

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA NUOVA ENNA - DITTAINO (LOTTO 4B)

GEOTECNICA

FV01 RELAZIONE DI CALCOLO E STABILITÀ RILEVATO (2 di 3)

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3V 40 D 29 RH GE0005 010 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Febbraio 2020	M. Arcangeli	Febbraio 2020	F.Sparacino	Febbraio 2020	F. Arduini Febbraio 2020

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 18592 del 4/2/2020
ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Infrastrutture Centro
Dott. Ing. Fabrizio Arduini



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
 stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	2 di 56

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO	6
3	CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	7
3.1	INDAGINI ESEGUITE	7
3.2	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
3.3	FALDA	16
3.4	CATEGORIA SOTTOSUOLO SISMICA	16
4	ANALISI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO	18
4.1	PREMESSA	18
4.2	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	20
4.2.1	<i>Legame costitutivo e parametri geotecnici.....</i>	<i>21</i>
4.2.2	<i>Carichi in sommità al rilevato.....</i>	<i>24</i>
4.2.3	<i>Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate.....</i>	<i>24</i>
4.3	RISULTATI ANALISI DI CONSOLIDAZIONE	25
4.4	SOLLECITAZIONI SULLE COLONNE DI CONSOLIDAMENTO	34
4.5	VERIFICA DI INTEGRITÀ STRUTTURALE DELLE COLONNE CFA.....	40
4.6	ANALISI DI STABILITÀ.....	45
5	APPENDICE A. RISULTATI SOLUZIONI PROGETTUALI SCARTATE	49
5.1	SOLUZIONE CON RILEVATO STRADALE A MONTE.....	49



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	3 di 56

5.2 SOLUZIONE CON SCATOLARE STRADALE DI LARGHEZZA 24.5 M.....53



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	4 di 56

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano i dimensionamenti e le verifiche geotecniche relative all'intervento di consolidamento previsto per il rilevato in corrispondenza della stazione di Enna nell'ambito del Progetto Definitivo lotto 4b della tratta denominata nuova Enna - Dittaino relativa al Nuovo Collegamento ferroviario Palermo – Catania.

In particolare sono state analizzate tre sezioni ritenute significative delle condizioni maggiormente critiche sia per i cedimenti che per la stabilità in relazione alla geometria del rilevato e della pendenza del p.c. locale. Quindi sono state analizzate stabilità e dei cedimenti indotti dall'esecuzione del rilevato, delle seguenti sezioni:

- Sezione trasversale circa alla progressiva chilometrica 0+550, rappresentativa per il maggior volume di rilevato del corpo stazione.
- Sezione trasversale circa alla progressiva chilometrica 0+650, rappresentativa per la maggior pendenza del p.c. locale, con viabilità a monte (NV01) avente quota di progetto stradale 3 m sopra la quota di piano ferro.
- Sezione trasversale circa alla progressiva chilometrica 0+750, rappresentativa per la porzione finale dell'opera, con colonne più corte (12.0 m), con il piazzale immediatamente a monte della stazione e la viabilità di monte più distante.

Nel presente documento verrà affrontata l'analisi della sezione 2; per le sezioni 1 e 3 si rimanda ai documenti [DC3] e [DC4].

Nei tratti terminali della zona dove è previsto l'intervento di consolidamento in fondazione, sono state diminuite gradualmente le lunghezze delle colonne di consolidamento al solo fine di uniformare il comportamento deformazionale lungo lo sviluppo dell'opera.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche.
- Modellazione FEM 2D del sistema geotecnico stazione, rilevato e consolidamento terreno.
- Analisi dei cedimenti e del loro decorso nel tempo (consolidazione).
- Individuazione delle massime sollecitazioni sulle colonne di consolidamento.
- Analisi di stabilità globale.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	5 di 56

In Appendice A sono riportate per completezza espositiva anche i risultati di due soluzioni progettuali eseguite sempre per la sezione tipo 2, che poi sono state scartate, al fine di esporre tutti i ragionamenti che hanno condotto alla scelta della soluzione adottata per la sezione in oggetto (NV01, scatolare stradale di larghezza 17 m circa).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RB	DOCUMENTO GE0005 010	REV. A	FOGLIO 6 di 56

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa di riferimento**

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018;
- [N.2]. C.M. 21/01/2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";

2.2 **Documenti di riferimento**

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- [DC1]. RS3V 40 D09 RH GE0001 001 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Relazione Geotecnica tratti all'aperto - Lotto 4b.
- [DC2]. RS3V 40 D09 F6 GE0001 001 A ÷ RS3V 40 D09 F6 GE0001 010 A- Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Profilo geotecnico - Lotto 4B – 10 tavole.
- [DC3]. RS3V 40 D09 RB FV0100 001 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. FV01 – Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (1 di 3).
- [DC4]. RS3V 40 D09 RB FV0100 003 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. FV01 – stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (3 di 3).

2.3 **Programmi di calcolo**

Nella redazione del presente documento sono stati utilizzati i seguenti programmi di calcolo:

- "Plaxis 2d versione 2019" .



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	7 di 56

3 CONDIZIONI GEOTECNICHE

3.1 Indagini eseguite

In corrispondenza dell'opera sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- sondaggi 4SD2 , 4A_S30, 4S10;
- DPSH08;
- Masw6-HVSR90;
- Stese geofisiche LS11, LS21, LS22 con restituzione tomografica.

In corrispondenza dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati per prove di laboratorio. Nei sondaggi sono stati installati piezometri per il rilievo della falda.

3.2 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) è stato intercettato a partire da p.c. cappellaccio alterato della formazione di base (unità cap-c) limoso argilloso sabbioso con spessore massimo 14.5 m ed a seguire la formazione di base argilloso marnosa **Formazione di Terravecchia** unità TRV, fino alla massima profondità investigata. In corrispondenza del sondaggio 4S10, verso monte inizia ad affiorare la Formazione di Terravecchia in facies arenarie e sabbie alternate con peliti (Unità TRVa).

Dalle stese geofisiche a restituzione tomografica, gli spessori delle coperture non sembrano variare in maniera significativa nelle sezioni tracciate, quindi la situazione stratigrafica appare sostanzialmente omogenea nell'area in esame.

Nei sondaggi sono stati installati piezometri che hanno rilevato livello massimo di falda a p.c..

Nel seguito si sintetizzano le caratteristiche geotecniche di progetto per le varie unità geotecniche, in accordo a quanto definito nella relazione geotecnica generale, a cui si rimanda per i dettagli.

Cautelativamente, considerata l'importanza dell'opera, si prende a riferimento la situazione stratigrafica più cautelativa individuata dalle indagini fino ad ora eseguite.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	8 di 56

Da 0.0 a 14.5 m Unità cap – c: Cappellaccio limoso sabbioso costituente la parte alterata della formazione di base

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$ coesione drenata
 $\phi' = 28^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c_u = 50 \div 70 \text{ kPa } z < 9.5\text{m}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $c_u = 120 \text{ kPa } z > 9.5\text{m}$
 $V_s = 150 \div 350 \text{ m/s}$ velocità delle onde di taglio
 $E_o = 100 \div 120 \text{ MPa } z < 9.5\text{m}$ modulo di deformazione elastico iniziale
 $E_o = 250 \text{ MPa } z > 9.5\text{m}$
Calfa = 0.0015
 $k = 6.0E^{-06} \div 7.0E^{-07} (1.0E^{-07}) \text{ m/s}$ permeabilità (valore medio)

da 14.5 m a 50.0 m: Unità TRV– Formazione di Terravecchia: argilla da debolmente marnosa a marnosa

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $c' = 15 \text{ kPa}$ coesione drenata
 $\phi' = 24^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $V_s = 400 \div 600 \text{ m/s}$ velocità delle onde di taglio
 $c_u = 200 \text{ kPa per } z < 25\text{m}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $c_u = 300 \div 350 \text{ kPa } z > 25\text{m}$
 $E_o = 250 \div 400 \text{ MPa per } z < 25\text{m}$ Modulo di deformazione elastico iniziale
 $E_o = 800 \div 1200 \text{ MPa per } z > 25\text{m}$ modulo di deformazione elastico iniziale
 $E'_{op} = E_o/10 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico operativo per analisi cedimenti rilevati
Calfa = 0.0015
 $k = 2.0E^{-08} \div 2.0E^{-06} (4.0E^{-08}) \text{ m/s}$ permeabilità (valore medio)

La falda è stata rilevata circa a p.c..

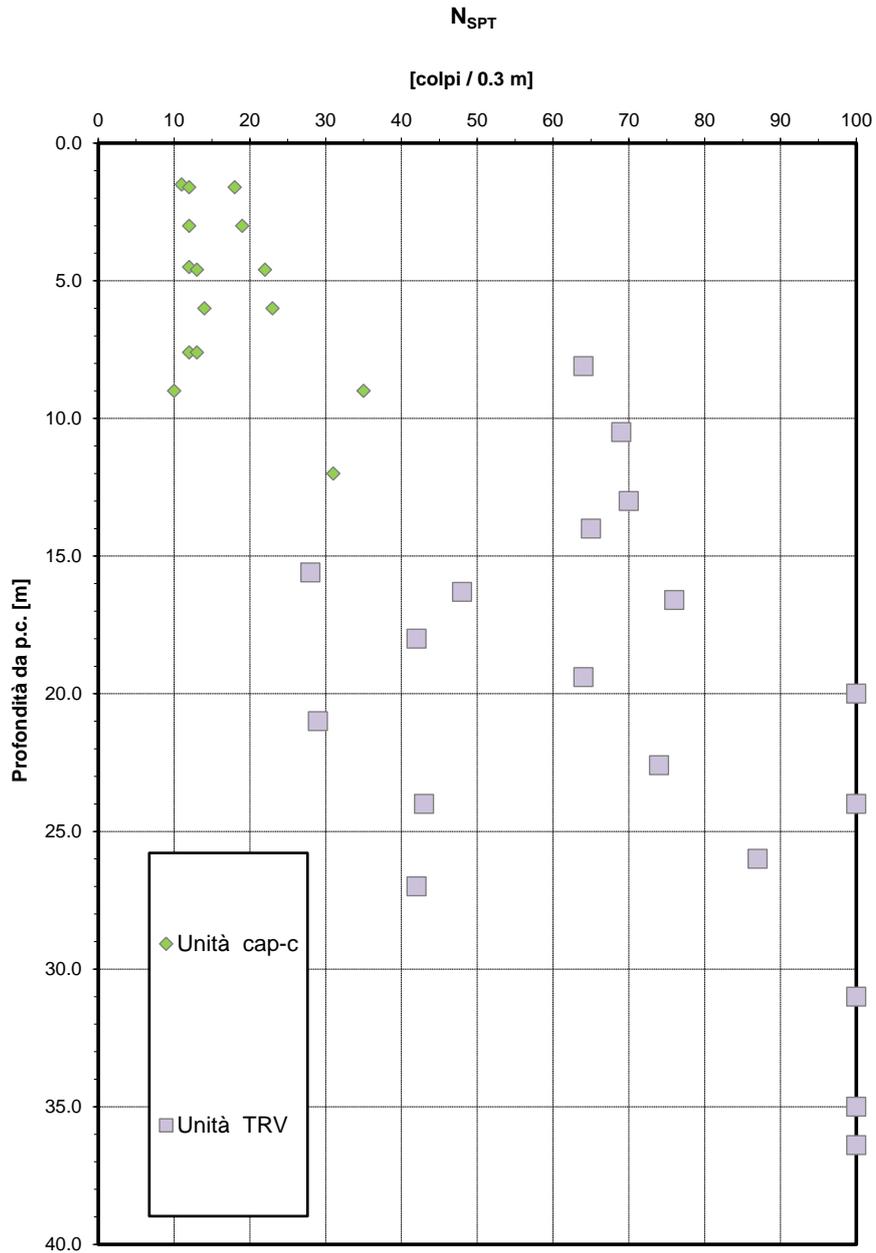


Figura 3-1 – Risultati prova SPT – Stazione Enna

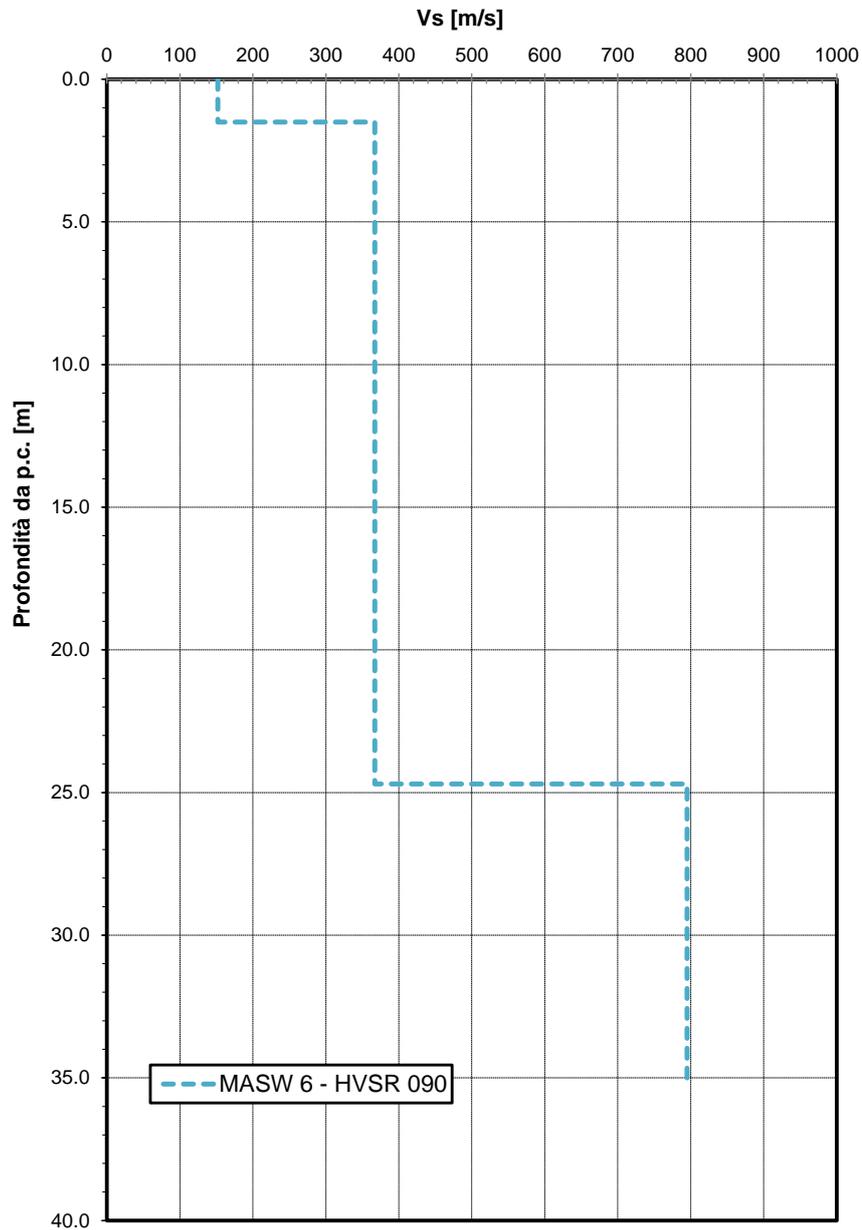


Figura 3-2 – Velocità delle onde di taglio Vs da prove Sismiche (MASW 6 – HVSR 090) – Stazione Enna

Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche

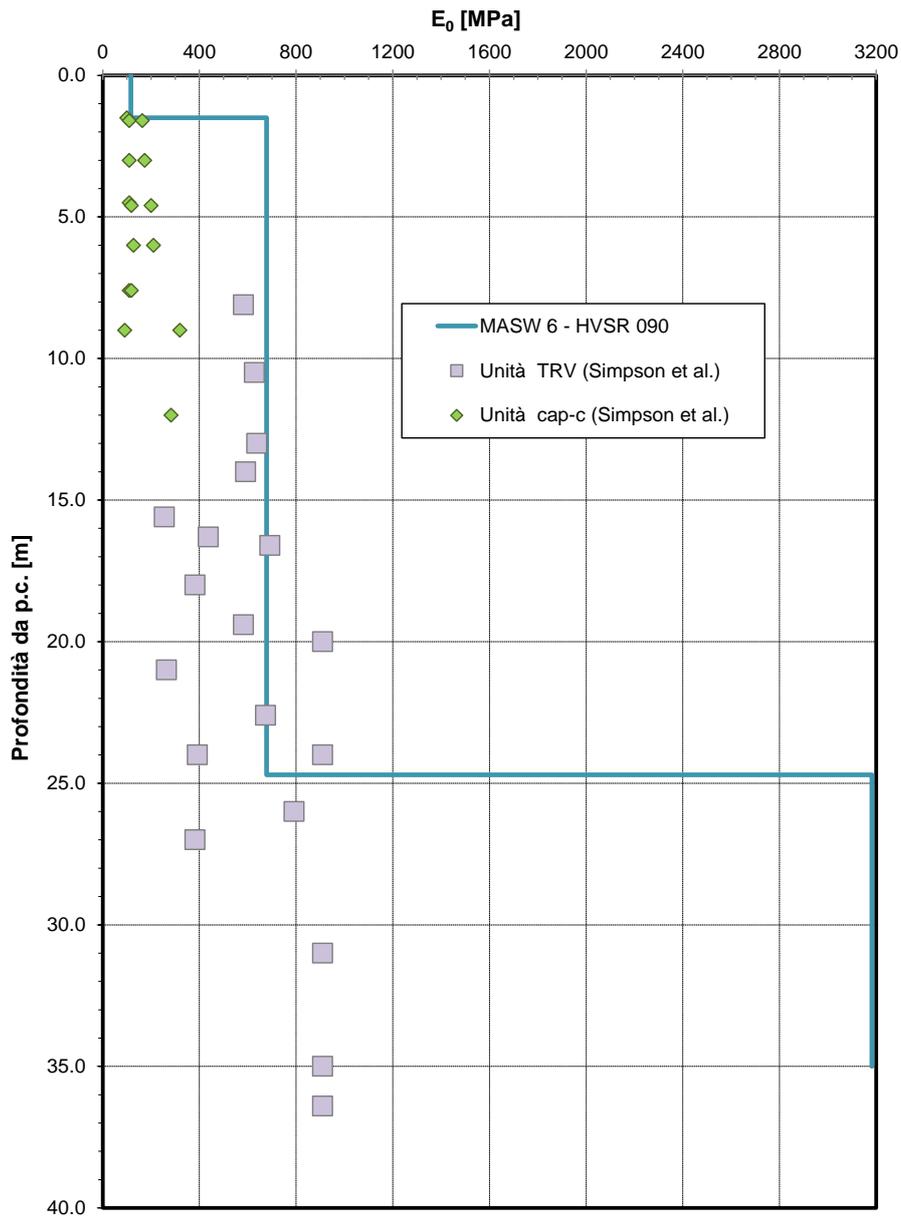


Figura 3-3 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Stazione Enna

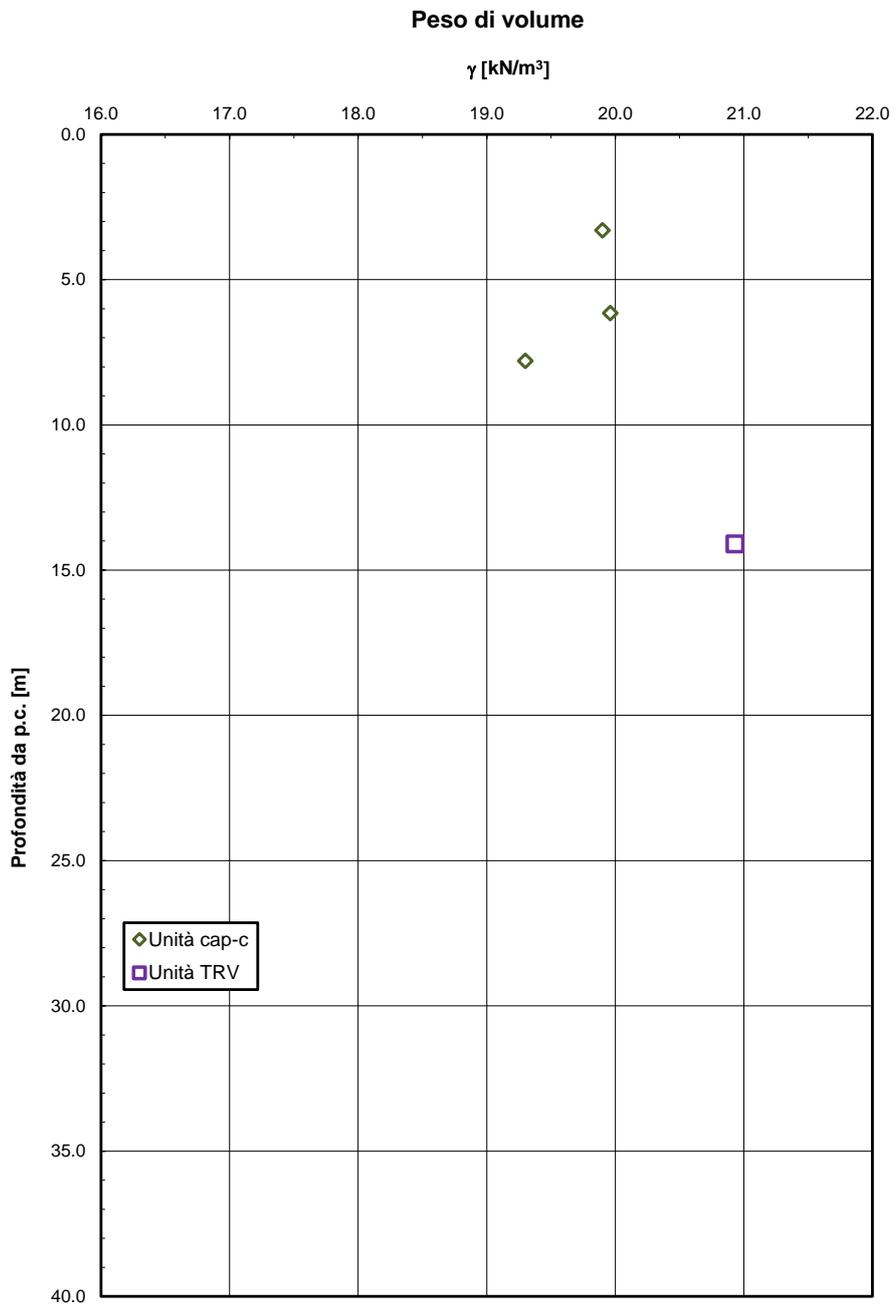


Figura 3-4 – Peso di volume – Stazione Enna

Andamento della resistenza al taglio non drenata

cu [kPa]

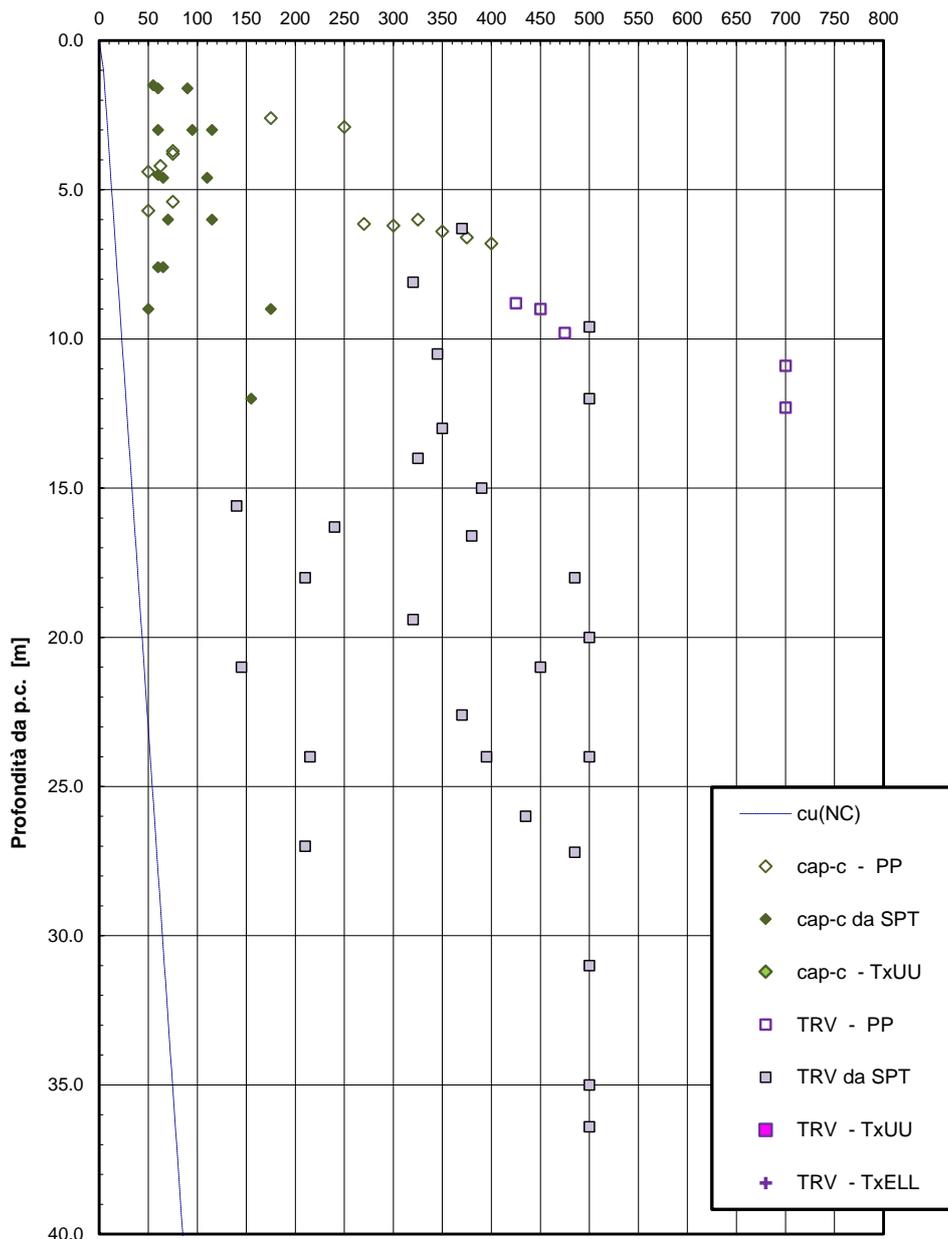


Figura 3-5 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – Stazione Enna

Parametri di resistenza al taglio - Enna

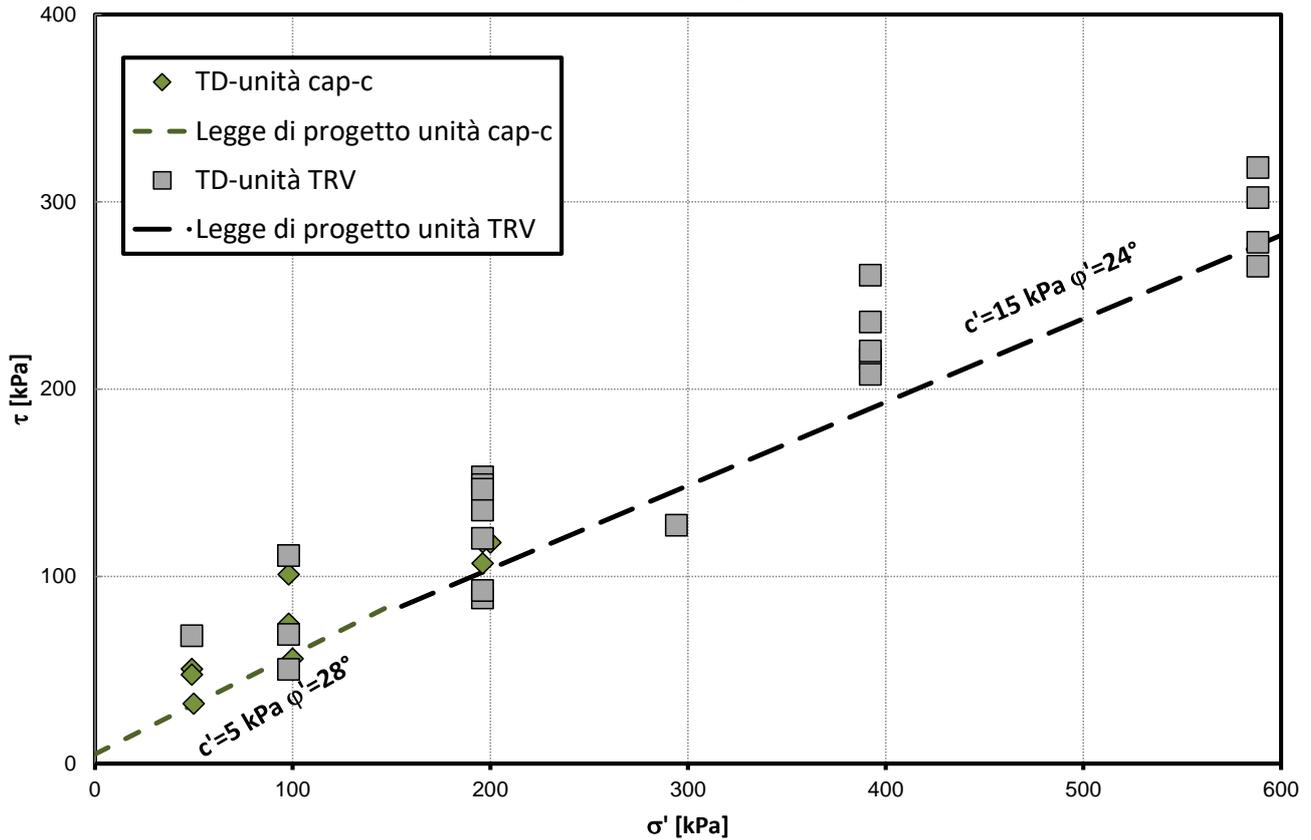


Figura 3-6 – Parametri di resistenza al taglio (laboratorio) – Stazione Enna

Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon

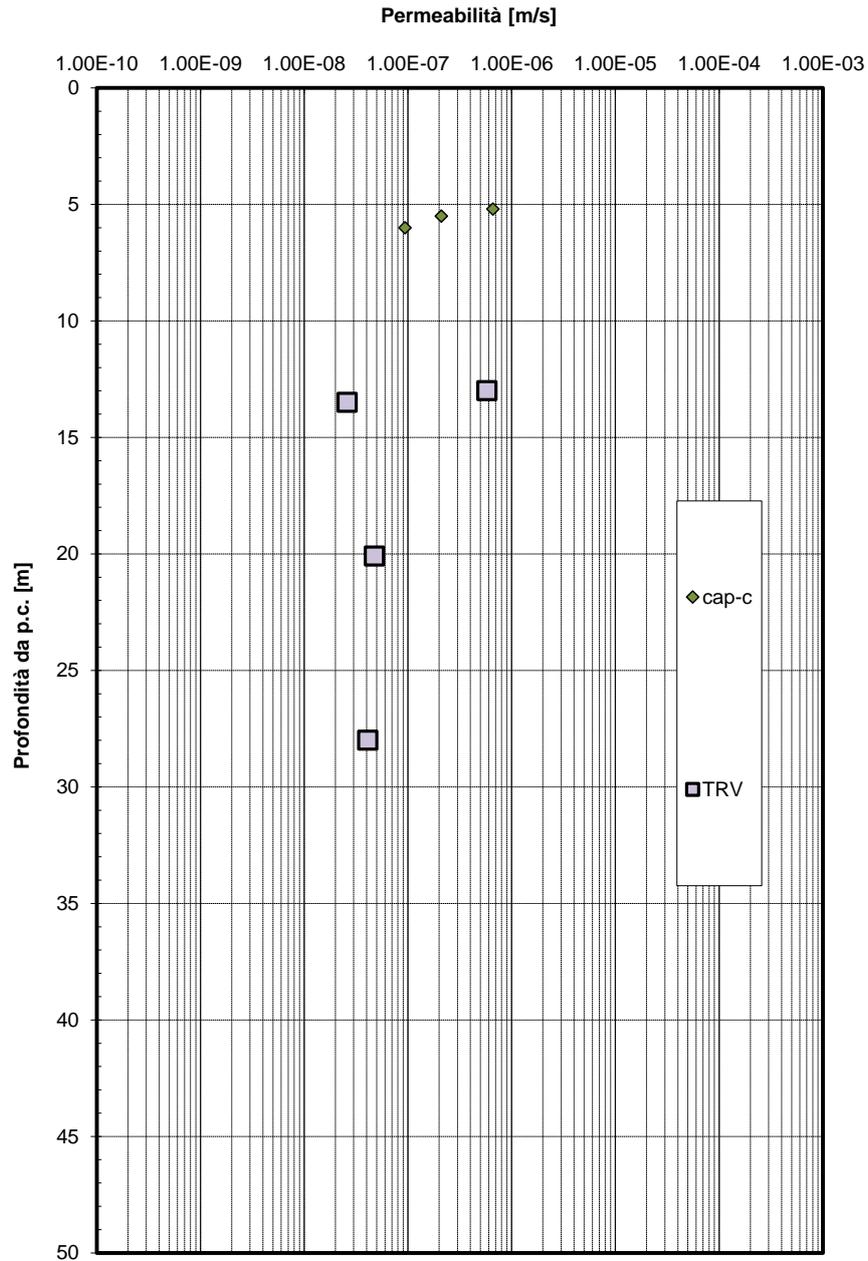


Figura 3-7 – Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon – Stazione Enna

3.3 Falda

Nei sondaggi sono stati installati piezometri che hanno rilevato livello massimo di falda circa a p.c..

3.4 Categoria sottosuolo sismica

Da prova geosismica MASW (MASW 6 – HVSR 090) si è ottenuto un valore di $V_{s,eq} = 376$ m/s, definendo una categoria di sottosuolo nell'intorno del valore limite tra B e C. Dalle tomografie sismiche (vedasi stesa tomografica LS11) si definisce categoria sottosuolo C.

Per le analisi che seguono si considera cautelativamente la categoria di sottosuolo C.

Nelle figure seguenti si riportano i risultati delle indagini sismiche.

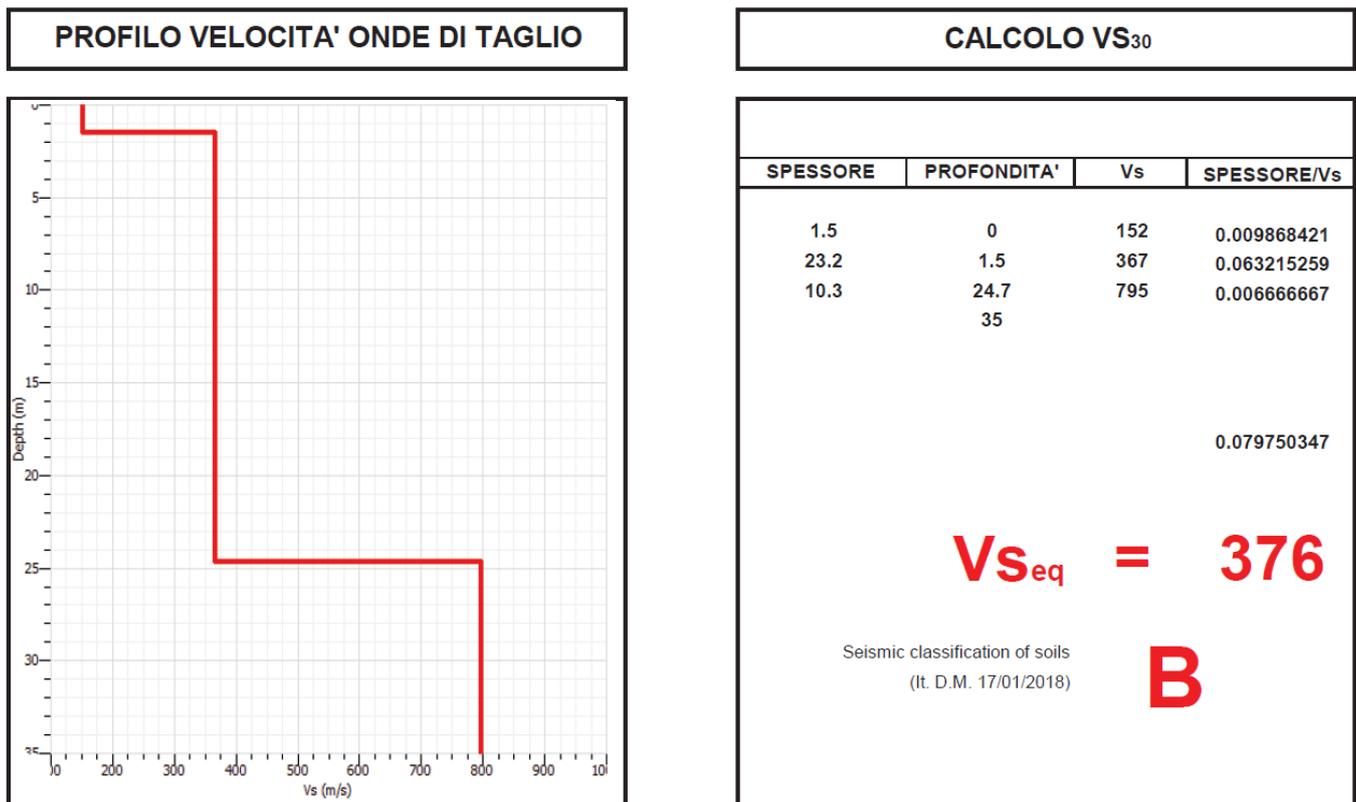


Figura 8 – $V_{s,eq}$ da prova sismica Masw

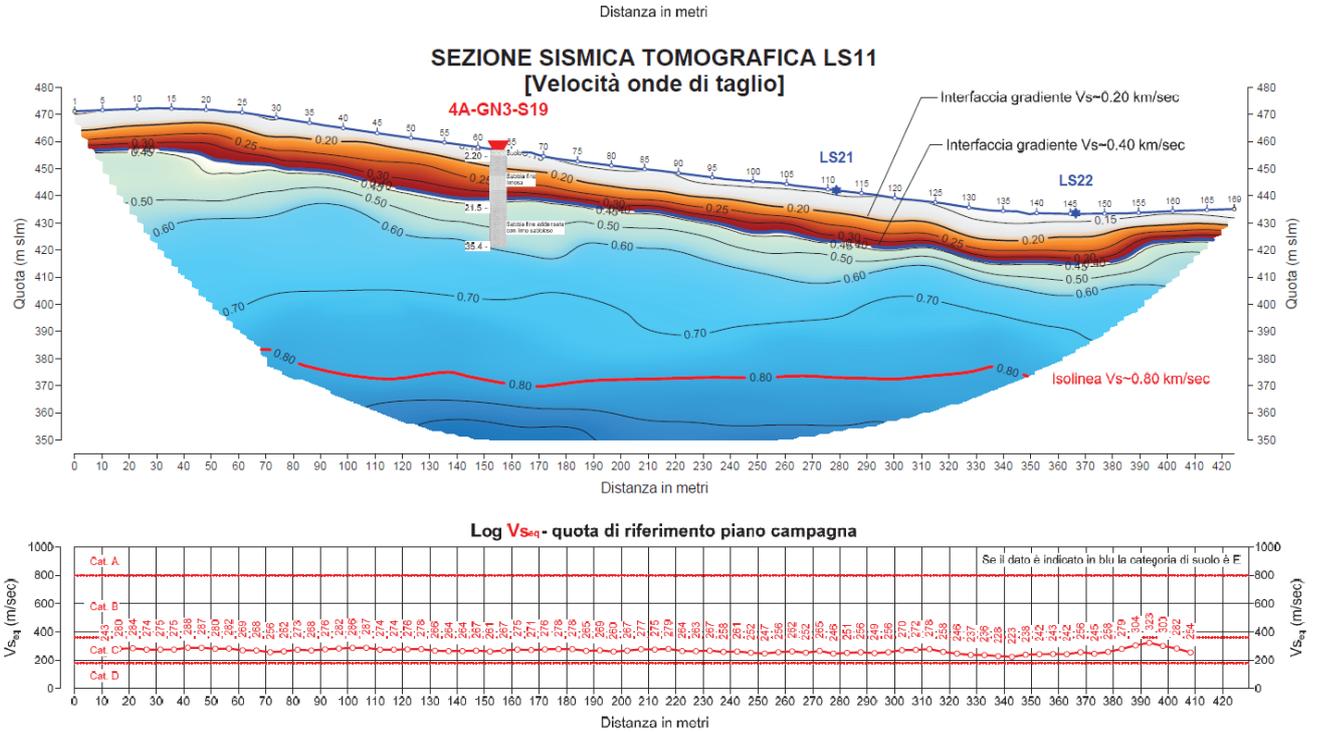


Figura 9 – $V_{s,eq}$ da tomografia sismica

Per l'opera è stata comunque eseguita una analisi di risposta sismica locale, per i risultati si rimanda all'apposito elaborato.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	18 di 56

4 ANALISI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

4.1 Premessa

Nel presente documento si analizza la sezione trasversale circa alla progressiva chilometrica 0+650, rappresentativa per la maggior pendenza del p.c. locale, con viabilità a monte (NV01) avente quota di progetto stradale 3 m sopra la quota di piano ferro. La soluzione progettuale prevede uno scatolare (larghezza 17m circa) per la viabilità NV01, al fine di alleggerire il carico a monte e migliorare le condizioni di stabilità globali opere (stazione ferroviaria+strada - pendio).

La soluzione progettuale con rilevato stradale a monte è stata scartata, in quanto si trattava di un rilevato stradale di altezza media 11 m, posizionato subito a monte della stazione, in questa zona dove il p.c. locale presenta una maggiore inclinazione rispetto all'area in esame. Queste condizioni di carico risultavano particolarmente gravose per le condizioni di stabilità globali, andando a pesare fortemente, soprattutto in condizioni sismiche, sugli elementi di consolidamento in fondazione; quindi la soluzione progettuale con rilevato stradale è stata scartata. Queste valutazioni sono state riportate in Appendice A, per completezza espositiva, al fine di giustificare le scelte progettuali adottate.

In Appendice A è anche riportata un'altra soluzione progettuale con scatolare viabilità di larghezza maggiore (24.5 m) posizionato praticamente in adiacenza allo scatolare della stazione. Tale soluzione si è dimostrata fattibile, ma è stata comunque scartata.

Nel presente capitolo si riportano le analisi svolte per la sezione progettuale adottata.

Per l'opera si prevede un intervento di consolidamento costituito da:

- Colonne di consolidamento CFA in c.a. Ø800mm di lunghezza 18.0 m, disposti a maglia quadrata 3.0 m x 3.0 m, con armatura minima (8 Ø24, staffe Ø10 / 10 cm).
- Cappellotti di ripartizione in c.a. a testa palo, di diametro 1.50 m e spessore 0.50 m.
- Geogriglia di ripartizione con resistenza nominale $R > 500$ kN/m (direzione trasversale).

Per analizzare e dimensionare l'intervento è stata eseguita una analisi FED 2D con programma Plaxis (2019.01).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	19 di 56

PLAXIS è un codice di calcolo agli elementi finiti utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche e di interazione terreno-struttura. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plain strain).

Presenta una vasta libreria di legami costitutivi attribuibili ai terreni. Sono disponibili inoltre elementi strutturali di vario tipo che consentono di simulare diaframmi, pali, ancoraggi ecc.

4.2 Metodologie di calcolo

Nella seguente figura è mostrata la geometria della sezione analizzata e le caratteristiche degli elementi strutturali (colonne di consolidamento, cappellotti, geogriglia, platea di fondazione) modellati nel calcolo.

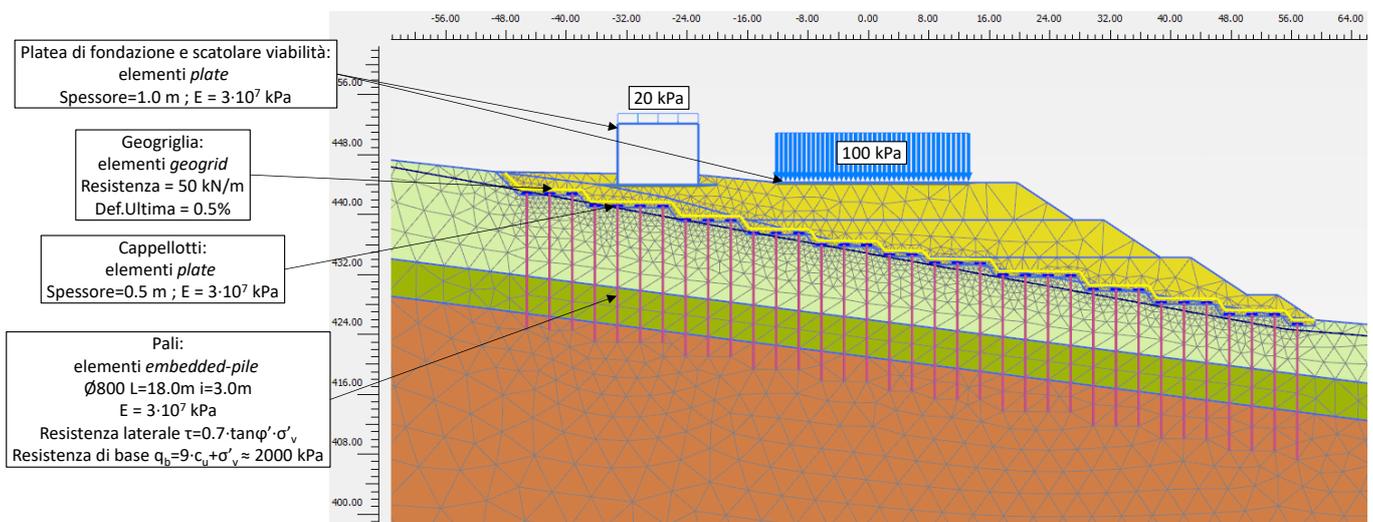


Figura 4-1. Schema modello



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	21 di 56

4.2.1 Legame costitutivo e parametri geotecnici

Nel caso in esame per l'analisi della consolidazione primaria secondaria del rilevato è stato utilizzato un legame costitutivo denominato Soft Soil Creep Model, che il programma Plaxis rende disponibile all'utente per problemi di compressione come quello in esame.

In particolare la determinazione dei parametri di compressibilità dei terreni è stata svolta nel seguente modo. Dal profilo delle velocità di taglio (V_s) di progetto, sono stati ricavati i moduli di deformazione $E_{50,ref}$, $E_{oed, ref}$, $E_{ur,ref}$ ed m con le seguenti formulazioni.

$$E_0 = \frac{\rho \cdot V_s^2}{2(1+\nu)}$$

$$E_{50} = E_0 / 12.5$$

$$E_{ur} = 2.7 \cdot E_{50}$$

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi - \sigma'_3 \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

$$E_{Oed} = 1.25 \cdot E_{50}$$

Da cui sono stimati i coefficienti C_c e C_s con le seguenti formulazioni

$$C_c = \frac{2.3(1 + e_{init})p_{ref}}{E_{oed}^{ref}}$$

$$C_s \approx \frac{2.3(1 + e_{init})(1 + \nu_{ur})(1 - 2\nu_{ur})p_{ref}}{(1 - \nu_{ur})E_{ur}^{ref}K_0}$$

Nella seguente tabella si sintetizzano i valori di progetto per le unità geotecniche.

Tabella 1 – Parametri geotecnici di progetto

	CapC1	CapC2	TRV	
da	0.0	-9.5	-14.5	m
a	-9.5	-14.5	-40.0	m
γ	19.5	19.5	21.0	kN/m³
$k_{0,NC}$	0.531	0.531	0.593	
OCR	3.0	3.0	3.0	
k_0	1.092	1.092	1.280	
$E_{50,ref}$	23.2	23.5	24.3	MPa
$E_{Oed,ref}$	18.6	18.8	19.4	MPa
$E_{ur,ref}$	62.6	63.5	65.6	MPa
m	1.00	1.00	1.00	
C_C	0.0204	0.0202	0.0195	
C_S	0.00546	0.00538	0.00521	
e_0	0.65	0.65	0.65	
c'	5	5	15	kPa
ϕ'	28	28	24	deg
γ_{-07}	1.71E-04	3.34E-04	3.33E-04	
$G_{o^{ref}}$	114.1	115.9	119.6	MPa
K_h	1.00E-07	1.00E-07	4.00E-08	m/s
K_V	1.00E-08	1.00E-08	4.00E-09	m/s

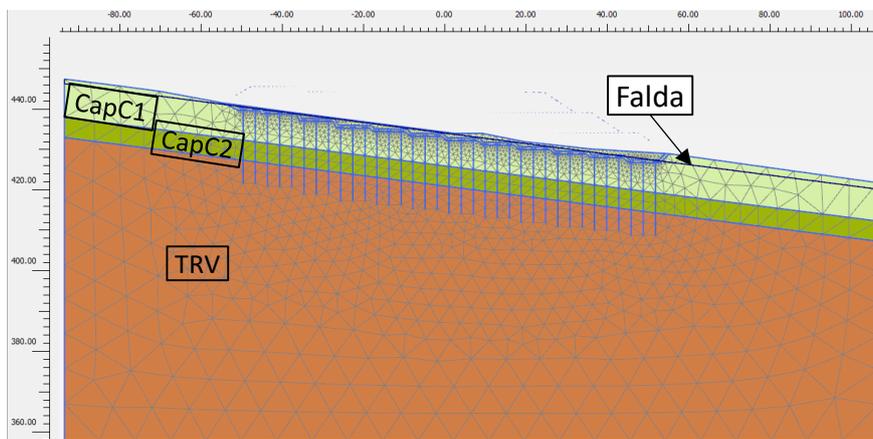


Figura 4-2. Stratigrafia e falda

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche

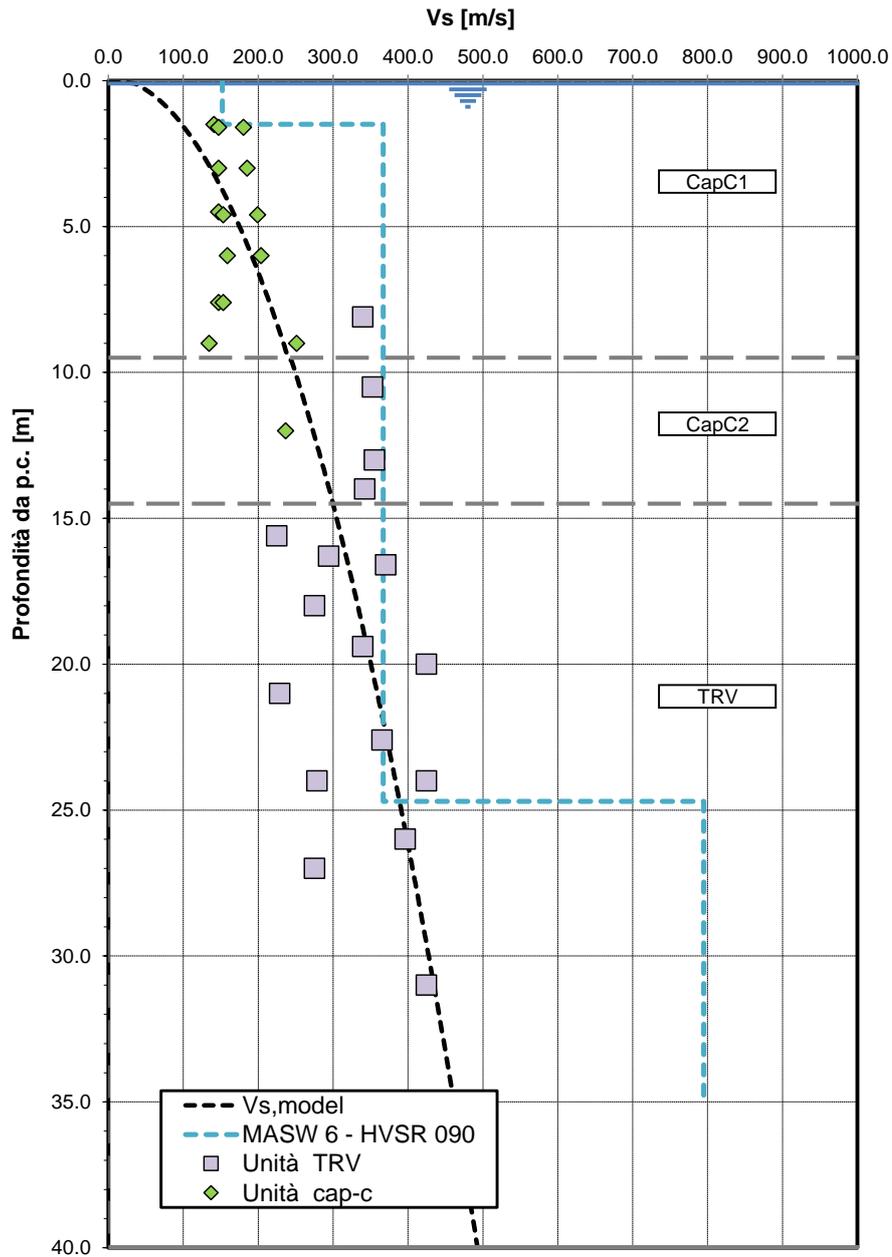


Figura 4-3. Velocità delle onde di taglio

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RB	DOCUMENTO GE0005 010	REV. A	FOGLIO 24 di 56

4.2.2 Carichi in sommità al rilevato

L'analisi include un carico uniforme sull'area di impronta fondazionale dell'edificio stazione, stimato complessivamente pari a 100 kPa. Include i pesi complessivi della stazione (80 kPa) ed i sovraccarichi di esercizio (20 kPa).

4.2.3 Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate

In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali f_h e verticali f_v per unità di volume, d'intensità pari al prodotto fra il peso specifico del corpo γ sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico:

$$f_h = \gamma \cdot k_h \text{ forza orizzontale per unità di volume}$$

$$f_v = \gamma \cdot k_v \text{ forza verticale per unità di volume}$$

dove:

$$\gamma = \text{peso specifico del volume considerato.}$$

In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale (a_h) dell'accelerazione può essere legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

a_{\max} = accelerazione massima attesa al sito; g = accelerazione di gravità;

β_s = coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito.

Per il tracciato in oggetto, come riportato nella relazione geotecnica generale, si ha la seguente caratterizzazione sismica più gravosa (per $V_N=75$ $c_u=1.5$, SLV, Categoria C):

$$a_g / g = 0.1336,$$

$$S_s = 1.49$$

Da cui $a_{\max} = 0.1336 \cdot 1.49 = 0.199 \text{ g}$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
 PROGETTO DEFINITIVO
 TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	25 di 56

Per le analisi di stabilità sismiche SLV di fronti di scavo e rilevati, il coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito va assunto pari a $\beta_s = 0.38$.

Quindi si ha in condizioni sismiche:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g = 0.38 \cdot 0.199 = 0.076$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.038$$

4.3 Risultati analisi di consolidazione

Per l'analisi di consolidazione sono stati considerati i tempi di esecuzione e le fasistiche inserite nella seguente tabella.

fase analisi	tempo parziale [giorni]	tempo progressivo [giorni]	tempo progressivo [mesi]	tempo progressivo [anni]
stato attuale	0	0	0.0	0.0
bonifica e pali	30	30	1.0	0.1
rilevato 1/3	30	60	2.0	0.2
rilevato 2/3	30	90	3.0	0.3
rilevato 3/3	30	120	4.0	0.3
realizzazione stazione (80 kPa)	365	485	16.2	1.3
esercizio stazione (100 kPa)	1	486	16.2	1.4
attesa 75 anni	27375	27861	928.7	77.4
attesa 112.5 anni	12650	40511	1350.4	112.5

Nelle seguenti figure si riportano le fasi modellate nell'analisi.

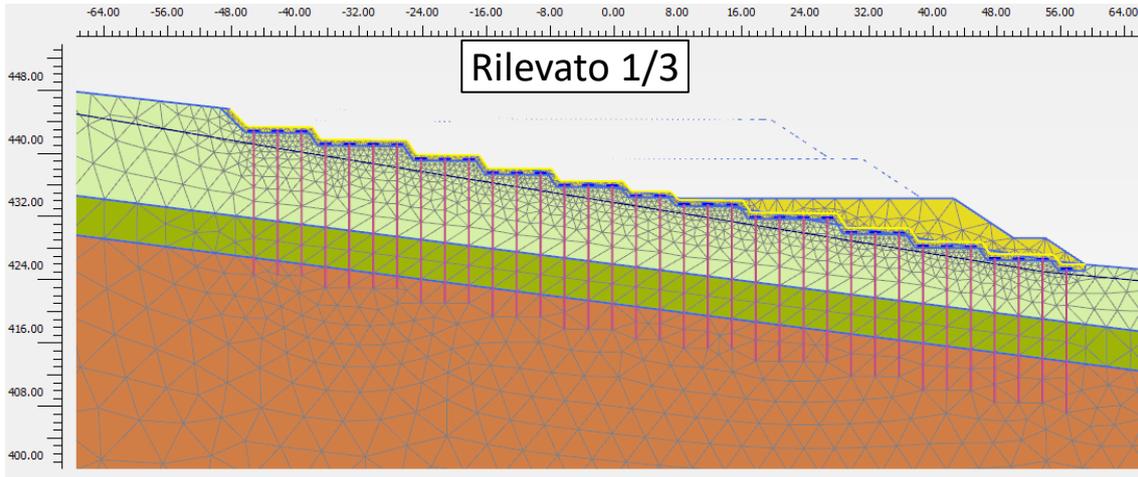


Figura 4-4. Fase rilevato 1/3

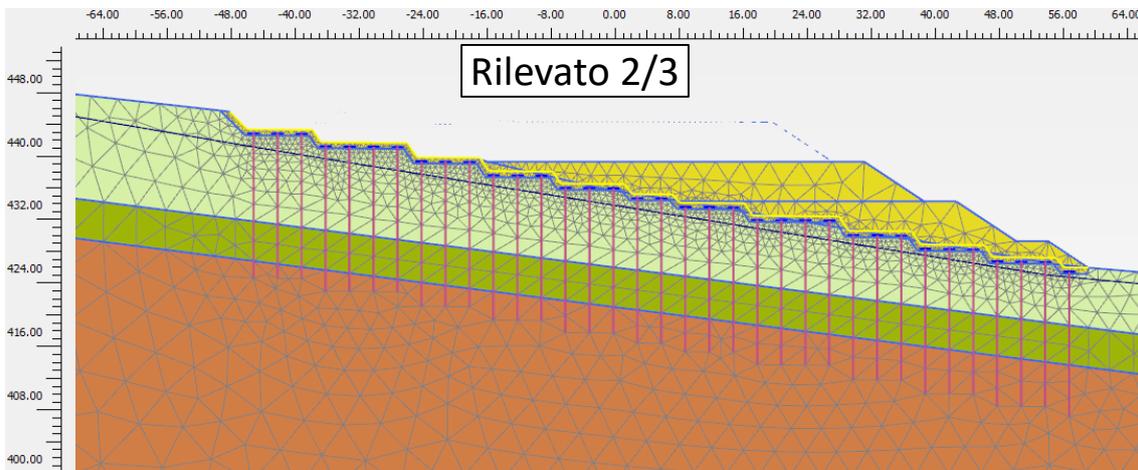


Figura 4-5. Fase rilevato 2/3

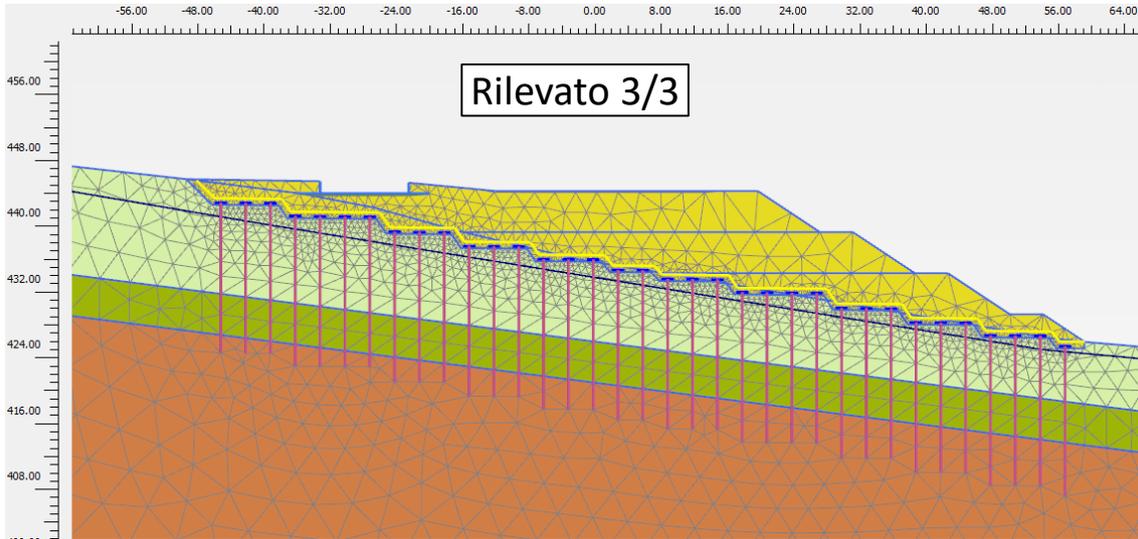


Figura 4-6. Fase rilevato 3/3

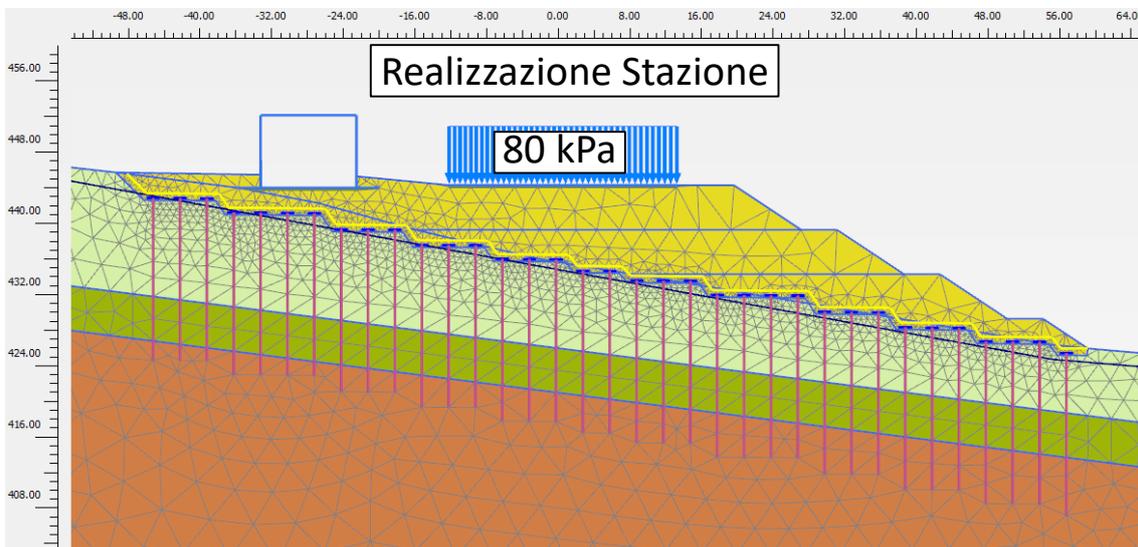


Figura 4-7. Fase realizzazione stazione ($q=80\text{kPa}$)

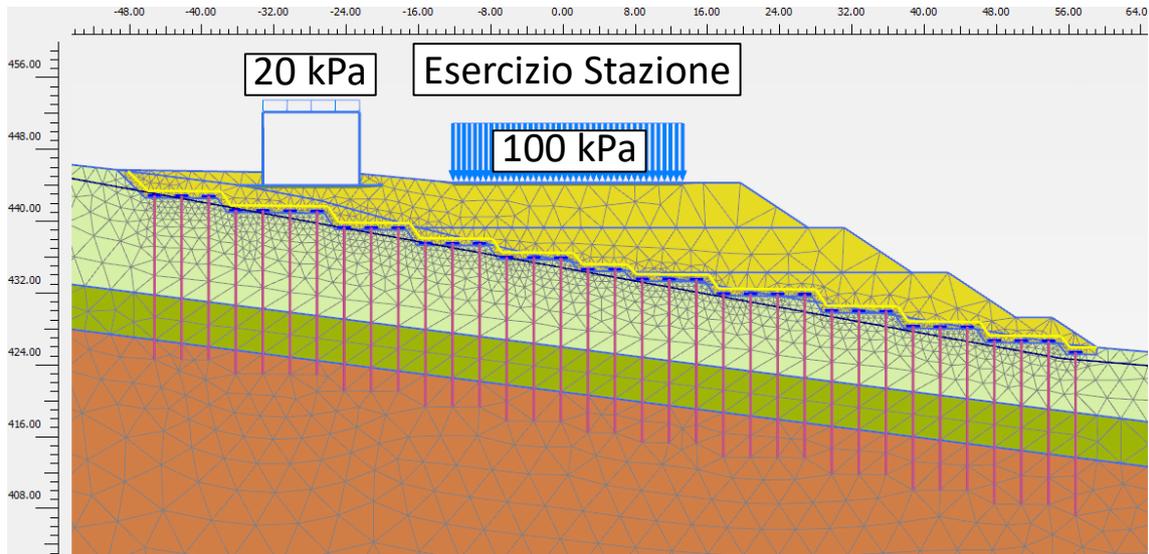


Figura 4-8. Fase esercizio stazione e viabilità di accesso

Nelle seguenti figure si riportano gli spostamenti dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 75 anni.

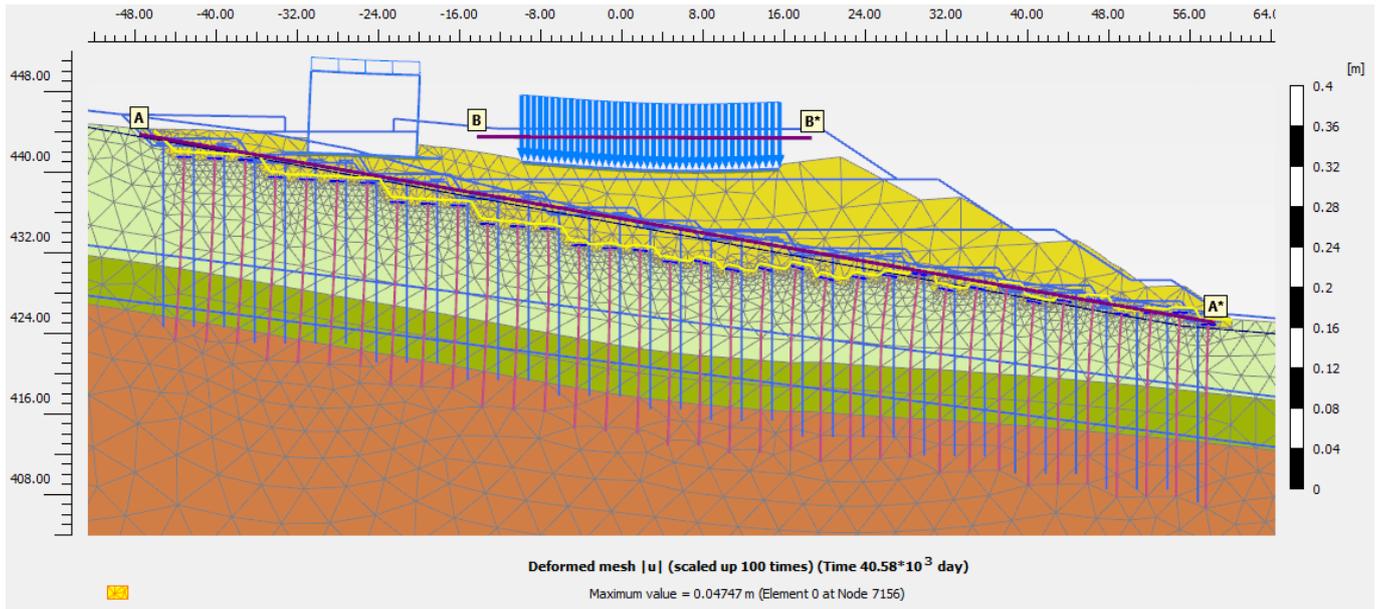


Figura 4-9. Deformata dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (mesh deformata: amplificata 100 volte, spostamento massimo 47.5 mm)

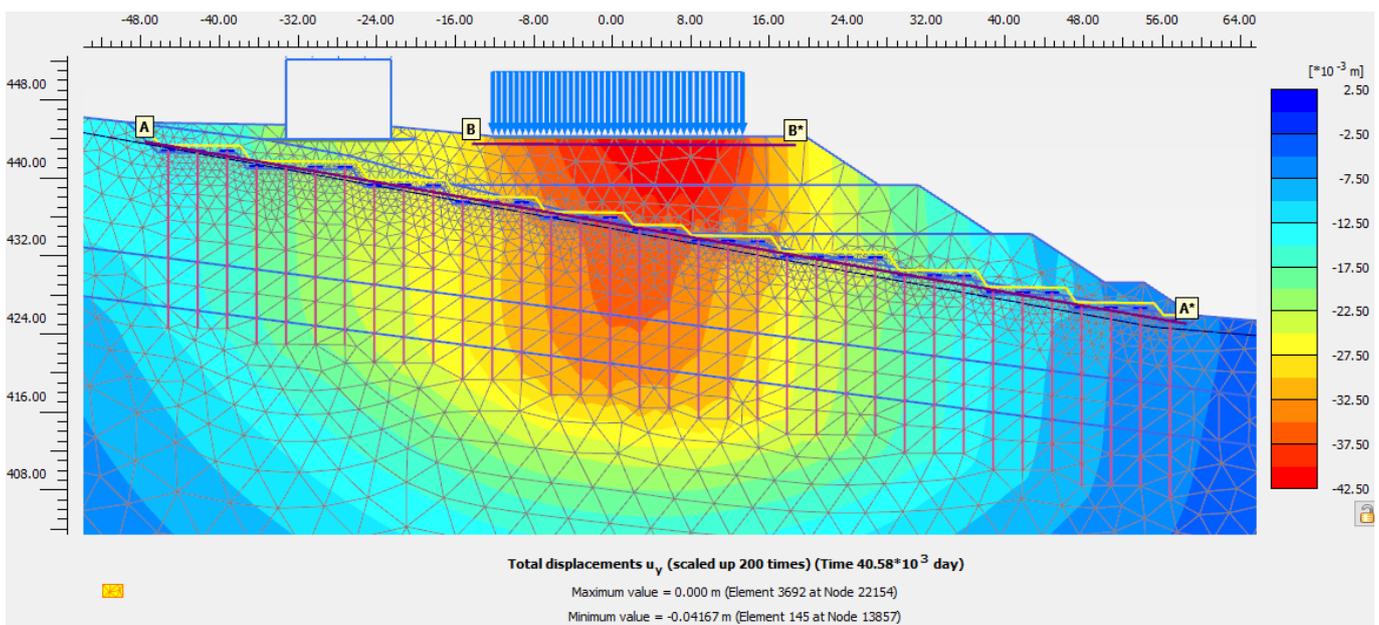


Figura 4-10. Spostamenti verticali dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (spostamento verticale massimo 41.7 mm)

Nella seguente figura è mostrata la Fase di esecuzione rilevato e stazione (carico applicato di 80 kPa), in particolare sono mostrati gli spostamenti maturati durante le fasi esecutive di rilevato e stazione, da cui si stima uno spostamento verticale massimo di 55 mm.

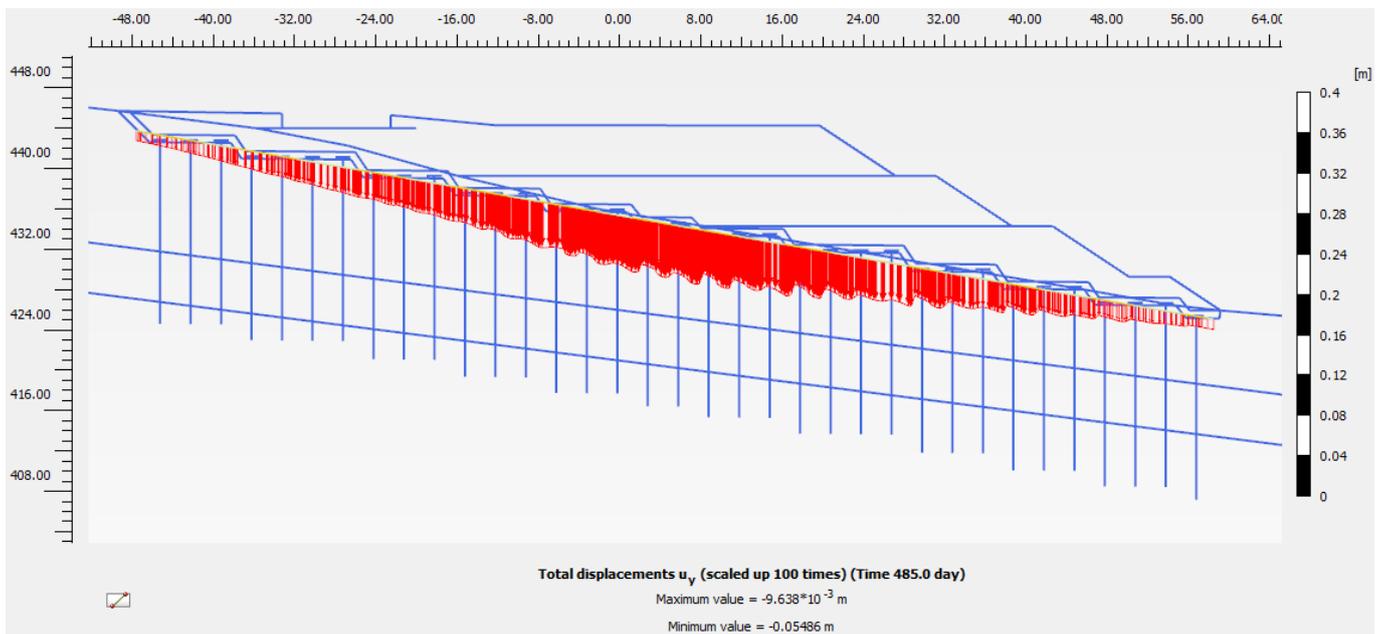


Figura 4-11. Sezione 2. Spostamenti maturati durante le fasi esecutive di rilevato e stazione (Spostamento verticale massimo = 55 mm)

Nella seguente figura è mostrata la Fase di esercizio stazione, in particolare sono mostrati gli spostamenti dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni, da cui si stima uno spostamento verticale massimo di 40 mm.

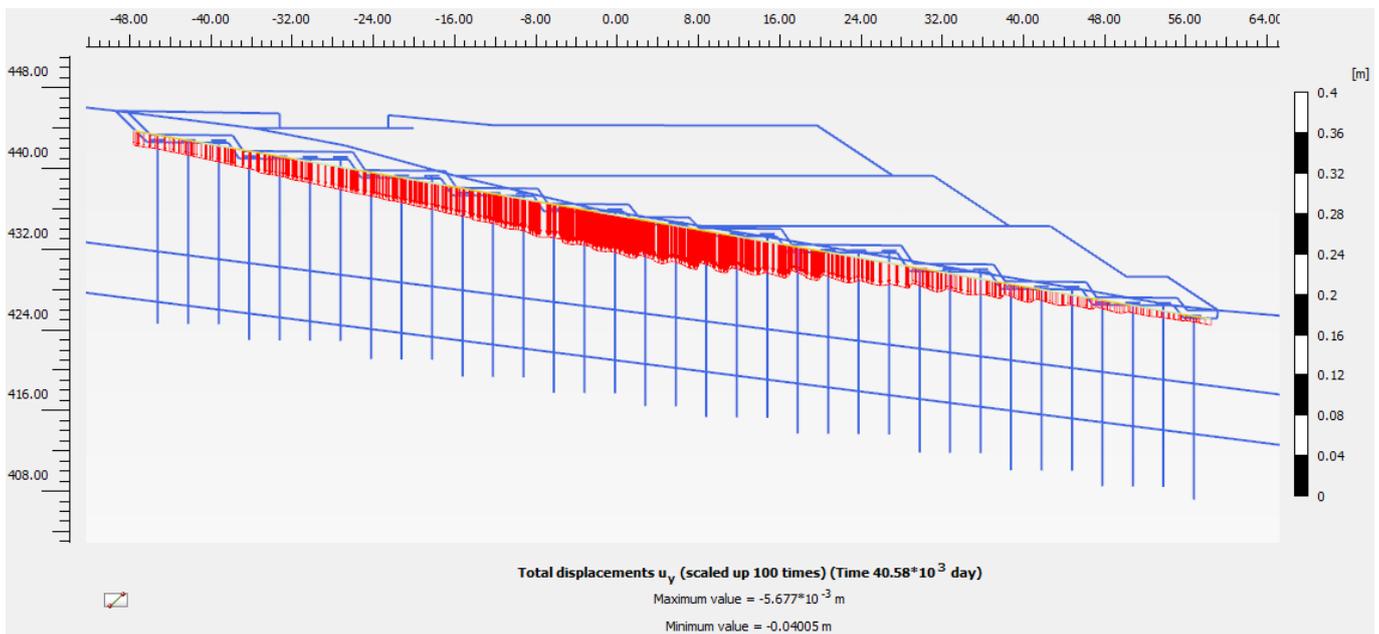


Figura 4-12. Sezione 2. Spostamenti dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (Spostamento verticale massimo = 40 mm)

Nella seguente figura sono mostrati i risultati dell'analisi di consolidazione, in particolare i cedimenti di fase edificio, valutati dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni. Si ottengono al massimo 42 mm.

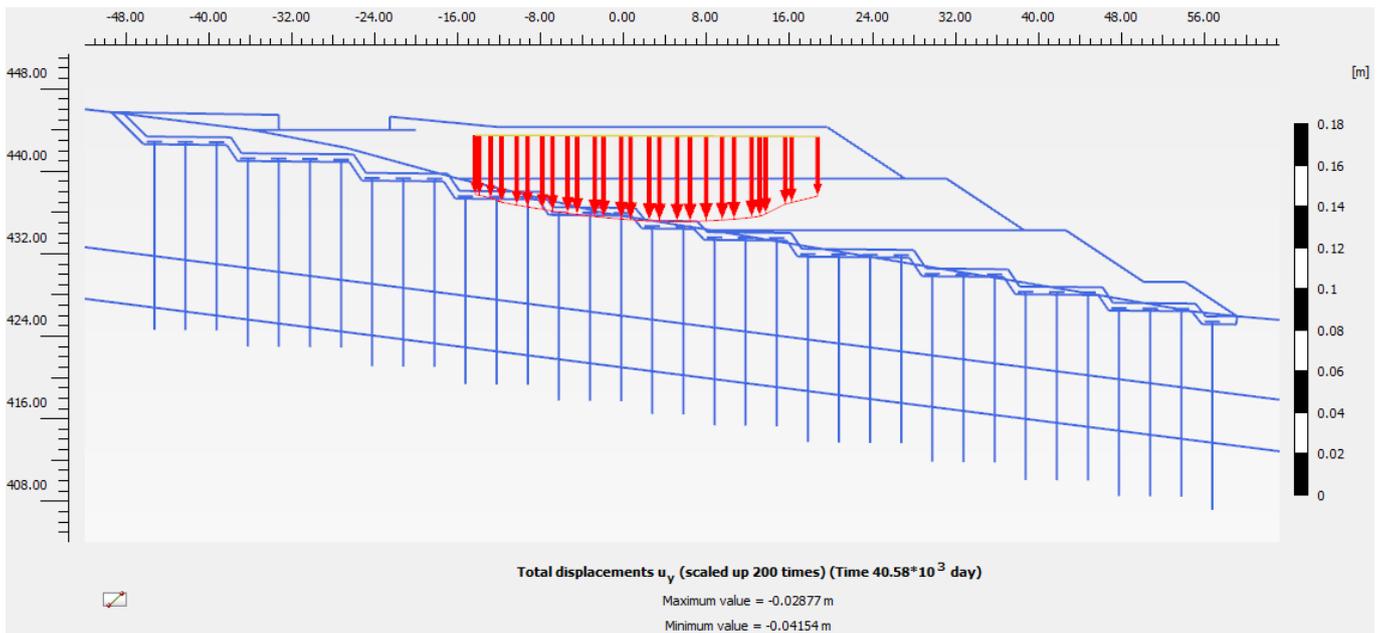


Figura 4-13. Sezione 2. Spostamenti di fase edificio dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (Spostamento totale massimo = 42 mm)

Nella seguente figura è mostrata la consolidazione nel tempo valutata per un punto al p.c. originale circa al centro dell'impronta di carico.

Si osserva che la consolidazione primaria termina circa 30 giorni dopo l'inizio dell'esercizio della stazione.

Quindi dalle analisi eseguite si può concludere che, con l'intervento di consolidamento previsto in progetto, i cedimenti totali stimati sono modesti e comunque i cedimenti residui sono di circa 4.0 cm, inferiori ai 5 cm prescritti da capitolato.

Si evidenzia una curvatura che si linearizza nel piano logaritmico dopo circa 20-30 anni. Questo rispecchia la complessità del legame costitutivo utilizzato nella valutazione della consolidazione (Soft Soil Creep Model) dove la velocità di deformazione per creep dipende anche dal rapporto di sovraconsolidazione locale e dalla combinazione dei parametri di compressibilità (c_c , c_s , c_α) (vedasi Practical application of the soft soil creep Manual).

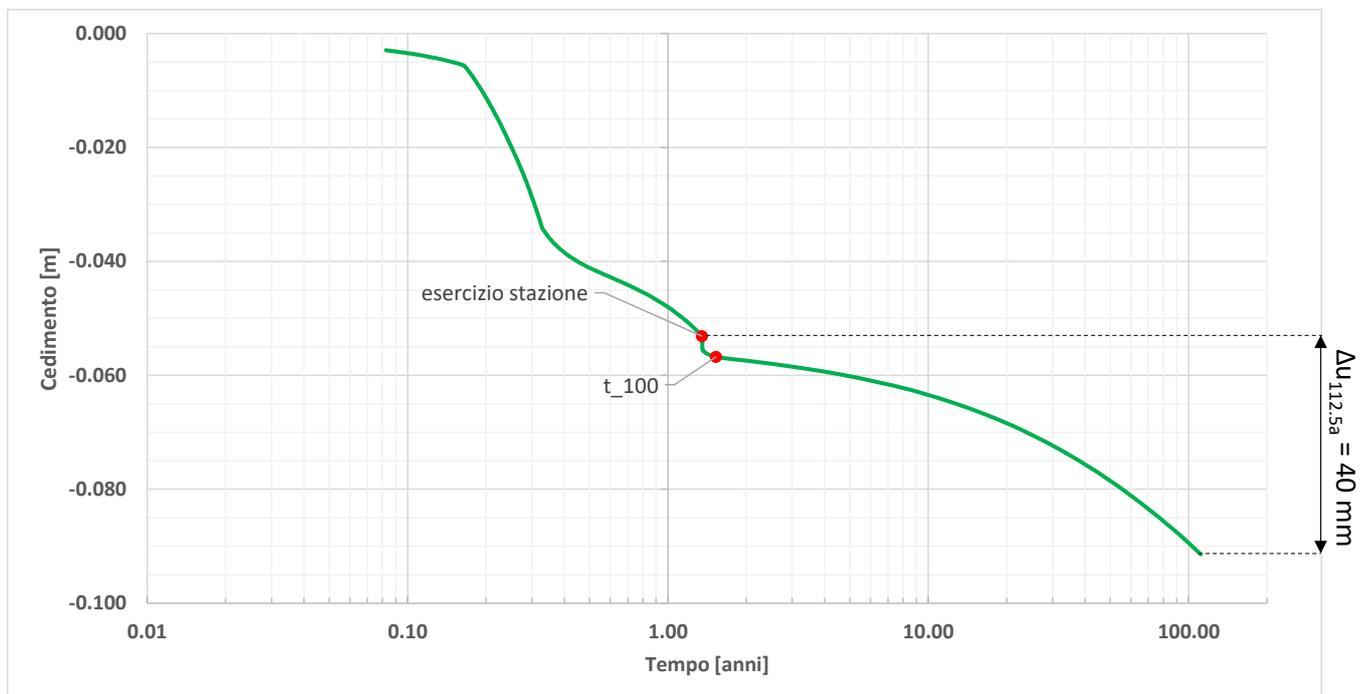


Figura 4-14. Andamento della consolidazione nel tempo

4.4 Sollecitazioni sulle colonne di consolidamento

Nella seguente figura sono mostrate le azioni assiali massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui per la sezione analizzata si stima un valore di azione assiale massimo di compressione di 805 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $N_{max} = 2415$ kN.

Ai fini di un confronto è stata determinata la curva carico cedimento della colonna isolata, mediante il metodo delle curve di trasferimento (vedasi Figura 4-16). Nella figura si riporta la curva carico-cedimento per la singola colonna $D=800$ mm, lunghezza 18.0 m. Si osserva che in corrispondenza del massimo carico assiale sul palo pari a 2415 kN (SLE) il cedimento è circa 5 mm, nell'ambito di un comportamento pseudo lineare, con adeguati margini rispetto al carico limite di circa 3500 kN.

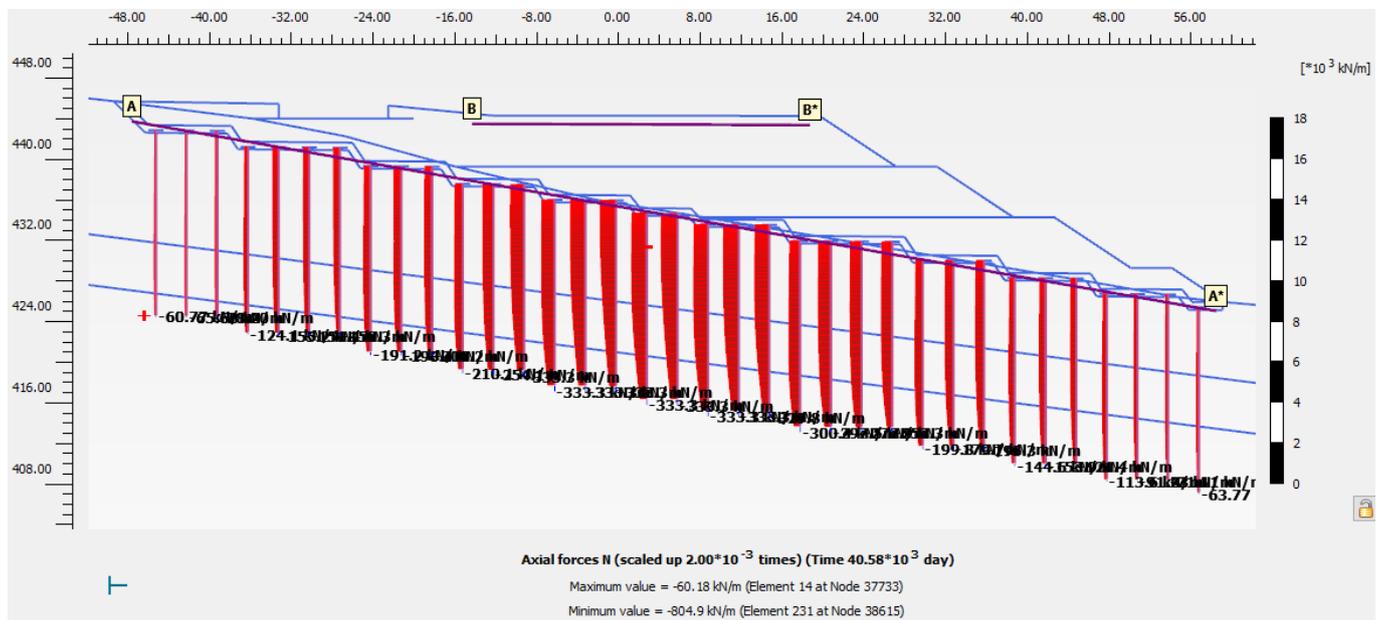


Figura 4-15. Sezione 2. Azione assiale sulle colonne di consolidamento



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO**

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	35 di 56

Enna Stazione
Curva carico-cedimento palo D=800 mm
carico [kN]

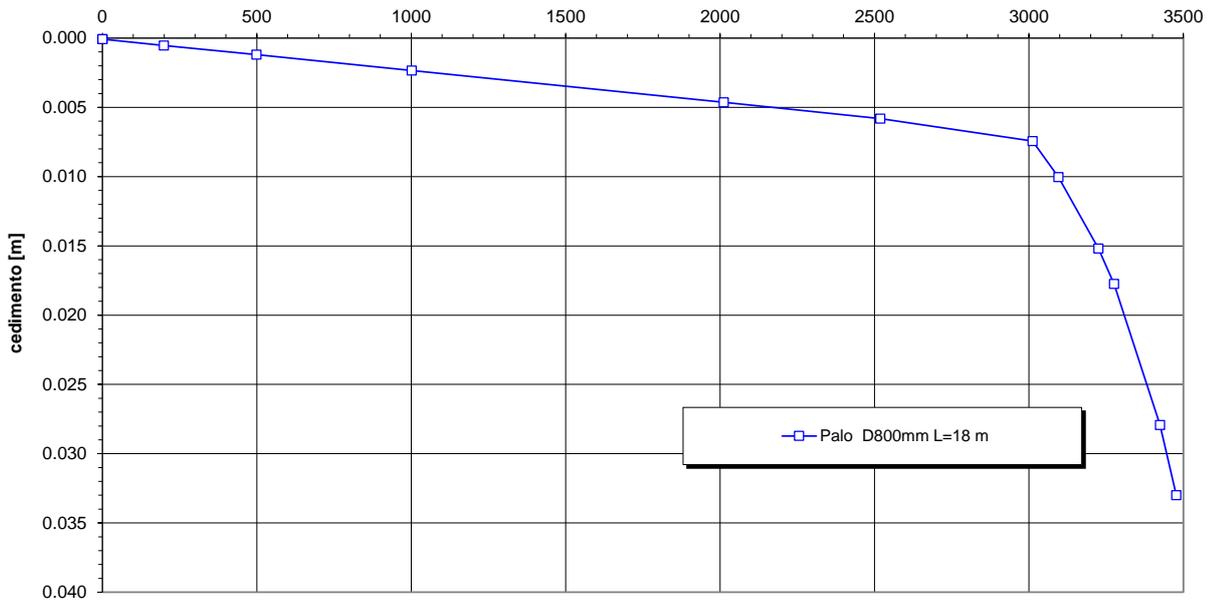


Figura 4-16. Curva carico-cedimento singola colonna D800 mm

Nelle seguenti figure sono mostrate le azioni flettenti massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di momento massimo di 105 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $M_{max} = 315 \text{ kNm}$.

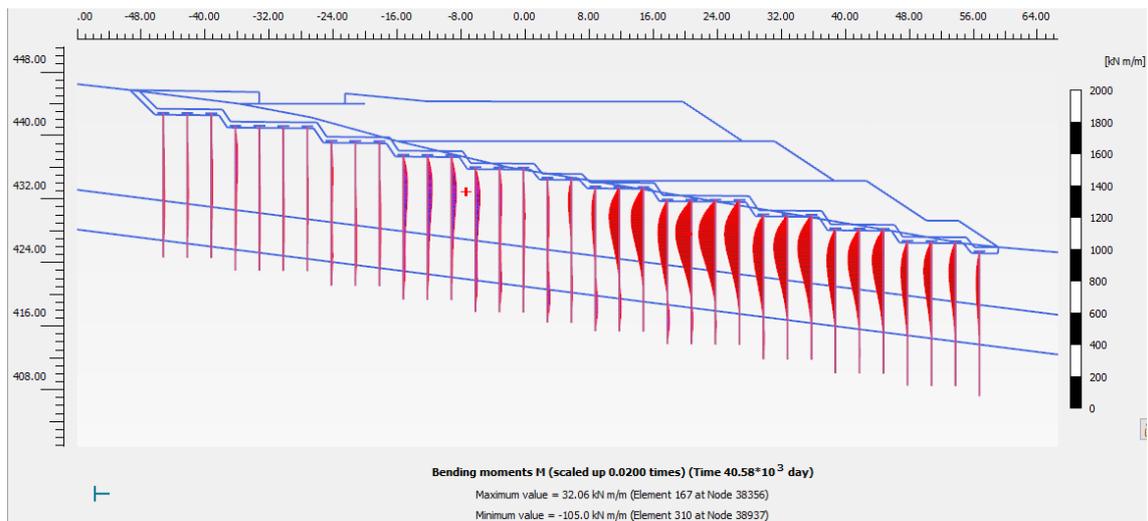


Figura 4-17. Momento sulle colonne di consolidamento

Nella seguente figura sono mostrate le azioni di taglio massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di taglio massimo di 46 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $T_{max} = 138$ kN.

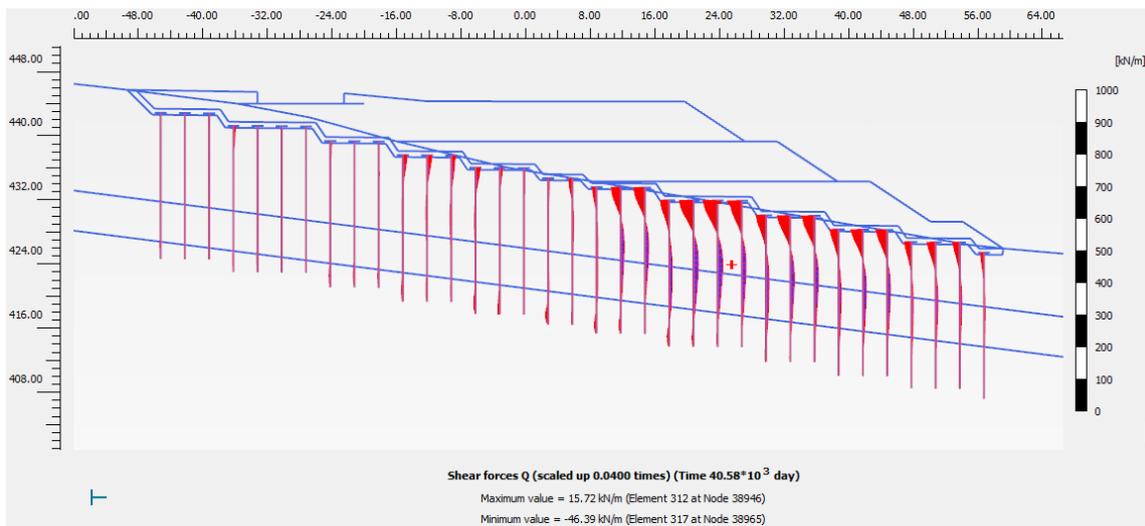


Figura 4-18. Taglio sulle colonne di consolidamento

Le azioni riportate nelle precedenti figure si riferiscono a condizioni SLE, quindi per condizioni statiche SLU tali azioni saranno amplificate cautelativamente per fattore 1.4, da cui quindi per la sezione analizzata si ha:

$N_{d,slu} = 3381$ kN	sollecitazione assiale massima sulle colonne allo SLU
$M_{d,slu} = 441$ kNm	momento massimo sulle colonne allo SLU
$T_{d,slu} = 193$ kN	taglio massimo sulle colonne allo SLU

In condizioni sismiche sono invece state stimate le sollecitazioni riportate nelle seguenti figure, eseguendo analisi pseudo statica con i parametri sismici precedentemente definiti ($k_h=0.076$ $k_v=0.038$).

Nella seguente figura sono mostrate le azioni assiali massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di azione assiale massimo di compressione di 789 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $N_{max} = 2367$ kN.

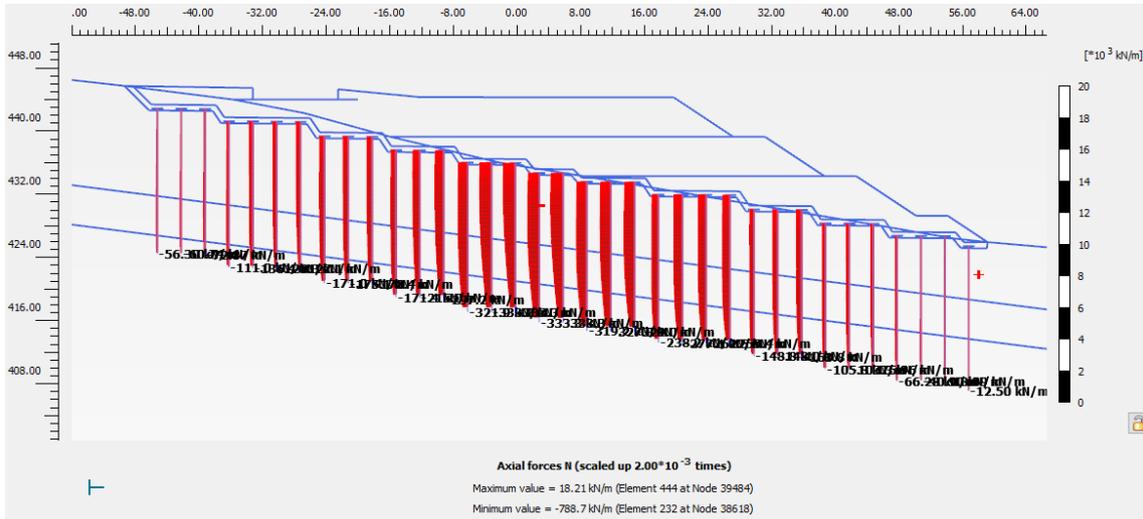


Figura 4-19. Azione assiale sulle colonne di consolidamento – analisi sismica

Nella seguente figura sono mostrate le azioni flettenti massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di momento massimo di 158 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $M_{max} = 474$ kNm.

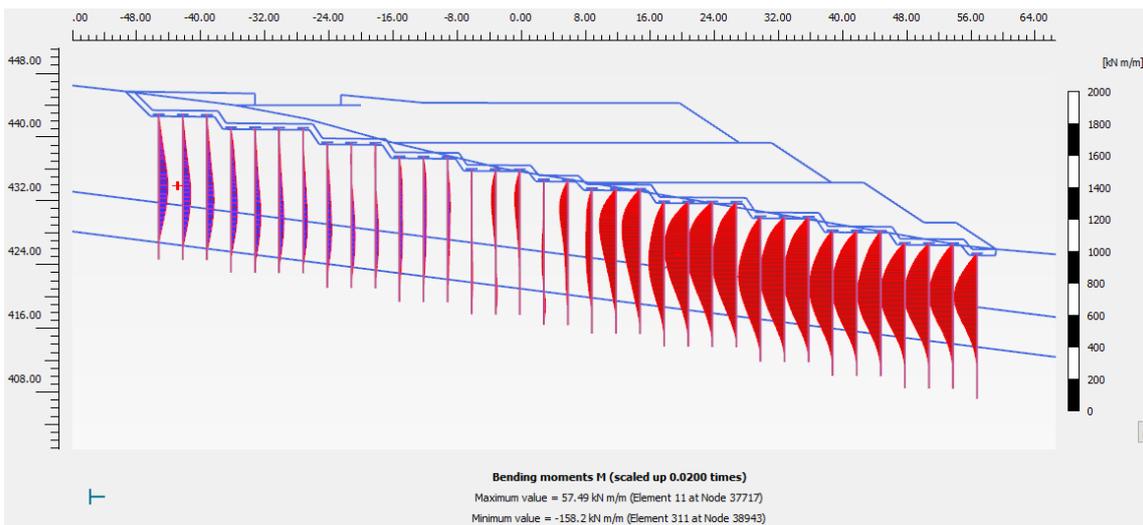


Figura 4-20. Momento sulle colonne di consolidamento – analisi sismica

Nella seguente figura sono mostrate le azioni di taglio massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di taglio massimo di 59 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $T_{max} = 177$ kN.

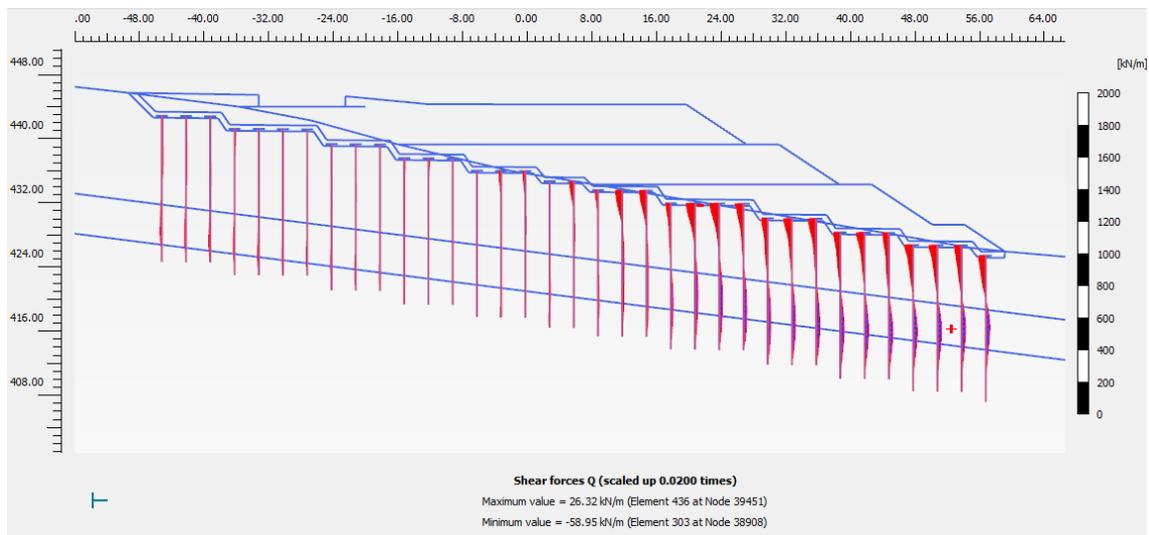


Figura 4-21. Sezione 2. Taglio sulle colonne di consolidamento – analisi sismica



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	40 di 56

4.5 Verifica di integrità strutturale delle colonne CFA

In conformità ai risultati sopra riportati ed a quelli ottenuti per la sezione di calcolo 1 (vedasi quanto indicato in premessa ed nel documento [DC3]), le massime sollecitazioni sulle colonne sono:

SLU statiche

$N_{d,slu} = 3381 \text{ kN}$ sollecitazione assiale massima
 $M_{d,slu} = 441 \text{ kNm}$ momento massimo
 $T_{d,slu} = 193 \text{ kN}$ taglio massimo

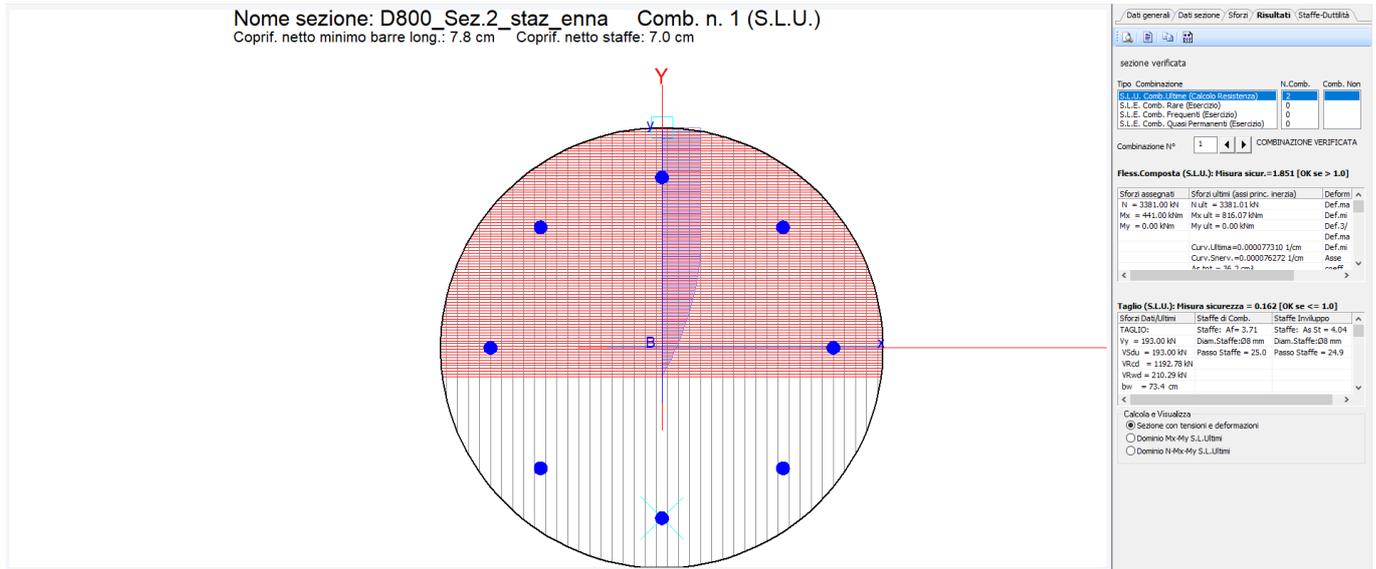
SLV sismiche

$N_{d,slv} = 2367 \text{ kN}$ sollecitazione assiale massima
 $M_{d,slv} = 474 \text{ kNm}$ momento massimo
 $T_{d,slv} = 177 \text{ kN}$ taglio massimo

La verifica allo SLU in ottemperanza alla vigente normativa (cfr. [NT_1]), è effettuata tramite il codice di calcolo RC-Sec, considerando l'armatura prevista in progetto per le colonne CFA in c.a. $D = 800 \text{ mm}$ (8 $\varnothing 24$ longitudinali e staffe $\varnothing 10 / 10 \text{ cm}$). La seguente immagine mostra la sezione di verifica e la distribuzione delle tensioni in condizioni ultime. Nel seguito si riporta uno stralcio del codice di verifica.

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	41 di 56



DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: D800_Sez.2_staz_enna

(Percorso File: S:\LAVORI\PROGIN SpA\39058 - PA-CT lotto 5a\04_Analisi\sezca\D800_Sez.2_staz_enna.sez)

Descrizione Sezione:
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione: Sezione generica
Normativa di riferimento: N.T.C.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Coeff. di Poisson:	0.20
Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO**

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	42 di 56

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	31.0	8	24

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 8 mm
Passo staffe: 24.9 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Coppia concentrata [kNm] applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	3381.00	441.00	0.00	193.00	0.00
2	2367.00	474.00	0.00	177.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 21.3 cm
Copriferro netto minimo staffe: 7.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO**

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	43 di 56

N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	3381.00	441.00	0.00	3381.01	816.07	0.00	1.851	----
2	S	2367.00	474.00	0.00	2366.98	794.62	0.00	1.676	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00085	0.0	40.0	0.00280	0.0	31.0	-0.00199	0.0	-31.0
2	0.00350	0.00026	0.0	40.0	0.00265	0.0	31.0	-0.00321	0.0	-31.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000077310	0.000407608	----	----
2	0.000000000	0.000094484	-0.000279346	----	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Passo staffe: 24.9 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.19) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallele all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e
stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	44 di 56

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza proiezione sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	193.00	1192.78	210.29	59.2	73.4	21.80°	1.250	3.7	4.0(0.0)
2	S	177.00	1192.78	210.29	59.2	73.4	21.80°	1.250	3.4	4.0(0.0)

4.6 Analisi di stabilità

Le verifiche di stabilità sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto da normativa vigente [N.1].

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto sempre mediante programma Plaxis, con il metodo φ' - c' -reduction. La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo (φ' - c' -reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza (c' e $\tan \varphi'$), determina successive condizioni di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al raggiungimento del collasso (condizione di non equilibrio del sistema):

$$c'_{\text{prova}} = c' / FS_{\text{prova}}$$

$$\varphi'_{\text{prova}} = \arctan(\tan \varphi' / FS_{\text{prova}})$$

Nella seguente figura, la progressiva riduzione delle resistenze è rappresentata nel piano di Mohr-Coulomb per il singolo elemento di terreno. Si osserva che i parametri di deformabilità non influenzano in maniera apprezzabile i risultati del calcolo e, pertanto, possono essere considerati senza particolari affinamenti.

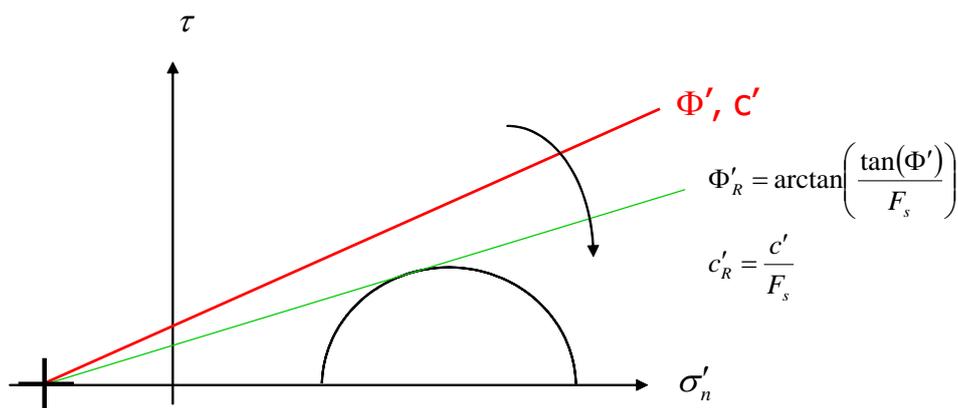


Figura 4-22 – Phi-c reduction method

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite presenta numerosi vantaggi (e.g. Dawson and Roth, 1999, and Cala and Flisiak, 2001):



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	46 di 56

- le superfici di rottura si propagano in maniera “naturale”; quindi non occorre specificare preventivamente i cinematismi e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo;
- non richiede al definizione di ipotesi di calcolo “artificiali” (es. ipotesi sulle forze di interfaccia);
- la metodologia non implica limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento) in funzione delle esigenze del sistema;
- l’interazione con eventuali elementi strutturali vengono modellate in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti;
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile.

Tale analisi equivalgono sono soddisfatte se il coefficiente di sicurezza ottenuto è non inferiore al coefficiente parziale riduttivo dei parametri di resistenza del terreno ($\gamma_M = 1.25$ sia per la coesione sia per la resistenza al taglio) amplificato per il fattore 1.1 in condizioni statiche SLU (complessivamente $FS > 1.1 \cdot 1.25 = 1.375$), mentre in condizioni sismiche $FS \geq 1.20$ (in quanto ($\gamma_M = 1.0$)).

Nel seguito si mostra per le condizioni statiche e sismiche, il diagramma a mappa di colore degli spostamenti totali e il grafico del fattore di sicurezza globale al crescere dello spostamento. Si osserva che in condizioni statiche il cinematismo di instabilità maggiormente probabile ($FS_{min} = 1.65$) è quello che interessa la porzione di rilevato interessata dall’edificio; in condizione sismiche si configura invece un cinematismo globale monte-valle dell’intero pendio ($FS_{min} = 1.23$).

In ogni caso, il fattore di sicurezza è sempre maggiore di quanto prescritto da normativa sia in condizioni statiche che sismiche, quindi le verifiche di stabilità sono soddisfatte.

Nella seguente figura sono mostrati gli spostamenti totali dell'analisi statica.

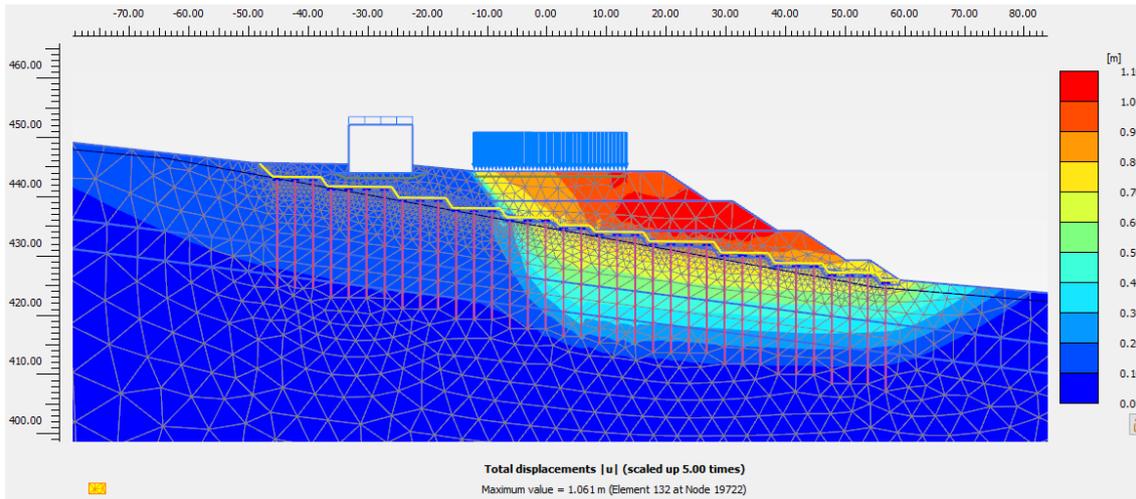


Figura 4-23. Condizione statica – Cinematismo di instabilità globale con FS = 1.65

Nella seguente figura sono mostrati gli spostamenti totali dell'analisi sismica.

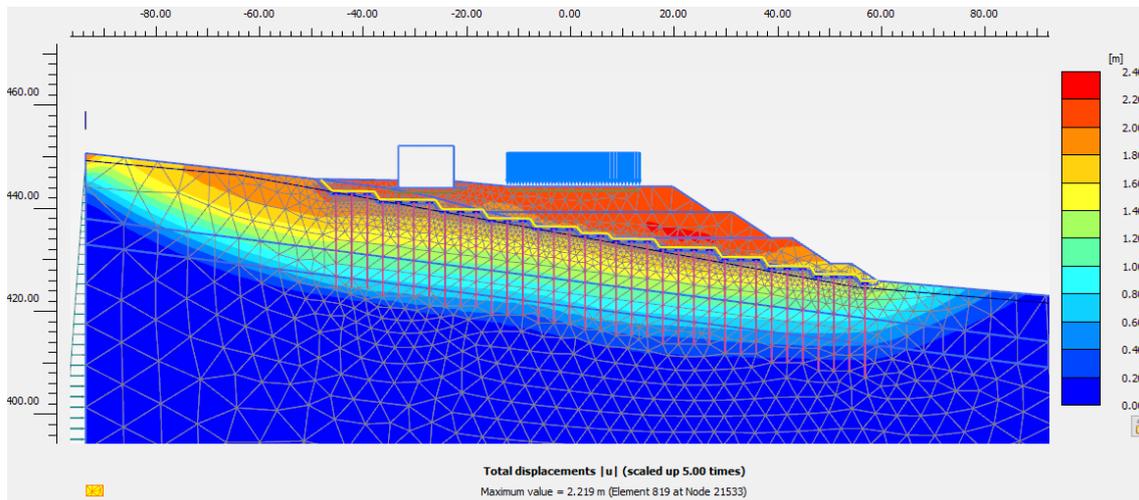


Figura 4-24. Condizione sismica – Cinematismo di instabilità globale con FS = 1.23

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	48 di 56

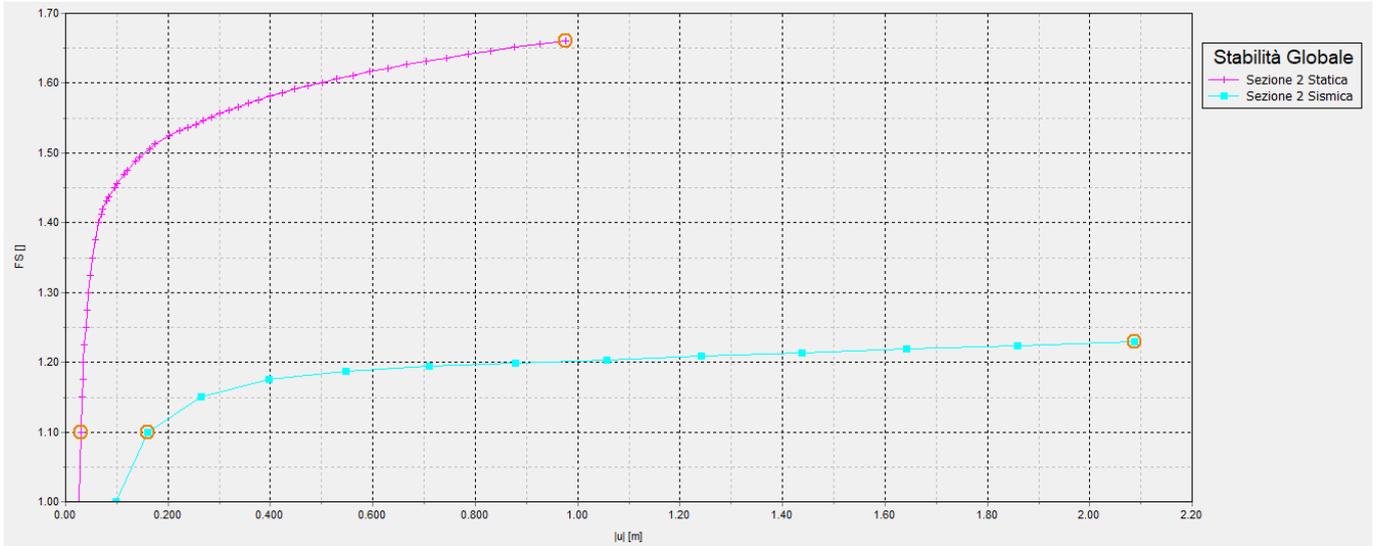


Figura 4-25. Fattori di sicurezza stabilità globale

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RB	DOCUMENTO GE0005 010	REV. A	FOGLIO 49 di 56

5 APPENDICE A. RISULTATI SOLUZIONI PROGETTUALI SCARTATE

5.1 Soluzione con rilevato stradale a monte

In Figura 5-1 è mostrato lo schema di calcolo analizzato nella prima soluzione esaminata: rilevato stazione con in adiacenza rilevato stradale (viabilità NV01). Dalle analisi eseguite si è osservato che la presenza di questo rilevato stradale a monte stazione, è particolarmente gravosa per le condizioni di stabilità globali, andando a pesare fortemente, soprattutto in condizioni sismiche, sugli elementi di consolidamento in fondazione (vedasi figure a seguire).

Per l'analisi sismica si riportano gli spostamenti a mappe di colore in Figura 5-2 ed in Figura 5-3 sono mostrate le azioni flettenti massime sulle colonne di consolidamento in c.a., da cui si stima un valore di momento massimo di 312 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m, $M_{max} = 936$ kNm.

In Figura 5-4 si mostra per le condizioni sismiche, il diagramma a mappa di colore degli spostamenti totali e in Figura 5-5 il fattore di sicurezza globale al crescere dello spostamento. Si osserva che in condizioni sismiche il cinematismo di instabilità maggiormente probabile è un cinematismo globale monte-valle dell'intero sistema ed il fattore di sicurezza minimo ottenuto è maggiore di quello di normativa ($FS_{min} > 1.2$) ma è raggiunto con spostamenti eccessivi.

Sulla base di questi risultati ottenuti, questa soluzione con rilevato stradale a monte è stata quindi scartata.

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	50 di 56

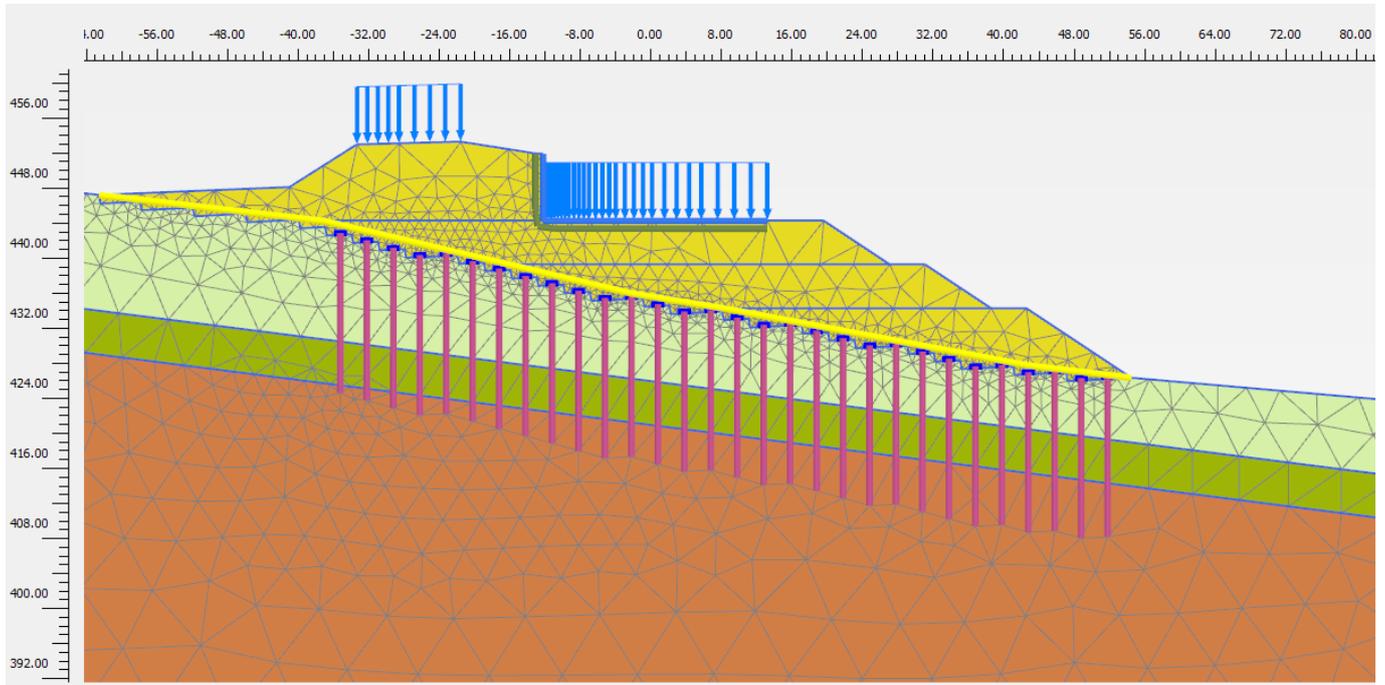


Figura 5-1. Schema modello – Sezione con rilevato stradale a monte stazione

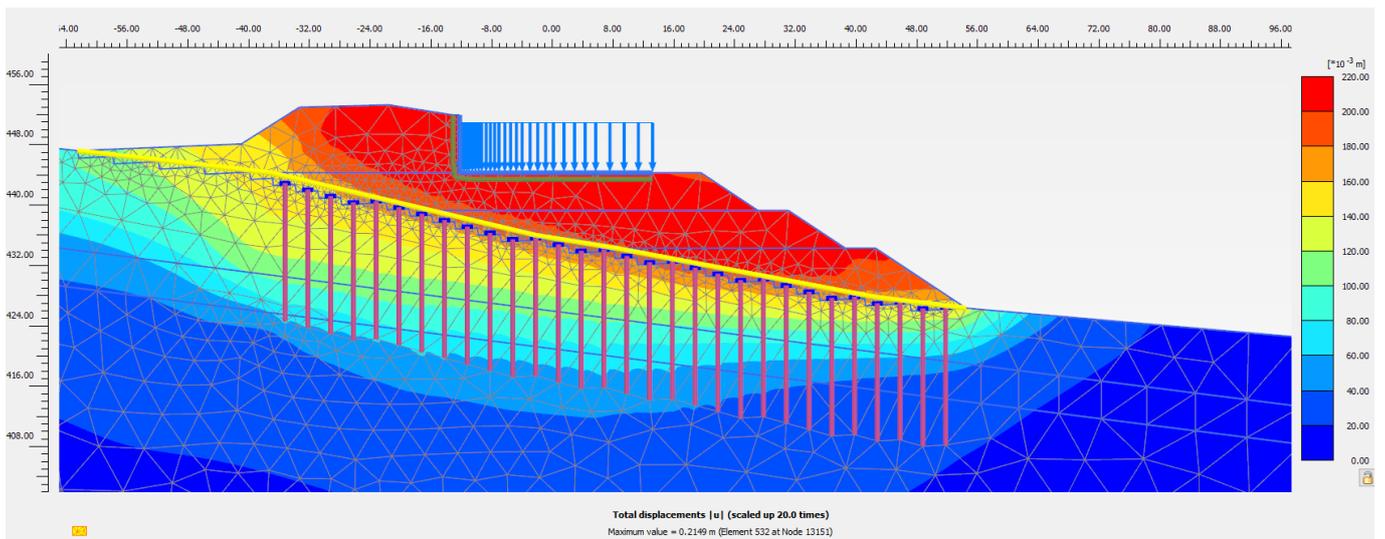


Figura 5-2. Analisi sismica – Spostamenti totali

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	51 di 56

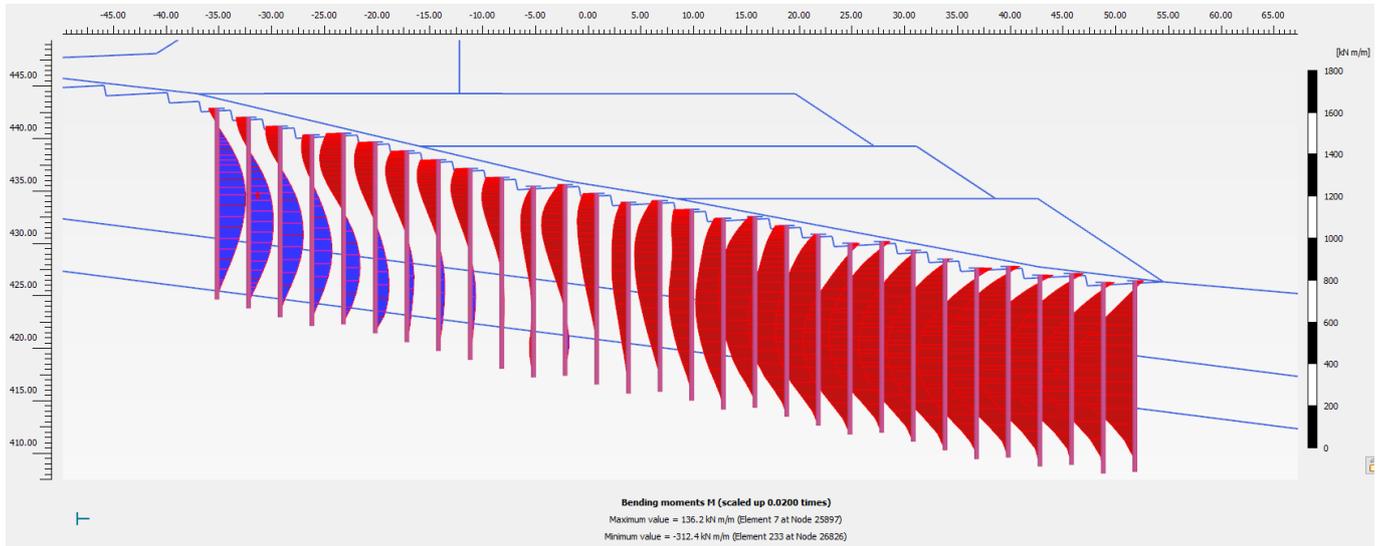


Figura 5-3. Analisi sismica – Momento sulle colonne di consolidamento ($M_{max} = 312 \cdot 3 = 936 \text{ kNm}$)

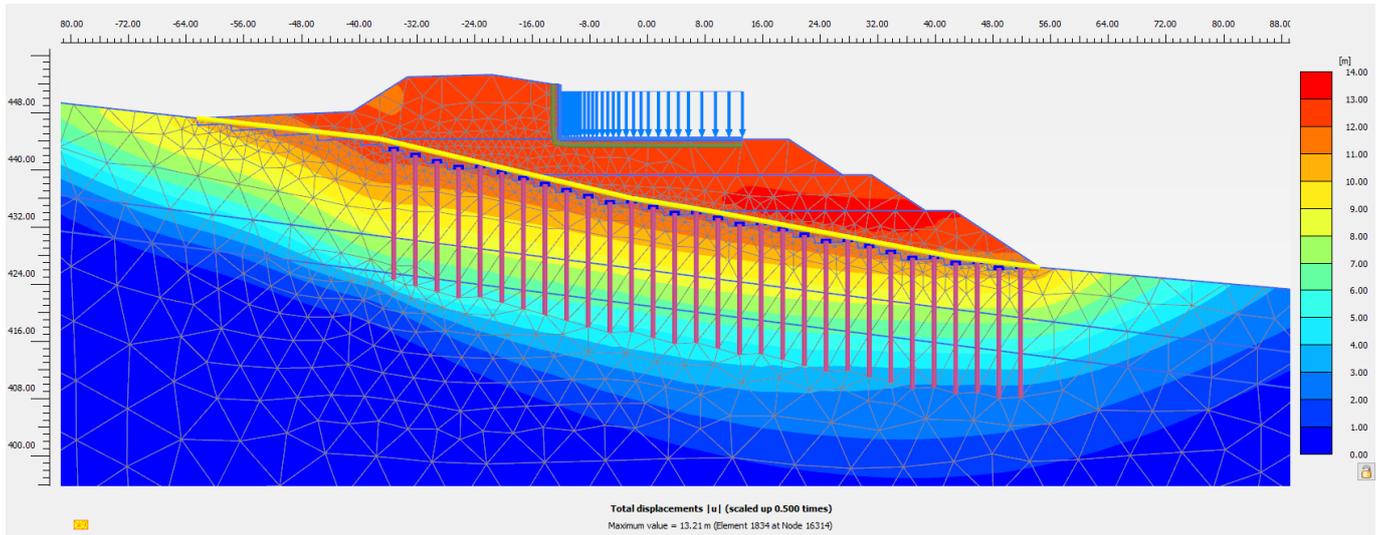


Figura 5-4. Sezione 2. Condizione sismica – Cinematismo di instabilità globale con FS >1.2

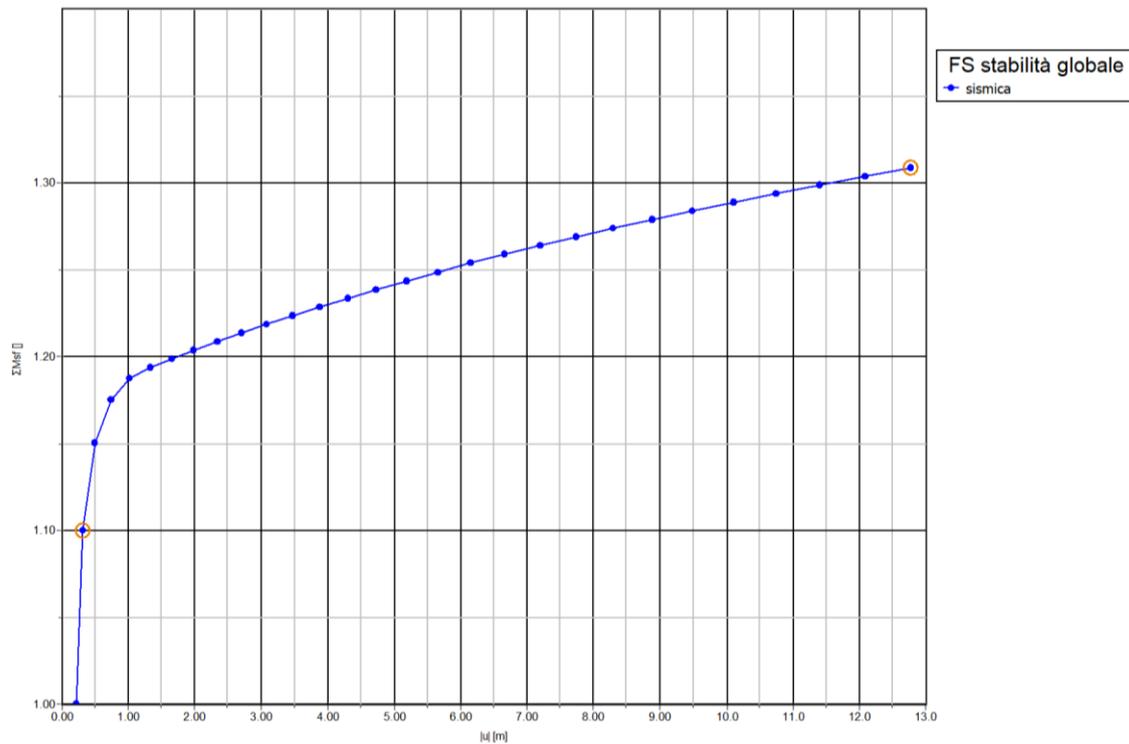


Figura 5-5. Fattori di sicurezza stabilità globale – analisi sismica

5.2 Soluzione con scatolare stradale di larghezza 24.5 m

In Figura 5-6 è mostrato lo schema di calcolo analizzato nella seconda soluzione esaminata: rilevato stazione con in adiacenza scatolare stradale di larghezza circa 24.5 m (viabilità NV01). Dalle analisi eseguite si è osservato che la presenza dello scatolare stradale in luogo del rilevato migliora in maniera sostanziale le condizioni di stabilità globali sia in condizioni statiche che sismiche, gli spostamenti complessivi dell'opera e le sollecitazioni massime sulle colonne di consolidamento sono comparabili con quelli ottenuti per la sezione 1 (vedasi documento [DC3]), (vedasi figure a seguire Figura 5-7, Figura 5-8).

Nel seguito si mostra per le condizioni statiche e sismiche (Figura 5-9, Figura 5-10), il diagramma a mappa di colore degli spostamenti totali e il grafico del fattore di sicurezza globale al crescere dello spostamento (Figura 5-11). Si osserva che in condizioni statiche il cinematismo di instabilità maggiormente probabile ($FS_{min} = 1.6$) è quello che interessa la scarpata di valle del rilevato; in condizione sismiche si configura invece un cinematismo globale monte-valle dell'intero sistema ($FS_{min} = 1.21$). Il fattore di sicurezza è sempre maggiore di quanto prescritto da normativa sia in condizioni statiche che sismiche, quindi le verifiche di stabilità sono soddisfatte.

La soluzione progettuale con scatolare stradale largo è verificata.

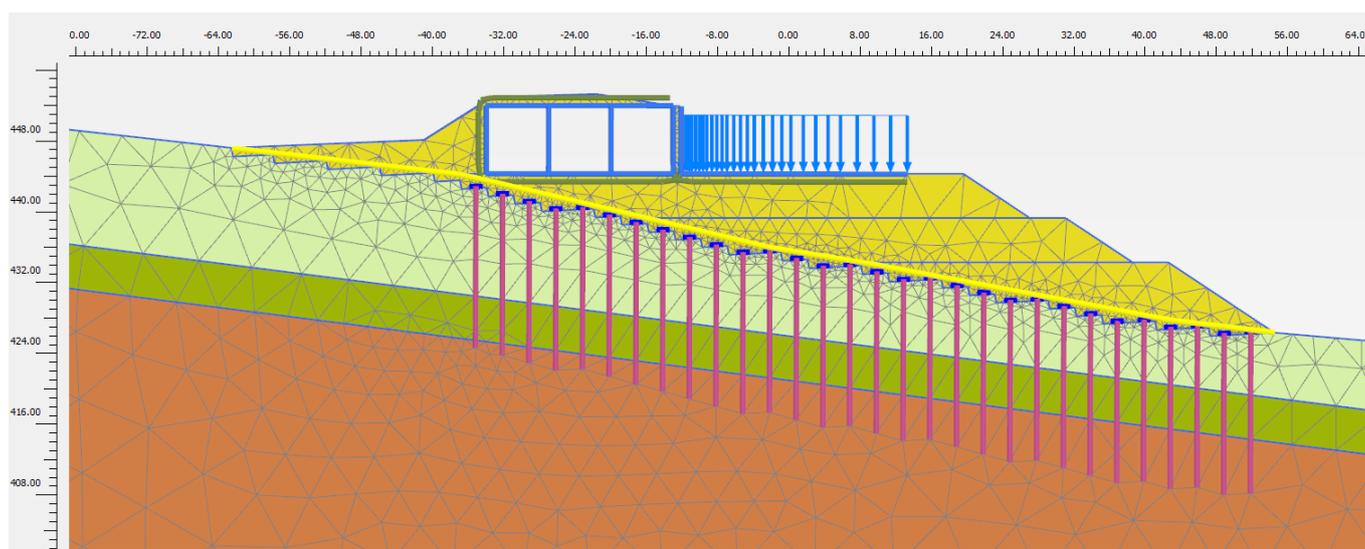


Figura 5-6. Schema modello – Sezione con scatolare stradale largo, a monte stazione

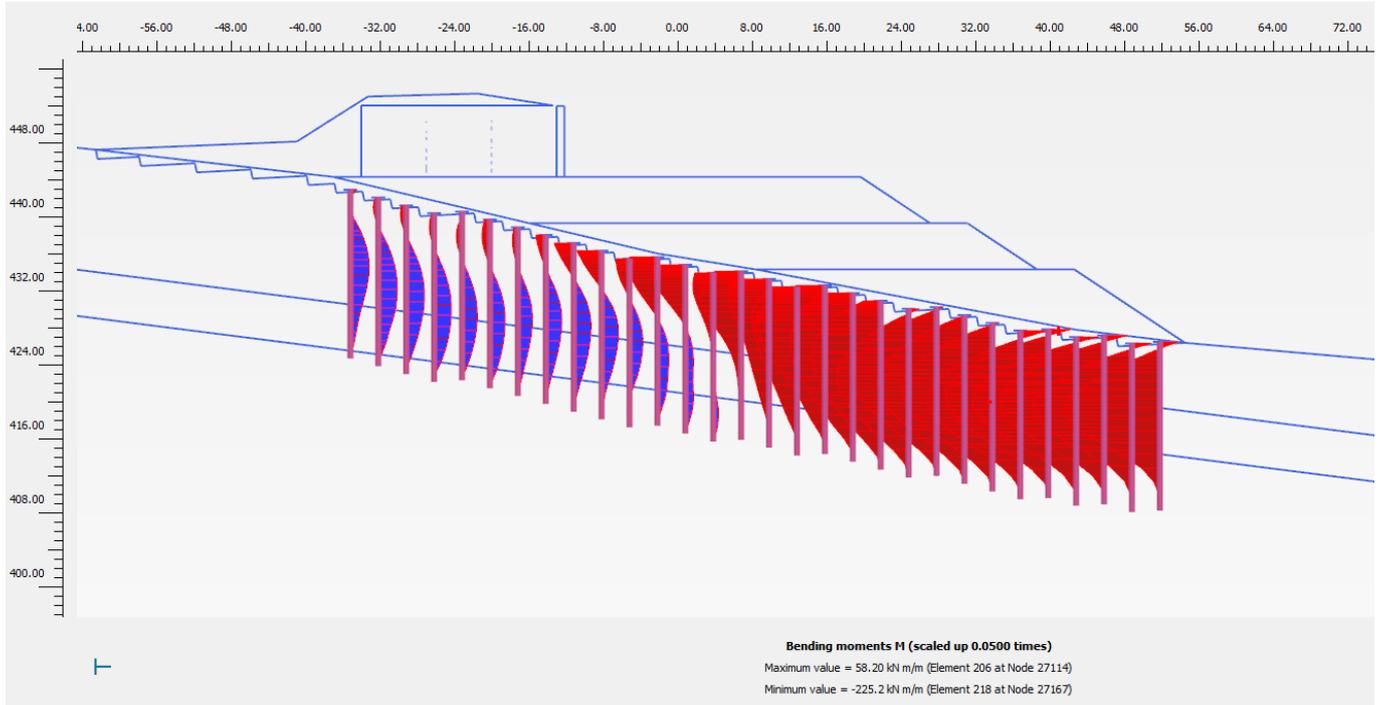


Figura 5-7. Analisi sismica – Momento sulle colonne di consolidamento ($M_{max} = 225 \cdot 3 = 675 \text{ kNm}$)

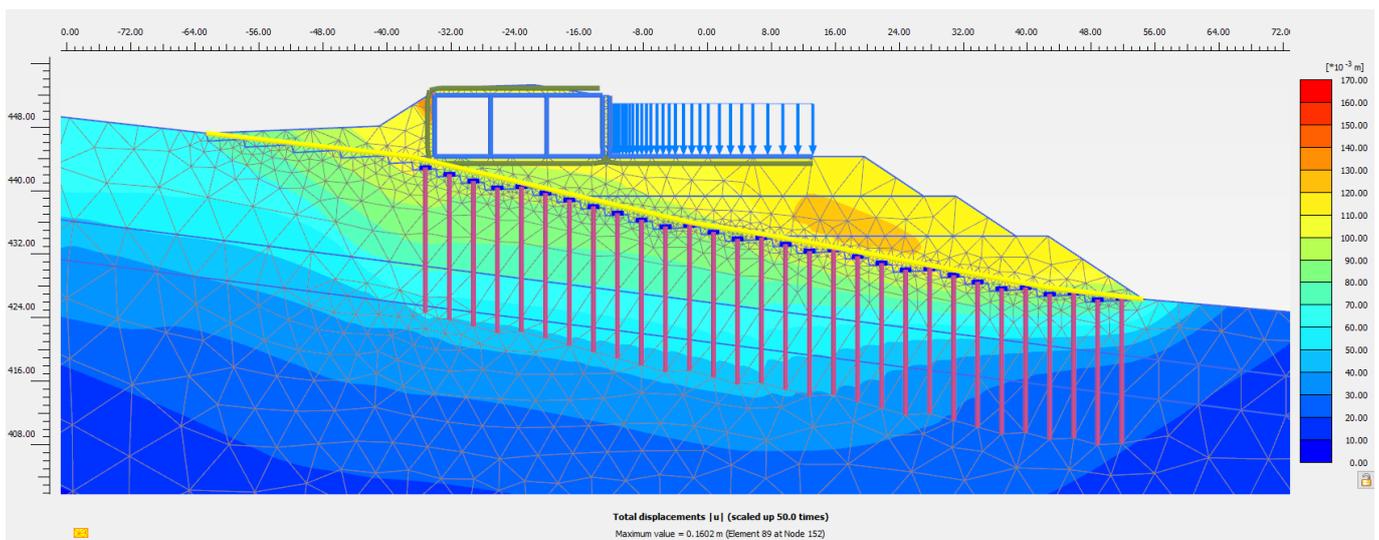


Figura 5-8. Analisi sismica – Spostamenti totali

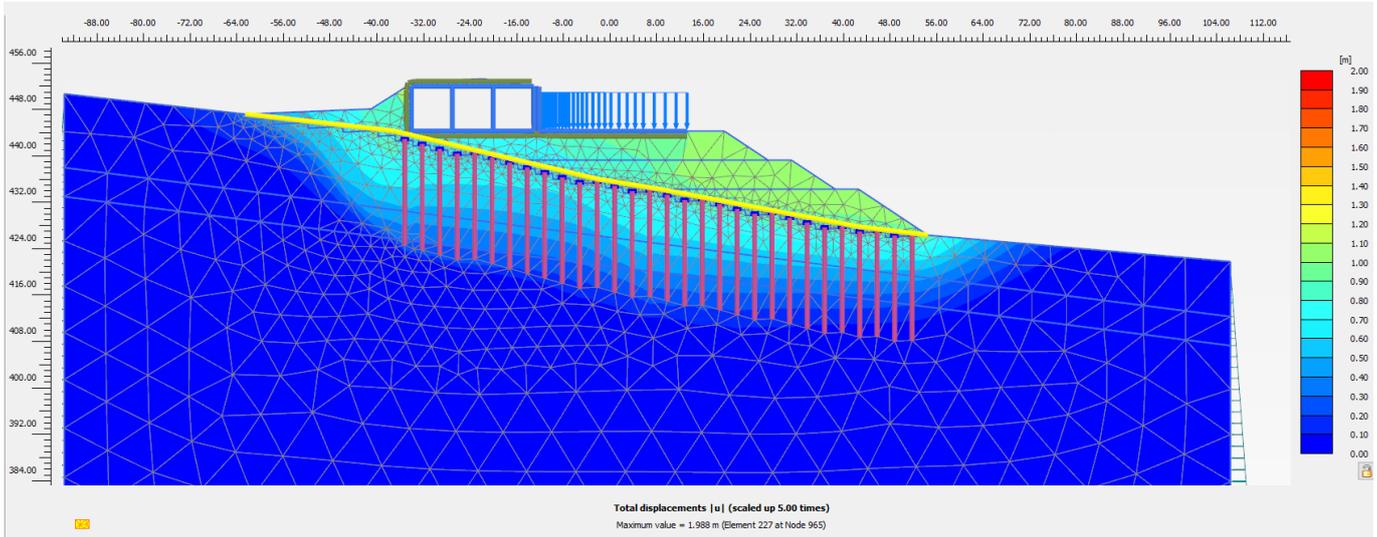


Figura 5-9. Condizione statica – Cinematismo di instabilità globale con FS =1.6

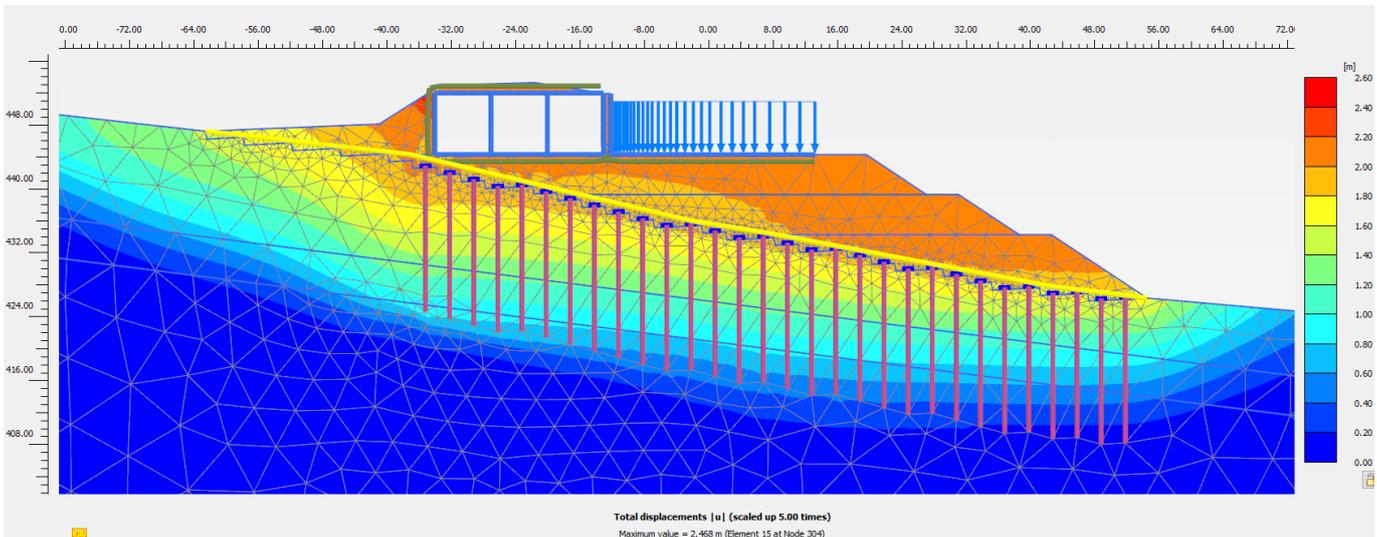


Figura 5-10. Condizione sismica – Cinematismo di instabilità globale con FS =1.21

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RB	GE0005 010	A	56 di 56

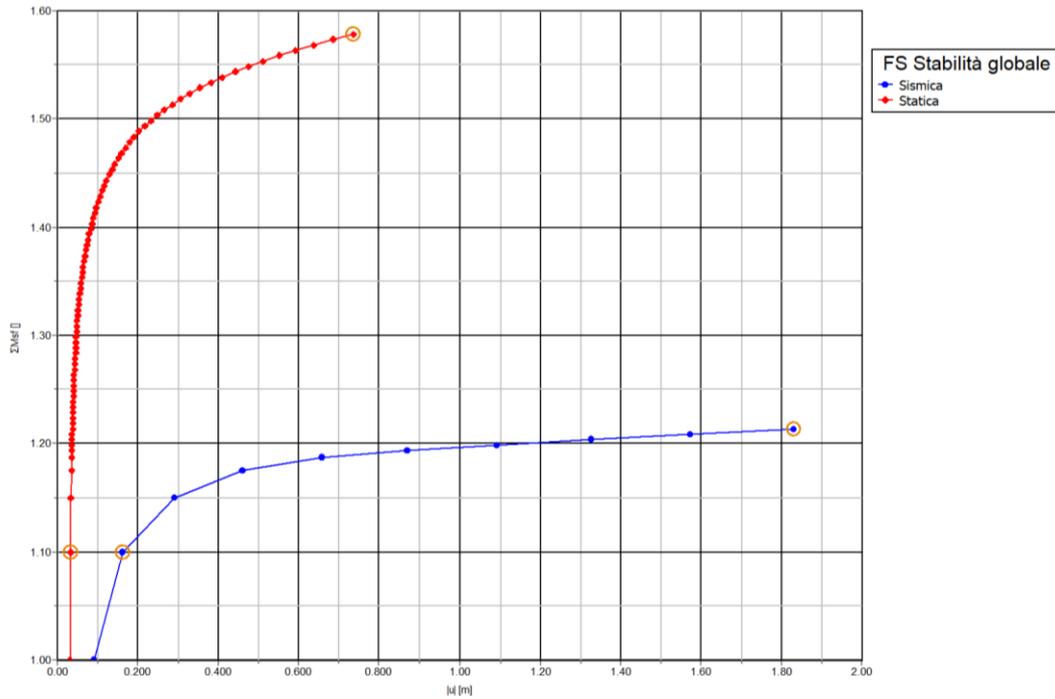


Figura 5-11. Fattori di sicurezza stabilità globale