

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 (1 di 3)**

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 RH GE0005 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Gennaio 2020	M. Arcangeli	Gennaio 2020	F.Sparacino	Gennaio 2020	F. Arduini Febbraio 2020
B	Emissione esecutiva	S.Gasperoni	Febbraio 2020	M. Arcangeli	Febbraio 2020	F.Sparacino	Febbraio 2020	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ingeg. Fabrizio Arduini n. 18592 del 4/2/20

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO .....	4
3	CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	5
3.1	INDAGINI ESEGUITE .....	5
3.2	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	5
3.3	FALDA .....	14
3.4	CATEGORIA SOTTOSUOLO SISMICA .....	14
4	ANALISI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO .....	16
4.1	PREMESSA .....	16
4.2	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	17
4.2.1	<i>Legame costitutivo e parametri geotecnici.....</i>	<i>17</i>
4.2.2	<i>Carichi in sommità al rilevato.....</i>	<i>21</i>
4.2.3	<i>Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate.....</i>	<i>21</i>
4.3	RISULTATI ANALISI DI CONSOLIDAZIONE .....	22
4.4	SOLLECITAZIONI SULLE COLONNE DI CONSOLIDAMENTO .....	31
4.5	VERIFICA DI INTEGRITÀ STRUTTURALE DELLE COLONNE CFA.....	38
4.6	ANALISI DI STABILITÀ.....	42



**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	3 di 45

## 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 1. Sezione trasversale circa alla progressiva chilometrica 0+550, rappresentativa per il maggior volume di rilevato del copo stazione.

Sezione 2. 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 3. 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 1; per le sezioni 2 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.

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.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (1 di 3)	COMMESSA <b>RS3V</b>	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. B	FOGLIO 4 di 45

## 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 002 A - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. FV01 – stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (2 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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	5 di 45

### 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 parire 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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	6 di 45

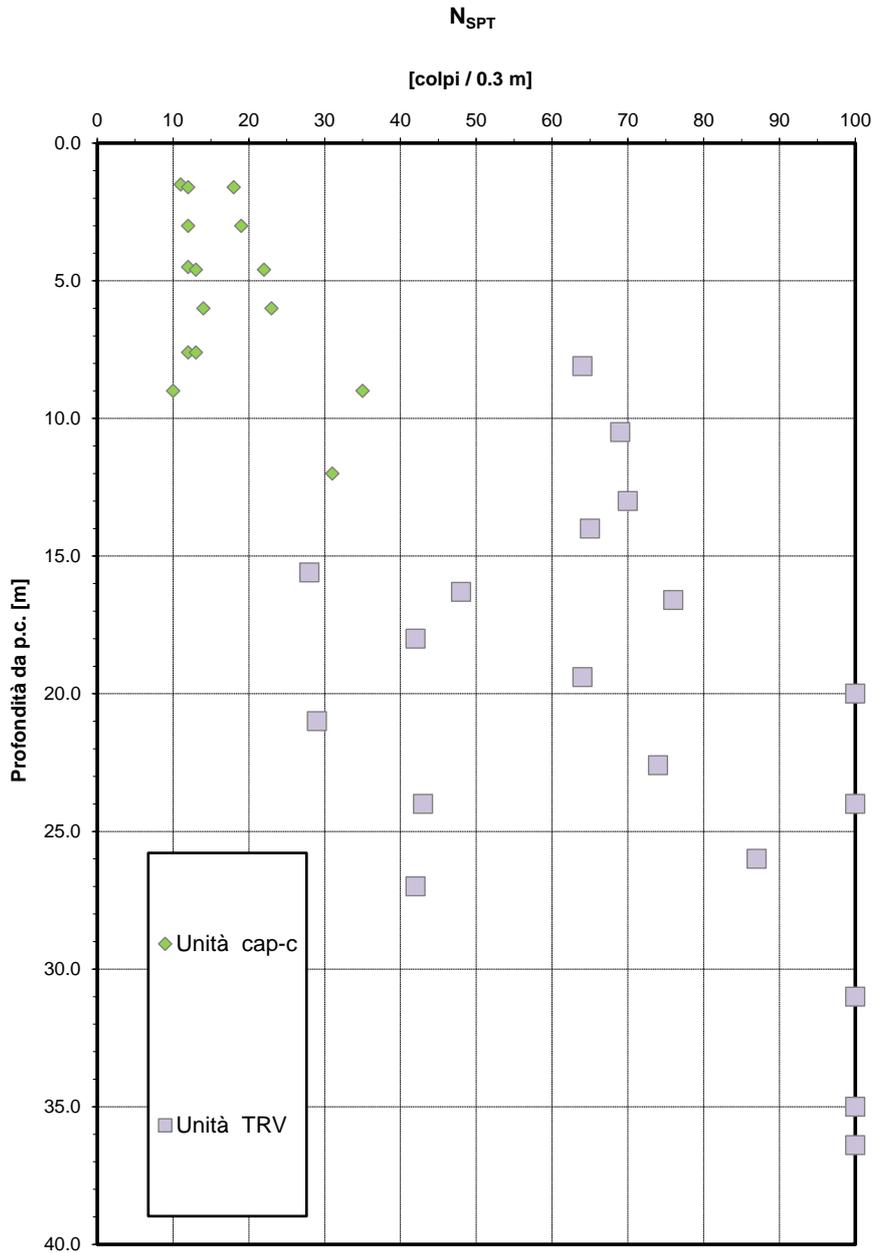
**Da 0.0 a 14.5 m      Unità cap – c: Cappellaccio limoso sabbioso costituente la parte alterata della formazione di base**

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$       peso di volume naturale  
 $c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$       coesione drenata  
 $\varphi' = 28^\circ$       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)

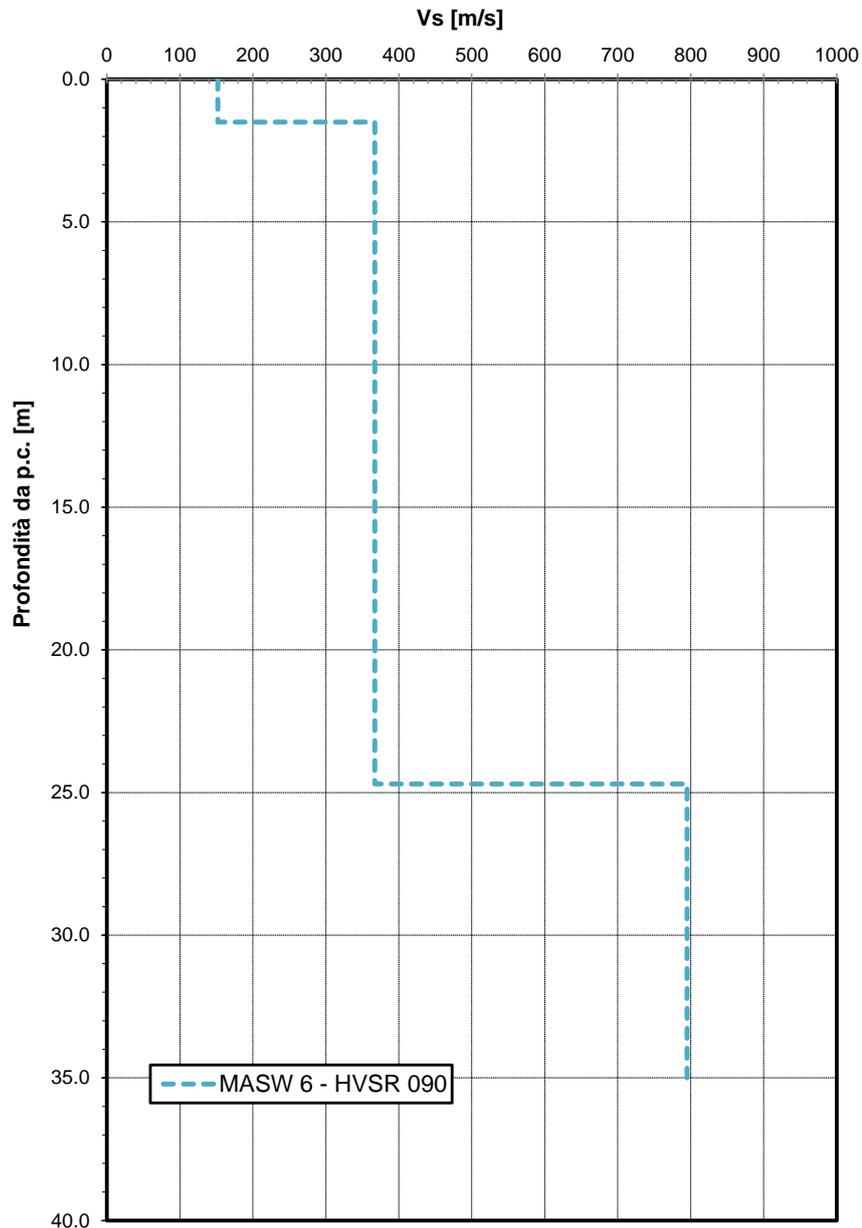
**da 14.5 m a 50.0 m: Unità TRV– Formazione di Terravecchia: argilla da debolmente marnosa a marnosa**

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$       peso di volume naturale  
 $c' = 15 \text{ kPa}$       coesione drenata  
 $\varphi' = 24^\circ$       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..

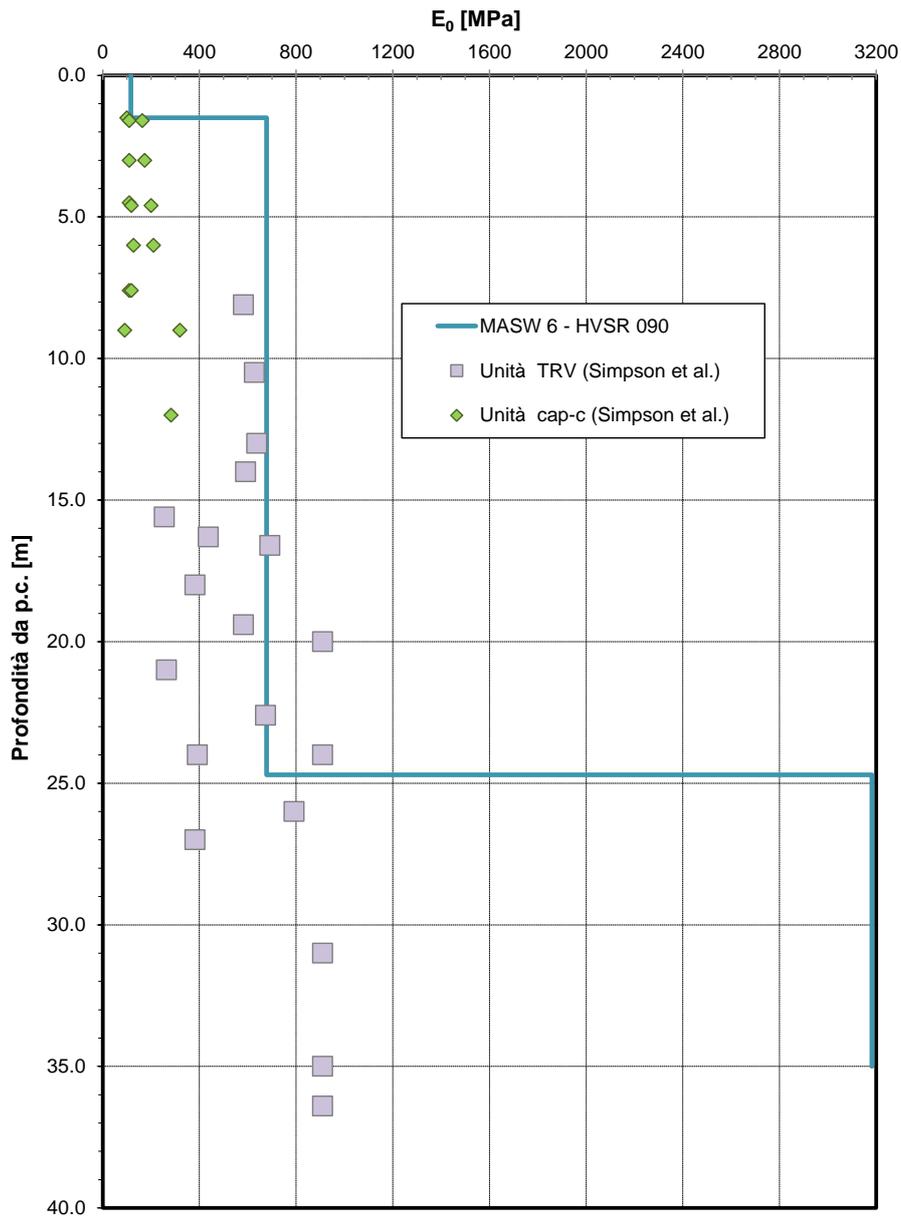


*Figura 1 – Risultati prova SPT – Stazione Enna*

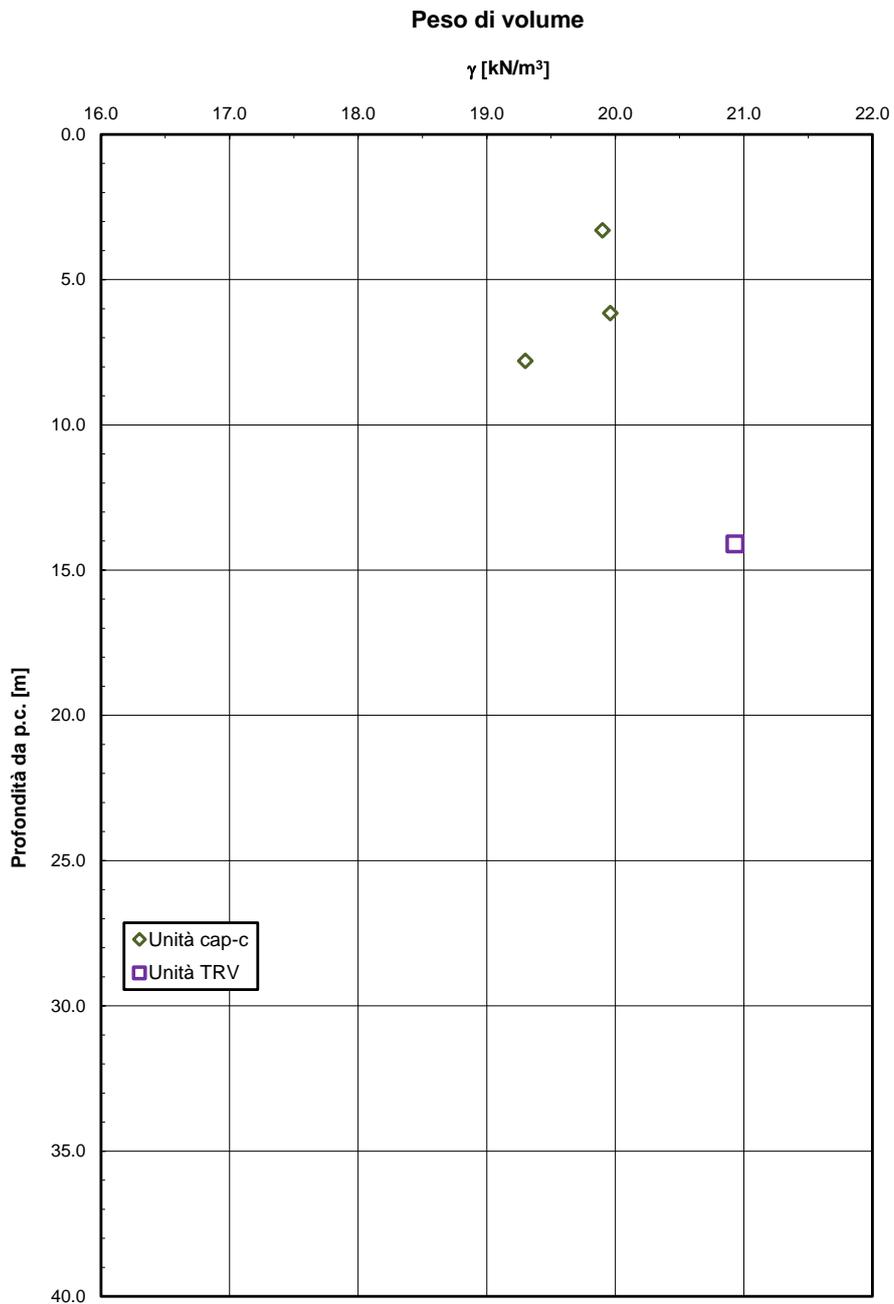


*Figura 2 – Velocità delle onde di taglio Vs da prove Sismiche (MASW 6 – HVSr 090) – Stazione Enna*

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

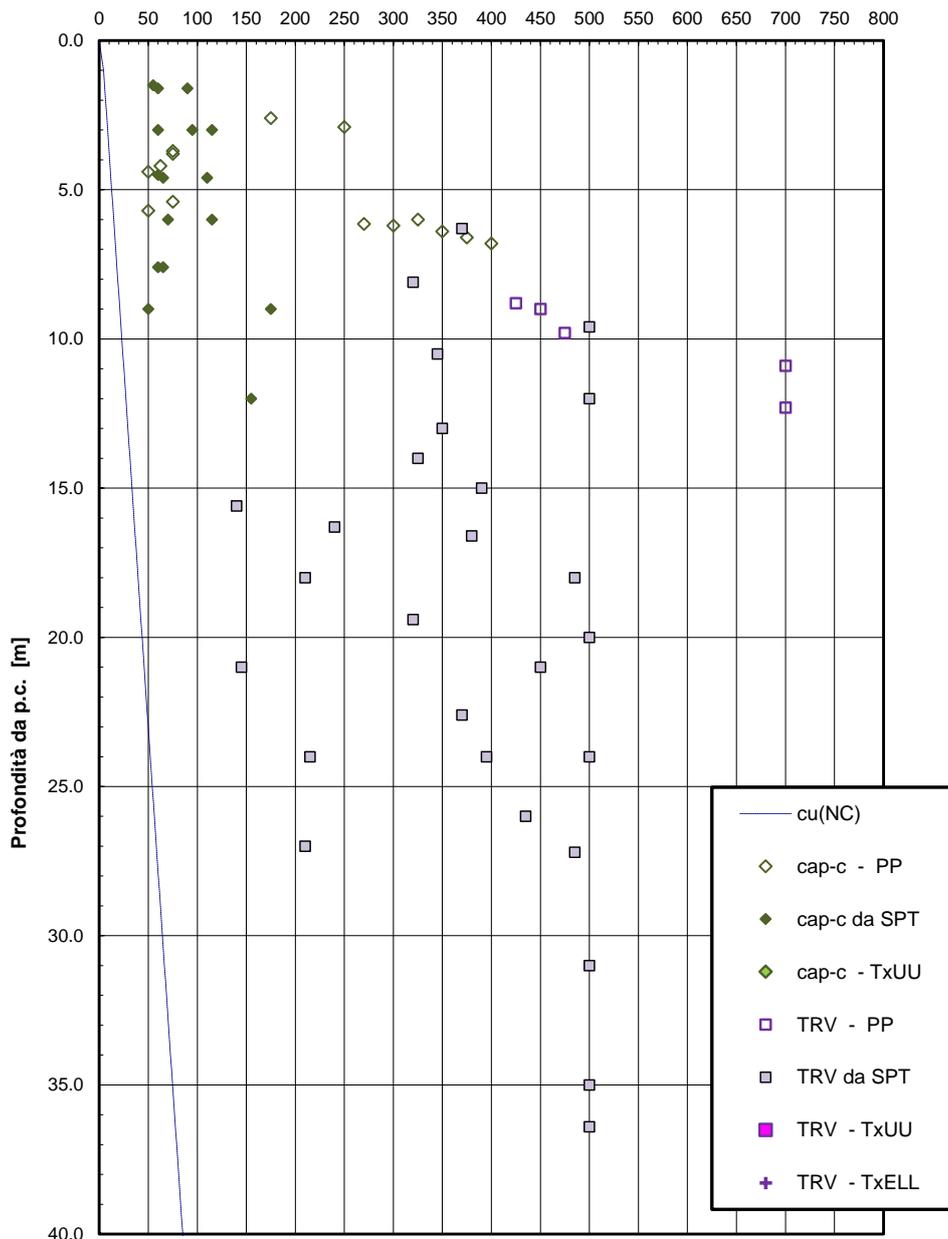


*Figura 3 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Stazione Enna*



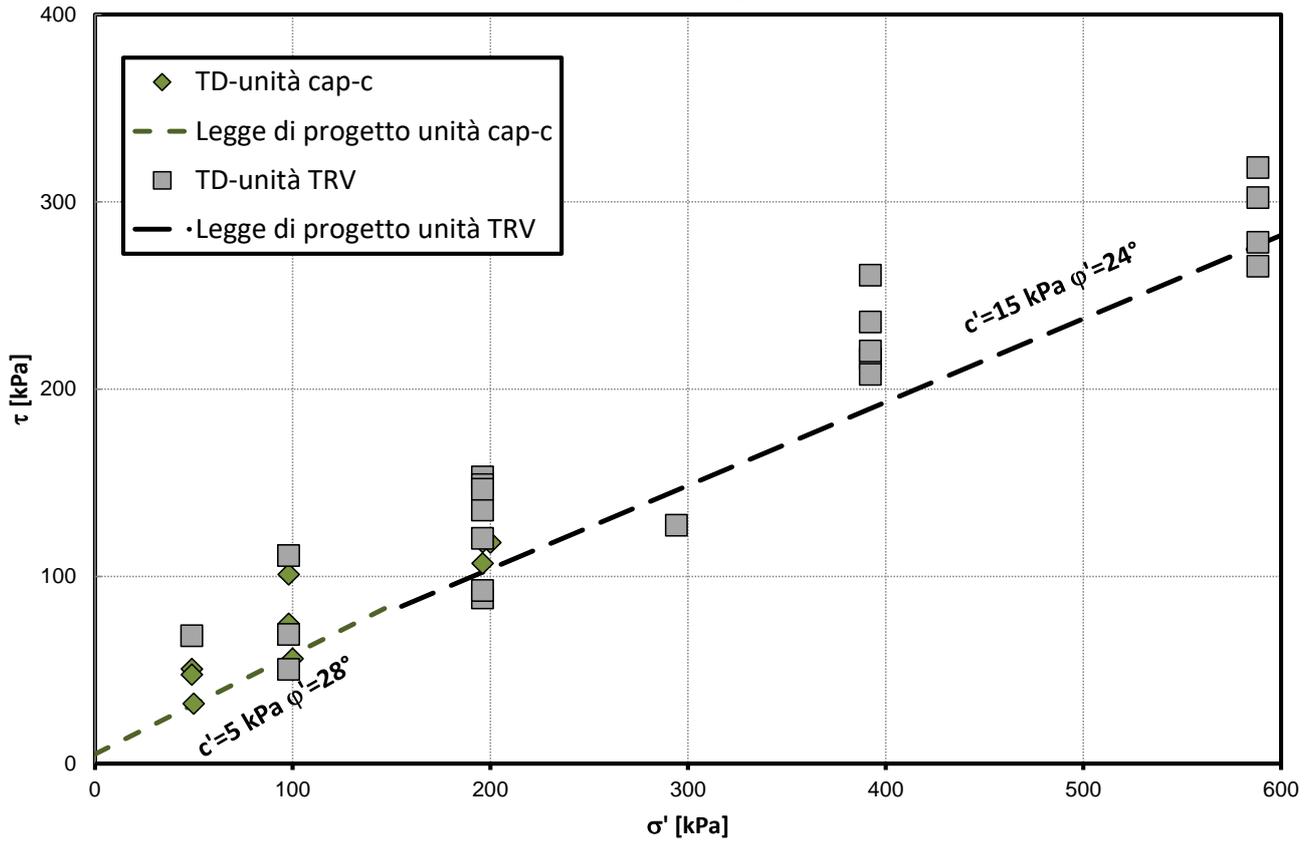
*Figura 4 – Peso di volume – Stazione Enna*

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**  
**cu [kPa]**



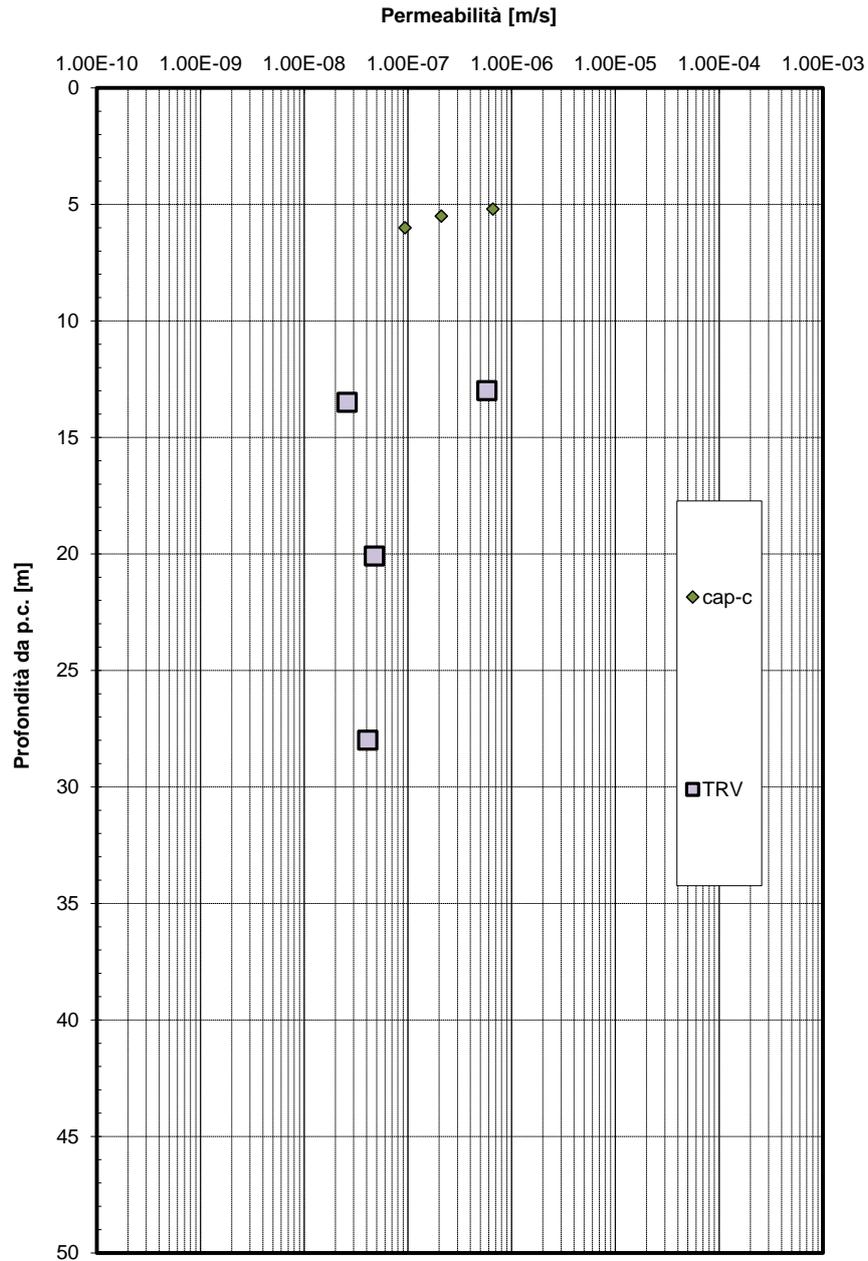
**Figura 5 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – Stazione Enna**

**Parametri di resistenza al taglio - Enna**



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

**Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon**



*Figura 7 – Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon – Stazione Enna*

### 3.3 Falda

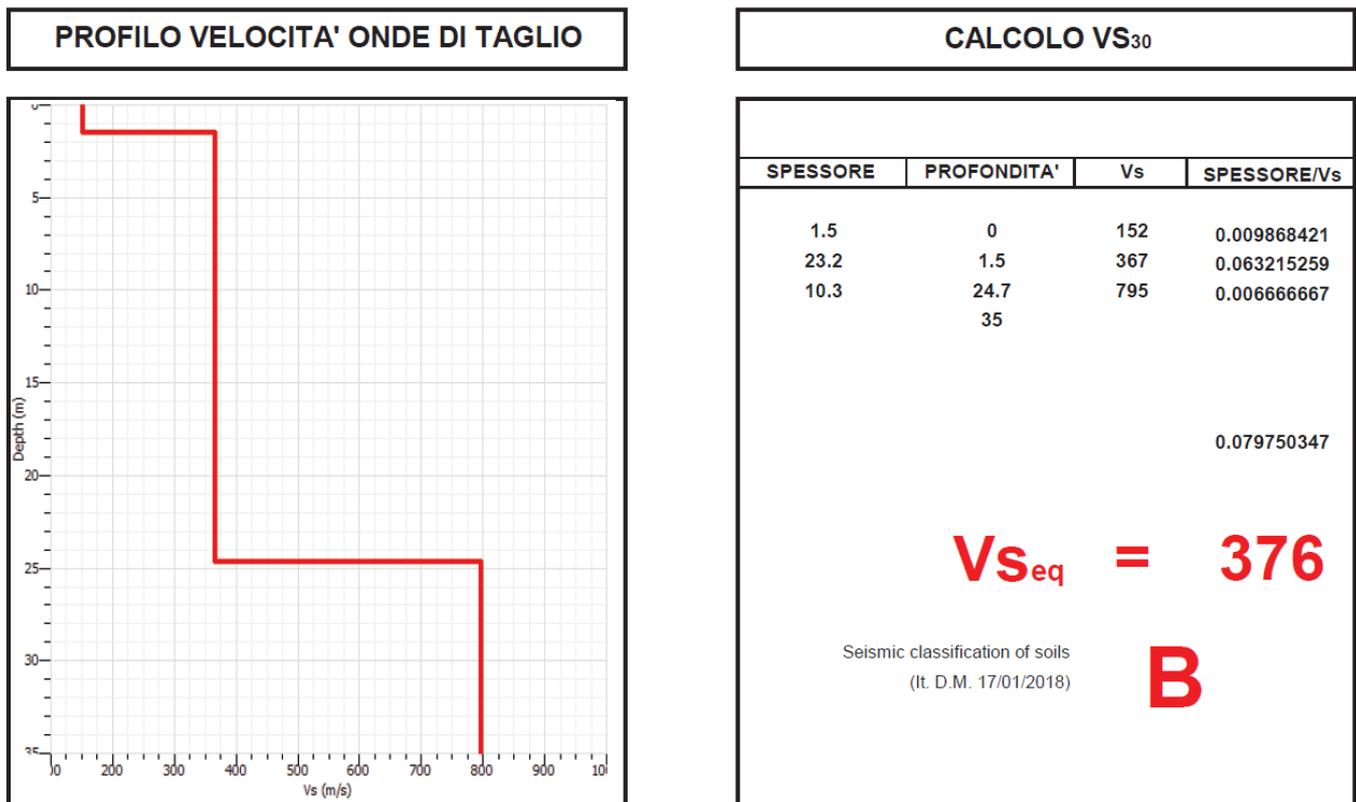
Nei sondaggi sono stati installati piezometri che hanno rilevato livello massimo di falda circa a p.c..

### 3.4 Categoria sottosuolo sismica

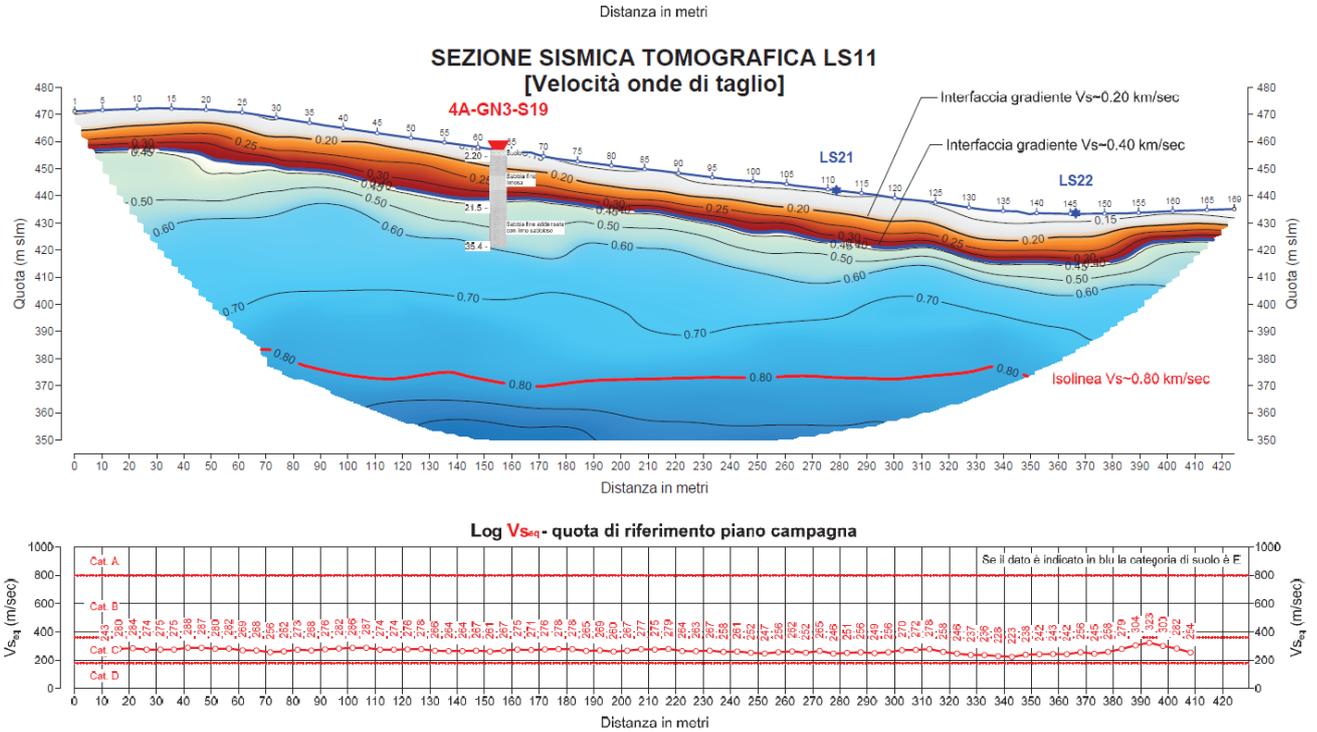
Da prova geosismica MASW (MASW 6 – HVSR 090) si è ottenuto un valore di  $V_{s,eq} = 376$  m/s, definendo una categoria di sottosuolo nell'intorno del valore limite tra B e C. Dalle tomografie sismiche (vedasi stesa tomografica LS11) si definisce categoria sottosuolo C.

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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	16 di 45

## 4 ANALISI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

### 4.1 Premessa

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).

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.

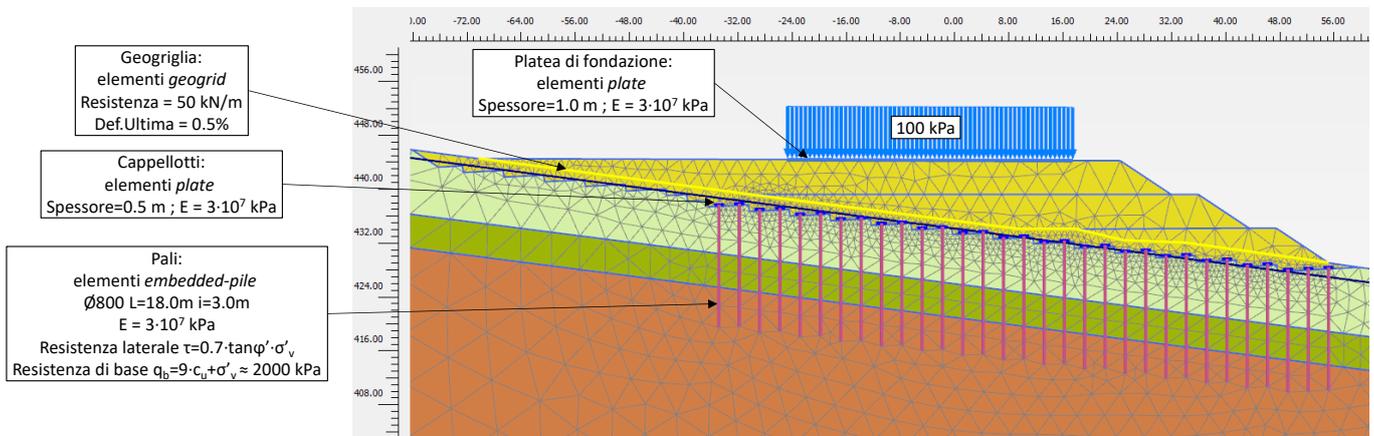


Figura 10. Schema modello

### 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.

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

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

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



**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	18 di 45

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

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

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	
<b>da</b>	<b>0.0</b>	<b>-9.5</b>	<b>-14.5</b>	<b>m</b>
<b>a</b>	<b>-9.5</b>	<b>-14.5</b>	<b>-40.0</b>	<b>m</b>
<b><math>\gamma</math></b>	<b>19.5</b>	<b>19.5</b>	<b>21.0</b>	<b>kN/m<sup>3</sup></b>
$k_{0,NC}$	0.531	0.531	0.593	
<b>OCR</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	
<b><math>k_0</math></b>	<b>1.092</b>	<b>1.092</b>	<b>1.280</b>	
<b><math>E_{50,ref}</math></b>	<b>23.2</b>	<b>23.5</b>	<b>24.3</b>	<b>MPa</b>
<b><math>E_{Oed,ref}</math></b>	<b>18.6</b>	<b>18.8</b>	<b>19.4</b>	<b>MPa</b>
<b><math>E_{ur,ref}</math></b>	<b>62.6</b>	<b>63.5</b>	<b>65.6</b>	<b>MPa</b>
<b>m</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	
<b><math>C_C</math></b>	<b>0.0204</b>	<b>0.0202</b>	<b>0.0195</b>	
<b><math>C_S</math></b>	<b>0.00546</b>	<b>0.00538</b>	<b>0.00521</b>	
<b><math>e_0</math></b>	<b>0.65</b>	<b>0.65</b>	<b>0.65</b>	
<b><math>c'</math></b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>kPa</b>
<b><math>\phi'</math></b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>deg</b>
$\gamma_{-07}$	1.71E-04	3.34E-04	3.33E-04	
<b><math>G_{o^{ref}}</math></b>	<b>114.1</b>	<b>115.9</b>	<b>119.6</b>	<b>MPa</b>
<b><math>K_h</math></b>	<b>1.00E-07</b>	<b>1.00E-07</b>	<b>4.00E-08</b>	<b>m/s</b>
<b><math>K_V</math></b>	<b>1.00E-08</b>	<b>1.00E-08</b>	<b>4.00E-09</b>	<b>m/s</b>

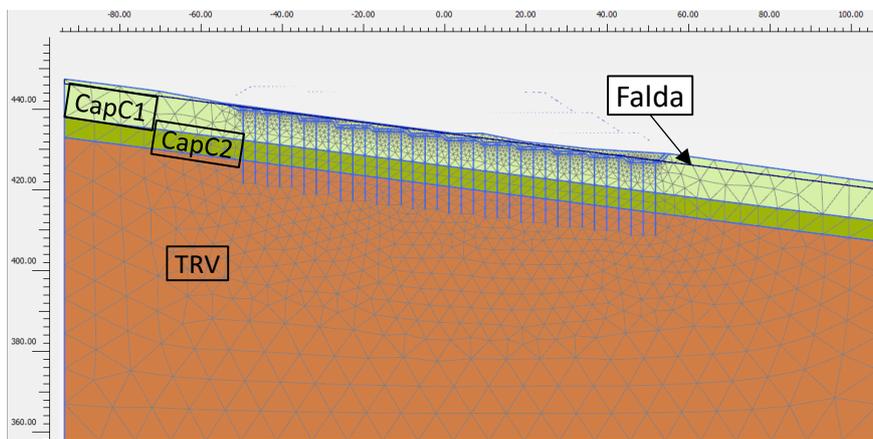


Figura 11. Stratigrafia e falda

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

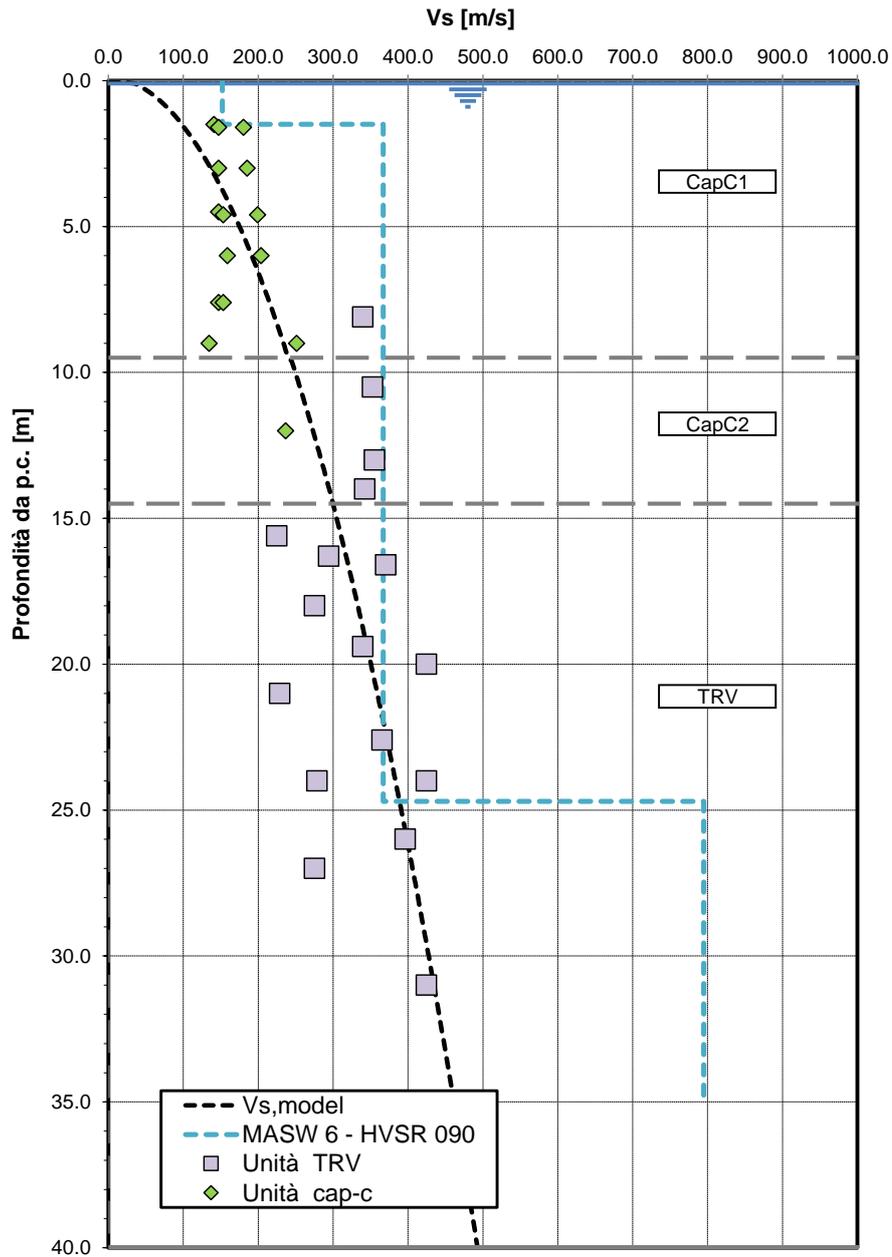


Figura 12. Velocità delle onde di taglio



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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	21 di 45

#### 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  $\gamma$  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;

$\beta_s$  = 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  $a_{\max} = 0.1336 \cdot 1.49 = 0.199$  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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	22 di 45

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.

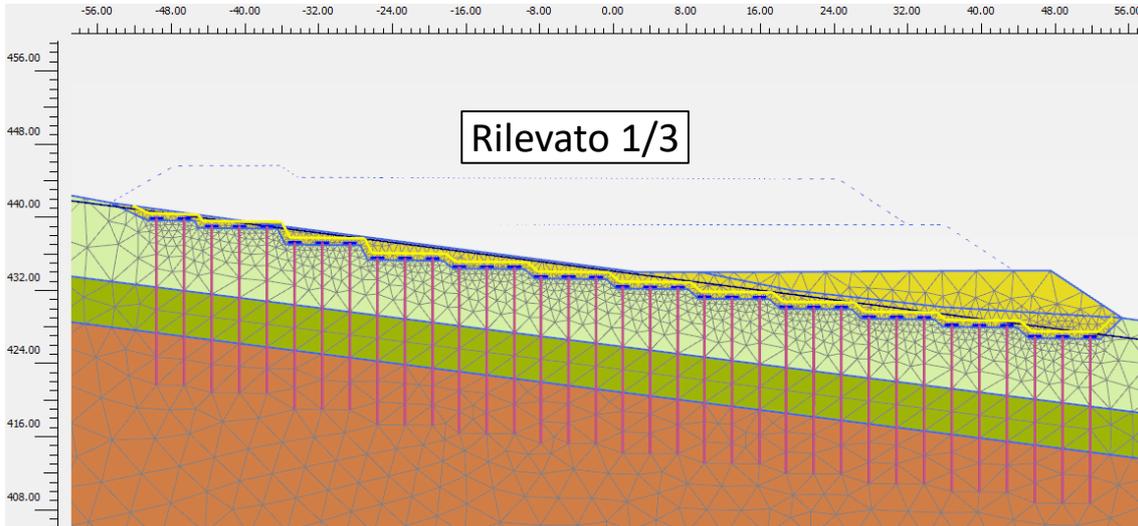


Figura 13. Fase rilevato 1/3

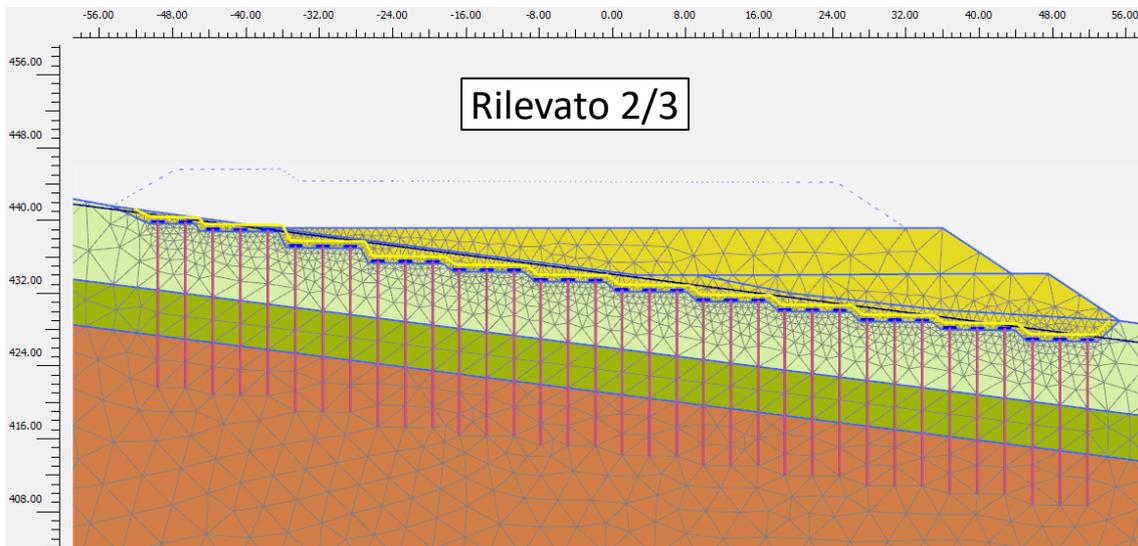


Figura 14. Fase rilevato 2/3

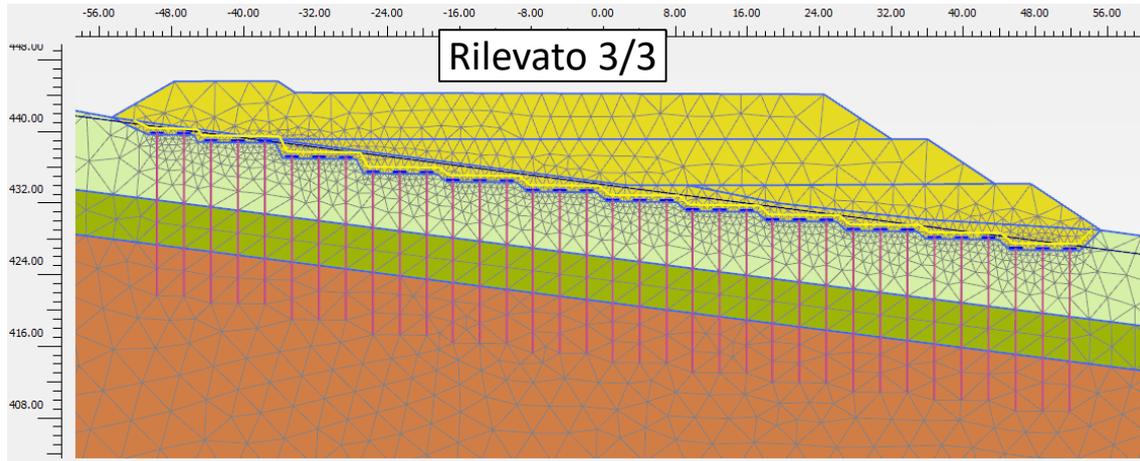


Figura 15. Fase rilevato 3/3

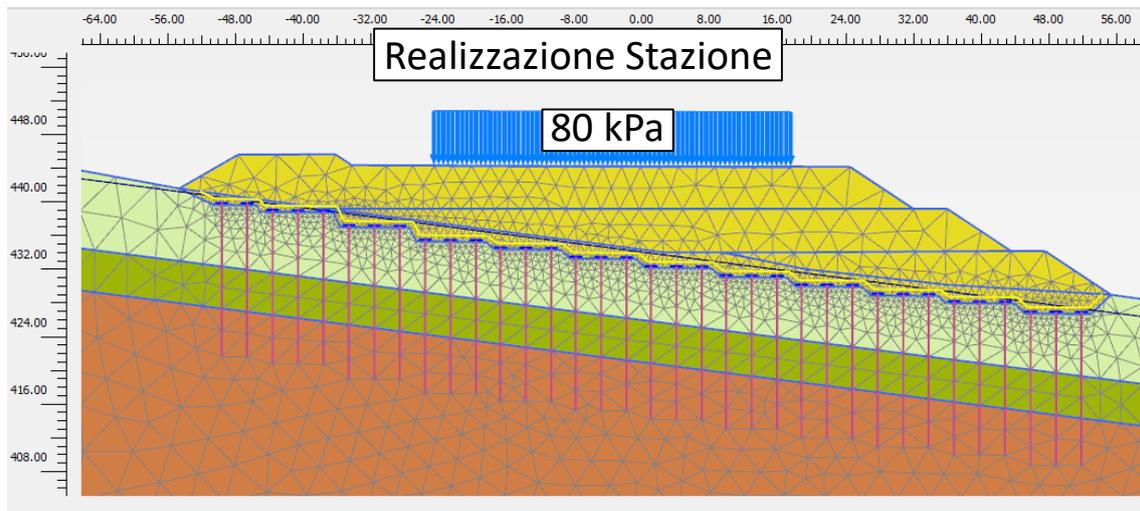


Figura 16. Fase realizzazione stazione

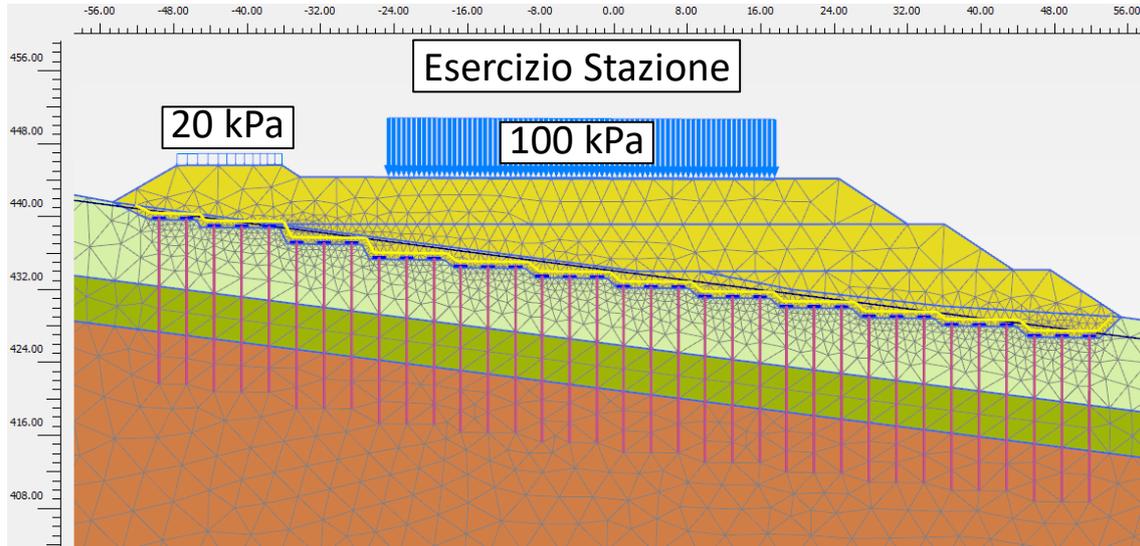


Figura 17. Fase esercizio stazione

Nella seguente figura si riportano gli spostamenti dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 75 anni.

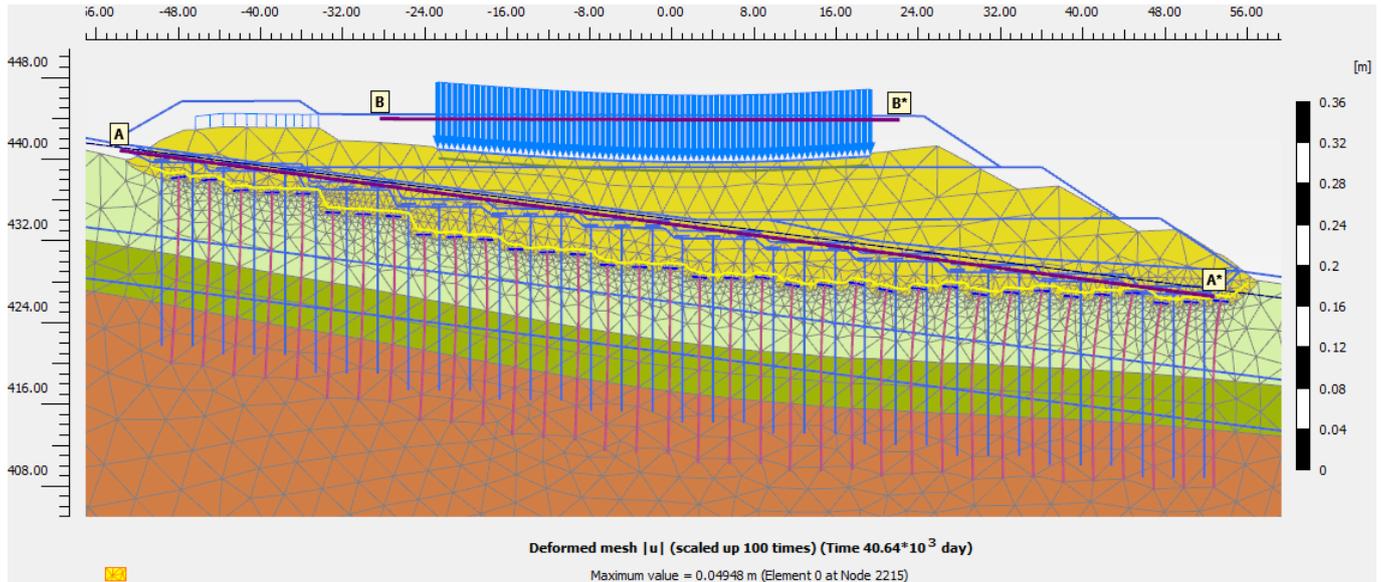


Figura 18. deformata dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (mesh deformata: amplificata 100 volte, spostamento massimo 49.5 mm)

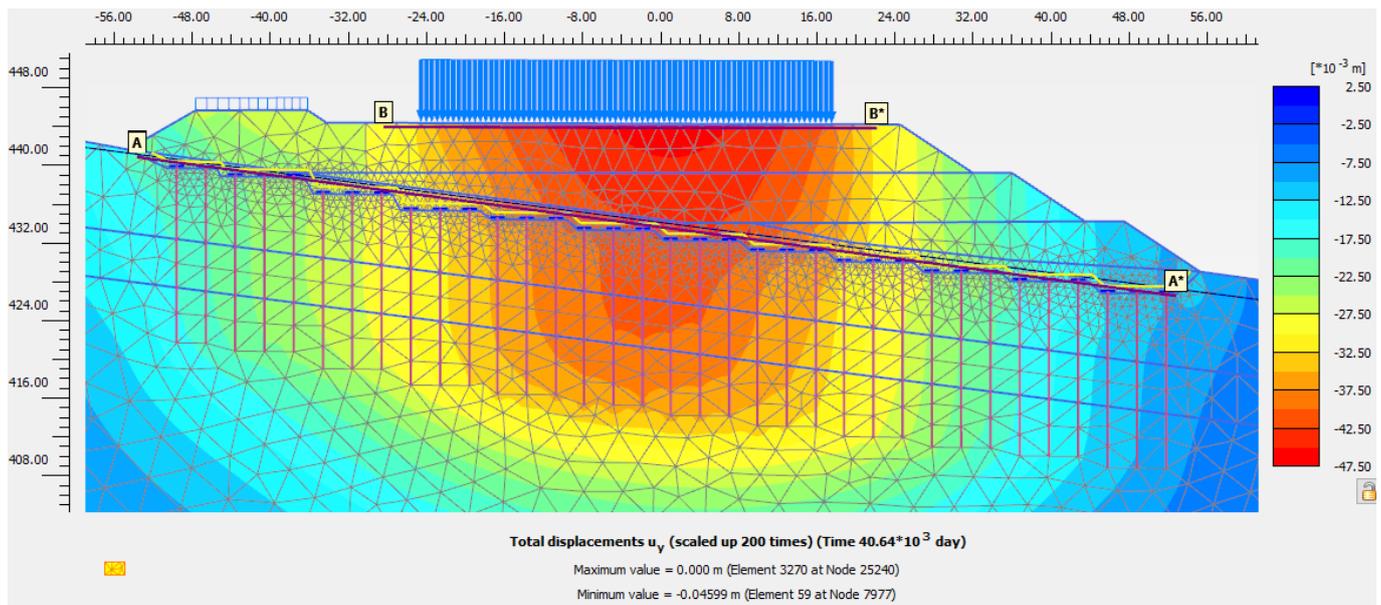


Figura 19. spostamenti verticali dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (spostamento verticale massimo 46.0 mm)

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	27 di 45

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.

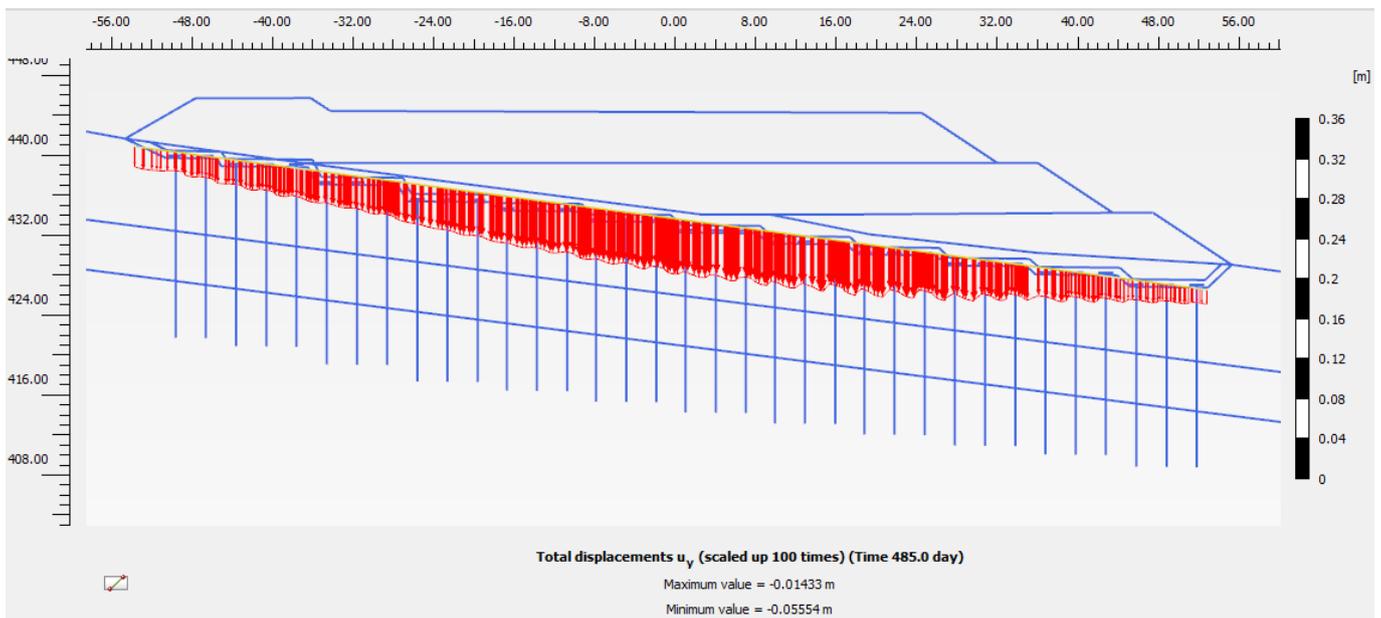


Figura 20. Spostamenti maturati durante le fasi esecutive di rilevato e stazione (Spostamento verticale massimo = 55 mm)

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 44 mm.

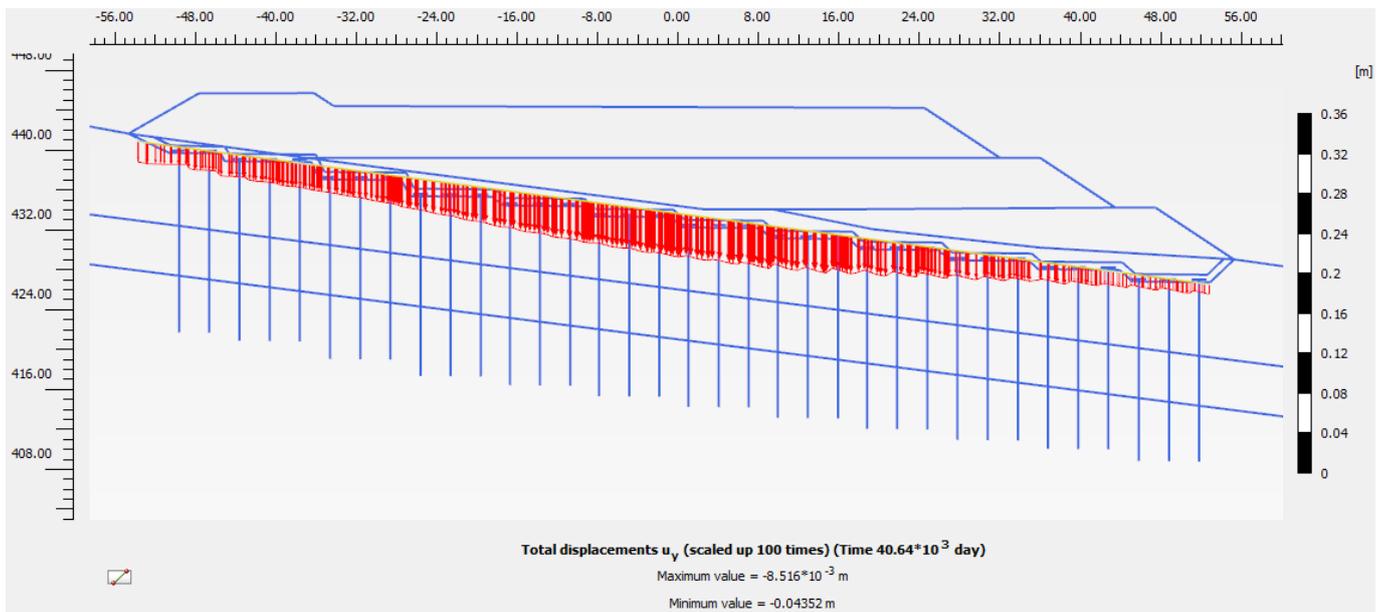


Figura 21. Spostamenti dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni (Spostamento verticale massimo = 44 mm)

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 46 mm.

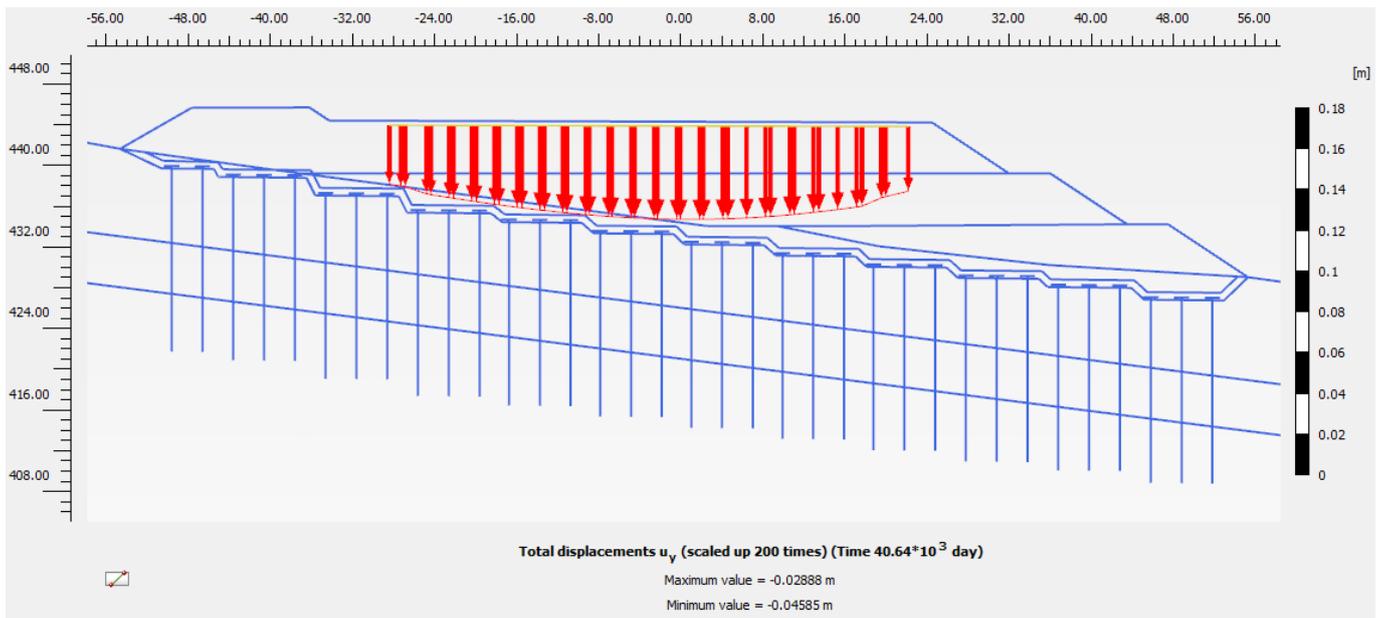


Figura 22. Spostamenti di fase edificio dall'entrata in esercizio della stazione per i successivi 112.5 anni  
(Spostamento totale massimo = 46 mm)

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 4.4 cm, inferiori ai 5 cm prescritti da capitolato.

Si evidenzia una curvatura che si linearizza nel piano logarimico 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 ( $c_c$ ,  $c_s$ ,  $c_\alpha$ ) (vedasi Pratical application of the soft soil creep Manual).

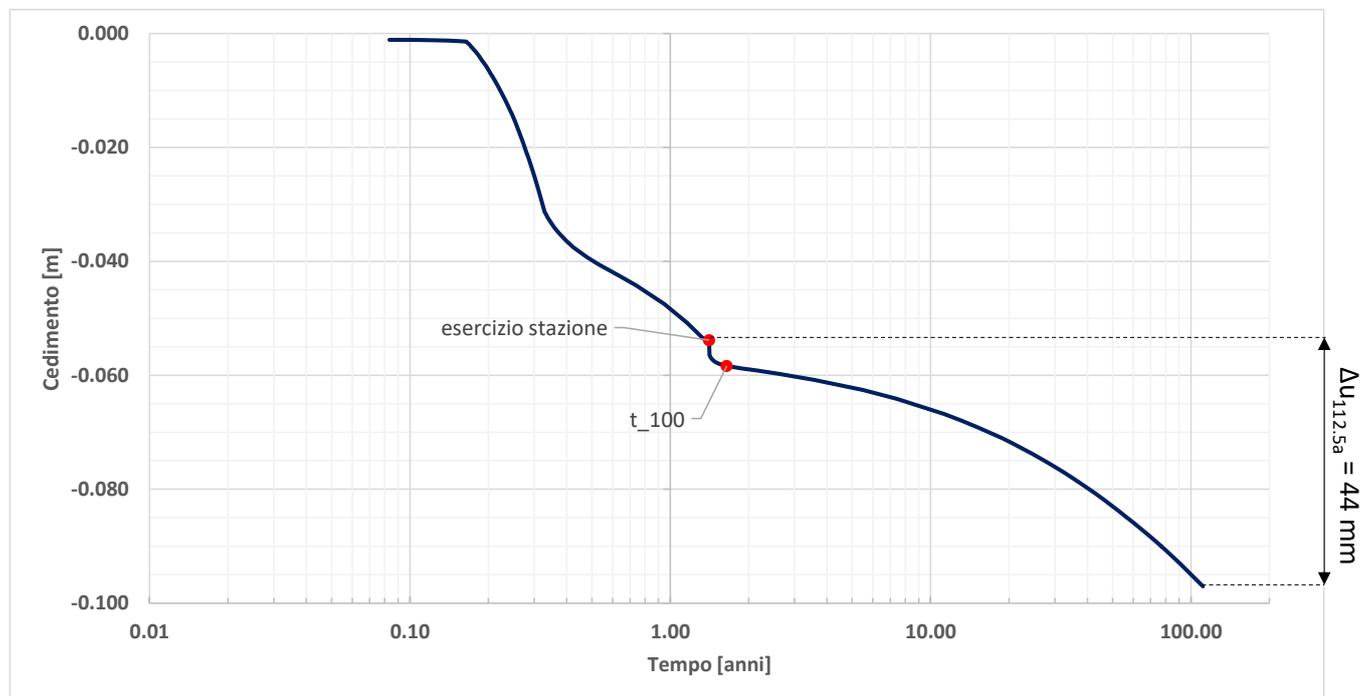


Figura 23. Andamento della consolidazione nel tempo

#### 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 si stima un valore di azione assiale massimo di compressione di 811 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $N_{max} = 2433$  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 25). 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 2433 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.

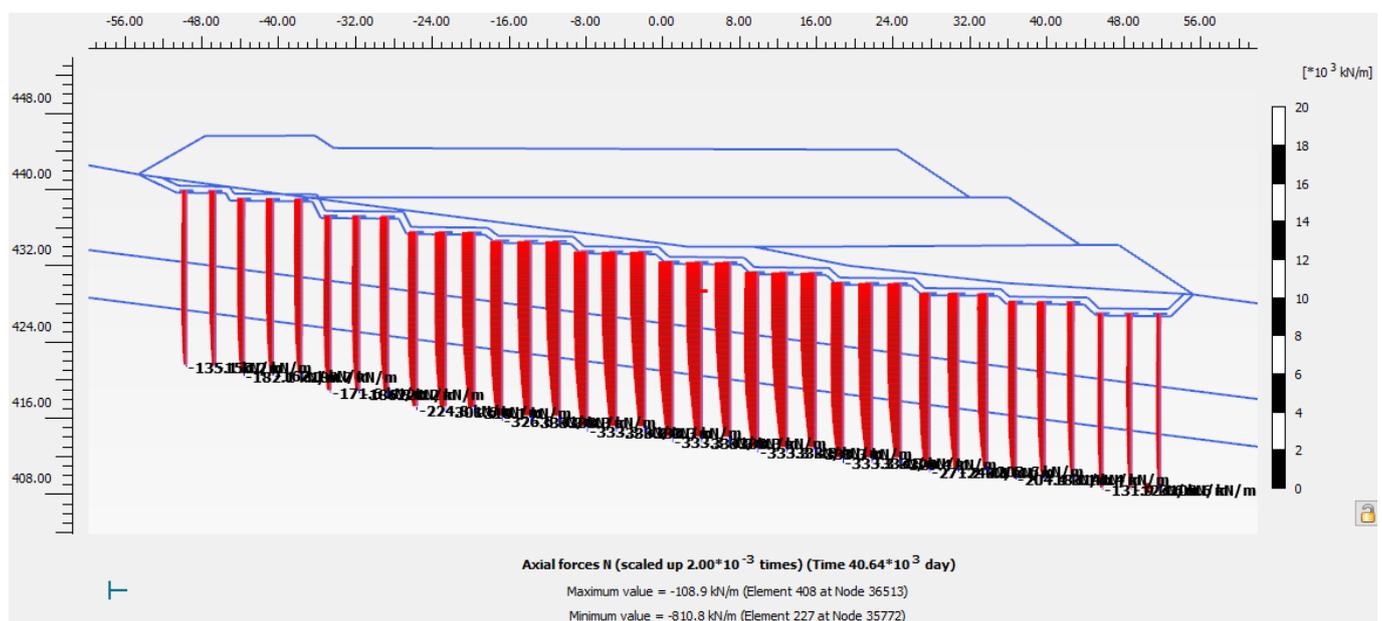


Figura 24. Azione assiale sulle colonne di consolidamento



**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	32 di 45

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

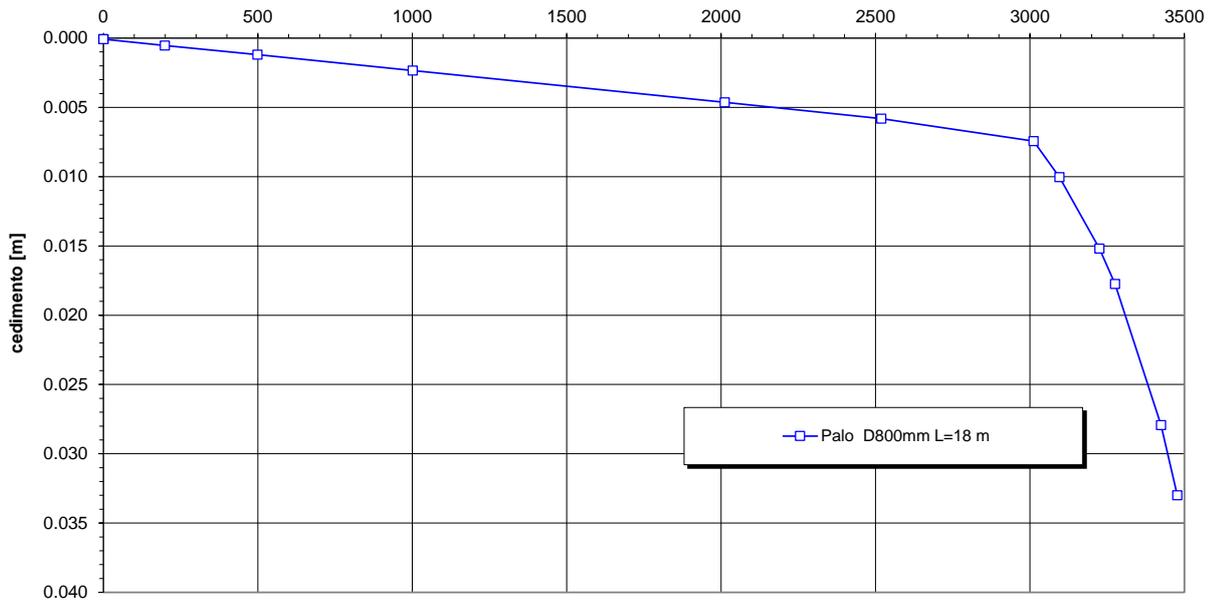


Figura 25. Curva carico-cedimento singola colonna D800 mm

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 109 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $M_{max} = 327 \text{ kNm}$ .

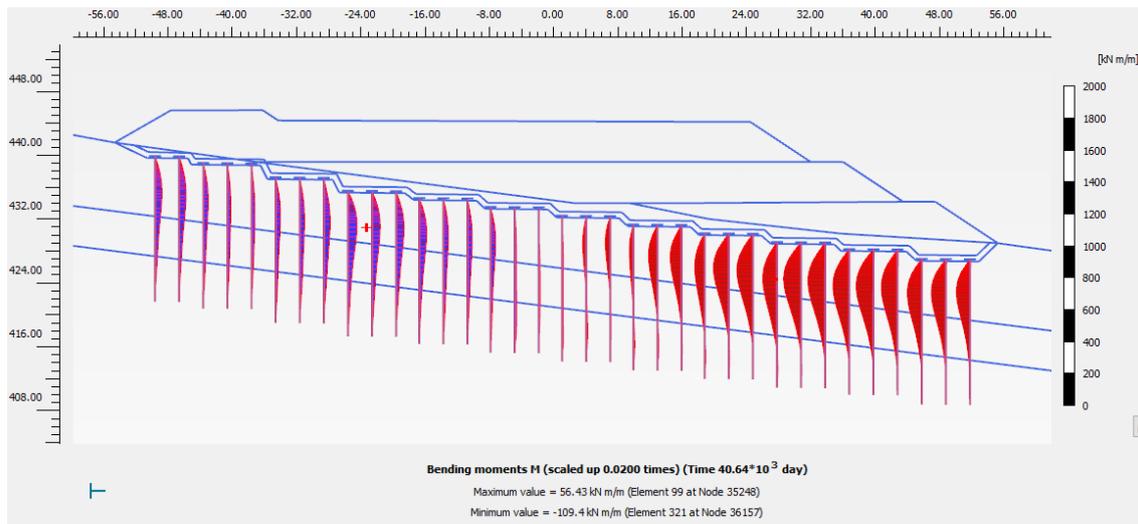


Figura 26. Momento sulle colonne di consolidamento

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 42 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $T_{max} = 126 \text{ kN}$ .

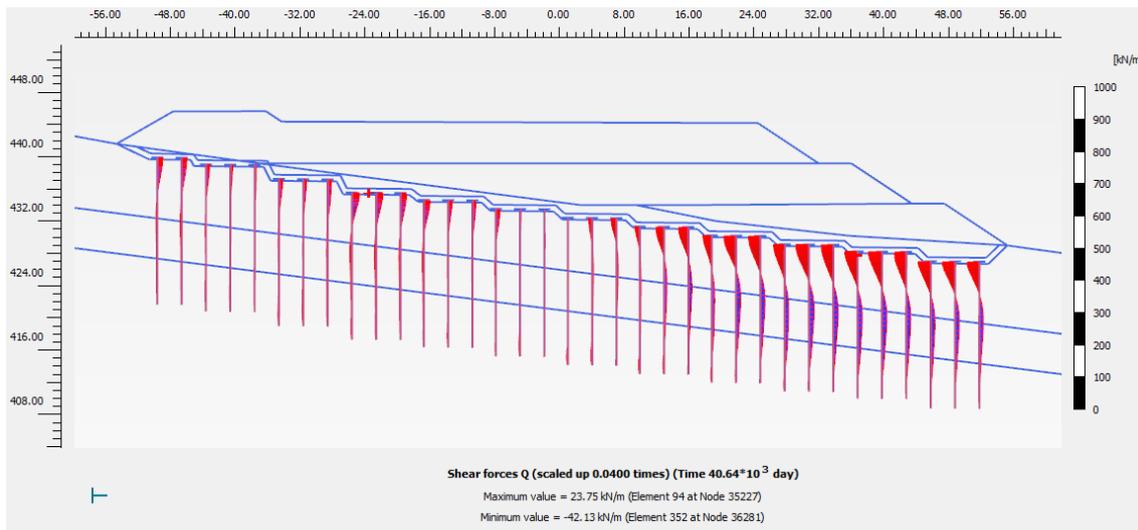


Figura 27. Taglio sulle colonne di consolidamento

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 si ha:

- $N_{d,slu} = 3406 \text{ kN}$  sollecitazione assiale massima sulle colonne allo SLU
- $M_{d,slu} = 458 \text{ kNm}$  momento massimo sulle colonne allo SLU
- $T_{d,slu} = 176 \text{ kN}$  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 806 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $N_{max} = 2418$  kN.

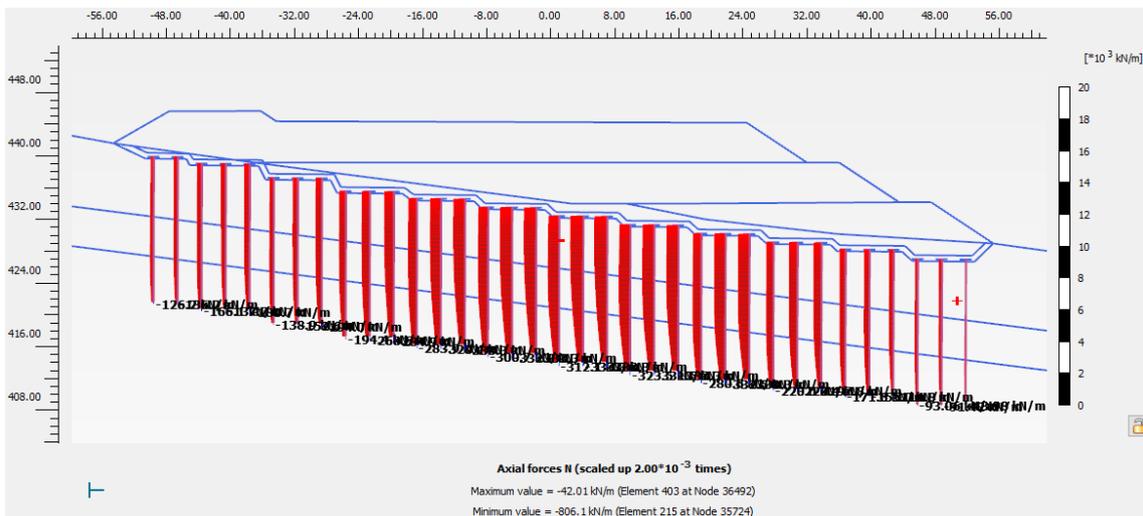


Figura 28. Azione assiale sulle colonne di consolidamento – analisi sismica

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 266 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $M_{max} = 798$  kNm.

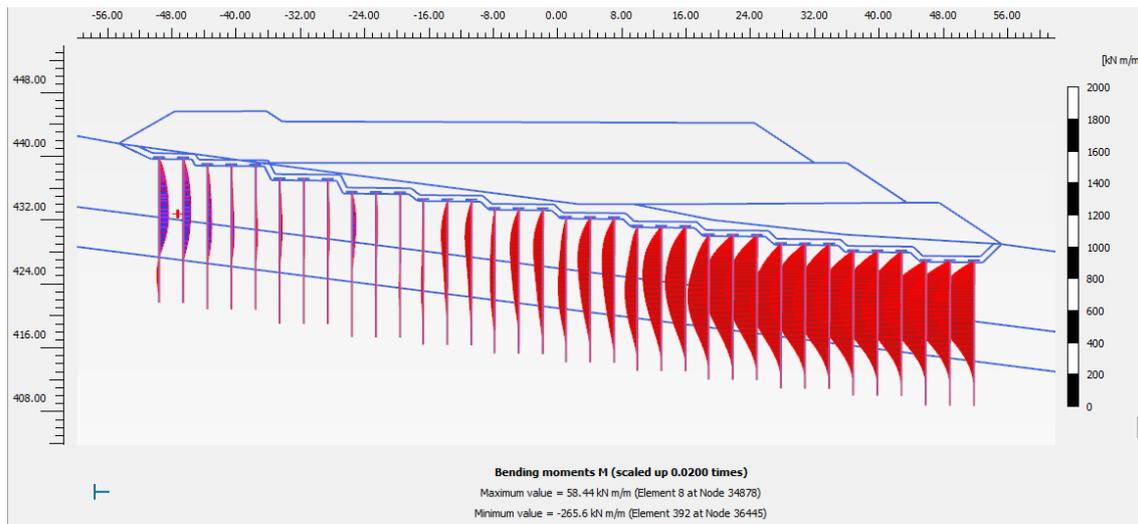


Figura 29. Momento sulle colonne di consolidamento – analisi sismica

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 93 kN/m e quindi considerando l'interasse di 3.0 m,  $T_{max} = 279$  kN.

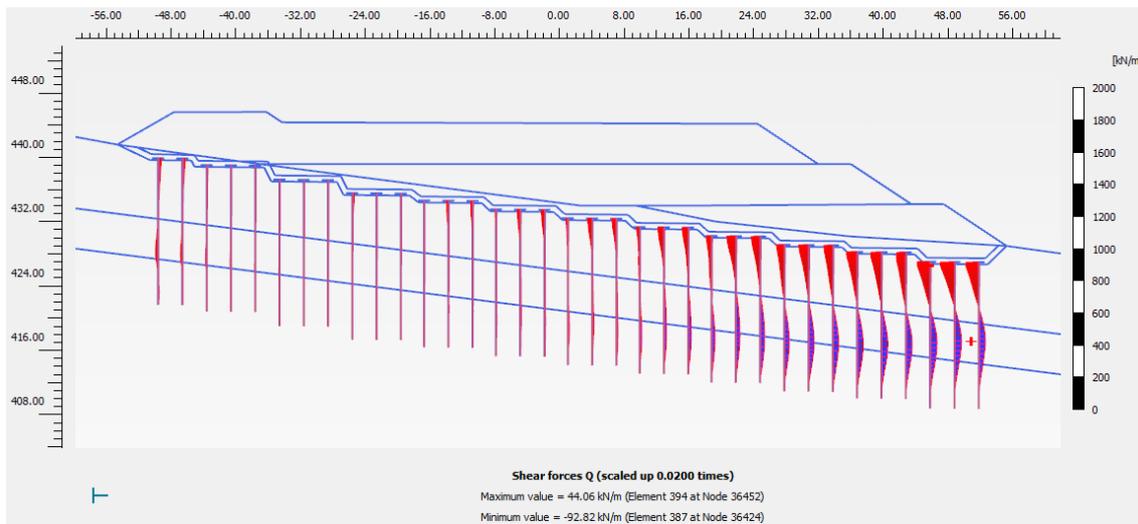


Figura 30. Taglio sulle colonne di consolidamento – analisi sismica

FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	38 di 45

#### 4.5 Verifica di integrità strutturale delle colonne CFA

In conformità ai risultati sopra riportati, le massime sollecitazioni sulle colonne sono:

SLU statiche

$N_{d,slu} = 3406 \text{ kN}$  sollecitazione assiale massima

$M_{d,slu} = 458 \text{ kNm}$  momento massimo

$T_{d,slu} = 176 \text{ kN}$  taglio massimo

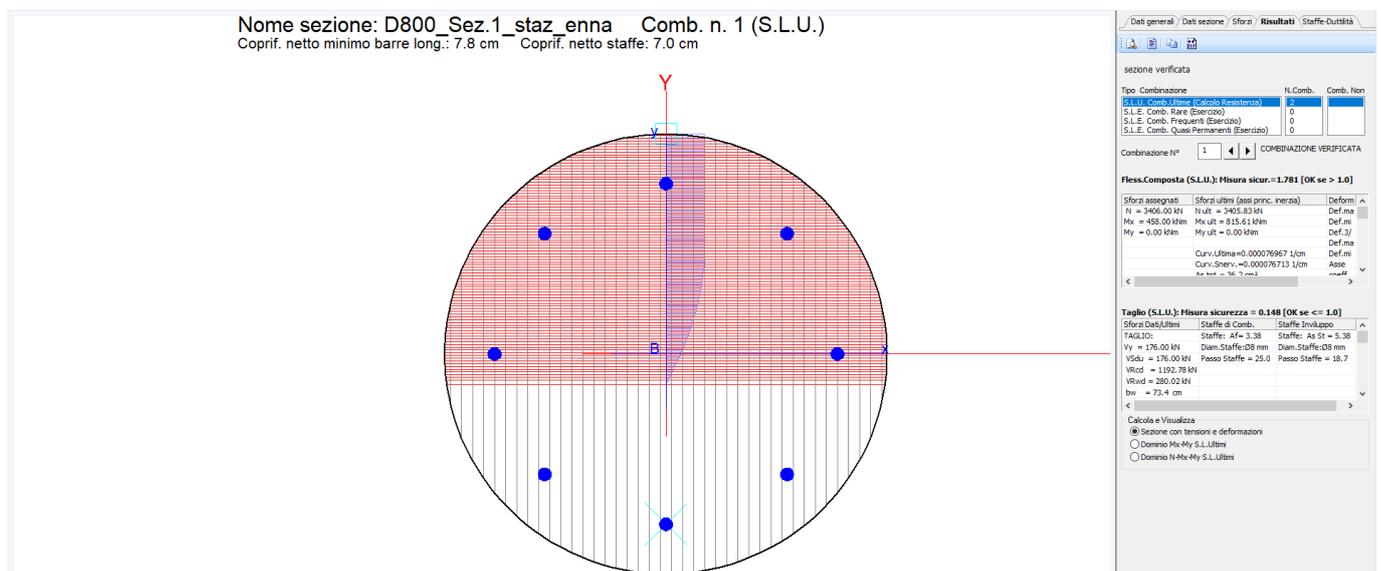
SLV sismiche

$N_{d,slv} = 2418 \text{ kN}$  sollecitazione assiale massima

$M_{d,slv} = 798 \text{ kNm}$  momento massimo

$T_{d,slv} = 279 \text{ kN}$  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.





**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	39 di 45

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: D800 Sez.1 staz\_enna**

(Percorso File: S:\LAVORI\PROGIN SpA\39058 - PA-CT lotto 5a\04\_Analisi\sezca\D800\_Sez.1\_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 <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

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 circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonfer. 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



**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	40 di 45

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 8 mm  
 Passo staffe: 18.7 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	3406.00	458.00	0.00	176.00	0.00
2	2418.00	798.00	0.00	279.00	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  
 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  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] 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	3406.00	458.00	0.00	3405.83	815.61	0.00	1.781	-----
2	S	2418.00	798.00	0.00	2417.97	798.89	0.00	1.001	-----

### 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.)



**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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	41 di 45

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	0.00086	0.0	40.0	0.00281	0.0	31.0	-0.00196	0.0	-31.0
2	0.00350	0.00030	0.0	40.0	0.00266	0.0	31.0	-0.00313	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	0.000076967	0.000421324	----	----
2	0.000000000	0.000093367	-0.000234697	----	----

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Passo staffe: 18.7 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio di progetto [kN] = proiezz. 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 parallel. 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.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	176.00	1192.78	280.02	59.2	73.4	21.80°	1.250	3.4	5.4(0.0)
2	S	279.00	1192.78	280.02	59.2	73.4	21.80°	1.250	5.4	5.4(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  $\varphi'$ - $c'$ -reduction. La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo ( $\varphi'$ - $c'$ -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.

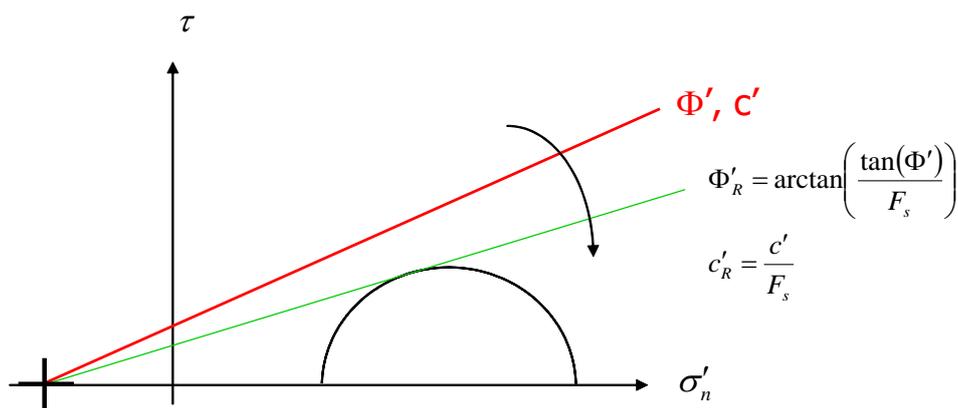


Figura 31 – Phi-c reduction method

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 (1 di 3)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 001	B	43 di 45

- 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  $FS > 1.20$  (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 condizione statiche il cinematismo di instabilità maggiormente probabile ( $FS_{min} = 1.9$ ) è quello che interessa la scarpata di valle del rilevato; in condizione sismiche si configura invece un cinematismo globale monte-valle dell’intero sistema ( $FS_{min} = 1.25$ ).

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.

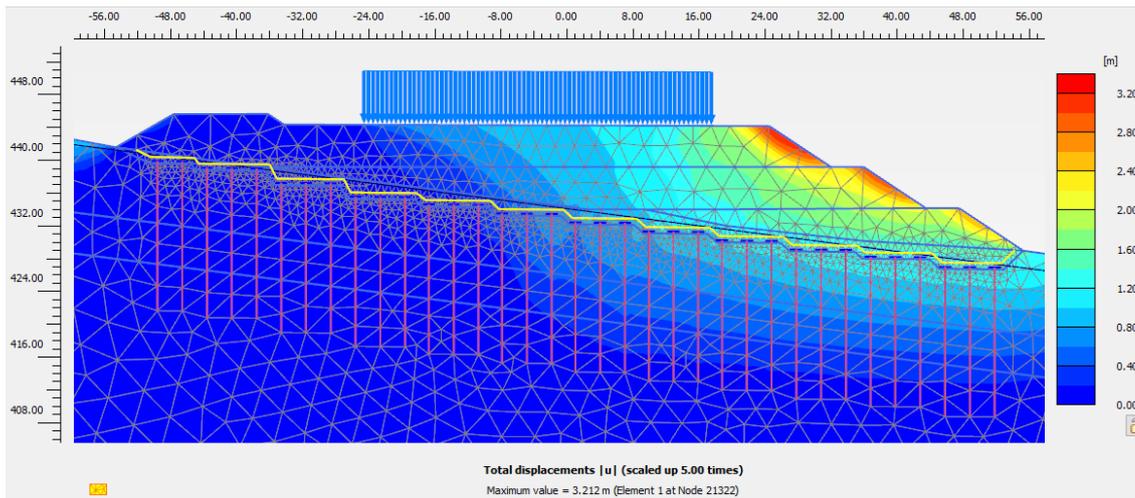


Figura 32. Condizione statica – Cinematismo di instabilità globale con FS = 1.9

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

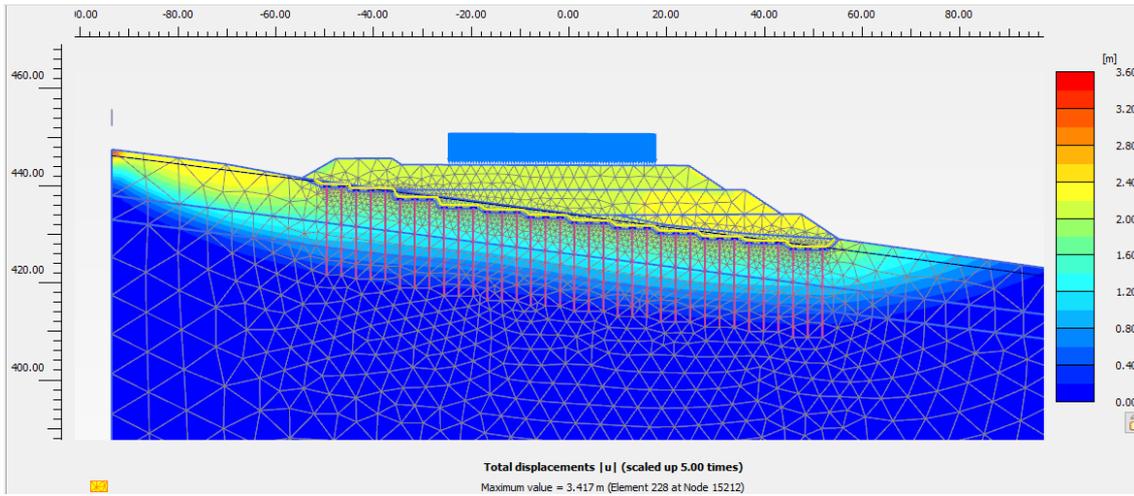


Figura 33. Condizione sismica – Cinematismo di instabilità globale con FS = 1.25

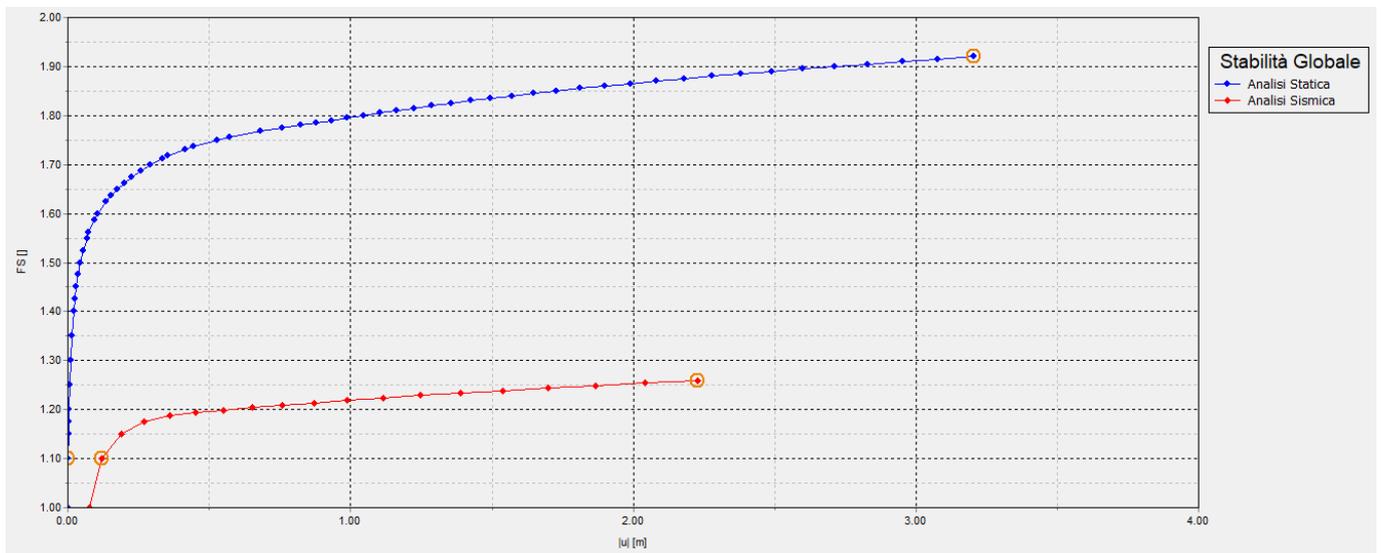


Figura 34. Fattori di sicurezza stabilità globale