

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE



U.O. INFRASTRUTTURE SUD

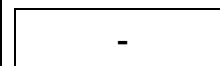
PROGETTO DEFINITIVO

LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

ELABORATI GENERALI – GEOTECNICA-GE

Rilevati stradali - Relazione di stabilità e calcolo cedimenti

SCALA:



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

NN1X 00 D 78 RH GE0600 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	E. Pasquali S. Babbucci	Settembre 2020	G. Ficorella	Settembre 2020	M. D'Avino	Settembre 2020	 ITALFERRO S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Davide Tiberi Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli, 11876
B	Emissione esecutiva	E. Pasquali S. Babbucci	Ottobre 2020	G. Ficorella	Ottobre 2020	M. D'Avino	Ottobre 2020	

File NN1X.00.D.78.RH.GE0600.003.B.docx

n. Elab.: X



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
 LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
 COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
 TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
 RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	2 di 46

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3	LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA	5
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE	6
5	FALDA	14
6	GEOMETRIA SEZIONI E STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO	15
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RILEVATO	18
8	ANALISI STABILITÀ	18
8.1	PREMESSA	18
8.2	METODOLOGIE DI CALCOLO	18
8.3	APPROCCIO NORMATIVO	21
8.3.1	<i>Condizioni Statiche</i>	21
8.3.2	<i>Condizioni Sismiche</i>	21
8.3.3	<i>Parametri sismici</i>	22
8.4	CARICHI APPLICATI	23
8.5	SEZIONE A0-1 NV01	24
8.6	SEZIONE A4-6 NV06B	26
8.7	SEZIONE A1-9 NV03	28
8.8	RIEPILOGO RISULTATI	30
8.1	RISULTATI STABILITÀ IN CONDIZIONI POST SISMA	31
9	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	33
9.1	PREMESSA	33
9.2	CARICHI APPLICATI	34
9.3	FASI COMPUTAZIONALI	34
9.4	SEZIONE A0-1 NV01	35
9.5	SEZIONE A4-6 NV06B	39
9.6	SEZIONE A1-9 NV03	43



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	3 di 46

1 INTRODUZIONE

Nel presente documento si riportano i dimensionamenti e le verifiche geotecniche relative ai rilevati stradali nell'ambito del Progetto Definitivo del Completamento della Metropolitana di Salerno (Tratta Arecchi-Pontecagnano Aeroporto).

Per i rilevati, in corrispondenza delle sezioni di massima altezza, sono state valutate le condizioni di stabilità locale e globale; inoltre, è stata effettuata una stima dei cedimenti nel tempo sul corpo del rilevato.

In generale, per la definizione del modello geotecnico (unità geotecniche e caratteristiche meccaniche) si è fatto riferimento alla Relazione di Caratterizzazione Geotecnica (elaborato NN1X.00.D.78.RH.GE0600.001).

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche;
- Analisi sezioni su cui effettuare le verifiche;
- Verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati;
- Valutazione dei cedimenti dei rilevati e del loro decorso nel tempo.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	4 di 46

2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni. I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018).

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

[N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2.

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 D - Manuale di Progettazione RFI dicembre 2019.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Inoltre si fa riferimento ai seguenti documenti:

2.2.1 Geotecnica

[1] NN1X00D78RHGE0600001 - Relazione Geotecnica Generale

[2] NN1X00D78L6GE0600001-6 - Profilo geotecnico di linea

2.2.2 Geologia

[3] NN1X00D69RGGE0001001 - "Relazione Geologica"

[4] NN1X00D69IGGE0005002 - "Indagini geofisiche"

[5] NN1X00D69SGGE0005001 / NN1X00D69SGGE0005002 – "Indagini geognostiche"

3 LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

La tratta oggetto del presente studio attraversa i comuni di Salerno e Pontecagnano (SA), in una zona prevalentemente pianeggiante. Il tracciato in progetto si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza di circa 8,8 km nel settore centro settentrionale della Piana del Sele ed affianca la linea ferroviaria esistente Salerno – Battipaglia. Il progetto ha inizio dall'attuale stazione Arechi e si protrae fino in prossimità dell'aeroporto (Figura1).

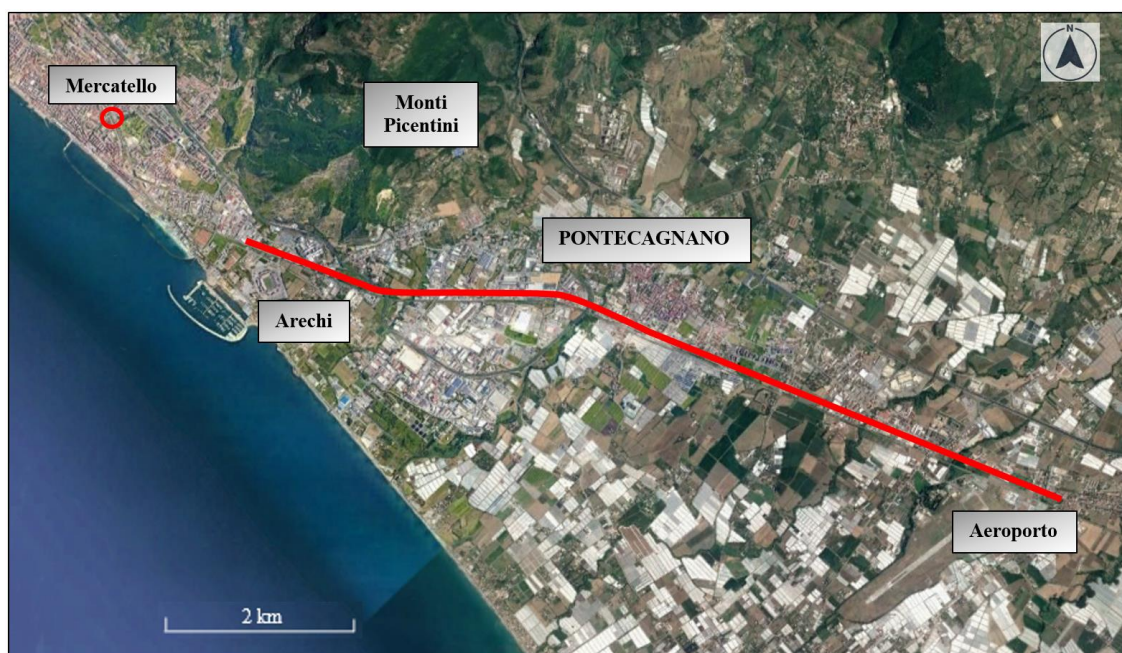


Figura 1 – Immagine aerea dell'area di Salerno e Pontecagnano. In rosso sono evidenziate le tratte oggetto di studio. (Google Earth).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	6 di 46

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici.

Nel seguito vengono definite le unità geologiche e geotecniche intercettate, individuabili graficamente nei rispettivi profili longitudinali a cui si rimanda.

4.1 UNITÀ GEOLOGICHE

Il territorio oggetto degli interventi in progetto si sviluppa lungo la Piana del Sele, nel settore centro settentrionale della pianura, per una lunghezza di 8,8 km circa ed affiancherà la linea ferroviaria Salerno – Battipaglia nei pressi del comune di Pontecagnano. Per quanto concerne la cartografia geologica di riferimento, la cartografia CARG in scala 1: 50.000 copre l'intero territorio oggetto del presente studio. Lo stralcio delle Carta Geologica, Foglio 467 “Salerno”, scala 1: 50.000, ISPRA, in Figura 2, è localizzato lungo il tratto campano del margine tirrenico dell'Appennino meridionale. Questo settore si presenta alquanto articolato per la presenza dei golfi di Napoli e Salerno, individuati da NW a SE dal settore vulcanico Flegreo, dalla Penisola di Sorrento e dal promontorio del Cilento. La penisola Sorrentina insieme all'isola di Capri, sua naturale estensione nel Tirreno, si protende per oltre 30 km in direzione NE-SW e, a differenza del Promontorio Flegreo legato al vulcanismo omonimo di età quaternaria e del Promontorio del Cilento, costituito da successioni bacinali e silicoclastiche di età giurassico-miocenica, è formata da successioni di piattaforma e di rampa carbonatica di età mesozoica. La Piana del Sele e l'antistante Golfo di Salerno costituiscono rispettivamente la porzione emersa e la porzione sottomarina di una importante depressione morfostrutturale (depressione del Sele) evidenziata da una forte anomalia gravimetrica negativa che si allunga in direzione WSW-ENE lungo il lato meridionale della penisola di Sorrento (Marani et alii, 2004). Tale depressione è riempita da alcune migliaia di metri di depositi quaternari, in larga parte di natura epiclastica (es. supersintema Eboli), derivanti dalla rapida erosione dei rilievi carbonatici durante fasi di sollevamento iniziate a partire dal Pleistocene inferiore (Brancaccio et alii, 1991), di fatto contemporaneamente all'inizio della subsidenza nella depressione del Sele. Nel Quaternario assieme alla depressione della Piana del Sele-Golfo di Salerno si delineano anche le depressioni del Golfo di Napoli e, più a nordovest, della piana del Volturno (Milia & Torrente, 2000). Queste depressioni costiere riflettono una forte tettonica estensionale quaternaria a cui si è accompagnata l'attività vulcanica dei Campi Flegrei e del complesso Somma-Vesuvio, responsabile della spessa coltre di vulcanoclastiti che ricoprono quasi ubiquitariamente i rilievi del territorio campano.

La Piana del Sele, come detto, è una pianura alluvionale che occupa la parte emersa del graben peritirrenico del Golfo di Salerno. La parte più interna di questo graben a partire dal Pliocene fu riempita da un'enorme quantità di sedimenti (dello spessore di 2000 m), associata ad una lenta e progressiva subsidenza Quaternario. All'interno della piana la distribuzione spaziale ed altimetrica di questi depositi è molto caratteristica ed appare strettamente influenzata dall'evoluzione tettonica dell'area: i terreni più recenti sono incastrati in quelli più antichi procedendo dalla periferia verso il centro della depressione (Brancaccio et al., 1995). Il basamento della piana (del Miocene superiore) è formato da argille marnose con frequenti intercalazioni arenacee, alla cui sommità sono presenti calcari evaporitici e sedimenti derivati dall'accumulo dei frustoli di diatomee (Ortolani et al., 1979). La parte più interna di tale depressione è occupata da successioni conglomeratiche che si estendono da Salerno ad Eboli, frutto dell'erosione che ha interessato i Monti Picentini in seguito alle condizioni climatiche fredde e ai movimenti tettonici del Pleistocene inferiore (Sintema di Eboli) (Pappone et al., 2009). Questi depositi alluvionali, in massima parte in facies di media e bassa conoide, testimoniano, come accennato in precedenza, le fasi di più forte e rapido sollevamento dei massicci carbonatici bordieri (Monti Picentini) e la contemporanea subsidenza anche sul settore orientale del graben (Brancaccio et al., 1987).

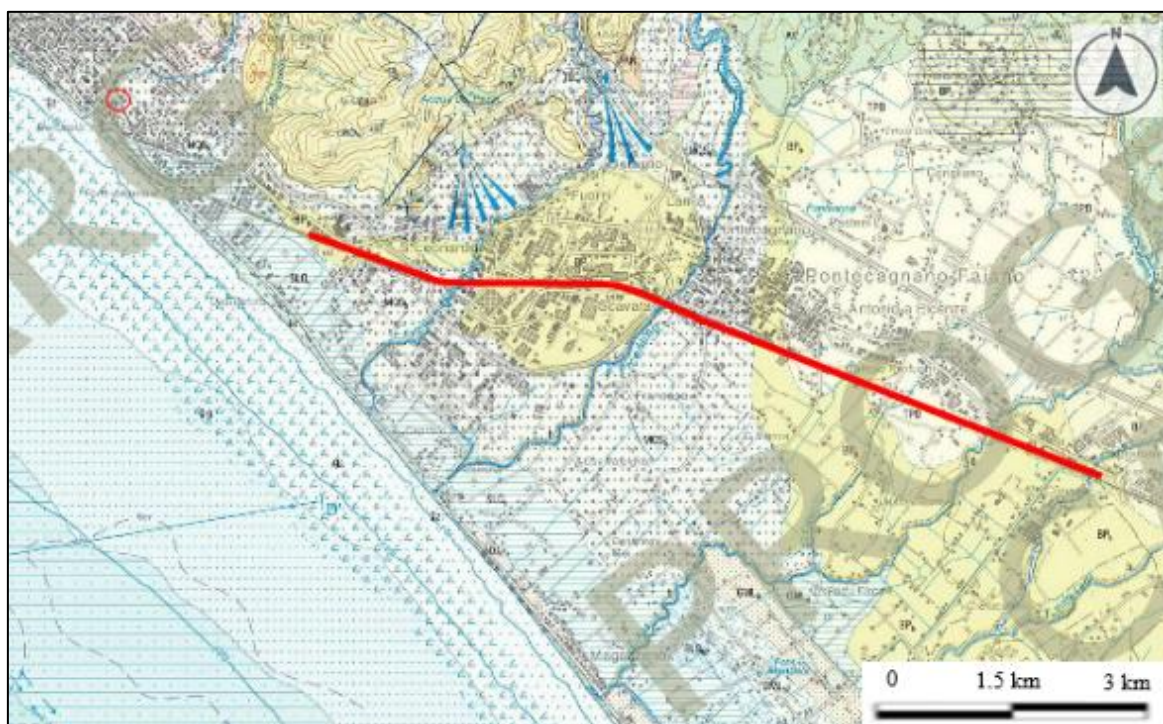


Figura 2 – Stralcio, non in scala, delle Carta Geologica, Foglio 467 “Salerno”, scala 1: 50.000, ISPRA. Il tracciato oggetto di intervento è stato evidenziato in rosso.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	8 di 46

Di seguito si descrivono le formazioni affioranti presso l'area di progetto, le quali si succedono dal basso verso l'alto secondo il seguente ordine stratigrafico:

- **Subunità della Piana del Sele (Settore Salerno – Pontecagnano – Battipaglia):** depositi di questa Subunità rappresentano tutto il Pleistocene e l'Olocene e costituiscono le principali unità di paesaggio della Piana alluvionale e costiera del Sele. Questa subunità è costituita da due importanti supersintemi (supersintema Battipaglia-Persano; supersintema Eboli), da due unità sintemiche (sintema Campolungo; sintema Gromola) e da due unità litostratigrafiche (Travertini di Pontecagnano; unità di Ariano-Torrente Cornea), di cui seguono le descrizioni delle unità riscontrate nell'area di studio:
 - **Supersintema Battipaglia – Persano (BP):** I sedimenti del supersintema occupano una posizione morfo-crono-stratigrafica compresa tra i conglomerati del supersintema Eboli (CE), a monte, ed i primi depositi tirreniani del sintema Gromola (GML), a valle. In relazione agli ambienti di sedimentazione la porzione più recente, di questo supersintema viene distinta nelle seguenti associazioni di litofacies, probabilmente fra loro eteropiche: **BPa**) Porzione deposta in ambiente di conoide alluvionale - Alternanze latero verticali di ghiaie sabbiose, sabbie e, subordinatamente, peliti sabbiose con frazione grossolana poligenica ed eterometrica proveniente dalle locali serie mesozoiche. Verso l'alto passano a sedimenti alluvionali sabbioso-limoso-argillosi con componente piroclastica e con frequenti episodi pedogenici intercalati. In sommità è spesso conservato un paleosuolo bruno scuro, ben strutturato, molto decalcificato ed argillificato. Spessore non inferiore a 30 m. (Tardo Pleistocene Medio-Pleistocene Superiore basale?); **BPb**) Porzione deposta in ambiente di piana costiera - Sedimenti sabbiosi e pelitici, eteropici di quelli della porzione precedente. Si tratta di complessi sabbioso ghiaiosi e sabbiosi di spiaggia e dune litorali (evidenti sono le tracce morfologiche di antichi cordoni litoranei disposte a quote intorno ai 25 m) alternati a complessi pelitici e pelitico-sabbiosi di laguna e/o stagno costiero con associati sedimenti sabbioso-pelitici di ambienti fluvio-palustri. Localmente sono intercalate lenti ghiaiose e sabbioso-ghiaiose di ambiente alluvionale. Spessore non inferiore a 30 m. (Tardo Pleistocene Medio-Pleistocene Superiore basale?); **BPc**) Depositi travertinosi (travertino di Faiano). Questi depositi, affioranti nell'area di Pontecagnano-Faiano, sono costituiti in gran parte da incrostazioni carbonatiche su supporti vegetali di varia natura (piante superiori, muschi, alghe e cianobatteri) e subordinatamente da sabbie calcaree. Tali depositi formano corpi sedimentari terrazzati, la cui origine è da ricondursi ad acque scorrenti sovrasature in carbonato di calcio. Al Supersintema Battipaglia-Persano è ascritta la seguente unità litostratigrafica:
 - **Travertini di Pontecagnano (TPO):** Costituisce un'unità di tipo litostratigrafico rappresentata da un'associazione di litofacies travertinose formatesi in ambiente di piana fluvio-lacustre ed alluvionale s.l. Essa si colloca dal punto di vista crono-stratigrafico tra il sintema Gromola e il sintema Campolungo; gli affioramenti sono rari e non sono esclusi possibili passaggi eteropici con i sedimenti ghiaioso-sabbiosi del sintema Masseria Acqua Santa. Questa unità si sviluppa esclusivamente in pianura (Pontecagnano) ed a tetto del Tufo Grigio Campano (TGC). La potenza, stimata per mezzo di alcuni sondaggi, non supera la ventina di metri. Tardo Pleistocene superiore-Olocene *p.p.*).
 - **Sintema Campolungo (SLG):** I depositi di questo sintema costituiscono un prisma di sedimenti trasgressivi e progradazionali accreionato sul fronte della Piana nel corso dell'Olocene, con spessore crescente da terra, dove sono ubicati i depositi più antichi, verso mare. Tale spessore è stimabile in circa 20 m all'altezza della costa attuale. Si tratta di una successione sedimentaria di depositi eolici, marino costieri, lagunari e palustri di età olocenica s.l.,



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	9 di 46

organizzati in più cicli sedimentari separati da discordanze di natura erosionale rappresentate da superfici di discontinuità connesse alle fasi trasgressivo-regressive responsabili della loro genesi. Il sintema è limitato a tetto dalla superficie topografica, con morfologie dunari ben conservate ed estese su tutta la piana costiera del Sele, da Paestum a Salerno. La base è rappresentata, nel sottosuolo, dalla superficie erosionale determinata dalla regressione tardo-wurmiana. In definitiva, le associazioni di litofacies presenti nel sintema Campolongo possono essere così di seguito sintetizzate. **SLGd)** Sabbie eoliche medie e fini a luoghi rubefatte formanti un cordone dunare costiero potente pochi metri; verso il basso passano a sabbie fossilifere, a luoghi debolmente ghiaiose, di spiaggia s.l. e di spiaggia sommersa. Verso terra sono eteropiche di “e”. Età compresa tra 2,5 ka ed il XX secolo. **SLGe)** Depositi pelitici caratterizzanti il riempimento di depressioni retrodunari: argille, argille-siltose, limi e sabbie fossilifere di ambiente lagunare con *Cardium spp.*, evolventi verso l’alto ad argille, limi e limi torbosi limno-palustri con rare e sottili intercalazioni di livelli sabbiosi (tempestiti?). Lo spessore complessivo non supera i 10 m. Sono particolarmente evidenti i rapporti di eteropia con gli altri sedimenti del sintema. Età compresa tra circa 9 ka e l’epoca moderna. **SLGb2)** Depositi colluviali sabbioso-limosi ricchi di sedimenti di suolo e di frazione organica; disposti lungo il margine interno della depressione retrodunare, mantellano i fianchi di deboli pendii o rivestono il fondo di vallecicole, dove comprendono rari e modesti episodi alluvionali debolmente ghiaiosi. Nel complesso sono eteropici dei sedimenti in facies lagunare e limno-palustre del sintema e presentano uno spessore massimo di alcuni metri. (Olocene).

- **Subunità delle Valli fluviali in destra del Sele (Fiumi Irno, picentino e Tusciano):** I depositi di questa subunità sono riferibili a tutto il Pleistocene e sono pertinenti le principali unità di paesaggio fluviali che caratterizzano indistintamente tanto la Piana del Sele che i settori vallivi solcanti il rilievo dei Monti Picentini. In particolare, nell’area di Piana dominano le più recenti facies fini alluvionali e marino-transizionali spesso eteropiche di facies esclusivamente di ambiente di piana costiera. Segue la descrizione dell’unità riscontrata nell’area di studio:

- **Sintema Masseria Acqua Santa (MQS):** Questo sintema caratterizza la complessa sedimentazione delle basse valli dei fiumi Irno, Picentino e Tusciano con passaggi eteropici a sedimenti detritico-alluvionali disposti al piede dei rilievi. Cronostratigraficamente i sedimenti si collocano a tetto del Tufo Grigio Campano (TGC), nel tardo Pleistocene sup.-Olocene inf. A valle la superficie-limite superiore di origine deposizionale scompare sotto i sedimenti del sintema Campolongo (SLG); nella zona del Tusciano, morfologicamente, essa dà luogo ad un corpo alluvionale che si incastra nel sintema Fasanara (NSR) e la cui base scende al di sotto del livello del mare attuale. Nelle valli del Picentino e dell’Irno, la superficie-limite superiore coincide o con la superficie dei conetti detritico-alluvionali laterali o con le spianate dei terrazzi fluviali (almeno due ordini di cui uno ben evidente). La superficie limite-inferiore è una superficie erosiva impostata tanto sui depositi del substrato calcareo mesozoico locale e tanto sui depositi conglomeratici e travertinosi più antichi (BP, CE, GML e NSR) sospesi sul fondovalle. Nel complesso il sintema è composto da ghiaie e sabbie poligeniche fluviali s.l., con subordinati episodi pelitici. I conoidi alluvionali sono costituiti prevalentemente da ghiaie calcaree poligeniche fini supportate da matrice piroclastica, alternate a colluvioni vulcanoclastiche e sedimenti di suolo. Le falde detritiche sono composte prevalentemente da brecce stratoidi incoerenti a matrice piroclastica e con clasti calcarei centimetrici spigolosi. A luoghi nella successione si riscontrano livelli di corpi di frana s.l. del tipo *debris-mud-earth flows*. Sono eteropici di conglomerati e sabbie fluviali, colluvioni vulcanoclastiche, livelli limno-palustri, vulcanitici e di travertino nel sottosuolo. Nel complesso la potenza dei depositi di questo sintema, estrapolata mediante stratigrafie di sondaggi geognostici, si aggira mediamente intorno ai 20 m. (Tardo Pleistocene sup.-Olocene).

- **Unità ubiquitarie non completamente formate dell’area continentale:**



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	10 di 46

- *Depositi alluvionali (b)*: Sedimenti fluviali e alluvioni ghiaiose; sabbie, sabbie ghiaiose e/o limose e limi di fondovalle fluviale caratterizzanti le aree golenali dei principali corsi d'acqua (F. Irno, F. Picentino, F. Tusciano, T. Asa, T. Cornea, ecc.); a luoghi appaiono disposti in modesti, limitati e discontinui terrazzamenti in alveo o chiaramente reincise. (Olocene).

Riassumendo, la tratta in esame, che si sviluppa lungo il tracciato evidenziato in rosso in Figura 2, interseca i depositi alluvionali caratterizzati da ghiaie, sabbie, sabbie ghiaiose e/o limose e limi alluvionali di fondovalle fluviale caratterizzanti le aree golenali (**b**); depositi pelitici caratterizzanti il riempimento di depressioni retrodunari: argille, argille limose, limi e sabbie fossilifere di ambiente lagunare con spessori inferiori a 10 m (**SLGe**); depositi fluvio-lacustri e travertini rappresentati da livelli fitoclastici, fitotermali e sabbiosi, stratoidi da medi a sottili e talvolta separati da orizzonti pedogenici o da depositi colluviali o piroclastici, lo spessore complessivo è di circa 20 m (**TPO**); due litofacies del supersintema Battipaglia – Persano: alternanze latero-verticali di ghiaie sabbiose, sabbie e peliti sabbiose con frazione grossolana poligenica ed eterometrica con spessore non inferiore a 30 m (**BPa**) e sedimenti prevalentemente fini di ambiente di piana costiera, si tratta di complessi sabbioso ghiaiosi e sabbiosi di spiaggia e dune litorali con spessori non inferiori a 30 m (**BPb**); ghiaie calcaree fini con matrice piroclastica e sedimenti di suolo deposti in contesti di conoide alluvionale, lo spessore è di circa 20 m (**MQSb**).

4.2 UNITÀ GEOTECNICHE

Lungo il tracciato dalle indagini eseguite sono state intercettate le seguenti unità geologiche, definite in precedenza e qui di seguito elencate.

Unità geologica	Descrizione	Unità geotecnica di riferimento
-	Coltre vegetale e materiale antropico	Riporto, R
MQS: Sintema Masseria Acqua Santa	Ghiaie e sabbie fluviali. Ghiaie calcaree poligeniche fini con matrice piroclastica alternate a colluvioni vulcanoclastiche. Spessore medio 20m.	Sabbia, S
		Ghiaia, G
TPO: Travertini di Pontecagnano	Depositi fluvio-lacustri e travertini stratoidi da medi a fini. Non si escludono possibili passaggi eteropici con MQS, spessore medio 20m.	Argilla, A
		Limo, L
		Sabbia, S
		Ghiaia/ciottoli/travertini, G
BPa: Supersintema Battipaglia – Persano	Alternanze di ghiaie sabbiose, sabbie e peliti sabbiose. Spessore non inferiore a 30m.	Limo, L
		Argilla, A
		Sabbia, S
BPb: Supersintema Battipaglia – Persano	Complessi sabbioso-ghiaiosi e sabbia di spiaggia e dune litorali alternati a complessi pelitici e pelitici sabbiosi di laguna. Spessore non inferiore a 30m.	Sabbia, S
		Ghiaia, G

Per quanto riguarda le unità geotecniche, data la ricorrenza della medesima tipologia di materiale all'interno delle diverse unità geologiche, si è deciso di procedere ad una classificazione sulla base della granulometria e dei risultati delle prove penetrometriche (SPT); sulla base dei nuovi dati raccolti si mantiene la classificazione geotecnica indicata nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica, in cui si distinguevano le seguenti sub-unità geotecniche:

- **Argilla (A)**
 - Di scarsa consistenza (A1)
 - Di media consistenza (A2)
- **Limo (L)**
 - Di scarsa consistenza (L1)
 - Di media consistenza (L2)



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	12 di 46

- Di alta consistenza (L3)
- **Sabbia (S)**
 - Sabbia media (S)
 - Sabbia limosa (SL)
- **Ghiaia (G)**
 - Ghiaia e sabbia (G/S)

Le principali caratteristiche delle unità geotecniche intercettate, si presentano praticamente omogenee (nell'ambito della normale variabilità geotecnica) lungo tutto lo sviluppo del tracciato.

4.3 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Nella seguente tabella si sintetizzano i valori dei parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate.

	Peso di volume naturale	Angolo di resistenza al taglio	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni	Nspt caratteristico	Permeabilità
	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kPa]	C_u [kPa]	$E_0^{(1)}$ [MPa]	[colpi/30 cm]	k [m/s]
Riporto R	18-20	31-33	-	-	100-150	5-25	$\sim 1.0 E^{-05}$
Argilla scarsa consistenza A1	16-18	19-21	5-10	20-40	100-300 z<30 m	<5	$5.6 E^{-08}$
Argilla media consistenza A2	18-20	19-23	10-20	70-120	300-400 z<30 m	5-40	$5.6 E^{-08}$
Limo scarsa consistenza L1	17-19	22-25	2-5	20-50	85-200 z<30 m 200 – 600 30<z<50 m	<10	$3.5 E^{-06}$
Limo media consistenza L2	17-19	22-25	10-15	45-90	200-350 z<30 m 350-850 30<z<50 m	10-20	$3.5 E^{-06}$
Limo alta consistenza, L3	17-19	22-25	15-30	90-180	400-470 z<30 m 470-1000 30<z<50m	20-40	$3.5 E^{-06}$
Sabbia Limosa SL	18-20	26-30	0-5	-	200-400 z<36 m	15-30	$1.2 E^{-07} - 3.6 E^{-06}$
Sabbia media S	18-20	29-33	-	-	400-800 z<36 m	30-50	$3.6 E^{-06} - 1.4 E^{-05}$
Ghiaia/sabbia G/S	18-19	33-37	-	-	300-800 z<30 m 800-1500 30<z<50 m	30-50	$7.8 E^{-05} - 1.5 E^{-04}$

(1) I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

5 FALDA

Nel profilo stratigrafico longitudinale è rappresentato graficamente l'andamento del livello di falda lungo il tracciato da considerare per il dimensionamento delle opere definitive a lungo termine.

In generale il livello massimo della falda è variabile lungo il tracciato con andamento oscillante tra 5 m e 8 m di profondità da p.c.

Per il dimensionamento delle opere si farà riferimento al valore di falda delle indagini più vicine, in accordo a quanto riportato nel profilo geotecnico.

I valori di soggiacenza della falda si mantengono praticamente costanti con una variazione compresa in generale tra 0.05-0.5 m, presentando un abbassamento nelle ultime misure, legata probabilmente al periodo estivo. Le letture sono graficate nella figura seguente.

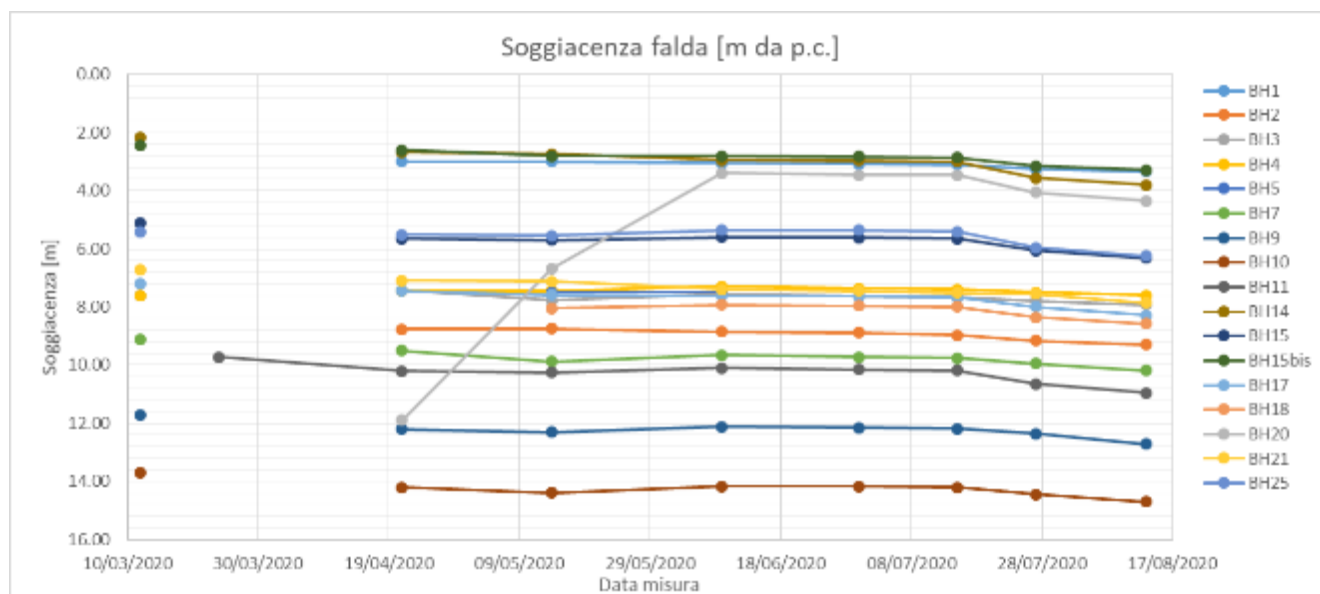


Figura 3 – Andamento del livello piezometrico

6 GEOMETRIA SEZIONI E STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

L'analisi di stabilità e dei cedimenti per i rilevati stradali è stata condotta cautelativamente per tre sezioni. Queste sezioni sono state scelte suddividendo l'altezza massima incontrata nelle rilevati in tre classi e individuando per ciascuna classe una sezione di riferimento.

Le classi individuate per la verifica sono le seguenti:

- **H > 4 m:** Sezione a0-1 NV01 pk 1 + 450 H = 5.00 m
- **2 < H > 4 m:** Sezione a4-6 NV06B pk 8+800 H = 2.40 m
- **H < 2 m:** Sezione a1-9 NV03 pk 6+200 H = 1.65 m

• Sezione a0-1 NV01 (Tratta 2)

H = 5.00 m – pk 1 + 450

SCAVI E BONIFICHE	
FOSSO	1.007 m ²
RILEVATI	88.655 m ²
TERRENO VEGETALE	18.795 m
SOVRASTRUTTURA STRADALE	
STRATO DI BINDER	8.000 m
STRATO DI BASE	8.000 m
STRATO DI FONDAZIONE	1.709 m ²
MANUFATTI	
CORDOLO	0.183 m ²
MARCIAPIEDE	0.246 m
STRATO DI FONDAZIONE MARCIAPIEDE	0.067 m ²

SEZIONE N. a0-1
QT. PROGETTO: 22.137
DIST. PROG.: 0.000
DIST. SUCC.: 25.500

SCALA 1:200

QUOTE TERRENO	17.008	17.030	16.996	16.962	16.996	16.963	16.918
DIST. PARZIALI TERRENO		6.927	10.129	3.344	6.888	9.140	4.271
QUOTE PROGETTO		17.005	17.292	17.292	17.292	17.292	16.957
DIST. PARZIALI PROGETTO		6.397	1.100	4.000	5.873	6.499	
QUOTE FINITO	17.008	17.008	17.008	17.008	17.008	17.008	16.956
DIST. PARZIALI FINITO		7.519	1.260	3.850	3.850	1.260	7.616

Unità	da	a	γ	φ'	c'	Cu	EO ⁽¹⁾
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]	MPa
R	0.0	1.20	19	32	-	-	125
L1	1.20	10.00	18	23	3	35	142
L3	10.00	18.50	18	23.5	22.5	135	435

⁽¹⁾I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

La falda si ubica ad una profondità di 8.0 m dal p.c.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
 LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
 COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
 TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
 RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	16 di 46

• **Sezione a4-6 NV06B (Tratta 3)**

H = 2.40 m – pk 8+800:

SCAVI E BONIFICHE	
STERRO	3.379 m ²
FOSSO	0.461 m ²
RILEVATI	
RILEVATO	5.101 m ²
TERRENO VEGETALE	12.600 m
SOVRASTRUTTURA STRADALE	
CASSONETTO	0.400 m
BANCHINA	6.800 m
MANUFATTI	
CORDOLO	0.070 m ²
MARCIAPIEDE	0.160 m

SEZIONE N.: a4-6
 QT. PROGETTO: 48.370
 DIST. PROG.: 21.663
 DIST. PREC.: 4.253
 DIST. SUCC.: 3.337

SCALA 1:200

QT. RIF. 45.000

QUOTE TERRENO	48.281	48.275	48.252	48.256	48.211	48.081	48.252
DIST. PARZIALI TERRENO	1.879	1.918	6.513	1.272	9.109	3.831	15.951
QUOTE PROGETTO			48.272	48.277	48.200	48.100	48.273
DIST. PARZIALI PROGETTO			6.144	4.200	4.000	1.100	2.873
QUOTE FINITO			48.272	48.270	48.370	48.300	48.557
DIST. PARZIALI FINITO			6.800	3.800	3.800	12.800	4.088

Unità [-]	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	Cu [kPa]	E0 ⁽¹⁾ MPa
R	0.0	1.10	19	32	-	-	125
L2	1.10	10.00	18	23	12	67	275
L3	10.00	36.50	18	23.5	22.5	135	435

⁽¹⁾I moduli di deformabilità “operativi” (E’) da adottare nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

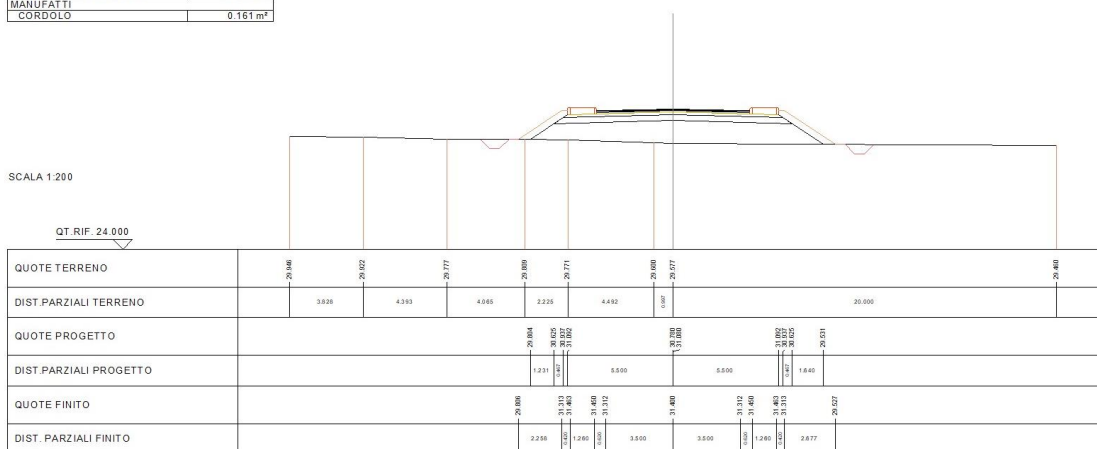
La falda si ubica ad una profondità di 5.8 m dal p.c.

• **Sezione a1-9 NV03 (Tratta 3)**

H = 1.65 m – pk 6+200

SCAVI E BONIFICHE	
FOSSO	0.976 m³
RILEVATI	
RILEVATO	18.434 m³
TERRENO VEGETALE	6.532 m
SOVRASTRUTTURA STRADALE	
STRATO DI USURA	8.000 m
STRATO DI BINDER	8.000 m
STRATO DI BASE	8.000 m
STRATO DI FONDAZIONE	1.885 m³
MANUFATTI	
CORDOLO	0.161 m³

SEZIONE N.: a1-9
QT. PROGETTO: 31.400
DIST. PROG.: 85.510
DIST. PREG.: 0.010
DIST. SUCC.: 14.490



Unità [-]	da [m]	a [m]	γ [kN/m³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	Cu [kPa]	E0 ⁽¹⁾ MPa
R	0.0	1.00	19	32	-	-	125
L2	1.00	5.20	18	23	12	67	275
S	5.20	18.00	19	31	-	-	600

⁽¹⁾I moduli di deformabilità “operativi” (E’) da adottare nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

La falda si ubica ad una profondità di 6.8 m dal p.c.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	18 di 46

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RILEVATO

Per il corpo del rilevato sono stati utilizzati i seguenti parametri caratteristici:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
- $\phi' = 38^\circ$ angolo di resistenza al taglio
- $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- $E0 = 300 - 400 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni

8 ANALISI STABILITÀ

8.1 PREMESSA

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità globali dei rilevati delle viabilità in progetto. I rilevati sono previsti con pendenza delle scarpate 2 (verticale) / 3 (orizzontale).

8.2 METODOLOGIE DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità per le scarpate definitive dei rilevati sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto da normativa vigente.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato Slide 7.0, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni. Nelle analisi sono state ovviamente trascurate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo quanto previsto da normativa, per le analisi di stabilità in condizioni statiche SLU, i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

$\gamma_{\phi} = 1.25$ coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio

$\gamma_{c'} = 1.25$ coefficiente parziale per la coesione drenata

L'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

$\tan(\phi'_k) = \tan(\phi'_k) / \gamma_{\phi'}$ angolo di resistenza al taglio

$c'_k = c'_k / \gamma_{c'}$ coesione drenata

Unità [-]	Parametri di progetto		Parametri minorati in condizioni statiche SLU	
	ϕ' [°]	c' [kPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
R	32	-	26.56	-
L1	23	3	18.75	2.4
L2	23	12	18.75	9.6
L3	23	17	18.75	13.6
S	31	-	25.67	-
r	38	-	32	-

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.1 (γ_R) in condizioni SLU statiche, quindi il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è $FS \geq 1.1$.

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione $Ed < Rd$ [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

La stratigrafia, la quota di falda e i parametri geotecnici caratteristici sono desunti dalla caratterizzazione geotecnica definita nella Relazione di Geotecnica Generale. I parametri geotecnici di calcolo fattorizzati, nonché il valore dei sovraccarichi amplificati utilizzati nelle analisi, sono riportati nelle figure insieme ai risultati.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	20 di 46

Per quanto concerne le sezioni in rilevato, i risultati sono riportati da Figura 4.

Nelle figure illustrate nei paragrafi 8.5-8.7, viene riportato la superficie di scorrimento avente fattore di sicurezza più basso fra tutte le superfici che coinvolgono un volume di terreno rilevante e che comprendano la presenza del sovraccarico stradale. Infatti, i risultati escludono le superfici corticali, ovvero quelle interessate da meccanismi di rottura “superficiali”, potenzialmente escluse dalla presenza di vegetazione sulla scarpata del rilevato.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	21 di 46

8.3 APPROCCIO NORMATIVO

Le valutazioni sulla stabilità delle scarpate sono state fatte sulla base delle prescrizioni della normativa di riferimento (NTC 2018) [N1], utilizzando quindi la Combinazione 2 dell'Approccio 1: A2+M2+R2.

8.3.1 Condizioni Statiche

I fattori parziali applicati al calcolo sono assunti pari:

- Sovrastruttura stradale: amplificato moltiplicando per 1 il valore caratteristico;
- Sovraccarico accidentale stradale: amplificato moltiplicando per 1.3 il valore caratteristico;
- Tangente dell'angolo di attrito di calcolo: ridotta dividendo per 1.25 il valore caratteristico;
- Coesione efficace di calcolo: ridotta dividendo per 1.25 il valore caratteristico;
- Coesione non drenata di calcolo: ridotta dividendo per 1.4 il valore caratteristico;
- Coefficiente sulle resistenze pari a 1.1.

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.1 (γ_R) in condizioni SLU statiche, quindi il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è $FS \geq 1.1$

8.3.2 Condizioni Sismiche

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione $E_d < R_d$ [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari $\alpha \gamma_R = 1.2$.

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:

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

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

dove:

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



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
 LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
 COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
 TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
 RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	22 di 46

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

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

$$kv = \pm 0.5 \cdot kh$$

dove:

kh = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

kv = 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 le analisi di stabilità sismiche SLV di fronti di scavo e rilevati si sono quindi utilizzati i seguenti parametri.

- Sovrastruttura stradale: non amplificato;
- Sovraccarico accidentale stradale: coefficiente di combinazione pari a 0.2;
- Tangente dell'angolo di attrito di calcolo: pari al valore caratteristico;
- Coesione efficace di calcolo: pari al valore caratteristico;
- Coesione non drenata di calcolo: pari al valore caratteristico;
- Coefficiente sulle resistenze pari a 1.2.
- β_s = 0.38;

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.2 (γ_R) in condizioni SLV sismiche, quindi il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è FS ≥ 1.2.

8.3.3 Parametri sismici

I parametri sismici, in questo caso l'accelerazione massima di picco (comprensiva quindi di amplificazione topografica e stratigrafica), sono desunti dalla Relazione Geologica [4].

In particolare, per verifiche di tipo SLV, VR= 112.5 anni:

- Tratta 1 da pk 0+000 a pk 0+822: Categoria di sottosuolo C, a_{max} = 0.196g
- Tratta 2 da pk 0+822 a pk 4+722: Categoria di sottosuolo E, a_{max} = 0.212g.
- Tratta 3 da pk 4+722 a pk 8+811: Categoria di sottosuolo C, a_{max} = 0.196g.

In questo modo i parametri sismici adottati nelle diverse sezioni sono i seguenti:

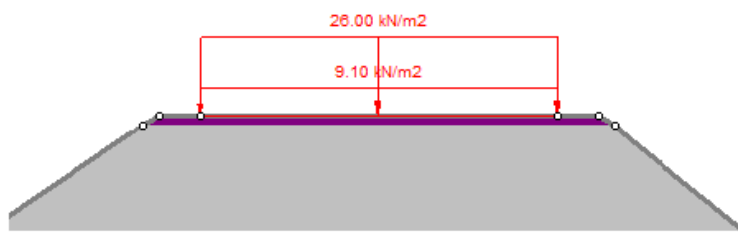
	Tratta	a _{max}	β _s (SLV)	kh	kv(+)	kv(-)
sez NV01	2	0.212	0.38	0.081	0.040	-0.040
sez NV06	3	0.196	0.38	0.074	0.037	-0.037
sez NV03	3	0.196	0.38	0.074	0.037	-0.037

8.4 CARICHI APPLICATI

Il sovraccarico stradale è pari a 20 kPa mentre Il carico permanente dato dal peso del pacchetto stradale $q=7.00$ kN/m.

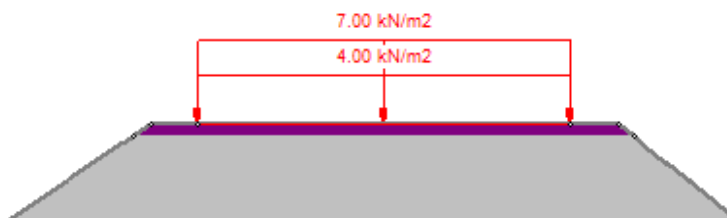
✓ Carichi di calcolo condizioni Statiche (App. 1 Comb. 2 A2+M2+R2):

- Carico permanente: 9.1 kPa
- Carico accidentale: 26.0 kPa



✓ Carichi di calcolo in condizioni sismiche:

- Carico permanente: 7.0 kPa
- Carico accidentale: 4.0 kPa (coefficiente di combinazione pari a 0.2 come da § 5.2.2.8 della NTC2018).



Per quanto riguarda il nuovo rilevato, si considerano i seguenti parametri di calcolo M2:

- $\gamma = 20$ kN/m³ peso di volume naturale
- $\phi' = 32^\circ$ angolo di resistenza al taglio
- $c' = 0$ coesione drenata

8.5 SEZIONE A0-1 NV01

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità delle scarpate sia in condizioni statiche che sismiche SLU (con $\pm K_v$).

Nelle immagini successive sono rappresentati due fattori di sicurezza minimi:

- L'Fs più elevato riguarda le superfici di rottura che partendo dal piano della piattaforma raggiungono il piano campagna;
- L'Fs minore pur potendo essere considerato superficiale, interessa però il carico dovuto al treno.

Entrambi risultano comunque verificati.

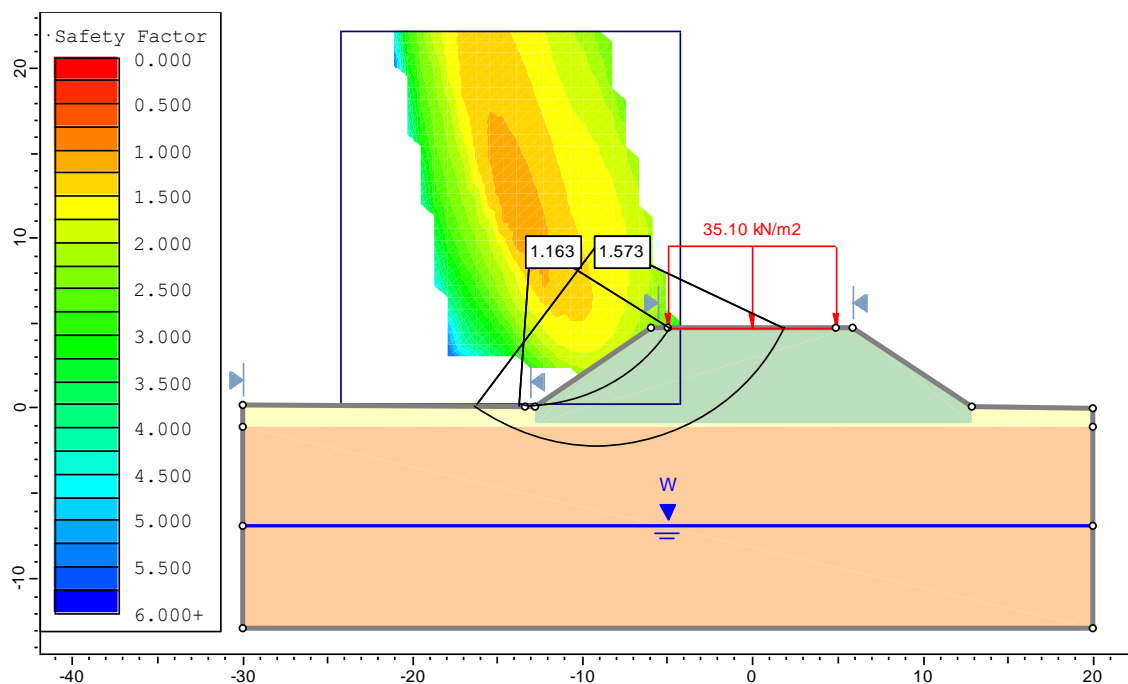


Figura 4– Analisi di stabilità statica – Rilevato $H > 4$ m

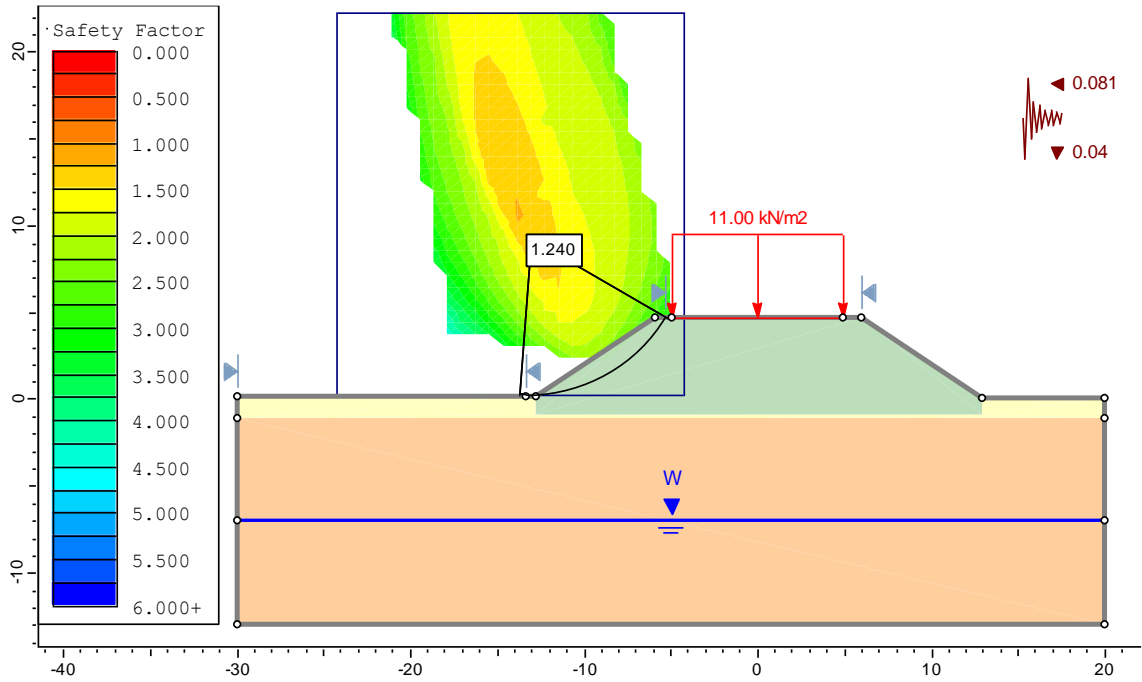


Figura 5– Analisi di stabilità sismica (kv+) – Rilevato $H > 4$ m

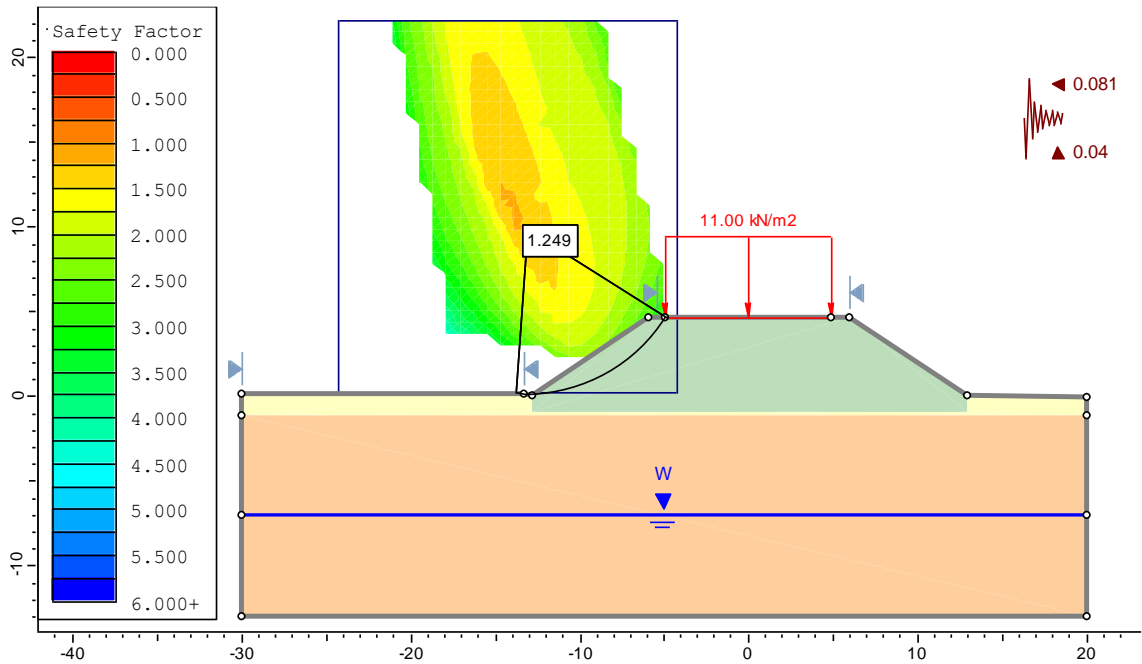


Figura 6– Analisi di stabilità sismica (kv-) – Rilevato $H > 4$ m

8.6 SEZIONE A4-6 NV06B

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità delle scarpate sia in condizioni statiche che sismiche SLU (con $\pm K_v$).

Nelle immagini successive sono rappresentati i due di fattori di sicurezza minimi:

- L'Fs più elevato rappresenta la superficie di rottura più critica che partendo dal piano della piattaforma raggiunge il piano campagna;
- L'Fs minore pur potendo essere considerato superficiale, potrebbe arrivare ad interessare parte della superficie del rilevato.

Entrambi risultano comunque verificati.

La verifica della sezione è stata effettuata specchiando la sezione, in quanto il programma di calcolo Slide effettua la computazione solo con superfici di rottura orientate a destra.

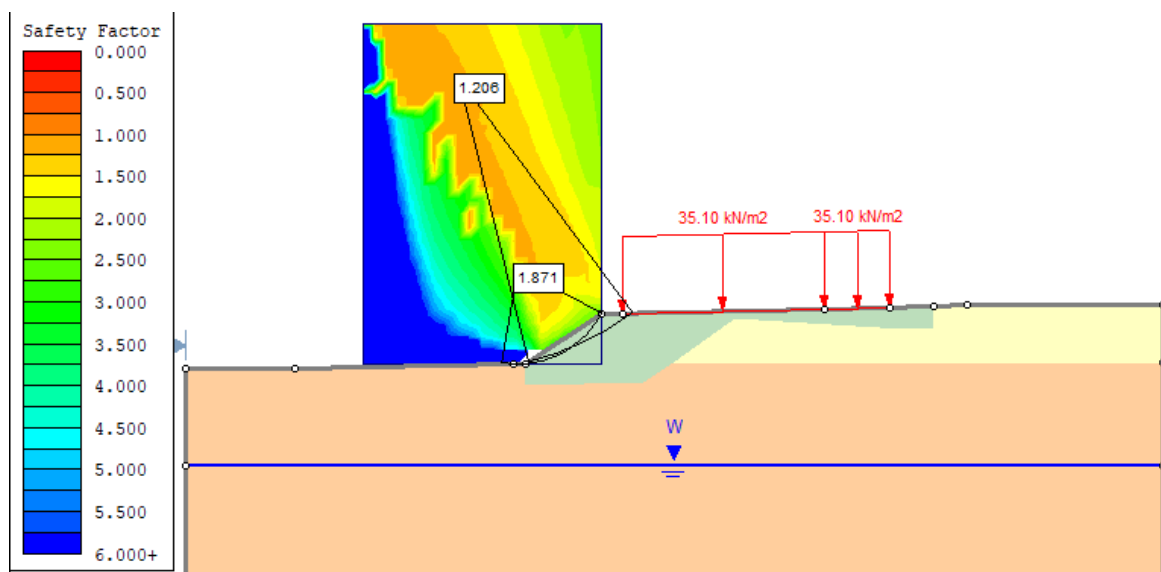


Figura 7– Analisi di stabilità statica – Rilevato $2 < H < 4 m$

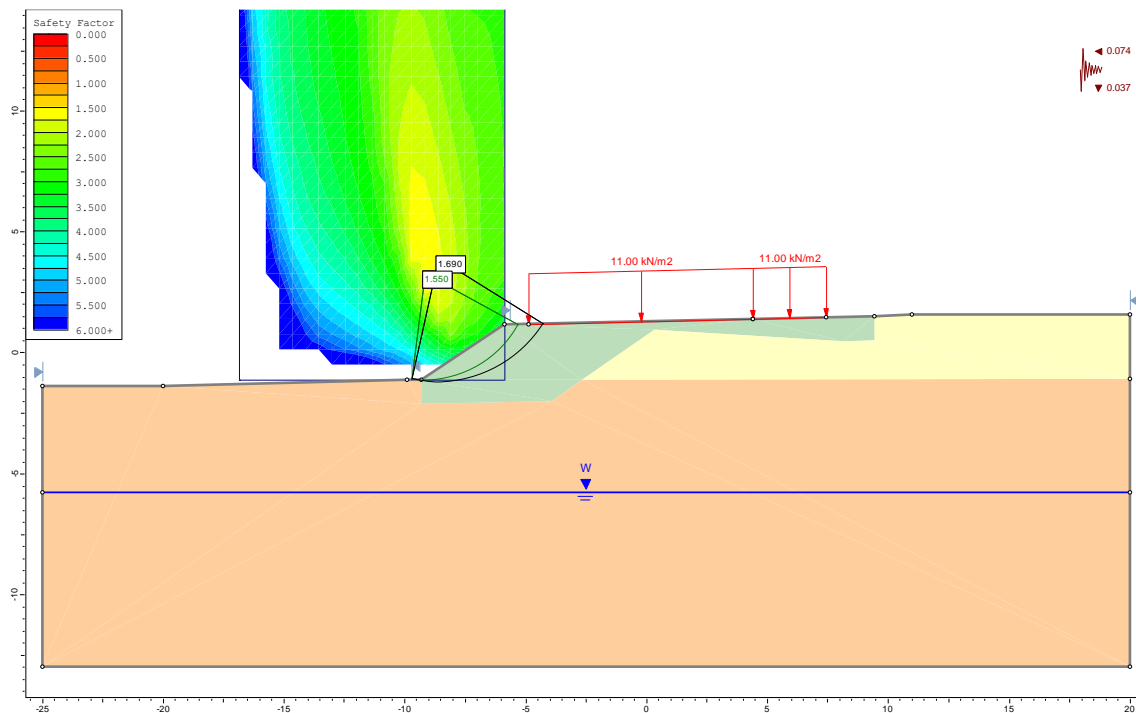


Figura 8– Analisi di stabilità sismica (kv+) – Rilevato $2 < H < 4$ m

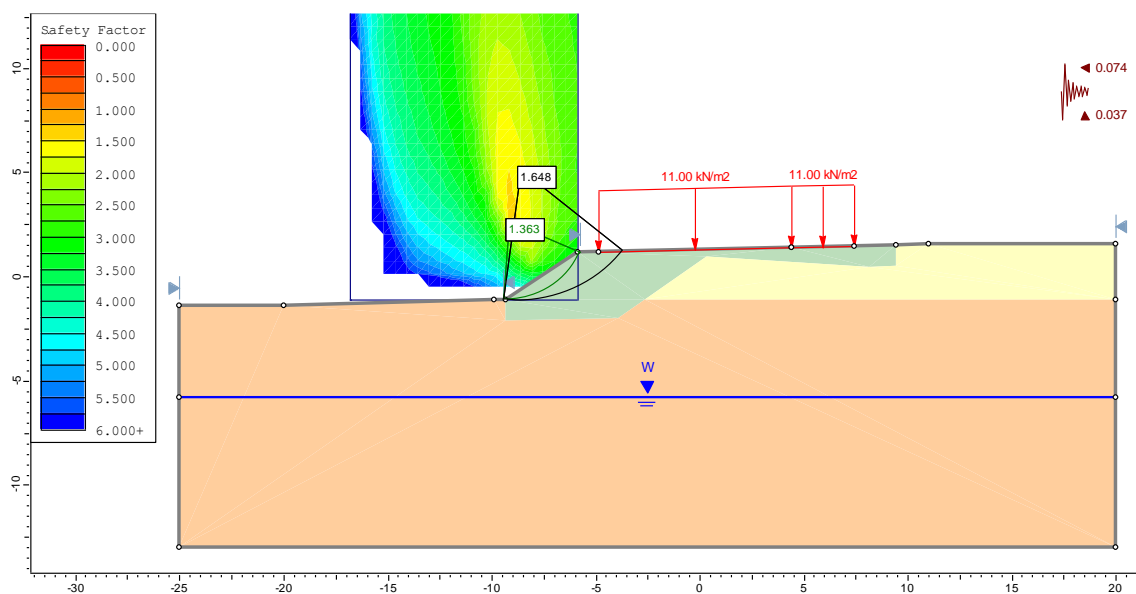


Figura 9– Analisi di stabilità sismica (kv-) – Rilevato $2 < H < 4$ m

8.7 SEZIONE A1-9 NV03

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità delle scarpate sia in condizioni statiche che sismiche SLU (con $\pm K_v$).

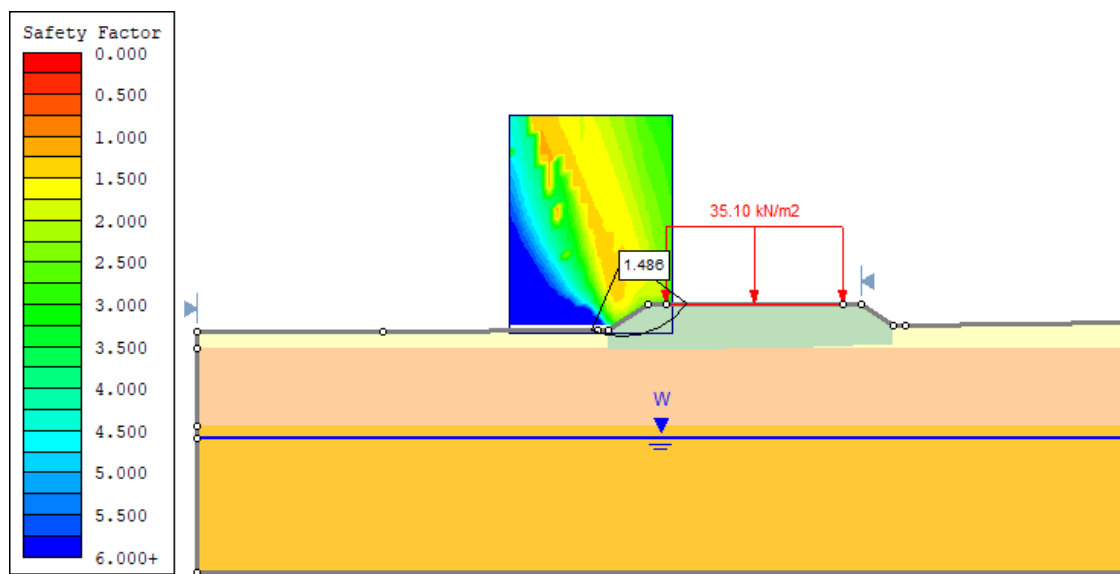


Figura 10– Analisi di stabilità statica – Rilevato $H < 2$ m

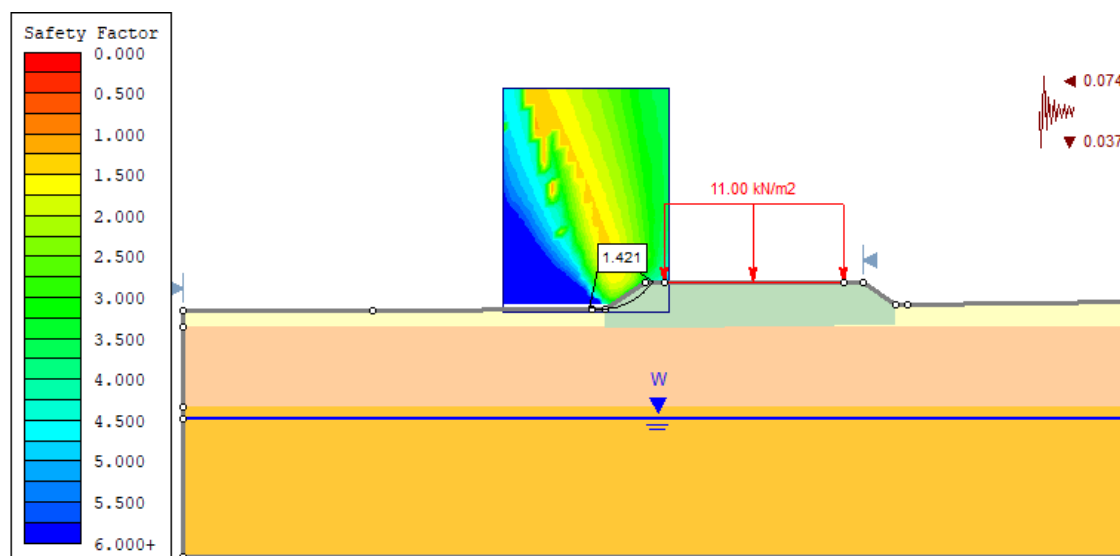


Figura 11– Analisi di stabilità sismica (k_v+) – Rilevato $H < 2$ m

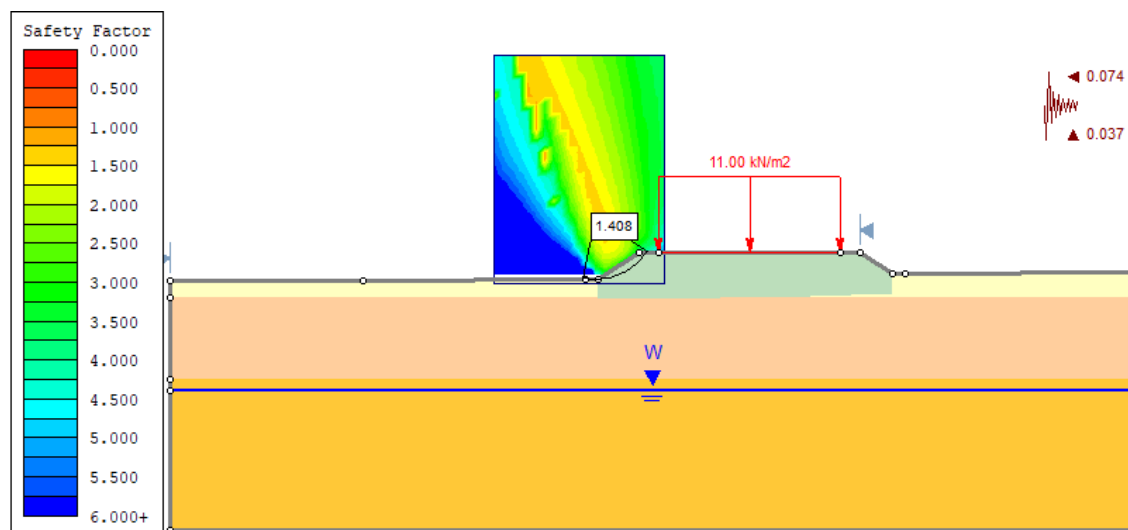


Figura 12– Analisi di stabilità sismica (kv-) – Rilevato $H < 2\text{ m}$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	30 di 46

8.8 RIEPILOGO RISULTATI

Nella seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati ottenuti:

Tabella 1 – Risultati Stabilità FS

SEZIONE	Hril [m]	FS SLU	FS SLV (kv-)	FS SLV (kv+)
Sezione a0-1 NV01 Pk 1 + 430	5.00	1.16	1.25	1.24
Sezione a0-33 NV06B Pk 8 + 800	2.40	1.48	1.36	1.55
Sezione a0-9 NV03 Pk 6 + 200	1.65	1.49	1.42	1.41

I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle verifiche sono sempre maggiori di quanto prescritto dalla normativa ($FS \geq 1.1$ per le analisi statiche SLU e $FS \geq 1.2$ per le analisi sismiche SLV), quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	31 di 46

8.1 RISULTATI STABILITÀ IN CONDIZIONI POST SISMA

Tali analisi sono finalizzate esclusivamente a valutare l'eventuale impatto della potenziale liquefazione sulla stabilità dei rilevati, quindi in condizioni post-sismiche.

Nelle analisi sono state considerate le seguenti situazioni rappresentative:

- Condizioni post-sismiche, ipotizzando che nel terreno potenzialmente liquefacibile i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua; adoperando la relazione tra q_{c1Ncs} e resistenza residua S_r proposta da Idriss e Boulanger (2008) e considerando, valori di q_{c1Ncs} tipicamente compresi tra 75 e 100, si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r = 0.15 \sigma'v$.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato un codice di calcolo denominato Slide v.6.0 in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop modificato che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Le analisi sono state svolte per tutte le sezioni analizzate, e hanno tutte riportato coeff di sicurezza superiori ai limiti di normativa in quanto:

- ✓ Le zone liquefacibili si possono trovare solo sotto falda
- ✓ La falda è sotto i 6 m da pc
- ✓ Le superfici di scorrimento sono superficiali

Si riporta come esempio la verifica della sezione a1NV03.

In via cautelativa tutto lo strato di sabbia, anche se non completamente sotto falda, è stato ipotizzato liquefacibile.

Si riporta il fattore di sicurezza minimo e anche le superfici di scivolamento che vanno ad interessare gli strati profondi: come si vede le superfici che interessano strati al di sotto della superficie freatica presenta Fattori di Sicurezza molto elevati (>3.0).

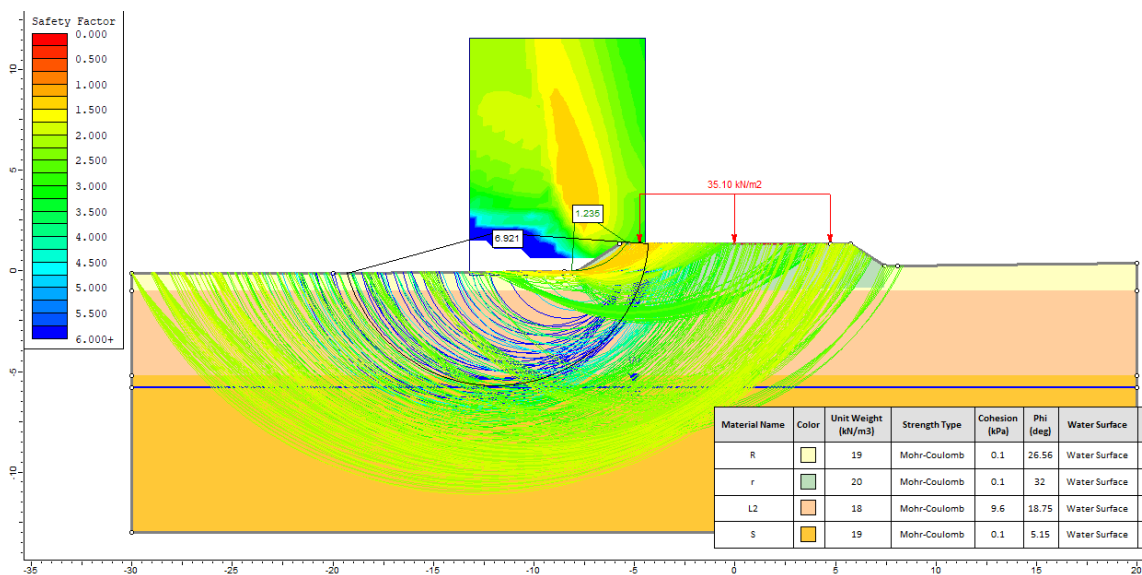


Figura 13 – Verifica stabilità post-sisma – Sezione 146



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	33 di 46

9 VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

9.1 PREMESSA

Di seguito si riporta la valutazione dei cedimenti dei rilevati stradali per la tratta in esame.

La presenza di materiali a grana fine al di sotto dei rilevati, anche di notevole spessore, richiede necessario valutare l'andamento nel tempo dei cedimenti con una analisi agli elementi finiti.

I calcoli sono stati condotti mediante il software Plaxis 2D.

Per le sezioni in esame, come per la valutazione della stabilità, si è fatto riferimento all'assetto stratigrafico descritto nel profilo geotecnico e ai valori dei parametri meccanici definiti nella Relazione Geotecnica.

Il livello della falda è stato anch'esso ottenuto facendo riferimento al profilo geotecnico.

I parametri geotecnici sono gli stessi utilizzati per l'analisi di stabilità ed indicati nel Capitolo 6. Nelle successive analisi, i parametri geotecnici non sono stati minorati attraverso coefficienti correttivi.

Le Unità a grana grossa, ovvero "R" e "S", ai fini idraulici, sono state considerate drenanti, ovvero con consolidazione immediata e cedimenti che non si sviluppano nel tempo.

Le Unità a grana fine, ovvero "SL" e "L", ai fini idraulici, sono state considerate non-drenanti, ovvero materiali soggetti a consolidazione e cedimenti che si sviluppano nel tempo.

I rilevati hanno una pendenza delle scarpate 2 (verticale) / 3 (orizzontale). Generalmente i rilevati hanno altezza modesta, ad eccezione di alcuni rilevati di appoggio ai viadotti/ponti. L'altezza massima del rilevato è di 5 m.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO

RILEVATI STRADALI –
RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO CEDIMENTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	00	D 78	RH GE0600 003	B	34 di 46

9.2 CARICHI APPLICATI

Il carico permanente dovuto al peso della sovrastruttura stradale è pari a 7 kPa distribuito su una larghezza di fino a 1 m dal bordo della scarpata del rilevato.

Il sovraccarico stradale è pari a 20 kPa, applicato analogamente a quello della sovrastruttura.

9.3 FASI COMPUTAZIONALI

L'analisi dei cedimenti ha seguito le seguenti fasi computazionali, valide per tutte le sezioni.

- F0 = Generazione dello stato tensionale iniziale geostatico
- F1 = Scotico e bonifica
- F2 = Costruzione del rilevato per fasi, tempo totale 6 mesi
- F3 = Costruzione del pacchetto stradale (7 kPa) sul nuovo rilevato per una durata di 30 giorni
- F4 = consolidazione di 5 mesi fino alla messa in opera
- F5 = reset displacement e applicazione del sovraccarico stradale (20 kPa)
- F6 = Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio per una durata di 6 mesi
- F7 = Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio per una durata di 1 anno
- F8 = Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio per una durata di 75 anni

9.4 SEZIONE A0-1 NV01

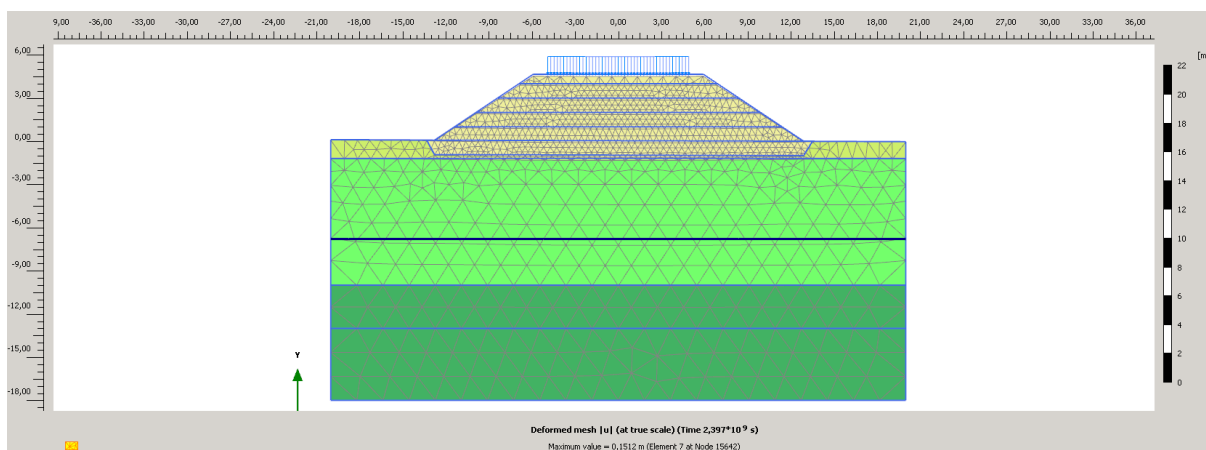


Figura 14 – Modello di calcolo

Come si evince dalle immagini che seguono, i cedimenti residui valutati a 1 anno da fine costruzione e 75 anni, sono i medesimi (≈ 15 cm) e quindi il cedimento differenziale rientra nella specifica < 5 cm, come prescritto da Capitolato ANAS.

Di seguito è rappresentata la distribuzione degli spostamenti e delle sovrappressioni interstiziali con riferimento ai periodi di cui sopra.

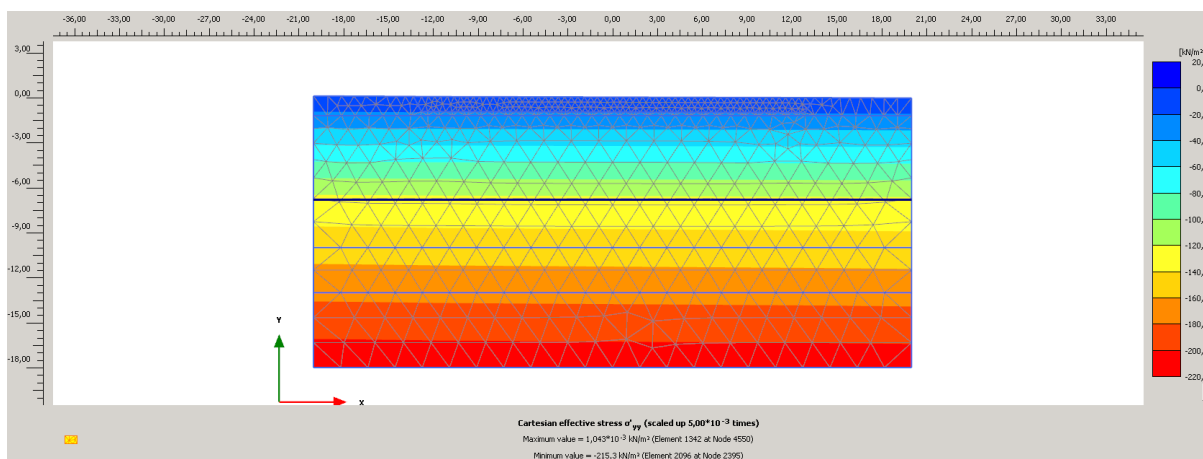


Figura 15 – Condizione geostatica (profilo di sforzo verticale prima della costruzione del rilevato nuovo)

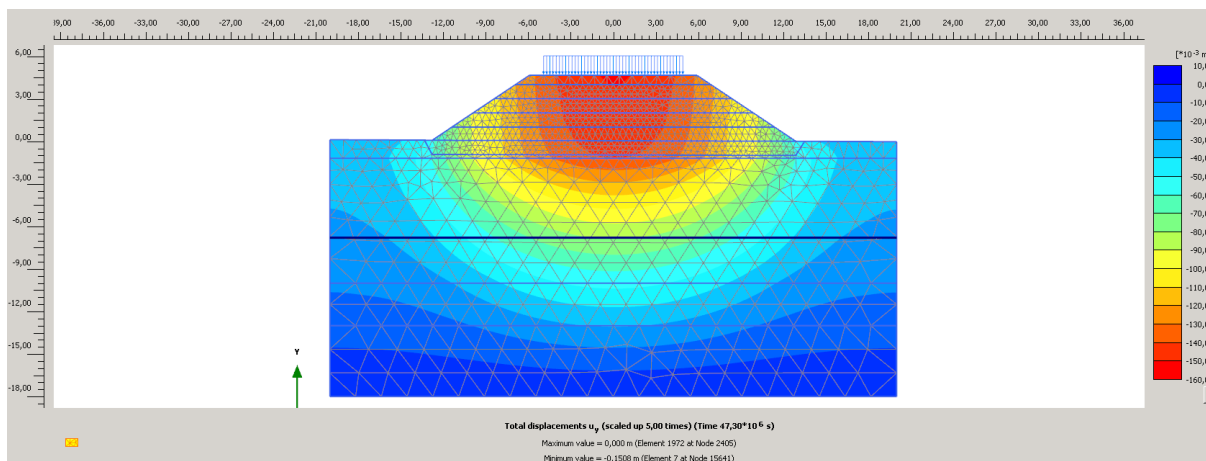


Figura 16 – Cedimenti [t=6 mesi]

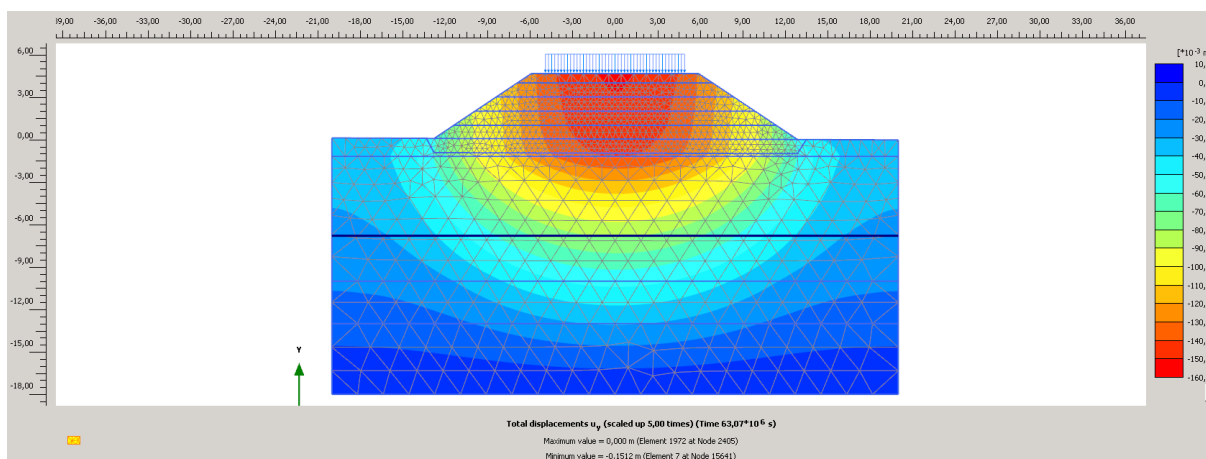


Figura 17 – Cedimenti [t=12 mesi]

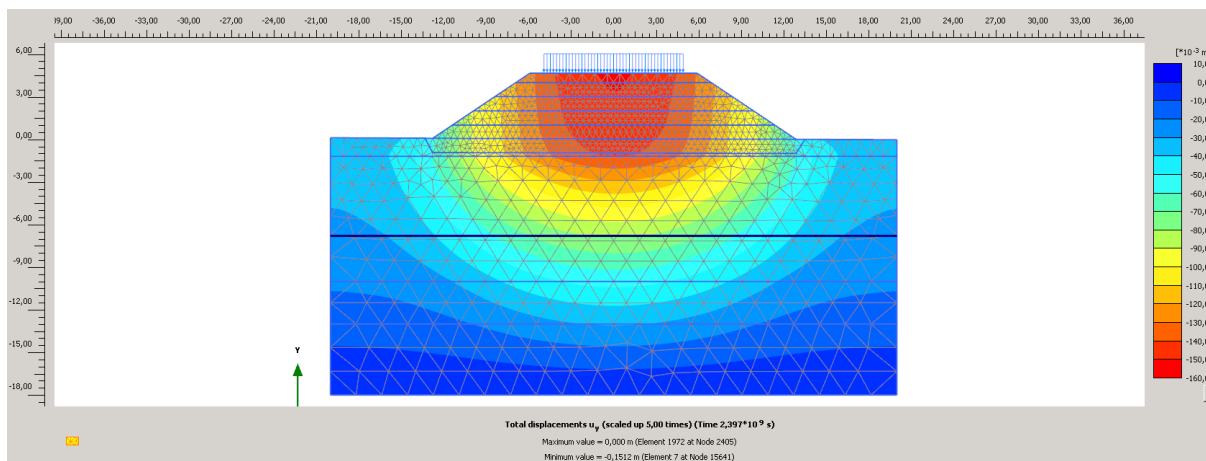


Figura 18 – Cedimenti [t=75 anni]

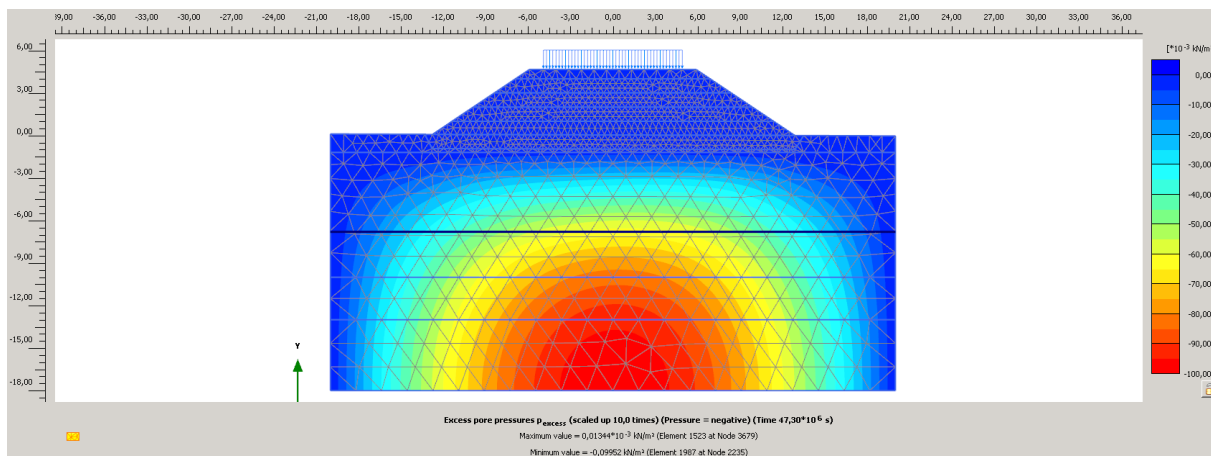


Figura 19 – Sovrappressioni interstiziali [t= 6 mesi]

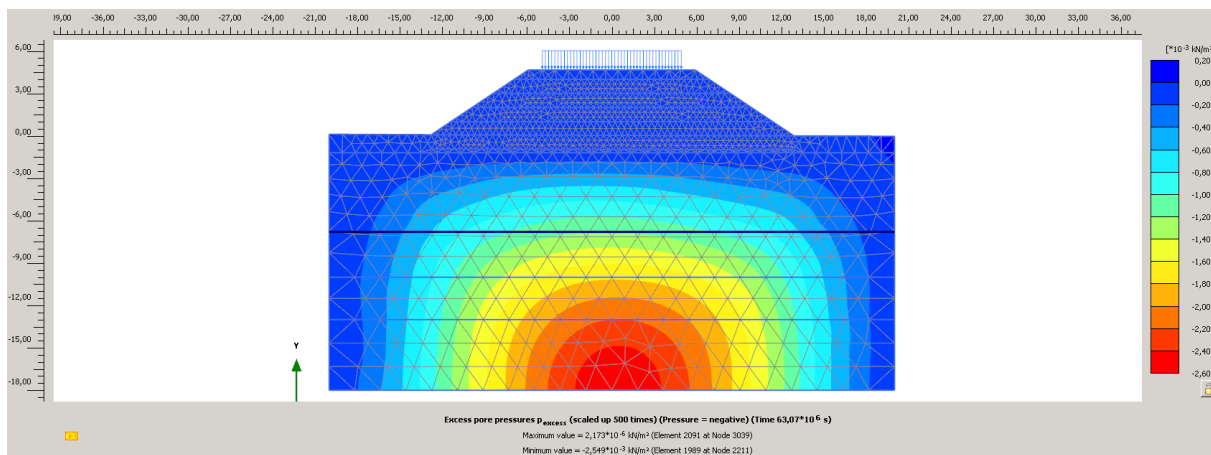


Figura 20 – Sovrappressioni interstiziali [t=12 mesi]

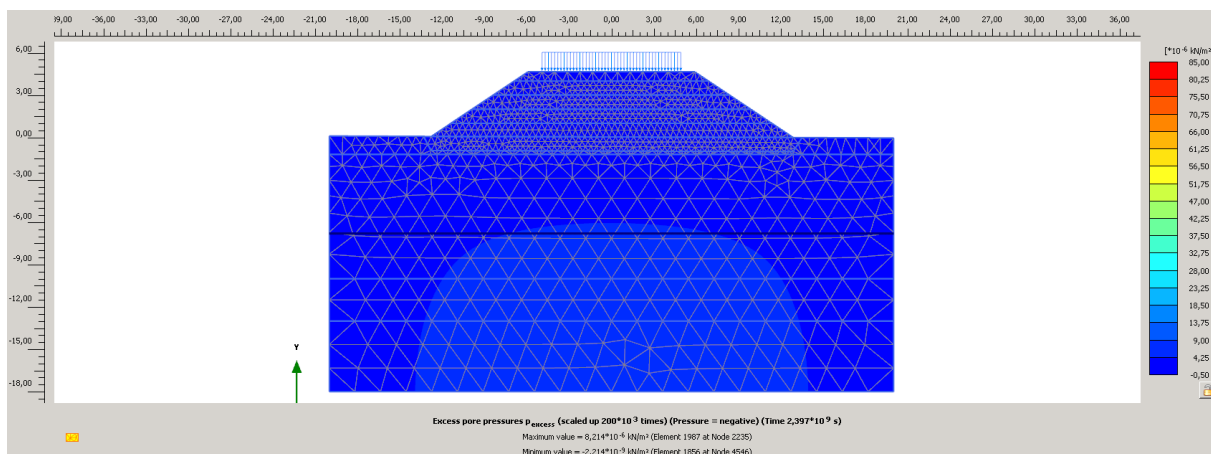


Figura 21 –Sovrappressioni interstiziali [t=75 anni]

Nel grafico seguente viene riportato il cedimento verticale in corrispondenza dell'asse del rilevato a 6 mesi – 75 anni dalla messa in servizio.

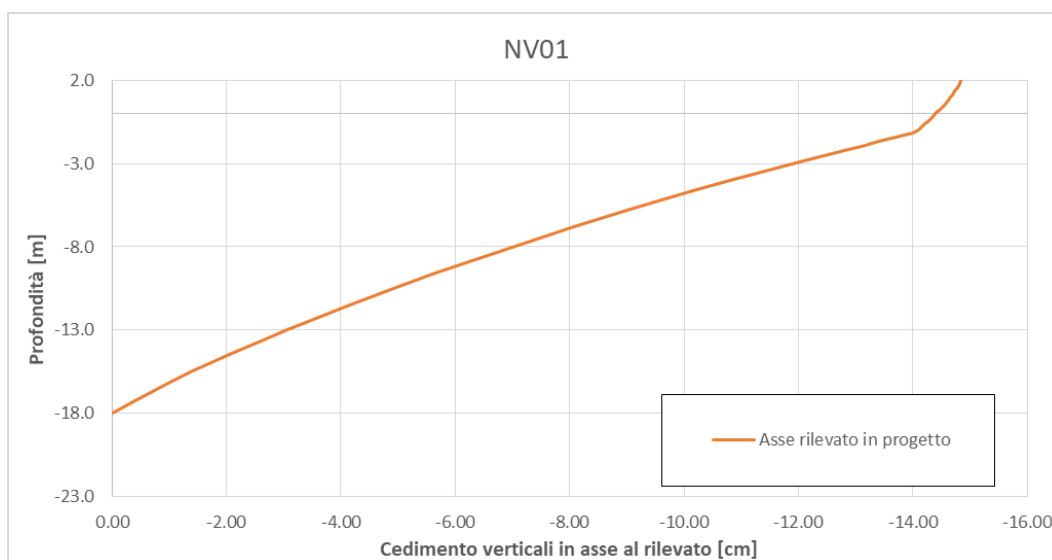


Figura 22 – Cedimento verticale

Nel grafico seguente viene invece riportato il cedimento verticale alla base del rilevato in relazione alla distanza dall'asse dello stesso.

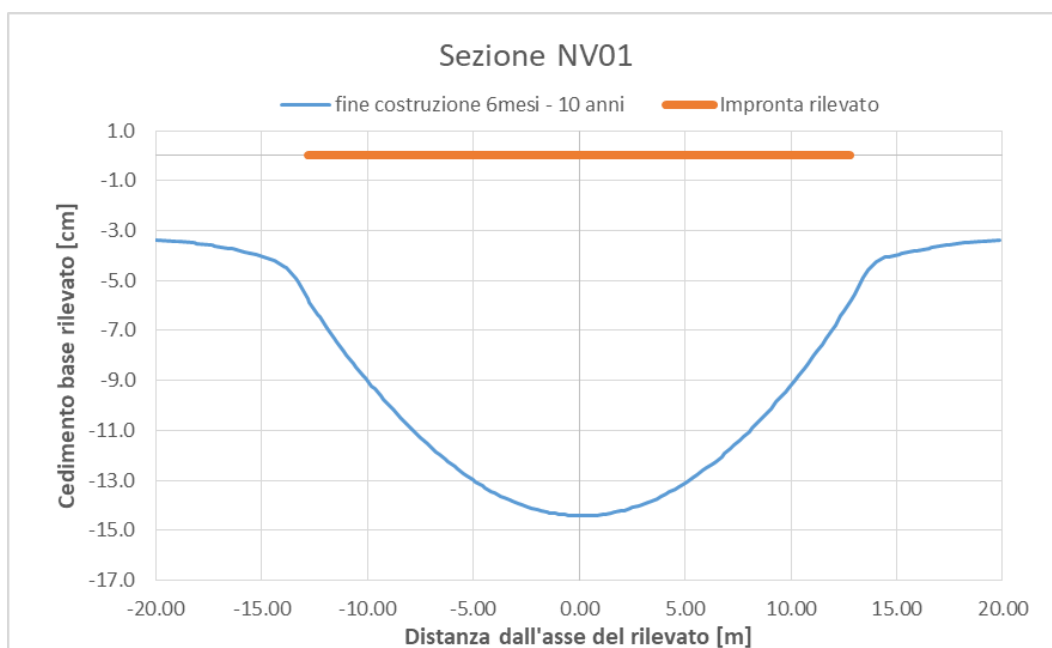


Figura 23 – Cedimento verticale alla base del rilevato

9.5 SEZIONE A4-6 NV06B

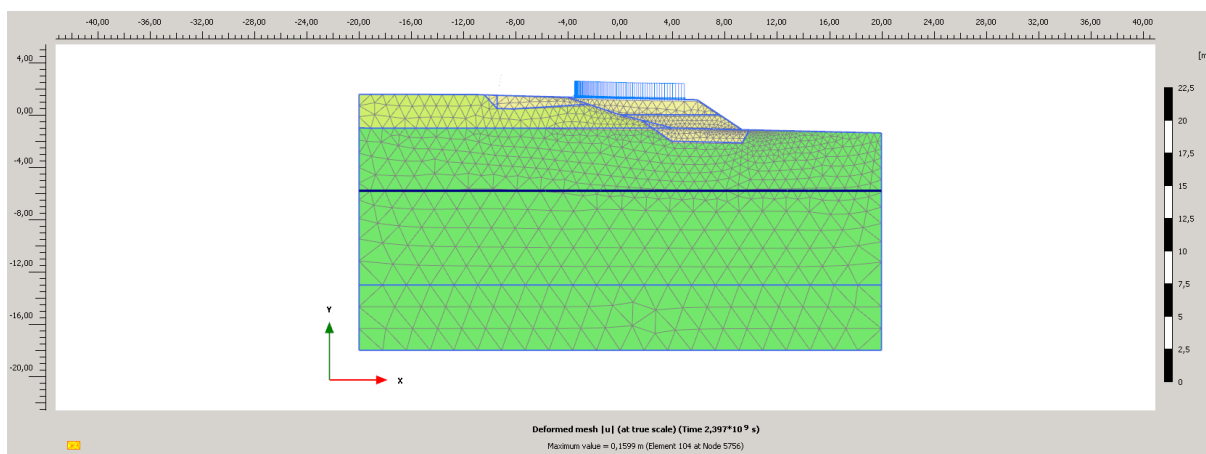


Figura 24 – Modello di calcolo

Come si evince dalle immagini che seguono, i cedimenti residui valutati a 1 anno da fine costruzione e 75 anni, sono i medesimi (≈ 15 cm) e quindi il cedimento differenziale rientra nella specifica < 5 cm, come prescritto da Capitolato ANAS.

Di seguito è rappresentata la distribuzione degli spostamenti e delle sovrappressioni interstiziali con riferimento ai periodi di cui sopra.

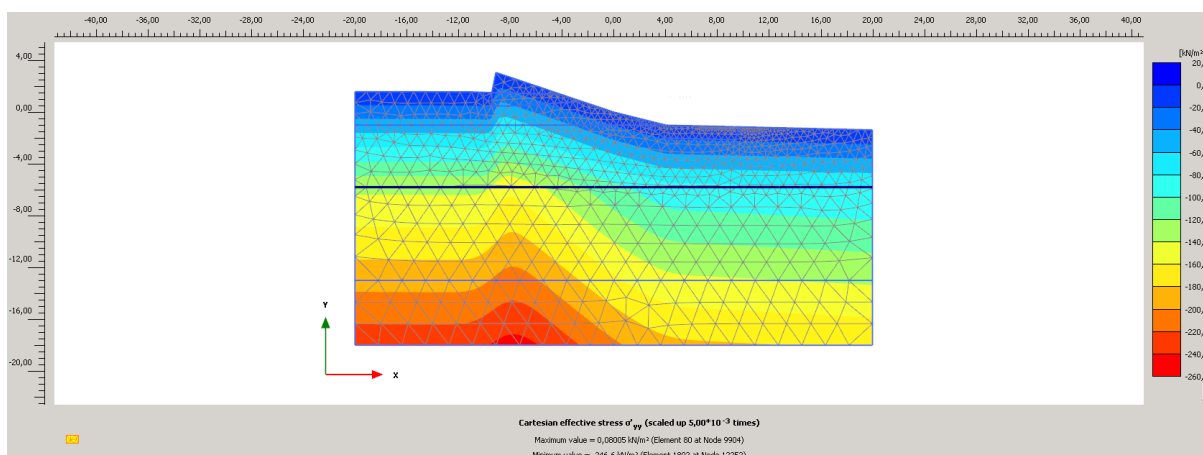


Figura 25 – Condizione geostatica (profilo di sforzo verticale prima della costruzione del rilevato nuovo)

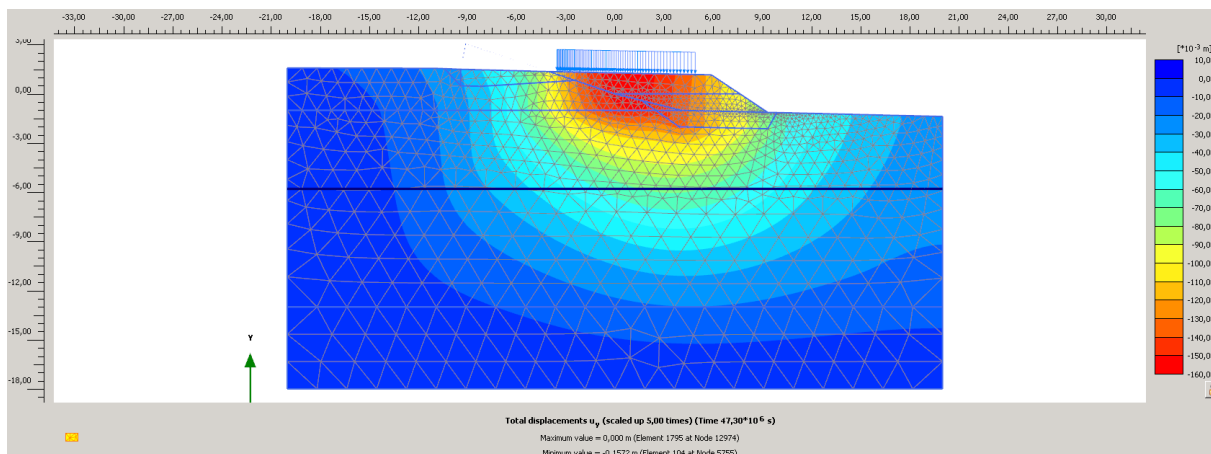


Figura 26 – Cedimenti [t=6 mesi]

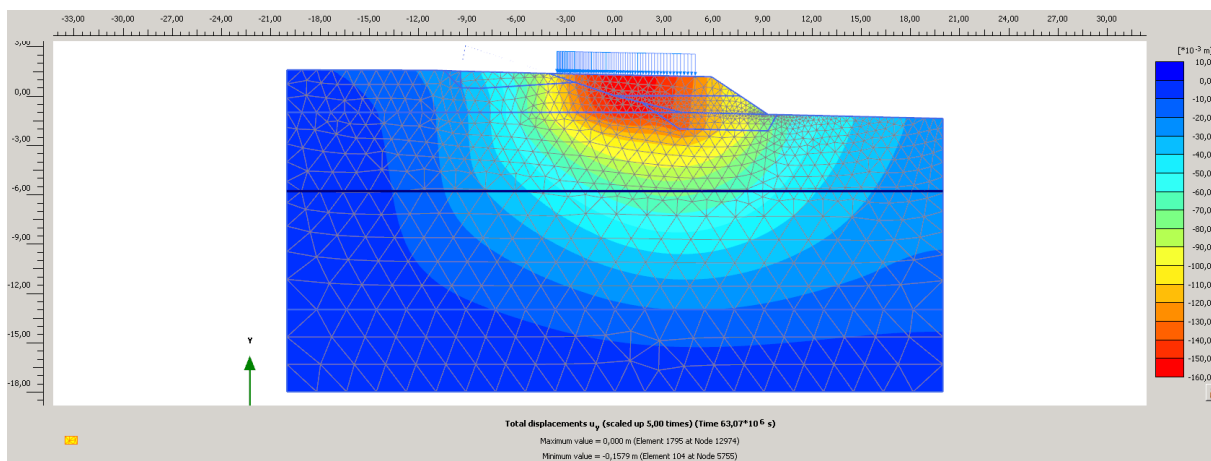


Figura 27 – Cedimenti [t=12 mesi]

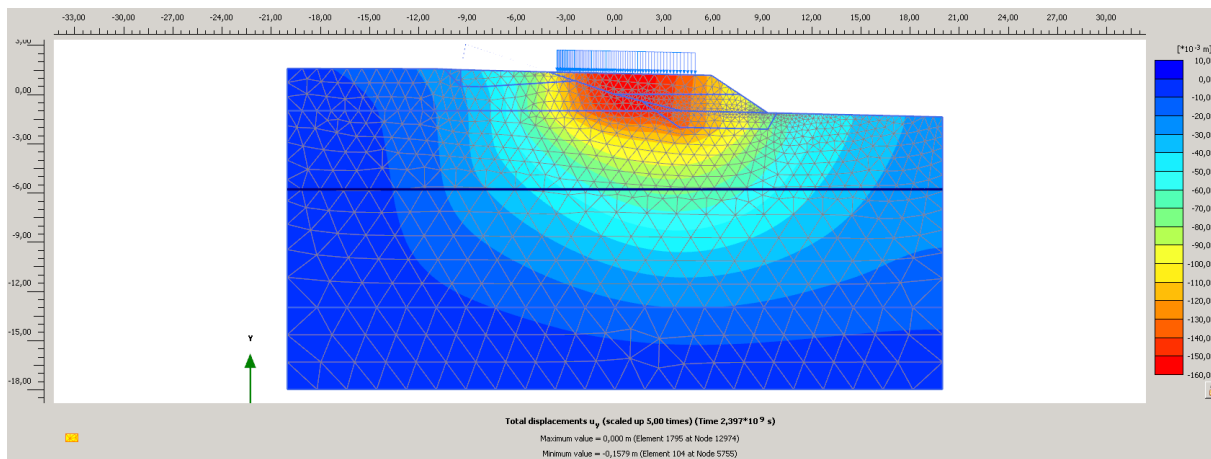


Figura 28 – Cedimenti [t=75 anni]

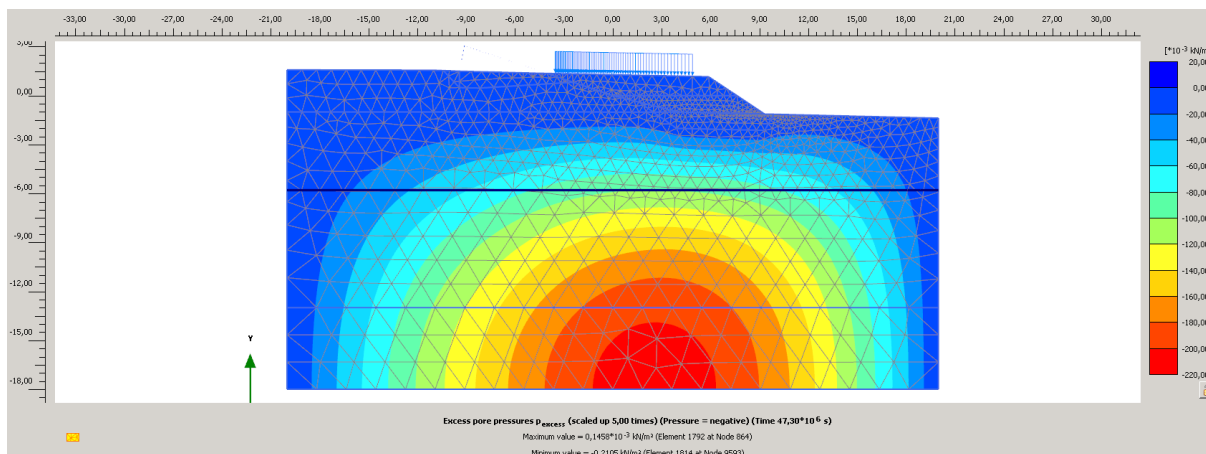


Figura 29 – Sovrappressioni interstiziali [t= 6 mesi]

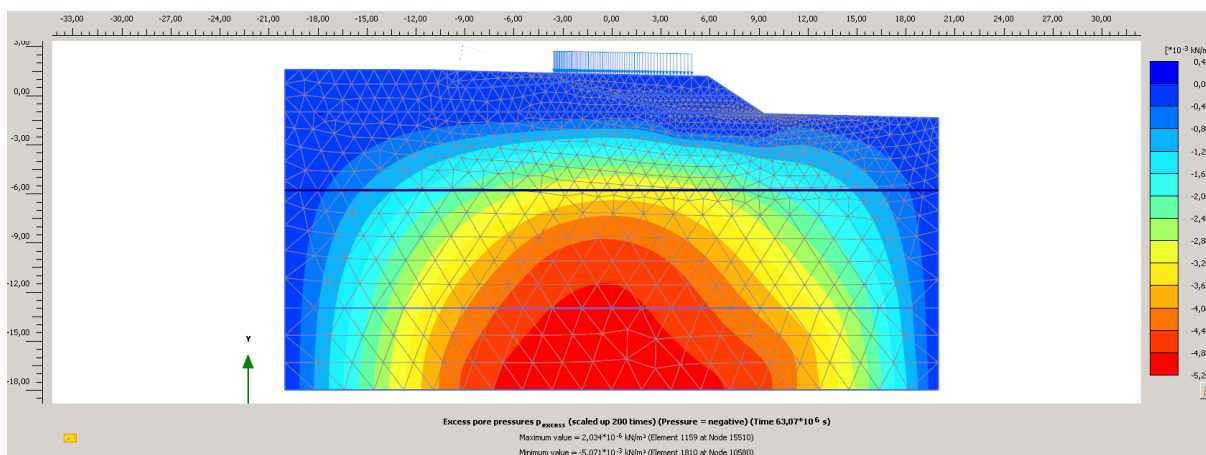


Figura 30 – Sovrappressioni interstiziali [t=12 mesi]

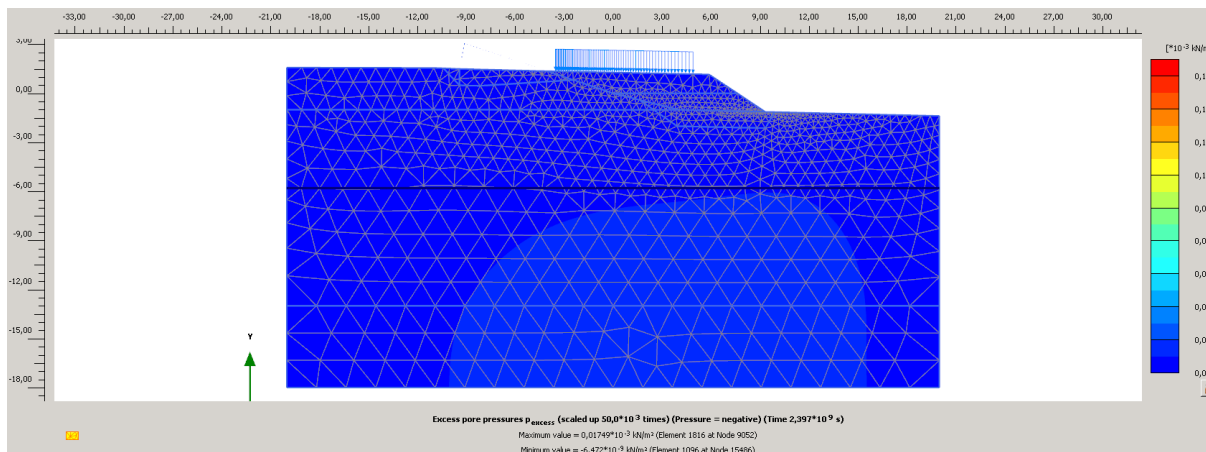


Figura 31 – Sovrappressioni interstiziali [t=75 anni]

Nel grafico seguente viene riportato il cedimento verticale in corrispondenza dell'asse del rilevato a 6 mesi - 75 anni dalla messa in servizio.

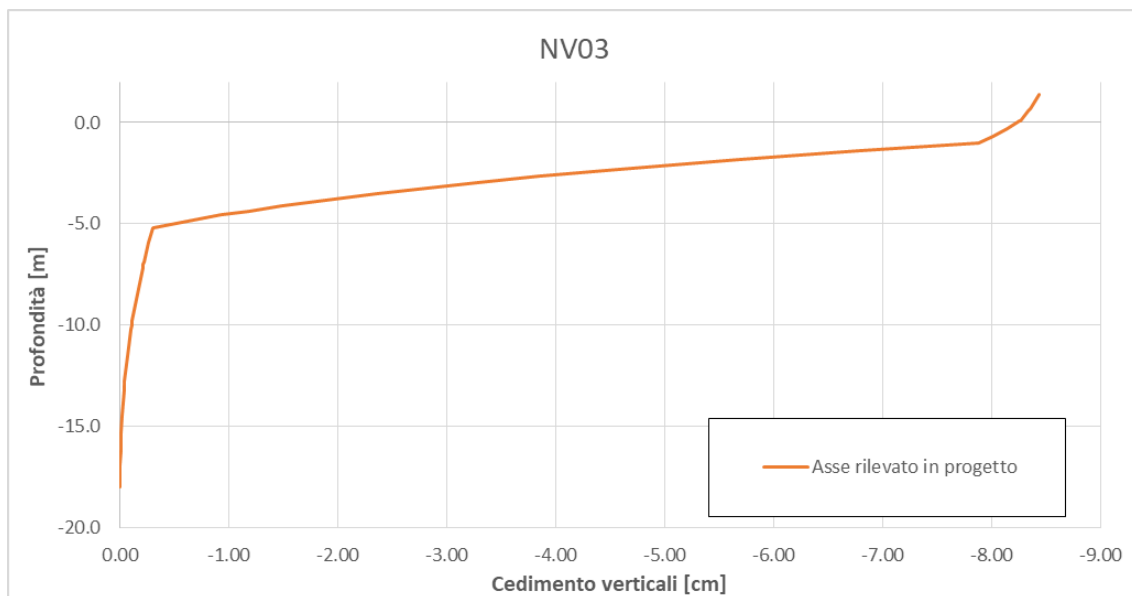


Figura 32 – Cedimento verticale

Nel grafico seguente viene invece riportato il cedimento verticale alla base del rilevato in relazione alla distanza dall'asse dello stesso.

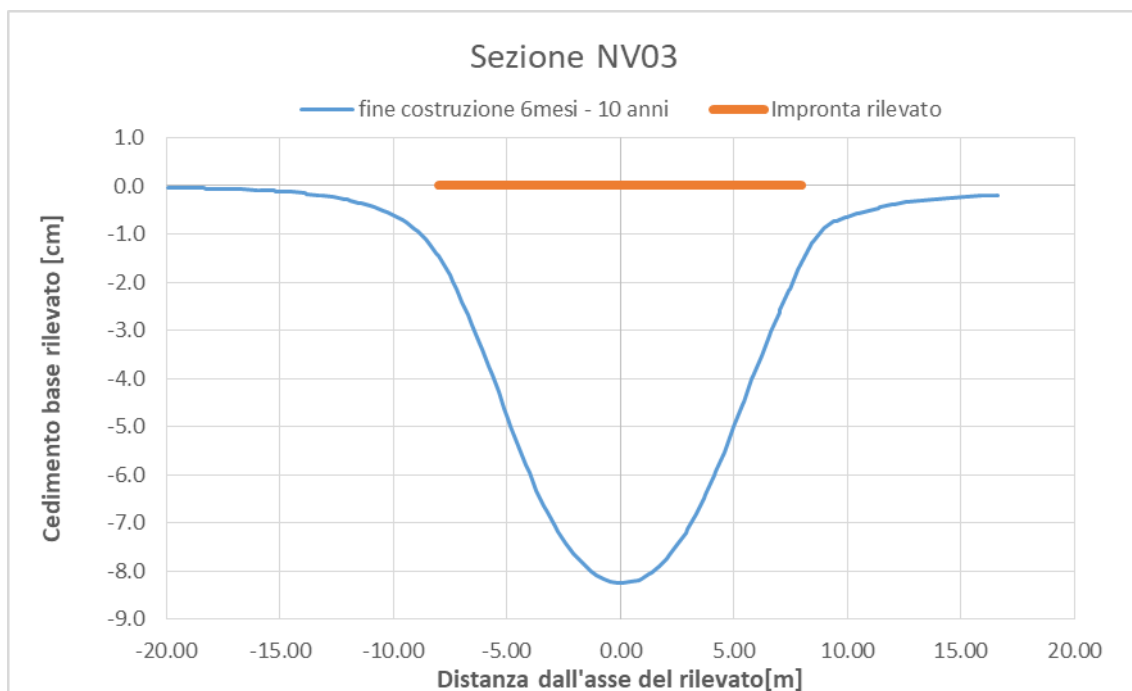


Figura 33 – Cedimento verticale alla base del rilevato

9.6 SEZIONE A1-9 NV03

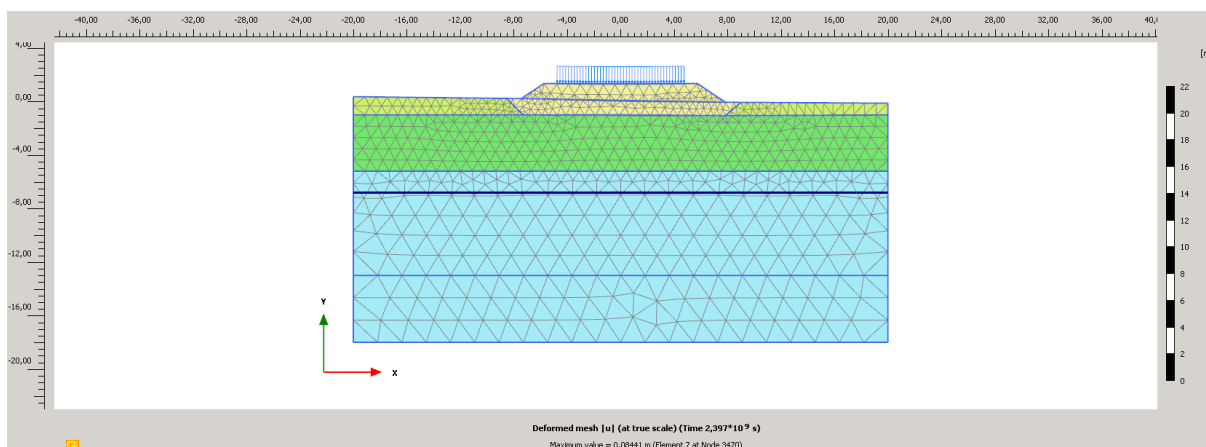


Figura 34 – Modello di calcolo

Come si evince dalle immagini che seguono, i cedimenti residui valutati a 1 anno da fine costruzione e 75 anni, sono i medesimi (≈ 8.4 cm) e quindi il cedimento differenziale rientra nella specifica < 5 cm, come prescritto da Capitolato ANAS.

Di seguito è rappresentata la distribuzione degli spostamenti e delle sovrappressioni interstiziali con riferimento ai periodi di cui sopra.

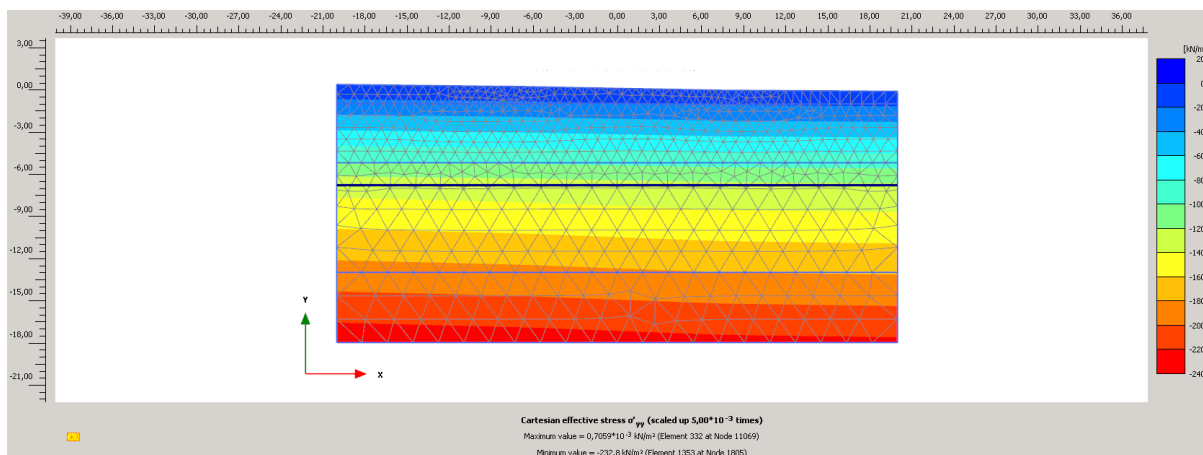


Figura 35 – Condizione geostatica (profilo di sforzo verticale prima della costruzione del rilevato nuovo)

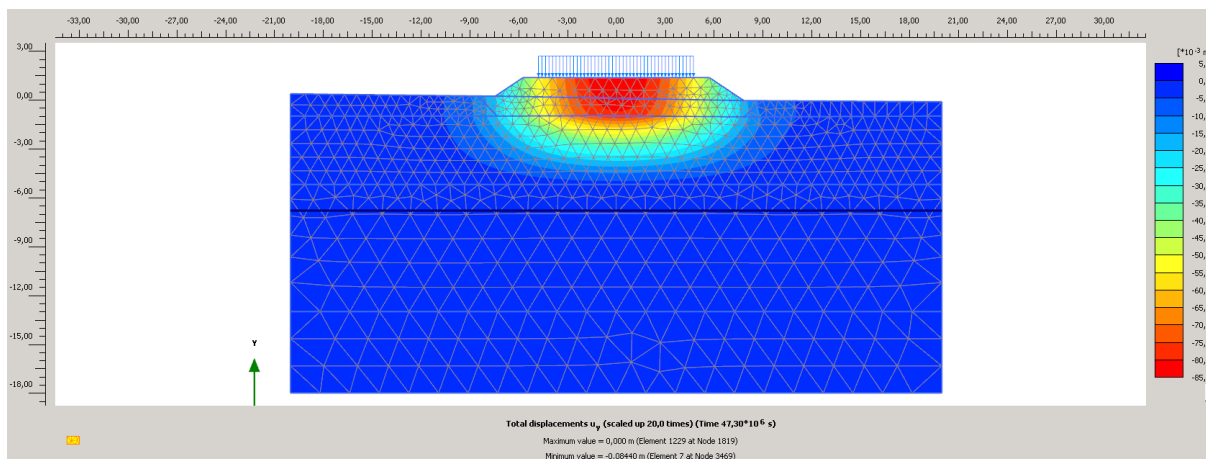


Figura 36 – Cedimenti [t=6 mesi]

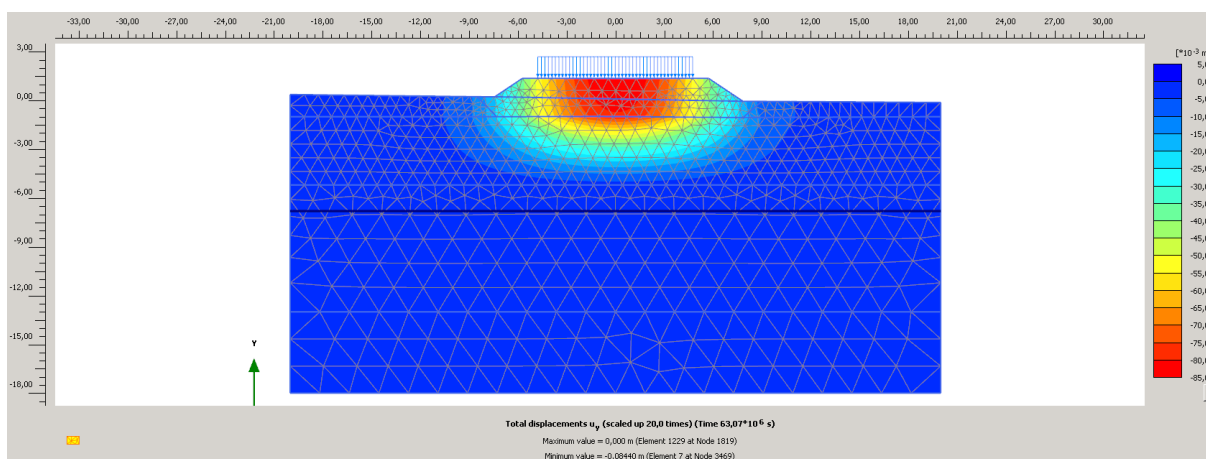


Figura 37 – Cedimenti [t=12 mesi]

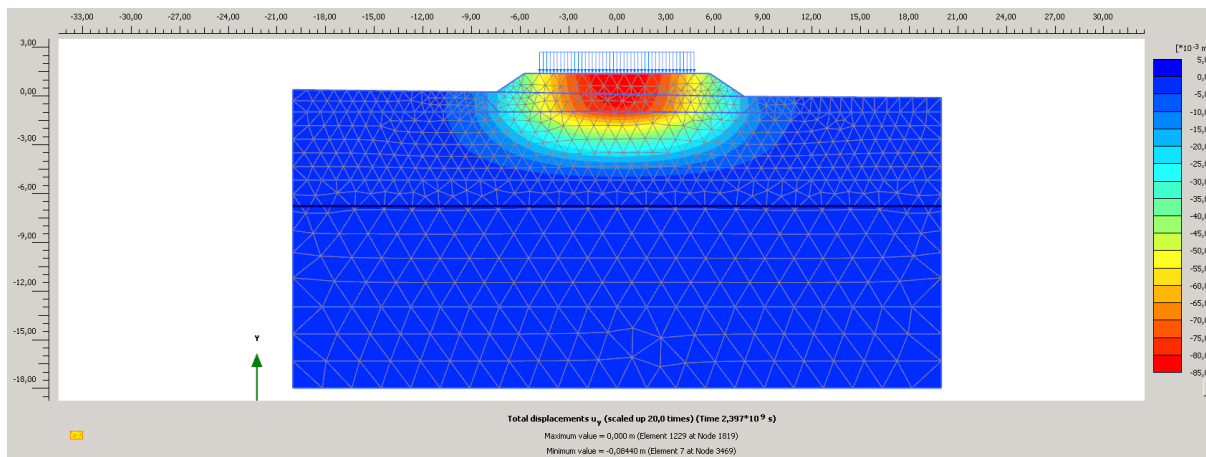


Figura 38 – Cedimenti [t=75 anni]

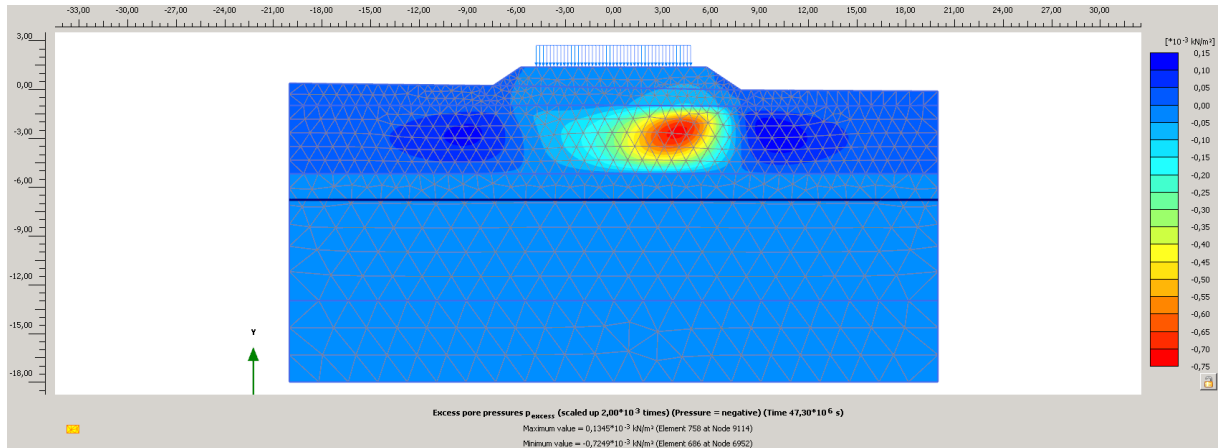


Figura 39 – Sovrappressioni interstiziali [t= 6 mesi]

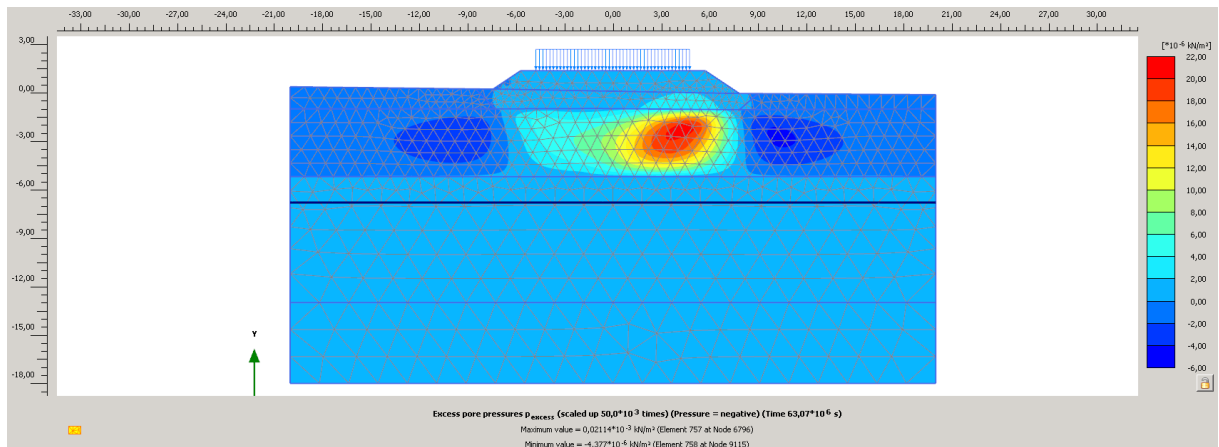


Figura 40 – Sovrappressioni interstiziali [t=12 mesi]

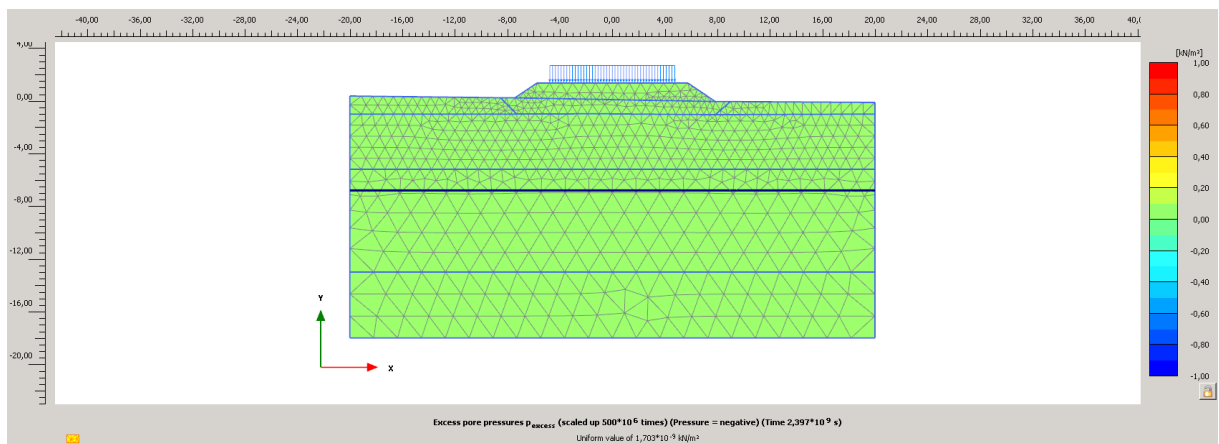


Figura 41 –Sovrappressioni interstiziali [t=75 anni]

Nel grafico seguente viene riportato il cedimento verticale in corrispondenza dell'asse del rilevato a 6 mesi – 75 anni dalla messa in servizio.

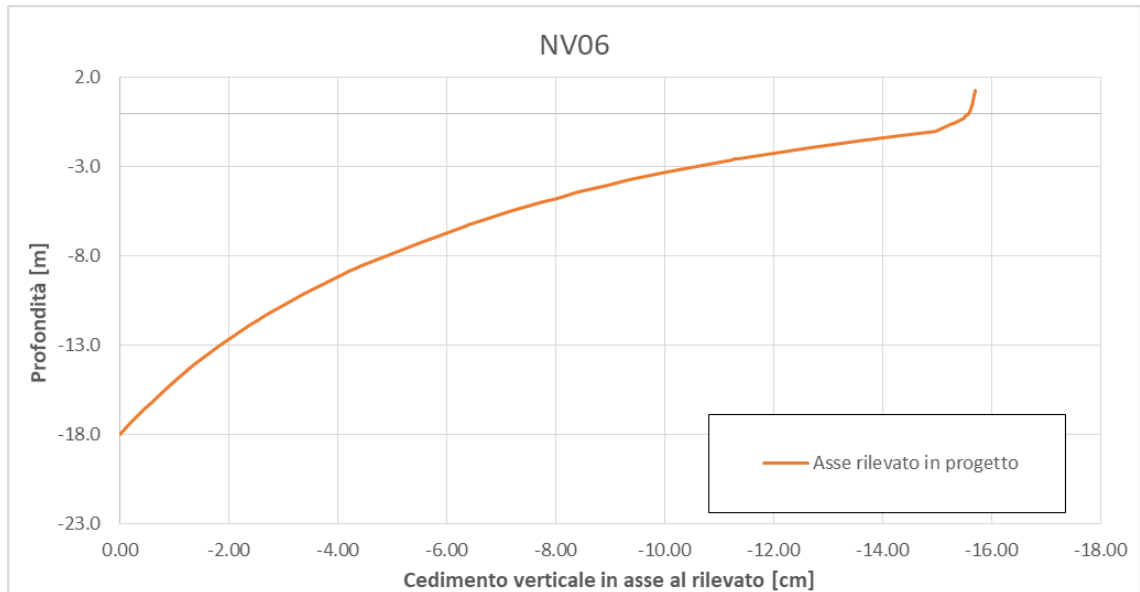


Figura 42 – Cedimento verticale

Nel grafico seguente viene invece riportato il cedimento verticale alla base del rilevato in relazione alla distanza dall'asse dello stesso.

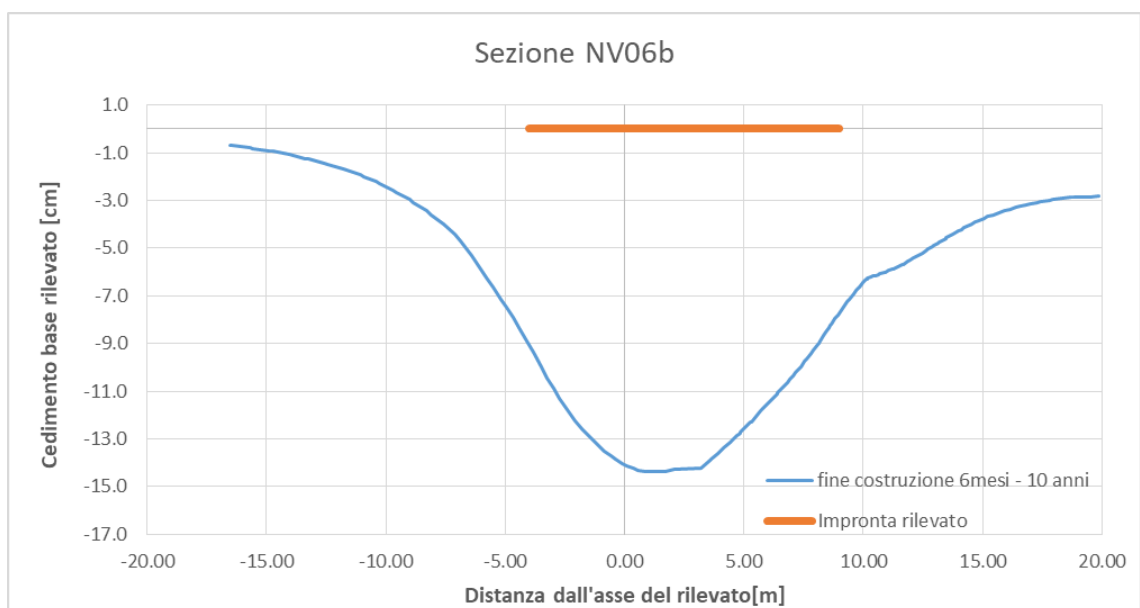


Figura 43 – Cedimento verticale alla base del rilevato