

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 MODELLAZIONE GEOMETRICA TRIDIMENSIONALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE DELLA GRADONATURA DI AMMORSAMENTO DEL RILEVATO**

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 RH GE0005 014 A

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

RS3V40D29RHGE0005014A.doc

n. E.ab.: 185\_5

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 15542 del 4/4  
ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Doc. n. Fabrizio Arduini



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

FV01 – MODELLAZIONE GEOMETRICA TRIDIMENSIONALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE DELLA GRADONATURA DI AMMORSAMENTO DEL RILEVATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 014	A	2 di 22

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.3	SOFTWARE.....	4
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
3.1	INDAGINI ESEGUITE.....	5
3.2	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	5
3.3	FALDA.....	15
3.4	CATEGORIA SOTTOSUOLO SISMICA .....	15
4.	GEOMETRIA MODELLATA E STUDIO DELLA GRADONATURA .....	17
4.1	DIMENSIONE DEL MODELLO .....	17
4.2	GEOMETRIA DEL PIANO CAMPAGNA.....	18
4.3	GRADONATURA DI PROGETTO E PALI DI CONSOLIDAMENTO.....	19

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riporta lo studio geometrico tridimensionale della gradonatura e del rilevato, con lo scopo di definirne la fattibilità e di implementarne la geometria all'interno di un modello geotecnico 3D alle differenze finite.

Nel seguito si espongono, dopo una sintesi delle indagini e della caratterizzazione geotecnica dell'area, gli elementi di studio che hanno portato alla definizione tridimensionale dei volumi e delle strutture in progetto, evidenziando le criticità emerse nella definizione della gradonatura e del rilevato in progetto.

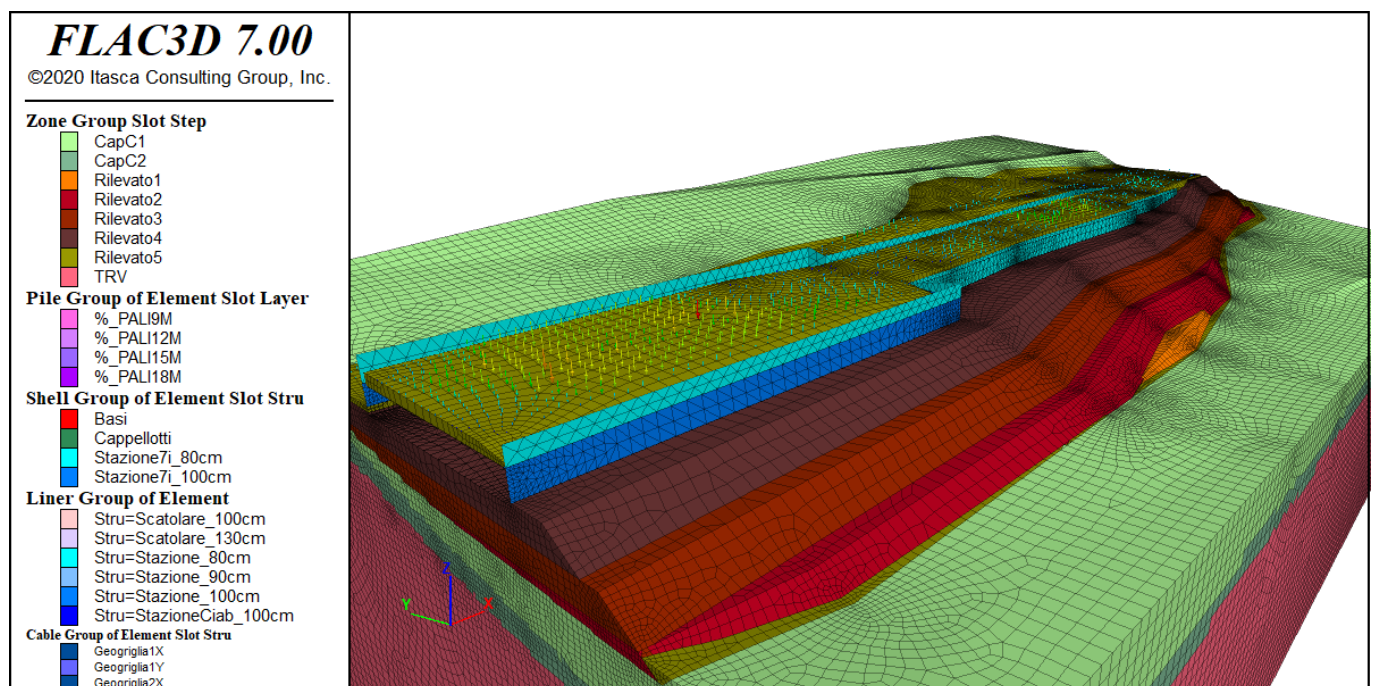


Figura 1. Modello geotecnico tridimensionale



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

FV01 – MODELLAZIONE GEOMETRICA TRIDIMENSIONALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE DELLA GRADONATURA DI AMMORSAMENTO DEL RILEVATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 014	A	4 di 22

## 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**

- [DC1]. RS3V 40 D09 RH GE0001 001 - Nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Relazione Geotecnica tratti all'aperto - Lotto 4b.  
[DC2]. RS3V 40 D09 F6 GE0001 001 ÷ RS3V 40 D09 F6 GE0001 010 - Nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Nuova Enna - Dittaino. Progetto Definitivo. Profilo geotecnico - Lotto 4B – 10 tavole.  
[DC3]. RS3V 40 D29 RB FV0100 001 A - FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato  
[DC4]. RS3V 40 D29 RB FV0100 002 A - FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato  
[DC5]. RS3V 40 D29 RB FV0100 003 A - FV01-Stazione di Enna - Relazione di calcolo e stabilità rilevato

### 2.3 **Software**

- Flac3D versione 7.00.117, licenza n. 242-039-0044-22565.



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

FV01 – MODELLAZIONE GEOMETRICA TRIDIMENSIONALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE DELLA GRADONATURA DI AMMORSAMENTO DEL RILEVATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 014	A	5 di 22

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per l'opera in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera.

La stratigrafia di riferimento è individuata sulla base delle indagini eseguite in corrispondenza dell'opera, come rappresentate nel profilo stratigrafico longitudinale.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione geotecnica generale [DC1].

#### 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.



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

FV01 – MODELLAZIONE GEOMETRICA TRIDIMENSIONALE E STUDIO DI FATTIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE DELLA GRADONATURA DI AMMORSAMENTO DEL RILEVATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3V	40	D 29 RH	GE0005 014	A	6 di 22

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

**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..

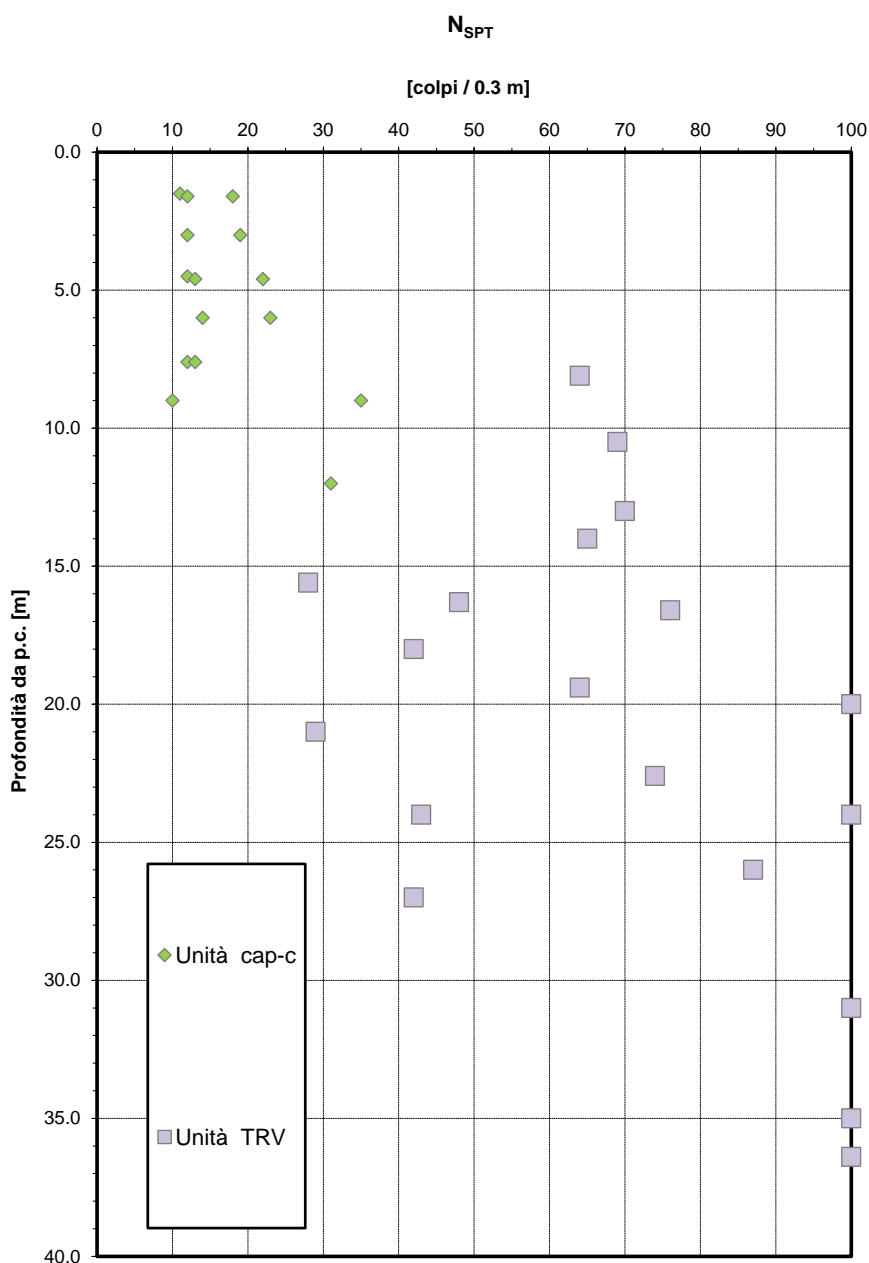
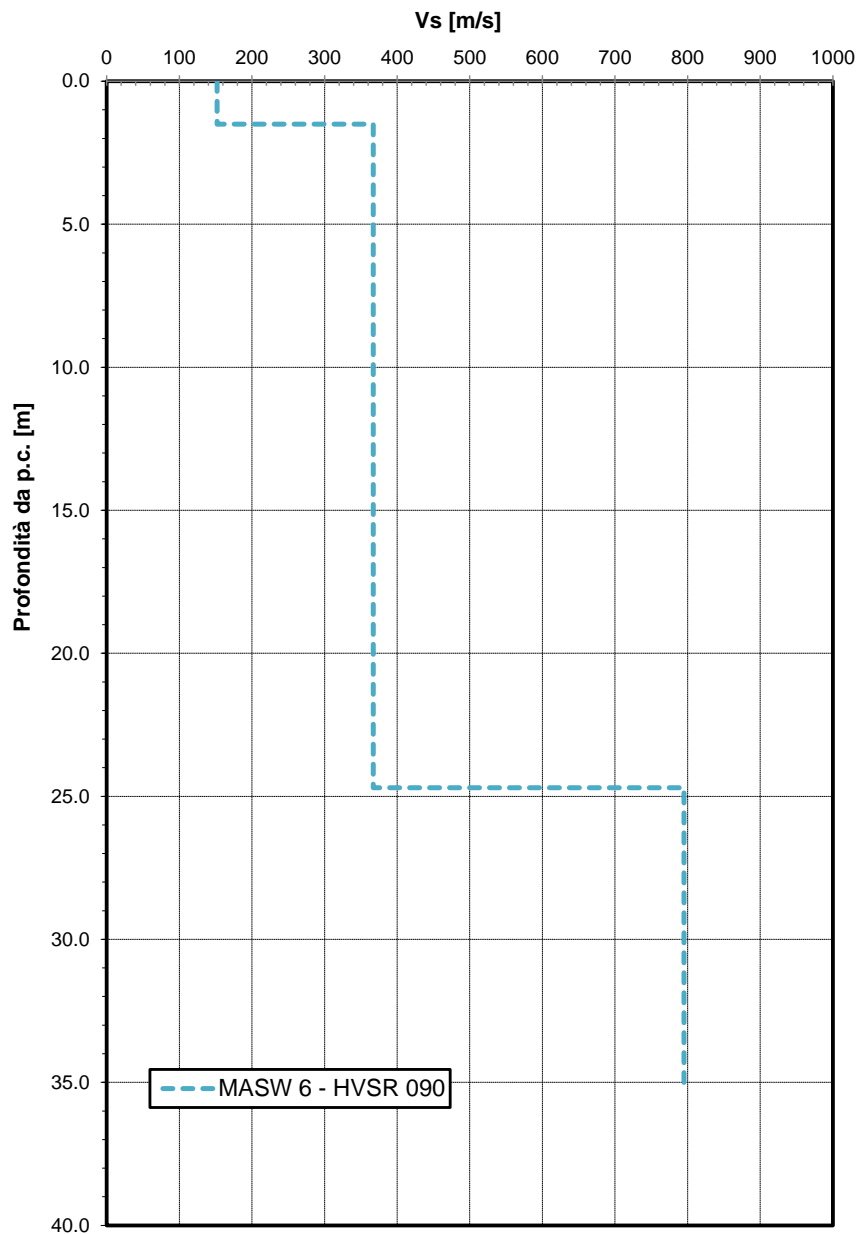


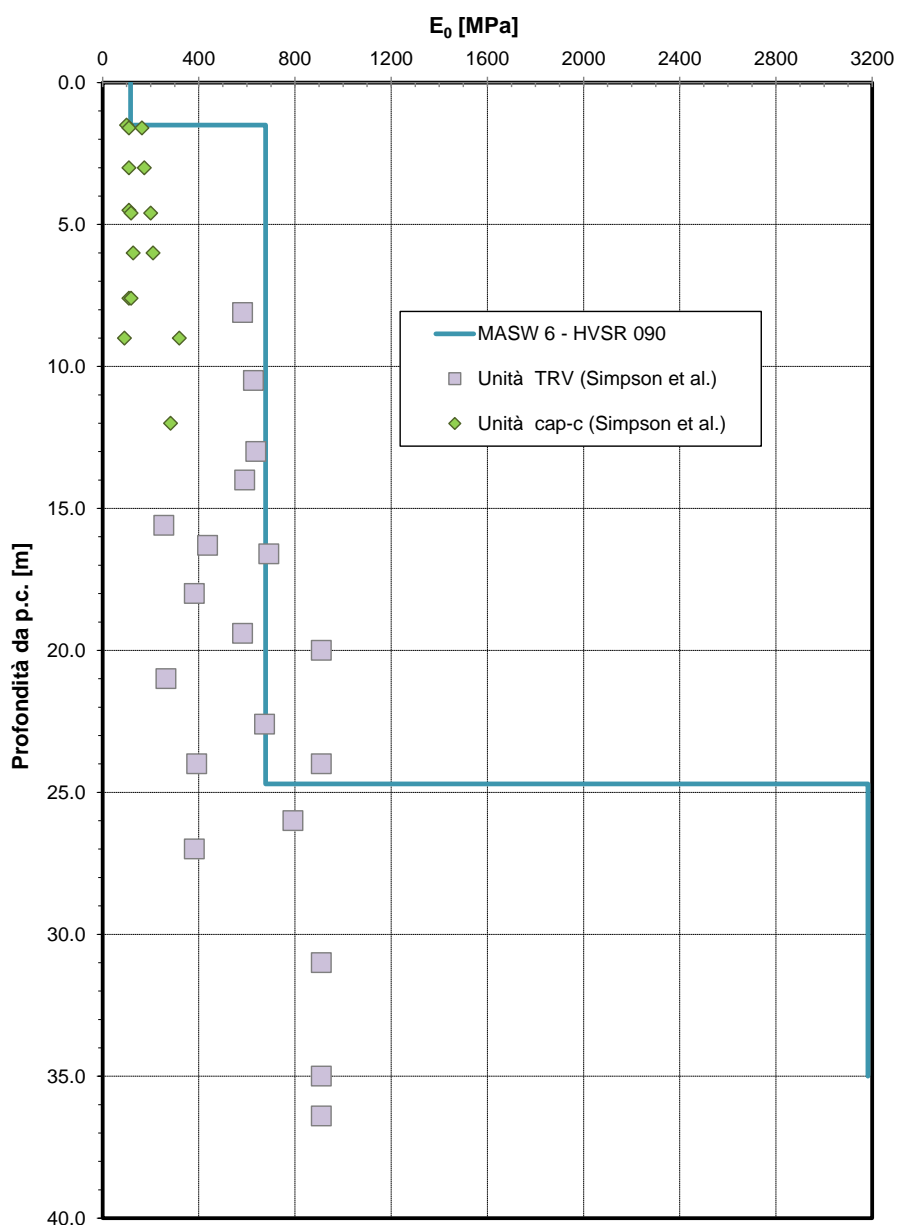
Figura 2 – Risultati prova SPT – Stazione Enna



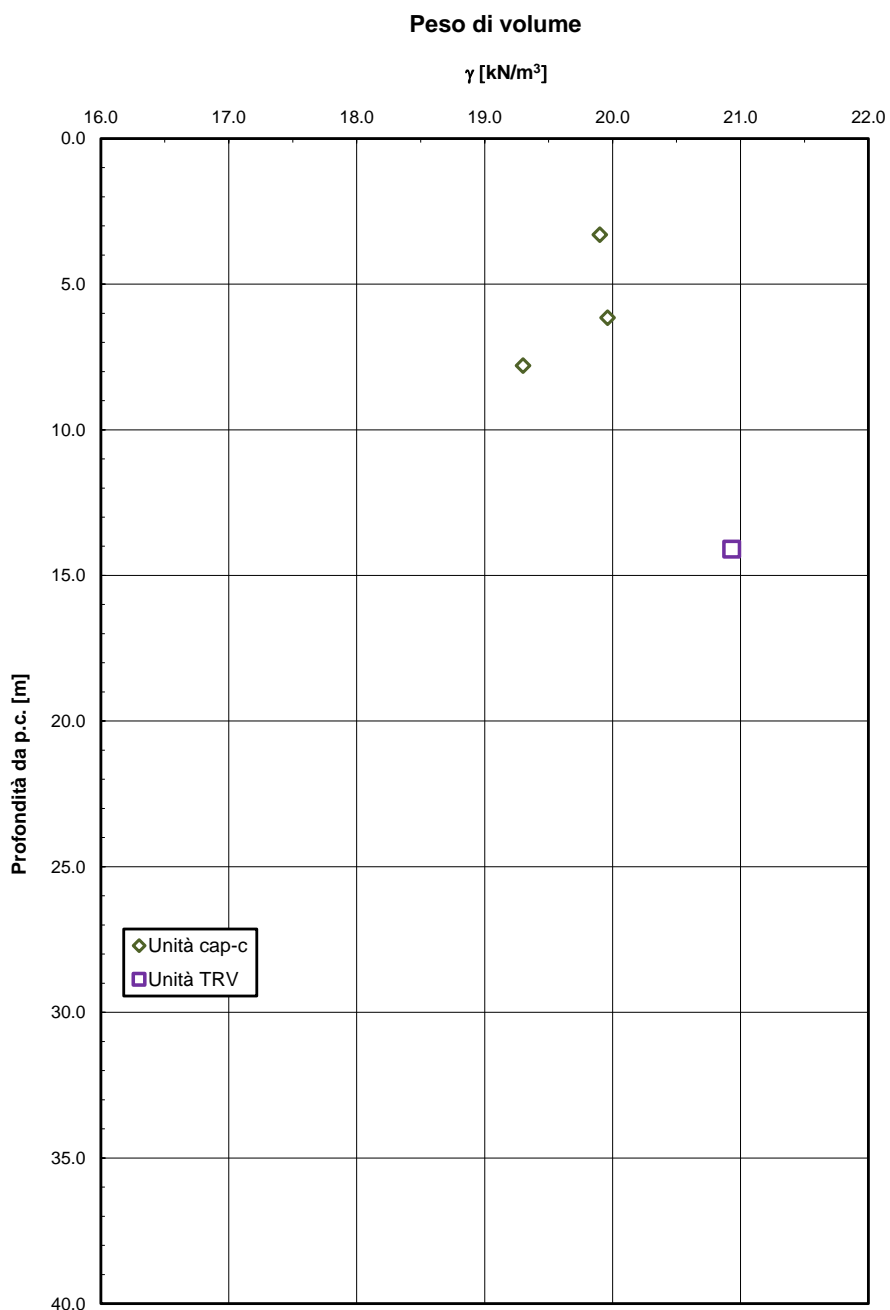


**Figura 3 – Velocità delle onde di taglio  $V_s$  da prove Sismiche (MASW 6 – HVSR 090) – Stazione Enna**

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



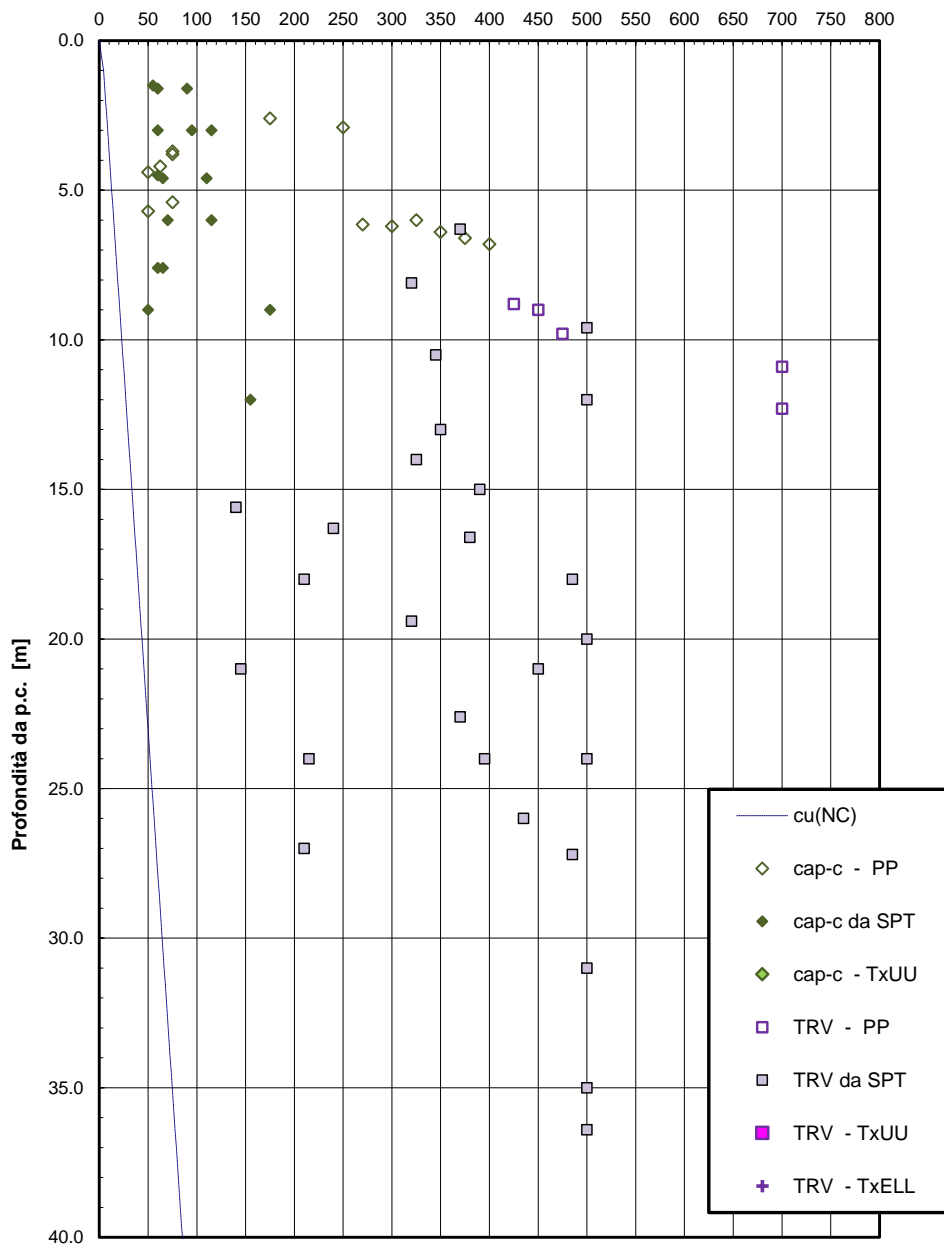
**Figura 4 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Stazione Enna**



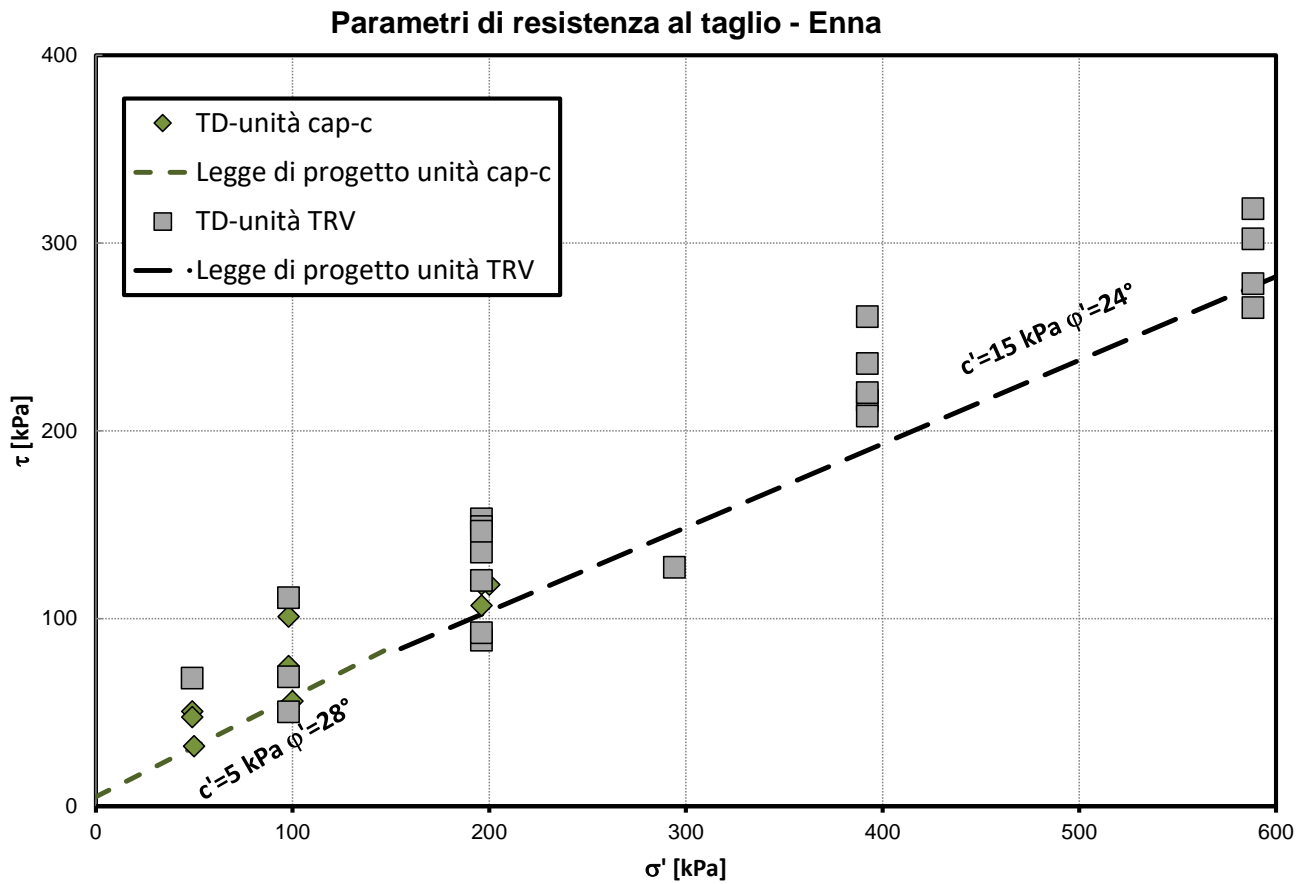
**Figura 5 – Peso di volume – Stazione Enna**

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

cu [kPa]

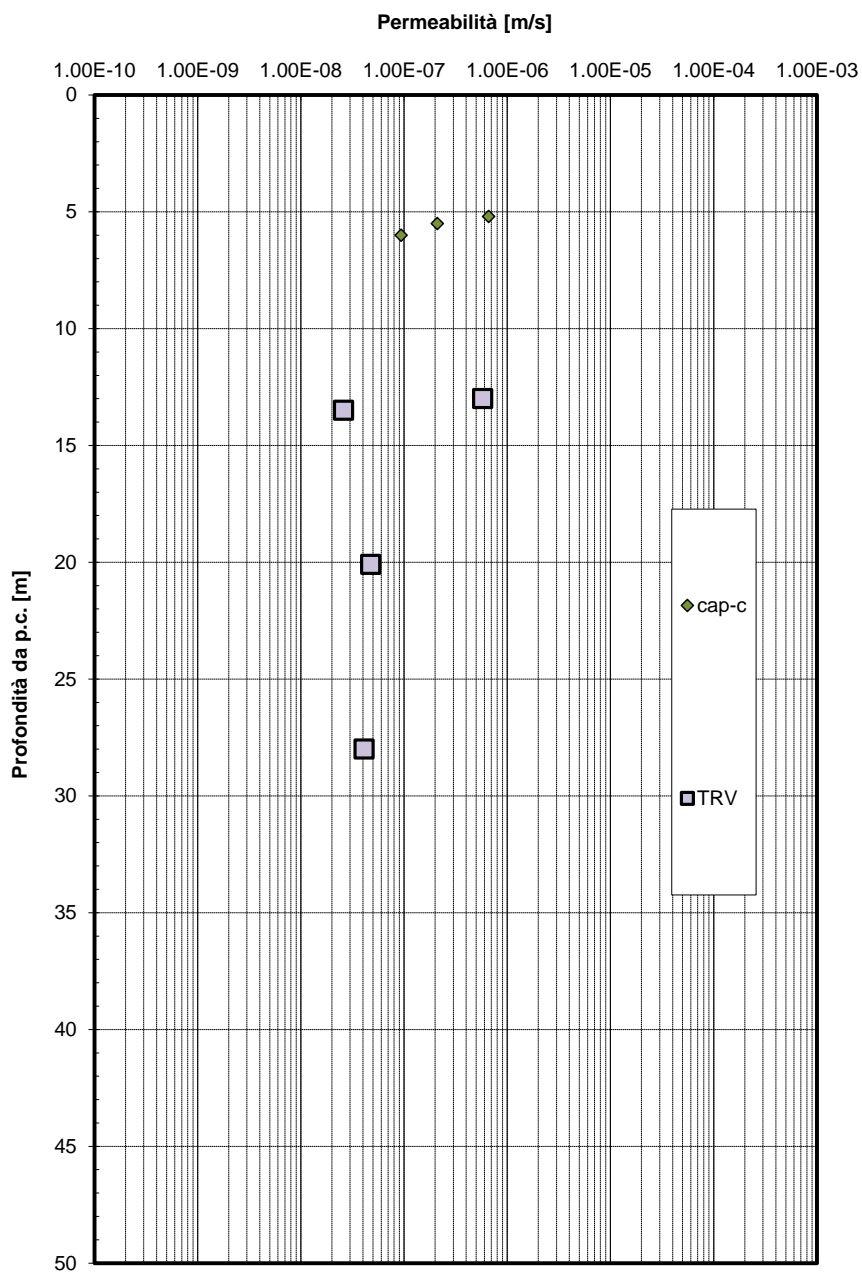


**Figura 6 – Andamento della resistenza al taglio non drenata – Stazione Enna**



**Figura 7 – Parametri di resistenza al taglio (laboratorio) – Stazione Enna**

**Permeabilità da prove Lefranc e Lugeon**



**Figura 8 – 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..

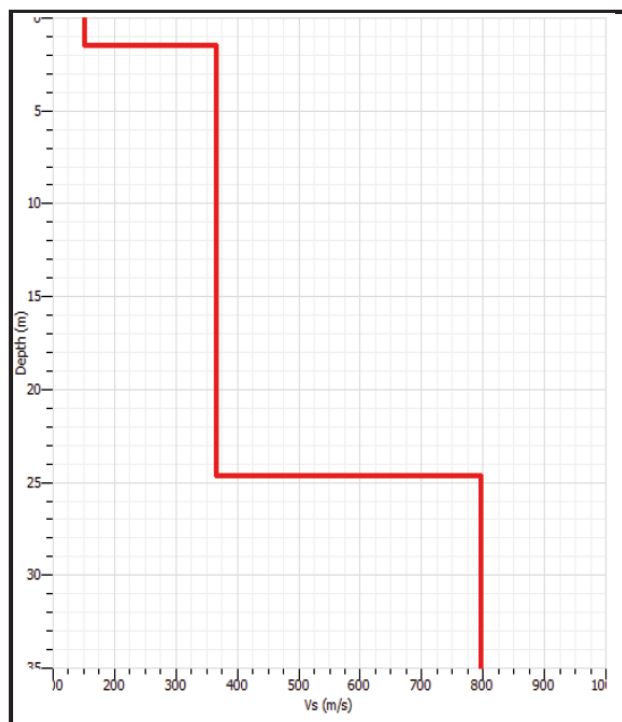
### 3.4 Categoria sottosuolo sismica

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 la categoria di sottosuolo C, confermata dalle analisi di Risposta Sismica Locale in termini di accelerazione di ancoraggio al suolo.

Nelle figure seguenti si riportano i risultati delle indagini sismiche.

**PROFILO VELOCITA' ONDE DI TAGLIO**



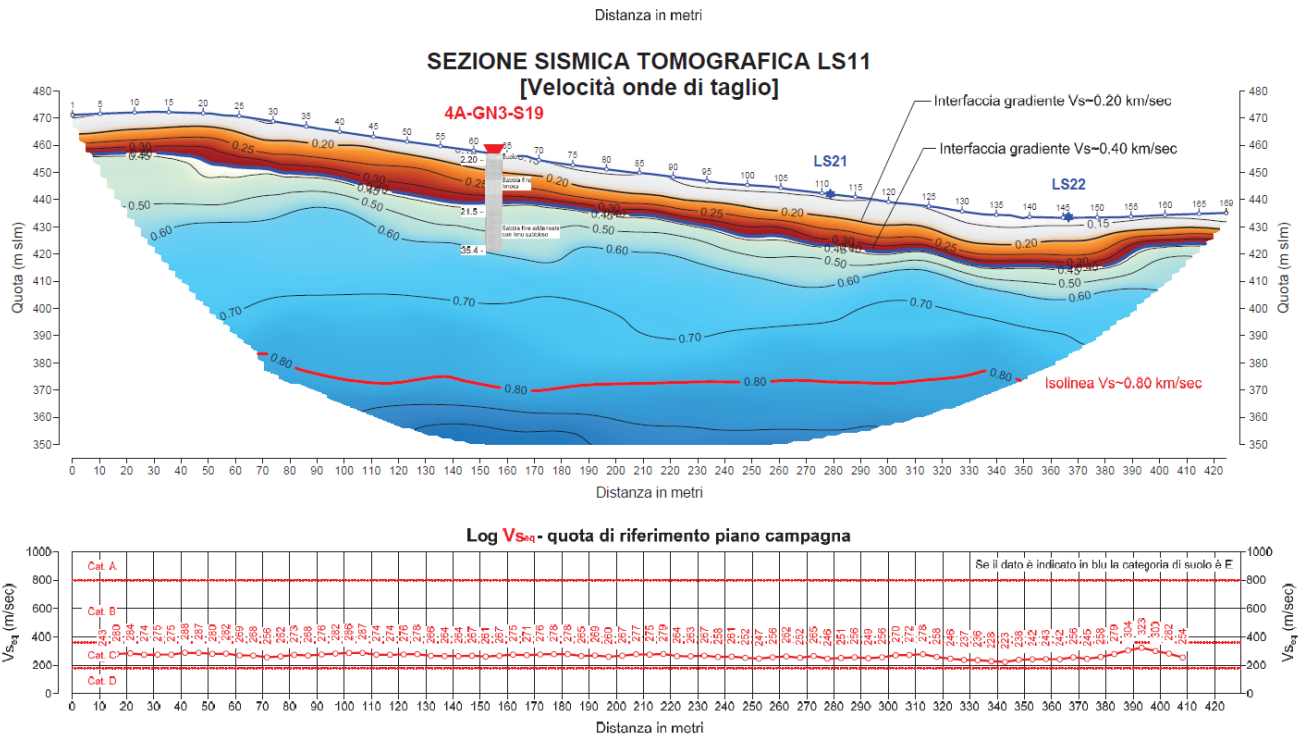
**CALCOLO VS30**

SPESSORE	PROFONDITA'	Vs	SPESSORE/Vs
1.5	0	152	0.009868421
23.2	1.5	367	0.063215259
10.3	24.7	795	0.006666667
	35		0.079750347

**$V_{s,eq} = 376$**

Seismic classification of soils  
(It. D.M. 17/01/2018) **B**

**Figura 9 –  $V_{s,eq}$  da prova sismica Masw**



**Figura 10 –  $V_{s,q}$  da tomografia sismica**



#### 4. GEOMETRIA MODELLATA E STUDIO DELLA GRADONATURA

##### 4.1 Dimensione del modello

Il modello tridimensionale studiato implementa la geometria rappresentata in Figura 11, che include una porzione di lunghezza pari a circa 100 m dell'edificio della stazione, le due strutture scatolari di appoggio che sostengono il rilevato ferroviario e lo scatolare stradale di alleggerimento della viabilità di monte, posta a quota (453 m s.l.m.) circa 9 m al di sopra del piano di imposta di fondazione della stazione (444 m s.l.m.).

Su tale area si sviluppa l'importante rilevato di progetto, che presenta 4 banche orizzontali con differenze di quota di 5 m, di cui la maggiore a quota 444 m s.l.m. ha larghezza pari a circa 7.0 m dal ciglio alla parete esterna dell'edificio di stazione, mentre le altre, rispettivamente a quote 439, 434 e 429 m s.l.m., sono di larghezza 4.0 m e sono raccordate da scarpate di pendenza 2/3 (verticale/orizzontale).

Dallo studio geometrico effettuato emerge la necessità di realizzare le 4 banche solamente per un tratto di sviluppo circa 50 m in corrispondenza della sezione 14, mentre per il restante sviluppo sono sufficienti le 3 banche più alte.

Lo studio geometrico include, negli ultimi 50 m circa, il rilevato ferroviario di appoggio privo di strutture portate (binari d linea).

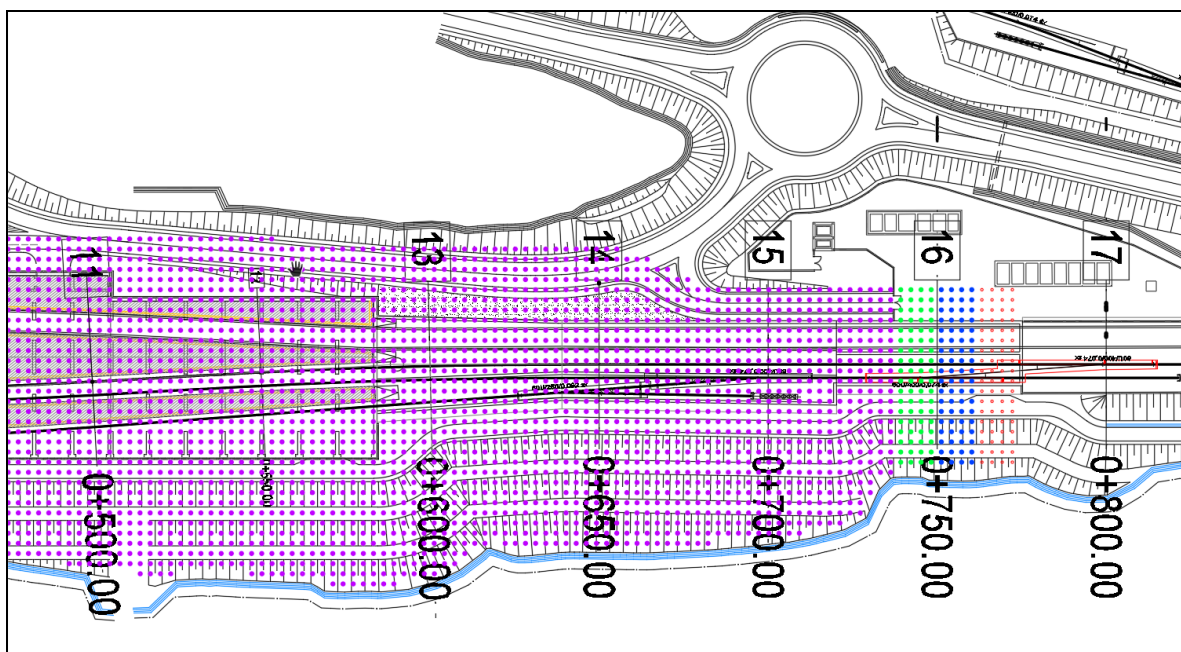


Figura 11. Porzione planimetrica implementata nel modello tridimensionale

La definizione del modello è operata principalmente tramite le sezioni di progetto dalla 11 alla 17, come mostrato in Figura 12, che ne mostra anche le dimensioni.

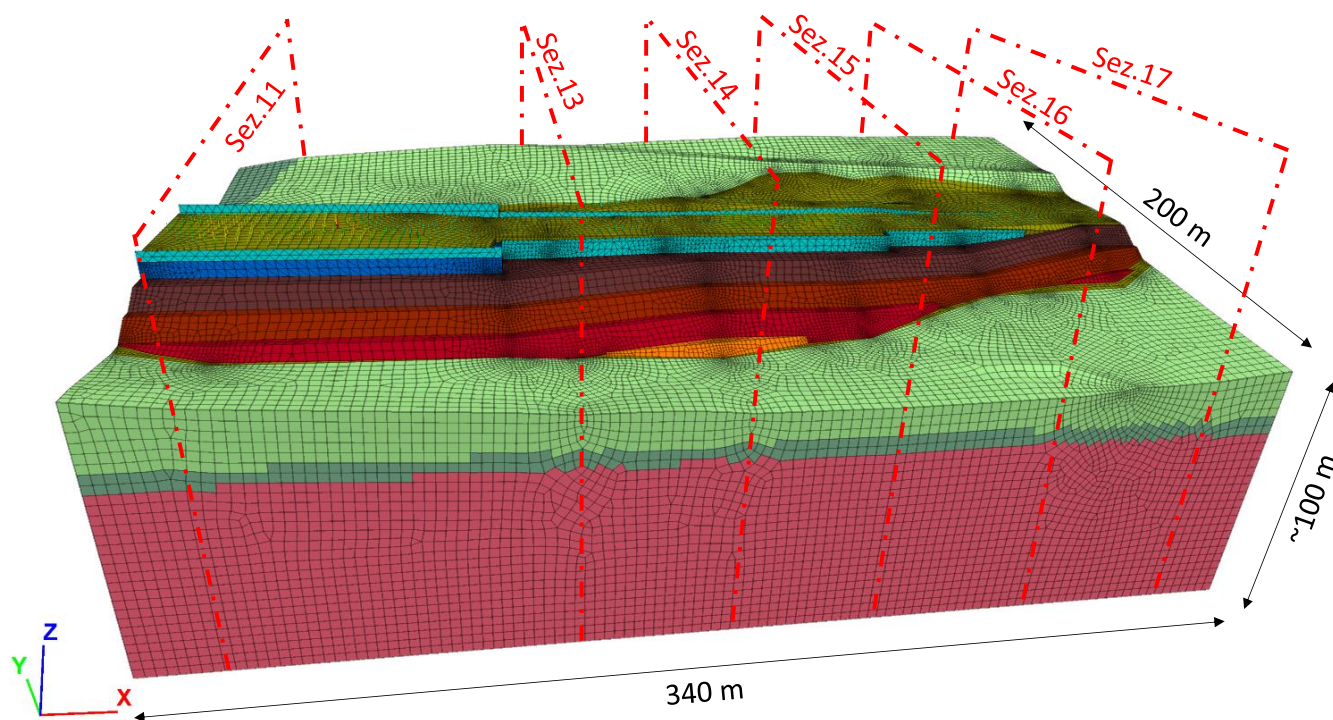


Figura 12. Dimensioni del modello e sezioni di progetto

## 4.2 Geometria del piano campagna

La modellazione del p.c. locale è resa possibile dal modello topografico digitale del terreno (DTM) disponibile in progetto. Al fine di ottenere una discretizzazione implementabile nel modello geotecnico alle differenze finite, la superficie del terreno è stata lievemente semplificata tramite un numero discreto di sezioni, opportunamente raffittite per cogliere le singolarità locali, interpolate linearmente fra loro.

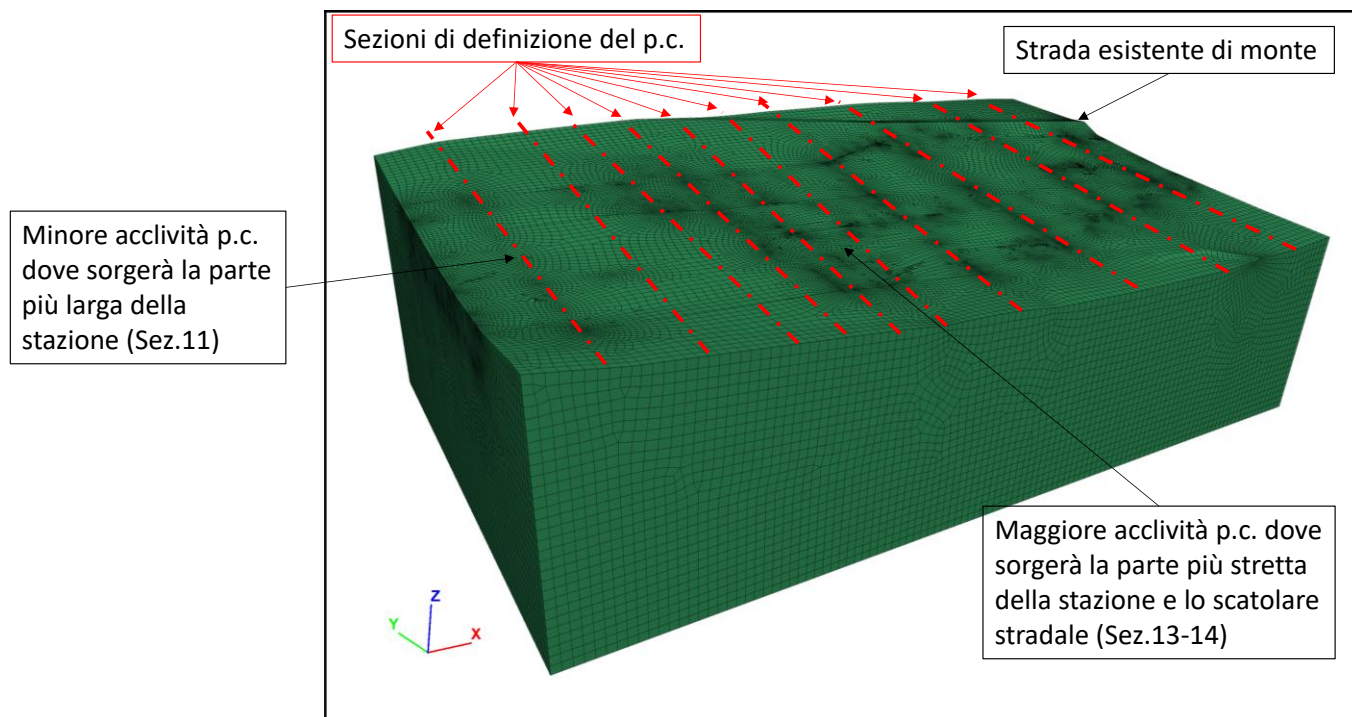


Figura 13. Definizione della superficie del p.c.

### 4.3 Gradonatura di progetto e pali di consolidamento

Lo scavo per la realizzazione della gradonatura di immersione del rilevato è progettata seguendo alcuni principi chiave: limitare il più possibile i volumi di scavo, realizzare i piani di lavoro possibilmente “in scavo” rispetto al p.c. attuale, ottenere delle banche di larghezza circa 9 m in modo che sia possibile posizionare 3 file di pali per ciascuna banca (interasse pali = 3.0 m) e realizzare piste di cantiere raccordabili tra loro in senso longitudinale, in modo da ottimizzare la disposizione planimetrica e l’esecuzione dei pali. In particolare, soddisfare quest’ultimo punto ha richiesto un approfondimento geometrico delle sezioni di progetto, poiché il p.c. presenta una acclività inferiore nella parte iniziale (sezione 11) e finale (sezione 16), mentre vi è una pendenza maggiore nella “conca” centrale (sezioni 13 e 14). A partire dalla gradonatura di sezione 11 (cfr. Figura 14), rispettata fedelmente dal modello 3D, le gradonature delle altre sezioni sono state lievemente adattate, al fine di rispettare i criteri suddetti (cfr. Figura 15 e Figura 16). Le “piste” risultano omogenee, con pendenze longitudinali limitate, quasi interamente in scavo e di larghezza circa 9 m. La disposizione finale dei pali seguirà necessariamente la geometria dei gradoni, rispettando l’interasse longitudinale e trasversale di 3.0 m.

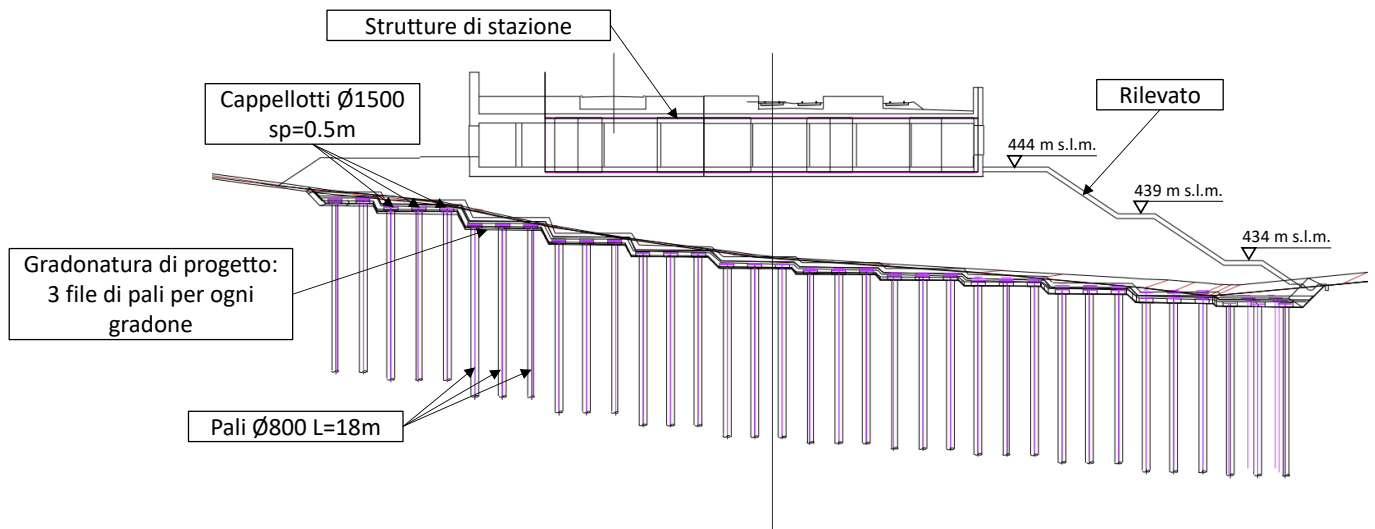


Figura 14. Sezione 11. Sovrapposizione tra sezione di progetto e porzione di geometria implementata nel modello

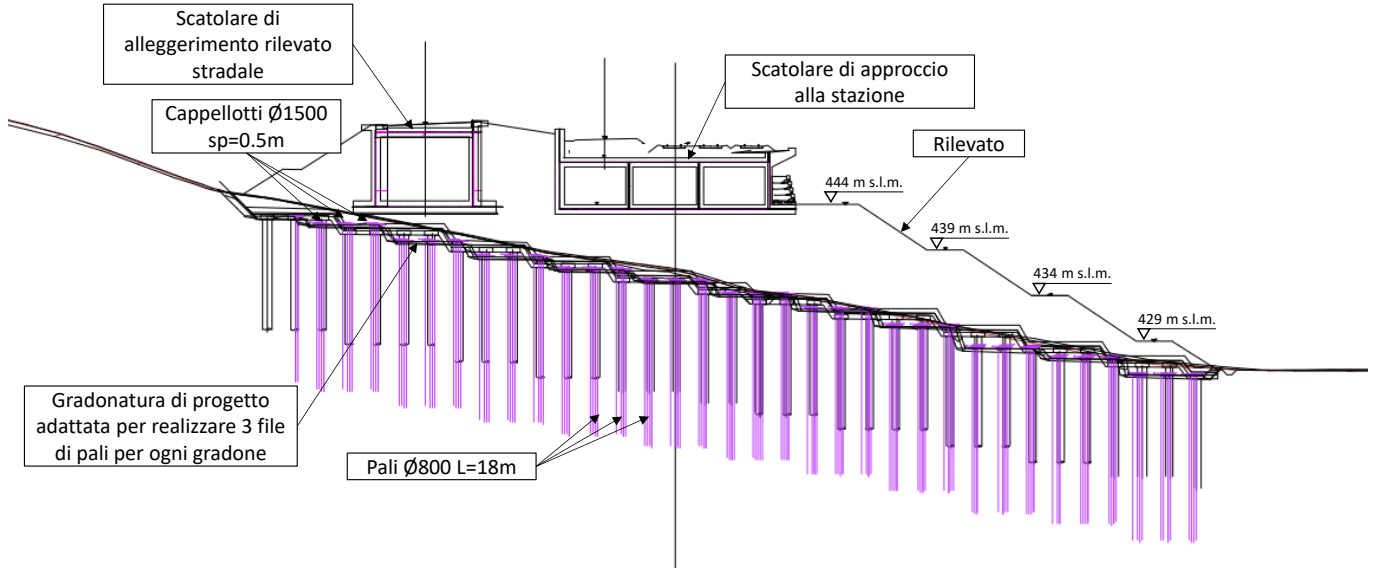


Figura 15. Sezione 14. Sovrapposizione tra sezione di progetto e porzione di geometria implementata nel modello



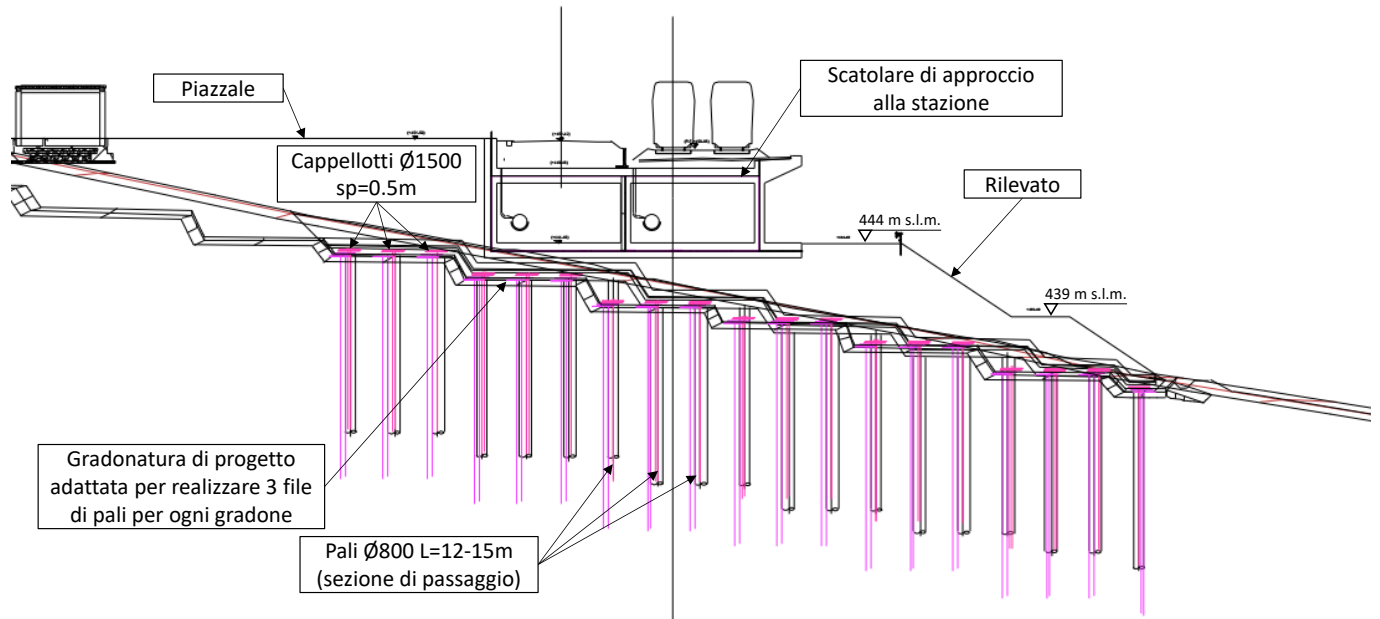


Figura 16. Sezione 16. Sovrapposizione tra sezione di progetto e porzione di geometria implementata nel modello

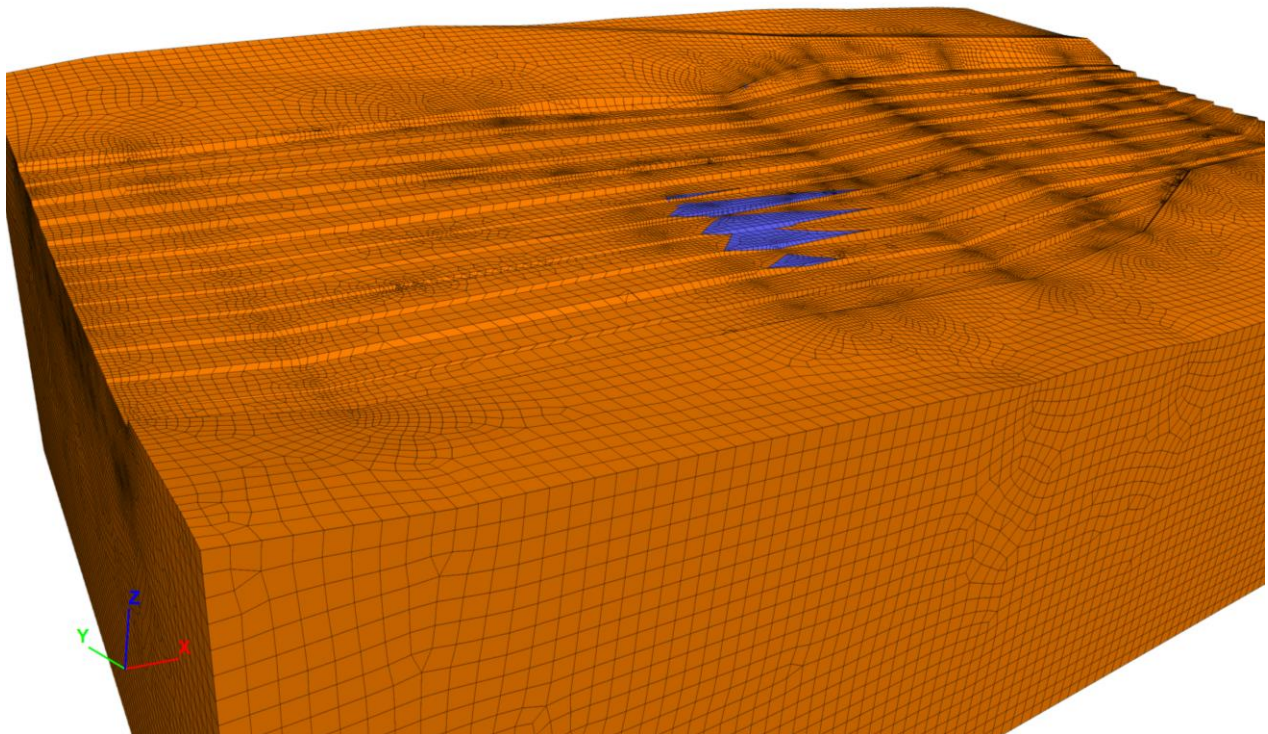


Figura 17. Gradonatura nel modello tridimensionale

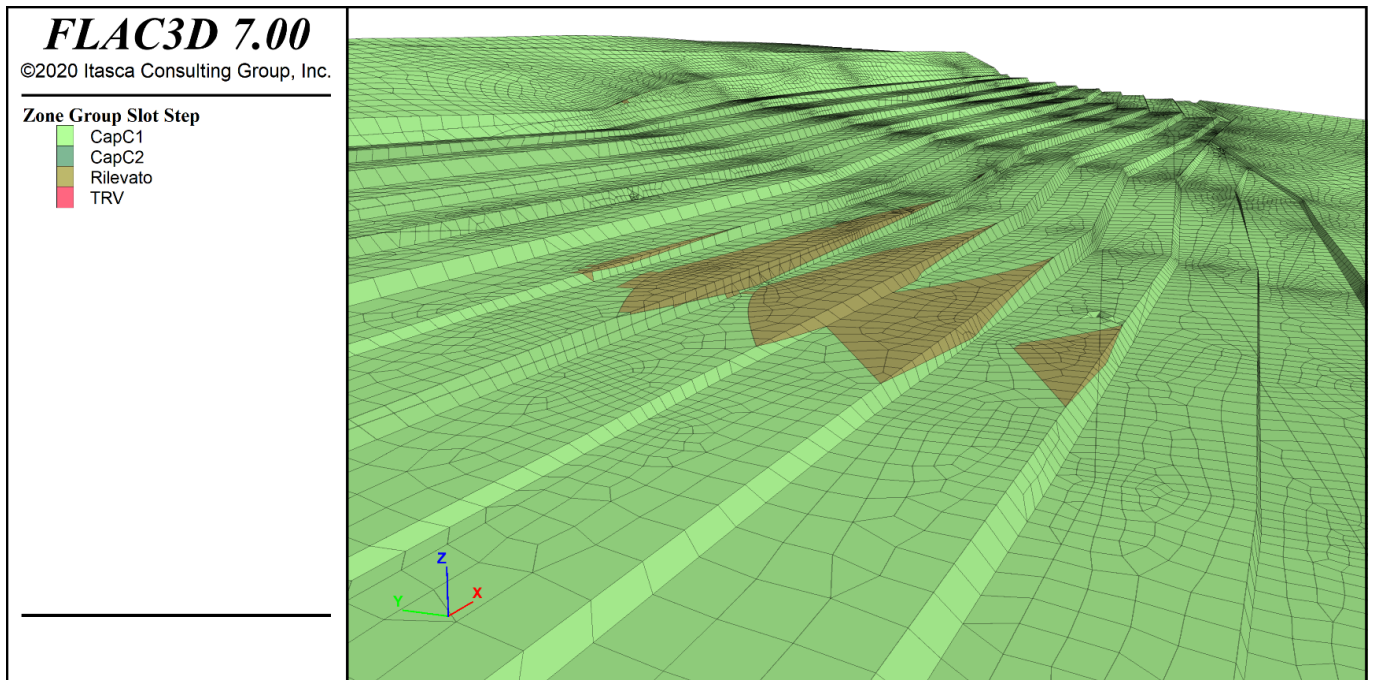


Figura 18. Gradonatura nel modello tridimensionale – ingrandimento porzioni in rilevato

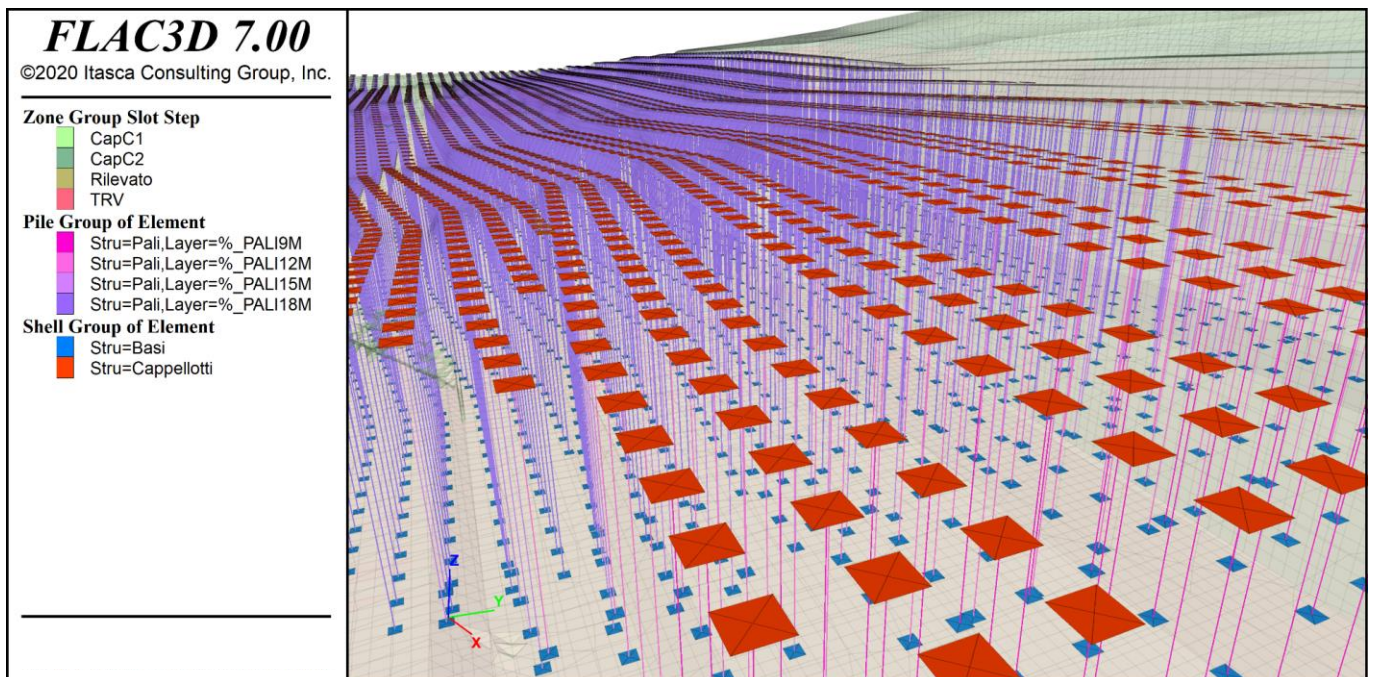


Figura 19. Gradonatura nel modello tridimensionale tale da realizzare 3 file di pali su ogni banca orizzontale