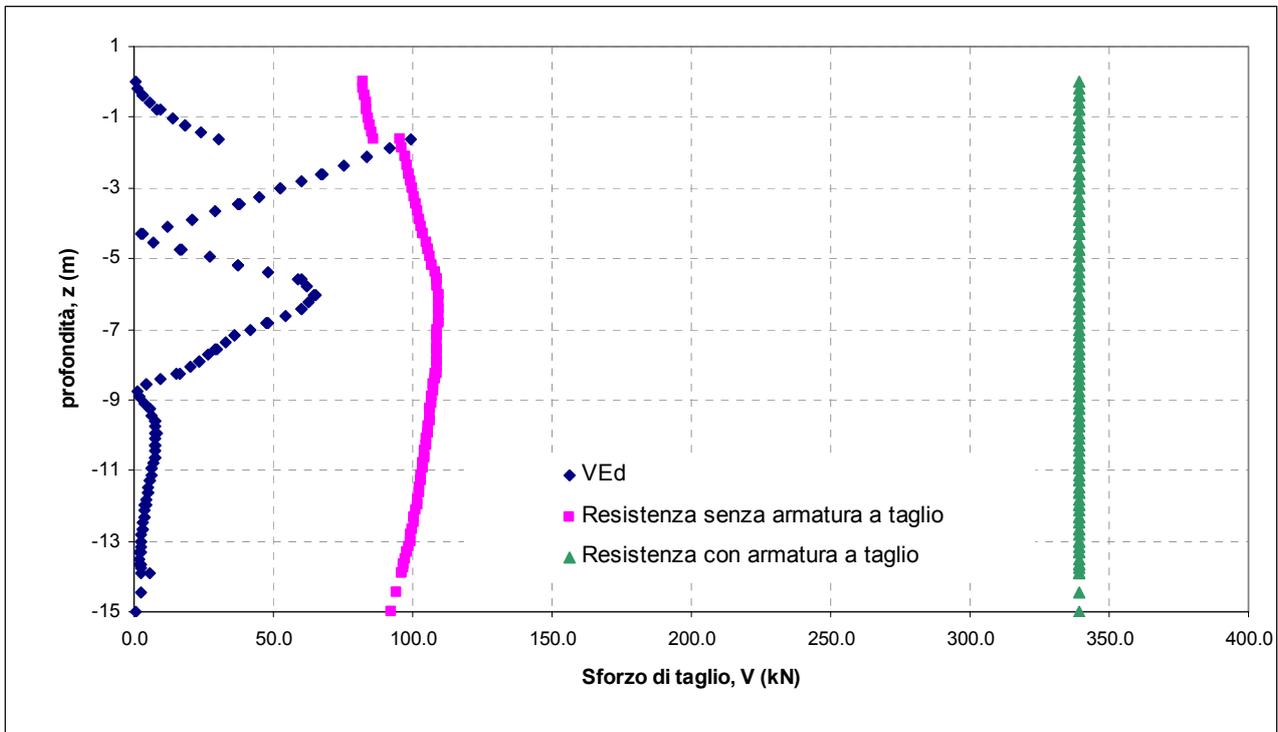


Figura 27 – Opera tipo 1 - Distribuzione degli sforzi di taglio di calcolo (V_{ed}) e della resistenza a taglio della sezione (V_{rd}) in assenza di specifica armatura a taglio e con armatura a taglio

8.1.2 OPERA TIPO 2

Il dominio di resistenza dei pali della paratia è stato tracciato considerando il calcestruzzo $R_{ck}=40\text{MPa}$ e un'armatura longitudinale costituita da **20 ϕ 22**.

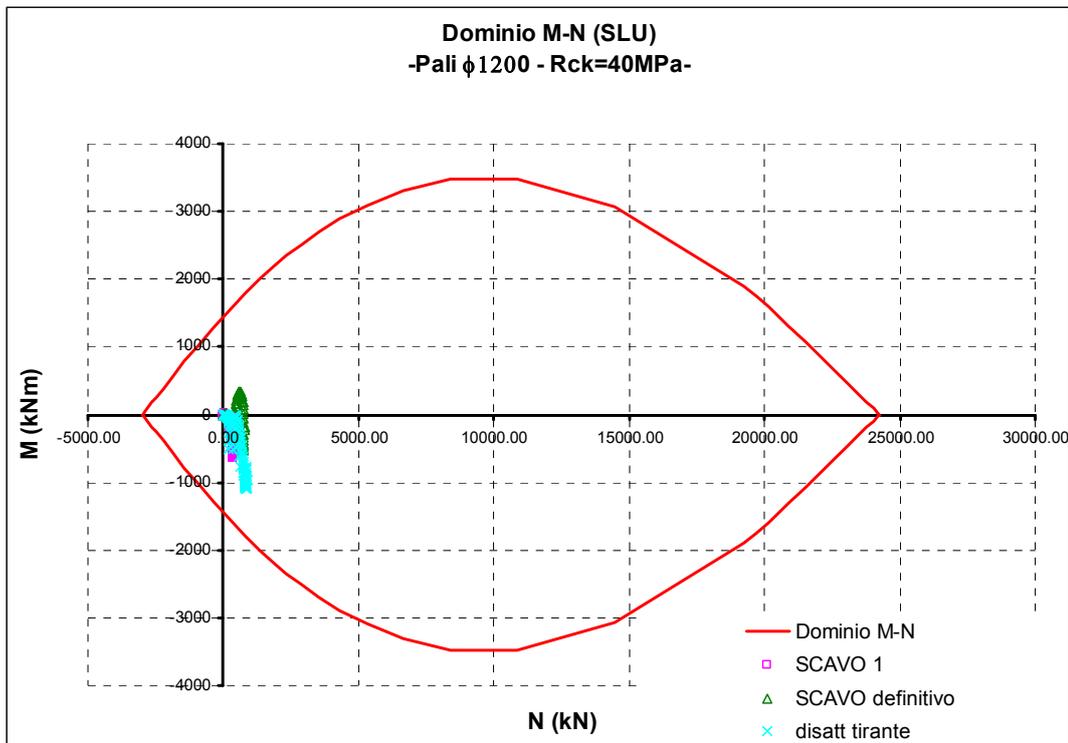


Figura 28. – Opera tipo 2 (a) Dominio di resistenza dei pali e punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo (N_{ed}, M_{ed})

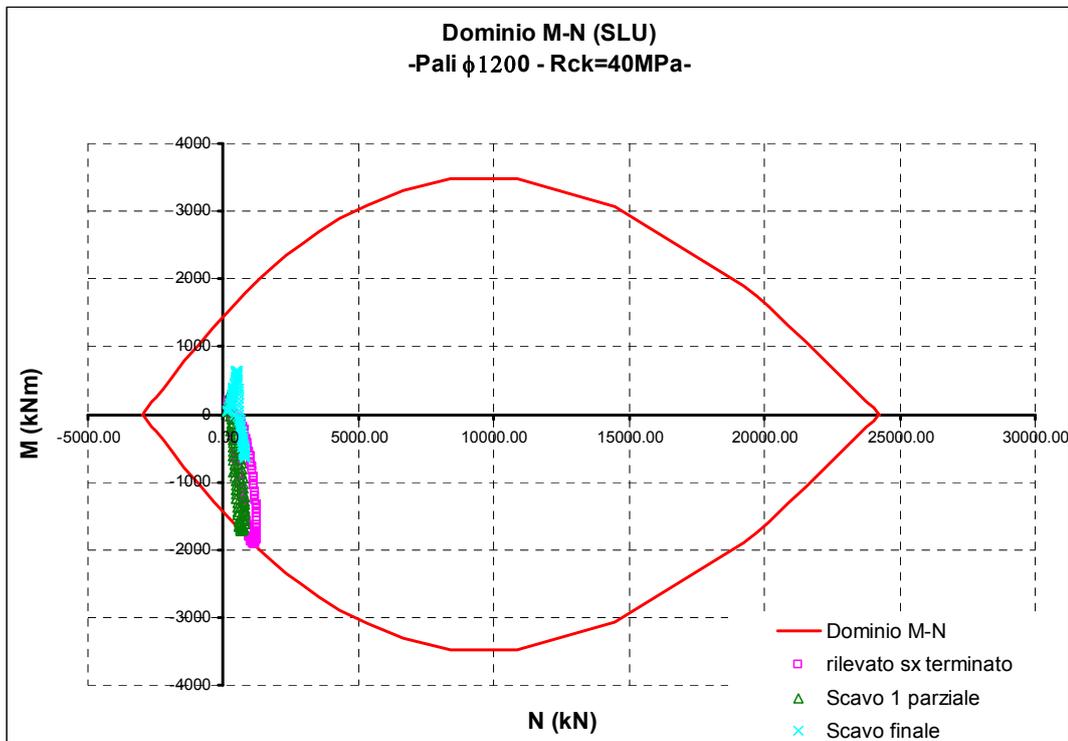


Figura 29. – Opera tipo 2 (b) Dominio di resistenza dei pali e punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo (N_{ed}, M_{ed})

| | |
|---|---|
| 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 39 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

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 | 1200 | mm |
| larghezza sez. ret. eq | b_{wq} | 946 | mm |
| altezza sez. ret. eq | H_{eq} | 1080 | mm |
| area | $A=$ | 1021248 | mm ² |
| copriferro | $cp=$ | 60 | mm |
| altezza utile sezione | $d=$ | 1020 | mm |

In Figura 30 si riporta la distribuzione degli sforzi di taglio Ved determinato per la fase più gravosa (disattivazione del tirante) e della resistenza a taglio della sezione rettangolare equivalente dei pali in assenza di specifica armatura a taglio (Vrd). Confrontando tali distribuzioni si evince che $V_{ed} < V_{rd}$, escluso la zona in corrispondenza del tirante. Si prevede, pertanto, per i primi 9m di lunghezza palo, un armatura a taglio costituita da:

Armatura a taglio

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------|
| Diametro | mm | 12 |
| Numero barre | | 2 |
| A_{sw} | cm ² | 2.26 |
| Passo s | cm | 10 |
| Angolo α | ° | 90 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 40 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

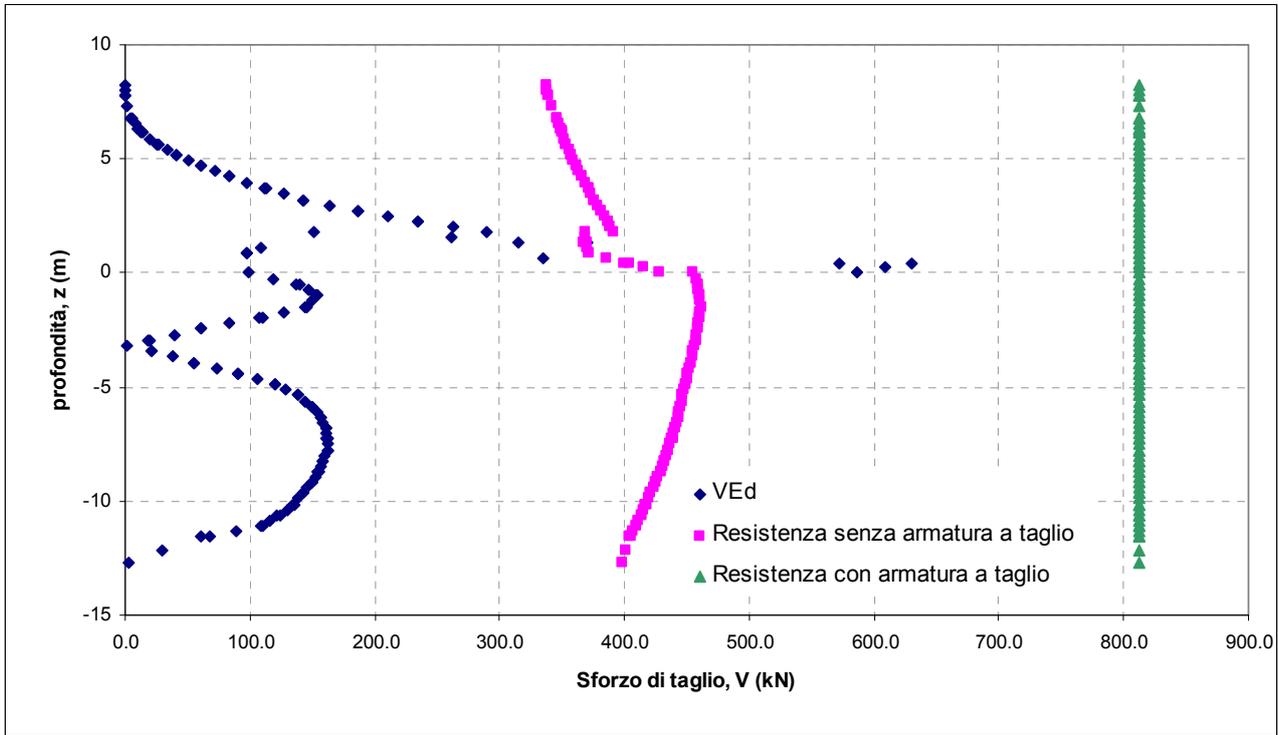


Figura 30 – Opera tipo 2 (a) Distribuzione degli sforzi di taglio di calcolo (V_{ed}) e della resistenza a taglio della sezione in assenza di specifica armatura a taglio (V_{rd})

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 41 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.2 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA PARETE DI CONTENIMENTO

Il dominio di resistenza della parete di contenimento del rilevato carreggiata sinistra è stato tracciato considerando una sezione rettangolare (bxh) 100x40 cm, calcestruzzo $R_{ck}=40\text{MPa}$ e un'armatura superiore e inferiore simmetrica costituita da $\phi 16/20$.

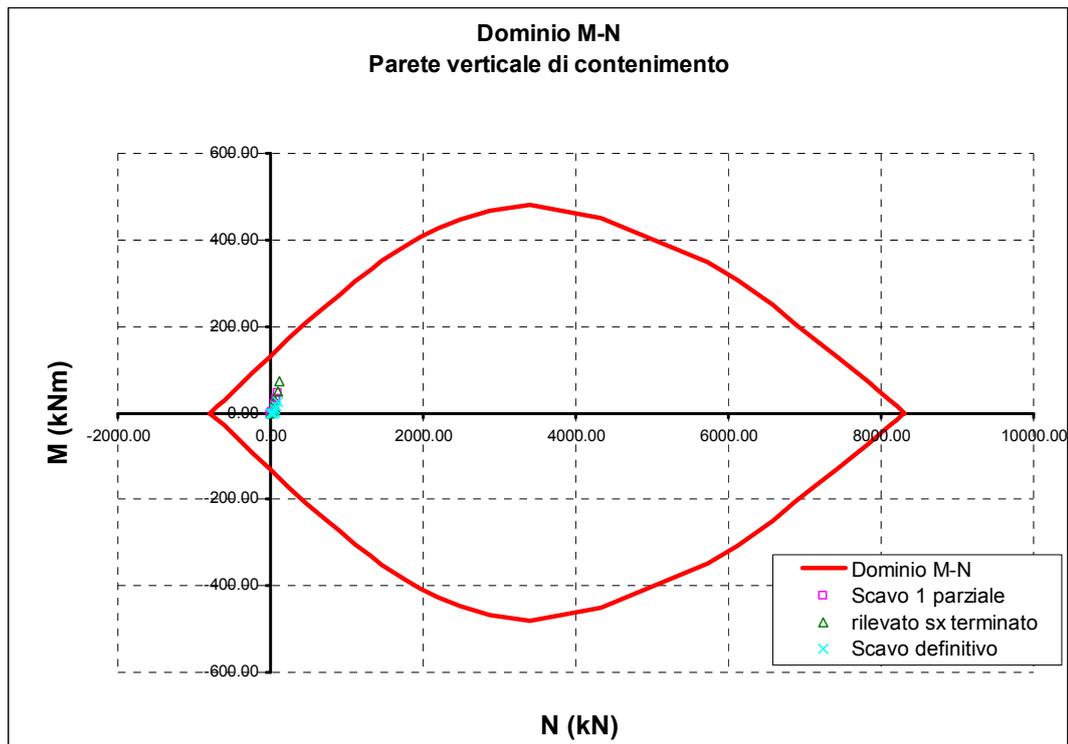


Figura 31. – Opera tipo 2 (b) Dominio di resistenza della parete e punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo (N_{ed}, M_{ed})

Per la verifica a taglio non occorre specifica armatura.

| sollecitazioni di calcolo | | SENZA ARMATURA A TAGLIO | | | |
|---------------------------|--------|-------------------------|-------|---------------|-------|
| N | V | sigma_media | Ved | V_{Rd} | check |
| [kN/m] | [kN/m] | [N/mm ²] | [kN] | | |
| 84.03 | 54.29 | 0.27 | 70.58 | 211.38 | OK |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 42 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.3 VERIFICHE DEI TIRANTI

8.3.1 OPERA TIPO 1

In tabella sotto si riportano le caratteristiche dei tiranti.

| CARATTERISTICHE DEI TIRANTI | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|--------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|
| ordine | Llib | inclinazione | Tiro pret | diametro bulbo | area bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | Num trefoli | AREA trefoli |
| | (m) | (°) | kN | m | mm ² | m | m | kN/m | | mm ² |
| I | 10 | 30 | 225 | 0.198 | 30791 | 14 | 2.25 | 100 | 5 | 700 |

I tiranti sono inclinati rispetto l'orizzontale di 30° in modo da raggiungere profondità tali da garantire un adeguato confinamento del bulbo di ancoraggio.

Nei paragrafi che seguono, in funzione di tali caratteristiche dei tiranti, si è proceduto alla verifica di sfilamento bulbo-terreno e alla verifica strutturale dei trefoli.

8.3.2 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 τ_{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.

Il diametro del bulbo d è stato determinato amplificando il diametro di perforazione del coefficiente α . Considerando l'iniezione del tirante in unica soluzione ((IGU, injection globale unique) e in terreni argillosi, si adotta un coefficiente amplificativo $\alpha = 1.1$ (cfr. Tabella 16)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 43 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

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

| TERRENO | Valori di α | | 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 16 – Valori del coefficiente amplificativo α in funzione dei terreni e del metodo di iniezione

Per la tensione tangenziale limite si considera $\tau_{lim}=100\text{kPa}$.

La verifica allo sfilamento dei tiranti è condotta considerando il coefficiente correttivo in funzione delle indagini geotecniche disponibili $\xi_{a3} = 1,6$.

| numero di profili di indagine | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
|-------------------------------|------|------|------|------|----------|
| ξ_{a3} | 1,80 | 1,75 | 1,70 | 1,65 | 1,60 |
| ξ_{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 |
|------------|-----------------|-----------------------|
| 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 $\gamma_{Ra,t} \times \xi_{a3} = 1,1 \times 1,6 = 1,76$.

Dai risultati riportati in Tabella 17 si evince che le verifiche sono soddisfatte.

verifiche sfilamento bulbo in condizioni statiche

| ordine | τ_{lim} | Tiro pret | diametro bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | T_{ES}/m | T_{ES}/tir | T_{ed}/tir | T_{lim}/tir | μ |
|--------|--------------|-----------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| | kPa | kN | m | m | m | kN/m | kN/m | kN | kN | kN | |
| I | 100 | 225 | 0.198 | 14 | 2.25 | 100.0 | 154 | 345 | 449 | 870 | 1.94 |

Tabella 17 –Opera tipo 1 - Verifiche allo sfilamento dei tiranti

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 44 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.3.3 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 γ_s | T_{ES}/m | T_{ES}/tir | T_{ed}/tir | T_{RES}/tir | μ |
|--------|---------------|-------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| | m | | | MPa | MPa | | kN/m | kN | kN | kN | |
| I | 2.25 | 5 | 700 | 1670 | 1860 | 1.15 | 154 | 345 | 449 | 915 | 2.04 |

Tabella 18 – Opera tipo 1 - Verifica a rottura dei trefoli

8.3.4 OPERA TIPO 2

In tabella sotto si riportano le caratteristiche dei tiranti.

| CARATTERISTICHE DEI TIRANTI | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|----------------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|
| ordine | Llib | inclinazione tirante | Tiro pret | diametro bulbo | area bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | Num trefoli | AREA |
| | (m) | (°) | kN | m | mm ² | m | m | kN/m | | mm ² |
| I | 10 | 30 | 450 | 0.18 | 25447 | 16 | 2.8 | 161 | 6 | 840 |

I tiranti sono inclinati rispetto l'orizzontale di 30° in modo da raggiungere profondità tali da garantire un adeguato confinamento del bulbo di ancoraggio.

Nei paragrafi che seguono, in funzione di tali caratteristiche dei tiranti, si è proceduto alla verifica di sfilamento bulbo-terreno e alla verifica strutturale dei trefoli.

8.3.5 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 τ_{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.

² 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 45 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

Il diametro del bulbo d è stato determinato amplificando il diametro di perforazione del coefficiente α . Considerando l'iniezione del tirante in unica soluzione ((IGU, injection globale unique) e terreni argillosi, si adotta un coefficiente amplificativo $\alpha = 1.1$ (cfr. Tabella 16)

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

| TERRENO | Valori di α | | 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 fratturati | |
| Calcari alterati o fratturati | 1.8 | 1.1 - 1.2 | | |
| Roccia alterata e/o fratturata | 1.2 | 1.1 | (1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più | |

Tabella 19 – Valori del coefficiente amplificativo α in funzione dei terreni e del metodo di iniezione

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

La verifica allo sfilamento dei tiranti è condotta considerando il coefficiente correttivo in funzione delle indagini geotecniche disponibili $\xi_{a3} = 1,6$.

| numero di profili di indagine | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
|-------------------------------|------|------|------|------|----------|
| ξ_{a3} | 1,80 | 1,75 | 1,70 | 1,65 | 1,60 |
| ξ_{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 |
|------------|-----------------|-----------------------|
| | γ_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 $\gamma_{Ra,t} \times \xi_{a3} = 1,1 \times 1,6 = 1,76$.

Dai risultati riportati in Tabella 17 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 46 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

verifiche sfilamento bulbo in condizioni statiche

| ordine | τ_{lim} | Tiro pret | diametro bulbo | lunghezza bulbo | interasse tir | Tiro pret./m | T_{ES}/m | T_{ES}/tir | Ted/tir | T_{lim}/tir | μ | FS min |
|--------|--------------|-----------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------|--------------|---------|---------------|-------|--------|
| | kPa | kN | m | m | m | kN/m | kN/m | kN | kN | kN | | |
| I | 150 | 450 | 0.18 | 16 | 2.8 | 160.7 | 210 | 588 | 764 | 1356 | 1.77 | 1.76 |

Tabella 20 –Opera tipo 2 (a) - Verifiche allo sfilamento dei tiranti

8.3.6 VERIFICA STRUTTURALE DEI TREFOLI

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

$$T_{lim} = 0.9^3 \cdot n \cdot a_{tr} \cdot f_{pt(1)k}$$

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 γ_s | T_{ES}/m | T_{ES}/tir | Ted/tir | T_{RES}/tir | μ |
|--------|---------------|-------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|--------------|---------|---------------|-------|
| | m | | mm ² | MPa | MPa | | kN/m | kN | kN | kN | |
| I | 2.8 | 6 | 840 | 1670 | 1860 | 1.15 | 210 | 588 | 764 | 1098 | 1.44 |

Tabella 21 – Opera tipo 2 (a) - Verifica a rottura dei trefoli

8.4 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, e assumendo un carico q uniformemente distribuito sulla trave stessa, pari al rapporto fra il massimo sforzo assiale d'esercizio e il suddetto interasse.

Il momento massimo nella trave di ripartizione in corrispondenza dei tiranti/puntoni, 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

mezzera 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)

³ 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 Progetto Esecutivo | Opera: Viadotto Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 47 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.4.1 OPERA TIPO 1

Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profilati accoppiati UPN220 di acciaio S355

Verifica a flessione retta

| | | | | |
|-------------------|---|-------------|-----------------|---|
| i | = | 2.25 | m | interasse tiranti |
| n | = | 2 | | numero profili |
| P _d | = | 345 | kN | tiro massimo di progetto |
| A | = | 9882 | mm ² | area profilato |
| h | = | 450 | mm | altezza sezione |
| b | = | 190 | mm | larghezza ali |
| t _f | = | 14.6 | mm | spessore ali |
| r _l | = | 21 | mm | raccordo anima ala |
| t _w | = | 9.4 | mm | spessore anima |
| f _{yk} | = | 355 | Mpa | tensione di snervamento dell'acciaio caratteristica |
| γ _{Mo} | = | 1.05 | | coefficiente di sicurezza |
| γ _{G,Q} | = | 1.3 | | coefficiente parziale azioni |
| M _{Ed} | = | 100.9125 | KNm | massimo momento di calcolo agente |
| W _y | = | 245000 | mm ³ | modulo resistente singolo profilo |
| M _{c,Rd} | = | 165.7 | KNm | massimo momento di calcolo resistente |
| FS | = | 1.64 | | coefficiente di sicurezza |

Verifica a taglio

| | | | | |
|-------------------|---|-------------|-----------------|--|
| V _{Ed} | = | 224.25 | KN | massimo taglio di calcolo agente |
| A _v | = | 4778 | mm ² | area resistente a taglio |
| V _{c,Rd} | = | 1865 | KN | massimo taglio di calcolo resistente sui profili |
| FS | = | 8.32 | | coefficiente di sicurezza |

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f; \quad (4.2.19)$$

per profilati a C o ad U caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f; \quad (4.2.20)$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano delle ali si può assumere

$$A_v = A \cdot \sum (h_w t_w); \quad (4.2.21)$$

per profilati a T caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = 0,9 (A - b t_f); \quad (4.2.22)$$

per profili rettangolari cavi "profilati a caldo" di spessore uniforme si può assumere

$$A_v = Ah/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo all'altezza del profilo,} \quad (4.2.23)$$

$$A_v = Ab/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo alla base del profilo;}$$

per sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme:

$$A_v = 2A/\pi; \quad (4.2.24)$$

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 48 di 56 |
| | Nome file: V114-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

8.4.2 OPERA TIPO 2

Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profilati accoppiati HEB180 di acciaio S355

Verifica a flessione retta

| | | | | |
|-------------------|---|-------------|-----------------|---|
| i | = | 2.8 | m | interasse tiranti |
| n | = | 2 | | numero profili |
| P _d | = | 590 | kN | tiro massimo di progetto |
| A | = | 6525 | mm ² | area profilato |
| h | = | 180 | mm | altezza sezione |
| b | = | 180 | mm | larghezza ali |
| t _f | = | 14 | mm | spessore ali |
| r _l | = | 15 | mm | raccordo anima ala |
| t _w | = | 8.5 | mm | spessore anima |
| f _{yk} | = | 355 | Mpa | tensione di snervamento dell'acciaio caratteristica |
| γ _{Mo} | = | 1.05 | | coefficiente di sicurezza |
| γ _{G,Q} | = | 1.3 | | coefficiente parziale azioni |
| M _{Ed} | = | 214.76 | KNm | massimo momento di calcolo agente |
| W _y | = | 425700 | mm ³ | modulo resistente |
| M _{c,Rd} | = | 287.9 | KNm | massimo momento di calcolo resistente |
| FS | = | 1.34 | | coefficiente di sicurezza |

Verifica a taglio

| | | | | |
|-------------------|---|-------------|-----------------|--|
| V _{Ed} | = | 383.5 | KN | massimo taglio di calcolo agente |
| A _v | = | 2024 | mm ² | area resistente a taglio |
| V _{c,Rd} | = | 790 | KN | massimo taglio di calcolo resistente sui profili |
| FS | = | 2.06 | | coefficiente di sicurezza |

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f; \quad (4.2.19)$$

per profilati a C o ad U caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f; \quad (4.2.20)$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano delle ali si può assumere

$$A_v = A - \sum (h_w t_w); \quad (4.2.21)$$

per profilati a T caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = 0,9 (A - b t_f); \quad (4.2.22)$$

per profili rettangolari cavi "profilati a caldo" di spessore uniforme si può assumere

$$A_v = Ah/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo all'altezza del profilo,} \\ A_v = Ab/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo alla base del profilo;} \quad (4.2.23)$$

per sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme:

$$A_v = 2A/\pi; \quad (4.2.24)$$

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 49 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

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 γ_{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).

9.1 OPERA TIPO 1

Il coefficiente di sicurezza parziale minimo è $\gamma_{lim}=1.3$, 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 γ_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 γ | 1 |

Le verifiche di stabilità sono quindi soddisfatte. Dalla Figura 33 si evince che il fenomeno di instabilità calcolato è un meccanismo di collasso che non interessa l'opera di sostegno ma bensì la scarpata di scavo opposta al lato della paratia.

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 50 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-relazione calcolo op-prov.doc |

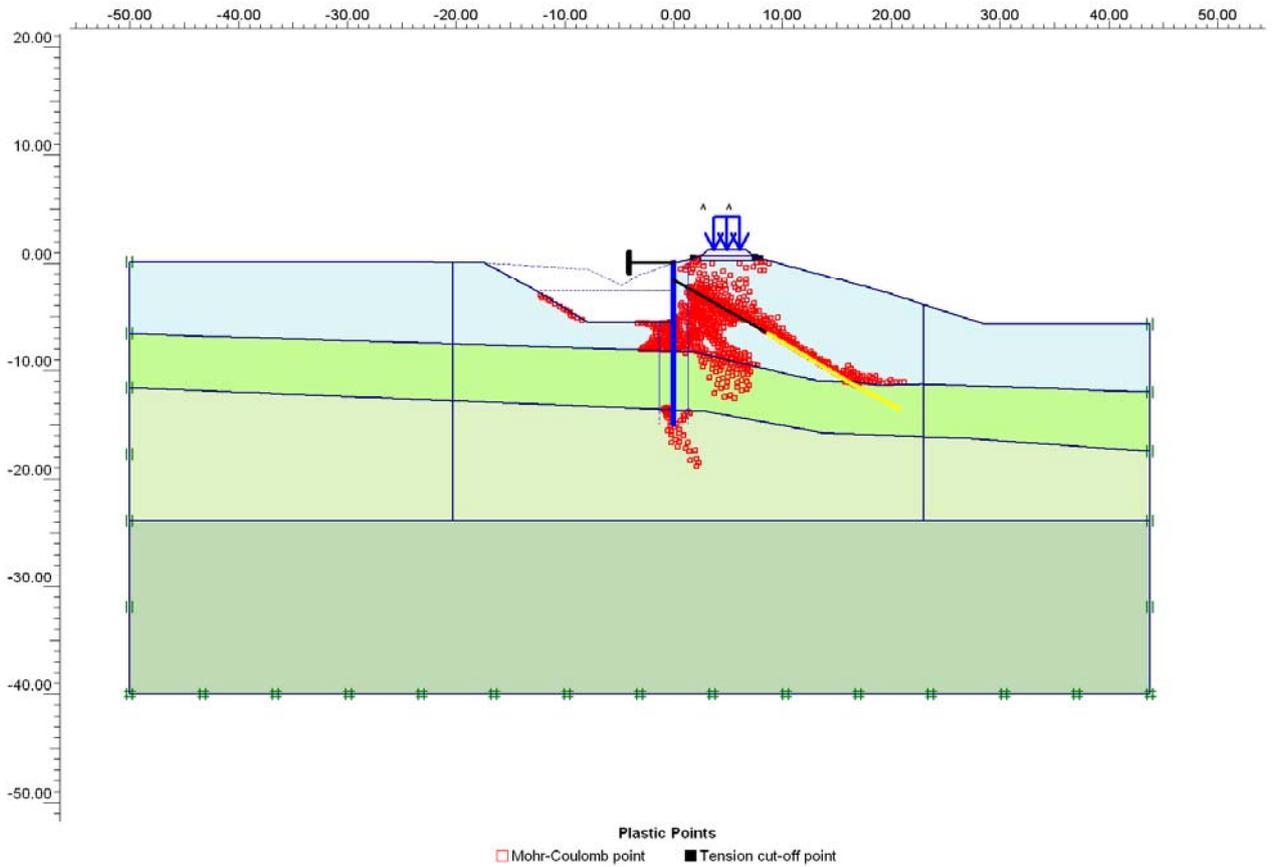


Figura 32 – Opera tipo 1 - Distribuzione dei punti di plasticizzazione nella fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico ferroviario (valori caratteristici dei parametri di resistenza)

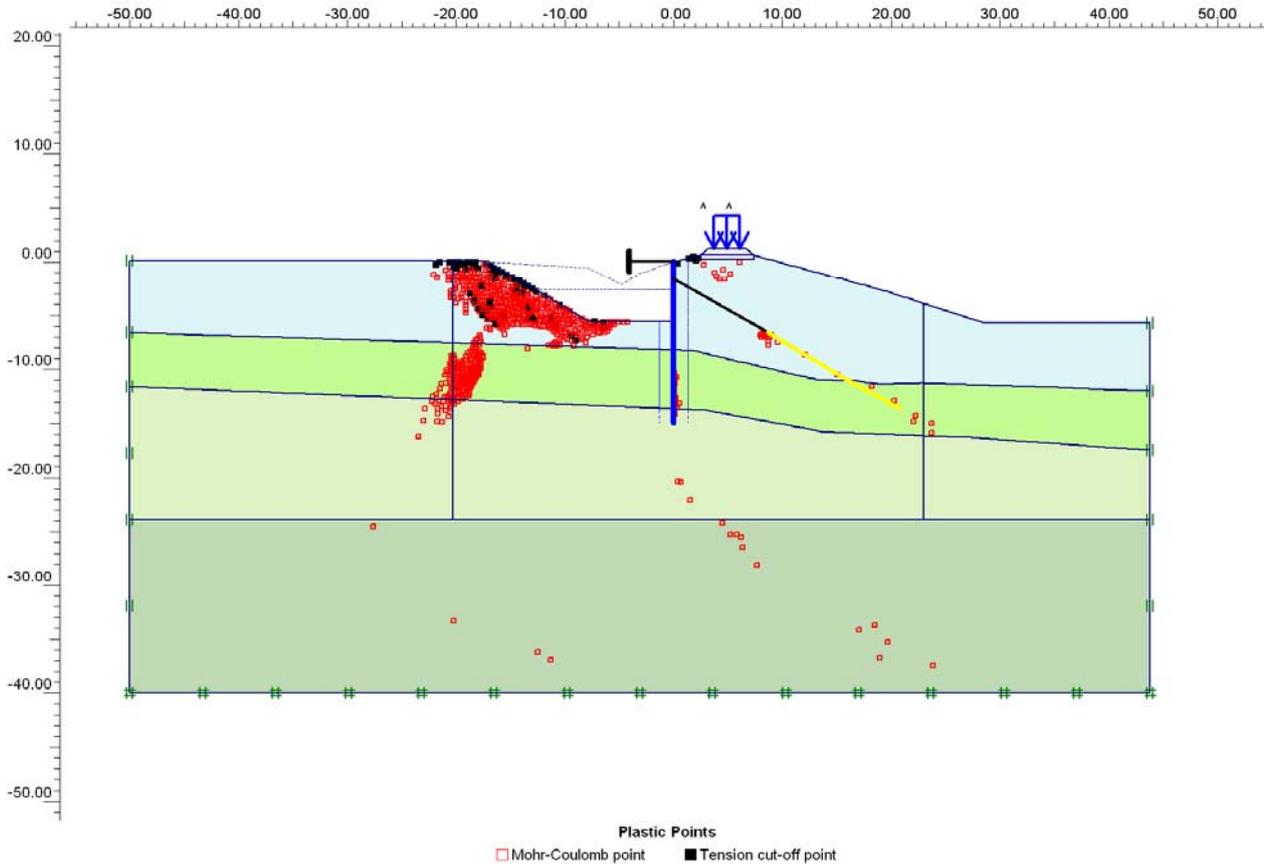


Figura 33 – Opera tipo 1 - Distribuzione dei punti di plasticizzazione a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico ferroviario

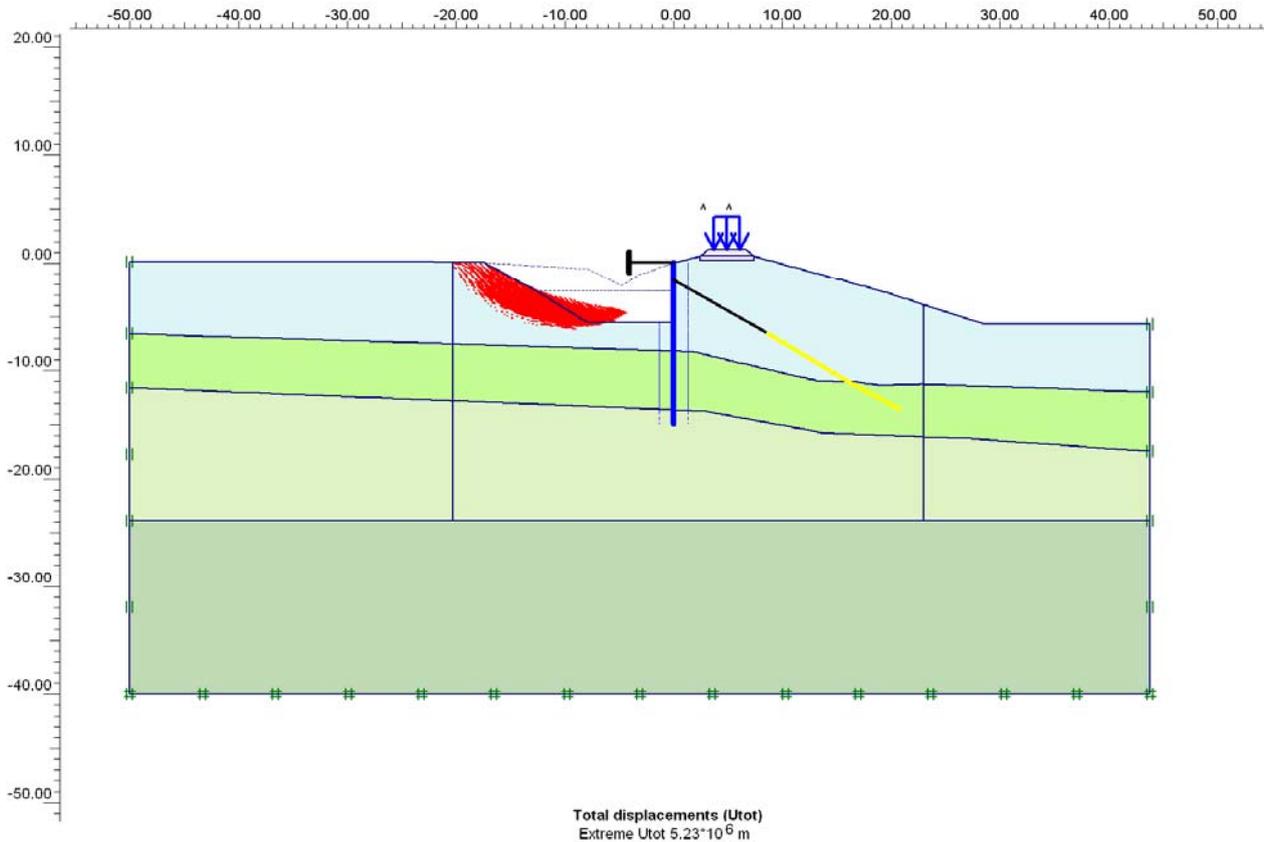


Figura 34 – Opera tipo 1 - Distribuzione dei vettori spostamento a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico ferroviario

9.2 OPERA TIPO 2

Le analisi di stabilità eseguite per le fasi di calcolo più significative conducono a fenomeni di instabilità che non interessano l'insieme opera terreno ma in tutti i casi analizzati si hanno fenomeni di instabilità locale sulle scarpate dei rilevati. In particolare i coefficienti di sicurezza parziale minimi competono al rilevato esistente. A fine scavo per la realizzazione della carreggiata sinistra si ricava il coefficiente di sicurezza parziale minimo $\gamma_{lim}=1.25$.

Le verifiche di stabilità si ritengono soddisfatte.

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno γ_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 γ | 1 |

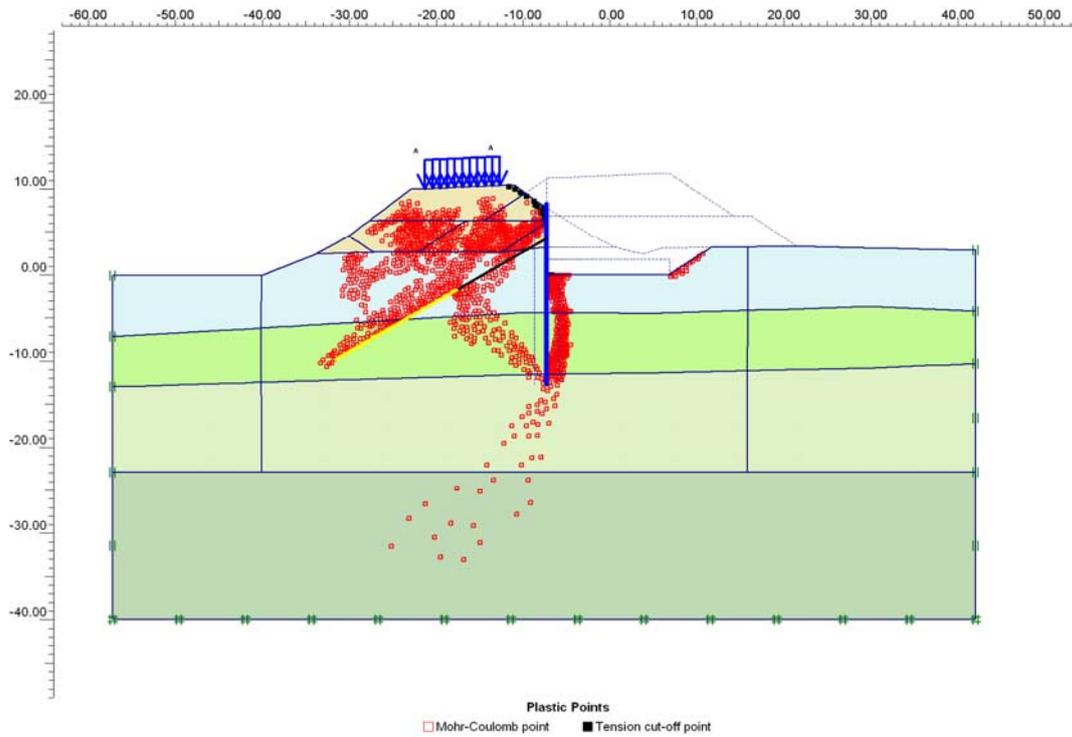


Figura 35 – Opera tipo 2 (a) - Distribuzione dei punti di plasticizzazione nella fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico stradale (valori caratteristici dei parametri di resistenza)

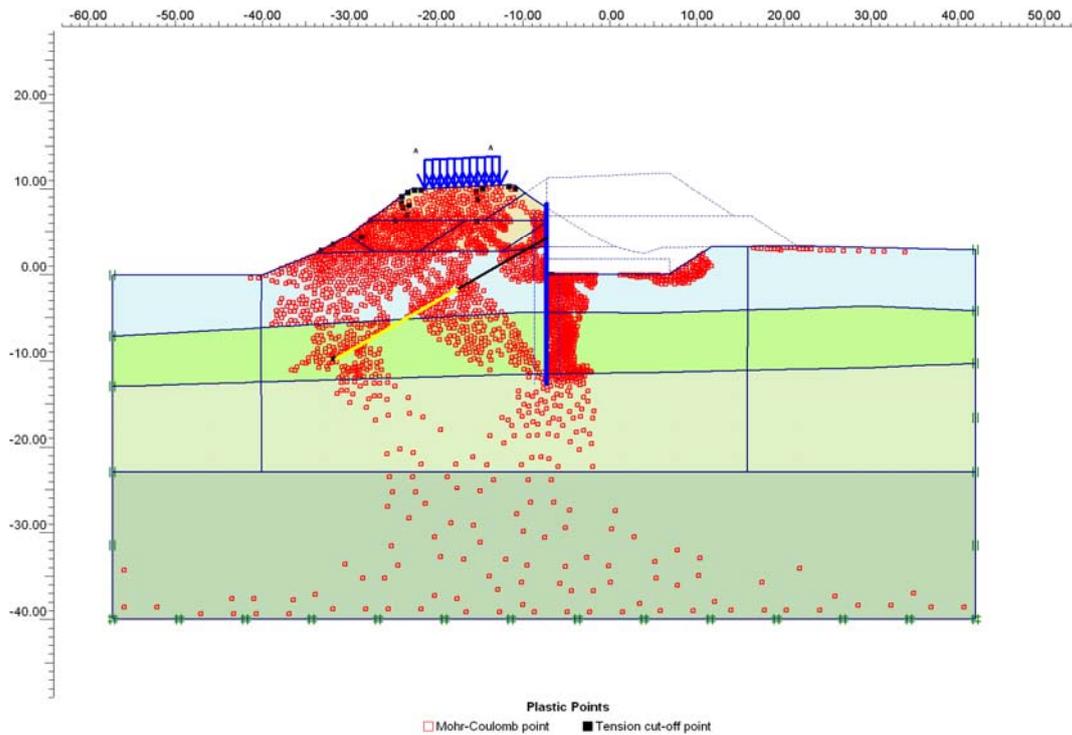


Figura 36 – Opera tipo 2 (a) - Distribuzione dei punti di plasticizzazione a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico stradale

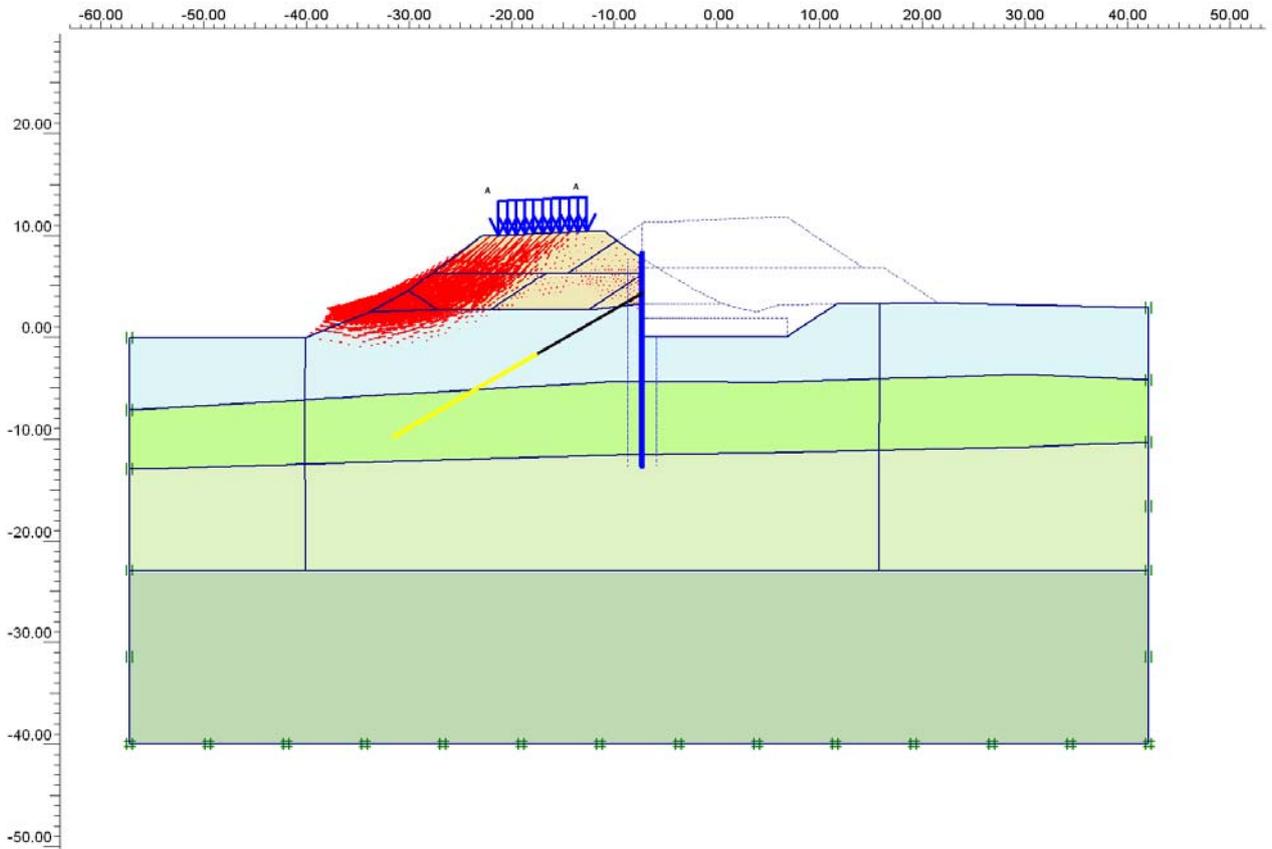


Figura 37 – Distribuzione dei vettori spostamento a instabilità avvenuta (con valori ridotti dei parametri di resistenza), a seguito della fase di calcolo corrispondente allo scavo finale con carico ferroviario

| | |
|---|---|
| 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 Arenella III |
| | Relazione di Calcolo opere provvisionali |
| | Pagina 55 di 56 |
| | Nome file: VI14-2-CL-011-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.