

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1+2

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

SCALA:

-

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

RS3Z 00 D 78 RH OC000X 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	Italiana Sistemi	Gennaio 2020	V. Maccaroni L. Fanelli	Gennaio 2020	A. Barreca	Gennaio 2020	 ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane Direzione Tecnica UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Dante Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10476
B	1° agg. a Consegna CSLPP	Italiana Sistemi	Maggio 2020	V. Maccaroni	Maggio 2020	A. Barreca	Maggio 2020	
C	Emissione per CdS	V. Maccaroni	Marzo 2021	L. Fanelli	Marzo 2021	A. Barreca	Marzo 2021	

SOMMARIO

1.-. PREMESSA	4
2.-. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.-. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	7
4.-. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE	8
4.1.-. UBICAZIONE	8
4.2.-. CONTESTO GEOMORFOLOGICO ED ELEMENTI IDROGRAFICI.....	8
4.3.-. ASSETTO GEOLOGICO	9
4.3.1.-. L'AREA DI STUDIO NEL QUADRO GEOLOGICO REGIONALE.....	9
4.4.-. SINTESI DEL QUADRO GEO-STRUTTURALE.....	10
4.5.-. SINTESI DEL QUADRO GEOLOGICO LOCALE E CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI DEPOSITI	13
4.6.-. SUBSTRATO	13
4.6.1.-. SUCCESSIONI SEDIMENTARIE MESO-CENOZOICHE	13
4.6.2.-. DEPOSITI DEL DOMINIO SICILIDE.....	14
4.6.3.-. DEPOSITI DEL BACINO NUMIDICO	15
4.6.4.-. SUCCESSIONI MIO-PLIOCENICHE	17
4.7.-. COPERTURE.....	18
4.7.1.-. SUCCESSIONI CLASTICHE QUATERNARIE	18
4.8.-. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E SCHEMA DEL DEFLUSSO IDRICO SOTTERRANEO.....	22
4.8.1.-. COMPLESSI IDROGEOLOGICI E CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ.....	25
4.8.2.-. COMPLESSI DELLE UNITÀ DEL SUBSTRATO	26
4.8.3.-. COMPLESSI DEI DEPOSITI DI COPERTURA	27
5.-. PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO	29
5.1.-. CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	32
6.-. MODELLO GEOTECNICO	35
6.1.-. INDAGINI DI RIFERIMENTO	35
6.1.1.-. SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	36
6.1.2.-. PROVE SPT	37
6.1.3.-. CAMPIONI PRELEVATI ED ANALISI ESEGUITE	38
6.1.4.-. LIVELLI PIEZOMETRICI.....	41
6.1.5.-. PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC	48
6.2.-. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE.....	63
6.2.1.-. DEPOSITI INCOERENTI.....	63
6.2.2.-. DEPOSITI COESIVI	66
6.2.3.-. LITOLOGIE DI RIFERIMENTO DEL MODELLO GEOTECNICO	68
7.-. MODELLI GEOTECNICI DELLE OPERE DI PROGETTO	73
7.1.-. TRACCIATO LINEA FERROVIARIA	73
7.2.-. DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	81

7.2.1.-.. DEPOSITI ALLUVIONALI– UNITÀ B1 (SABBIE E GHIAIE).....	81
7.2.2.-.. DEPOSITI ALLUVIONALI– UNITÀ B2 (LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE).....	85
7.2.3.-.. DEPOSITI ALLUVIONALI– UNITÀ B3 (ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI).....	89
7.2.4.-.. ARGILLE VARICOLORI– UNITÀ AVF/2 (ARGILLE LIMOSE)	94
7.2.5.-.. ARGILLE VARICOLORI– UNITÀ AVF/1 (ARGILLE MARNOSA).....	96
7.2.6.-.. FLYSCH NUMIDICO– UNITÀ FYN	98
7.2.7.-.. MODULO EDOMETRICO	101
7.2.8.-.. APPROFONDIMENTO RIGIDENZE TERRENI PARTICOLARMENTE DEFORMABILI.....	106
7.2.9.-.. SINTESI UNITA GEOTECNICHE	121
7.2.10.-.. MODELLI GEOTECNICI OPERE IN PROGETTO	122
8.-.. LIQUEFAZIONE.....	127
8.1.-.. METODOLOGIE DI ANALISI.....	128
8.1.1.-.. ANALISI BASATE SU PROVE SPT	130
9.-.. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	133
9.1.-.. VALUTAZIONE TEORICA ANALITICA DEL CEDIMENTO	135
9.2.-.. SCELTA DELLE RIGIDENZE DI CALCOLO	137
9.2.1.-.. RISULTATI DELLE ANALISI.....	138
9.2.2.-.. MIGLIORAMENTO DEI TERRENI.....	139
9.3.-.. VALUTAZIONE NUMERICA DEL CEDIMENTO	147
9.3.1.-.. SEZIONE 81 – PK 4+000.....	147
9.3.2.-.. SEZIONE 153 – PK 7+600 (SENZA MIGLIORAMENTO)	153
9.3.3.-.. SEZIONE 153 – PK 7+600 (CON MIGLIORAMENTO DEEP MIXING)	160
9.3.4.-.. SEZIONE 135– PK 6+700.....	165
10.-.. ANALISI DI STABILITA' DELLE SCARPATE	173
10.1.-.. PREMESSA	173
10.2.-.. METODOLOGIE DI CALCOLO	173
10.2.1.-.. CARICHI STRADALI	174
10.2.2.-.. CARICHI FERROVIARI	174
10.2.3.-.. AZIONI SISMICHE PER ANALISI DI STABILITÀ	177
10.2.4.-.. SEZIONI DI CALCOLO.....	178
10.2.5.-.. RISULTATI.....	178
11.-.. APPENDICE	186

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	4 di 260

1.-..PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dello studio geotecnico eseguito a supporto della progettazione esecutiva per la realizzazione del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania Raddoppio della Tratta Fiumetorto – Lercara diramazione Lotto 1+2 lungo la Direttrice Messina-Catania-Palermo.

In particolare, nella relazione si illustrano i dati della caratterizzazione geotecnica e la loro elaborazione, al fine di indentificare il modello geotecnico del sottosuolo degli areali interessati dalle singole opere che formano l'intervento.

Ai fini delle analisi descritte nel presente documento, sono stati utilizzati l'insieme dei dati geognostici e geotecnici disponibili, e nello specifico le risultanze delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche appositamente realizzate a supporto della progettazione definitiva, supportati dai dati di letteratura scientifica di settore.

Lo studio è stato condotto attraverso le seguenti attività:

- sintesi del modello geologico-strutturale, geosismico e geomorfologico elaborato in sede di progettazione definitiva;
- analisi delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e geofisiche del sottosuolo, dedotte dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici, dai profili sismici e dalle prove di laboratorio disponibili;

Sulla base di quanto emerso dall'esame comparato dei dati a disposizione si è proceduto alla definizione del modello geotecnico costituito dalle diverse unità geotecniche assimilabili per caratteristiche fisiche e meccaniche. Lo studio perviene anche alle verifiche del potenziale di liquefazione essendo questo un tema specificamente sollevato dallo studio geologico di riferimento.

Le stime e le considerazioni presentate sono strettamente condizionate dai limiti imposti dalla tipologia e dalla consistenza dei dati utilizzabili e dalle risorse fruibili per il caso di specie. Qualunque indagine ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica e di strumentazione impiegata e del contesto di lavorazione in cui viene eseguita.

La scelta dei valori dei singoli parametri indici, fisici e di resistenza meccanica verrà effettuata e motivata nell'ambito del progetto geotecnico con riferimento alla qualità dei dati, stati limite considerati e del volume significativo di terreno direttamente ed indirettamente influenzato dalle opere.

In particolare nella presente relazione sono stati affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- descrizione delle indagini geognostiche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini effettuate;
- interpretazione dei risultati delle indagini geognostiche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche intercettate;
- classificazione sismica del sito; valutazione del potenziale di liquefazione;
- piani di posa delle opere fondali, rilevati, trincee.

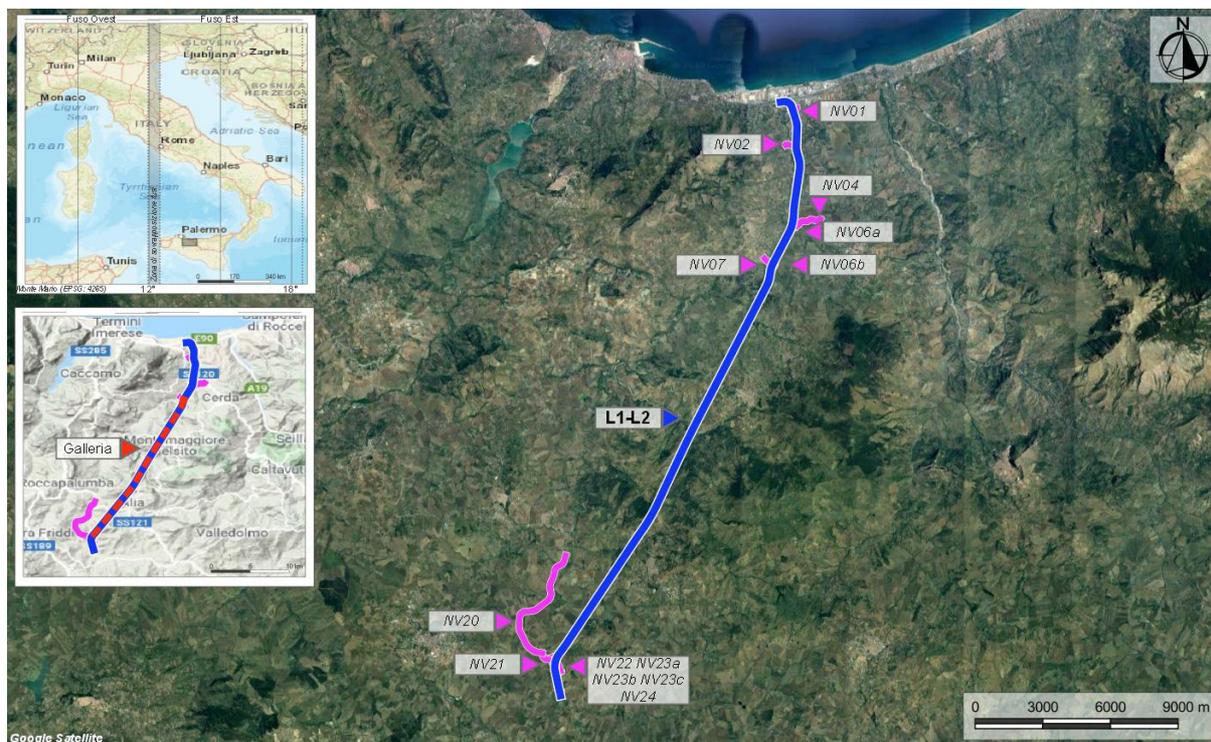


Figura 1 – Corografia in scala 1:300000 dell'area di studio geologico con individuazione della tratta ferroviaria (blu) e delle viabilità di progetto (magenta).

2.-..DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Al presente studio si intendono allegati in quanto acquisiti, consultati, richiamati ed utilizzati per il suo organico sviluppo i documenti appresso indicati.

Per la modellazione geotecnica del sito di progetto si fa espressamente riferimento, intendendo qui integralmente richiamato e sintetizzato, lo studio geologico a supporto del progetto definitivo eseguito da Italferr, emissione dicembre 2019.

Di seguito si elencano i documenti di riferimento.

Codifica elaborato	Descrizione elaborato	Scala
RS3Z 00 D69 RG 0001 001-0	Relazione Geologica	--
RS3Z 00 D69 L5 GE0001 001-11 A	Carta geologica e profilo geologico Tav. da 1 a 11	1:5000/500
RS3Z 00 D69 L5 GE0001 012 A	Carta geologica NV01-NV02-NV06 Carta geologica e profilo geologico NV04-NV07	1:5000/500
RS3Z 00 D69 L5 GE0001 013-14 A	Carta geologica e profilo geologico NV20 Tav. da 1 a 2	1:5000/500
RS3Z 00 D69 L5 GE0001 015 A	Carta geologica e profilo geologico NV21-NV22-NV23-NV24	1:5000/500
RS3Z 00 D69 L6 GE0001 001 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico Imbocco lato PA	1:2000/200
RS3Z 00 D69 W6 GE0001 001 A	Sezioni geologiche da 1 a 8	1:2000
RS3Z 00 D69 W6 GE0001 002 A	Sezioni geologiche da 9 a 16	1:2000
RS3Z 00 D69 W6 GE0001 003 A	Sezioni geologiche NV20 da A a S - NV21 da T-U	1:2000
RS3Z 00 D69 L5 GE0002 001-11 A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico Tav. da 1 a 11	1:5000/500
RS3Z 00 D69 N5 GE0005 001-2 A	Carta ubicazione delle indagini Tav. da 1 a 2	1:10000
RS3Z 00 D69 SG GE0005 001 A	Indagini Geognostiche: Sondaggi profondi	-
RS3Z 00 D69 SG GE0005 002 A	Indagini Geognostiche: Sondaggi ordinari 1a Fase	-
RS3Z 00 D69 SG GE0005 003 A	Indagini Geognostiche: Sondaggi ordinari 2a Fase	-
RS3Z 00 D69 PR GE0005 001-3 A	Indagini Geognostiche: Prove di Laboratorio - Volume da 1 a 3	-
RS3Z 00 D69 IG GE0005 001 A	Indagini Geognostiche: Geofisica 1a Fase	-
RS3Z 00 D69 IG GE0005 002 A	Indagini Geognostiche: Geofisica 2a Fase	-
RS3Z 00 D69 RH GE0005 001 A	Indagini Geognostiche: Campagna di monitoraggio piezometri e inclinometri 2018-2019	-

Tabella 1 – Documenti di riferimento

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	7 di 260

3.-..QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Le analisi descritte nel presente documento sono state effettuate conformemente ai seguenti principali riferimenti normativi e tecnici:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC18).

[N.2]. RFI DTC INC CS SP IFS 001 A 29/12/2011 Specifica per la progettazione delle opere civili ferroviarie.

[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]. Eurocodice EN1991-2:2003/AC:2010.

[N.5]. RFI DTC SICS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.

[N.6]. Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

4.-..INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

4.1.-..UBICAZIONE

L'area di studio si colloca nella porzione centro-settentrionale della regione Sicilia, in corrispondenza del tracciato ferroviario della linea Catania-Palermo. La tratta in esame, in particolare, si sviluppa per circa 29.8 km in direzione all'incirca NNE-SSW, tra Termini Imerese e Castronovo di Sicilia. Il tracciato di progetto interessa, da nord a sud, il territorio dei comuni di Termini Imerese, Sciara, Cerda, Aliminusa, Caccamo, Montemaggiore Belsito, Sclafani Bagni, Alia, Castronovo di Sicilia, in provincia di Palermo (PA).

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 259 (Termini Imerese) in scala 1:100000, nelle Tavole 259-I-SO (Montemaggiore Belsito), 259-I-NO (Monte S. Calogero), 259-II-NO (Alia), 259-III-SE (Lercara Friddi), 259-III-NE (Roccapalumba) in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sicilia, negli elementi 621050, 621010, 620080, 620040, 609140, 609130, 609100, 609090, 609060, 609020 in scala 1:10000.

4.2.-..CONTESTO GEOMORFOLOGICO ED ELEMENTI IDROGRAFICI

Dal punto di vista geomorfologico l'area di studio, in relazione con la complessa evoluzione geologica subita, risulta fortemente influenzata dal locale assetto stratigrafico e strutturale, oltre che dai fenomeni di modellamento superficiale che l'hanno interessata durante il quaternario e dalle importanti variazioni eustatiche succedutesi nel tempo.

Nella sua complessità, il paesaggio fisico della Sicilia è il risultato di una complessa interazione di diversi fattori geologici, tettonici, geomorfologici e climatici che, nel corso del tempo, hanno interessato l'area in esame in maniera differente (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000). Nello specifico, l'area di studio ricade nella porzione nord-occidentale dell'isola siciliana, all'interno del dominio della Catena Appenninico-Maghrebide (Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000; Monaco & De Guidi 2006; Catalano et al. 2011).

Il tracciato di progetto impegna settori di territorio posti a quote comprese tra circa 7 m s.l.m. e 770 m s.l.m. (Monte Ragiura). Il tratto di progetto si sviluppa in gran parte lungo la valle del Fiume Torto, nei territori compresi tra Monte San Calogero, le Madonie e i Monti Sicani. Nel tratto iniziale e finale, dal punto di vista orografico il tracciato di progetto impegna settori di

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	9 di 260

territorio posti lungo la valle del Fiume Torto. Nel tratto centrale, invece, il tracciato taglia i rilievi collinari delle propaggini sud-occidentali delle Madonie (Monte Ragiura).

Il gruppo montuoso delle Madonie costituisce, dopo l'Etna, il rilievo più elevato della Sicilia. I rilievi più alti sono bordati da ampi versanti in larga parte coperti da potenti falde detritiche che sono sede di importati fenomeni franosi sia superficiali che profondi. Più a occidente, dopo le vallate dei Fiumi Imera Settentrionale e Torto, la catena si articola nei rilievi dei Monti di Termini Imerese – Trabia fino ai rilievi dei Monti di Palermo.

La fascia costiera presenta costa bassa e sabbiosa, conserva in più tratti lembi di terrazzi marini degradati che testimoniano i successivi livelli di stazionamento del mare pleistocenico. Inoltre, è presente una estesa piana costiera nella porzione centrale del Golfo di Termini Imerese, bordata da terrazzi marini e formatasi in tempi recenti per gli apporti alluvionali dei fiumi Torto ed Imera Settentrionale.

Il principale corso d'acqua è rappresentato dal Fiume Torto con i suoi affluenti essenzialmente a carattere stagionale e/o torrentizio. I maggiori corsi d'acqua che intersecano il tracciato ferroviario, da nord a sud, sono rappresentati, quindi, dal Vallone Ponte Ferduso, Vallone Ponte Lettiga, Vallone Canna, Vallone Ferrigna, Vallone Trabiata, Vallone di Cavatina, Vallone di Lisca, Vallone Ragiura, Vallone Zappalanotte, Torrente Albano.

L'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati, pertanto, sono direttamente connessi al deflusso delle acque correnti superficiali ed ai fenomeni gravitativi e/o erosivi agenti lungo i versanti. Ad essi si aggiungono, inoltre, locali elementi di origine strutturale, sedimenti di genesi marini, forme e depositi connessi con l'attività antropica, ed elementi di genesi mista, dovuti all'interazione di più fattori morfologici.

4.3.-..ASSETTO GEOLOGICO

4.3.1.-..L'AREA DI STUDIO NEL QUADRO GEOLOGICO REGIONALE

L'area di studio ricade nella porzione nord-occidentale dell'isola siciliana, all'interno del dominio della Catena Appenninico-Maghrebide (Lentini et al. 1995; Catalano et al. 1996; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000; Monaco & De Guidi 2006; Catalano et al. 2011).

La Catena Appenninico-Maghrebide, è costituita da sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma sia di bacino, con le relative coperture flyschoidi mioceniche (Ogniben 1969; Amodio Morelli et al. 1976; Mostardini & Merlini 1986; Cello et al. 1989; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 1998; Catalano et al. 2011). La catena è costituita da un sistema a thrust

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	10 di 260

pellicolare (Catalano et al. 2011), con vergenza verso SE nel tratto siculo-maghrebide e ENE in quello appenninico (Monaco et al. 2000). Il sistema comprende sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma sia di bacino (Catalano et al. 2011), con spesse coperture flyschoidi mioceniche probabilmente appartenenti ad un paleomargine afro-adriatico (Ogniben 1969; Amodio Morelli et al. 1976; Mostardini & Merlini 1986; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 1998). Queste ultime formano differenti orizzonti tettonici sovrapposti e sono interpretabili, essenzialmente, come il prodotto della deposizione di detrito quarzoso sia all'interno del dominio di avanfossa che all'interno di bacini di avampaese di età oligocenica-inframiocenica (Catalano et al. 2011). La Catena Appenninico-Maghrebide è quindi costituita da una serie di falde più o meno alloctone, totalmente sovrapposte sul Sistema a Thrust Esterno (Catalano et al. 2011). Le Unità Sicilidi che ricoprono la porzione sommitale della pila risultano derivanti dal Bacino Alpino-Tetideo che separava il margine europeo dal blocco panormide (Finetti et al. 2005) e sono interpretabili come i resti di un cuneo d'accrezione oceanico, sovrascorso fino al raggiungimento dell'attuale fronte della catena (Bello et al. 2000; Catalano et al. 2011). Ulteriori sequenze oceaniche, riconoscibili nelle unità tettoniche più esterne sono invece riferibili al dominio di crosta oceanica, che rappresenta la porzione subdotta dell'originario bacino ionico (Finetti et al. 2005).

Nella porzione centrale e settentrionale della Sicilia, al di sopra dei termini marini di catena, si rinvengono spesse ed estese successioni marine neogenico-quadernarie (Bianchi et al. 1987; Monaco & De Guidi 2006). Le successioni neogeniche sono essenzialmente connesse alla crisi di salinità del Messiniano e formano, pertanto, la sequenza evaporitica della Gessoso-Solfifera (Decima & Wezel 1971; Lentini et al. 1991; Catalano et al. 2011). Le successioni marine quadernarie, invece, sono invece rappresentate da depositi bacinali e di piattaforma continentale di natura sia carbonatica che silicoclastica (Bianchi et al. 1987; Lentini et al. 1991).

4.4.-..SINTESI DEL QUADRO GEO-STRUTTURALE

La strutturazione geometrica dei depositi affioranti e il loro relativo assetto giaciturale derivano, essenzialmente, dell'evoluzione tettonica che ha scandito la storia di questo settore dell'Orogene Appenninico-Maghrebide. In generale, le principali strutture tettoniche risultano parzialmente o completamente sepolte al di sotto dei depositi quadernari e, pertanto, l'esatta definizione dei rapporti geometrici tra le varie unità geologiche è generalmente complessa e di non facile lettura.

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di numerose strutture tettoniche, di differente età e tipologia, connesse alla complessa evoluzione strutturale di questo settore di catena. Lungo il tracciato è quindi possibile riconoscere elementi strutturali di tipo compressivo, trascorrente e distensivo, oltre a numerose faglie e lineamenti strutturali ad alto angolo con importanza ed estensioni variabili.

I sovrascorrimenti si rinvencono prevalentemente nella porzione settentrionale e in quella meridionale dell'area di studio. Nella zona a nord, i thrust sono responsabili della sovrapposizione delle Argille Varicolori inferiori sui termini del Flysch Numidico. Questi elementi a basso angolo presentano una generale vergenza verso i quadranti sud-occidentali, anche se non mancano sovrascorrimenti secondari vergenti verso sud-est, est e nord. In generale, le strutture compressive risultano tagliate e dislocate da numerose faglie dirette e ad alto angolo, che complicano notevolmente l'assetto strutturale dell'area.

Nella zona meridionale, invece, è presente un esteso thrust a vergenza occidentale, che porta i termini del Flysch Numidico e della Formazione Tavernola a sovrascorrere sui depositi della Formazione Mufara. Tale elemento è dislocato da una estesa faglia diretta ad asse WSW-ENE e da due faglie ad alto angolo orientate circa NW-SE/WNW-ESE. Verso sud, il sovrascorrimento è suturato dai depositi pelitici della Formazione Terravecchia, che risultano più recenti della fase deformativa che ha portato allo sviluppo di tale struttura.

Un ulteriore elemento connesso alla tettonica compressiva tardo-cenozoica è rappresentato dalla faglia inversa presenti nei settori centrali dell'area di studio, a NW del centro abitato di Montemaggiore Belsito. La struttura è orientata circa E-W e risulta immergente verso sud. La faglia interessa prevalentemente i depositi miocenici del Bacino Numidico e, verso ovest, taglia almeno in parte un thrust a basso angolo che porta i termini delle Argille Varicolori inferiori al di sopra dei depositi del Flysch Numidico.

Le strutture trascorrenti sono meno frequenti di quelle compressive e distensive anche se, nel contesto geologico-strutturale dell'area, assumono notevole importanza per via della loro notevole estensione. Tra queste, l'elemento più importante è rappresentato dalla faglia SW-NE presente nel settore centrale dell'area di studio, che si estende dal fianco nord-occidentale del rilievo di Monte Ragiura fino ai centri abitati di Montemaggio Belsito e Cerda. Si tratta di una faglia trascorrente sinistra ad alto angolo, che disloca tutta la successione del Bacino Numidico per diverse centinaia di metri. Una ulteriore struttura trascorrente ad asse circa E-W si rinviene nella porzione più meridionale dell'area di studio, tra Marcatobianco e il fondovalle del Fiume Torto.

Le strutture distensive sono molto frequenti in tutto il settore di studio e rappresentano un elemento di particolare rilevanza nell'evoluzione geologica dell'area, in quanto connesse a buona parte degli elementi geomorfologici di superficie. Tali faglie presentano direzioni estremamente variabili e piani inclinati tra i 60° ed gli 85°. La faglia diretta più importante è sicuramente quella circa E-W presente nella porzione più settentrionale dell'area di studio, in prossimità del litorale tirrenico, a cui è connessa la strutturazione dell'attuale zona di litorale. Un altro elemento di una certa rilevanza è quello circa WSW-ENE presenta nella porzione meridionale dell'area di intervento, che ribassa le diverse successioni di substrato verso SSE.

Gli elementi ad alto angolo a cinematica indeterminata, infine, sono particolarmente diffusi in tutta l'area di studio e interessano quasi tutte le unità geologiche presenti. Le direzioni di tali elementi sono molto variabili, anche se le faglie di maggiori dimensioni sono generalmente orientate in direzione circa N-S e NE-SW. Sia nella porzione più settentrionale dell'area di intervento che in quella più meridionale, questi elementi determinano l'andamento circa rettilineo del fondovalle del Fiume Torto. I corsi d'acqua secondari provenienti dai versanti più estesi, invece, seguono in genere l'andamento di ulteriori strutture ad asse circa E-W e NW-SE.

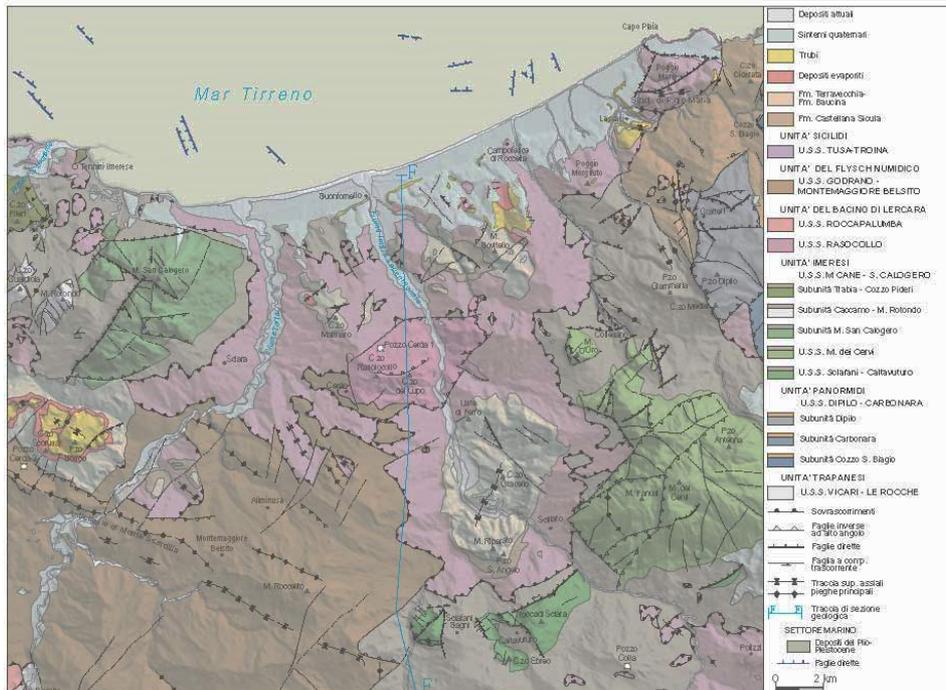


Figura 2 – Schema tettonico dei settori nord-occidentali della Sicilia, tra il Golfo di Termini Imerese, le Madonie occidentali e l'alto corso del Fiume Torto (da Catalano et al. 2011).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	13 di 260

4.5.-..SINTESI DEL QUADRO GEOLOGICO LOCALE E CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI DEPOSITI

Lo studio geologico del progetto definitivo, basato sulle analisi effettuate e sui rilievi di campagna, ha individuato e caratterizzato le singole unità e formazioni geologiche che formano le aree di progetto. In sintesi, l'assetto litostratigrafico¹ è distinto nelle unità e formazioni che formano il substrato e le formazioni delle coperture; nel complesso le sequenze sono così costituite, procedendo dal basso verso l'alto stratigrafico:

4.6.-..SUBSTRATO

4.6.1.-..SUCCESSIONI SEDIMENTARIE MESO-CENOZOICHE

Tali successioni sono composte dalle sequenze sedimentarie che formano l'ossatura di questo settore di Catena e sono riferibili ai domini strutturali del Bacino di Lercara, del Dominio Sicilide e del Bacino Numidico. I termini litologici delle successioni meso-cenozoiche si rinvencono in tutta l'area studio, anche se spesso risultano ricoperti da depositi quaternari di genesi continentale, marina e transizionale.

Formazione Mufara

Si tratta di una successione prevalentemente silicoclastica con locali apporti carbonatici affiorante nel settore sud-occidentale dell'area di studio, a NE del centro abitato di Lercara, nell'area compresa tra Cozzo del Duca e Cozzo di Faraguino. Si tratta di depositi marini costituiti da una singola litofacies a composizione argillitico-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area e presentano uno spessore massimo è di circa 200 m.

Litologicamente la litofacies argillitico-marnosa di questa unità, affiorante nell'area, è composta da argilliti e argilliti marnose di colore grigio-verde e nerastro (**MUF**), in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, a struttura scagliosa o caotica, con sottili livelli di calcite fibrosa a struttura "cone in cone"; spesso sono presenti intercalazioni di argilliti limose e marne argillose grigie e verdastre, in strati di spessore da millimetrico a decimetrico, e calcisilliti e arenarie fini grigie, verdi e vinaccia, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, talora a laminazione piano-parallela; a luoghi si rinvencono livelli di calcari

¹ Le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri caratterizzati da peculiarità litologiche specifiche.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	14 di 260

marnosi grigi e bluastri, calcareniti fossilifere, calciruditi gradate o laminate e calcari silificeri, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico.

4.6.2.-..DEPOSITI DEL DOMINIO SICILIDE

I depositi di questa unità stratigrafico-strutturale sono suddivisibili in due distinte formazioni geologiche, le Argille Varicolori inferiori e la Formazione Polizzi. Si tratta di successioni marine estesamente affioranti nella porzione settentrionale dell'area di studio.

Argille Varicolori inferiori

Questa unità si rinviene nella zona settentrionale dell'area di studio, a nord del centro abitato di Aliminusa, tra Cozzo Trabiata e Vallone Ponte Lettiga, e lungo i versanti ad est della stazione di Cerda. Si tratta di depositi marini costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante su unità non affioranti nell'area e presentano uno spessore massimo non valutabile per tettonizzazione.

Dal punto di vista sedimentologico, la litofacies argilloso-marnosa di questa unità è formata da argille limose e argille marnose di colore rosso vinaccia, verde e grigio (AVF), a luoghi con bande violacee e grigio-azzurre, fortemente tettonizzate e a giacitura caotica, a struttura indistinta o finemente scagliosa, con locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; spesso si rinvengono intercalazioni di limi sabbioso, siltiti e arenarie fini grigie e verdastre, in strati da centimetrici a decimetrici, da massivi a gradati, talora a laminazione piano parallela; a luoghi si rinvengono livelli di calcilutiti silicee verdastre, calcareniti nocciola con patine mangesifere e radiolariti verdi e rossastre, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico; immersi nella massa argillosa sono talora presenti olistoliti eterometrici costituiti da calcari detritici con frammenti di rudiste, calcari marnosi biancastri e marne rosate. Tale unità data la sua natura estremamente complessa presenta una variabilità meccanica e strutturale quasi puntuale.

Formazione Polizzi

Tali litotipi affiorano in lembi di ridotta estensione nel settore nord-orientale dell'area di interesse progettuale, nei pressi della stazione di Cedra e tra il Vallone Ponte Lettiga e il Vallone Cerda. Si tratta di depositi marini costituiti da una singola litofacies a composizione calcareo-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi delle Argille Varicolori inferiori e presentano uno spessore massimo di circa 170 m..

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	15 di 260

Nella zona di studio l'unità è rappresentata unicamente da una litofacies calcareo-marnosa. Si tratta essenzialmente di calcari e calcari marnosi di colore grigio e biancastro (**POZ**), a luoghi rossastro, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, talora a laminazione piano-parallela; spesso sono presenti intercalazioni di marne argillose grigie, in strati di spessore centimetrico, compatte o a struttura scagliosa; a luoghi si rinvencono livelli di calcareniti e brecce calcaree grigie e nocciola, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, generalmente gradati.

4.6.3.-...DEPOSITI DEL BACINO NUMIDICO

La successione del Bacino Numidico, relativamente ai settori di interesse progettuale è composta da due differenti unità geologiche, il Flysch Numidico e la Formazione Tavernola, estesamente affioranti nel settore centrale e in quello meridionale della zona intervento, oltre che in piccoli lembi in prossimità della costa.

Flysch Numidico

Questi terreni si rinvencono diffusamente nel settore centrale dell'area di studio, tra la stazione di Sciara-Aliminusa e Cozzo di Faso a SW di Alia, e localmente nella zona nord-orientale dell'area di studio, in Contrada Catena nel territorio di Termini Imerese. Si tratta di depositi marini costituiti da due differenti litofacies a composizione argillitico-siltitica (Membro di Gerasi Siculo) e arenaceo-argillitica. Poggiano in contatto stratigrafico da discordante a paraconforme su unità non affioranti nell'area e mostrano uno spessore massimo di circa 800 m.. La litofacies argillitico-siltitica, nota in letteratura come Membro di Gerasi Siculo, è formata da argilliti e argilliti siltitiche di colore grigio e grigio chiaro, a luoghi con bande grigio scuro, bruno e verdastro (**FYN5**), in strati di spessore da millimetrico a decimetrico, compatti o a struttura scagliosa, talora a laminazione piano-parallela; spesso sono presenti intercalazioni di marne argillose e siltiti di colore grigio e grigio scuro, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, e argille marnose grigie, in strati di spessore da millimetrico a centimetrico; a luoghi si rinvencono livelli di arenarie quarzose di colore grigio e giallastro, a grana da fine a media, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, da massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela, incrociata e convoluta; talora sono presenti fratture riempite da calcite e passaggi fortemente alterati e/o tettonizzati.

La litofacies arenaceo-argillitica invece, è costituita da una fitta alternanza di arenarie quarzose, argilliti, argilliti siltitiche e siltiti di colore grigio e grigio chiaro, a luoghi con bande grigio scuro, marrone e verdastro (**FYN5a**), in strati di spessore da millimetrico a metrico, da

massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela, incrociata e convoluta; spesso sono presenti intercalazioni argille limose, argille marnose e marne argillose grigie e marroni, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, e sabbie limose giallastre poco cementate, in strati di spessore da millimetrico a centimetrico; a luoghi si rinvengono porzioni costituite prevalentemente da arenarie quarzose e quarzoso-micacee di colore grigio e grigio chiaro, marroncino e giallastro per alterazione, a grana da fine a media, in strati e banchi di spessore da decimetrico a decametrico, da massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela, incrociata e convoluta, con locali intercalazioni di quarzoareniti, e microconglomerati quarzosi grigi; talora sono presenti fratture riempite da calcite biancastra e passaggi fortemente fratturati e/o tettonizzati.

Formazione Tavernola

Tale formazione affiora ampiamente nel settore meridionale della zona di interesse progettuale, a SW del centro abitato Alia, e localmente nel settore centrale della stessa, ad est di Aliminusa e a NW di Montemaggiore Belsito. Si tratta di depositi marini costituiti da due differenti litofacies a composizione argilloso-marnosa e arenaceo-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Flysch Numidico e sono caratterizzati da uno spessore di circa 200 m..

La litofacies argilloso-marnosa è formata da argilliti e siltiti di colore grigio, a luoghi bruno o giallastro per alterazione (**TAV**), in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, generalmente compatti, a foraminiferi planctonici e arenacei; spesso sono presenti intercalazioni di argille marnose, marne argillose e marne grigie e giallastre, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, compatte o a struttura debolmente scagliosa; a luoghi si rinvengono livelli di arenarie glauconitiche e micacee grigie, in strati di spessore decimetrico, da massive a gradate, talora a laminazione piano-parallela; talora sono presenti fratture riempite da calcite biancastra e passaggi fortemente fratturati e/o tettonizzati.

La litofacies arenaceo-marnosa, invece, è formata da arenarie glauconitiche e micacee grigio, a luoghi giallastre per alterazione (**TAVa**), a grana da fine a media, in strati di spessore da decimetrico a metrico, da massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela; spesso sono presenti intercalazioni di argilliti e siltiti grigie, in strati di spessore centimetrico e decimetrico, generalmente compatti; a luoghi si rinvengono lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e marrone, da scarsa ad abbondante; talora

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	17 di 260

sono presenti fratture riempite da calcite biancastra e passaggi fortemente fratturati e/o tettonizzati.

4.6.4.-...SUCCESSIONI MIO-PLIOCENICHE

I depositi miocenici sono formati da due distinte unità geologiche, la Formazione di Castellana Sicula e la Formazione Terravecchia. Si tratta di due successioni prevalentemente silicoclastiche di piattaforma continentale, scarpata e piana fluvio-deltizia, affioranti estesamente nel settore meridionale dell'area di intervento e localmente nel settore centro-settentrionale della stessa.

Formazione Castellana Sicula

Questa successione affiora esclusivamente nel settore centro-settentrionale dell'area di studio, in corrispondenza di Cozzo Pipitone. Si tratta di depositi costituiti da una singola litofacies a composizione argilloso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi delle Argille Varicolori inferiori e presentano uno spessore massimo di circa 70 m.. Dal punto di vista sedimentologico, questa litofacies argilloso-sabbiosa è composta da di argille e argille sabbiose di colore grigio e grigio verdastro (SIC), a luoghi brunastro per alterazione, in strati di spessore da millimetrico a decimetrico, generalmente compatti, talora a laminazione piano-parallela; spesso sono presenti intercalazioni di sabbie quarzose e arenarie grigie e giallastre, in strati e banchi di spessore da decimetrico a metrico, da massivi a gradati; a luoghi si rinvengono lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e marrone, da scarsa ad abbondante.

Formazione Terravecchia

Affiora estesamente nel settore meridionale della zona di intervento, a sud di Contrada Tortoresi, e localmente nel settore centro-settentrionale della stessa, in corrispondenza di Cozzo Pipitone. Si tratta di depositi costituiti da due differenti litofacies a composizione sabbioso-marnosa e conglomeratico-arenacea.

La litofacies sabbioso-marnosa è composta da un'alternanza mal definita di arenarie medio-fini e conglomerati poligenici, a grado di cementazione variabile da basso a elevato (TRVa), con argille marnose e marne di colore grigio, verdastro e giallastro, a luoghi bruno e rossastro per alterazione, in strati e banchi di spessore da decimetrico a metrico, da massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela o incrociata; spesso si rinvengono

intercalazioni di argilliti, siltiti e microconglomerati grigi e nocciola, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose grigie e giallastre, localmente da poco a moderatamente cementate, in strati di spessore da millimetrico a decimetrico, talora a laminazione piano-parallela, con diffuse ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; talora sono presenti passaggi fortemente fratturati e/o tettonizzati.

La litofacies conglomeratico-arenacea, invece, è formata da conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati (TRVc), talora appiattiti, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, rosso e giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; spesso sono presenti intercalazioni di arenarie di colore di colore grigio e giallastro, in strati di spessore da decimetrico a metrico, da massivi a gradati, talora a laminazione piano-parallela e incrociata; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi e sabbie gialle e rossastre, in strati da centimetrici a decimetrici.

4.7.-..COPERTURE

4.7.1.-..SUCCESSIONI CLASTICHE QUATERNARIE

Le successioni clastiche quaternarie sono formate dai depositi continentali e dai depositi marini e transizionali che ricoprono tutte le unità geologiche di substrato. Queste successioni affiorano diffusamente in tutta l'area di studio, soprattutto lungo la costa, in corrispondenza dei fondovalle e alla base dei versanti più importanti ed estesi.

Si distinguono depositi marini, terrazzati e recenti, e depositi continentali. I depositi marini e transizionali sono formati da due distinte unità geologiche: depositi marini terrazzati e depositi marini recenti. I primi sono connessi all'evoluzione infra-pleistocenica della costa tirrenica, mentre i secondi sono costituiti da terrazzo marino del Tirreniano. Le unità si rinvengono unicamente nel tratto più settentrionale della zona di studio, in prossimità del litorale, in lembi e terrazzi di limitato spessore ed estensione.

I depositi continentali sono formati da sei distinte sequenze sedimentarie: alluvionali terrazzati, alluvionali antichi, palustri, alluvionali recenti, alluvionali attuali e le coltri detritico-colluviali. Tutti i sedimenti alluvionali sono connessi all'azione deposizionale dei principali sistemi fluviali, mentre i depositi palustri sono collegati all'evoluzione geologica della zona costiera e degli specchi d'acqua presenti in prossimità dei cordoni litoranei. Le coltri detritico-colluviali, infine, si rinvengono in tutta l'area di studio e sono connesse all'evoluzione morfologica dei versanti.

Depositi marini terrazzati

Questa formazione si rinviene unicamente nella zona settentrionale dell'area di studio, in contrada Catena. Si tratta di depositi marini di spiaggia, cordone litoraneo, duna e palude salmastra, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 5 m.

Dal punto di vista litologico, questa unità è costituita unicamente da una litofacies ghiaioso-sabbiosa. Si tratta essenzialmente da ghiaie e ciottoli poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati (GN1), in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante, talora discretamente cementata; a luoghi si rinvencono lenti e/o livelli di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, a stratificazione indistinta o incrocia, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

Depositi marini recenti

Tali terreni si rinvencono unicamente nella zona settentrionale dell'area di studio, a sud della zona industriale di Termini Imerese. Si tratta di depositi marini di spiaggia, cordone litoraneo e piana tidale, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 20 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i depositi in questione sono ascrivibili al Tirreniano.

Dal punto di vista litologico, la litofacies sabbioso-limosa che costituisce questa unità è formata da sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro (GB1), a stratificazione indistinta o incrociata, talora ben cementate, con una ricca fauna calda "a ospiti senegalesi" e locali ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvencono lenti e/o livelli di conglomerati e calcareniti silicee grigie e nocciola.

Depositi alluvionali terrazzati

Tali depositi si rinvencono in tutta l'area di studio, in lembi di limitato spessore ed estensione posti a differenti quote rispetto al fondovalle attuale. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 10 m.

Dal punto di vista litologico, questa unità è costituita unicamente da una litofacies ghiaioso-sabbiosa. Si tratta essenzialmente di ghiaie e ciottoli poligenici ed eterometrici (BN1), da sub-angolosi a sub-arrotondati, in matrice sabbiosa, sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; talora sono presenti lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone e bruno-rossastro, da scarsa ad abbondante.

Depositi alluvionali antichi

Tali terreni si rinvencono localmente lungo il fondovalle del Fiume Torto, sia nella porzione settentrionale che in quella meridionale dell'area di studio. Si tratta di depositi continentali canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argillosa.

La litofacies limoso-argillosa di questa unità è composta prevalentemente da limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, talora grigio scuro (BT1), a struttura indistinta o debolmente laminata, con rare ghiaie poligeniche da angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono lenti e/o livelli di ghiaie e ciottoli poligenici ed eterometrici, da sub-angolosi a sub-arrotondati, in matrice sabbioso-limosa e limoso-argillosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante.

Depositi palustri

Questi terreni affiorano unicamente nel settore NE dell'area di studio, in Contrada Molara, nel territorio di Termini Imerese. Si tratta di depositi continentali di palude e lago costiero, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici ai depositi alluvionali recenti.

Dal punto di vista geologico, questa litofacies sabbioso-limosa è formata da sabbie fini e sabbie limose di colore grigio scuro e giallastro, a luoghi marrone e bruno-rossastro (E3), a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi resti vegetali e frequenti intercalazioni di sabbie ghiaiose giallastre; a luoghi si rinvencono intercalazioni di limi e limi argillosi grigi e nerastrati, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi resti vegetali e rare ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

Depositi alluvionali recenti

Tali depositi si rinvencono estesamente in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area e, in particolare, lungo il fondovalle del Fiume Torto e dei suoi affluenti maggiori. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da tre differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici ai depositi palustri.

La litofacies ghiaioso-sabbiosa è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche (BB1), da sub-angolose ad arrotondate, talora appiattite, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore bruno, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

La litofacies sabbioso-limosa, invece, è costituita da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, bruno e giallastro (BB2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono lenti di sabbie ghiaiose grigie e passaggi di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore bruno-rossastro, a struttura indistinta, con rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. Infine, la litofacies limoso-argillosa è formata da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, talora grigio e giallastro (BB3), a struttura indistinta o debolmente laminata, con rare ghiaie poligeniche da angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

Depositi alluvionali attuali

Tali materiali si rinvencono diffusamente in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area e, in particolare, lungo l'alveo del Fiume Torto. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono parzialmente eteropici ai Depositi detritico-colluviali.

Dal punto di vista sedimentologico, l'unità è composta unicamente da una litofacies ghiaioso-sabbiosa. Si tratta prevalentemente di ghiaie e ciottoli poligenici ed eterometrici (BA1), da sub-angolosi ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	22 di 260

limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.

Depositi detritico-colluviali

Questi depositi si rinvencono diffusamente in tutta l'area di studio, nelle zone impluviali o alla base dei versanti morfologici più importanti. Si tratta di depositi continentali di versante, di alterazione del substrato e di falda detritica, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici ai depositi alluvionali attuali. Tali terreni presentano uno spessore massimo è di circa 15 m.

Dal punto di vista litologico, questa unità è costituita prevalentemente da una litofacies limoso-argillosa, all'interno della quale si intercalano porzioni più grossolane di natura prettamente detritica. Si tratta essenzialmente di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro (B2), a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; talora sono presenti ghiaie e blocchi poligenici ed eterometrici, da angolosi a sub-angolosi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone e giallastro, generalmente abbondante.

4.8.-...INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E SCHEMA DEL DEFLUSSO IDRICO SOTTERRANEO

Lo studio geologico di riferimento ha definito puntualmente, nell'ambito dello schema idrogeologico regionale, l'assetto idrogeologico delle aree d'intervento definendo il modello idrogeologico locale: ad esso si rimanda per una esaustiva analisi, qui di seguito si sintetizzano i dati salienti.

Nel settore nord-orientale della Sicilia sono presenti complessi carbonatici e carbonatico-silicoclastici, fratturati e più o meno carsificati, che ospitano al loro interno importanti acquiferi sotterranei (Bartolomei et al. 1983; Catalano et al. 1988; Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011), alcuni dei quali strategici per l'approvvigionamento idrico di Palermo e di parte dell'area metropolitana. Ad essi si aggiungono spesse successioni pelitiche, prive di corpi idrici sotterranei significativi, e depositi clastici quaternari, localmente sede di falde freatiche di discreta rilevanza (Bartolomei et al. 1983).

Nei Monti di Trabia e Termini Imerese sono presenti quattro unità idrostrutturali sovrapposte (Contino et al. 2004), rappresentate da Pizzo di Cane - Monte San Calogero, Monte San Onofrio – Monte Rotondo, Monte Rosamarina – Monte Pileri e Capo Grosso – Torre Colonna). Le placche di terreni calcareo-marnosi, appartenenti al dominio Sicilide, svolgono un ruolo idrogeologico generalmente modesto (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Fa eccezione l'idrostruttura di San Marina, tra Trabia e Termini Imerese, il cui acquifero è sfruttato tramite pozzi, mentre le manifestazioni sorgentizie sono esclusivamente sottomarine (Contino et al. 2004).

I depositi del Bacino di Monte Bosco, posti a sud dell'edificio tettonico dei Monti di Termini Imerese, ospitano nel loro seno diversi acquiferi, spesso multifalda, separati da orizzonti impermeabili o semi-permeabili (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Gli acquiferi presenti negli intervalli arenaceo-conglomeratici della Formazione Terravecchia, nei calcari della Formazione di Baucina e nei depositi marnoso-sabbioso-calcarenitici pliocenici presentano manifestazioni sorgentizie relativamente modeste (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Le evaporiti messiniane, invece, danno vita a sorgenti selenitose, utilizzate solo per uso irriguo (Contino et al. 2004).

Le sabbie e le calcareniti plioceniche della zona costiera ospitano una falda o un acquifero multifalda che viene captato da numerosi pozzi di privati (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). I depositi sabbioso-conglomeratici, associati alle spianate terrazzate pleistoceniche, sono caratterizzati dalla presenza d'acquiferi multifalda sfruttati essenzialmente tramite la captazione per pozzi (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Lo sfruttamento intensivo di tali acquiferi, che si sviluppano soprattutto nel settore orientale, ha prodotto fenomeni d'ingressione marina (Catalano et al. 2011).

La circolazione idrica nelle principali idrostrutture è condizionata essenzialmente dai principali lineamenti strutturali, dai fronti di accavallamento che di sovente vanno a coinvolgere le coperture terrigene impermeabili del Flysch Numidico e dalla presenza di forme carsiche prevalentemente a scarso sviluppo orizzontale (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Alcuni recapiti preferenziali della falda si rinvengono presso l'abitato di Termini Imerese, dove ricadono anche numerose manifestazioni sorgentizie (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). Le strutture geologiche profonde sono caratterizzate da circolazione idrotermale (sorgenti termali di Termini Imerese e Sclafani Bagni).

Negli alvei dei principali corsi d'acqua dell'area, come il Fiume San Leonardo, il Fiume Torto e il Fiume Imera settentrionale, sono presenti acquiferi multifalda all'interno dei depositi alluvionali, localmente captati tramite pozzi (Contino et al. 2004; Catalano et al. 2011). La

Piana di Buonfornello e il settore costiero compreso tra Termini Imerese e Capo Plaia è completamente circondato da litotipi poco permeabili, che costituiscono anche il substrato dell'acquifero (Bartolomei et al. 1983). Quest'ultimo è costituito da depositi alluvionali eterogenei (Bartolomei et al. 1983; Contino et al. 2004), con uno spessore massimo di circa 50 m.

Il regime di deflusso idrico sotterraneo nei settori d'interesse è direttamente connesso alle caratteristiche di permeabilità dei termini litologici presenti e al locale assetto strutturale e litostratigrafico dell'area. Buona parte dei corpi idrogeologici individuati rappresentano, nello schema di circolazione idrica dell'area, degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione areale e verticale dei depositi. Ad essi si aggiungono, inoltre, alcuni corpi idrogeologici di ridotta permeabilità che, nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati degli acquicludi o al più degli acquitard, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti.

Nell'area di studio è possibile individuare diverse condizioni idrogeologiche e di deflusso idrico sotterraneo: una condizione relativa ai settori di fondovalle con spesse coperture quaternarie, una condizione di versante con substrato relativamente permeabile e una condizione di versante con substrato poco o nulla permeabile. Queste condizioni sono chiaramente schematizzabili lungo il tracciato in progetto, per via delle differenti caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell'area.

I settori di fondovalle sono presenti nella porzione più meridionale e in quella più settentrionale dell'area di studio, principalmente lungo il fondovalle del Fiume Torto. Ulteriori alvei, di limitata rilevanza dal punto di vista idrogeologico, si rinvennero nella parte centrale dell'area di studio, nella zona interessata dalla galleria in progetto. In questi settori sono presenti diffuse falde di sub-alveo, situate all'interno delle porzioni più grossolane e permeabili dei depositi alluvionali che colmano le piane. Tali falde sono sostenute dai termini meno permeabili del substrato, che localmente le tamponano anche lateralmente.

Le falde seguono l'andamento della superficie topografica e mostrano un deflusso orientato prevalentemente verso nord, in direzione del litorale tirrenico. L'alimentazione è dovuta principalmente alle precipitazioni meteoriche e ai travasi, prevalentemente verticali, che avvengono dai corsi d'acqua superficiali verso la falda. La superficie piezometrica è generalmente posta a pochi metri di profondità dal p.c., anche se il suo andamento è

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

fortemente variabile in funzione della morfologia del substrato impermeabile e delle variazioni stagionali degli apporti meteorici.

I settori di versante caratterizzati dalla presenza di successioni pre-quadernarie relativamente permeabili si rinvencono diffusamente nel settore centrale e meridionale dell'area di studio, lungo buona parte del tratto in galleria, mentre sono molto rari nelle restanti zone. In tali settori sono presenti estese falde sotterranee, prevalentemente situate all'interno delle porzioni più fratturate e permeabili del substrato. Le falde sono spesso tamponate o, talvolta, completamente confinate dagli orizzonti pelitici presenti all'interno delle successioni, che frazionano il deflusso idrico sotterraneo in diverse falde parzialmente comunicanti.

L'andamento delle falde segue generalmente la morfologia superficiale dei versanti, anche se localmente risulta fortemente condizionato dall'assetto giaciturale dell'ammasso e dalla conformazione degli orizzonti pelitici a bassa permeabilità. L'alimentazione degli acquiferi è dovuta sia alle precipitazioni meteoriche che agli scambi idrici sotterranei con le idrostrutture confinanti. La profondità della superficie piezometrica è generalmente piuttosto elevata, nell'ordine di diverse decine di metri, anche se localmente si riduce fortemente in prossimità dei fondovalle e delle depressioni impluviali più importanti.

Infine, i settori di versante con substrato pelitico poco o nulla permeabile si rinvencono diffusamente nel tratto centro-settentrionale e meridionale dell'area di intervento, mentre sono presenti solo localmente nel tratto centrale della stessa. Data la ridotta permeabilità media dei depositi in questione, non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di particolare rilevanza, a meno di piccole falde presenti all'interno degli orizzonti lapidei fratturati intercalati all'interno della successione. Queste falde risultano generalmente confinate dai termini pelitici circostanti e raramente raggiungono una estensione significativa. Questi depositi costituiscono generalmente degli acquicludi o degli acquitard per gli acquiferi limitrofi e, pertanto, condizionano in maniera sostanziale l'assetto idrogeologico dell'area. Nonostante ciò, anche le porzioni pelitiche meno permeabili risultano generalmente sature, soprattutto in profondità dove le intercalazioni lapidee e i deflussi idrici provenienti dalle idrostrutture limitrofe hanno permesso, nel corso del tempo, l'instaurarsi di una condizione stabile di saturazione dell'ammasso.

4.8.1.-..COMPLESSI IDROGEOLOGICI E CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ

Nei settori di intervento sono stati individuati otto complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. Di seguito vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati,

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

segundo uno schema basato sull'assetto geologico dell'area e sulle caratteristiche di permeabilità dei diversi termini litologici.

4.8.2.-.. *COMPLESSI DELLE UNITÀ DEL SUBSTRATO*

Questo gruppo è rappresentato da quattro distinti complessi idrogeologici, costituiti da successioni sedimentarie meso-cenozoiche e da depositi di avanfossa mio-pliocenici.

Substrato argilloso-marnoso

Al presente complesso (SAM) sono associati i depositi prevalentemente pelitici delle unità MUF, AVF, FYN5 e TAV.

I terreni in questione costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli acquicludi o degli acquitard di notevole importanza per tutti i corpi idrogeologici limitrofi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde confinate all'interno degli orizzonti arenacei e carbonatici più permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da impermeabile a bassa. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-10}$ e $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Substrato calcareo-marnoso

A questo complesso (SCM) sono riferiti i termini carbonatici e calcareo-marnosi dell'unità POZ.

Questi depositi costituiscono acquiferi fessurati di discreta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente discontinue e frazionate, contenute nelle porzioni più carsificate e fessurate dell'ammasso. La permeabilità, per fessurazione e carsismo, è variabile da molto bassa a media. Al complesso in esame si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $5 \cdot 10^{-8}$ e $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Substrato conglomeratico-arenaceo

Al complesso in questione (SCA) sono associati i depositi conglomeratici e arenacei dell'unità TRVc.

I presenti litotipi costituiscono acquiferi di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, sia frazionate che a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media. A questo complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Substrato arenaceo-pelitico

Al presente complesso (SAP) sono riferiti i depositi e le alternanze arenaceo-pelitiche delle unità FYN5a, TAVa, SIC e TRVa.

I termini litologici in esame costituiscono acquiferi di modesta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, sia autonome che a deflusso unitario, contenute all'interno delle porzioni lapidee più fessurate e permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa. A questo complesso si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

4.8.3.-.. COMPLESSI DEI DEPOSITI DI COPERTURA

Tale gruppo è rappresentato da quattro differenti complessi idrogeologici, composti essenzialmente da depositi quaternari di natura alluvionale, marina e detritico-colluviale.

Coperture limoso-argillose

A questo complesso (CLA) sono riferiti i depositi quaternari a composizione prevalentemente pelitica delle unità bt1 e bb3.

Questi depositi costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nel contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli acquitard di importanza variabile in relazione all'estensione e allo spessore dei depositi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, a meno di piccole falde stagionali all'interno degli orizzonti sabbioso-limosi più permeabili presenti all'interno del complesso. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da impermeabile a bassa. Al complesso in esame si può pertanto attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $5 \cdot 10^{-10}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Coperture sabbioso-limose

Al complesso in questione (CSL) sono associati i termini prevalentemente psammitici delle unità gb1, e3 e bb2.

I presenti litotipi costituiscono acquiferi porosi di discreta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, localmente autonome ma globalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e/o sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a media. A questo complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Coperture ghiaioso-sabbiose

Al presente complesso (CGS) sono riferiti i terreni di copertura prevalentemente grossolani delle unità gn1, bn1, bb1 e ba1.

I termini litologici in esame costituiscono acquiferi porosi di elevata trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di notevole rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che presentano interscambi con i corpi idrici superficiali e/o sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa ad alta. Al complesso in questione è pertanto possibile attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $5 \cdot 10^{-6}$ e $5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Terreni di copertura

Tale complesso (TRC) è composto dai terreni di copertura antropica, gravitativa ed eluvio-colluviale delle unità fr, b2 e h.

I depositi in questione costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività a causa del ridotto spessore dei depositi, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale, direttamente influenzate dal regime delle precipitazioni meteoriche. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da molto bassa a bassa. A questo complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $5 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

5...PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. Secondo tale normativa i territori dei comuni di Alia, Aliminusa, Caccamo, Castronovo di Sicilia, Cerda, Montemaggiore Belsito, Sciara, Sclafani Bagni e Termini Imerese ricadevano in **Zona sismica 2** con livello di pericolosità medio, ovvero aree che potrebbero essere interessate da eventi sismici abbastanza forti ($0.15 < a_g \leq 0.25$).

All'attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l'applicazione WebGIS, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica. In particolare, per la zona interessata dalla tratta ferroviaria progettuale, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi all'incirca nell'intervallo 0.075-0.200 a_g (accelerazione massima del suolo).

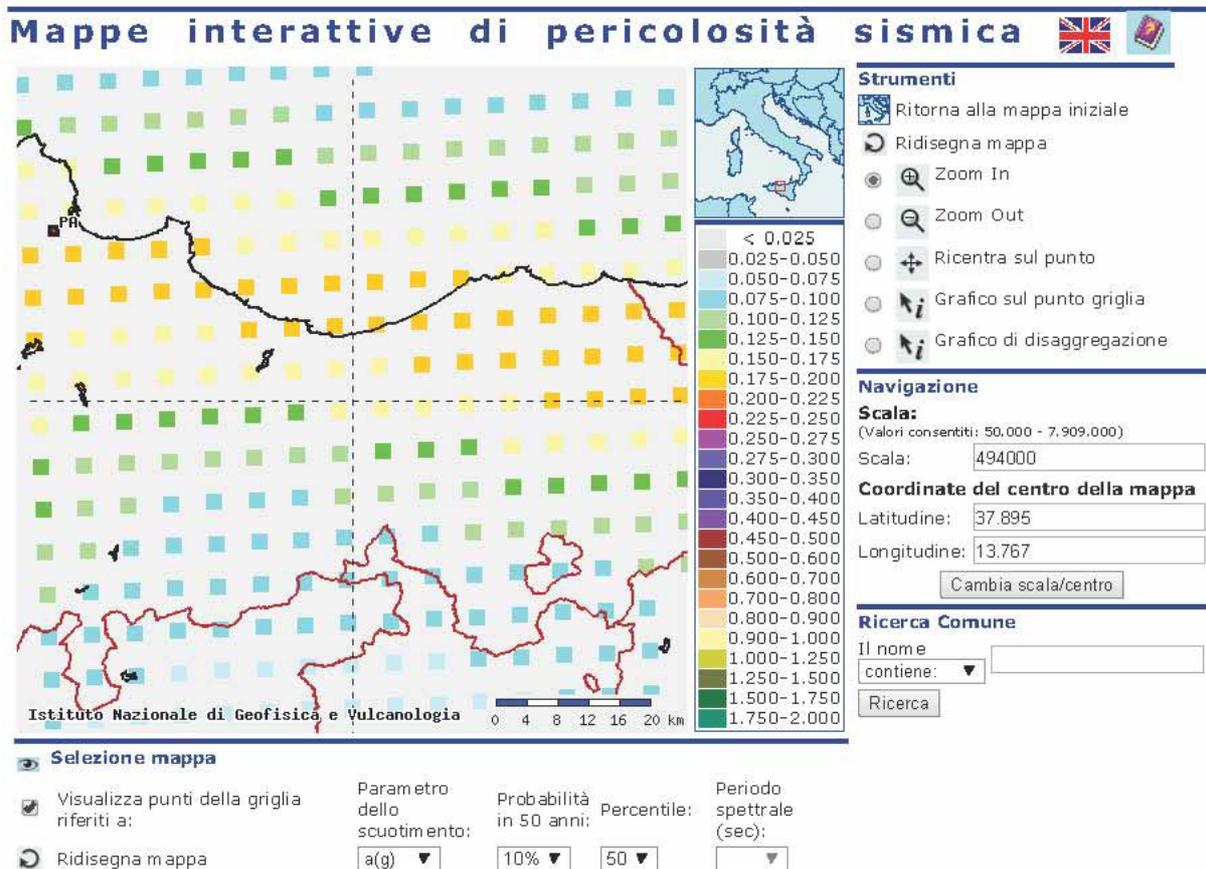


Figura 3 - Mappa di pericolosità sismica per l'area di interesse; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

Il database del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from CApable faults*) non mostra, nell'area progettuale, l'esistenza di faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. Gli unici elementi tettonici riportati sono ubicati oltre 30 km a sud-ovest rispetto ai settori di intervento. Tali elementi quindi non interferiscono direttamente con il tracciato di progetto, ma sono comunque in grado di produrre eventi sismici di una certa importanza, con sicuro risentimento per le opere nei settori di stretto interesse progettuale.



Figura 4 – Stralcio cartografico dell'area di interesse con individuazione della tratta ferroviaria (blu), delle viabilità di progetto (magenta) e delle faglie capaci (in rosso).

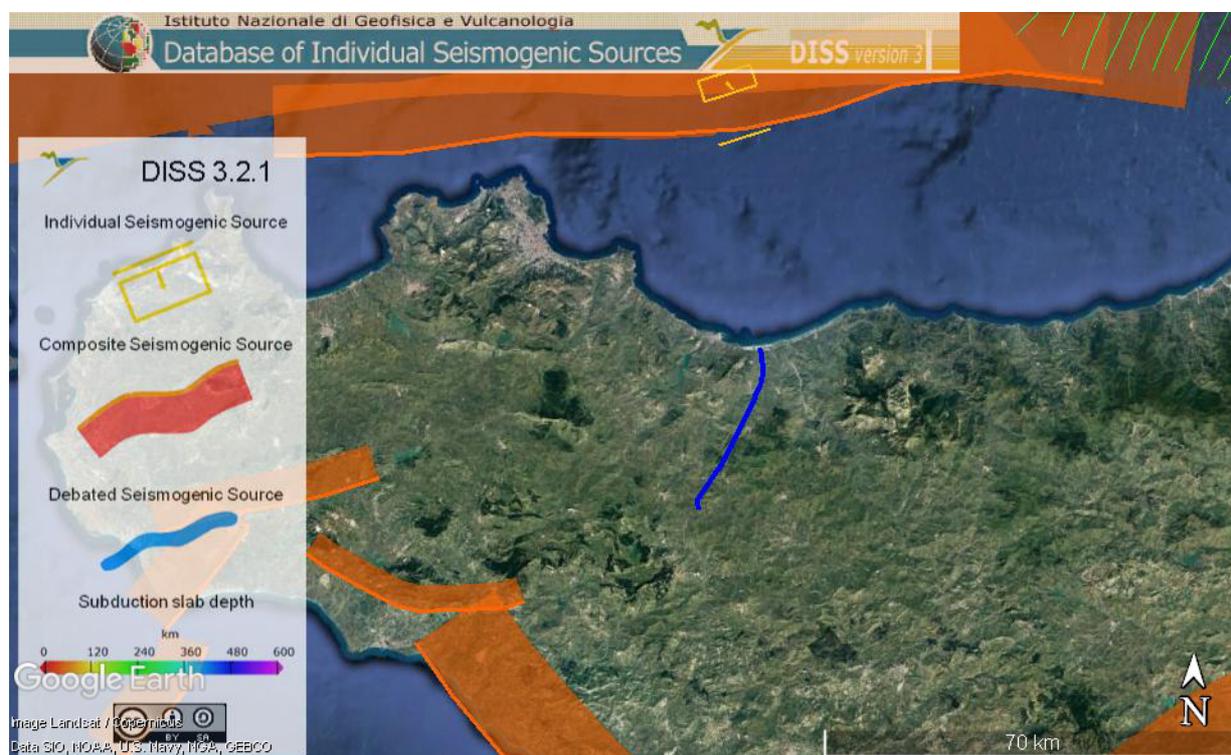


Figura 5 - Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con $M > 5.5$ nell'area di studio (da DISS Working group 2018, Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), versione 3.2.1., <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.shtml>), con individuazione della tratta ferroviaria (blu).

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno T_r pari a 475. Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. paragr. 3.2). I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

ID	longitudine	latitudine	a_g	F_0	T_c
45847	13.744	37.985	0.18	2.38	0.29
45848	13.807	37.985	0.18	2.38	0.29
46069	13.744	37.935	0.17	2.37	0.30
46070	13.807	37.935	0.18	2.37	0.30
46290	13.680	37.885	0.15	2.40	0.31
46291	13.743	37.885	0.15	2.38	0.31
46292	13.807	37.885	0.16	2.37	0.31
46512	13.680	37.835	0.12	2.50	0.32

ID	longitudine	latitudine	a_g	F_0	T_c
46513	13.743	37.835	0.13	2.47	0.32
46514	13.806	37.835	0.13	2.45	0.32
46733	13.617	37.785	0.10	2.59	0.34
46734	13.680	37.785	0.10	2.58	0.34
46735	13.743	37.785	0.11	2.57	0.33
46955	13.617	37.735	0.09	2.60	0.35
46956	13.680	37.735	0.09	2.60	0.35
46957	13.743	37.735	0.09	2.60	0.35
47177	13.617	37.685	0.08	2.60	0.36
47178	13.680	37.685	0.08	2.61	0.36

Tabella 2 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno T_r pari a 475 anni, le coordinate sono espresse in gradi decimali (EPSG:4230).

5.1.-..CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle strutture è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del Categoria di sottosuolo

I parametri forniti, in funzione di quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale. La normativa citata prevede, relativamente alla caratterizzazione sismica di un sito (D.M. 17/01/2018 – G.U. Serie Generale n. 42 del 20-2-2018), la determinazione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s) per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Sulla scorta dei dati a disposizione, tale determinazione è stata effettuata attraverso indagini di tipo geofisico, quali prove down-hole e prospezioni sismiche MASW, che forniscono indicazioni dirette relativamente al valore di $V_{S,30}$.

Nell'ambito dello studio geologico di riferimento, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione delle n. 28 prove MASW e delle n. 14 prove Down-Hole appositamente realizzate. In Tabella 43 si riporta una sintesi delle prove effettuate, contenente i valori di $V_{S,eq}$ determinati, la categoria di sottosuolo corrispondente e una sintesi dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza della prova

sigla	tipologia	$V_{S,eq}$ m/s	H m	categoria di sottosuolo	unità geologiche
1S16	down-hole	308	30	C	bb1/bb2/bb3/AVF
1S24	down-hole	352	30	C	bb1/bb3/AVF
1S26	down-hole	339	30	C	bt1/AVF
1SGN04DH	down-hole	335	30	C	AVF
2SGN01	down-hole	358	30	C	b2/TRVa
2SGN03	cross-hole	635	30	B	b2/TAV
2SGN07	down-hole	572	30	B	bb1/bb3/FYN5a
2SGN10	down-hole	420	30	B	b2/bb3/FYN5
2SNV03	down-hole	345	30	C	bbb2/bb3/TRVa
MASW3	masw	393	30	B	bb2/bb3/AVF
MASW4	down-hole	284	30	C	bb1/bb2/bb3/AVF
MASW5	masw	377	30	B	bb1/bb2/bb3/AVF
MASW6	masw	326	30	C	bt1/AVF
MASW7	masw	376	30	B	bb1/bb2/bb3/AVF
MASW8	masw	367	30	B	AVF
MASW9	masw	399	30	B	FYN5
MASW10	masw	368	30	B	FYN5
MASW11	masw	420	30	B	b2/TRVa
MASW12	masw	250	30	C	TRVa
MASW13	masw	371	30	B	b2/TRVa
MASW14	masw	310	30	C	xq/MUF
MASW15	masw	348	30	C	xq/MUF
MASW16	masw	519	30	B	ba1/bb1/bb2/bb3/MUF
MASW17	masw	395	30	B	xq/bb3/MUF
MASW18	masw	540	30	B	b2/bb2/MUF
MASW19	masw	396	30	B	bb2/AVF
MASW19/2SNV03	masw	341	30	C	bbb2/bb3/TRVa
MASW20	masw	280	30	C	bb1/bb2
MASW21	masw	367	30	B	bb2/TRVa

sigla	tipologia	Vs,eq m/s	H m	categoria di sottosuolo	unità geologiche
MASW22	masw	396	30	B	b2/TAV
MASW23	masw	395	30	B	b2/FYN5
MASW24	masw	347	30	C	ca/FYN5
MASW25	masw	334	30	C	b2/FYN5
MASW26	masw	368	30	B	b2//TAV
MASW27	masw	358	30	C	b2/FYN5
1SVI12	down-hole		30		b2/b3
1SVI14	down-hole		30		b2/b1

Tabella 3 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate

In relazione a quanto emerso dalle analisi geofisiche precedentemente riportate, per i settori di studio si suggerisce l'adozione di una Categoria di sottosuolo **B** (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa mediamente molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti) o **C** (Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	35 di 260

6.-..MODELLO GEOTECNICO

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni compresi nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa dello specifico problema geotecnico.

La definizione del modello geotecnico del volume di terreno tecnicamente significativo è stata eseguita sulla base dell'interpretazione e dell'elaborazione dei risultati delle indagini geognostiche nonché delle risultanze (e suoi post-processamenti) delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati. L'intero set di dati ha permesso di configurare un quadro di conoscenze sufficiente per la definizione dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

6.1.-..INDAGINI DI RIFERIMENTO

Per la definizione del modello geotecnico locale si fa riferimento alle campagne d'indagine del 2018-2019 realizzate dalla società Sidercem per Italferr nell'ambito del Progetto Definitivo del Raddoppio della Linea Ferroviaria Fiumetorto – Lercara diramazione lotto 1+2. I punti di ubicazione sono riportati nella “Carta con ubicazione delle indagini geognostiche” (RS3Z 00 D69 N5 GE0005 001-2).

I certificati di riferimento di ciascuna prova sono riportati nei documenti che riportano i certificati delle prove singolarmente prodotti.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- riconoscimento stratigrafico con documentazione fotografica a colori;
- prelievo di campioni indisturbati (CI) e rimaneggiati (CR) per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- prove di permeabilità Lugeon e Lefranc a carico variabile e a carico costante;
- prove dilatometriche e pressiometriche;
- rilievo del livello di falda;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP) nei livelli coesivi.

Inoltre, si fa riferimento alle seguenti indagini geofisiche:

- n. 23 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 16 prove MASW;
- n. 15 misure di microtremitori HVSR.

6.1.1.-..SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici a cui si fa riferimento sono elencati nella tabella che segue.

N	Sondaggio	Pk rispetto binario pari	Quota boccaforo da cartografia (m slm)	profondità sondaggio (m)	Strumentazione installata	quota falda (m slm)
1	1S10	0+586	8,52	40,00	PIEZ	4,12
2	1S9	0+620	9,73	40,00	PIEZ	5,08
3	1S1	0+850	13,15	30,00	PIEZ	4,80
4	1S18	1+865	21,56	40,00	PIEZ	10,41
5	1S2	2+225	21,50	40,00	PIEZ	13,20
6	1S11	2+320	33,00	30,00	INCL	*33,00
7	1S14	2+325	21,74	40,00	PIEZ	15,54
8	1S15	2+360	29,00	40,00	PIEZ	20,55
9	1S3	3+200	32,18	43,00	PIEZ	13,93
10	1S19	3+580	44,20	30,00	INCL	44,20
11	1SF7	3+670	68,00	45,00	PIEZ	59,40
12	1S4	4+160	46,05	40,00	PIEZ	33,05
13	1S4bis	4+490	44,27	30,00	PIEZ	33,47
14	1S5bis	4+980	67,54	24,00	PIEZ	54,44
15	1S5	5+005	66,13	40,00	INCL	66,13
16	1S12bis	5+100	53,85	30,00	INCL	51,68
17	1S12	5+270	60,31	30,00	INCL	55,81
18	1S26	6+080	60,51	40,00	D-H	50,21
19	1S6	6+310	58,65	40,00	PIEZ	51,25
20	1S16	6+390	63,01	40,00	D-H	52,51
21	1S23bis	6+570	83,04	35,00	INCL	83,04
22	1S23	6+575	79,41	35,00	PIEZ	70,01
23	1SF8	6+700	77,46	30,00	INCL	77,46
24	1S22	6+760	63,79	40,00	PIEZ	55,35
25	1S24	6+925	63,33	40,00	D-H	63,33
26	1S24bis	6+930	69,55	30,00	INCL	69,55
27	1S25	7+170	66,05	40,00	PIEZ	57,95
28	1SF9	7+345	78,34	35,00	INCL	78,34
29	1SF10	7+350		30,00	INCL	0,00
30	1SF11	7+525	73,86	35,00	INCL	60,86
31	1SF12	7+690	80,20	30,00	INCL	80,20
32	1S07	7+800	73,87	40,00	PIEZ	64,42
33	1SVI08	7+950	71,00	40,00	PIEZ	
34	1SVI10	7+950	77,00	40,00	PIEZ	
35	1SVI12	4+350	42,10	40,00	D-H	
36	1SVI13	4+600	42,30	30,00	PIEZ	
37	1SVI14	4+900	45,40	40,00	D-H	
38	1SVI15	5+150	49,10	40,00	PIEZ	
39	1SGN01bis	8+030	79,19	35,00	INCL	
40	1SGN01	8+110	87,90	50,00	PIEZ	87,90

Tabella 4 – elenco dei sondaggi geognostici di riferimento

6.1.2.-..PROVE SPT

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state condotte prove SPT (Standard Penetration Test) alle profondità indicate nella tabella che segue e facendo registrare i corrispondenti valori di NSPT. In ogni verticale indagata, sono state effettuate le diverse prove come illustrato nel seguente schema riassuntivo. Le prove sono state eseguite in avanzamento nel foro di sondaggio facendo riferimento agli standard correnti.

Sondaggio	Prove in sito					
	SPT	Permeabilità	Dilatometrica	Pocket Pene.	Torvane cu	Point Load Test
1S10	x	x		x	x	
1S9	x	x		x	x	
1S1		x		x		
1S18	x	x		x		x
1S2	x	x		x	x	
1S14	x	x	x	x		x
1S15	x	x		x	x	
1S11	x	x		x		x
1S03	x	x		x	x	
1S04	x					
1S19	x	x	x	x	x	
1SF7	x	x	x	x	x	
1S04	x	x		x	x	
1S04		x		x		
1S04bis	x	x				
1S05	x	x		x		
1S12	x	x		x	x	
1S12bis	x					
1S26	x	x	x	x	x	x
1S06	x	x		x	x	
1S16	x	x	x	x	x	
1S23	x	x	x	x	x	
1SF8	x	x		x		
1S24	x	x	x	x	x	x
1S24bis	x					
1S25	x	x	x	x	x	x
1SF9	x	x		x	x	
SF11	x	x		x	x	
1SF12	x	x		x	x	
1S7	x	x			x	

1SGN1	X	X	X	X		X
1SGN1bis	X	X				
1SVI08	X					
1SVI10	X					
1SVI12	X	X	X			X
1SVI13	X	X	X			
1SVI14	X	X	X			X
1SVI15	X	X	X			

Tabella 5 – Elenco prove in sito

6.1.3.-.. *CAMPIONI PRELEVATI ED ANALISI ESEGUITE*

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati testimoni di terreno, indisturbati e rimaneggiati afferenti ai cilindri prelevati con lo strumento a scarpa aperta delle prove SPT.

Per i campionamenti indisturbati (CI) sono stati utilizzati sia campionatori a infissione del tipo Shelby e Osterberg, sia campionatore rotativo del tipo Denison, in base a valutazioni sul carotaggio pre-campionamento e/o all'esito di campionamenti precedenti.

Per quanto concerne i campioni rimaneggiati (CR), in generale sono costituiti da materiali a componente granulare o misti, non campionabili allo stato indisturbato, selezionati da cassetta al termine del sondaggio su indicazioni della DL. Riguardo infine ai campioni SPT, si tratta del materiale estratto da campionatore Raymond al termine di ciascuna prova e conservato entro sacchetti plastificati.

Tutti i campioni sono stati progressivamente inviati presso laboratorio geotecnico della Sidercem.

Per tutti i campioni sono state condotte le prove di riconoscimento, la determinazione dei valori indici e fisici e della composizione granulometrica, per setacciatura e sedimentazione; mentre, per i soli testimoni indisturbati sono stati ricavati i valori della deformabilità tramite prova edometrica e della resistenza meccanica in condizioni drenate mediante taglio diretto triassiale.

Prove di laboratorio									
Sondaggi	Campione	Profondità (m)	Limiti Plast., Liq.	TD	CIU	UU	TD res	Prova edom.	Colonna risonante
1S10	C1	3,0	x		x			x	
1S10	C2	26,0		x					
1S9	FC1	2,7		x				x	

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	39 di 260

1S9	RC3	36,0	x						
1S18	FC1	3,0	x	x				x	
1S18	CC2	15,0	x						
1S2	CR1	8,7	x						
1S2	FC1	10,0	x					x	
1S2	CC2	16,8	x						
1S2	CC3	20,5	x						
1S14	FC1	8,5	x	x				x	
1S15	RC1	3,5		x					
1S15	FC1	8,2	x	x					x
1S15	FC2	13,5	x						
1S15	FC3	18,5	x	x					
1S15	RC3	31,5		x					
1S15	RC4	35,0		x					
1S11	CC1	4,0	x						
1S11	CC2	10,0	x	x					
1S03	C1	3,0	x			x		x	
1S03	C2	9,6	x	x				x	
1S03	SPT5	15,0	x						
1S03	C3	17,5	x	x					
1S03	RC2	22,0	x						
1S03	SPT9	27,0	x						
1S03	C4	42,8	x						
1S19	FC1	4,0		x					
1S19	FC2	10,0		x				x	
1S19	FC3	16,0	x	x	x				
1SF7	FC1	5,0	x	x					
1SF7	CC1	12,0	x					x	
1SF7	CC2	20,0	x	x					
1SF7	CC3	26,0		x			x		
1SF7	RC1	31,0		x			x		
1SF7	CC4	40,0	x						
1S04	C1	4,0	x	x				x	
1S04	SPT3	9,0	x						
1S04	C2	12,0	x	x				x	
1S04	C3	19,7	x	x				x	
1S04	SPT9	27,0							
1S04	C4	30,0	x	x				x	
1S05	C1	3,0	x	x				x	
1S05	C2	9,2	x						
1S12	FC1	2,0	x	x				x	

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	40 di 260

1S12	FC2	5,0	x					x	
1S12	RC1	15,7		x					
1S12	RC2	17,0		x					
1S26	C1	3,0	x	x				x	
1S26	C2	9,0	x			x			
1S26	RC2	21,0		x					
1S06	SPT2	6,0	x						
1S06	C1	9,0	x						
1S06	SPT5	15,0	x						
1S06	C3	18,0	x						
1S06	C4	26,0	x	x				x	
1S16	C1	3,0	x	x					
1S16	C2	15,0	x					x	x
1S16	C3	21,0	x	x		x			
1S16	C4	27,0	x						
1S16	RC2	33,5		x			x		
1S23	RC1	1,2	x						
1S23	FC1	2,6	x		x			x	
1S23	FC2	7,0	x	x				x	
1S23	CC1a+b	12,0	x					x	
1S23	CC2	13,0	x					x	
1S23	RC5	34,5	x						
1SF8	FC1	3,7	x	x				x	
1S24	FC1	3,0	x		x				
1S24	CC2	15,0	x					x	
1S25	FC1	3,0	x			x			
1S25	CC2	8,2	x	x					
1S25	CC3a+b	15,0	x						
1SF9	SPT1	1,5	x						
1SF9	FC1	4,0	x						
1SF9	CC2	10,0	x				x	x	
1SF9	CC3a+b	18,0	x	x			x		
SF11	FC1	4,0	x		x				
SF11	FC2	10,0	x				x	x	
SF11	CC1	19,0	x	x			x		
1SF12	FC1	4,0	x	x			x		
1SF12	CC1	10,0	x						
1SF12	CC2	18,0	x						
1S7	SPT2	3,3	x						
1S7	RC1	4,0	x						
1S7	SPT5	9,0	x						

1S7	C2	20,0	x	x			x	
1S7	C3	30,0	x					
1SGN1	FC1	3,0	x	x			x	
1SGN1	FC2	10,0	x	x		x		
1SGN1	CC1	20,0	x					
1SVI12	CI1	3.3	x	x			x	
1SVI12	CR1	14.5		x				
1SVI12	CR3	22.3		x				x
1SVI13	CI1	3.2	x	x			x	
1SVI13		9						x
1SVI13	CI3	35		x				
1SVI13	CR3	33.5		x				
1SVI14	CI1	3.15	x	x				
1SVI14	CI2	24.2	x		x	x		
1SVI14	CI3	9		x				
1SVI14	CR4	26.5		x				
1SVI14		9						x

Tabella 6 – Elenco prove di laboratorio

6.1.4.-...LIVELLI PIEZOMETRICI

Il monitoraggio piezometrico disponibile è riferito alle letture eseguite dopo l'installazione dei piezometri.

Il monitoraggio è stato condotto nel periodo compreso tra novembre 2018 e ottobre 2019. Nelle tabelle seguenti sono indicate le misure piezometriche per il lotto in esame, espresse rispettivamente in profondità dal p.c. (m) e in quota assoluta (m s.l.m.).

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
1S10	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 36.0 cieco: 36.0 - 39.0	11/2018	4.34	4.18	
		12/2018	4.10	4.42	
		01/2019	4.08	4.44	
		02/2019	4.00	4.52	
		04/2019	3.94	4.58	
		05/2019	4.03	4.49	
		06/2019	5.90	2.62	
		07/2019	4.25	4.27	
		08/2019	4.40	4.12	
		09/2019	4.35	4.17	
		10/2019	4.40	4.12	
		10/2019	4.42	4.10	

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	42 di 260

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
1S9	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 40.0	11/2018	4.55	5.18	Non accessibile
		12/2018	ND	ND	
		01/2019	4.20	5.53	
		02/2019	4.20	5.53	
		04/2019	4.14	5.59	
		05/2019	4.12	5.61	
		06/2019	4.12	5.61	
		07/2019	4.42	5.31	
		08/2019	4.64	5.09	
		09/2019	4.65	5.08	
		10/2019	4.65	5.08	
		10/2019	4.64	5.09	
1S1	Tubo aperto cieco: 0.0 - 6.0 finestrato: 6.0 - 18.0 cieco: 18.0 - 21.0	11/2018	8.30	4.85	
		12/2018	8.07	5.08	
		01/2019	8.00	5.15	
		02/2019	7.80	5.35	
		04/2019	7.85	5.30	
		05/2019	7.86	5.29	
		06/2019	8.00	5.15	
		07/2019	8.10	5.05	
		08/2019	8.27	4.88	
		09/2019	8.25	4.90	
		10/2019	8.35	4.80	
		10/2019	8.31	4.84	
1S18	Tubo aperto cieco: 0.0 - 6.0 finestrato: 6.0 - 15.0 cieco: 15.0 - 18.0	01/2019	11.15	10.41	
		02/2019	11.25	10.31	
		04/2019	11.30	10.26	
		05/2019	11.19	10.37	
		06/2019	11.25	10.31	
		07/2019	11.18	10.38	
		08/2019	11.19	10.37	
		09/2019	11.40	10.16	
		10/2019	11.30	10.26	
		10/2019	11.20	10.36	
1S2	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 18.0 cieco: 18.0 - 21.0	11/2018	8.70	12.80	
		12/2018	8.68	12.82	
		01/2019	8.42	13.08	
		02/2019	8.30	13.20	
		04/2019	8.36	13.14	
		05/2019	8.33	13.17	
		06/2019	8.45	13.05	

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	43 di 260

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
		07/2019	8.48	13.02	
		08/2019	8.57	12.93	
		09/2019	8.30	13.20	
		10/2019	8.65	12.85	
		10/2019	9.04	12.46	
1S14	Tubo aperto <i>cieco:</i> 0.0 - 3.0 <i>finestrato:</i> 3.0 - 15.0 <i>cieco:</i> 15.0 - 18.0	02/2019	6.58	15.16	
		04/2019	6.70	15.04	
		05/2019	6.52	15.22	
		06/2019	6.20	15.54	
		07/2019	6.50	15.24	
		08/2019	ND	ND	Non trovato
		09/2019	ND	ND	Non trovato
		10/2019	ND	ND	Non trovato
		10/2019	5.50	16.24	
1S15	Tubo aperto <i>cieco:</i> 0.0 - 3.0 <i>finestrato:</i> 3.0 - 30.0	04/2019	9.86	19.21	
		05/2019	9.07	20.00	
		06/2019	10.20	18.87	
		07/2019	10.83	18.24	
		08/2019	10.26	18.81	
		09/2019	9.20	19.87	
		10/2019	8.45	20.62	
		10/2019	9.12	19.95	
1S3	Tubo aperto <i>cieco:</i> 0.0 - 24.0 <i>finestrato:</i> 24.0 - 39.0	11/2018	20.00	12.18	
		12/2018	20.20	11.98	
		01/2019	19.00	13.18	
		02/2019	18.22	13.96	
		04/2019	18.00	14.18	
		05/2019	18.12	14.06	
		06/2019	18.50	13.68	
		07/2019	18.60	13.58	
		08/2019	19.16	13.02	
		09/2019	18.27	13.91	
		10/2019	18.25	13.93	
		10/2019	18.38	13.80	
1SF7_PZ	1 cella Casagrande Cella 1: 16.0	02/2019	10.50	62.70	
		04/2019	10.50	62.70	
		05/2019	10.50	62.70	
		06/2019	10.60	62.60	
		07/2019	10.68	62.52	
		08/2019	10.48	62.72	
		09/2019	9.57	63.63	

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	44 di 260

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
1S4	Tubo aperto cieco: 0.0 - 12.0 finestrato: 12.0 - 21.0	10/2019	9.60	63.60	
		10/2019	10.20	63.00	
		11/2018	14.00	32.05	
		12/2018	14.10	31.95	
		01/2019	13.39	32.66	
1S6	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 18.0 cieco: 18.0 - 21.0	02/2019	ND	ND	Non trovato
		04/2019	Distrutto	Distrutto	
		11/2018	6.70	51.95	
		12/2018	6.96	51.69	
		01/2019	6.48	52.17	
		02/2019	7.00	51.65	
		04/2019	7.23	51.42	
		05/2019	7.02	51.63	
		06/2019	7.25	51.40	
		07/2019	7.44	51.21	
		08/2019	6.64	52.01	
		09/2019	7.50	51.15	
		10/2019	7.40	51.25	
10/2019	7.10	51.55			
1S23	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 35.0	04/2019	10.95	68.46	
		05/2019	11.46	67.95	
		06/2019	11.73	67.68	
		07/2019	11.95	67.46	
		08/2019	12.12	67.29	
		09/2019	3.60	75.81	
		10/2019	9.40	70.01	
1S22	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 40.0	10/2019	10.40	69.01	
		04/2019	8.37	55.42	
		05/2019	8.78	55.01	
		06/2019	8.95	54.84	
		07/2019	9.09	54.70	
		08/2019	9.18	54.61	
		09/2019	9.23	54.56	
		10/2019	8.44	55.35	
1S25	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 18.0	10/2019	8.97	54.82	
		02/2019	10.90	55.15	
		04/2019	9.34	56.71	
		05/2019	8.91	57.14	
		06/2019	8.50	57.55	
		07/2019	8.25	57.80	
08/2019	8.13	57.92			

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
1S7	Tubo aperto cieco: 0.0 - 6.0 finestrato: 6.0 - 15.0 cieco: 15.0 - 18.0	09/2019	8.20	57.85	
		10/2019	8.10	57.95	
		10/2019	8.50	57.55	
		11/2018	ND	ND	Non accessibile
		12/2018	17.70	56.17	
		01/2019	17.60	56.27	
		02/2019	8.28	65.59	
		04/2019	8.30	65.57	
		05/2019	8.46	65.41	
		06/2019	8.70	65.17	
		07/2019	8.70	65.17	
		08/2019	8.95	64.92	
		09/2019	9.40	64.47	
		10/2019	9.45	64.42	
10/2019	9.80	64.07			
1SGN1_PZ	1 cella Casagrande Cella 1: 9.0	02/2019	12.00	75.90	
		04/2019	9.00	78.90	
		05/2019	9.37	78.53	
		06/2019	Assente	Assente	
		07/2019	8.70	79.20	
		08/2019	8.90	79.00	
		09/2019	Assente	Assente	
		10/2019	Assente	Assente	
1SGN2	1 cella Casagrande Cella 1: 75.0	02/2019	42.50	118.49	
		04/2019	42.20	118.79	
		05/2019	42.59	118.40	
		06/2019	Assente	Assente	
		07/2019	Assente	Assente	
		08/2019	Distretto	Distretto	
1SGN3	1 cella Casagrande Cella 1: 80.0	04/2019	1.60	171.43	
		05/2019	2.22	170.81	
		06/2019	3.30	169.73	
		07/2019	18.00	155.03	
		08/2019	0.00	173.03	
		09/2019	0.00	173.03	
		10/2019	0.00	173.03	

Tabella 7 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine 2018-2019 prima fase, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	46 di 260

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
1S5bis	1 cella Casagrande Cella 1: 20.0	09/2019	17.50	50.04	
		10/2019	13.10	54.44	
		10/2019	13.30	54.24	
1S4bis	Tubo aperto cieco: 0.0 - 15.0 finestrato: 15.0 - 30.0	10/2019	22.30	21.97	
1S12bis_PZ	1 cella Casagrande Cella 1: 14.5	10/2019	2.17	51.68	
		10/2019	2.20	51.65	
1SF11bis	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 27.0 cieco: 27.0 - 30.0	09/2019	15.80	58.39	
		10/2019	15.90	58.29	
		10/2019	15.80	58.39	
2SNV01	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 cieco: 27.0 - 30.0 finestrato: 3.0 - 27.0	09/2019	0.00	429.81	
		10/2019	0.00	429.81	
		10/2019	0.00	429.81	
1SVI08	Tubo aperto cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 30.0 cieco: 30.0 - 40.0	10/2019	8.90	62.99	
		10/2019	9.13	62.76	
1SGN04Piez	1 cella Casagrande Cella 1: 12.0	07/2019	9.10	91.74	
		08/2019	4.10	96.74	
		09/2019	3.50	97.34	
		10/2019	3.55	97.29	
		10/2019	3.60	97.24	
1SGN04bis_PZ2	1 cella Casagrande Cella 1: 7.0	07/2019	6.00	102.00	
		08/2019	5.75	102.25	
		09/2019	5.10	102.90	
		10/2019	5.40	102.60	
		10/2019	5.43	102.57	
1SGN04bis_PZ1	1 cella Casagrande Cella 1: 25.0	07/2019	19.00	89.00	
		08/2019	4.90	103.10	
		09/2019	4.50	103.50	
		10/2019	6.15	101.85	
		10/2019	6.83	101.17	
1SGN04TER_PZ2	1 cella Casagrande Cella 1: 7.0	09/2019	2.60	121.76	
		10/2019	3.38	120.98	
		10/2019	3.87	120.49	
1SGN04TER_PZ1	1 cella Casagrande Cella 1: 25.0	09/2019	4.50	119.86	
		10/2019	5.80	118.56	
		10/2019	6.64	117.72	
2SGN10_PZ	1 cella Casagrande Cella 1: 41.0	05/2019	7.10	160.96	
		06/2019	7.60	160.46	
		07/2019	8.00	160.06	

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
		08/2019	8.30	159.76	
		09/2019	8.25	159.81	
		10/2019	8.30	159.76	
		10/2019	4.10	163.96	
2SGN07_PZ	1 cella Casagrande¶ Cella 1: 50.0	06/2019	0.00	251.88	
		07/2019	0.00	251.88	
		08/2019	0.00	251.88	
		09/2019	0.00	251.88	
		10/2019	0.00	251.88	
		10/2019	0.00	251.88	
2SGN03_PZ	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 – 75.0	05/2019	-0.18	421.59	
		06/2019	2.42	418.99	
		07/2019	5.61	415.80	
		08/2019	6.04	415.37	
		09/2019	6.12	415.29	
		10/2019	6.39	415.02	
		10/2019	6.70	414.71	
2SGN02	1 cella Casagrande¶ Cella 1: 30.5	07/2019	5.75	419.43	
		08/2019	5.80	419.38	
		09/2019	6.00	419.18	
		10/2019	5.85	419.33	
		10/2019	5.55	419.63	
2SGN01_PZ	Tubo aperto	09/2019	5.70	409.40	
		10/2019	5.63	409.47	
		10/2019	5.10	410.00	
2ST01	Tubo aperto¶ cieco: 0.0 - 12.0 finestrato: 12.0 - 33.0 cieco: 33.0 - 35.0	09/2019	10.20	408.08	
		10/2019	12.35	405.93	
		10/2019	6.97	411.31	
2SR03	Tubo aperto¶ cieco: 0.0 - 3.0 finestrato: 3.0 - 33.0 cieco: 33.0 - 40.0	07/2019	1.75	409.52	
		08/2019	2.00	409.27	
		09/2019	2.31	408.96	
		10/2019	2.40	408.87	
		10/2019	2.10	409.17	
1SNV33_PZ	1 cella Casagrande¶ Cella 1: 23.0	10/2019	9.10	115.16	
		10/2019	8.82	115.44	
1SVI10_PZ	1 cella Casagrande¶ Cella 1: 14.0	10/2019	12.80	74.12	
		10/2019	12.90	74.02	
1SNV26	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 – 30.0	10/2019	29.71	126.71	
		10/2019	29.72	126.70	

Tabella 8 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine 2018-2019 seconda fase, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
2SGN08	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 - 170.0	05/2019	13.00	310.78	
		06/2019	13.42	310.36	
		07/2019	21.25	302.53	
		08/2019	24.41	299.37	
		09/2019	25.08	298.70	
		10/2019	38.27	285.51	
		10/2019	43.43	280.35	
2SGN11	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 - 190.0	09/2019	53.13	336.38	
		10/2019	11.23	378.28	
		10/2019	14.18	375.33	
2SGN06	Tubo aperto¶ cieco: 0.0 - 174.0 finestrato: 174.0 - 195.0 cieco: 195.0 - 205.0	06/2019	50.57	363.13	
		07/2019	51.45	362.25	
		08/2019	55.60	358.10	
		09/2019	58.70	355.00	
		10/2019	58.90	354.80	
		10/2019	57.30	356.40	
2SGN05	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 - 290.0	07/2019	162.04	408.74	
		08/2019	158.28	412.50	
		09/2019	155.75	415.03	
		10/2019	157.77	413.01	
		10/2019	161.43	409.35	
2SGN04	Piezometro elettrico¶ elettrico: 0.0 - 170.0	05/2019	ND	ND	
		09/2019	43.71	435.67	
		10/2019	49.40	429.98	
		10/2019	53.61	425.77	

Tabella 9 - Dati di monitoraggio piezometrico condotto sulle strumentazioni installate nei fori di sondaggio della campagna indagine 2018-2019 sondaggi profondi, utilizzati nello studio di ricostruzione della falda; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.

6.1.5.-..PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC

Le prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc sono state condotte a “carico variabile” secondo le specifiche tecniche di riferimento A.G.I. 1977 ed alle profondità indicate nelle specifiche delle singole prove. Il coefficiente di permeabilità K del terreno è stato valutato mediante la seguente relazione:

$$K = A/[F(t_1-t_0)] + \ln[h_0/h_1] \quad (\text{m/sec})$$

dove:

- A = area della sezione trasversale del rivestimento in cui avvengono le misure del livello dell'acqua nel foro (m²);

- F = coefficiente di forma dipendente dall'area del foro di sondaggio e dalla lunghezza L del tratto di foro direttamente interessato dalla prova (m);

- h₀, h₁ = altezze dei livelli d'acqua nel rivestimento agli istanti t₀ e t₁ (m);

- t₀, t₁ = tempi ai quali si misurano h₀, e h₁ (s).

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella n.7.

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s
1S11	1	Lefranc	5.3 - 5.8	5.62E-08
1S12	1	Lefranc	3.0 - 3.5	2.07E-07
1S19	1	Lefranc	5.5 - 6.0	3.95E-07
1SF7	1	Lefranc	6.0 - 6.5	1.08E-06
1SF7	2	Lefranc	17.5 - 18.0	2.94E-08
1SGN1	1	Lefranc	4.5 - 5.0	1.15E-08
1S24bis	1	Lefranc	3.0 - 4.5	1.08E-08
1S5bis	1	Lefranc	3.9 - 4.5	1.60E-07
1SGN04bis	1	Lefranc	8.0 - 10.0	5.33E-09
1SNV10	1	Lefranc	3.6 - 5.0	7.22E-08
1SNV19	le1	Lefranc	4.5 - 6.0	1.31E-07
1SNV26	1	Lefranc	3.0 - 4.5	8.23E-08
1SNV28	1	Lefranc	4.7 - 5.8	3.82E-08
1SVI10	1	Lefranc	4.0 - 4.6	6.75E-08
2SNV01	le1	Lefranc	3.0 - 4.1	1.59E-07
2SNV05	1	Lefranc	3.0 - 4.7	5.17E-08
2SNV14	1	Lefranc	3.0 - 4.7	5.31E-08
2SNV14bis	1	Lefranc	3.0 - 4.5	3.01E-06
2SNV14bis	2	Lefranc	13.2 - 15.1	2.42E-07
2SNV17	1	Lefranc	3.0 - 4.0	9.18E-08

Tabella 10 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Terreni di copertura (TRC).

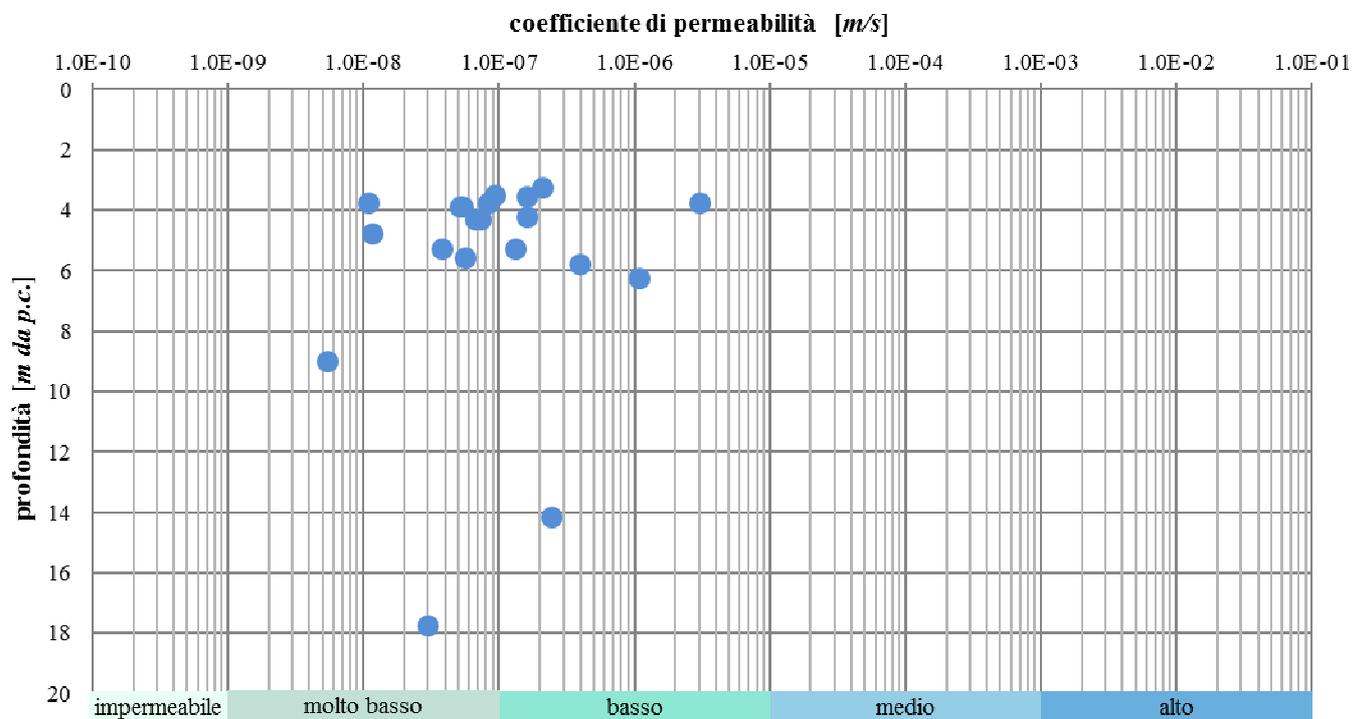


Figura 6 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Terreni di copertura (TRC).

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s
1S9	1	Lefranc	14.5 - 15.0	2.33×10^{-3}
1S9	2	Lefranc	38.0 - 38.5	2.00×10^{-3}
1SF11	2	Lefranc	15.5 - 16.0	1.04×10^{-3}
2SGN01bis	LE1	Lefranc	4.5 - 5.0	2.85×10^{-8}
1SVI12	2	Lefranc	15.0 - 16.0	3.17×10^{-5}
1SVI13	2	Lefranc	15.0 - 16.0	2.06×10^{-5}
1SVI14	1	Lefranc	5.0 - 6.0	1.61×10^{-5}
1SVI14	2	Lefranc	15.5 - 16.5	2.47×10^{-6}

Tabella 11 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Coperture ghiaioso-sabbiose (CGS).

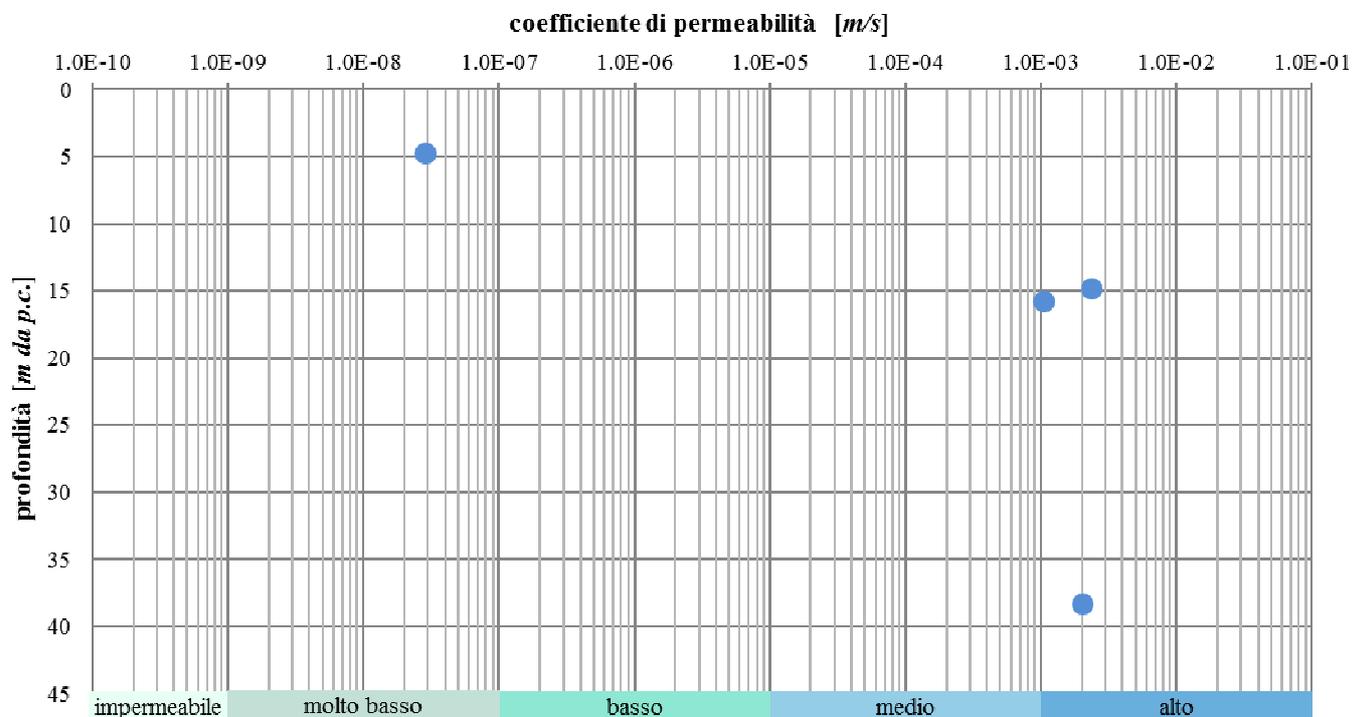


Figura 7 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Coperture ghiaioso-sabbiose (CGS).

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
1S2	1	Lefranc	9.5 - 10.0	1.17E-08
1S6	1	Lefranc	6.5 - 7.0	1.66E-08
1S7	1	Lefranc	7.5 - 8.0	2.94E-03
1S10	1	Lefranc	14.5 - 15.5	3.88E-05
1S10	2	Lefranc	38.5 - 39.0	3.50E-06
1S14	1	Lefranc	5.9 - 6.4	2.06E-06
1S15	1	Lefranc	5.5 - 6.0	4.72E-06
1S15	2	Lefranc	14.5 - 15.0	1.41E-05
1S16	1	Lefranc	5.5 - 6.0	3.13E-05
1S18	1	Lefranc	4.0 - 4.5	2.81E-06
1S25	1	Lefranc	5.5 - 6.5	2.95E-08
1S4bis	2	Lefranc	15.5 - 17.0	1.33E-05
1SNV33	1	Lefranc	3.0 - 4.0	4.87E-08
1SVI08	1	Lefranc	3.0 - 4.5	3.63E-08
2SGN01bis	LE2	Lefranc	8.5 - 9.0	3.38E-08
2SNV15	1	Lefranc	4.5 - 5.0	5.33E-07

2SR03	1	Lefranc	6.0 - 7.5	1.10E-07
1SVI13	1	Lefranc	4.0 - 5.0	5.88E-05

Tabella 12 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Coperture sabbioso-limose (CSL).

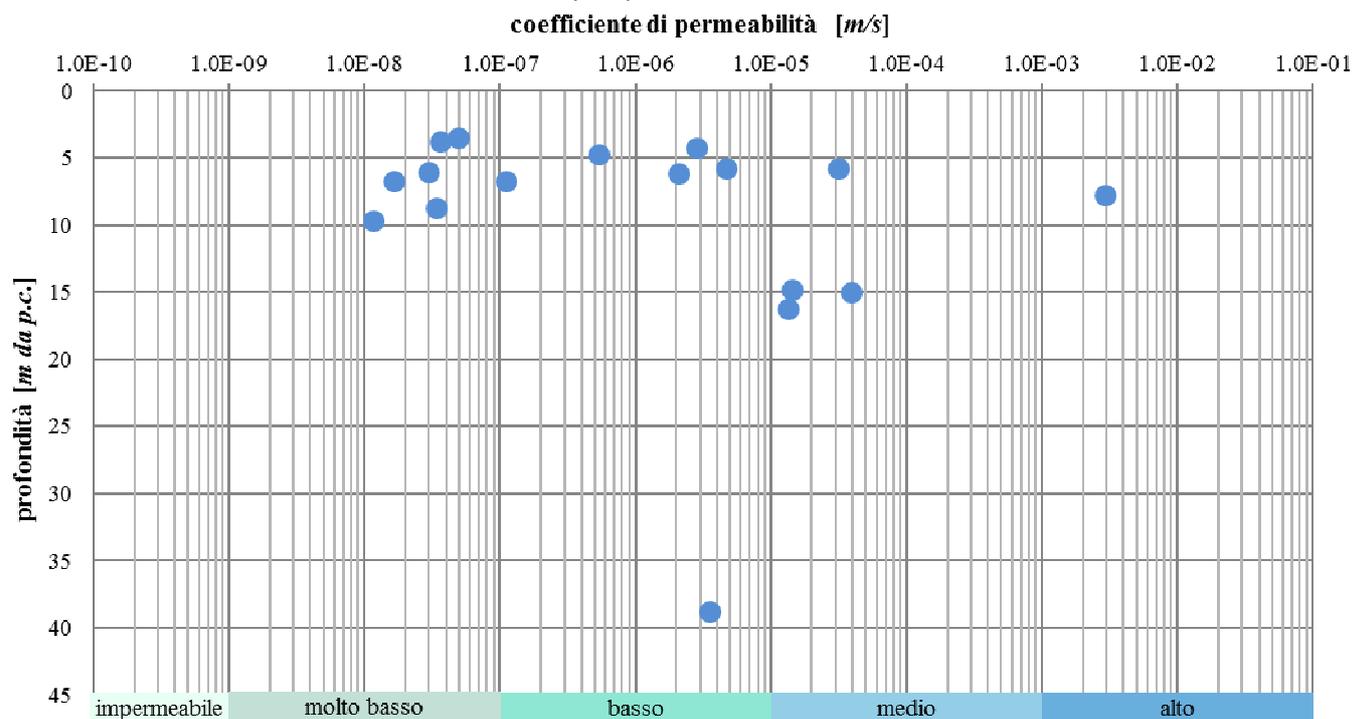


Figura 8 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Coperture sabbioso-limose (CSL).

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
1S3	1	Lefranc	4.0 - 4.5	2.15E-05
1S4	1	Lefranc	4.5 - 5.0	2.29E-07
1S16	2	Lefranc	15.5 - 16.0	1.58E-06
1S24	1	Lefranc	5.5 - 6.0	3.36E-08
1S26	1	Lefranc	5.5 - 6.0	2.62E-08
1SF11	1	Lefranc	5.5 - 6.0	2.53E-07
1S4bis	1	Lefranc	3.0 - 4.5	2.75E-08
1SGN01bis	1	Lefranc	7.0 - 9.0	5.92E-09
2SNV02	1	Lefranc	2.8 - 4.0	2.18E-08
2SNV03	1	Lefranc	3.0 - 4.0	1.96E-06
2SNV14	2	Lefranc	13.5 - 15.0	1.68E-07
1SVI12	1	Lefranc	3.6 - 5.0	2.58E-08
1SVI15	1	Lefranc	3.0 - 5.50	1.56E-06

1SVI15

2

Lefranc

4.0 – 5.0

9.54E-07

Tabella 13 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Coperture limoso-argillose (CLA).

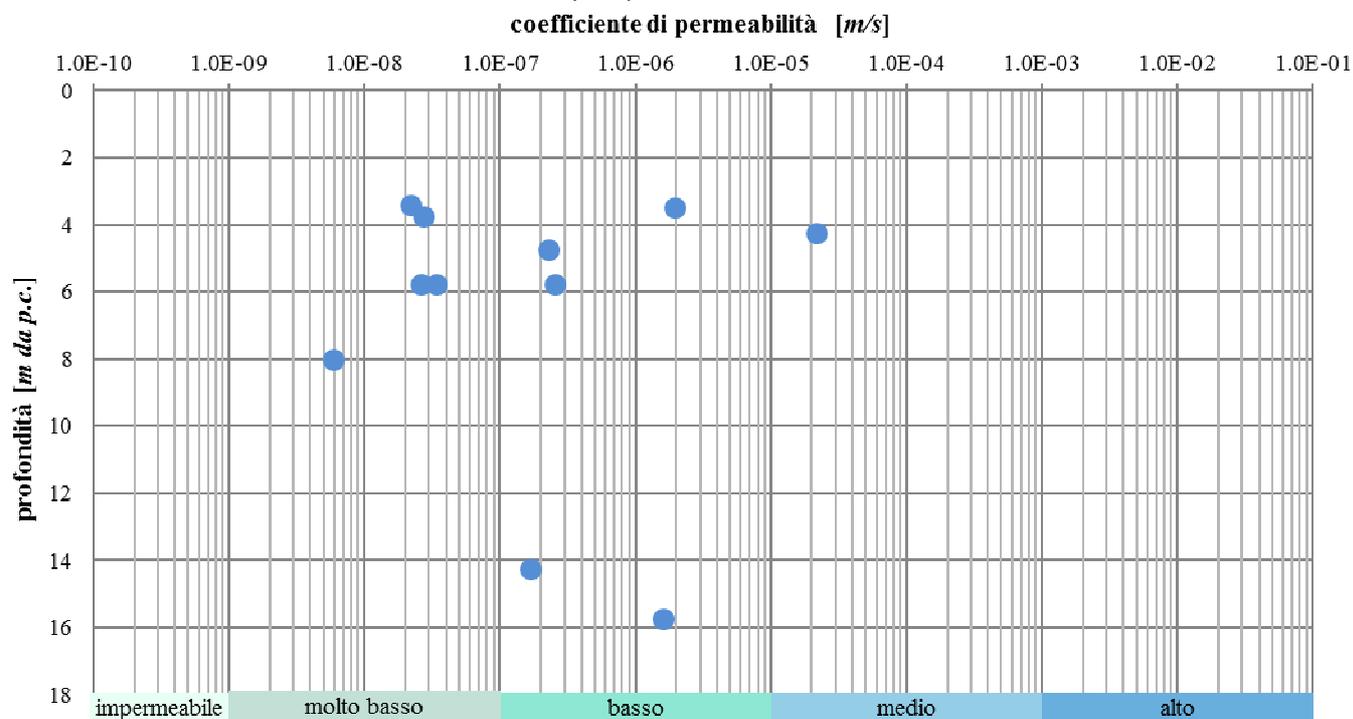


Figura 9 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Coperture limoso-argillose (CLA).

sigla	prova	tipologia	profondità m	permeabilità m/s
1S1	1	Lugeon	17.0 - 17.5	2.76E-05
1S1	2	Lefranc	23.5 - 24.0	3.75E-08
1SGN3	1	Lefranc	54.5 - 55.0	1.10E-08
1SGN3	2	Lugeon	86.0 - 87.0	5.65E-07
1SGN3	3	Lugeon	96.0 - 97.5	3.89E-07
2SGN01	1	Lefranc	6.0 - 7.5	9.59E-07
2SGN01	2	Lefranc	10.5 - 12.0	2.36E-06
2SGN01	3	Lefranc	21.0 - 23.5	3.44E-07
2SGN01bis	LU1	Lugeon	15.0 - 19.0	1.70E-09
2SGN02	LE1	Lefranc	20.0 - 21.0	8.64E-08
2SGN02	LU1	Lugeon	26.0 - 31.0	2.76E-08
2SGN02	LU2	Lugeon	35.5 - 40.0	2.01E-09
2SGN07	1	Lugeon	43.0 - 47.5	4.32E-09
2SGN07	2	Lugeon	50.0 - 54.5	5.72E-09

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
2SGN07	3	Lugeon	55.0 - 59.5	1.08E-09
2SNV01	le2	Lefranc	13.0 - 14.6	4.64E-08
2SNV02	2	Lefranc	13.5 - 15.0	1.42E-07
2SNV03	2	Lefranc	13.5 - 15.0	2.13E-08
2SNV04	1	Lefranc	3.0 - 4.5	4.08E-08
2SNV04	2	Lefranc	7.5 - 9.0	3.22E-08
2SNV04	3	Lefranc	14.0 - 15.0	2.71E-08
2SNV04	4	Lefranc	22.5 - 24.5	2.13E-08
2SNV05	2	Lefranc	13.5 - 14.0	1.18E-07
2SR03	2	Lefranc	15.0 - 17.4	9.47E-08
2ST01	1	Lefranc	3.0 - 4.0	1.84E-08
2ST01	2	Lefranc	6.0 - 8.0	4.61E-09
2ST01	3	Lefranc	12.0 - 15.0	2.59E-08
2ST01	4	Lefranc	22.5 - 25.0	7.67E-08
2S4P	L1	Lugeon	142.0 - 147.0	1.80E-08
2S4P	L2	Lugeon	158.0 - 163.0	1.06E-07
2SGN05	1	Lugeon	301.5 - 306.5	3.05E-08
2SGN05	2	Lugeon	308.5 - 313.5	4.86E-08
2SGN05	3	Lugeon	315.5 - 320.5	2.82E-08
2SGN06	L3	Lugeon	196.0 - 201.0	7.29E-08
2SGN11	L3	Lugeon	199.4 - 204.4	3.87E-08

Tabella 14 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Substrato arenaceo-pelitico (SAP).

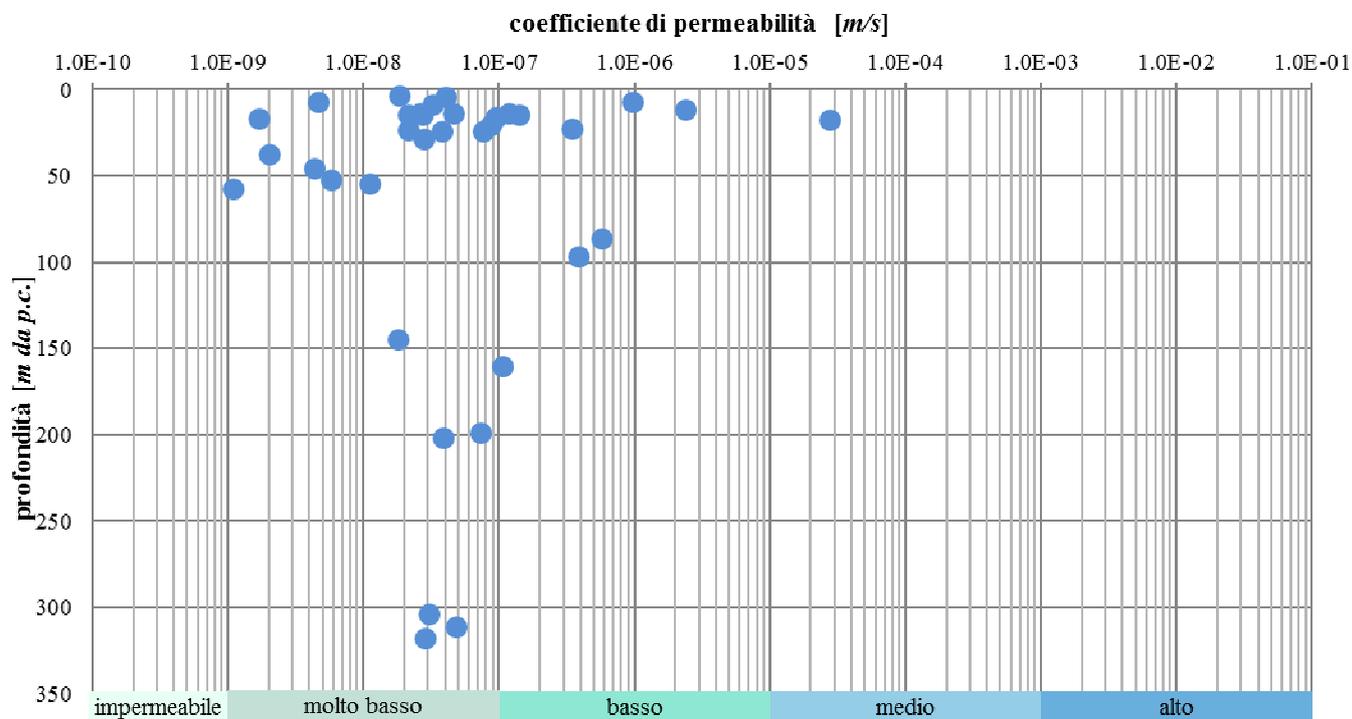


Figura 10 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Substrato arenaceo-pelitico (SAP).

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
1S2	2	Lefranc	20.0 - 20.5	7.54E-09
1S3	2	Lefranc	41.0 - 41.5	2.34E-09
1S4	2	Lefranc	30.5 - 31.0	3.85E-10
1S5	1	Lefranc	11.9 - 12.4	6.53E-07
1S5	2	Lefranc	17.5 - 18.0	1.21E-06
1S6	2	Lefranc	19.5 - 20.0	2.32E-08
1S7	2	Lefranc	23.0 - 23.5	4.99E-08
1S11	2	Lugeon	16.4 - 17.9	8.15E-06
1S12	2	Lefranc	10.5 - 11.0	7.38E-08
1S14	2	Lefranc	14.0 - 14.5	5.78E-09
1S14	3	Lugeon	27.0 - 28.5	5.05E-07
1S15	3	Lugeon	27.5 - 29.0	1.52E-06
1S16	3	Lugeon	27.5 - 29.0	7.58E-07
1S18	2	Lugeon	17.9 - 19.4	3.17E-06
1S19	2	Lefranc	14.5 - 15.0	2.33E-08
1S22	1	Lefranc	5.5 - 6.0	2.59E-07

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	56 di 260

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
1S22	2	Lugeon	14.5 - 16.0	1.61E-06
1S22	3	Lugeon	26.5 - 28.0	8.05E-07
1S23	1	Lefranc	4.5 - 5.0	2.32E-08
1S23	2	Lefranc	12.5 - 13.0	1.23E-08
1S23	3	Lugeon	28.0 - 29.5	5.54E-08
1S24	2	Lefranc	15.5 - 16.0	3.25E-09
1S24	3	Lugeon	28.0 - 29.5	2.64E-07
1S25	2	Lugeon	15.4 - 16.9	7.45E-08
1S25	3	Lugeon	28.0 - 29.5	5.00E-08
1S26	2	Lefranc	14.5 - 15.0	2.59E-07
1S26	3	Lugeon	26.5 - 28.0	9.10E-06
1SF10	1	Lefranc	5.5 - 6.0	1.81E-07
1SF10	2	Lefranc	16.0 - 16.5	2.88E-07
1SF12	1	Lefranc	5.5 - 6.0	7.50E-08
1SF12	2	Lefranc	15.5 - 16.0	3.72E-09
1SF7	3	Lefranc	44.0 - 44.5	4.30E-09
1SF8	1	Lefranc	5.5 - 6.0	8.00E-08
1SF8	2	Lugeon	13.5 - 15.0	5.53E-06
1SF9	1	Lefranc	5.0 - 6.0	2.32E-08
1SF9	2	Lefranc	14.0 - 15.0	1.20E-08
1SGN1	2	Lefranc	12.5 - 13.0	2.71E-08
1SGN1	3	Lefranc	21.5 - 22.0	1.52E-08
1SGN1	4	Lefranc	42.5 - 43.0	2.56E-09
1SGN2	2	Lugeon	17.0 - 19.0	5.75E-06
1SGN2	3	Lugeon	30.0 - 31.5	3.46E-08
1SGN2	4	Lugeon	40.0 - 41.6	4.35E-07
1S24bis	2	Lefranc	14.8 - 17.0	1.39E-09
1SGN01bis	2	Lefranc	15.0 - 21.5	8.67E-10
1SGN04	1	Lefranc	6.0 - 7.5	1.10E-08
1SGN04	2	Lefranc	13.0 - 15.0	7.11E-09
1SGN04	3	Lefranc	21.0 - 24.0	5.50E-09

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	57 di 260

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
1SGN04bis	2	Lefranc	18.0 - 21.5	4.56E-09
1SGN04bis	3	Lefranc	26.2 - 29.2	7.99E-09
1SGN04bis	4	Lefranc	35.3 - 39.0	1.15E-08
1SGN04ter	1	Lefranc	9.0 - 12.0	2.78E-09
1SGN04ter	2	Lefranc	17.0 - 18.5	3.53E-08
1SGN04ter	3	Lefranc	37.6 - 39.9	5.17E-09
1SNV01	1	Lefranc	3.6 - 5.0	7.22E-08
1SNV01	2	Lugeon	13.5 - 18.6	2.10E-07
1SNV16	1	Lefranc	4.5 - 6.0	4.95E-08
1SNV16	2	Lugeon	26.0 - 30.4	8.78E-10
1SNV18	1	Lefranc	4.5 - 6.0	7.07E-08
1SNV18	2	Lugeon	16.0 - 21.0	3.63E-08
1SNV19	lu1	Lugeon	11.8 - 14.7	2.08E-08
1SNV26	2	Lugeon	12.0 - 15.0	4.94E-09
1SNV28	2	Lefranc	12.0 - 13.5	8.38E-09
1SNV28	3	Lugeon	27.0 - 28.5	5.99E-09
1SNV30	1	Lefranc	4.5 - 6.0	5.38E-08
1SNV30	2	Lefranc	13.7 - 15.1	2.54E-08
1SNV30	3	Lugeon	21.0 - 26.0	2.29E-09
1SNV33	2	Lefranc	16.7 - 18.0	1.96E-09
1SVI08	2	Lefranc	13.0 - 15.0	6.17E-09
1SVI10	2	Lefranc	12.9 - 14.9	7.48E-09
2SGN03	1	Lugeon	73.0 - 78.0	1.24E-08
2SGN03	2	Lugeon	80.0 - 85.0	1.14E-08
2SGN03	3	Lugeon	89.0 - 93.0	5.08E-08
2SGN10_PZ	5	Lugeon	27.0 - 28.5	8.03E-09
2SGN10	1	Lugeon	34.0 - 35.5	1.49E-08
2SGN10	2	Lugeon	41.0 - 42.5	8.80E-09
2SGN10	3	Lugeon	46.5 - 48.0	1.87E-08
2SGN10	4	Lugeon	58.5 - 60.0	1.10E-08
2SNV14	3	Lefranc	26.2 - 28.0	5.89E-09

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	58 di 260

sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>
2SNV14bis	3	Lefranc	25.5 - 27.0	2.19E-07
2SNV15	2	Lugeon	15.0 - 20.7	1.16E-07
2SNV17	2	Lefranc	11.8 - 13.0	4.36E-08
2S3p	L1	Lugeon	195.8 - 200.5	1.05E-08
2S3p	L2	Lugeon	213.5 - 218.5	2.11E-08
2S5p	1	Lugeon	138.0 - 143.0	1.58E-08
2S5p	2	Lugeon	153.0 - 158.0	7.59E-09
2SGN04	1	Lugeon	153.0 - 158.0	2.14E-07
2SGN04	2	Lugeon	162.5 - 167.5	2.26E-07
2SGN04	3	Lugeon	168.8 - 173.8	1.55E-07
2SGN04	4	Lugeon	175.5 - 180.5	7.34E-08
2SGN04	5	Lugeon	182.5 - 187.5	8.02E-08
2SGN06	L1	Lugeon	181.0 - 186.0	8.66E-08
2SGN06	L2	Lugeon	190.0 - 195.0	6.44E-08
2SGN08	L1	Lugeon	160.5 - 165.5	6.50E-08
2SGN08	L2	Lugeon	167.5 - 172.5	2.09E-07
2SGN08	L3	Lugeon	173.5 - 178.5	5.65E-08
2SGN08	L4	Lugeon	180.2 - 185.2	8.56E-08
2SGN08	L5	Lugeon	188.5 - 193.5	2.19E-07
2SGN11	L1	Lugeon	186.0 - 191.0	5.19E-08
2SGN11	L2	Lugeon	192.5 - 197.5	7.05E-08

Tabella 15 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità per il complesso Substrato argilloso-marnoso (SAM).

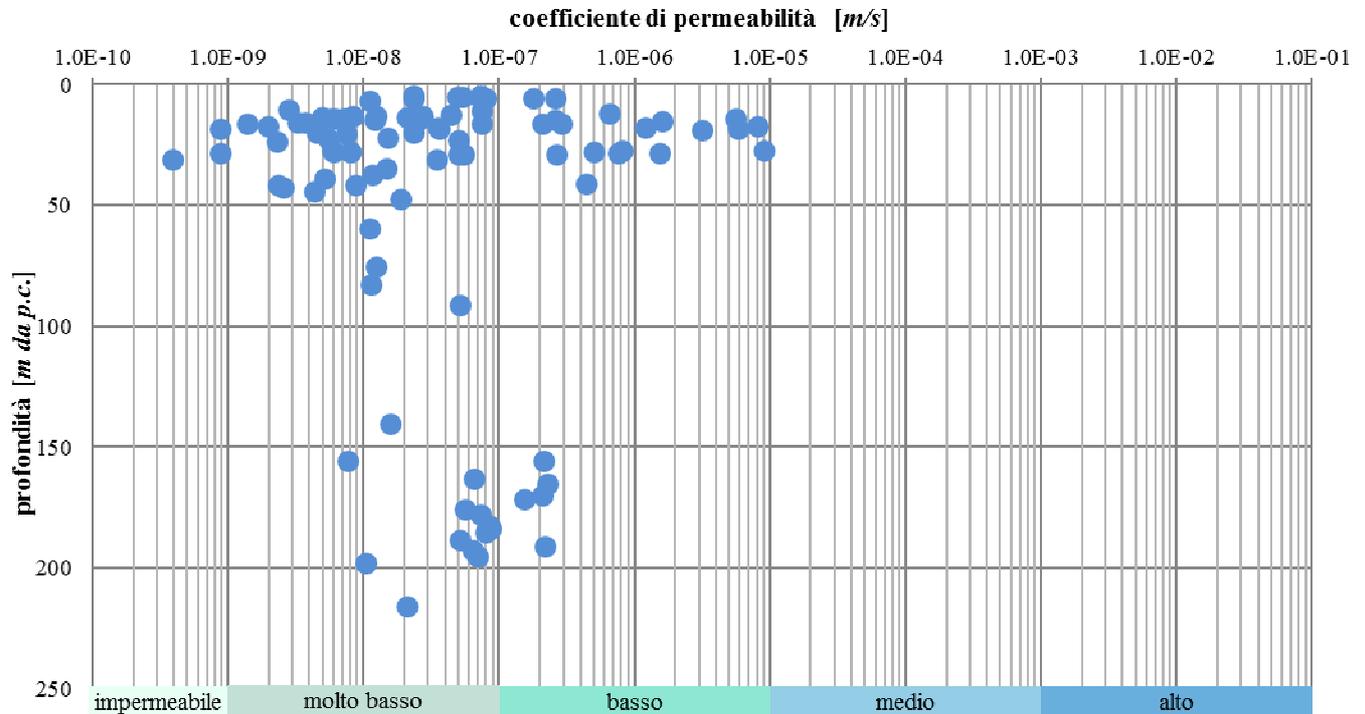


Figura 11 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità in funzione della profondità per il complesso Substrato argilloso-marnoso (SAM).

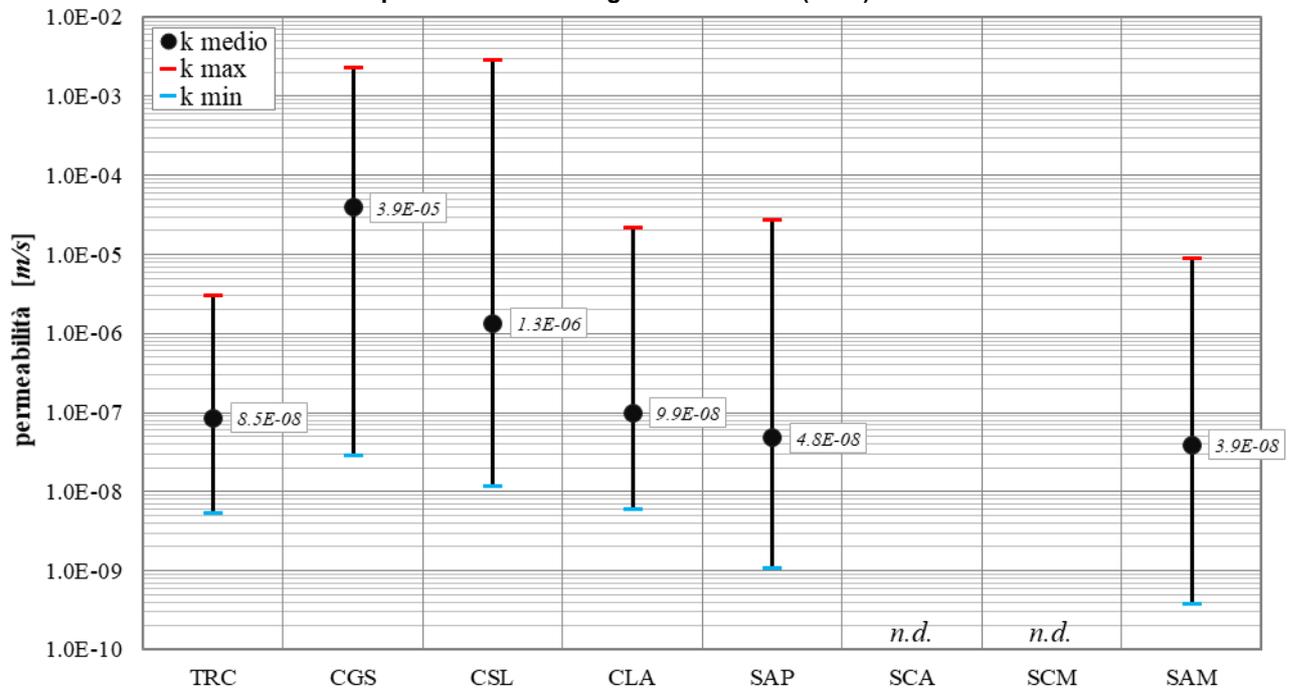


Figura 12 - Grafico di distribuzione del coefficiente di permeabilità per i diversi complessi idrogeologici individuati nell'area di studio.

Prove geofisiche

Per la ricostruzione del modello geofisico dei siti si fa riferimento ai profili sismici di superficie (MASW) mediante l'analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh).

Per la descrizione dettagliata della strumentazione utilizzata, ai metodi ed all'interpretazione dei dati acquisiti in campagna, si rinvia al relativo fascicolo delle indagini geofisiche.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che individua il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. La determinazione delle Vs viene ottenuta tramite l'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh. La curva di dispersione media delle velocità di fase dell'onda di Rayleigh, estratta con la metodologia MASW, è invertita al fine ottenere un modello monodimensionale di onde di taglio.

Gli stendimenti sono stati realizzati utilizzando un sismografo ECHO 48/2014 a 48 canali.

L'indagine MASW ha consentito di ottenere i modelli monodimensionale di Vs che, com'è noto, può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale di Vs nel punto centrale dello stendimento.

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche eseguite nell'ambito di ogni singola fase progettuale, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004 del punto iniziale (a) e del punto finale (b) di ogni singolo stendimento, tipologia di indagine e lunghezza).

<i>Raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione lotto 1+2</i>					<i>Geofisica 1a Fase</i>	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW 3	2413039	4200886	2413030	4200941	MASW	56.0
SRT 7	2412105	4195495	2411993	4195090	Rifrazione	419.8
SRT 8	2411973	4195443	2412199	4195374	Rifrazione	236.4
SRT 9	2411984	4195460	2412032	4195236	Rifrazione	228.6
SRT 10	2412167	4195441	2412143	4195208	Rifrazione	234.2
SRT 11	2412418	4195964	2412321	4195746	Rifrazione	238.7
SRT 12	2412290	4195874	2412423	4195826	Rifrazione	141.4
SRT 13	2412425	4195940	2412578	4196182	Rifrazione	286.1
SRT 14	2412367	4195997	2412592	4195937	Rifrazione	232.8
SRT 15	2412433	4196145	2412664	4195985	Rifrazione	280.9
SRT 16	2412492	4196228	2412721	4196063	Rifrazione	282.2
SRT 17	2412750	4196722	2412764	4196579	Rifrazione	143.0
SRT 18	2412750	4196684	2412831	4196671	Rifrazione	143.0
SRT 19	2413204	4200958	2413429	4200977	Rifrazione	138.4

<i>Raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione lotto 1+2</i>					<i>Geofisica 1a Fase</i>	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
SRT 20	2413299	4201027	2413325	4200891	Rifrazione	138.4

Tabella 16 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie elencati in ordine alfa-numerico.

<i>Raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione lotto 1+2</i>					<i>Geofisica 2a Fase</i>	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW4	2413292	4198805	2413345	4198829	MASW	57.5
MASW20	2412999	4202452	2413054	4202434	MASW	57.5
MASW19	2413242	4201453	2413251	4201397	MASW	57.5
Rifrazione 11	2402552	4177885	2402623	4178072	Rifrazione	200.0
Rifrazione 12	2402495	4178072	2402702	4177971	Rifrazione	230.0
Rifrazione 13	2413222	4198285	2413462	4198293	Rifrazione	240.0
MASW19/2S NV03	2402427	4177761	2402467	4177721	MASW	57.5

Tabella 17 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie elencati in ordine alfa-numerico.

<i>Raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione lotto 1+2</i>				<i>Geofisica 2a Fase</i>	
sigla	X	Y	tipologia indagine		
HVSR 4	2413320	4198818	HVSR		
HVSR 19	2413242	4201413	HVSR		
HVSR 19/2SNV03	2402445	4177731	HVSR		
HVSR 20	2413022	4202433	HVSR		

Tabella 18 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR elencati in ordine alfa-numerico.

<i>NV04</i>					<i>Geofisica 2a Fase</i>	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW6	2414044	4197531	2414101	4197538	MASW	57.5

Tabella 19 - Sintesi delle indagini geofisiche elencati in ordine alfa-numerico.

<i>NV04</i>				<i>Geofisica 2a Fase</i>	
sigla	X	Y	tipologia indagine		
HVSR 6	2414080	4197535	HVSR		

Tabella 20 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR elencati in ordine alfa-numerico.

<i>NV07</i>					<i>Geofisica 2a Fase</i>	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW5	2411634	4195751	2411683	4195781	MASW	57.5

Tabella 21 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie elencati in ordine alfa-numerico.

NV07			Geofisica 2a Fase		
sigla	X	Y	tipologia indagine		
HVSR 5	2411659	4195765	HVSR		

Tabella 22 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR elencati in ordine alfa-numerico.

NV20					Geofisica 2a Fase	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW13	2401667	4178247	2401724	4178242	MASW	57.5
MASW14	2400912	4179537	2400929	4179591	MASW	57.5
MASW15	2401327	4180052	2401325	4180110	MASW	57.5
MASW16	2402290	4180814	2402345	4180831	MASW	57.5
MASW17	2402396	4181476	2402408	4181532	MASW	57.5
MASW18	2402869	4182245	2402889	4182299	MASW	57.5
Rifrazione 08	2402304	4181562	2402406	4181500	Rifrazione	120.0
Rifrazione 09	2402297	4180908	2402314	4180780	Rifrazione	130.0
Rifrazione 10	2400811	4179601	2401103	4179532	Rifrazione	300.0
Rifrazione 14	2401465	4178300	2401517	4178441	Rifrazione	150.0
Rifrazione 15	2401201	4180130	2401289	4180083	Rifrazione	100.0
Rifrazione 16	2402761	4182348	2402887	4182267	Rifrazione	150.0

Tabella 23 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie elencati in ordine alfa-numerico.

NV20			Geofisica 2a Fase		
sigla	X	Y	tipologia indagine		
HVSR 13	2401687	4178246	HVSR		
HVSR 14	2400916	4179553	HVSR		
HVSR 15	2401320	4180062	HVSR		
HVSR 16	2402311	4180800	HVSR		
HVSR 17	2402399	4181494	HVSR		
HVSR 18	2402876	4182262	HVSR		

Tabella 24 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR elencati in ordine alfa-numerico.

NV21					Geofisica 2a Fase	
sigla	punto iniziale (a)		punto finale (b)		tipologia indagine	lunghezza m
	X	Y	X	Y		
MASW11	2402733	4177427	2402758	4177375	MASW	57.5

Tabella 25 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie elencati in ordine alfa-numerico.

NV21			Geofisica 2a Fase		
sigla	X	Y	tipologia indagine		
HVSR 11	2402747	4177369	HVSR		

Tabella 26 - Sintesi delle indagini geofisiche HVSR elencati in ordine alfa-numerico.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

6.2.-..CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- indagini sismiche (MASW)
- prove dilatometriche.

6.2.1.-..DEPOSITI INCOERENTI

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità sono stati stimati principalmente sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Per quanto riguarda la stima della densità relativa dalle prove SPT, sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

6.2.1.1.-..Stato di addensamento

In accordo a quanto indicato da Skempton (1986) la densità relativa D_r può essere correlata al valore NSPT con la seguente espressione:

$$D_r = \sqrt{(N_1) / (27+0,28 \sigma_{vo}')}$$

N_1 numero di colpi SPT moltiplicati per il coefficiente C_N per tener conto dello stato tensionale rispetto ad uno stato tensionale di 100 kPa ($C_N=2/(1+\sigma_{vo}')$)

6.2.1.2.-..Parametri di resistenza

L'angolo di resistenza al taglio (ϕ') stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Hatanaka e Uchida (1996) correla l'angolo di resistenza al taglio al numero $N_{1,60}$:

$$\phi_{p,max} = 20 + (15,4 N_{1,60})^{0.5}$$

$$\phi_{p,min} = 15 + (15,4 N_{1,60})^{0.5}$$

Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto si è fatto riferimento ai valori minimi ottenuti dalle correlazioni.

6.2.1.3.-..Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate, in ordine di importanza:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (MASW);
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	64 di 260

Il modulo di taglio iniziale (G_0) e quello di Young iniziale (E_0), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) attraverso le relazioni:

$$G_o = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m³;

ν = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

V_s = velocità delle onde di taglio in m/sec.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	65 di 260

La velocità delle onde di taglio è stata ricavata dalle prove SPT attraverso le correlazioni di:

- Ohta e Goto (1978):

Correlazione di Ohta e Goto (1978)

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{50\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

C = 53,3;

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 10);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 11).

Tabella 10 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f _A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 11 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G (funzione della granulometrica del deposito)

f _G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

- Yoshida et al. (1988):

Correlazione di Yoshida et al. (1988)

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot (\sigma_v')^{0.14} \text{ (m/sec)}$$

essendo:

C=49 per sabbie (unità ALL2);

C=56 per ghiaie sabbiose (unità ALL1);

σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova.

Inoltre, sono analizzati i risultati delle prove dilatometriche che in funzione delle pressioni di “prima lettura” e di “seconda lettura” è possibile ricavare parametri deformativi del terreno.

SIMBOLO	DESCRIZIONE	FORMULE BASE DI ELABORAZIONE DMT
p₀	Prima Lettura Corretta	p ₀ = 1.05 (A - Z _M + ΔA) - 0.05 (B - Z _M - ΔB)
p₁	Seconda Lettura Corretta	p ₁ = B - Z _M - ΔB
I_D	Indice di Materiale	I _D = (p ₁ - p ₀) / (p ₀ - u ₀)
K_D	Indice di Spinta Orizzontale	K _D = (p ₀ - u ₀) / σ' _{vo}
E_D	Modulo Dilatometrico	E _D = 34.7 (p ₁ - p ₀)
K₀	Coeff. Spinta Orizz. in Sito	K _{0DMT} = (K _D / 1.5) ^{0.47} - 0.6
OCR	Rapp. di Sovraconsolidazione	OCR _{DMT} = (0.5 K ₀) ^{1.58}
c_u	Res. al Taglio Non Drenata	c _{uDMT} = 0.22 σ' _{vo} (0.5 K ₀) ^{1.25}
Φ'	Angolo di Resistenza al Taglio	Φ _{u0,DMT} = 28° + 14.6° log K ₀ - 2.1° log ² K ₀
c_h	Coeff. di Consolidazione	c _{hDMT} = 7 cm ² / t ₉₀
k_h	Coeff. di Permeabilità	k _h = c _h γ _w / M _h (M _h = K ₀ M _{DMT})
γ	Peso di Volume	(vedi grafico in TC16 2001)
M	Modulo Verticale Drenato Confinato	M _{DMT} = R _M E _D se I _D ≤ 0.6 R _M = 0.14 + 2.36 log K ₀ se I _D ≥ 3 R _M = 0.5 + 2 log K ₀ se 0.6 < I _D < 3 R _M = R _{M0} + (2.5 - R _{M0}) log K ₀ con R _{M0} = 0.14 + 0.15 (I _D - 0.6) se K ₀ > 10 R _M = 0.32 + 2.18 log K ₀ se R _M < 0.85 porre R _M = 0.85
u₀	Pressione Neutra di Equilibrio	u ₀ = p ₀ - C - Z _M + ΔA

Z_M = Lettura al manometro quando "aperto" all'atm. Se ΔA, ΔB sono misurate con lo stesso manometro usato per le letture A, B correnti, porre Z_M = 0 (Z_M è compensata)

u₀ = pressione neutra pre-inserimento
 σ'_{vo} = tensione geostatica pre-inserimento

E_D NON è un modulo di Young E. E_D deve essere usato solo DOPO averlo combinato con K₀ (Storia Tensionale). Prima ricavare M_{DMT} = R_M E_D, poi ad es. E = 0.8 M_{DMT}

per I_D < 1.2

per I_D < 1.2

per I_D < 1.2

per I_D > 1.8

t₉₀ da curva di decadimento A-log t da DMTA

In terreni drenanti

I moduli di deformabilità “operativi” (E') da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale (E_0).

6.2.2.-..DEPOSITI COESIVI

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, anche dai risultati delle prove di laboratorio, come illustrato in seguito.

6.2.2.1.-..Classificazione

La classificazione di questi terreni è stata ottenuta essenzialmente dai risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;
- contenuti d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg

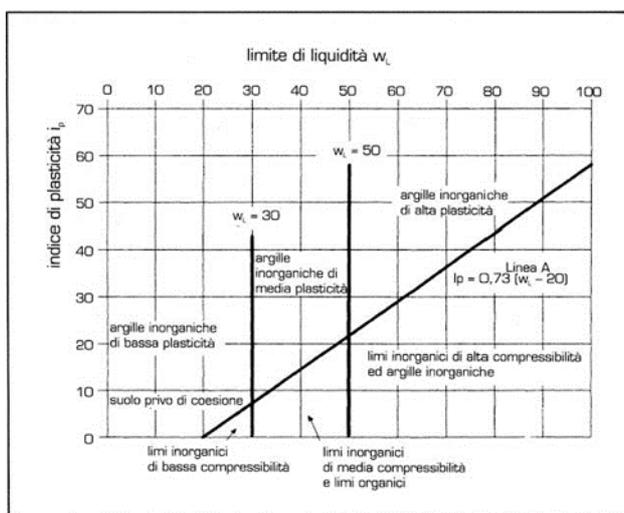


Figura 13 - Carta di Casagrande

6.2.2.2.-..Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di taglio diretto (TD) e prove triassiali per la resistenza in termini di tensioni efficaci (T_X CIU) e in termini di tensioni totali (UU).

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata anche dalle prove speditive di Pocket Penetrometer (PP) e delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974): $c_u \approx (5.0 \pm 5.5) * N_1$ (kPa).

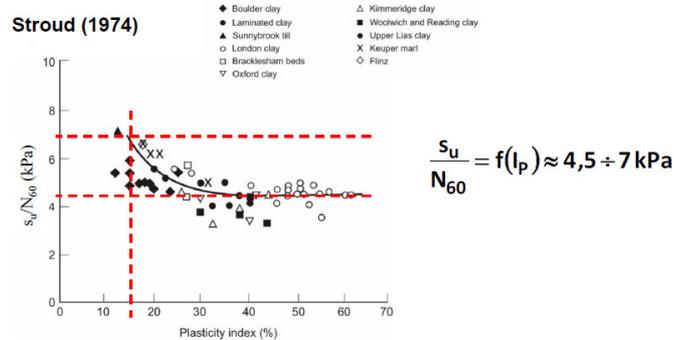


Figura 14 – Correlazione Stroud (1974)

I valori risultati dalle prove in sito e di laboratori sono confrontati con relazioni presenti in letteratura Skempton (1957, terreni normalmente consolidati):

$$c_u = \sigma_v^t \cdot (0,11 + 0,0037I_p)$$

6.2.2.3.-.Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi sono state stimate:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (Masw);
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- dalle prove dilatometriche e pressiometriche
- da correlazioni di letteratura basate sui risultati delle prove SPT

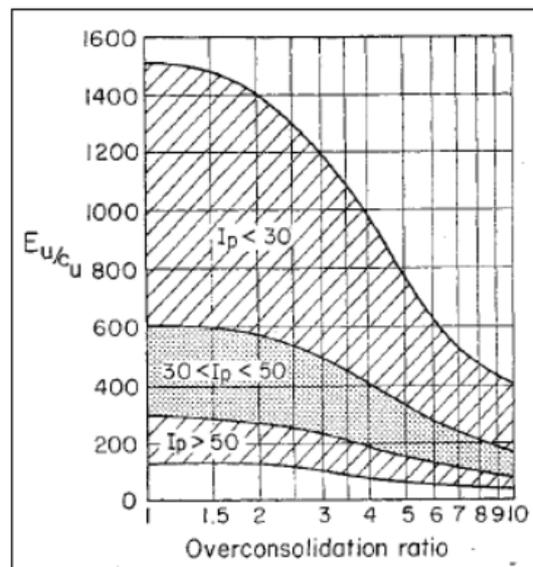


Figura 15 – Duncan & Buchigani

Per quanto concerne le prove sismiche, le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le stesse relazioni valide per i terreni incoerenti. I valori ottenuti sono stati poi confrontati poi con i risultati derivanti dalle correlazioni per l'interpretazione delle prove SPT.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	68 di 260

I moduli di deformabilità “operativi” (E’) da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale (E0).

6.2.2.4.-..Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati dalle prove edometriche di laboratorio.

6.2.3.-..LITOLOGIE DI RIFERIMENTO DEL MODELLO GEOTECNICO

Riferendosi al modello geologico sintetizzato nei paragrafi precedenti, sotto il profilo litologico le unità affioranti nell’area d’interesse sono costituite da diverse successioni sedimentarie mesozoiche e cenozoiche pro-parte alle quali si sono sovrapposte, con una discordanza di importanza regionale, i depositi terrigeni, evaporitici e clastico-carbonatici mio-pliocenici e, verso la superficie, i depositi quaternari di genesi detritica e alluvionale, particolarmente importanti nei settori di fondovalle del Fiume Torto e dei suoi affluenti maggiori.

Le successioni stratigrafiche presenti nell’area di interesse e riscontrate anche con le indagini di riferimento, possono essere distinte, dal basso verso l’alto, in:

6.2.3.1.-..SUBSTRATO

- Successioni pelitiche, arenacee e calcareo-marnose - spessore 200 m, litologicamente formate da:
 - (MUFb), argilliti e marne bruno-giallastre, foliate con marne micacee grigio-verdi; (MUFa), calcilutiti laminate scure e calcisiltiti verdi laminate) in strati sottili, centimetrici e decimetrici ed intercalazioni di calcari dolomitizzati e brecce calcaree ben cementate;
 - (MUFc), arenarie quarzoso-micacee gradate e laminate con livelli di calcari con sottili intercalazioni di marne micacee.
- Successioni Sicilide
 - (AVF), Argille Varicolori inferiori (spessore valutato tra 70 e 200 m), argille a struttura scagliosa e marne varicolori, spesso caotiche, diaspri ed arenarie quarzose e micacee, calcilutiti verdastre e livelli centimetrici di biocalcareniti;
 - (AVFa), (spessore alcune decine di metri), marne nere e argille grigie con calcareniti grigie risedimentate;
 - -(AVFb) (spessore 50 m), intercalazioni di corpi lenticolari costituiti da conglomerati e brecce calcaree grossolane;

- (POZ), spessore 20-170 m, calcilutiti e calcari marnosi grigio-biancastri in strati decimetrico-centimetrici a luoghi sottilmente laminati, alternati a livelli marnoso-argillosi grigiastri e talvolta violacei. Talora le marne sono grigio nerastre e bituminose. A luoghi sono presenti intercalazioni lenticolari di biocalcareniti e biocalciruditi risedimentate con macroforaminiferi;
- (TUT), Tufiti di Tusa, alternanze di marne gialle, calcari marnosi grigio-verdastri e arenarie vulcanoclastiche indifferenziate. All'interno della successione sono riconoscibili due differenti membri.
- (TUT1), spessore valutabile intorno a 80-150 m. - membro marnoso formato da alternanza di marne verdastre, calcari grigio nerastri a pasta fine saponose al tatto, e rari livelli di biocalcareniti e biocalciruditi risedimentate a macroforaminiferi. Intercalazioni di arenarie vulcanoclastiche micacee a laminazione incrociata, abbondanti nella porzione sommitale, talvolta poco cementate, con icniti e strutture sedimentarie erosive preservate sulla faccia di strato;
- (TUT3), spessore 250-300 m, membro arenaceo dato da arenarie grigio-giallastre, in banchi metrici costituiti da arcose litiche e litareniti feldspatiche spesso gradate, generalmente organizzate in sequenze torbiditiche, con laminazione da piano-parallela a convoluta. I litotipi arenaceo-conglomeratici, spesso vulcanoclastici, mostrano concentrazioni di clasti arrotondati centimetrici e sono localmente separati da sottili livelli pelitici. Il contenuto fossilifero dei livelli marnosi è assai scarso.;
- Successioni pelitico – arenacee e del Flysch Numidico
 - (FYN), peliti sabbiose, megabrecce carbonatiche, arenarie quarzose torbiditiche e quarzoareniti (con livelli microconglomeratici) - Flysch Numidico distinto in:
 - (FYN2), spessore 100-300 m, peliti di colore bruno talora manganesifere, con laminazione piano-parallela in cui si intercalano livelli di arenarie quarzose e gradate (FYN2a), biocalcareniti risedimentate a macroforaminiferi (FYN2b) e nei livelli superiori breccie carbonatiche ad elementi mesozoici (FYN2c).
 - (FYN5), spessori fino a 800 m, arenarie quarzose torbiditiche in banchi e strati con alternate peliti micacee. Intercalati quarzoareniti e/o conglomerati con ciottoli di quarzo e di argilla in matrice arenaceo-pelitica, in banchi e con geometrie canalizzate (FYN5a);
 - (TAV), spessore 80-200 m, marne sabbiose e argillose bruno-giallastre, peliti grigiastre con intercalazioni di arenarie quarzoso-glauconitiche e micacee in strati

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	70 di 260

decimetrico-metrici con gradazioni e laminazioni (arenarie torbiditiche) - Formazione Tavernola -;

▪ Successioni Mio-Plioceniche marine, continentali e transizionali, comprendenti le seguenti formazioni:

- (SIC) spessori 50-70 m, peliti e peliti sabbiose grigio-verdi con intercalazioni metriche e decametriche di arenarie e sabbie quarzose e locali livelli conglomeratici - Formazione Castellana Sicula,
- (TRV), spessore massimo 800 m, conglomerati, sabbie grossolane, sabbie, argille sabbiose, peliti e marne grigio-azzurrognole - Formazione Terravecchia composta da differenti membri.
- (TRV1), membro conglomeratico dato da orto e paraconglomerati polimitici grigiastri e giallastri in banchi più o meno cementati che si alternano con sabbie grossolane ciottolose giallastre contenenti lenti conglomeratiche. Conglomerati grano sostenuti rossastri (TRV1a), spesso disposti alla base. Gli elementi arenaceo-quarzosi, calcarei ed in subordine ignei sono immersi in una matrice prevalentemente silicea. Localmente, sono presenti peliti sabbiose contenenti fauna dulcicola (TRV1c). Verso l'alto, alternanze di conglomerati e arenarie con stratificazione incrociata (TRV1b - spessore 50-400 m.);
- (TRV2), spessore 50-350 m, membro sabbioso formato da sabbie ed arenarie da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata, con intercalazioni di peliti sabbiose e sottili livelli conglomeratici;
- (TRV3), spessore 100-400 m, membro pelitico-argilloso costituito da marne e argille, marne grigie, argille grigio-verdastre o azzurrognole (TRV3b), passanti verso il basso ad argille sabbiose e peliti bluastre (TRV3a) con locali importanti intercalazioni arenitiche;
- (BAU), spessori 10-20 m., biocalcareni e calciruditi a frammenti, areniti calcareo marnose;
- (CII), spessore 40 m, gessi e gessoareniti e gessopeliti grigio verdastre e gessi laminati (torbiditi gessose);
- (GTL2), spessore massimo 150 m, formato nell'area d'interesse da gessi selenitici massivi e/o mal stratificati con a luoghi intercalazioni di laminiti algali e marne bianche gessose - Formazione di Cattolica (Messiniano) -;
- (GPQ4), spessore pochi metri, membro fanglomerati appartenente alla formazione evaporitica - Formazione di Pasquasia – e costituita da gessoareniti e gessopeliti,

argille e marne grigio o rosso-brunastre ad ostracodi dulcicoli. Localmente calcari gessosi brecciati (Messiniano superiore);

- (TRB), spessore 60-120 m, marne e calcari marnosi bianchi - Trubi (Zancleano) - passanti verso l'alto a marne sabbiose e argillose grigio-verdi o biancastre che sfumano in alto a calcareniti sabbioso-marnose;

6.2.3.2.-.COPERTURE

- Depositi Quaternari formati da sedimenti clastici pleistocenici e olocenici, di ambiente continentale, transizionale e marino, sia emerso che sommerso;
 - (BCP), spessori compresi tra 1 e 5 m, - Sintema di Buonfornello-Campofelice (Pleistocene medio) - comprende conglomerati, sabbie e siltiti marine con locali intercalazioni pelitiche grigiastre che si sono depositate su superfici terrazzate disposte a varie quote, da 25 m a 250 m s.l.m.;
 - (BCP1), depositi ciottolosi in matrice sabbioso-limosa, spesso fortemente pedogenizzati ed erosi - Subsintema di Gargi di Cenere (Pleistocene medio) -. Depositi disposti a quote variabili tra i 170 ed i 250 m s.l.m.;
 - (BCP2), depositi disposti a quote variabili tra i 70 ed i 160 m s.l.m e formati da sedimenti marini sabbioso-ciottolosi di spiaggia emersa, battigia ed infralitorale, con fauna a molluschi - Subsintema di Rocca D'Antoni (Pleistocene medio);
 - (BCP3), depositi disposti a quote variabili tra i 50 ed i 60 m s.l.m. e dati da ciottoli e massi da arrotondati a sub-arrotondati in matrice sabbioso-limosa - Subsintema di Quaranta Salme (Pleistocene medio) -;
 - (BCP4), sabbie, ghiaie e conglomerati, disposte a quote variabili tra i 25 ed i 30 m s.l.m. - Subsintema di Torre Tonda (Pleistocene medio) -;
 - (RFS), spessori 1-2 m, si comprendono i depositi fluviali del bacino del Fiume Torto formati da conglomerati, sabbie e limi;
 - (RFS1), lenti ghiaioso-ciottolose in matrice sabbioso-limosa con alla sommità suoli brunastrì;
 - (RFS2) corpi ghiaioso-ciottolosi in matrice sabbioso-limosa, alternati a sabbie e limi ricoperti da suoli brunastrì.
 - (BNI), conglomerati poligenici, sabbie quarzose e siltiti rossastre o rosso-brunastre continentali associati a colluvi, con stone-line e paleosuoli contenenti a luoghi resti di vertebrati - Sintema Benincasa (Pleistocene medio – Pleistocene superiore). Lo spessore varia da 1 a circa 5 m.;

- (SIT), depositi litorali quali sabbie e sabbie limose conglomerati e calcareniti silicee di colore grigiastro o nocciola - Sintema di Barcarello (Tirreniano) -. Spessore 1-2 m. localmente raggiungono lo spessore di 20 m. e si rinvencono dal livello del mare sino ad una quota di circa 15 m;
- (RFR), comprende detriti di falda stratificati e cementati, con elementi a spigoli vivi più o meno grossolani di natura prevalentemente calcareo-dolomitica. Spessore 20 m - Sintema di Raffo Rosso (Pleistocene superiore) -;
- Sintema di Capo Plaia (Pleistocene superiore – Olocene) - spessori variabili da 1 e 40 m; depositi di versante, detriti di falda attuali (AFLa3), detriti e frane (AFLa1), depositi fluviali di fondovalle (AFLb), dunari (AFLd), di spiaggia (AFLg2), eluvio-colluviali (AFLb2), depositi lacustri (AFLc3) ed accumuli di materiali eterometrici di spessore variabile (AFLb4). Il limite inferiore è una superficie di erosione subaerea incisa su SIT e/o termini più antichi. Il limite superiore è l'attuale superficie topografica marcata da suoli.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	73 di 260

7.-..MODELLI GEOTECNICI DELLE OPERE DI PROGETTO

Al lotto 1 e 2 del raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara dello studio "Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo – Nuovo collegamento Palermo-Catania" appartengono i diversi tratti di tracciato compresi tra il km 0+000 e il km 8+000. Ad integrazione delle opere ferroviarie previste nell'ambito del raddoppio della tratta Fiumetorto – Lercara è stata prevista la progettazione della viabilità di servizio all'opera principale e di collegamento con le nuove stazioni.

7.1.-..TRACCIATO LINEA FERROVIARIA

Di seguito vengono descritti da nord a sud, i diversi tratti relativi al lotto del tracciato ferroviario in questione, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

Opere all'aperto km 0+000 ÷ km 1+650

Il tratto in questione si colloca nella porzione più settentrionale dell'area di studio e interessa interamente la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 6.6 e i 19.0 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per tutto il suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), che presentano inizialmente uno spessore ridotto di circa 2 m e nel tratto finale uno spessore variabile tra 14 e 27 m. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riperti antropici attuali (h) e poggiano in eteropia sui terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali recenti (bb1). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi del Membro di Gerasi Siculo del Flysch numidico (FYN5), che si rinviene nel tratto iniziale ad oltre 40 m dal p.c.. Tali depositi risultano dislocati da una faglia diretta, ad andamento circa E-W che ribassa la porzione settentrionale dell'area di studio. Nel settore centrale del tratto in esame i termini a composizione argillitico-siltitica del Flysch Numidico passano ai litotipi a composizione argilloso-marnosa delle Argille Varicolori inferiori mediante un sovrascorrimento a basso angolo. Tale sovrascorrimento, ad andamento WNW-ESE, porta i termini meso-cenozoici delle Argille Varicolori inferiori sui termini infra-cenozoici del Flysch numidico. Il substrato delle Argille Varicolori inferiori (AVF), si rinviene a profondità decrescenti verso sud, tra 40 m dal p.c. e circa 18 m p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale del Fiume Torto, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 1.9 e 9.2 m s.l.m. In questa tratta è presente la viabilità NV01 (nei pressi del km 0+680).

Opere all'aperto km 1+650 ÷ km 2+700

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo il margine destro della piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 19.0 e i 28.2 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per gran parte del suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), che presentano inizialmente uno spessore variabile tra 10 e 18 m. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h). Nel settore centrale si rinviene una lente di terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali recenti (bb1) con una potenza modesta di circa 2.5 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi a composizione argilloso-marnosa delle Argille Varicolori inferiori (AVF), che si rinvengono a profondità superiori ai 10 m dal p.c.. Nel settore centrale del tratto in esame, tali depositi risultano dislocati da un elemento tettonico sub verticale di cinematica sconosciuta, ad andamento circa SW-NE.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa il margine destro della piana della valle alluvionale del Fiume Torto bordata da rilievi collinari poco acclivi ed estesi. In particolare, all'altezza del km 2+630 circa, il tracciato intercetta un corso d'acqua minore rappresentato da un fosso a regime stagionale che s'immette in destra idrografica del F. Torto. Lungo i versanti nord-occidentali di Cozzo Quaranta Salme si rinvengono movimenti franosi con stato variabile dall'attivo all'inattivo, con spessori di alcuni metri. In particolare, il fenomeno più vicino al tracciato di progetto (circa 30 m) si colloca nel settore centro-meridionale del tratto in esame. Si tratta di una frana complessa con stato quiescente, con distribuzione debolmente retrogressiva, che si estende per circa 200 m, su cui si impostano, nella parte alta numerosi colamenti lenti di ridotte dimensioni e stato attivo. Il sondaggio 1S11, realizzato in corrispondenza del movimento franoso più esteso, evidenzia la presenza di materiali fortemente rimaneggiati e destrutturati fino a circa 8 m di profondità dal p.c.. Ad ogni modo, in relazione al contesto morfologico locale e alle specifiche caratteristiche cinematiche ed evolutive del fenomeno di frana, questo non presenta alcuna interferenza diretta o potenziale con il nuovo tracciato in progetto.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 9.2 e 16.4 m s.l.m. In questa tratta è presente la viabilità NV02 (nei pressi del km 2+323).

Opere all'aperto km 2+700 ÷ km 3+500

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio e interessa interamente la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 26.7 e i 34.7 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per tutto il suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), che presentano uno spessore variabile tra 3.5 e 18.6 m. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h) e in corrispondenza del km 3+245 dai Depositi alluvionali attuali (ba), con uno spessore modesto di circa 1 m. Nel settore centrale e meridionale all'interno di tali depositi si rinviene una lente di terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (bb3) con una potenza variabile tra 2 e 12 m. Inoltre, questi

depositi poggiano in eteropia sui terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali recenti (bb1), che si rinvencono a profondità superiori ai 22 m dal p.c., che a loro volta presentano una lente di spessore modesto di terreni limoso-argillosi (bb3). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi delle Argille Varicolori inferiori (AVF) e si rinviene a profondità crescenti verso sud, tra 18 m dal p.c. e circa 40 m p.c.. Nel settore centro-meridionale del tratto in esame i termini a composizione argilloso-marnosa delle Argille Varicolori inferiori passano ai litotipi a composizione argillitico-siltitica del Flysch Numidico mediante una faglia di cinematica sconosciuta, ad andamento SW-NE. Il substrato del Flysch Numidico (FYN5), si rinviene a profondità decrescenti verso sud, tra 14 m e circa 38 m dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area caratterizzata dalla presenza della valle alluvionale del Fiume Torto, pertanto non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto, a meno dell'attraversamento di un corso d'acqua e della presenza di una conoide quiescente di modeste dimensioni. Si tratta di una forma generata da processi dovuti alle acque correnti superficiali, con bassa intensità e ridotti tassi di evoluzione, infatti le verifiche mediante analisi fotointerpretativa a scala multi-temporale non hanno evidenziato sostanziali fenomeni di alluvionamento fuori alveo, con trasporto ed accumulo tali da determinare condizioni di criticità per l'intervento, se opportunamente dimensionato. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 14.2 e 23.4 m s.l.m..

Opere all'aperto km 3+500 ÷ km 3+900

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo il margine destro della piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 35.9 e i 41.7 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per tutto il suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), che presentano uno spessore tendenzialmente uniforme e variabile tra 2.3 m e 5.1 m circa. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h) e in corrispondenza dell'attraversamento del corso d'acqua al km 3+515 si rinvencono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali (ba), con uno spessore modesto di circa 1 m. Inoltre, questi depositi poggiano in eteropia sui terreni limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (bb3) con una potenza variabile tra 4.7 e 16.8 m. Nel settore centrale la tratta di progetto attraversa direttamente il piede di una frana complessa. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi del Flysch Numidico (FYN5) e si rinviene a profondità variabili tra 5.7 e 12.0 m circa dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa il margine destro della piana della valle alluvionale del Fiume Torto bordata da rilievi collinari poco acclivi ed estesi. Lungo i versanti nord-occidentali di Cozzo Marmaro si rinvencono movimenti franosi con stato variabile dal quiescente all'inattivo, con spessori di alcuni metri. L'area è caratterizzata da un versante mediamente immergente verso ovest, in direzione del fondovalle. Come evidenziato dai rilievi di campo condotti e dall'analisi delle foto aeree disponibili, il versante in questione rappresenta la zona di accumulo di un esteso movimento franoso che si estende

dalla parte alta del rilievo di Cozzo Marmaro fino ai settori di fondovalle del Fiume Torto. Il fenomeno si sviluppa in direzione circa ESE-WNW e presenta una lunghezza di circa 1.9-2.0 km. In particolare, i sondaggi 1S19 e 1SF7, realizzati in corrispondenza del movimento franoso più esteso, evidenziano la presenza di materiali fortemente rimaneggiati e destrutturati almeno fino a 9-23 m di profondità dal p.c..

Le evidenze morfologiche di questo fenomeno rilevate lungo il versante sono generalmente fortemente degradate e, talora, parzialmente obliterate da processi erosivi e forme di accumulo più recenti. Il movimento franoso risulta essere molto antico e apparentemente stabilizzato, almeno se ci si riferisce al fenomeno nella sua interezza. In prossimità del fondovalle, l'accumulo del suddetto movimento franoso è interessato da una serie di fenomeni secondari, che ne producono una ulteriore evoluzione geomorfologica. Tali fenomeni sono classificabili come colamenti, frane complesse e aree a franosità diffusa con stato quiescente.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 23.4 e 32.7 m s.l.m..

Opere all'aperto km 3+900 ÷ km 4+300

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio e interessa la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 39.3 e i 47.1 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per gran parte del suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), che presentano uno spessore variabile tra 0.8 e 2.8 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h). In corrispondenza del Vallone Ponte Ferduso si rinvengono Depositi alluvionali attuali in facies ghiaioso-sabbiosa (ba1), con uno spessore e una estensione limitata. Tali depositi poggiano in eteropia sui termini alluvionali limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (bb3) con una potenza variabile tra 7.8 e 14.3 m, a loro volta in appoggio di nuovo sui terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dalle Argille Varicolori inferiori (AVF) sovrascorse sui litotipi del Flysch Numidico (FYN5) a struttura fortemente tettonizzata. Si tratta di un sovrascorrimento a basso angolo orientato SSW-NNE.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un settore di piana alluvionale caratterizzato dalla presenza di canali in evoluzione. Il tracciato attraversa il Vallone Ponte Ferduso e due conoidi alluvionali quiescenti di modeste dimensioni. Si tratta di forme generate da processi dovuti alle acque correnti superficiali, con bassa intensità e ridotti tassi di evoluzione, infatti le verifiche mediante analisi fotointerpretativa a scala multi-temporale non hanno evidenziato sostanziali fenomeni di alluvionamento fuori alveo, con trasporto ed accumulo tali da determinare condizioni di criticità per l'intervento, se opportunamente dimensionato. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta ad una quota assolute di circa 32.7 m s.l.m..

Opere all'aperto km 4+300 ÷ km 5+600

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo il margine destro della piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, a quote variabili tra i 42.8 e i 62.7 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa nel tratto iniziale i terreni limosi-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (bb3), con intercalata una lente sabbioso limosa e posti in appoggio sui depositi sabbioso-limosi (bb2). Questi ultimi terreni risultano a loro volta in eteropia sui termini ghiaioso-sabbiosi della medesima unità (bb1). Localmente sono ricoperti dai Riporti antropici attuali (h). Nel tratto finale, si rinvencono i depositi sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), con uno spessore di circa 9 m. In corrispondenza dell'attraversamento del Vallone Ponte Lettiga al km 5+425 si rinvencono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali (ba1), con uno spessore modesto di circa 3 m. Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi dalle Argille Varicolori inferiori (AVF) e si rinviene a profondità variabili tra 8.0 e 21.6 m dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa il margine destro della piana della valle alluvionale del Fiume Torto bordata da rilievi collinari poco acclivi ed estesi. In particolare, il tracciato intercetta un corso d'acqua secondario all'altezza del km 5+425 circa. Lungo i versanti nord-occidentali di Cozzo Marmaro si rinvencono movimenti franosi con stato variabile dal quiescente all'inattivo, con spessori di alcuni metri. L'area è caratterizzata da un versante mediamente immergente verso ovest, in direzione del fondovalle. Come evidenziato dai rilievi di campo condotti e dall'analisi delle foto aree disponibili, il versante in questione rappresenta la zona di accumulo di un esteso movimento franoso che si estende dalla zona di cresta (rilievo di Cozzo Marmaro) fino ai settori di fondovalle (Fiume Torto). Il fenomeno si sviluppa in direzione circa E-W e presenta una lunghezza di circa 2.8 km.

In prossimità del fondovalle, l'accumulo del suddetto movimento franoso è interessato da una serie di fenomeni secondari, che ne producono una evidente evoluzione geomorfologica. In particolare, il sondaggio 1S5, realizzato in corrispondenza del movimento franoso attivo più esteso, evidenzia la presenza di materiali fortemente rimaneggiati e destrutturati almeno fino a 12-15 m di profondità dal p.c., a cui si legano le basse percentuali di carotaggio riportate in stratigrafia. Il monitoraggio delle strumentazioni inclinometriche installate nel presente foro di sondaggio evidenzia importanti deformazioni dei primi 3-5 m di terreno. In profondità il monitoraggio evidenzia una deformata di bassa intensità, qualche millimetro di spostamento, fino a circa 20-22 m di profondità dal p.c.; gli specifici trend deformativi evidenziati confermano una cinematica differente per i fenomeni in atto. In sondaggio 1S12bis, presente a sud del precedente, evidenzia invece deformazioni molto blande fino a profondità considerevoli (tra i 18 e 28 m dal p.c.). Anche in questo caso, la ridotta intensità delle deformazioni (inferiori a 1 mm) e la mancanza di un numero adeguato di letture rendono difficile la ricostruzione dei movimenti franosi e di meccanismi deformativi in atto lungo il versante, che potranno essere valutati adeguatamente solo a valle di un congruo periodo di monitoraggio. In sintesi, allo stato delle conoscenze, risulta evidente la presenza di dissesti superficiali (3/5 m di potenza) che presentano velocità di movimento dell'ordine di qualche cm/anno, mentre i fenomeni profondi presentano un trend deformativo presunto di circa 2-4 mm/anno. Gli studi effettuati, in relazione alle caratteristiche cinematiche dei fenomeni di frana e alla condizione morfologica locale, confermano che tali fenomeni non interferiscono

direttamente con le opere in progetto, infatti queste si collocano nel settore di piana alluvionale ad opportuna distanza dai versanti in dissesto. Infine il tracciato, tra le progressive 5+300 e 5+360, lambisce la parte esterna del piede di frana di un fenomeno complesso con stato inattivo; gli studi condotti mediante fotointerpretazione multitemporale, i rilievi diretti e il monitoraggio inclinometrico (sondaggio 1S12) disponibile confermano l'assenza di condizioni che possano determinare la riattivazione di tale fenomeno nell'attuale quadro morfoclimatico, ferme restando le opportune analisi e verifiche di carattere geotecnico.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili tra 32.8 e 53.7 m s.l.m..

Opere all'aperto km 5+600 ÷ km 6+430

Il tratto in questione si colloca nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo la base dei versanti che bordano ad est la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto a raso sull'attuale p.c., a quote variabili tra i 57.4 e i 65.6 m circa s.l.m..

Il substrato geologico dell'area è formato dai terreni delle Argille Varicolori inferiori (AVF) che interessano direttamente il tracciato di progetto nel tratto iniziale. Nel tratto centrale e finale tali litotipi si rinvengono a profondità variabili tra 8.9 e 27.5 m dal p.c.. Tali depositi sono ricoperti nel settore centrale del tratto in esame dai terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali antichi (bt1), con uno spessore di circa 8.9 e 10.4 m. In corrispondenza dell'attraversamento del Vallone Canna si rinvengono i Depositi alluvionali recenti sabbioso-limosi (bb2), con uno spessore di circa 9.4 m, e i Depositi alluvionali attuali (ba1) in corrispondenza dell'alveo. Mentre, nei pressi dell'attraversamento del Vallone Ferrigna si rinvengono i Depositi alluvionali recenti, con uno spessore variabile tra 12.5 e 27.5 m, rappresentati dai termini ghiaioso-sabbiosi (bb1), sabbioso-limosi (bb2) e limoso-argillosi (bb3) in parziale eteropia laterale e verticale tra loro. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai terreni a composizione limoso-argillosa de Depositi detritico-colluviali (b2). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi dalle Argille Varicolori inferiori (AVF) e si rinviene a profondità variabili tra 3.0 e 10.0 m dal p.c., mentre si approfondisce fino a circa 27.00 m dal p.c. in corrispondenza dell'attraversamento sul Vallone Ferrigna.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa il bordo destro della piana alluvionale caratterizzato dalla presenza di superfici terrazzate e canali in evoluzione. Le superfici terrazzate sono bordate da scarpate fluviali ormai inattive e risultano localmente costituite da lembi di conoidi alluvionali, con stato quiescente. Si tratta di forme generate da processi dovuti alle acque correnti superficiali, con bassa intensità e ridotti tassi di evoluzione, infatti le verifiche mediante analisi fotointerpretativa a scala multi-temporale non hanno evidenziato sostanziali fenomeni di alluvionamento fuori alveo, con trasporto ed accumulo tali da determinare condizioni di criticità per l'intervento, se opportunamente dimensionato. Il tracciato attraversa due distinti canali fluviali, il Vallone Canna (km 5+848) e il Vallone Ferrigna (km 6+300). Sotto il profilo idrogeologico, in corrispondenza del Vallone Ferrigna i dati piezometrici a disposizione mostrano una falda a circa 52.2 m s.l.m..

Opere all'aperto km 6+430 ÷ km 7+080

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio, lungo la base dei versanti che bordano ad est la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto a raso sull'attuale p.c., a quote variabili tra i 61.7 e i 78.7 m circa s.l.m..

Il substrato geologico dell'area è formato dai terreni delle Argille Varicolori inferiori (AVF) fortemente tettonizzate e a struttura complessa impegnate direttamente dalle opere in progetto nel tratto iniziale. Al contrario nel tratto centrale e finale tali litotipi si rinvengono a profondità variabili tra 12.3 e 13.5 m dal p.c., in quanto risultano ricoperti dai terreni dei Depositi alluvionali recenti ghiaioso-sabbiosi (bb1), sabbiosi-limosi (bb2) e limoso-argillosi (bb3) in parziale eteropia laterale e verticale tra loro. Tali depositi alla base dei rilievi sono ricoperti dai terreni a composizione limoso-argillosa dei Depositi detritico-colluviali (b2).

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa i versanti che bordano ad est la piana alluvionale del Fiume Torto. Lungo le propaggini più settentrionali della dorsale orientata SE-NW, dal rilievo di Località Campana fino al fondovalle del Fiume Torto, i versanti esposti a sud-est sono caratterizzati da un complesso sistema di frane con stato variabile dall'attivo al quiescente, con spessori di alcuni metri. In particolare, i movimenti franosi più vicini al tracciato in progetto risultano attualmente quiescenti e con una scarsa tendenza morfoevolutiva, inoltre è presente un areale caratterizzato da deformazioni superficiali delle coltri pedologiche (soliflusso), con stato attivo. Come evidenziato dal sondaggio 1SF8, lo spessore delle masse in deformazione varia generalmente tra 2 e 4 m, anche se localmente può raggiungere i 6-8 m in corrispondenza degli accumuli dei fenomeni più estesi. Ad ogni modo i fenomeni di frana s.s. censiti non rappresentano una criticità per le opere in progetto, infatti non interferiscono direttamente o indirettamente con queste sia e ciò in virtù del contesto morfologico locale, sia in relazione alla distribuzione debolmente retrogressiva dei fenomeni stessi. Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta ad una quota assoluta di circa 56 m s.l.m. In questa tratta è presente la viabilità NV06 (dal km 6+050 al 7+850).

Opere all'aperto km 7+080 ÷ km 8+000

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio, lungo la base dei versanti che bordano ad est la piana del Fiume Torto. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto a raso sull'attuale p.c., a quote variabili tra i 63.2 e i 74.9 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa per gran parte del suo sviluppo i terreni sabbioso-limosi dei Depositi alluvionali recenti (bb2), con uno spessore pressoché costante di circa 10.3-13.7 m. Nel tratto centrale e finale si rinviene una lente di spessore modesto, circa 6 m, dei depositi a composizione limoso-argillosa (bb3). Tali terreni risultano in appoggio nel tratto centrale sui depositi ghiaioso-sabbioso (bb1). Nel settore settentrionale del tratto in esame il tracciato attraversa il piede di un complesso sistema di frane. Mentre, nel tratto meridionale a sud della stazione di Sciara-Aliminusa, in corrispondenza dell'attraversamento di un corso d'acqua si rinvengono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali (ba1), con uno

spessore ridotto di circa 1 m. Tali depositi sono localmente ricoperti dai Riporti antropici attuali (h). Il substrato geologico dell'area è rappresentato dai litotipi dalle Argille Varicolori inferiori (AVF) a struttura fortemente complessa e si rinviene a profondità variabili tra 10.3 e 13.7 m dal p.c..

Dal punto di vista geomorfologico, l'evoluzione dell'area è prevalentemente connessa ai fenomeni gravitativi presenti lungo i versanti e ai processi di erosione ed accumulo in corrispondenza dei principali corsi d'acqua. In particolare, i due fianchi della dorsale presentano caratteristiche morfologiche e morfoevolutive estremamente differenti.

Il versante occidentale della dorsale in esame insiste sul fondovalle principale del Fiume Torto ed è caratterizzato da una evoluzione morfologica particolarmente intensa ed evidente. Tale evoluzione si esplica attraverso numerosi movimenti franosi, essenzialmente rappresentati colamenti, scivolamenti e frane complesse in terra di dimensione ed estensione estremamente variabili. I fenomeni sono prevalentemente attivi e localmente quiescenti, mentre la distribuzione è variabile da retrogressiva a multidirezionale, talora in allargamento. Nel tratto nord-orientale il tracciato attraversa al piede fenomeni di piccole dimensioni riconducibili a colamenti lenti con stato attivo. Come evidenziato dai sondaggi 1SF9 e 1SF10, lo spessore delle masse in deformazione varia generalmente tra 2 e 6 m, anche se localmente può raggiungere i 6-8 m in corrispondenza degli accumuli dei fenomeni più estesi. Inoltre, nel tratto sud-occidentale in corrispondenza dell'affluente in destra del Fiume Torto il tracciato attraversa la porzione medio-alta di una conoide alluvionale quiescenti di estese dimensioni. Si tratta di una forma generata da processi dovuti alle acque correnti superficiali, con bassa intensità e ridotti tassi di evoluzione, infatti le verifiche mediante analisi fotointerpretativa a scala multi-temporale non hanno evidenziato sostanziali fenomeni di alluvionamento fuori alveo, con trasporto ed accumulo tali da determinare condizioni di criticità per l'intervento, se opportunamente dimensionato.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, i dati diretti di monitoraggio piezometrico e i dati bibliografici disponibili evidenziano la presenza di una estesa falda freatica all'interno dei terreni alluvionali recenti, posta a quote assolute variabili 58.4 e 70.8 m s.l.m. In questa tratta è presente la viabilità NV07 (nei pressi del km 7+950).

7.2.-..DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE

Di seguito si elencano le unità geotecniche individuate lungo il tracciato ed i rispettivi parametri meccanici ricavati dall'interpretazione delle indagini in sito ed in laboratorio.

7.2.1.-..DEPOSITI ALLUVIONALI- UNITÀ B1 (SABBIE E GHIAIE)

Si tratta di ghiaie in matrice sabbiosa o sabbie con presenza di ciottoli. Le prove SPT hanno fornito valori tra 20 - 45 colpi/30 cm, raggiungendo il più delle volte il rifiuto strumentale dovuto alla presenza elementi lapidei (R=100).

La densità relativa media stimata dalle prove SPT è compresa tra 40 e 60 %.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni, su cui sono state eseguite prove di laboratorio (granulometrie).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19 e 21 kN/m³

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 40 e 67%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 26 e 52%;
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa fra 6 e 18%
- Il peso di volume naturale è assunto pari a 19,7 kN/m³

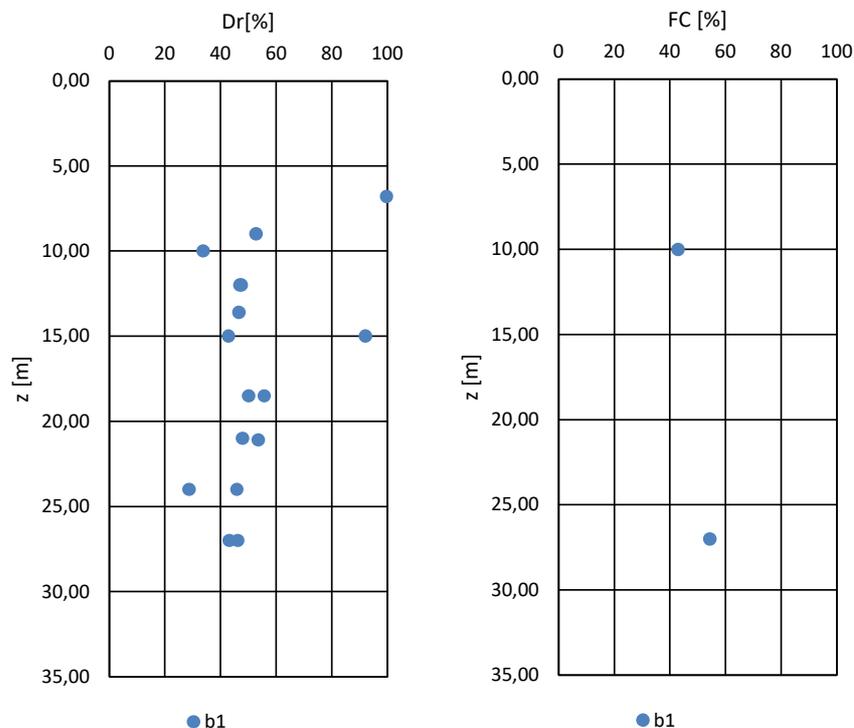


Figura 16 – Densità relativa – Percentuale grana fine

7.2.1.1.-.Parametri di resistenza

Dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT e delle prove di laboratorio (taglio diretto e prove triassiali) si stimano:

- valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco compresi tra 35° e 38°;
- valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante compresi tra 30° e 33°;

Cautelativamente si assume una coesione nulla per tale unità geotecnica essendo prevalentemente di natura incoerente.

Dall'analisi delle prove di laboratorio è stato individuato il comportamento del terreno nelle condizioni di rottura. In particolare, con riferimento alla prova di taglio diretto del campione "C2" prelevato alla profondità 9,60 – 10,00 del sondaggio 1S3, analizzando il diagramma *Deformazione verticale – Avanzamento* è possibile individuare un comportamento *contraente* anche bassi stati di sollecitazione assiale. Inoltre, il legame *Sforzo di taglio – Avanzamento* risulta avere un comportamento monotono sempre crescente senza la presenza di picchi. A valle di tali considerazioni è possibile affermare, nel caso specifico preso in esame, che i risultati della prova di taglio diretto conducono alla valutazione di parametri di resistenza a volume costante.

Sondaggio: 1S3

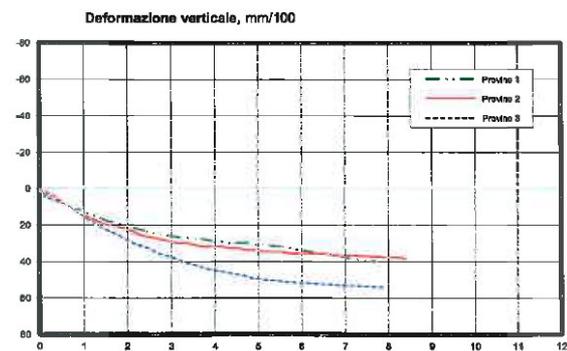
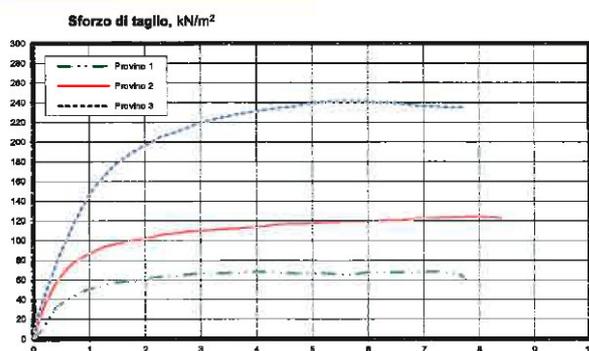
Campione: C2

Profondità m: 09,60 - 10,00

Stato: Indisturbato

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

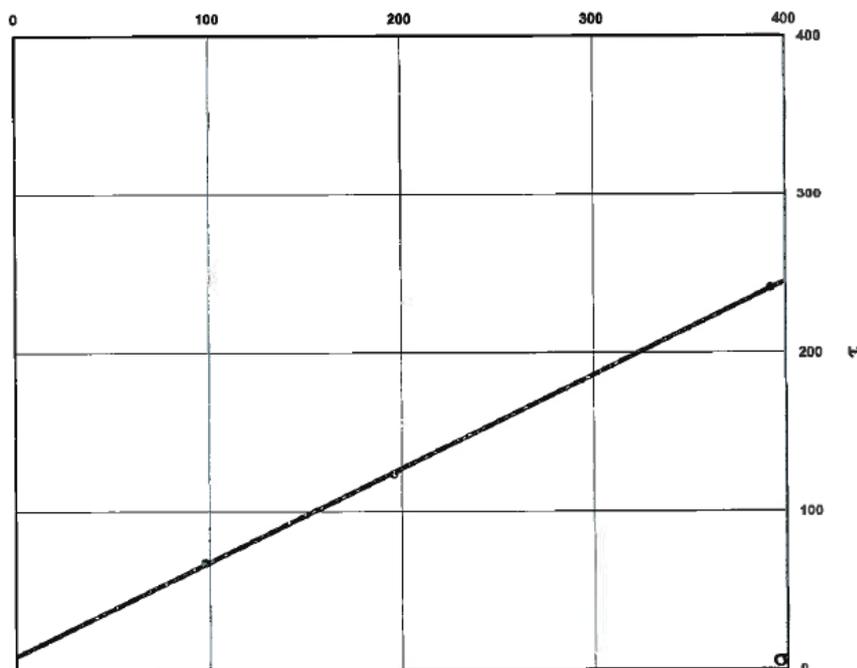
Foglio 2/ 2



Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	83 di 260

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

 SFORZO DI TAGLIO, kN/m² - PRESSIONE VERTICALE, kN/m²


VALORI A ROTTURA				
PROVINO	PRESSIONE VERTICALE [kN/m ²]	SFORZO [kN/m ²]	AVANZAMENTO [mm]	DEFORMAZIONE VERT. [mm/100]
1	98,07	67,5	3,96	29,0
2	196,14	123,3	8,01	38,0
3	392,28	241,1	5,51	51,1

 Attrito ϕ' 30,6
 Coesione c' 8,6 KPa

Il valore dell'angolo d'attrito $\phi_{cv} = 30,6^\circ$ individuato risulta comparabile con dati presenti in letteratura per terreni analoghi come riportato di seguito.

Tipo di terreno	ϕ'_{cs} (°)	ϕ'_p (°)
Ghiaie	30-35	35-50
Miscele di ghiaie e sabbie in matrice limo-argillosa	28-33	30-40
Sabbie	27-37*	32-50
Limi e sabbie limose	24-32	27-35

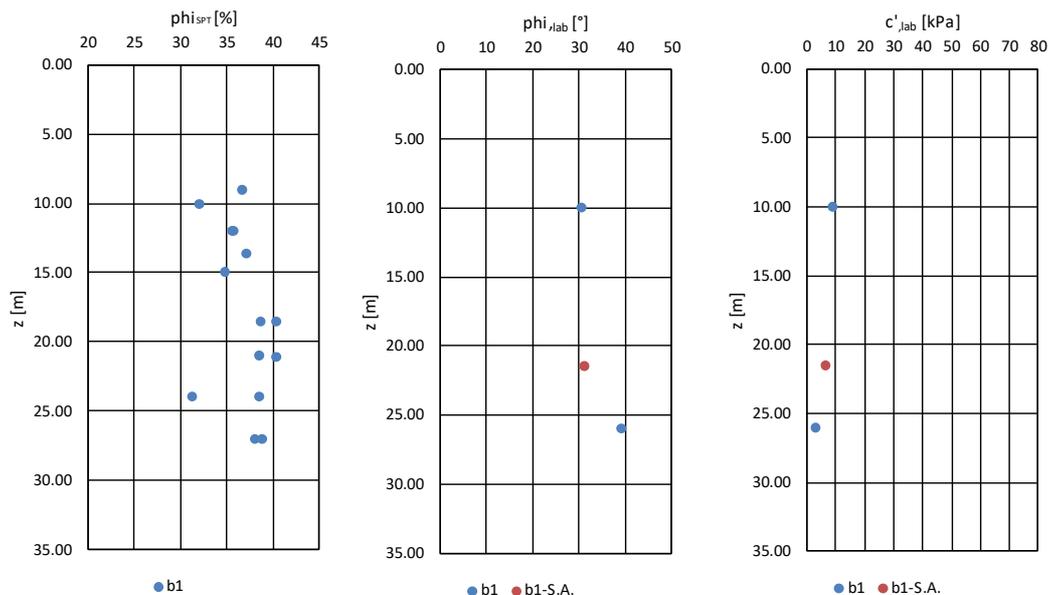
* I valori più alti (32-37°) sono per le sabbie con percentuale significativa di feldspati, i valori più bassi (27-32°) per le sabbie quarzose.

Le prove SPT, effettuate direttamente in sito, sono influenzate da stati tensionali e stati di addensamento propri del sottosuolo. Per la stessa profondità di prelievo del campione sopra citato, l'angolo di attrito, ricavato dalle prove SPT con la correlazione di Hatanaka e Uchida (1996) assume un valore medio pari a 35°. Tale valore, tramite la relazione di Bolton, (1984) è stato verificato rappresentare un parametro di resistenza di picco. Successivamente i parametri ricavati dalle prove SPT sono considerati parametri di picco.

Tali considerazioni possono essere ritenute valide per le altre unità geotecniche analizzate.

$$\text{Bolton (1984)} \quad \phi' = \phi'_{CV} + m \cdot [D_R \cdot (10 - \ln p'_f) - 1]$$

$$\phi' - \phi'_{CV} \leq 12^\circ \quad p'_f \text{ [kPa]} \quad D_R \text{ [decimali]} \quad m \begin{cases} 3 & \text{assialsimmetrico} \\ 5 & \text{deformazione piana} \end{cases}$$



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (verticali SV112, SV113, SV114, SV115)

Figura 17 – Parametri di resistenza – Prove SPT e Prove laboratorio

7.2.1.2.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle prove sismiche e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione

$E_o = 150\div 260$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni) per profondità comprese tra 10 e 40 metri.

7.2.2.-..DEPOSITI ALLUVIONALI– UNITÀ B2 (LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE)

Si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Sono terreni superficiali e si riscontrano fino a profondità di circa 15 – 20 metri.

Le prove SPT hanno fornito valori tra 10 - 35 colpi/30 cm, alcune volte sono stati raggiunti valori maggiori poiché sono stati incontrati ciottoli. (R=100).

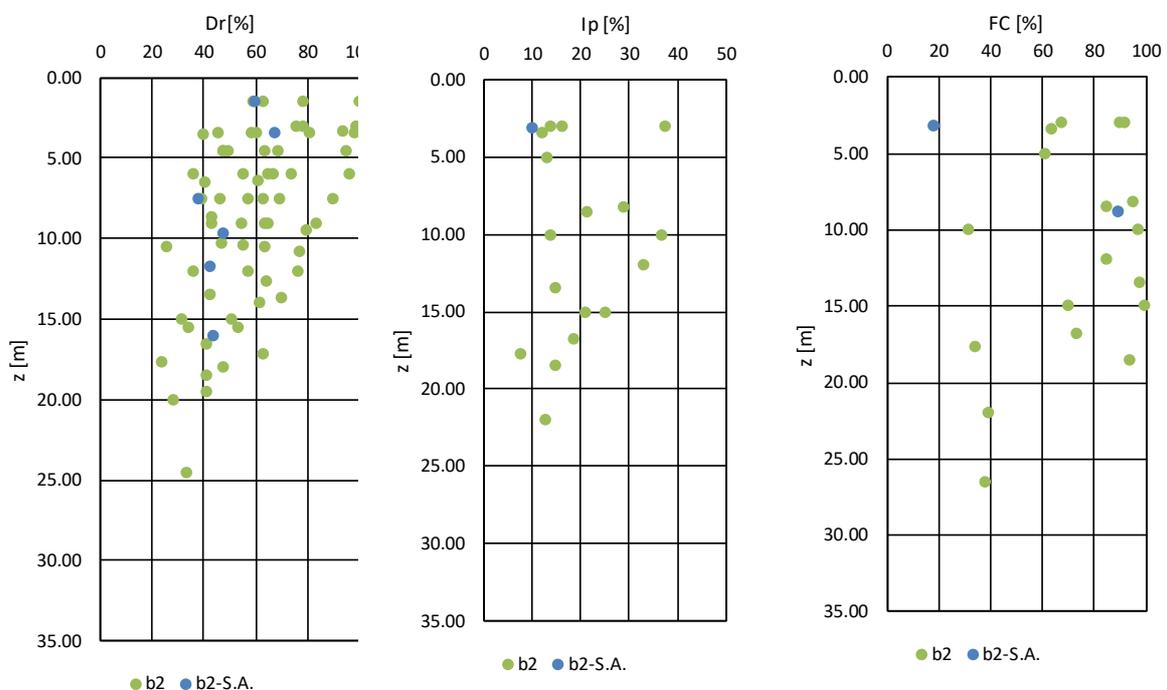
La densità relativa stimata dalle prove SPT è compresa tra 30 e 65 %.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni alcuni rimaneggiati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio (granulometrie).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19 e 21 kN/m³.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 21 e 50%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 10 e 63%;
- percentuale di limo generalmente compresa fra 20 e 65%;
- Il peso di volume naturale è assunto pari a 19,7 kN/m³.



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SV112, SV113, SV114, SV115)

Figura 18 – Densità relativa - Percentuale grana fine – Indice di plasticità

L'unità b2 è caratterizzata da un coefficiente di consolidazione variabile tra 10^{-4} – 10^{-2} m²/s.

Il coefficiente di consolidazione è stato ricavato dalla seguente relazione:

$$C_v = (E_{ed} K) / \gamma_w$$

è stato valutato un intervallo per tale coefficiente utilizzando moduli edometrici relativi a due diversi incrementi di tensione assiale (80 e 160 kPa); la permeabilità è stata ricavata da prove in sito (tipo Lefranc) ed è risultata essere compresa nell'intervallo $10^{-6} - 10^{-5}$.

Permeabilità e modulo edometrico (il modulo edometrico è illustrato successivamente) sono combinati in modo da avere valori estremali del coefficiente di consolidazione.

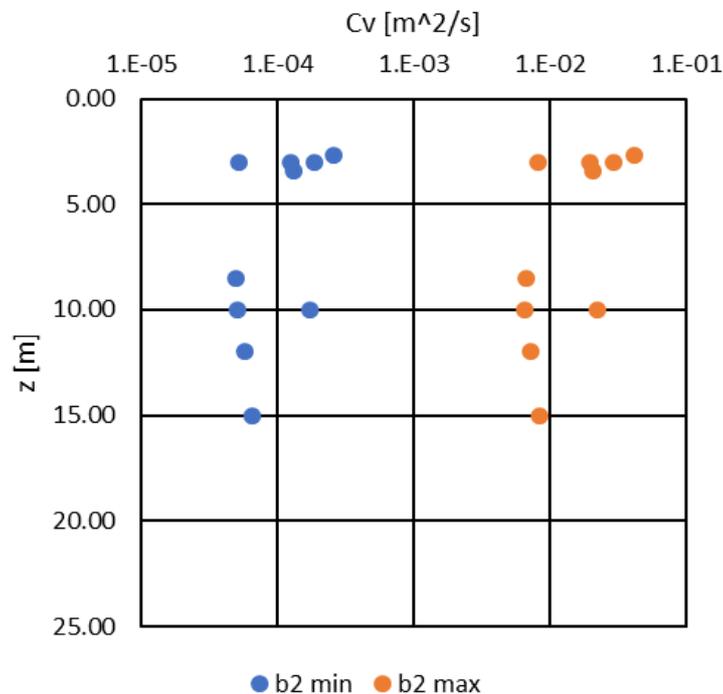


Figura 19 –Coefficiente di consolidazione

7.2.2.1.-.Parametri di resistenza

Dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT e delle prove di laboratorio (taglio diretto e prove triassiali) si stimano:

- valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco compresi tra 32° e 36° ; tali valori, come già detto per l'“unita geotecnica b1” sono stati ricavati dalle prove SPT, e confermati da prove di taglio diretto che presentano un comportamento dilatante caratterizzato da un picco nel grafico “Sforzo di taglio – Avanzamento”.

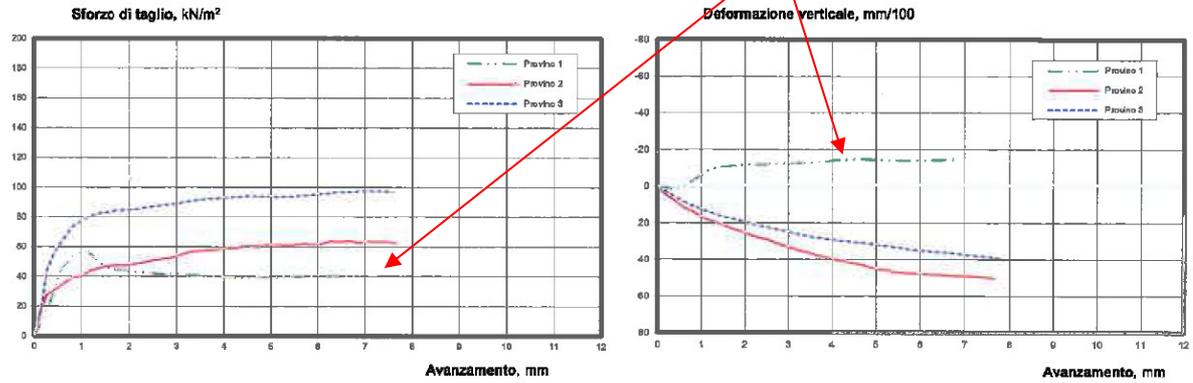
Sondaggio: **IS18**

 Campione: **FC1**

 Profondità m: **03,00**
 $\sigma'_v = 19 \cdot 3 = 57 \text{ kPa}$

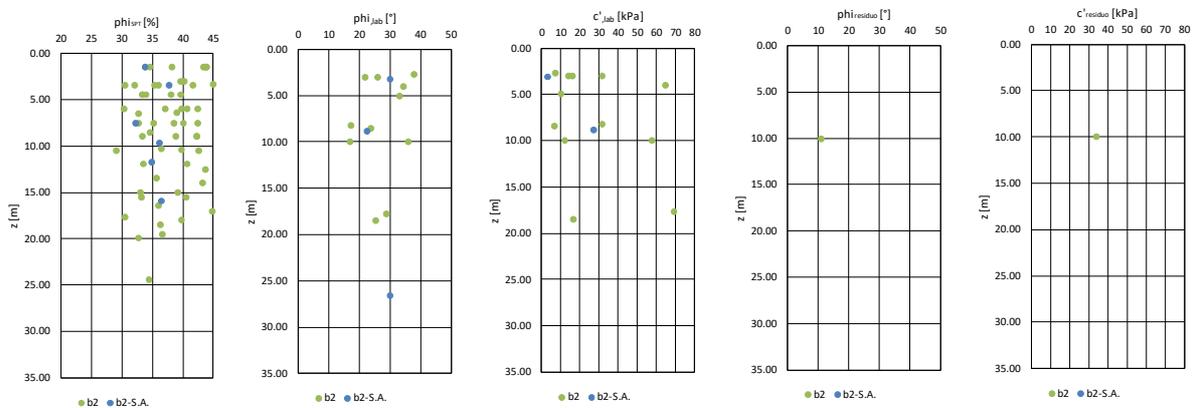
 Stato: **Indisturbato**
PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

Foglio 2/ 2



D A T I A C Q U I S I T I			
PROVINO 1 - P.V. kN/m²	49,04	PROVINO 2 - P.V. kN/m²	88,07
		PROVINO 3 - P.V. kN/m²	147,11

- valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante compresi tra 22° e 27° sono stati ricavati dalle prove di T.D.;
- valori della coesione efficace compresi tra 7 e 30 kPa; tali valori sono stati ricavati dai risultati dalle prove di laboratorio. Essendo, essenzialmente, terreni classificati granulometricamente come *sabbie limose* e *limi sabbiosi* senza particolari cementificazioni i valori "elevati" di coesione efficace sono trascurati nella caratterizzazione del "unità geotecnica b2" poiché ritenuti poco affidabili. Le discrepanze rispetto ai parametri medi possono essere dovute a differenti fattori: campioni non rappresentativi del suolo circostante, cattiva esecuzione della prova, provini non completamente saturi, etc.



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SVI12, SVI13, SVI14, SVI15)

Figura 20 – Parametri di resistenza – SPT e laboratorio

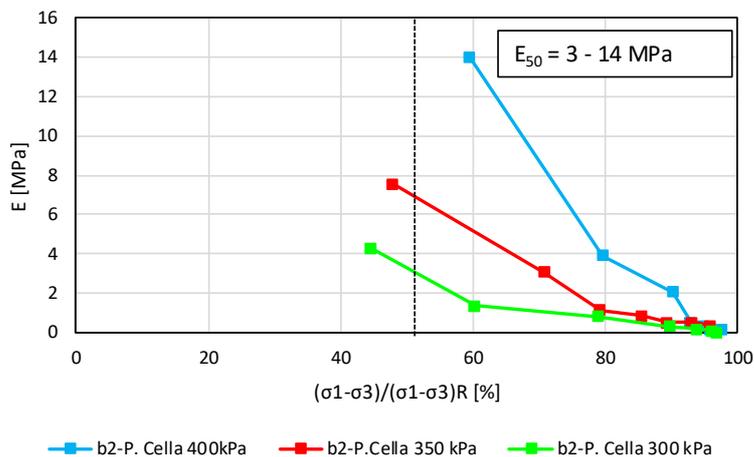
7.2.2.2.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle prove sismiche e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione (E_0 , modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni))

- $E_0 = 80 \div 130$ MPa per profondità tra 0 e 10 metri;
- $E_0 = 130 \div 200$ MPa per profondità tra 10 e 30 metri.

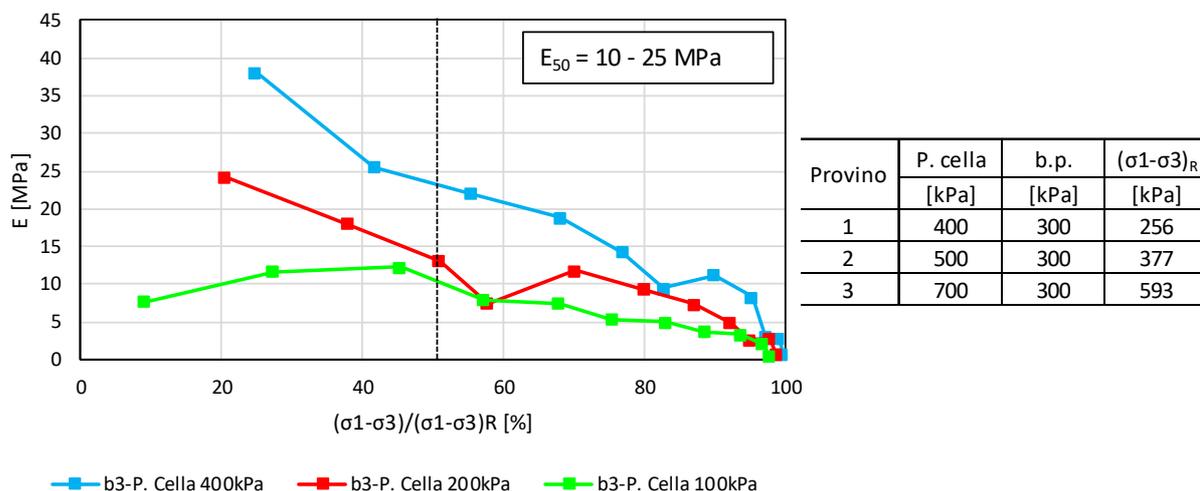
Inoltre, dall'interpretazione della prova CIU sul campione 1S10-C1 (profondità 3 m da p.c.) sono stati ricavati i moduli di deformazione in funzione della percentuale dello sforzo deviatorico rispetto allo sforzo deviatorico a rottura.

Dalle prove CIU sono stati forniti i valori dello sforzo deviatorico ($\sigma_1 - \sigma_3$) in funzione della deformazione assiale ε_1 . Essendo una prova non drenata la deformazione volumetrica è nulla: $\varepsilon_v = \varepsilon_1 + 2 \varepsilon_3 = 0$, quindi conoscendo, $\varepsilon_3 = -\varepsilon_1/2$ è possibile ricavare la deformazione deviatorica in condizioni cilindriche $\varepsilon_s = 2/3 (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) = \varepsilon_1$. Essendo $(\sigma_1 - \sigma_3) / \varepsilon_s = 3G$ si ricava la rigidezza tangenziale, G ed infine il modulo E utilizzando un modulo di Poisson pari a $\nu = 0.3$.



Provino	P. cella [kPa]	b.p. [kPa]	$(\sigma_1 - \sigma_3)_R$ [kPa]
1	300	250	51.01
2	350	250	82.08
3	400	250	114.43

Provino CI2 - 1SVI14 (profondità di 24 m dal p.c.)



7.2.3.-...DEPOSITI ALLUVIONALI- UNITÀ B3 (ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI)

Si tratta di terreni con una percentuale rilevante di fine. Tale unità è riscontrata nei primi metri fino a profondità di circa 20 metri. L'unità appare a struttura estremamente complessa legata alla storia geologica. Il materiale risulta eterogeneo e a luoghi distrutturato.

Le prove SPT hanno fornito valori tra 10 - 30 colpi/30 cm.

Tali terreni sono caratterizzati da una bassa permeabilità e un indice di plasticità mediamente compreso tra 15% e 30%.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio (granulometrie, taglio diretto, prove triassiali).

Il peso di volume naturale è compreso tra 19 e 22 kN/m³.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 30%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 10 e 28%;
- percentuale di limo generalmente compresa fra 19 e 72%;
- percentuale di argilla generalmente compresa fra 20 e 60%;
- Il peso di volume naturale è assunto pari a 21 kN/m³;
- Coefficiente di consolidazione è assunto pari a 1,1x10⁻⁷ m²/s.

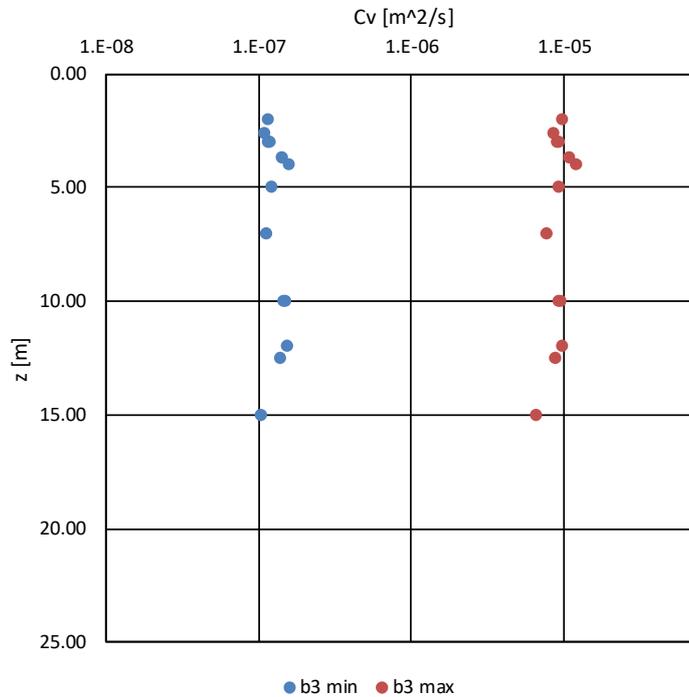


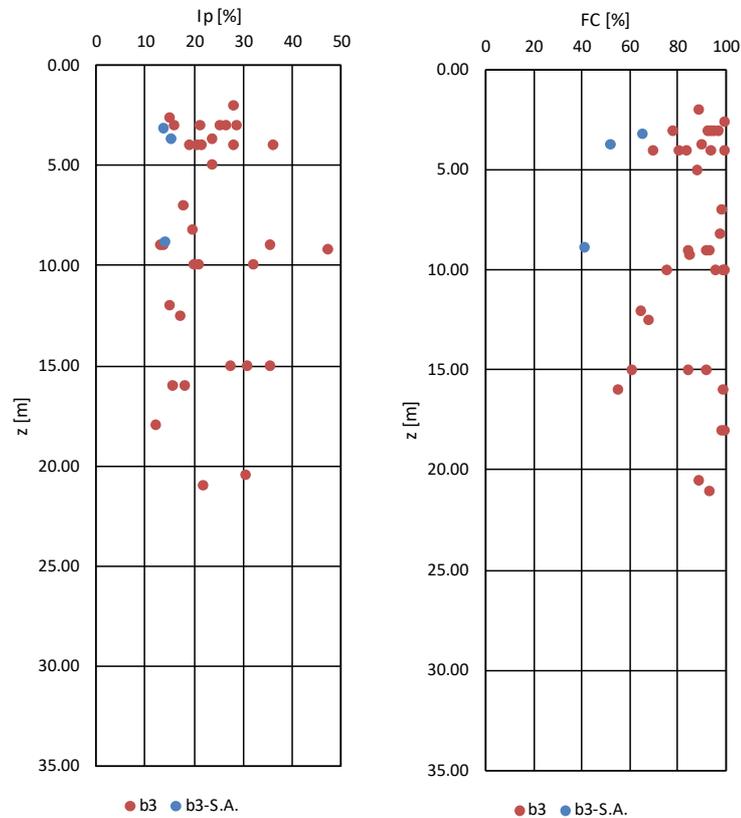
Figura 21 –Coefficiente di consolidazione

Il coefficiente di consolidazione è stato ricavato dalla seguente relazione:

$$C_v = (E_{ed} K) / \gamma_w$$

è stato valutato un intervallo per tale coefficiente utilizzando moduli edometrici relativi a due diversi incrementi di tensione assiale (80 e 160 kPa); la permeabilità è stata ricavata da prove in sito (tipo LeFranc) ed è risultata essere compresa nell'intervallo $10^{-9} - 10^{-7}$.

Permeabilità e modulo edometrico sono combinati in modo da avere valori estremali del coefficiente di consolidazione.



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SVI12, SVI13, SVI14, SVI15)

Figura 22 –Percentuale grana fine – Indice di plasticità

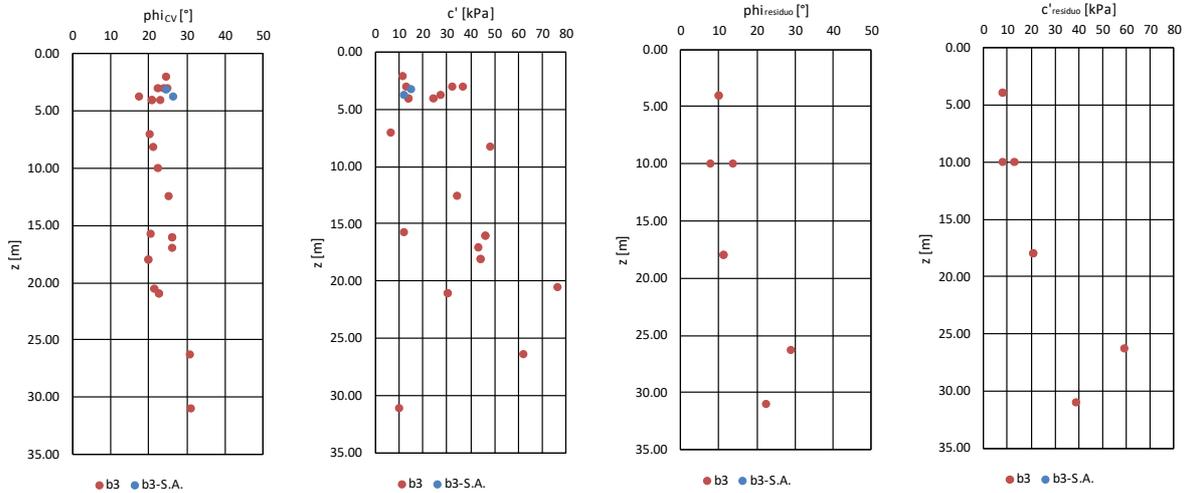
7.2.3.1.-.Parametri di resistenza

Per la caratterizzazione di questa unità geotecnica si è fatto in particolare riferimento alle prove di laboratorio avendo a disposizione, vista la migliore campionabilità di questi litotipi, un maggiore numero di campioni. Dall'interpretazione dei risultati delle prove di laboratorio (taglio diretto e prove triassiali) si stimano (considerando i valori fino a 20 m di profondità):

- valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante compresi tra 20° e 26°;
- valori dell'angolo di resistenza al taglio residuo compresi tra 7° e 13°;
- valori della coesione efficace compresi tra 12 e 50 kPa;
- valori della coesione residua compresi tra 8 e 20 kPa; tali valori sono ricavati da prove di taglio diretto residuo. Tali valori devono ritenersi poco attendibili e dovuti al disturbo in sede di prova.

Inoltre, tale unità geotecnica è caratterizzata da una coesione non drenata variabile con la profondità:

- $c_u(z)=50+1.67z$



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SVI12, SVI13, SVI14, SVI15)

Figura 23 – Parametri di resistenza efficaci – Prove di Laboratorio

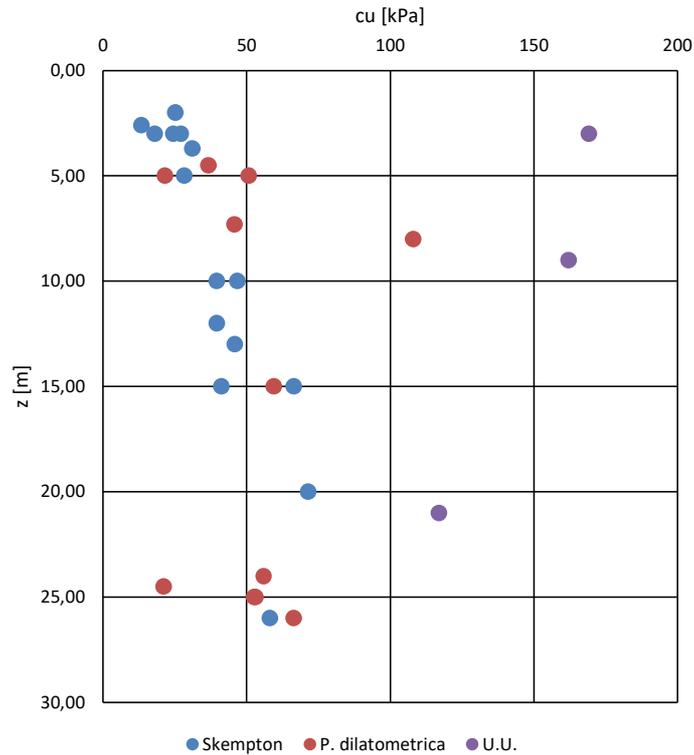


Figura 24 – Parametri di resistenza totali

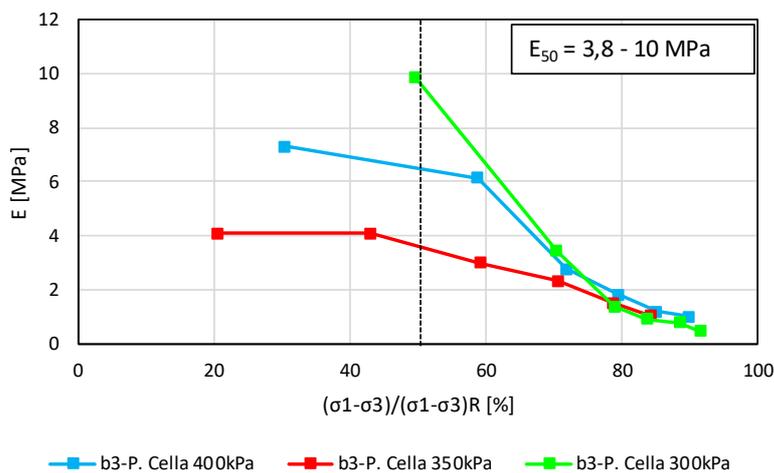
7.2.3.2.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle prove sismiche e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione (E_0 , modulo di deformazione elastico iniziale - a piccole deformazioni)

- $E_0 = 40\div 60$ MPa per profondità tra 0 e 15 metri;

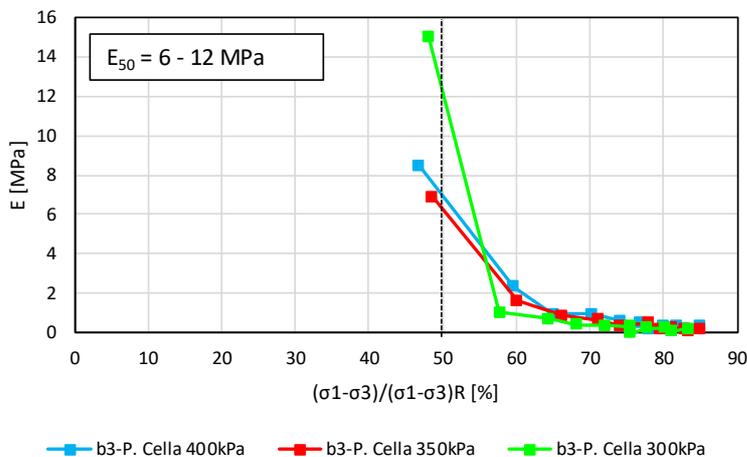
Si ricorda che i moduli di rigidezza operativi saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale (E_0) a piccoli livelli di deformazione.

Inoltre, dall'interpretazione della prova CIU sul campione 1S24-FC1 (profondità 3 m da p.c.) sono stati ricavati i moduli di deformazione in funzione della percentuale dello sforzo deviatorico rispetto allo sforzo deviatorico a rottura.



Provino	P. cella	b.p.	$(\sigma_1 - \sigma_3)_R$
	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	300	250	96.74
2	350	250	111.15
3	400	250	127.55

Provino FC1 – 1S23 (profondità 2,6 m dal p.c.)



Provino	P. cella	b.p.	$(\sigma_1 - \sigma_3)_R$
	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	300	250	60.97
2	350	250	80.03
3	400	250	104.42

È possibile valutare che i moduli di rigidezza derivati dalle prove CIU sono in buon accordo con i moduli edometrici successivamente illustrati.

7.2.4.-..ARGILLE VARICOLORI– UNITÀ AVF/2 (ARGILLE LIMOSE)

Si tratta di terreni molto fratturati con una percentuale rilevante di fine. Tale unità forma il substrato ed è rilevato a profondità circa di 20 metri. Il materiale si presenta eterogeneo con una struttura fortemente complessa e scagliettata.

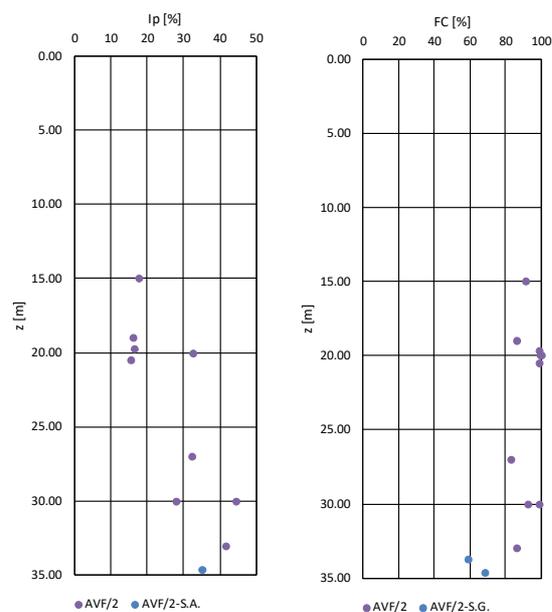
Le prove SPT hanno fornito valori molto variabili nella maggior parte dei casi superiori a 50 colpi/30 cm andando in alcuni casi a rifiuto. Ciò rappresenta un dato non sempre indicativo considerando la natura del terreno, la possibile risposta in Condizioni Non Drenate del materiale e l'orientazione delle scaglie che compongono il materiale.

Tali terreni sono caratterizzati da una bassa permeabilità e un indice di plasticità compreso tra 15 e 40%.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio. Notevoli difficoltà si sono riscontrate nel campionamento in ragione della complessità della struttura che compone i materiali.

Dall'analisi granulometrica si ha:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 10%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0 e 20%;
- percentuale di limo generalmente compresa fra 42 e 78%;
- percentuale di argilla generalmente compresa fra 20 e 60%;
- Il peso di volume naturale è assunto pari a 22,5 kN/m³.



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SVI12, SVI13, SVI14, SVI15)

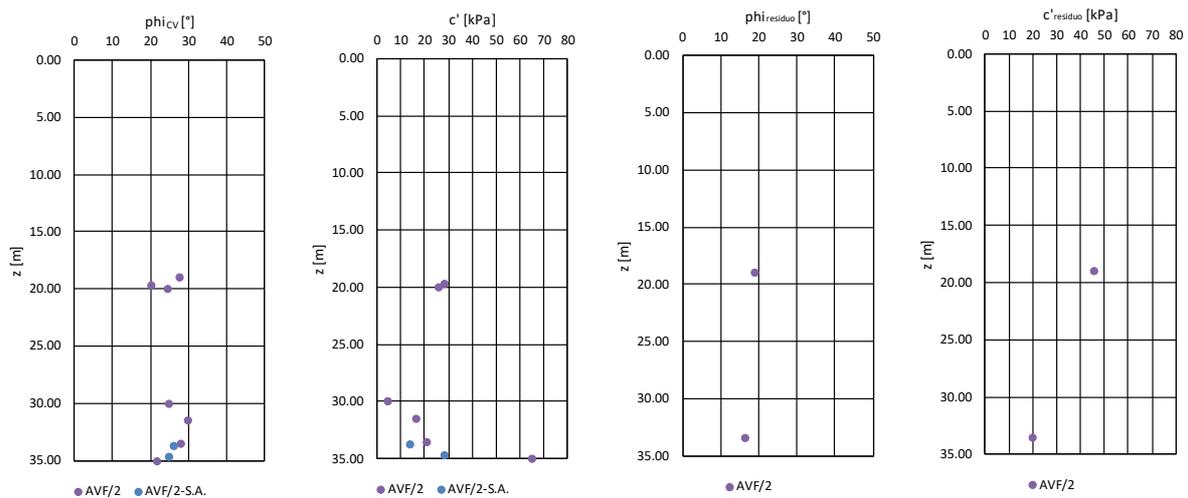
Figura 25 –Percentuale grana fine – Indice di plasticità

7.2.4.1.-.Parametri di resistenza

Dall'interpretazione dei risultati delle prove di laboratorio (taglio diretto e prove triassiali) si stimano:

- valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante compreso tra 20° e 30°;
- valori dell'angolo di resistenza al taglio residuo compreso tra 16° e 19 °;
- valori della coesione efficace compresi tra 10 e 65 kPa;
- valore della coesione efficace residua 20 kPa (prova di taglio residuo - RC2-1S16 a 33.5 metri dal p.c.). Tali valori devono ritenersi poco attendibili e dovuti al disturbo in sede di prova.

In tale unità geotecnica è caratterizzata da una coesione non drenata di 100 – 250 kPa



*la sigla S.A. indica sondaggi aggiuntivi resi disponibili nel 2020 (in particolare le verticali SVI12, SVI13, SVI14, SVI15)

Figura 26 – Parametri di resistenza efficaci – Laboratorio

7.2.4.2.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle prove sismiche e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione (E_o , modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni))

- $15 < z < 30 \rightarrow E_o = 150 - 250 \text{ MPa}$

Successivamente sono analizzati le prove edometriche ed è stato effettuato un confronto tra i dati disponibili.

7.2.5.-..ARGILLE VARICOLORI– UNITÀ AVF/1 (ARGILLE MARNOSA)

Si tratta di terreni molto antichi e strutturati. Tale unità forma il substrato ed è rilevato a profondità superiori di 20 metri.

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni su cui sono state eseguite prove Point Load Test che hanno fornito valori di IS_{50} compresi tra 0,1 e 2,84 MPa.

Essi risultano fessurati con un grado di scabrezza JRC variabile tra 5 e 15.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	ρ (kN/m ³)	$IS_{(50)}$ [Mpa]	Unità geotecnica
1S26	RC1	15,30	2377	0,05-0,11	AVF/1
1S26	RC4	33,00	2581	0,22-1,68	AVF/1
1SF8	RC3	28,35	2394	0,96-2,84	AVF/1

Figura 27 – Risultati Point Load Test

Vista la natura rocciosa di tale unità geotecnica, è possibile caratterizzare la resistenza di tale materiale con un criterio che tenga conto delle discontinuità in esso presenti.

In particolare, si fa riferimento al criterio di Barton e Choubey:

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \cdot \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

In cui:

- Φ_b angolo di base della roccia;

Tabella 2.1. Campi di variazione dei parametri di resistenza del criterio di Mohr-Coulomb per i più comuni materiali rocciosi.

	c (MPa)	N (-)	ϕ (°)
Marne - Argilliti	4÷16	3.2÷3.7	32÷35
Arenarie	12÷36	4.2÷6.0	38÷46
Filladi	9÷23	3.4÷3.8	33÷36
Calcari	13÷40	4.2÷5.8	38÷45
Gneiss	30÷37	4.2÷5.3	38÷43
Graniti	18÷50	4.2÷8.4	38÷52

- JRC scabrezza delle discontinuità;
- JCS resistenza dell'asperità, può essere posta uguale alla resistenza a compressione del materiale ricavata da IS_{50} . ($\sigma_c \approx 20 IS_{50}$ MPa)
- σ_n stato tensionale normale alla superficie di scorrimento

Nel caso in esame:

- JRC = 5 - 15
- JCS = 2 – 50 MPa
- σ_n = 300 – 500 kPa

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	97 di 260

otteniamo dei valori dell'angolo di rottura, tenendo conto sia del materiale che della forma della discontinuità compresi tra 40° e 60°.

L'unità AVF/1, presenta in determinate zone una natura fortemente alterata che pregiudicano la resistenza dell'ammasso roccioso come descritto precedentemente. Di conseguenza, è conveniente caratterizzare la resistenza di tale unità anche come terreno compatto.

In particolare, si fa riferimento alla prova di taglio diretto sul campione RC2 – 1S26 prelevato alla profondità di 21,0 m dal p.c.

I risultati di tale prova (unica disponibile data la natura prevalentemente rocciosa del materiale) forniscono i seguenti parametri di resistenza:

- valore dell'angolo di resistenza al taglio 39.8°;
- valore della coesione efficace 14.8 kPa;

7.2.5.1.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle prove sismiche e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione (Eo, modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni))

- Eo = 400 – 650 MPa per 15 < z < 40 metri.

7.2.6.-...FLYSCH NUMIDICO– UNITÀ FYN

Si tratta di terreni molto antichi che possono avere una composizione argillitico – siltitica o arenaceo - argillitica. Tale unità sono state individuate a profondità superiori ai 20 metri dal piano campagna. Sono terreni a struttura complessa legati prevalentemente alla loro storia geologica.

Le prove SPT hanno fornito valori compresi tra i 40 e 70 andando anche a rifiuto.

Dalla analisi granulometriche si è riscontrata una percentuale di finte molto elevata (65% - 90%).

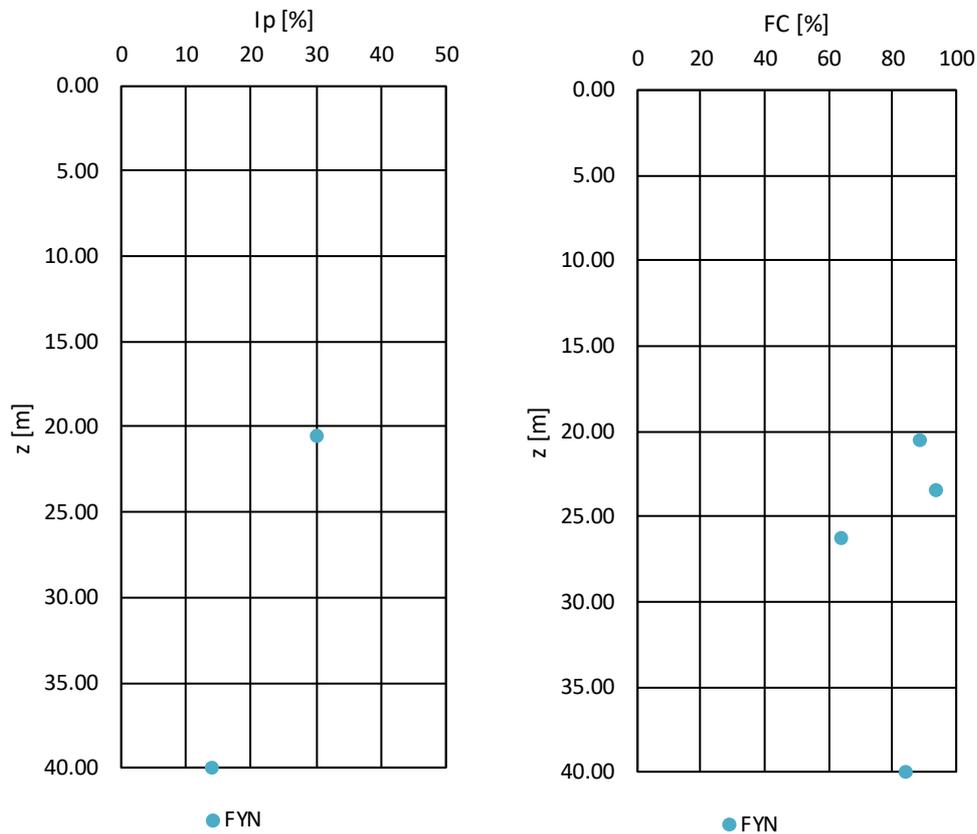


Figura 28 –Percentuale grana fine – Indice di plasticità

7.2.6.1.-.Parametri di resistenza

Dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT e delle prove di laboratorio (taglio diretto e prove triassiali) si stimano:

- valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante di 30 - 31°;
- valori dell'angolo di resistenza al taglio residuo 22 - 29°;
- valori della coesione efficace compresi tra 10 e 76 kPa;
- valori della coesione efficace residua compresi tra 39 e 60 kPa

Tale unità geotecnica è caratterizzata da una coesione non drenata di 100 kPa ricavata dalle prove SPT con la relazione empirica di Strud: $c_u = 5 N_{SPT}$.

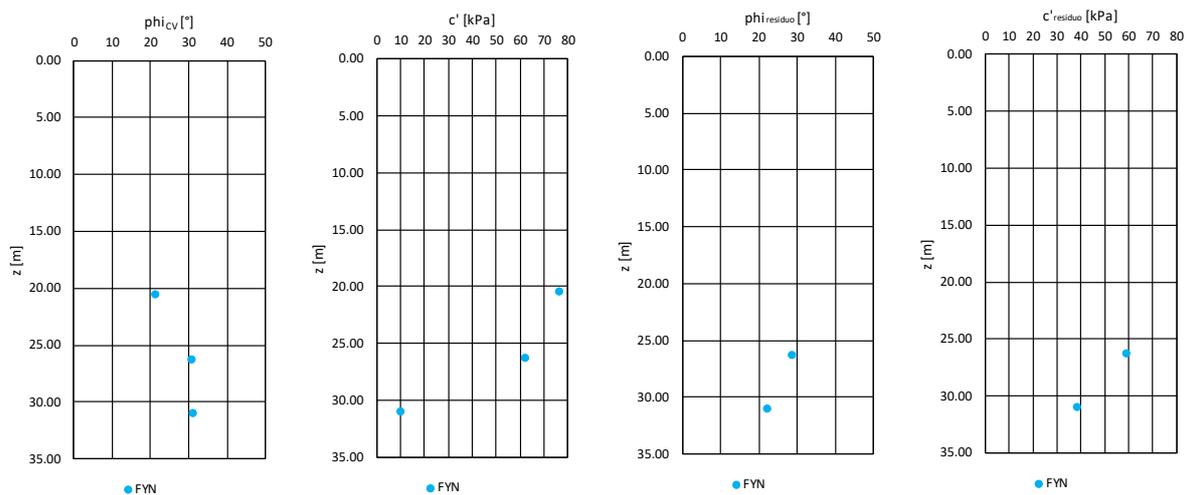


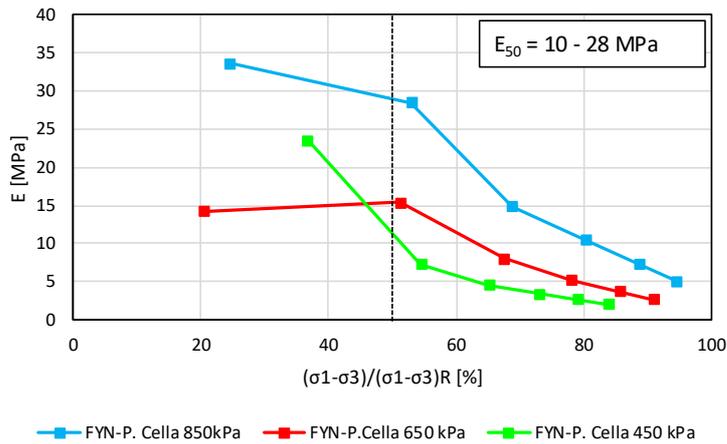
Figura 29 – Parametri di resistenza efficaci - Prove Laboratorio

7.2.6.2.-.Parametri di deformazione

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate da correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti parametri di deformazione (E_o , modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni))

- $E_o = 200\div 250$ MPa

Inoltre, dall'interpretazione della prova CIU sul campione 1S19-FC3 (profondità 16 m da p.c.) sono stati ricavati i moduli di deformazione in funzione della percentuale dello sforzo deviatorico rispetto allo sforzo deviatorico a rottura.



Provino	P. cella	b.p.	$(\sigma_1 - \sigma_3)_R$
	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	450	250	266.99
2	650	250	305.68
3	850	250	541.12

7.2.7.-..MODULO EDOMETRICO

Il modulo edometrico è stato valutato a partire dai risultati delle prove edometriche utilizzando la seguente relazione:

$$E_{ed} = \frac{2.3 * (1 + e_0) * \sigma_f'}{C_c}$$

la quale tiene conto dello stato tensionale presente in sito e dell'incremento di tensione dovuto al sovraccarico del rilevato.

Nella relazione precedente:

- e_0 è l'indice dei pori del provino indisturbato ricavato dalla porosità;
- C_c è l'indice di compressibilità ricavato dalla prova edometrica attraverso verso la relazione

$$C_c = \frac{-\Delta e}{\log_{10} \left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} \right)} = \frac{-(e_2 - e_1)}{\log_{10} \left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} \right)}$$

Le variazioni di tensioni efficaci e la rispettiva variazione dell'indice dei pori sono state individuate in corrispondenza della retta vergine.

- σ_f' rappresenta la tensione efficace finale a seguito dell'incremento di carico; essa è data dalla somma della tensione litostatica efficace alla profondità di prelievo del provino e dell'incremento di tensione ($\sigma_f' = \sigma_{v, \text{litostatica}} + \Delta \sigma$).

Inoltre, si è tenuto conto se il terreno risulta NC o OC in funzione del grado OCR; la tensione di preconsolidazione è stata ottenuta mediante la costruzione Casagrande sulla prova edometrica disponibile.

Nel caso di terreno OC il modulo edometrico è stato valutato attraverso la relazione:

$$E_{ed} = \frac{2.3 * (1 + e_0) * \sigma_f'}{C_s}$$

L'indice di ricomprensione è valutato in modo analogo all'indice di compressibilità considerando le variazioni di tensioni efficaci e la rispettiva variazione dell'indice dei pori sono state individuate in corrispondenza della retta di scarico.

A titolo illustrativo viene riportata il calcolo del modulo edometrico valutato alla profondità di 3,00 metri attraverso l'interpretazione della prova edometrica al piano campagna attraverso i

risultati della prova di laboratorio del campione prelevato lungo la verticale 1S26 alla medesima profondità.

Nel caso in esame:

- $e_0 = 0.60$
- $\sigma'_{v, \text{litostatica}} = 57 \text{ kPa}$ (falda a 10,0 m dal piano campagna; $\gamma = 19.7 \text{ kN/m}^3$)
- $\Delta\sigma = 80 - 160 \text{ kPa}$ (rilevato rispettivamente alto 4 e 8 metri)
- $C_c = 0.19$
- $C_s = 0.09$

$$E_{ed} = 5,5 (\Delta\sigma = 80)$$

$$E_{ed} = 8,6 \text{ MPa} (\Delta\sigma = 160 \text{ kPa})$$

è stato valutato per terreni sovraconsolidati essendo lo stato tensionale in sito inferiore a quello di preconsolidazione.

Dalla costruzione di Casagrande la tensione di preconsolidazione risulta essere compresa tra 300 e 400 kPa. L'incremento di tensione indotto dal rilevato non raggiunge la tensione di preconsolidazione.

Sondaggio: 1S26

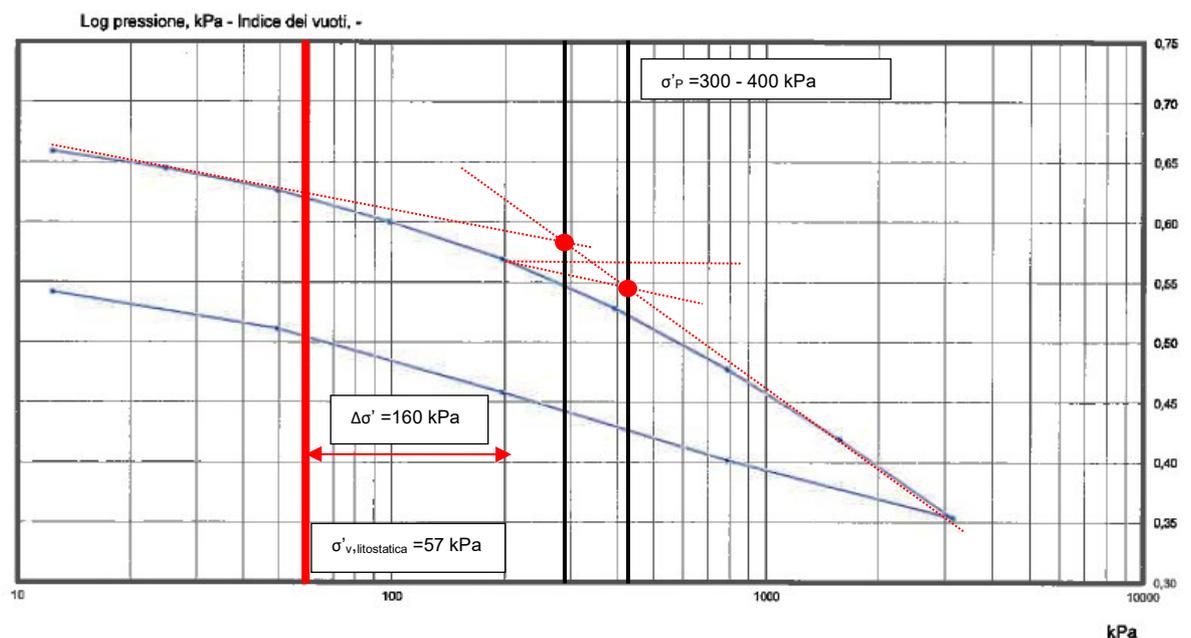
Campione: C1

Profondità m: 03,00

Stato: Indisturbato

PROVA EDOMETRICA

Foglio 4/ 4



Successivamente sono riportati i risultati di tutte le prove edometriche:

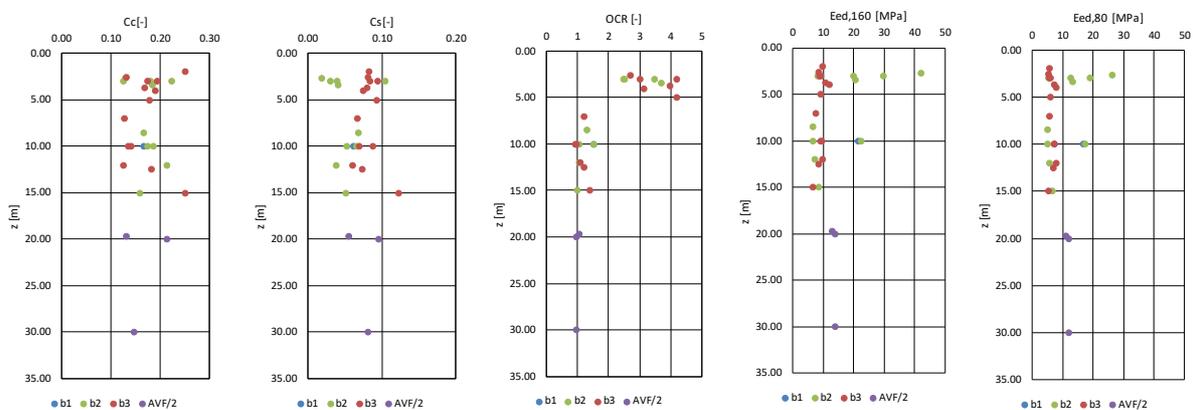


Figura 31 – Prove Edometriche

Si riporta nella seguente tabella riepilogativa i parametri di deformazione ricavati per le diverse unità geotecniche sia da prove di laboratorio che prove in sito

	$E' (E_0/10)$	E_{50}	$E_{ed,80}$	$E_{ed,160}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
b1	15-26	-	17	21
b2 0 < z < 10 m	8-13	3-14	6-26	8-30
b2 z > 10 m	13-20	10-25		
b3	4-6	3.8-12	5-8	8-12
AVF1	40-65	-	-	-
AVF2	15-25	-	11-12	13-14
FYN	20-25	10-30	-	-

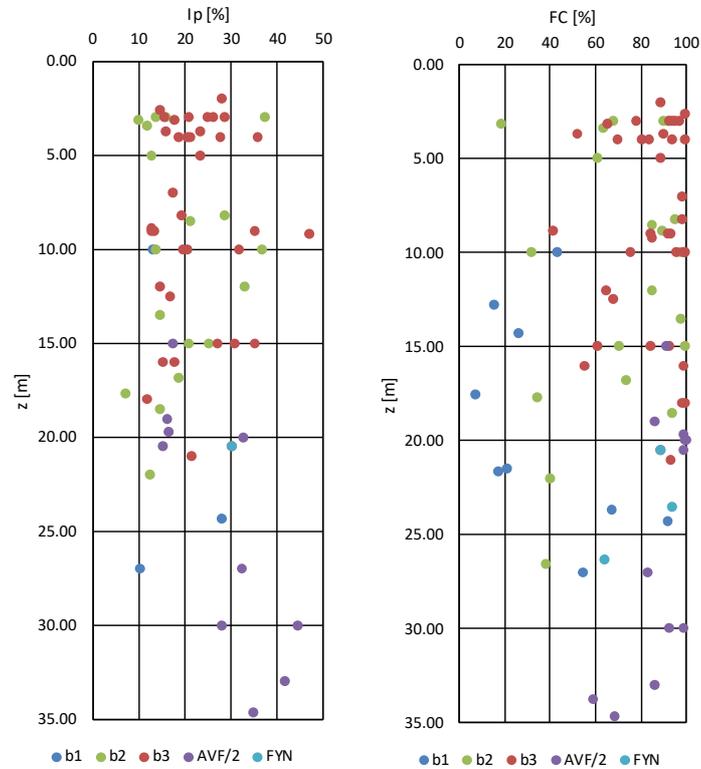


Figura 28 – Indice di plasticità - Percentuale grana fine

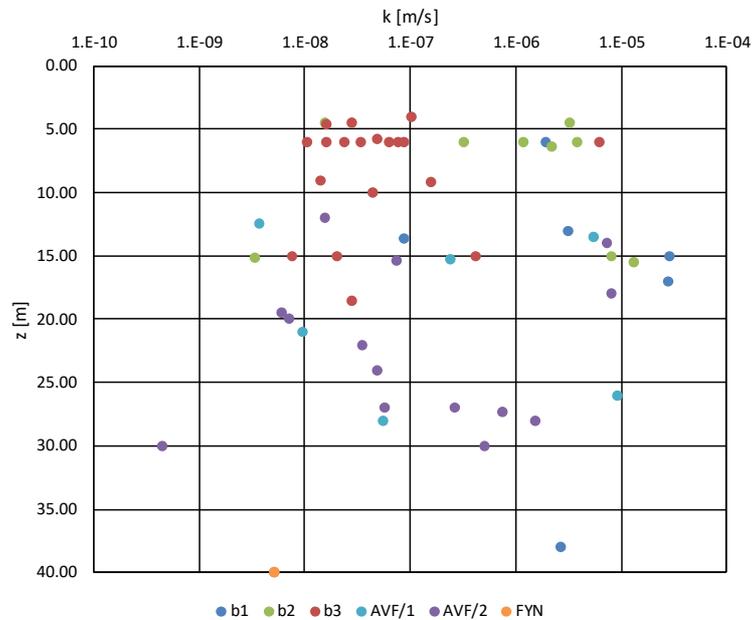


Figura 29 – Coefficiente permeabilità k

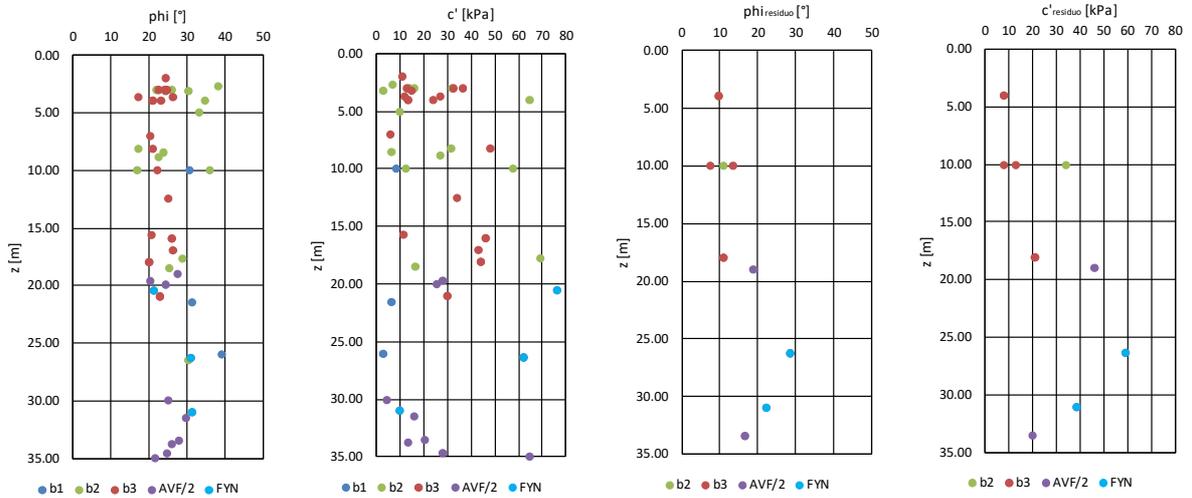


Figura 30 – Prove di taglio diretto e taglio residuo

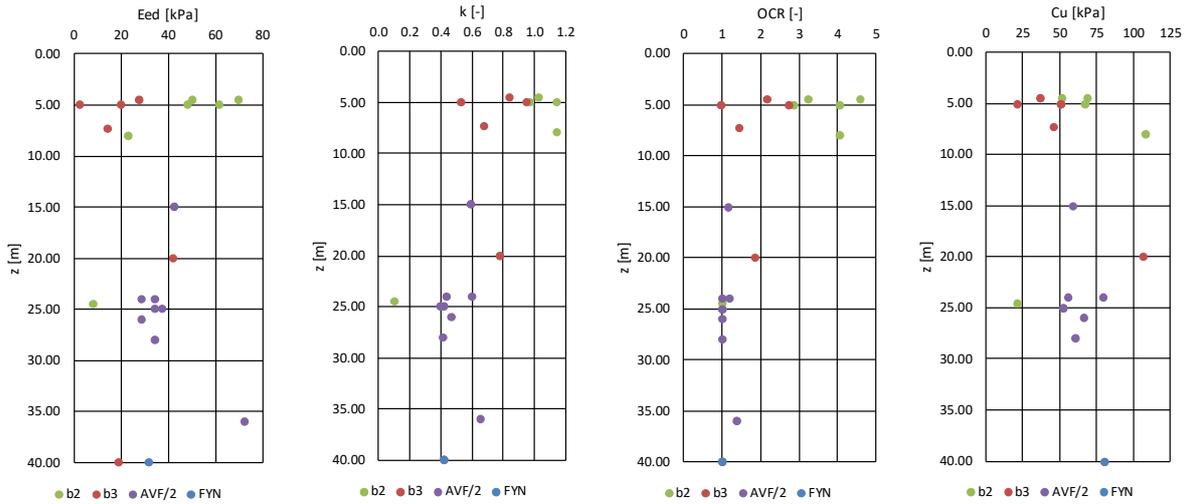


Figura 32 – Prove Dilatometriche

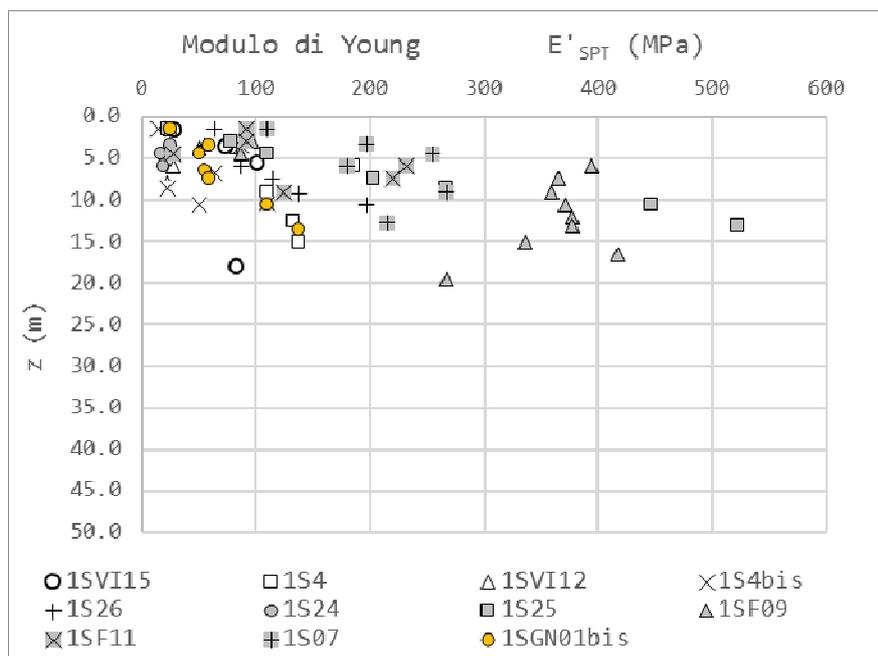
7.2.8.-..APPROFONDIMENTO RIGIDENZE TERRENI PARTICOLARMENTE DEFORMABILI

Un approfondimento meritano le unità b3 e AVF/2 in merito alla rigidezza. Tali terreni, come più volte precisato, presentano una struttura molto complessa legata alla loro storia geologica che in molti casi comporta notevoli difficoltà nella valutazione delle caratteristiche meccaniche. Con particolare riferimento dunque ai valori di rigidezza dei terreni b3 e AVF/2 si prendono in esame in questo capitolo i seguenti sondaggi:

- 1SVI15
- 1S4
- 1SVI12 (DownHole)
- 1S4bis
- 1S26 (DownHole)
- 1S24 (DownHole)
- 1S25
- 1SF9
- 1SF11
- 1S7
- 1SGN01bis
- 1S16 (DownHole)

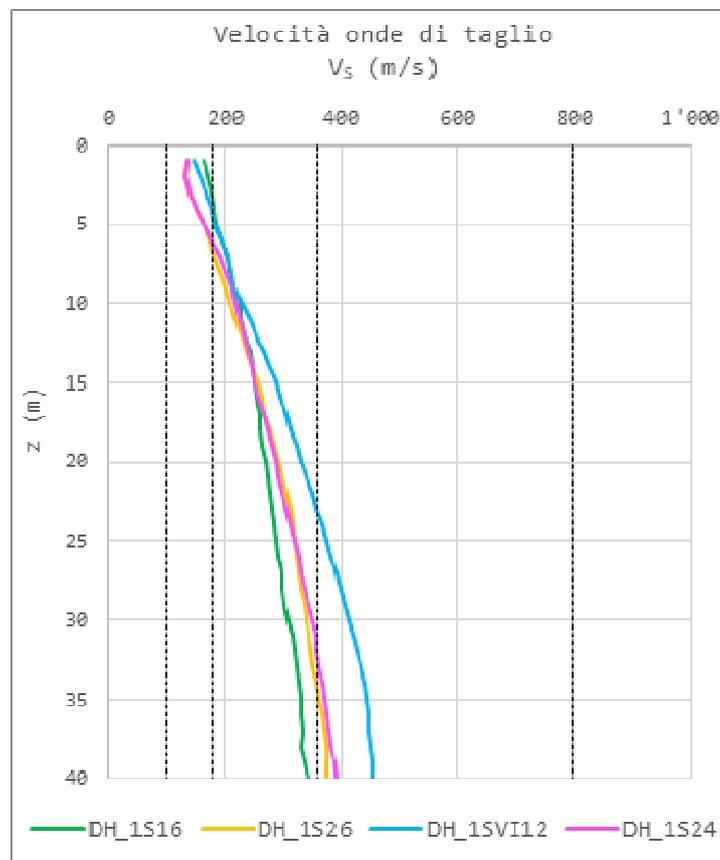
7.2.8.1.-..Analisi della rigidezza mediante SPT e Downhole

Nel grafico seguente è riportata l'interpretazione delle prove SPT mediante la relazione di Burland&Burbidge (1985) valevole per tutti i tipi di terreno attraverso il quale è possibile ottenere una stima del modulo di rigidezza:



I risultati in termini di moduli di rigidezza mostrano valori compresi tra 8MPa e 200MPa. Bisogna però evidenziare i seguenti aspetti:

1. La prova SPT non è indicata per stimare la rigidezza del terreno in quanto prova distruttiva e dunque lontana dalle condizioni di esercizio;
2. Il terreno in questione è a grana fine non in grado di reagire in condizioni drenate alle sollecitazioni indotte dal maglio battente. Il modulo stimato dalle prove può essere assimilato più ad un modulo non drenato piuttosto che ad un modulo operativo da utilizzare per la stima dei cedimenti se non quelli di breve termine;
3. Alle stesse profondità la prova mostra una forte variabilità nei risultati in termini di rigidezza a testimonianza della forte eterogeneità del terreno in sito;
4. I valori della rigidezza stimati da prove SPT sono in disaccordo con l'interpretazione delle prove DOWNHOLE. Nella figura seguente vengono rappresentati i profili delle onde di taglio con la profondità inerenti ai sondaggi 1S16, 1S26, 1SVI12 e 1S24 (tutti i sondaggi attraversano il litotipo b3 e AVF/2):



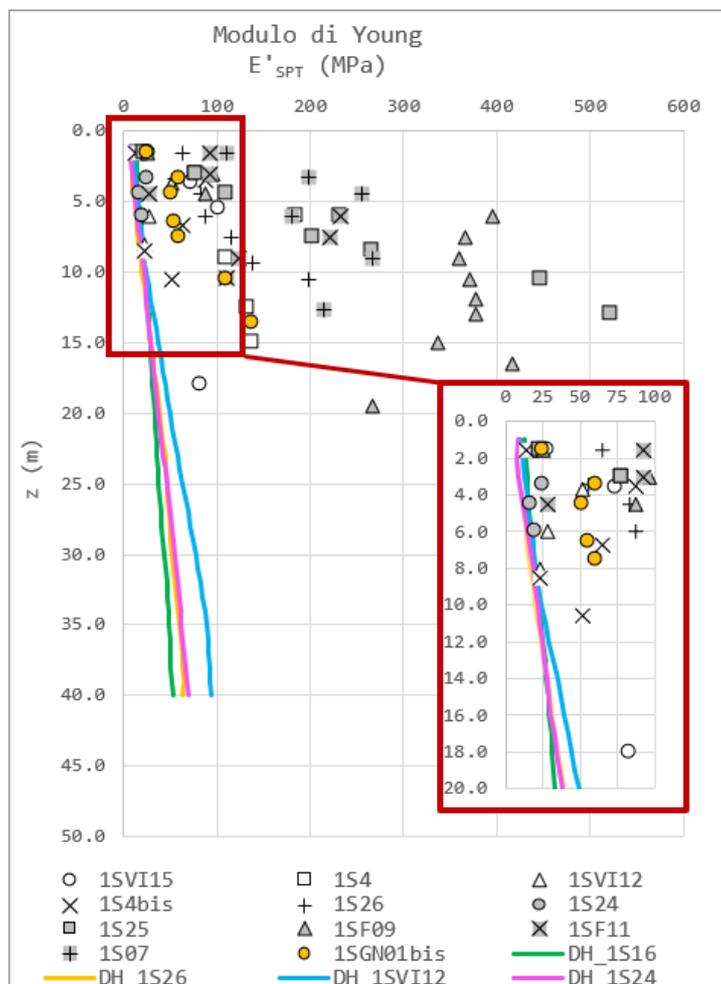
A partire dai valori delle onde di taglio V_s , si è stimato il modulo di taglio a piccoli livelli di deformazione G_0 . Tale modulo di taglio è stato abbattuto per un valore pari a 10 tenendo conto dei livelli di distorsioni raggiunti nei problemi di cedimenti analizzati e, con riferimento alla teoria dell'elasticità, si è stimato il valore del modulo di Young.

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

$$G = \frac{G_0}{10} \quad E = (2 \cdot (1 + \nu)) \cdot G$$

Si rappresentano i risultati del modulo di Young stimato dall'interpretazione delle prove Down Hole sovrapposti ai risultati di rigidezza ottenuti dalle prove SPT. Come anticipato, il grafico evidenzia una differenza considerevole in termini di rigidezze.

Per quanto sopraesposto, il progettista ritiene di non poter affidarsi alle prove in sito per la stima delle caratteristiche di rigidezza dei materiali interessati dai cedimenti.



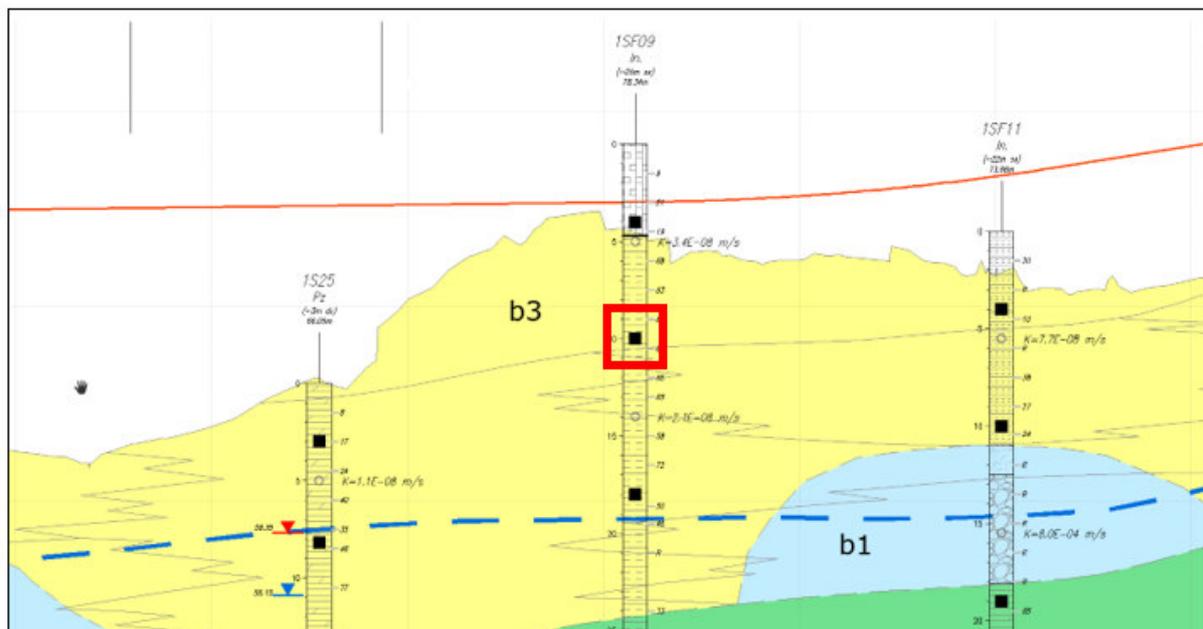
7.2.8.2.-.Analisi della rigidezza mediante prove di laboratorio

In questo paragrafo verranno prese a riferimento evidenze di laboratorio che consentano una stima della rigidezza dei terreni che meritano un approfondimento in termini di rigidezza ovvero b_3 e $AVF/2$. Verranno analizzati prove edometriche e prove eseguite in cella triassiale al fine di determinare i parametri di rigidezza del terreno.

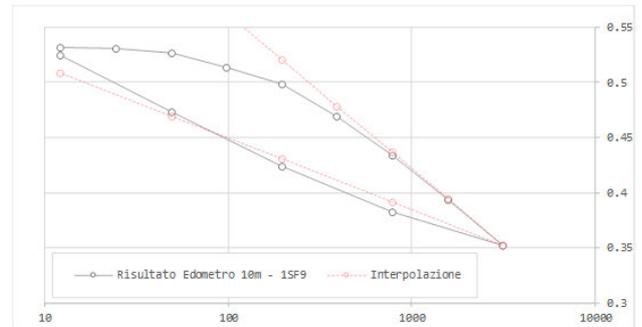
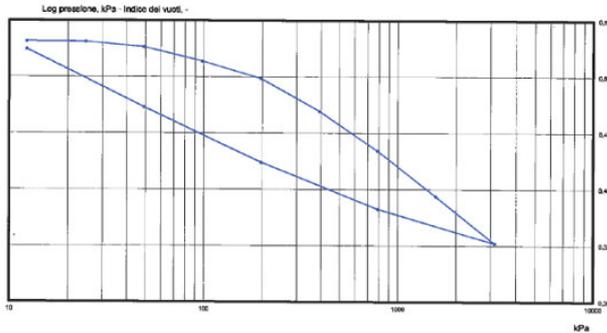
I sondaggi nei quali sono stati prelevati campioni indisturbati utilizzati per le prove di laboratorio sono i seguenti:

- 1SF9 – 10m
- 1S24 – 3m
- 1S24 – 15m
- 1SF11 – 4m
- 1SF11 – 10m
- 1S7 – 20m
- 1SVI15 – 17m
- 1SGN01bis – 6m
- 1SGN01bis – 17m
- 1S25 – 3m

7.2.8.2.1 1SF9 – 10m → campione all'interno dello strato b_3 (prova edometrica)



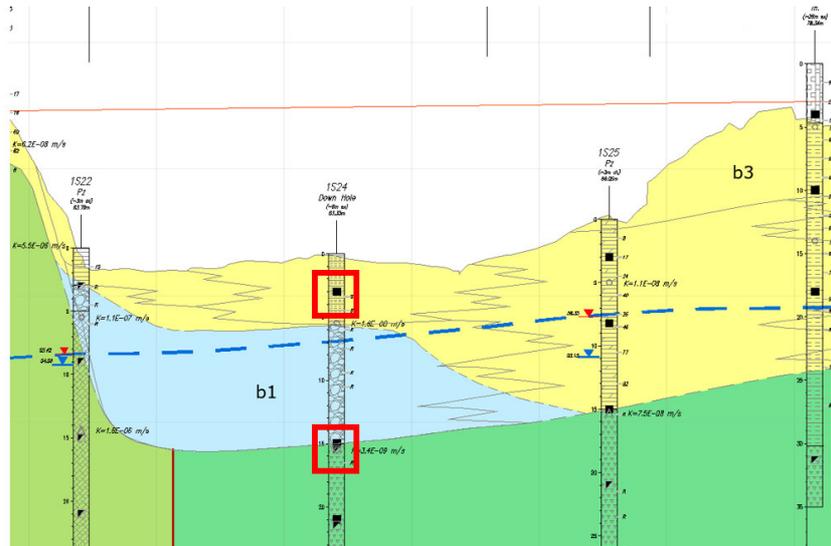
Si analizza una prova edometrica con campione prelevato a profondità 10m (b3).



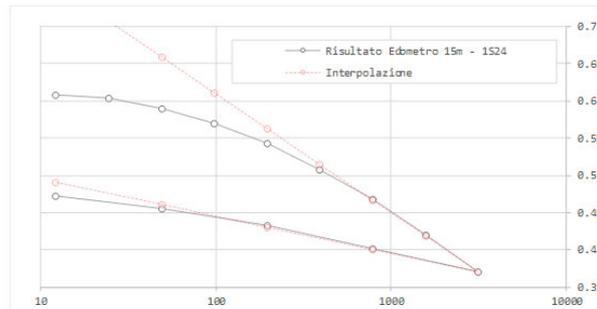
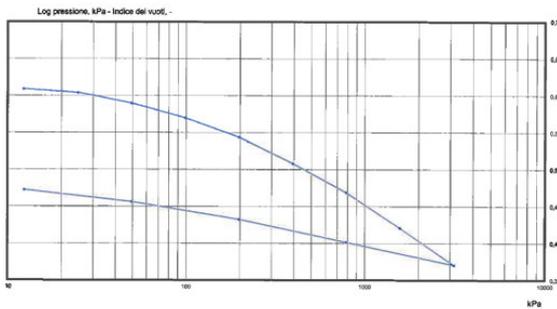
1SF9 - 10m				
σ'_v (kPa)	ε_a (-)	E_{ED} (KN/m ²)	C_c (-)	C_s (-)
12.26	-0.0015	-	0.14	0.065
24.52	-0.0013	-		
49.04	0.0018	-		
98.07	0.01	6		
196.14	0.02	10		
392.28	0.0391	10		
784.56	0.0621	17		
1569.12	0.0885	30		
3138.24	0.1158	57		
784.56	0.0959	-		
196.14	0.0687	-		
49.04	0.0368	-		
12.26	0.003	-		

Il valore del modulo edometrico alla tensione di confinamento per le profondità di interesse è compreso fra **6 e 10 MPa** per il campione in esame.

7.2.8.2.2 1S24 – 15m → campione al tetto dello strato AVF/2 (prova edometrica) e 1S24 – 3m → campione all'interno dello strato b3 (prova triassiale consolidata non drenata)



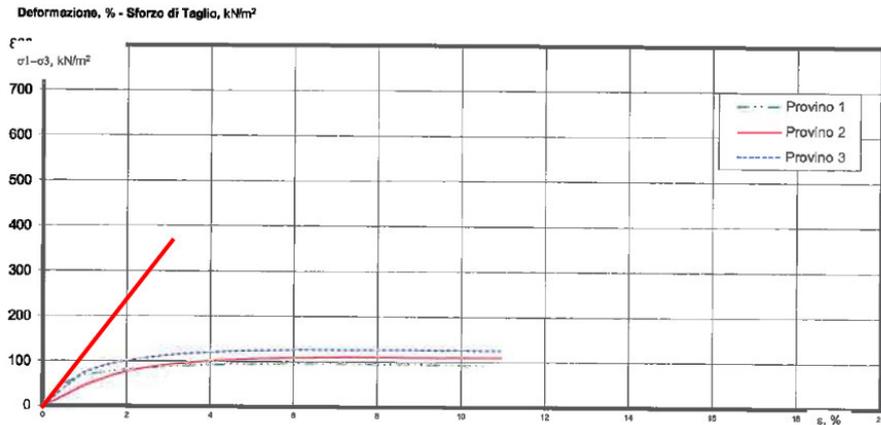
Si analizza una prova edometrica con campione prelevato a profondità 15m (AVF/2).



1S24 - 15m				
σ'_V (kPa)	ϵ_a (-)	E_{ED} (KN/m ²)	C_c (-)	C_s (-)
12.26	-0.0005	-	0.16	0.06
24.52	0.0027	-		
49.04	0.0115	2.79		
98.07	0.0238	3.99		
196.14	0.0399	6.09		
392.28	0.062	8.88		
784.56	0.0865	16.01		
1569.12	0.1164	26.24		
3138.24	0.1477	50.13		
784.56	0.1284	-		
196.14	0.1092	-		
49.04	0.0943	-		
12.26	0.0842	-		

Il valore del modulo edometrico alla tensione di confinamento per le profondità di interesse è compreso fra **6 e 9 MPa** per il campione in esame.

Si analizza prova triassiale consolidata non drenata con campione prelevato a profondità 4m (b3).



L'interpretazione della prova triassiale in condizioni non drenate in termini di rigidità è eseguita a partire dalla condizione di invarianza di deformazioni volumetriche durante la fase deviatorica del carico:

$$\varepsilon_v = 0 \quad \varepsilon_a + 2\varepsilon_r = 0 \quad \varepsilon_r = -\frac{\varepsilon_a}{2}$$

$$\varepsilon_s = \frac{2}{3}(\varepsilon_a - \varepsilon_r) \quad \rightarrow \quad \varepsilon_s = \frac{2}{3}\left(\varepsilon_a + \frac{\varepsilon_a}{2}\right)$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_a$$

In condizioni non drenate la deformazione deviatorica risulta essere uguale alla deformazione assiale misurata. Considerando che nel mezzo elastico vale la relazione:

$$\frac{\Delta q}{3\Delta\varepsilon_s} = G \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta q}{\Delta\varepsilon_s} = 3G$$

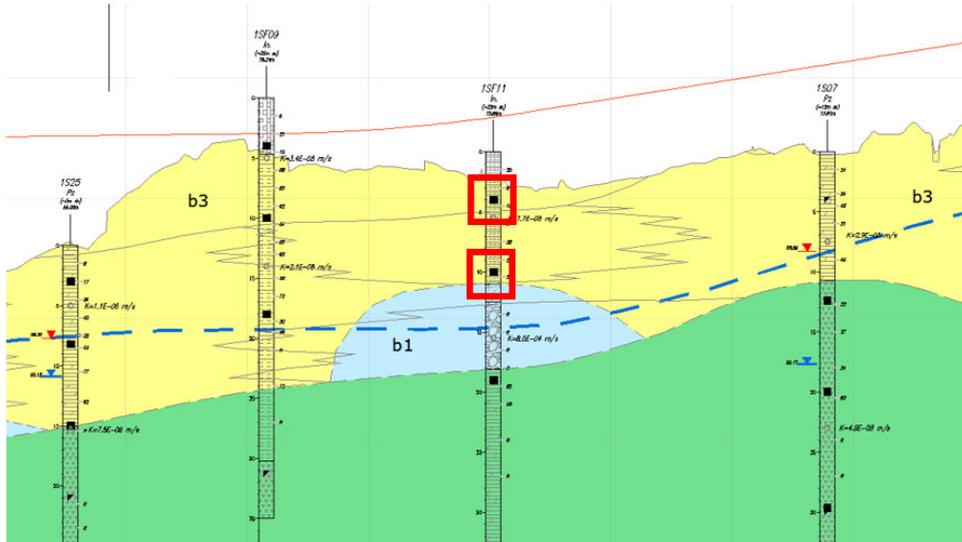
A partire dalla stima del modulo di rigidità al taglio del materiale si è determinato il modulo di Young:

$$G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \rightarrow \quad E' = 2G(1+\nu')$$

1S24		
σ_c (kPa) 50	σ_c (kPa) 100	σ_c (kPa) 150
3G (kPa)	3G (kPa)	3G (kPa)
11416.7	4737.5	8441.3
G (kPa)	G (kPa)	G (kPa)
3805.6	1579.2	2813.8
E' (kPa)	E' (kPa)	E' (kPa)
9513.9	3947.9	7034.4
E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)
11416.7	4737.5	8441.3

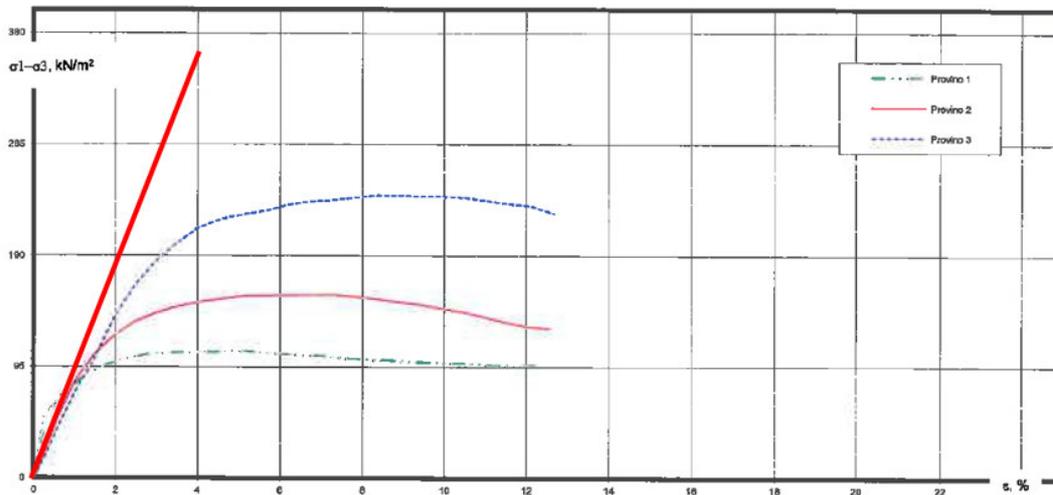
Il valore del modulo di rigidità è compreso fra **4 e 10 MPa** per il campione in esame.

7.2.8.2.1 1SF11 – 4m → campione al tetto dello strato b3 (prova *trx* consolidata dren) e
1SF11 – 10m → campione all'interno dello strato b3 (prova edometrica)



Si analizza prova triassiale consolidata drenata con campione prelevato a profondità 4m (b3).

Deformazione, % - Sforzo di Taglio, kN/m²



L'interpretazione della prova triassiale in termini di rigidezza è valutata a partire dalla Legge di Hooke:

$$\Delta \varepsilon_{\alpha} = \frac{1}{E'} \cdot (\Delta \sigma'_{\alpha} - 2\nu' \Delta \sigma'_{\gamma})$$

$$\text{con } \sigma_c = \text{cost.} \quad \Delta \varepsilon_{\alpha} = \frac{\Delta \sigma'_{\alpha}}{E'}$$

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	114 di 260

In considerazione del fatto che lo sforzo deviatorico può scriversi come:

$$q = \sigma'_a - \sigma'_r \quad \rightarrow \quad \Delta q = \Delta \sigma'_a - \Delta \sigma'_r$$

Per l'esecuzione della prova:

$$\Delta \sigma'_r = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta q = \Delta \sigma'_a \quad E' = \frac{\Delta q}{\Delta \varepsilon_a}$$

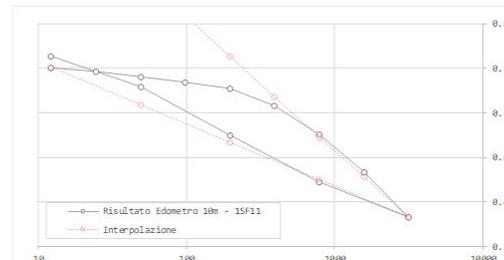
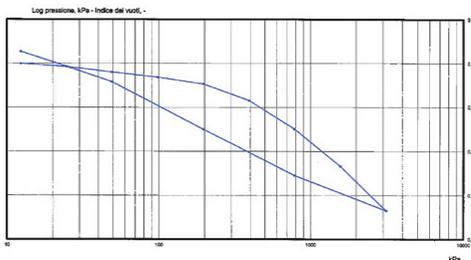
A partire dalla stima del modulo di Young del materiale si è potuto stimare anche il modulo edometrico tramite la relazione:

$$E_{ED} = E' \left(\frac{1 - \nu'}{1 - \nu' - 2\nu'^2} \right)$$

1SF11 - 4m		
σ_c (kPa) 50	σ_c (kPa) 100	σ_c (kPa) 200
E' (kPa)	E' (kPa)	E' (kPa)
9900.0	9266.0	7491.8
E_{ED} (kPa)	E_{ED} (kPa)	E_{ED} (kPa)
11000	10295.508	8324.263

 Il valore del modulo di rigidezza è compreso fra **7 e 10 MPa** per il campione in esame.

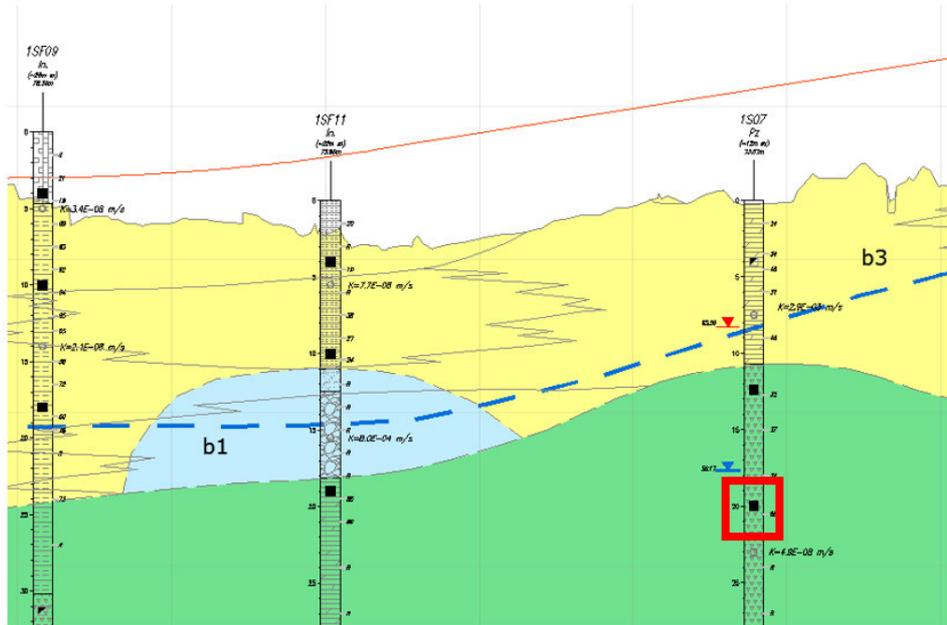
Si analizza una prova edometrica con campione prelevato a profondità 10m (b3).



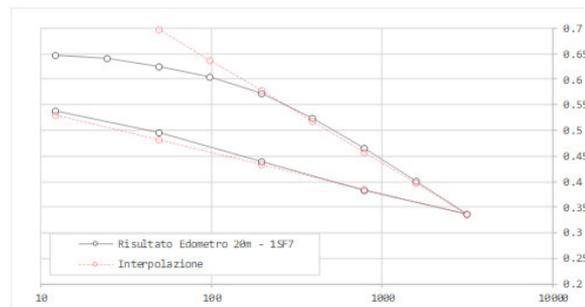
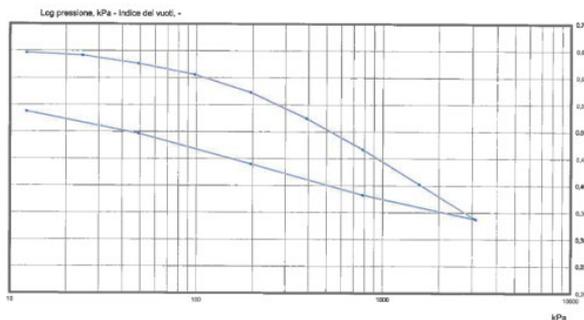
1SF11 - 10m				
σ'_v (kPa)	ε_a (-)	E_{ED} (KN/m ²)	C_c (-)	C_s (-)
12.26	0.0007	-	0.15	0.07
24.52	0.0031	-		
49.04	0.0071	6.13		
98.07	0.0109	12.90		
196.14	0.0157	14.43		
392.28	0.0279	16.08		
784.56	0.0487	18.86		
1569.12	0.076	28.74		
3138.24	0.1086	48.13		
784.56	0.0828	-		
196.14	0.0469	-		
49.04	0.0142	-		
12.26	-0.0082	-		

 Il valore del modulo edometrico alla tensione di confinamento per le profondità di interesse è compreso fra **6 e 15 MPa** per il campione in esame.

7.2.8.2.2 1S7 – 20m → campione al tetto dello strato AVF/2 (prova edometrica)



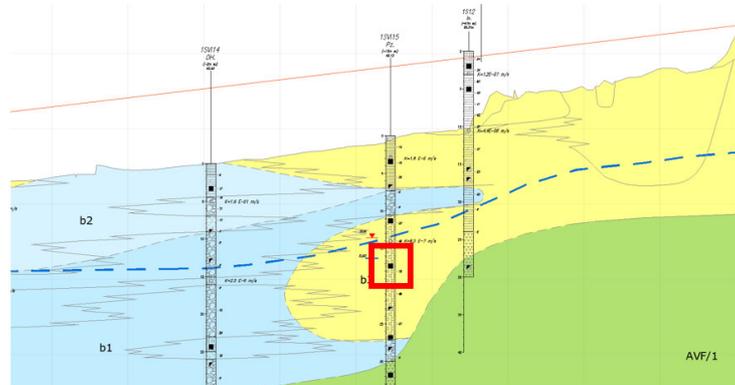
Si analizza una prova edometrica con campione prelevato a profondità 20m (AVF/2).



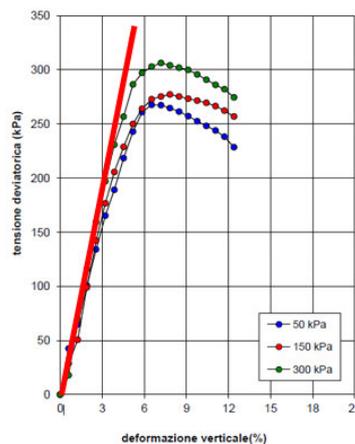
1S7 - 20m				
σ'_v (kPa)	ε_a (-)	E_{ED} (KN/m ²)	C_c (-)	C_s (-)
12.26	0.0029	-	0.2	0.08
24.52	0.0061	-		
49.04	0.0153	2.67		
98.07	0.0277	3.95		
196.14	0.0478	4.88		
392.28	0.077	6.72		
784.56	0.1119	11.24		
1569.12	0.151	20.07		
3138.24	0.1903	39.93		
784.56	0.1631	-		
196.14	0.1282	-		
49.04	0.0941	-		
12.26	0.069	-		

Il valore del modulo edometrico alla tensione di confinamento per le profondità di interesse è compreso fra **5 e 10 MPa** per il campione in esame.

7.2.8.2.3 1SVI15 – 17m → campione all'interno dello strato b3 (prova trx - UU)



Si analizza prova triassiale non consolidata non drenata con campione prelevato a profondità 17m (b3).



L'interpretazione della prova triassiale in condizioni non drenate segue gli stessi criteri esposti per il campione del sondaggio 1S24.

$$\varepsilon_v = 0 \quad \varepsilon_a + 2\varepsilon_r = 0 \quad \varepsilon_r = -\frac{\varepsilon_a}{2} \quad \rightarrow \quad \varepsilon_s = \frac{2}{3}(\varepsilon_a - \varepsilon_r) \quad \rightarrow \quad \varepsilon_s = \frac{2}{3}\left(\varepsilon_a + \frac{\varepsilon_a}{2}\right)$$

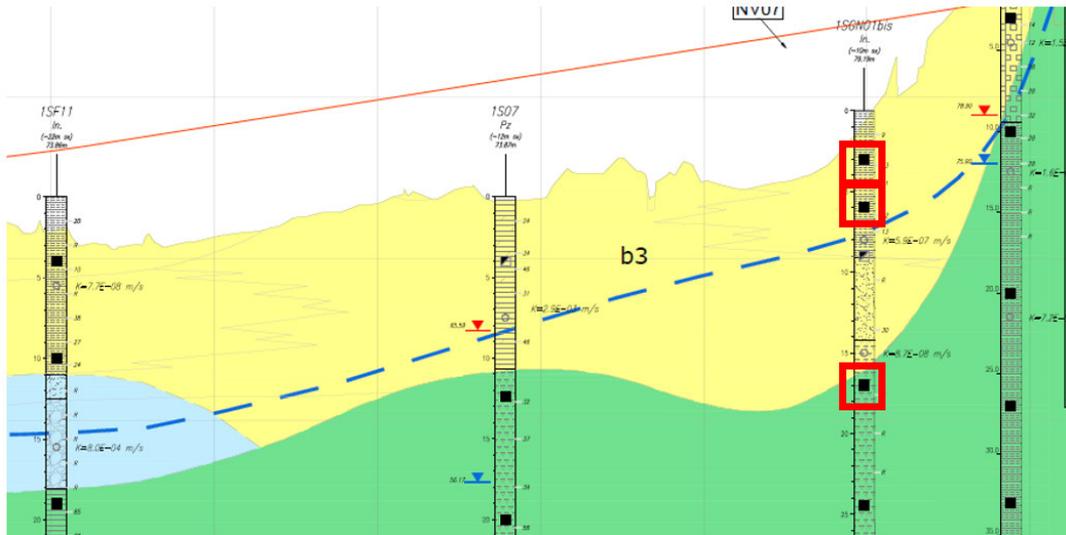
$$\varepsilon_s = \varepsilon_a$$

$$\frac{\Delta q}{3\Delta\varepsilon_s} = G \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta q}{\Delta\varepsilon_s} = 3G \quad \rightarrow \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \rightarrow \quad E' = 2G(1+\nu')$$

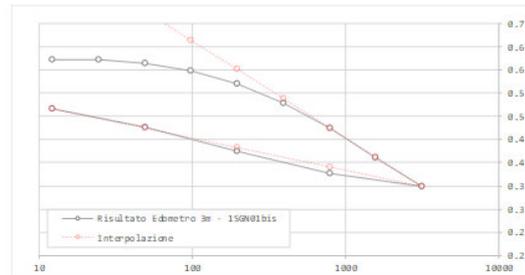
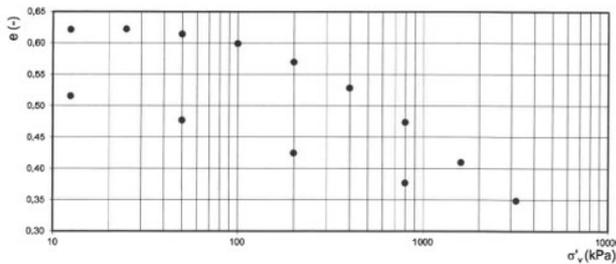
1SVI15		
σ_c (kPa) 50	σ_c (kPa) 150	σ_c (kPa) 300
3G (kPa)	3G (kPa)	3G (kPa)
5244.14	5558.98	6223.05
G (kPa)	G (kPa)	G (kPa)
1748.05	1852.99	2074.35
E' (kPa)	E' (kPa)	E' (kPa)
4370.12	4632.49	5185.87
E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)
5244.14	5558.98	6223.05

Il valore del modulo di rigidezza è compreso fra **4 e 6 MPa** per il campione in esame.

- 7.2.8.2.4 1SGN01bis – 3m → campione all'interno dello strato b3 (prova edometrica)
 1SGN01bis – 6m → campione all'interno dello strato b3 (TRX - CD)
 1SGN01bis – 17m → campione all'interno dello strato AVF/2 (TRX - UU)



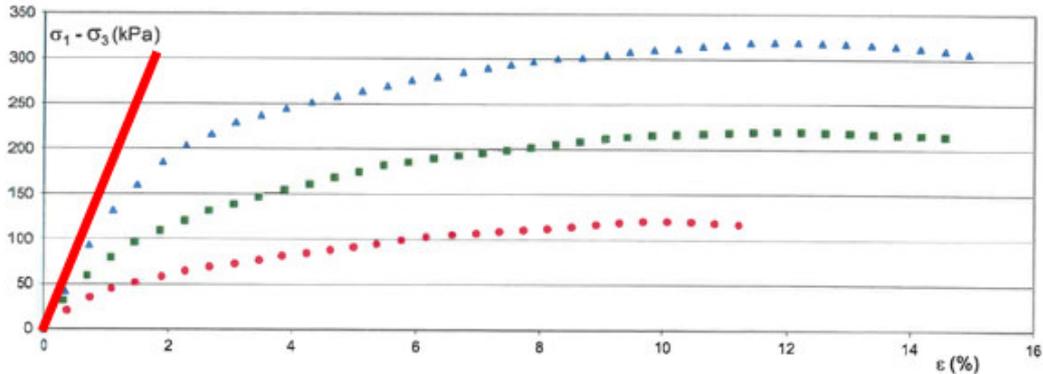
Si analizza una prova edometrica con campione prelevato a profondità 3m (AVF/2).



1SGN01bis - 3m				
σ'_v (kPa)	ε_a (-)	E_{ED} (KN/m ²)	C_c (-)	C_s (-)
12.26	0.0027	-	0.2	0.07
24.52	0.0022	-		
49.04	0.0071	5.00		
98.07	0.0165	5.22		
196.14	0.0347	5.39		
392.28	0.06	7.75		
784.56	0.0937	11.64		
1569.12	0.1331	19.91		
3138.24	0.1706	41.84		
784.56	0.1531	-		
196.14	0.1238	-		
49.04	0.0916	-		
12.26	0.0679	-		

Il valore del modulo edometrico alla tensione di confinamento per le profondità di interesse è compreso fra **5 e 12 MPa** per il campione in esame.

Si analizza prova triassiale consolidata drenata con campione prelevato a profondità 6m (b3).



L'interpretazione della prova triassiale in condizioni non drenate segue gli stessi criteri esposti per il campione del sondaggio 1SF11.

$$\Delta \varepsilon_a = \frac{1}{E'} \cdot (\Delta \sigma'_a - 2\nu' \Delta \sigma'_r) \quad \text{con } \sigma_c = \text{cost.} \quad \Delta \varepsilon_a = \frac{\Delta \sigma'_a}{E'}$$

$$q = \sigma'_a - \sigma'_r \quad \rightarrow \quad \Delta q = \Delta \sigma'_a - \Delta \sigma'_r \quad \Delta \sigma'_r = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta q = \Delta \sigma'_a$$

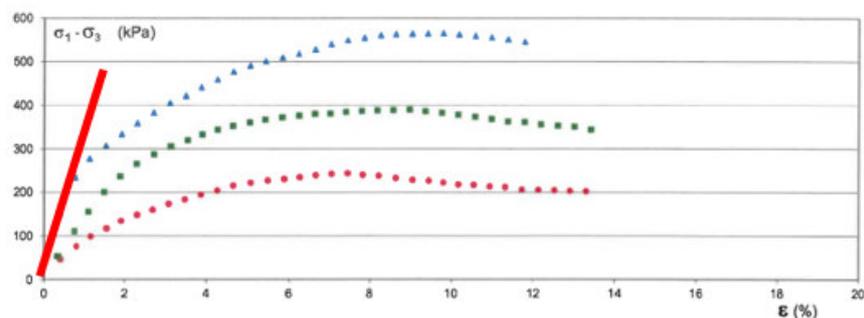
$$E' = \frac{\Delta q}{\Delta \varepsilon_a}$$

$$E_{ED} = E' \left(\frac{1 - \nu'}{1 - \nu' - 2\nu'^2} \right)$$

1SGN01bis – 6m		
σ_c (kPa)	σ_c (kPa)	σ_c (kPa)
100	200	300
E' (kPa)	E' (kPa)	E' (kPa)
5342.105	10031.250	11750.000
E_{ED} (kPa)	E_{ED} (kPa)	E_{ED} (kPa)
6410.5263	12037.5	14100

Il valore del modulo di rigidezza è compreso fra **5 e 12 MPa** per il campione in esame.

Si analizza prova triassiale consolidata non drenata con campione prelevato a profondità 17m (AVF/2).



L'interpretazione della prova triassiale in condizioni non drenate segue gli stessi criteri esposti per il campione del sondaggio 1S24.

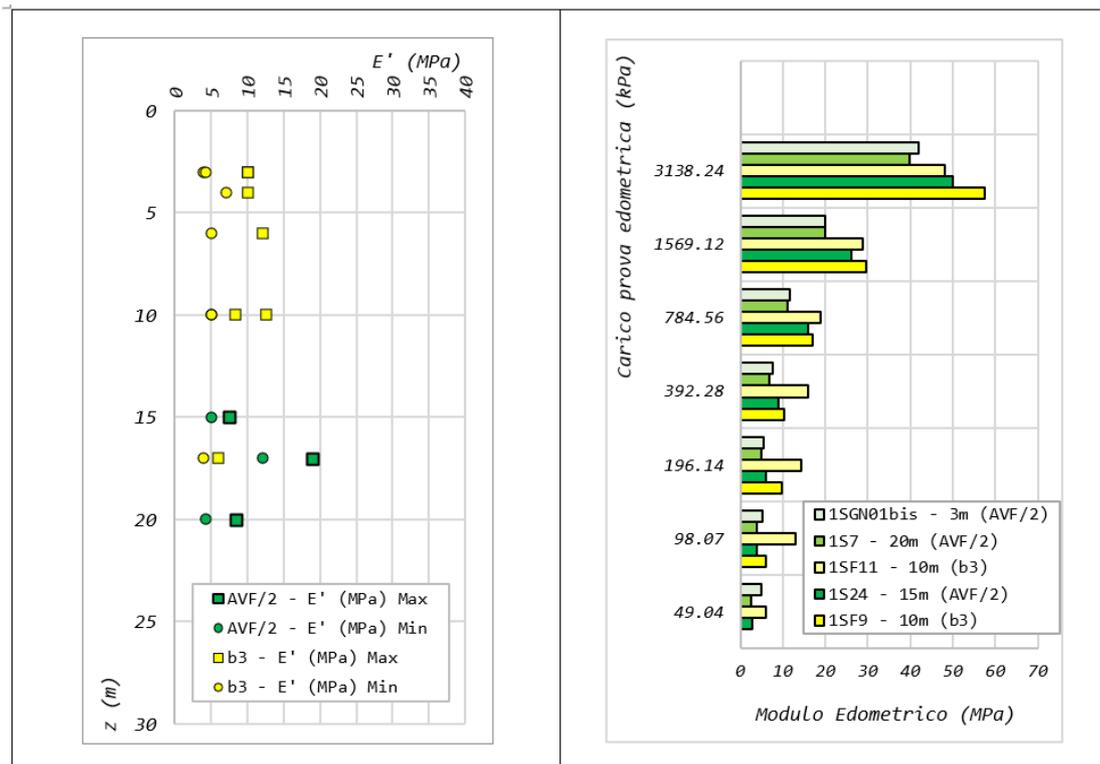
$$\frac{\Delta q}{3\Delta\varepsilon_s} = G \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta q}{\Delta\varepsilon_s} = 3G \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \rightarrow \quad E' = 2G(1+\nu')$$

1SGN01bis – 17m		
σ_c (kPa)	σ_c (kPa)	σ_c (kPa)
150	300	450
3G (kPa)	3G (kPa)	3G (kPa)
12315.789	16718.750	42571.429
G (kPa)	G (kPa)	G (kPa)
4105.2632	5572.9167	14190.476
E' (kPa)	E' (kPa)	E' (kPa)
10263.158	13932.292	35476.19
E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)	E _{ED} (kPa)
12315.789	16718.75	42571.429

Il valore del modulo di rigidezza è alle profondità di interesse è inferiore a **17 MPa** per il campione in esame.

7.2.8.2.5 Sintesi dei risultati

I risultati ottenuti sono sintetizzati nelle figure seguenti:



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	120 di 260

Dalle figure scaturiscono le seguenti considerazioni:

- a) le prove di laboratorio sia le prove edometriche sia le prove in cella triassiale appaiono coerenti in termini di valori di rigidità e presentano un alto grado di ripetibilità del dato;
- b) il modulo di Young risulta sempre compreso in un intervallo tra **4 e 20 MPa** sia per il litotipo b3 sia per il litotipo AVF/2;
- c) le prove edometriche mostrano moduli compresi in un intervallo tra **10 e 20 MPa** nelle profondità di interesse.

Le formazioni presenti nel lotto sono depositi a grana fine con struttura complessa scagliettata e fortemente tettonizzati nel corso della loro storia geologica. Nella zona oggetto di interventi emerge una forte discontinuità ed eterogeneità del sottosuolo con zone in cui prevale la componente plastica argillosa e zone in cui la struttura orientata del terreno mostra delle direzioni preferenziali di debolezza sia in termini di resistenza che di rigidità. Alla natura estremamente complessa dei terreni conseguono

- numerose disomogeneità locali in termini di caratteristiche meccaniche
- una notevole difficoltà nella caratterizzazione geotecnica in sito (forte variabilità dei risultati dipendente dal grado di alterazione).

In ragione di tali considerazioni, il progettista ritiene opportuno (considerando l'importanza dell'opera e delle conseguenze connesse a difetti di caratterizzazione) una stima ragionata delle caratteristiche meccaniche dei materiali basata prevalentemente sui risultati ottenuti in laboratorio visto la loro ripetibilità.

Un maggior dettaglio ed una localizzazione delle zone di alterazione puntuale sono rimandati alla successiva progettazione esecutiva mediante prove in sito altamente specialistiche come prove geofisiche in 2D e 3D (geolettriche, masw2D, masw3D, Cross Hole).

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	121 di 260

7.2.9.-..SINTESI UNITA GEOTECNICHE

Infine, si riporta di seguito la tabella di sintesi dei parametri meccanici di progetto assegnati alle unità geotecniche individuate lungo il tracciato della sede ferroviaria.

descrizione	ALLUVIONI Sabbie e ghiaie	ALLUVIONI Limi sabbiosi, sabbie limose	ALLUVIONI Argille limose, limi argillosi	ARGILLE VARICOLORI Argilla marnosa	ARGILLE VARICOLORI Argilla limosa	FLYSCH NUMIDICO
GRUPPO GEOTECNICO	b1	b2	b3	AVF/1	AVF/2	FYN
γ (kN/m ³)	19.5-21	19-21	19-22	23-25	22.5	20
Dr (%)	40-60	30-65				
c' (kPa)	0	7-30	12-50	14.8	10-65	62-76
c' res (KPa)			8-20		20	39-60
ϕ' (")piccolo	35-38	32-36				
ϕ' cv (")	30-33	22-27	20-26	40	20-30	30-31
ϕ' res (")			7-13		16-19	22-29
Ip (%)	10-16	10-25	20-40		15-40	18-30
Ic (-)	1.1	1-1.8	1-2		1.3-1.5	1.3
Cu (kPa)		138	z=0-25m \rightarrow $c_u(z)=50+1.67z$ $c_{u,lim}=150$		100-250	100
E0 (MPa) (modulo dinamico)	150-260	z=0-10 m \rightarrow 80-130 z=10-30 m \rightarrow 130-200	40-60	400-650	150-250	200-250
E'op (MPa) = Eo/10	15-26	z=0-10 m \rightarrow 8-13 z=10-30 m \rightarrow 13-20	4-6	40-65	15-25	20-25
ν' (-)	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3
σ_p' (kPa)		200-300	200-300			
OCR (-)		z=0-3 m \rightarrow 3-4 z>8 m \rightarrow 1	z=0-5 m \rightarrow 3-5 z>8 \rightarrow 1		1	1
e _o	0.47-0.6	z=0-10 m \rightarrow 0.55-0.80 z=10-30 m \rightarrow 0.32-45	z=0-10 m \rightarrow 0.50-0.72 z=10-25 m \rightarrow 0.30-50		0.4	0.6-0.7
Cc (-)		0.13-0.18	0.18-0.19		0.2	
Cs (-)		0.04-0.07	0.07-0.09		0.07	
Eed (MPa)	17-21	6-30	5-12		11-14	
E ₅₀ (MPa)		z=0-10 m \rightarrow 3-14 z=10-30 m \rightarrow 10-25	3.8-7			10-30
Cv (m ² /s)		E-4 \div E-2	1.1E-07			
σ_c (MPa)				20	1-4	
Em (MPa)						
K0 (-)	1-sen(ϕ'_{cv})	(1-sen(ϕ'_{cv}))*(OCR) ^{0,5}	(1-sen(ϕ'_{cv}))*(OCR) ^{0,5}		1-sen(ϕ'_{cv})	
k (m/s)	E-3 \div E-5	E-5 \div E-6	E-9 \div E-7	E-7	E-8 \div E-10	E-9
JRC				8-14		

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	122 di 260

7.2.10.-..*MODELLI GEOTECNICI OPERE IN PROGETTO*

Dalla caratterizzazione geotecnica precedentemente illustrata, è stato possibile individuare i modelli geotecnici delle singole opere.

In particolare, le opere di interesse per le quali è necessaria una completa caratterizzazione del sottosuolo sono:

- fondazioni viadotti ferroviari e relative opere provvisionali:
 - VI01 – Viadotto Torre del Principe
 - VI02 – Viadotto Casa Ruffina
- fondazioni viadotti stradali e relative opere provvisionali:
 - IV01 – opera Viabilità NV01
 - IV02 – opera Viabilità NV02
 - NW01 – opera Viabilità NV06
 - NW02 – opera Viabilità NV07
- rilevati ferroviari e stradali

In funzione delle verticali indagate e delle informazioni geologiche dei terreni intercettati è stato possibile costruire il profilo geotecnico di calcolo per l'intera linea ferroviaria (elaborati RS3Z00D78F6OC0001001/2/3/4/5) e per le viabilità interessate (elaborati RS3Z00D78F6OC0001006/7/8). Individuate le unità geotecniche illustrate precedentemente, sono stati assegnati, per ognuna di esse, i parametri di calcolo per le fondazioni dei viadotti. I parametri di calcolo sono considerati costanti per le diverse fondazioni dei viadotti poiché tali valori sono stati individuati da analisi relative a tutte le verticali indagate e prove eseguite. Inoltre, l'identificazione della stessa unità geotecnica anche a chilometri di distanza è giustificata da una corrispondenza delle caratteristiche granulometriche e meccaniche di rigidità e resistenza dei terreni, non necessariamente appartenenti alla stessa formazione geologica.

Secondo quanto appena detto è possibile estendere le seguenti indicazioni per il calcolo delle fondazioni di ogni viadotto.

Per il calcolo delle capacità portanti dei pali di fondazione è necessario definire un angolo di resistenza al taglio ϕ' , ed un peso specifico dell'unità di volume γ , per le unità geotecniche che presentano una risposta drenata all'applicazione di carichi mentre è necessario definire

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	123 di 260

una coesione non drenata c_u , per le unità geotecniche che presentano una risposta non drenata.

In particolare, di seguito viene esaminata singolarmente ogni unità e motivate le scelte dei parametri di calcolo.

- L'unità b1 è caratterizzata da elevata percentuale di sabbia e ghiaia a cui è stata associato un angolo di attrito pari all'angolo di attrito a volume costante poiché essendo un materiale non presente nei primi metri è possibile escludere meccanismi di rottura per scorrimento sull'interfaccia palo-terreno di tipo dilatante per poter far affidamento sulla resistenza di picco in corrispondenza della superficie laterale. Nel range individuato di $30^\circ - 33^\circ$ per l'angolo di attrito a volume costante è stato scelto il valore di $\varphi' = 33^\circ$ poiché è considerato un valore medio per le caratteristiche di tale terreno e confermato dalle prove effettuate. L'estremo inferiore del range non è considerato nella scelta poiché è relativo ad un'unica prova.
- L'unità b2 in base alla granulometria è definita come sabbia; sabbia limosa, limo sabbioso. Essendo un terreno superficiale mediamente addensato molto probabilmente è possibile che si mobilita la resistenza di picco, ma cautelativamente si assunto un angolo di resistenza a volume costante pari $\varphi' = 27^\circ$.
- L'unità b3 è caratterizzata da una coesione non drenata variabile con la profondità con la legge $c_u = 50 + 1.67 z$ (kPa). Tale caratterizzazione è derivata dall'interpretazione di tutte le prove in laboratorio e in sito effettuate e da correlazioni presenti in letteratura. Facendo in particolare riferimento alle prove effettuate e tenendo conto che tale unità in corrispondenza delle opere non supera la profondità di 20 m dal piano campagna è stata ricavata tale legge.
- L'unità AVF/1 è caratterizzata da terreni molto antichi e strutturati presenti a profondità superiori a 20 m dal piano campagna. Questa unità si presenta lungo alcune verticali come roccia compatta integra con un'elevata cementificazione tra i granelli mentre lungo altre verticali presenta una natura molto discontinua e fessurata tale da poterla assimilare ad un terreno sciolto. Dato l'esiguo numero di prove effettuate in tale unità, è ritenuto cautelativo caratterizzare tale unità come un terreno granulare con angolo di attrito $\varphi' = 40^\circ$.
- L'unità AVF/2, anche essa caratterizza terreni molto antichi che formano il substrato. Tale unità è stata assegnato un range di coesione non drenata, c_u variabile tra i 100 – 250 kPa. Tale parametro viene essenzialmente ricavato da prove in sito (in particolare: pocket Penetrometer, torvane, SPT) non essendo disponibili prove di

laboratorio per la stima della resistenza non drenata. I risultati di tali prove hanno mostrato valori di c_u molto prossimi ai 250 kPa e solo in limitate zone presentano valori relativamente più bassi. Per il calcolo della capacità portate dei pali di fondazione si è ritenuto possibile poter far affidamento su una resistenza pari a 250 kPa per quanto riguarda la resistenza alla punta. Per il calcolo delle portate laterali si è ritenuto far affidamento su valori relativamente inferiori, in particolare si ritiene fare affidamento ad almeno una coesione non drenata c_u pari a 200 kPa.

Successivamente si riportano i modelli geotecnici utilizzati nel calcolo delle fondazioni dei diversi viadotti.

In particolare, le fondazioni del viadotto, essendo notevole lo sviluppo plano-altimetrico del viadotto interessano diversi litotipi intercettati a profondità diverse.

Si riportano i modelli geotecnici delle fondazioni dei viadotti individuando gruppi accomunati dalla stessa stratigrafia e dalla stessa geometria delle opere fondali.

Le geotecniche sono riferite con profondità dal piano di fondazione.

IV01

		Z _{P.F.} [m]	U.G.	Gruppo						
IV01	Spalla A	0	b2	7.6	b1					IV01-1
	P1	0	b2	6.2	b1					IV01-2
	P2	0	b2	8.1	b1					IV01-3
	P3	0	b2	8.1	b1					
	P4	0	b2	8.1	b1					
	Spalla B	0	b2	4.7	b1					IV01-4

IV02

		Z _{P.F.} [m]	U.G.	Z _{P.F.} [m]	U.G.	Z _{P.F.} [m]	U.G.	Z _{P.F.} [m]	U.G.	Gruppo
IV02	Spalla A	0	b2	15.4	AVF/2					IV02-1
	P1	0	b2	14.0	AVF/2					IV02-2
	P2	0	b2	13.0	AVF/2					IV02-3
	P3	0	b2	13.0	AVF/2					
	P4	0	b2	13.0	AVF/2					
	P5	0	b2	13.0	AVF/2					
	P6	0	b2	13.0	AVF/2					
	P7	0	b2	6.5	AVF/2					IV02-4
P8	0	b2	6.5	AVF/2						

	P9	0	b2	13.0	AVF/2					IV02-3
	P10	0	b2	12.0	AVF/2					IV02-5
	P11	0	b2	7.6	AVF/2					IV02-4
	Spalla B	0	b2	11.4	AVF/2					IV02-6

NW01

		z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	Gruppo
NW01	Spalla 1	0	b3	14.3	AVF/1					NW01-1
	P1	0	b3	13.1	AVF/1					NW01-2
	P2	0	b3	12.0	AVF/2					NW01-3
	P3	0	b3	12.0	AVF/2					
	P4	0	b3	12.0	AVF/2					
	Spalla 2	0	b3	17.3	AVF/2					NW01-4

NW02

		z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	Gruppo
NW02	Spalla 1	0	b3	1.0	b2	3.6	AVF/2			NW02-1
	P1	0	b2	8.6	AFV2					NW02-2
	P2	0	b2	8.6	AFV2					
	P3	0	b2	8.6	AFV2					
	P4	0	b2	11.2	b3	13.0	AVF/2			NW02-3
	P5	0	b2	2.5	b3	10.3	AVF/2			NW02-4
	P6	0	b2	2.5	b3	10.3	AVF/2			
	Spalla 2	0	b2	8.2	b3	18.2	AVF/2			NW02-5

VI01

		z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	Gruppo
VI01	Spalla 1	0	b3	12.5	AVF/1					VI01-1
	P1	0	b3	12.5	AVF/2					VI01-2
	P2	0	b3	12.7	AVF/2					VI01-3
	P3	0	b3	12.7	AVF/2					
	P4	0	b3	12.7	AVF/2					
	P5	0	b3	18.0	b1	20.0	AVF/2			VI01-4
	P6	0	b3	19.7	b1	23.9	AVF/2			VI01-5
	P7	0	b3	19.7	b1	23.9	AVF/2			VI01-6
	Spalla 2	0	b3	15.6	AVF/2					VI01-7

VI02

		z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	z _{p.f.} [m]	U.G.	Gruppo
VI02	Spalla A	0	b3	7.7	b1	32.6	AVF/2			VI02-1
	P1	0	b3	6.6	b1	31.7	AVF/2			VI02-2
	P2	0	b3	6.6	b1	31.7	AVF/2			
	P3	0	b3	6.6	b1	31.7	AVF/2			

P4	0	b3	4.6	b2	7.5	b1	29.6	AVF/2	VI02-3
P5	0	b3	4.6	b2	7.5	b1	29.6	AVF/2	
P6	0	b3	2.7	b2	8.4	b1	27.9	AVF/2	VI02-4
P7	0	b3	2.7	b2	8.4	b1	27.9	AVF/2	
P8	0	b3	8.3	b1	26.5	AVF/2			VI02-5
P9	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P10	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P11	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P12	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P13	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P14	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P15	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P16	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			VI02-6
P17	0	b2	8.3	b1	26.5	AVF/2			
P18	0	b2	6.3	b1	25.9	AVF/2			VI02-7
P19	0	b2	6.3	b1	25.9	AVF/2			
P20	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			VI02-7
P21	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			
P22	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			
P23	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			
P24	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			VI02-8
P25	0	b2	5.5	b1	26.4	AVF/1			
P26	0	b2	3.7	b1	7.5	b3	21.5	b1	
P27	0	b2	3.7	b1	7.5	b3	21.5	b1	VI02-8
P28	0	b2	3.7	b1	7.5	b3	21.5	b1	
P29	0	b3	3.2	b2	6.4	b3	24.3	AVF/1	VI02-9
P30	0	b3	3.2	b2	6.4	b3	24.3	AVF/1	
P31	0	b3	3.2	b2	6.4	b3	24.3	AVF/1	
P32	0	b3	3.2	b2	6.4	b3	24.3	AVF/1	
P33	0	b3	3.7	b2	19.1	AVF/1			VI02-10
P34	0	b3	3.7	b2	19.1	AVF/1			
P35	0	b3	3.7	b2	19.1	AVF/1			
Spalla B	0	b3	14.9	AVF/1					VI02-11

8.-..LIQUEFAZIONE

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il fattore di sicurezza rispetto al fenomeno della liquefazione, plausibile nei terreni di fondazione in esame.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidità e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate indotte da un evento sismico. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

La Normativa Tecnica al paragrafo 7.11.3.4.2 afferma che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	128 di 260

statiche (CPT) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in tabella seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti e nella Relazione Geologica, risulta che:

- l'evento sismico atteso è di magnitudo $M = 4.9$;
- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono maggiori di $0.1 \cdot g$;
- la profondità della falda varia mediamente da 5 m a 10 m dal p.c.,
- sono presenti strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} < 30$.

Quindi per quanto previsto da normativa non è possibile escludere a priori la liquefazione, è necessario eseguire le dovute verifiche con i dati a disposizione.

Per i terreni in esame la stima del potenziale rischio di liquefazione è stata condotta usando i risultati delle prove SPT, supportate dalle analisi granulometriche.

8.1.-..METODOLOGIE DI ANALISI

La suscettibilità dei terreni nei confronti della liquefazione è stata valutata alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, mediante un approccio semi-empirico in condizioni di free-field.

La suscettibilità alla liquefazione è stata valutata ricavando il fattore di sicurezza FSL nei confronti della liquefazione dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione, CRR) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica, CSR.

Si definisce il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, mentre CSR è il rapporto di tensione ciclica:

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	129 di 260

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Il termine CSR può essere valutato ad una determinata profondità nel sottosuolo attraverso la seguente relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max,s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove

- $a_{max,s}$ è l'accelerazione orizzontale di picco a piano campagna del terremoto atteso;
- g è l'accelerazione di gravità;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;
- r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che tiene conto della deformabilità del sottosuolo.

Il coefficiente dell'azione sismica r_d si può ricavare, per profondità dal piano campagna non superiori a 20 m, mediante la seguente espressione di Idriss e Boulanger (2004):

$$r_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

dove:

z è la profondità dal piano campagna;

M magnitudo di momento dell'evento sismico atteso

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT. I metodi per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica a partire dai risultati di prove in sito sono applicabili nel caso di piano campagna sub-orizzontale e stati tensionali efficaci ridotti. Tuttavia, anche in assenza di tali condizioni, è possibile ottenere una stima approssimata del termine CRR attraverso l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

Dato che CRR dipende dal numero di cicli significativi, che a sua volta dipende dalla magnitudo M , è necessario rivalutare CRR per ricondurlo ad un valore costante di M , convenzionalmente preso come $M=7.5$, introducendo un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

Il valore di MSF si può ricavare dalla relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$\begin{cases} MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \\ MSF \leq 1.8 \end{cases}$$

8.1.1.-...ANALISI BASATE SU PROVE SPT

Avendo a disposizione i risultati delle prove SPT, si è proceduto nel seguente modo:

1. il numero di colpi NSPT è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto $(N_1)_{60}$ mediante la seguente relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

2. il coefficiente C_N , che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace, è stato ricavato per via iterativa dalla relazione di Liad e Whitman (1986):

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.50}$$

dove p_a è la pressione atmosferica (100 kPa). Tale coefficiente non deve comunque superare il valore di 1.7.

3. il fattore C_E è un fattore correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando

che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

- i coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).
- il valore della resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$ è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left(\frac{15.7}{FC}\right)^2\right)$$

dove FC è la frazione di fine espressa in percentuale.

Il contenuto di materiali fini (FC) è stato assunto dalle analisi granulometriche eseguite sul campione prelevato in corrispondenza della quota SPT.

- dal valore di $(N_1)_{60}$ può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione CRR mediante l'impiego di abachi di letteratura ottenuti dall'osservazione di casi storici, in cui sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Tali curve possono essere ottenute tramite la seguente relazione in funzione della frazione fine FC

$$CRR = \exp\left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

Quindi, utilizzando l'espressione sopra riportata, è stato ricavato il valore di CRR.

La sicurezza nei confronti della liquefazione è stata valutata, alla profondità considerata, mediante il coefficiente di sicurezza FSL. Di seguito si riportano i risultati delle analisi eseguite in due punti del tracciato ferroviario ritenuti maggiormente suscettibili di liquefazione.

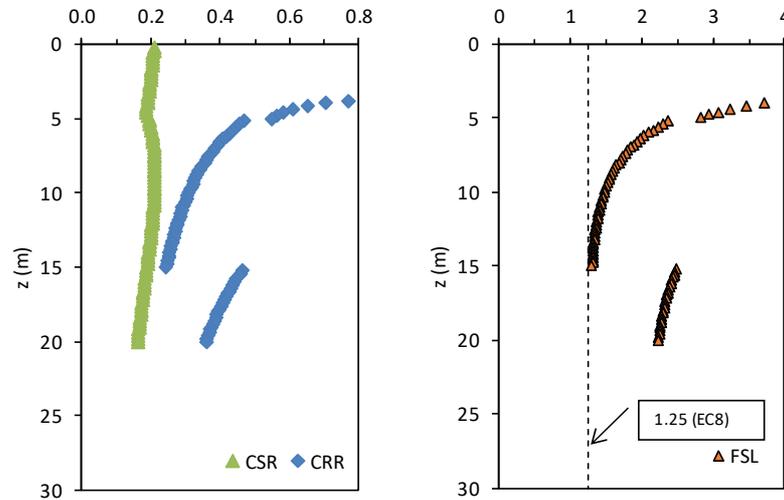


Figura 19 – Sondaggio 1S09 - CSR, CRR, FSL

La verifica è soddisfatta sia localmente, poiché per tutte le profondità risulta $FSL > 1.25$, che globalmente essendo il potenziale di liquefazione $LPI=0$ (Iwasaki et al. 1978).

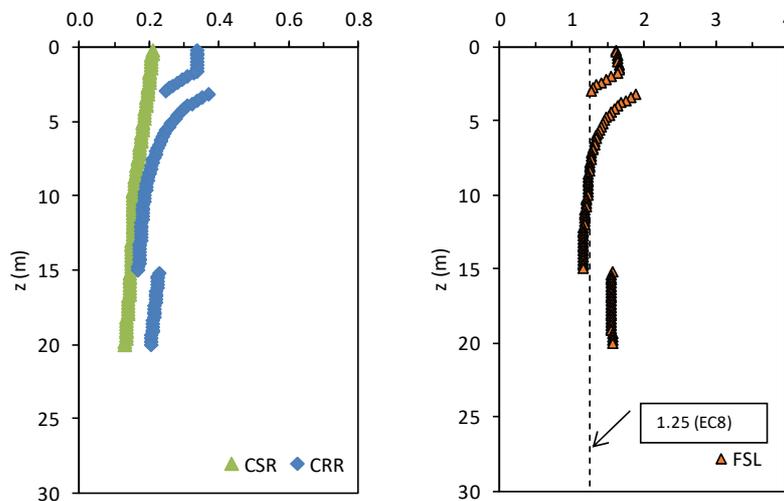


Figura 20 – Sondaggio 1S09 - CSR, CRR, FSL

La verifica è soddisfatta localmente, a meno di un tratto tra le profondità 8-15 m dove FSL raggiunge il minimo di 1.15 (comunque >1), tuttavia globalmente il potenziale di liquefazione $LPI=0$ (Iwasaki et al. 1978).

In conclusione, le valutazioni eseguite escludono il rischio di potenziale liquefazione per i terreni fondali delle opere a realizzarsi.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	133 di 260

9.-.VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

La nuova sede ferroviaria in progetto è costituita per la maggior parte del tracciato da rilevati, e per brevi porzioni del tracciato da strutture scatolari. Considerati i notevoli carichi che queste opere scaricano nei terreni di fondazione, l'eterogeneità e la complessità delle unità geotecniche incontrate e considerati i bassi valori dei moduli di rigidità che alcune unità presentano, si è resa necessaria una valutazione dei cedimenti indotti dalla costruzione della sede ferroviaria.

Il progetto della nuova sede ferroviaria prevede la realizzazione di tratti di rilevato in ampliamento all'esistente e nuovi rilevati. L'analisi dei cedimenti e dei conseguenti interventi di consolidamento ha dovuto tener conto delle complesse fasi di attivazione della linea dettagliatamente descritte negli elaborati di esercizio (elaborati da RS3Z00D16RGES0001001A, RS3Z00D16RGES0021001B, RS3Z00D16DXES0001001A, RS3Z00D16PHES0021001A), nelle planimetrie di fasi (elaborati da RS3Z10D78P6IF0104001A, RS3Z10D78P6IF0104002A, RS3Z10D78P6IF0104003A, RS3Z10D78P6IF0104004A, RS3Z10D78P6IF0104005A, RS3Z10D78P6IF0104006A, RS3Z10D78P6IF0104007A) e nelle sezioni trasversali sviluppate per fasi. Nel seguito della trattazione per binario in esercizio si intenderà non solo il binario della linea storica, ma anche il binario attivato nella fase precedente. La pendenza delle scarpate dei rilevati è 2/3 con berma intermedia di larghezza 2 m per altezze di rilevato maggiori di 5.0 m.

La scelta dei consolidamenti previsti e dettagliata nel seguito non può quindi prescindere dal contestuale esame delle complesse fasi di esercizio, tenendo conto dei cedimenti che possono essere indotti dalla costruzione del rilevato in adiacenza al binario attivato nella fase precedente per realizzare l'interasse definitivo a 4 m da esso. In alcuni tratti di rilevato, la cui sede definitiva a doppio binario viene realizzata per intero, l'adozione di consolidamenti in luogo dei dreni è stata invece determinata sia dalla necessità di limitare i cedimenti al di sotto della linea storica in esercizio, sia dal vincolo temporale di attivare il binario pari (con prima fase di attivazione della stazione valle del Torto) dopo 1000 gg dall'inizio dei lavori (meno di tre anni). Per essi, la scelta dell'utilizzo dei consolidamenti deriva dalla difficoltà operativa di cantierizzare nei suddetti tempi, per il loro intero sviluppo le attività di:

- realizzazione dreni
- precariche
- rimozione delle precariche
- realizzazione del rilevato definitivo con cedimenti definitivi accettabili

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	134 di 260

- posa del binario, della trazione elettrica e degli impianti.

A partire da queste premesse, si sottolinea che lo “Standard di qualità del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 Km/h” RFI, limita fortemente alcune grandezze quali *livello trasversale* e lo *sghembo* per garantire il rispetto dello standard di qualità sulle linee in esercizio a seguito della realizzazione di una nuova infrastruttura ferroviaria. Tali grandezze assumono valori limite pari a $\Delta H = 1.5$ cm (cedimento differenziale fra rotaie poste sulla stessa sezione trasversale) e cedimento assoluto massimo in corrispondenza di una rotaia pari a 1.73 cm (dovuto allo sghembo massimo pari a 5.8 ‰ considerando che in due sezioni trasversali poste a 3 m tre punti non subiscano cedimento mentre il quarto punto subisca un cedimento tale da generare uno sghembo massimo pari a 5.8 ‰). Oltre a tali limiti si rendono necessari ulteriori vincoli finalizzati alla sicurezza della circolazione ed al mantenimento della geometria del corpo ferroviario e delle strutture scatolari a sostegno del binario che si riportano di seguito:

- Rilevati: devono essere valutati i cedimenti istantanei e di consolidazione primaria, oltre al loro andamento nel tempo, in funzione delle caratteristiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo. Il calcolo dei cedimenti differiti nel tempo deve essere effettuato tenendo conto solo dei carichi e sovraccarichi permanenti. In base alle caratteristiche dei terreni di fondazione dei rilevati, in fase di progettazione va definito il programma di costruzione dei rilevati stessi in modo che gli assestamenti residui, a far data dal completamento del piano di posa del ballast (compreso l'eventuale strato di sub ballast), siano non superiori al 10% dei cedimenti teorici totali e siano comunque inferiori a 5 cm;
- Scatolari: per le opere scatolari, da inquadrare comunque come ponti con struttura trasversale scatolare e con giunti strutturali posti all'incirca ogni 15 m, si può fare riferimento al punto 2.5.1.8.3.2.3 del Manuale di progettazione di Ponti e Strutture (indicazioni e prescrizioni progettuali relative ai ponti ferroviari):

“Nell'analisi di deformabilità verticale delle fondazioni, i cedimenti differenziali “ δ ” fra fondazioni adiacenti, calcolati considerando agenti tutte le azioni permanenti con il loro valore caratteristico, dovranno rispettare i seguenti limiti:

$$\delta \leq L_{MED} / 1000 \quad \text{per travi appoggiate}$$

$$\delta \leq L_{MED} / 3000 \quad \text{per travi continue}$$

Dove:

L_{MED} = luce media delle campate afferenti sulla fondazione in esame.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	135 di 260

Nel caso specifico, cedimenti differenziali o rotazionali di scatolari adiacenti possono determinare oltre alla formazione di angoli nella geometria longitudinale, anche “scalini” e angoli di rotazione derivanti dal diverso cedimento longitudinale e trasversale ; questi ultimi due casi non sono esplicitamente contemplati, in quanto la norma si riferisce ad impalcati di viadotti per i quali è comunque garantita la continuità in corrispondenza degli appoggi, potendosi quindi in tal caso e più favorevolmente escludere agli appoggi diversi cedimenti rotazionali e verticali tra due campate adiacenti.

A questo si aggiunga che NTC2018 e Manuale di progettazione forniscono ulteriori limiti di sghembo con riferimento alla torsione dell’impalcato. Tali limiti sono particolarmente stringenti portando il limite di cedimento per i scatolari a valori inferiori a 1.0cm per velocità comprese fra 120 km/h e 200 km/h.

Si riportano nel seguito le metodologie ed i criteri di calcolo nonché le tecniche di mitigazione dei cedimenti al fine di rendere questi ultimi compatibili con la funzionalità dell’esercizio ferroviario. In ultimo verranno riportate tre sezioni fra le più significative calcolate agli elementi finiti con il software di calcolo Plaxis2D al fine di evidenziare tutti i cedimenti attesi nelle diverse fasi realizzative e inquadrare correttamente il problema in esame.

9.1.-.VALUTAZIONE TEORICA ANALITICA DEL CEDIMENTO

La valutazione dell’ordine di grandezza dei cedimenti nei terreni a grana fina può effettuarsi schematizzando il terreno come un continuo deformabile e applicando il metodo edometrico, basato sui risultati di prove edometriche. Tale metodo conduce a risultati tanto migliori quanto maggiore è la larghezza del carico rispetto allo spessore dello strato deformabile. Tuttavia, si è visto che esso fornisce risultati affidabili anche in condizioni non strettamente edometriche (deformazione radiale impedita). In generale, l’applicazione di un carico di dimensioni finite su un deposito costituito da materiali argillosi saturi comporta un processo deformativo nel terreno che tipicamente è somma di due aliquote:

- a) Data la bassa permeabilità del terreno, la fase di carico avviene in condizioni non drenate con generazione di sovrappressioni interstiziali (Δu); i materiali argillosi si deformano allora a volume costante ed il cedimento che ne consegue è indicato come cedimento immediato “ w_0 ” (in condizione perfettamente edometriche questo contributo è nullo).

- b) Il trasferimento del carico dall'acqua allo scheletro solido comporta ulteriori cedimenti, la cui velocità nel tempo è legata principalmente alla permeabilità e alle condizioni di drenaggio. Il processo è noto come “consolidazione” ed il cedimento conseguente a tale processo è indicato come cedimento di consolidazione “ w_c ”.

Il metodo edometrico consente la valutazione del cedimento finale, senza alcuna possibilità di discernere fra cedimento istantaneo e cedimento di consolidazione. In letteratura sono però disponibili indicazioni per la stima di queste due aliquote, in particolare, il cedimento iniziale ed il cedimento di consolidazione possono essere valutati come aliquote del cedimento edometrico.

$$W_f = W_o + W_c$$

Nel caso specifico, per argille sovraconsolidate (Padfield e Sharrock, 1983):

$$W_o = (0,5 \div 0,6) W_{ed}$$

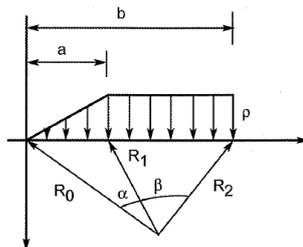
$$W_c = (0,4 \div 0,5) W_{ed}$$

$$W_f = W_{ed} = \delta_{tot}$$

Il cedimento complessivo sarà pari alla somma dei cedimenti dei singoli strati:

$$\delta_{z_i} = \frac{\Delta\sigma_{zi} - v(\Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})}{E_i} \Delta z_i \quad \delta_{tot} = \sum_j \delta_{z_j}$$

Gli incrementi di tensione indotti nel sottosuolo da un carico in superficie sono stati valutati facendo uso della teoria del semispazio elastico secondo il seguente schema.



$$\Delta\sigma_z = \frac{p}{\pi} \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} - \frac{z}{R_2^2} (x-b) \right]$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{p}{\pi} \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} + \frac{z}{R_2^2} (x-b) + \frac{2z}{a} \log \frac{R_1}{R_0} \right]$$

$$\Delta\sigma_y = v(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_z)$$

Il modulo di elasticità di progetto è stato ricavato dalle prove di laboratorio. Inoltre, nella valutazione dei cedimenti si sono considerati i contributi degli strati in corrispondenza dei quali l'incremento della tensione verticale risulta maggiore o uguale a 0.01 volte la tensione geostatica efficace.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

9.2.-..SCELTA DELLE RIGIDENZE DI CALCOLO

I terreni superficiali sui quali insistono i rilevati e le opere d'arte oggetto di cedimenti sono prevalentemente identificati con le seguenti unità geotecniche:

- **b1/b2 – limi sabbiosi, sabbie limose;**
- **b3 – argille limose, limi argillosi.**

Tali terreni presentano spessori variabili tra i 10 e 20 m lungo la linea ferroviaria. Il substrato è identificato principalmente con le unità geotecniche AVF (argille varicolori inferiori) e FYN (flysch numidico, litofacies arenaceo-argillitica) che in alcuni tratti si presentano particolarmente alterati e deformabili come testimoniato dalle prove di laboratorio eseguite.

I cedimenti associati alla realizzazione dell'opera sono dovuti prevalentemente alla deformabilità dei terreni superficiali, i quali oltre ad avere parametri deformativi inferiori ai terreni del substrato sono soggetti ad incrementi di tensione maggiori rispetto a quelli che si estinguono in profondità. Si fa tuttavia notare che in alcune zone anche i terreni del substrato emergono con caratteristiche particolarmente scadenti.

Nella seguente tabella sono riportati le rigidezze di calcolo ricavate da prove edometriche considerando due incrementi tensionali, legati essenzialmente alle altezze dei rilevati. Nello specifico, si è considerato un incremento 0÷100 kPa per rilevati fino a 5 m di altezza, e un incremento di 100÷200 kPa per rilevati fino a 9 m di altezza.

Al fine di rendere più realistica la valutazione dei cedimenti, si è assunto che la rigidezza dei terreni sia crescente con la profondità. Il modulo di rigidezza si considera dipendente dalla pressione media p secondo la legge:

$$E = R(p/p_a)^n \quad p = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$$

dove p_a è la pressione atmosferica mentre R ed n sono quantità dipendenti dal terreno. I parametri R ed n sono stati valutati in coerenza con i risultati ottenuti dalle prove in sito ed in laboratorio.

UG	Eed _(0-100 kPa) (MPa)	Eed _(100-200 kPa) (MPa)	R	n
b1	17	21	21	0.19
b2	10	20	20	0.65
b3	6	10	9	0.40
AVF-1	50	-	60	0.20
AVF-2	12	14	13.5	0.15
FYN	20	-	26	0.30

9.2.1.-...RISULTATI DELLE ANALISI

I rilevati ferroviari e stradali oggetto di studio hanno altezze variabili e insistono su terreni prevalentemente a grana fina di spessore variabile tra 5 m e 20 m. L'analisi dei cedimenti è stata svolta per i tratti riportati nelle seguenti tabelle. In Appendice sono riportati i dettagli delle principali sezioni di studio.

tratto	Opera	P _{k,i}	P _{k,f}	L tratto	sez. rif.	Modello geotecnico UG(z)	B _{medio}	falda da p.c.	h rilevato	ANTE OPERAM	
										W _F asse rilevato	W _F binario in esercizi
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]
1	rilevato ferrov.	3614	3900	289	74-79	b3(10)-FYN	20	3.5	4.5	11.98	2.20
2	rilevato ferrov.	3900	4000	100	79-81	b3(11)-b1(15)-FYN	20	7	2.5	7.51	2.43
3	rilevato ferrov.	4000	4250	250	81-86	b3(11)-b1(23)-AVF2	20	10	3.5	12.71	2.02
4	rilevato ferrov.	4250	4360	110	86-88	b3(11)-b1(23)-AVF2	26	10	5.4	19.55	3.08
5	rilevato ferrov.	5825	5950	125	117-120	b3(18)-AVF1	35	10	7.5	24.28	2.17
6	rilevato ferrov.	5950	6120	170	120-123	b3(18)-AVF1	30	11	6.0	18.35	2.19
7	Scatolare SL03	6425	6518	94	130-131	b3(15)-AVF1	28	13	-	14.35	1.93
8	Scatolare SL03 - SL04	6518	6748	230	131-136	b3(10)-AVF1	25	13	-	16.24	2.51
10	scatolare Valle del Torto	6748	7059	311	136-142	b3(5)-b1(10)-AVF2	28	6.5	-	21.91	3.56
11	scatolare SL05	7059	7194	135	142-144	b3(12)-AVF2	23	6	-	20.06	2.89
12	rilevato ferrov.	7194	7250	56	144-146	b3(15)-AVF2	30	12	5.0	21.26	5.18
13	rilevato ferrov.	7250	7450	200	146-150	b3(18)-AVF2	30	12	2.6	7.46	2.04
14	rilevato ferrov.	7450	7750	300	150-156	b3(15)-AVF2	35	11	6.0	24.14	6.31
16	rilevato ferrov.	7750	7900	150	156-159	b3(14)-AVF2	28	6	6.8	31.69	2.97
18	NV07-rilevato stradale-	130	280	150	8-17	b3(13)-AVF2	20	7	7.5		
20	Bretella Sciarra	7450	7725	275	150-155	b3(15)-AVF2	15	10	3.0	9.60	1.19

* il binario in esercizio a cui ci si riferisce nell'analisi è corrispondente alla fase più critica

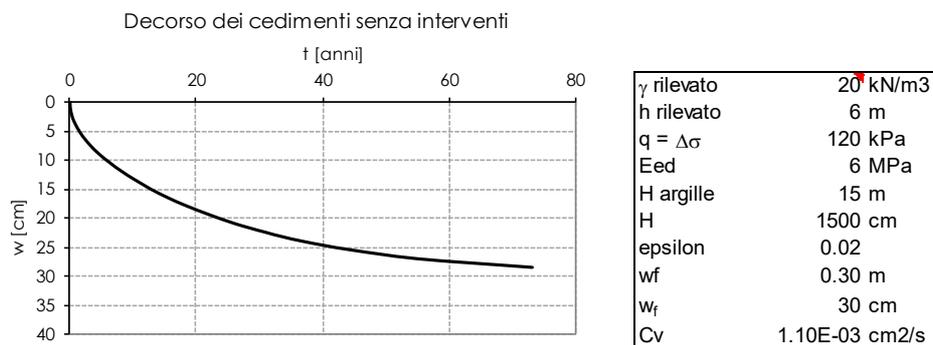
Tabella 1 Sintesi dei cedimenti nei tratti di linea consolidati con Deep Mixing

Opera	P _{k,i}	P _{k,f}	L _{tratto}	Sez. Rif	H _{Ril} Pre-Carica	Modello geotecnico UG(z)	ANTE OPERAM
							W _F binario in esercizio
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[-]	[cm]
rilevato ferrov.	5260	5400	140	106-109	5	b3(15)-AVF1	20
rilevato ferrov.	5400	5600	200	109-113	4.5	b3(18)-AVF1	19
rilevato ferrov.	5700	5825	125	115-118	4.2	b3(18)-AVF1	9
rilevato ferrov.	7900	8050	150	159-162	6	b3(13)-AVF2	27
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	20	90.7	70.7	2-5A	6	b3(20)-AVF1	13
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	339.7	396	56.3	18A-21	3	b3(24)-AVF2	9
PT04 - Fabbricato Energia	360	379	19	19-20	2	b3(24)-AVF2	5
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	771	844	73	41-44	5	b3(6)-b1(9.5)-AVF2	12
NV06 - rilevato stradale ASSE 2	39	215	176	3-12	5	b3(6)-b1(9.5)-AVF2	10
NV06 - rilevato stradale ASSE 2	230	403	173	13-21(1-2)	5	b3(6)-b1(9.5)-AVF2	12
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	160	400	240	9-21	2	b3(15)-AVF2	4
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	460	600	140	24-31	2	b3(15)-AVF2	7
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	780	972	192	40-50	5.5	b3(15)-AVF2	19
NV06 - rilevato stradale ASSE 5	40	120	80	3-10	7	b3(15)-AVF2	10
NV07 - rilevato stradale ASSE 1	0	30	30	1-2	2.5	b3(15)-AVF2	4
NV07 - rilevato stradale ASSE 1	400	500	100	21-26	3	b3(15)-AVF2	4.5
NV07 - rilevato stradale ASSE 2	100	130	30	6-8	7	b3(15)-AVF2	21
NV07 - rilevato stradale ASSE 3	120	200	80	7-11	1.5	b3(15)-AVF2	2.5
PT01 - Piazzale di emergenza	7882	7947	65	-	6	b3(15)-AVF2	39
PT02 - Piazzale di emergenza	7882	7947	65	-	7	b3(15)-AVF2	39
PT03 - Piazzale SSE	7950	8100	150	-	6	b3(15)-AVF2	16
rilevato ferrov. Variante km 48	4250	5300	1050	86-107	4	b3(11)-b1(23)-AVF2	9
NV04 - rilevato stradale ASSE1	140	360	220	8-19	*	b3(3)-AVF2	21
NV04 - rilevato stradale ASSE1	480	1340	860	25-68	*	b3(3)-AVF2	21

* limitatamente ai rilevati stradali della NV04, si prevede intervento solo con dreni senza utilizzo del rilevato di pre-carica provvisori

Tabella 2 Sintesi dei cedimenti nei tratti di linea consolidati con dreni e pre-carica

Come detto in precedenza, una parte dei cedimenti avverrà gradualmente nel tempo a seguito del processo di consolidazione e cioè della conseguente dissipazione delle pressioni interstiziali. A titolo di esempio si riporta di seguito l'andamento nel tempo dei cedimenti valutati in una sezione di calcolo considerando un coefficiente di consolidazione verticale ricavato dalle prove edometriche e un percorso di drenaggio pari all'altezza dello strato argilloso. Il calcolo evidenzia l'esigenza di accelerare il processo di consolidazione.



Dalle analisi precedentemente effettuate sono inoltre risultati cedimenti incompatibili con la funzionalità delle opere di nuova realizzazione. In particolare:

- In alcune sezioni non è rispettato lo standard RFI “Standard di qualità del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 Km/h” (cod. RFI TCAR ST AR 01 001 D) per la linea in esercizio nella fase realizzativa analizzata;
- In alcune sezioni l'entità dei cedimenti è tale da non rispettare le limitazioni fornite dal manuale di progettazione RFI sia in termini di cedimenti sia in termini di tempi.

9.2.2.-...MIGLIORAMENTO DEI TERRENI

Dalle analisi precedentemente effettuate sono risultati cedimenti incompatibili con la funzionalità delle opere di nuova realizzazione.

Sono state individuate le seguenti soluzioni per ovviare alle problematiche precedentemente riscontrate:

- trattamento con Deep Mixing per ridurre l'entità del cedimento;
- dreni e precarica per velocizzare i fenomeni di consolidazione, cosicché da realizzare il nuovo rilevato su terreni che hanno già scontato i cedimenti di consolidazione primaria.

9.2.2.1.-.Progetto trattamenti dei terreni cedevoli

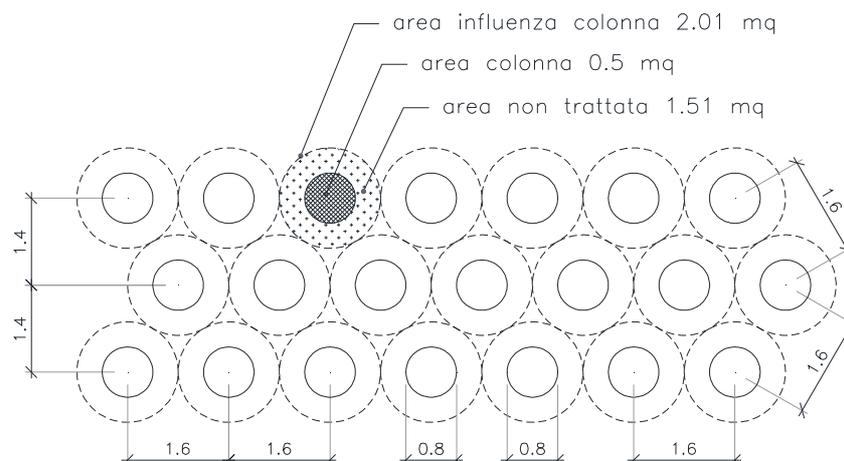
Come analizzato nel paragrafo 9.1.3, le scadenti proprietà meccaniche dei terreni di fondazione inducono cedimenti non compatibili con la funzionalità delle opere stesse o di quelle adiacenti. Per ridurre l'entità dei cedimenti occorre adottare misure preventive di consolidamento dei terreni di fondazione.

A tal fine si è scelto di migliorare i terreni fondali mediante trattamento con Deep Mixing, che sfrutta la miscelazione meccanica del terreno stesso con leganti a base cementizia. Questo sistema consente di realizzare colonne cilindriche di terreno trattato, disposte ad un determinato interasse, che costituiscono i terreni fondali delle opere a realizzarsi. In questo modo i terreni trattati miglioreranno sia le caratteristiche di resistenza che di rigidità.

Per definire l'estensione ottimale del trattamento, sono state studiate diverse configurazioni geometriche delle colonne (operando su diametro e interasse) oltre al mix design della miscela cementizia.

La maglia delle colonne è stata fissata in modo che il valore del modulo elastico equivalente del terreno trattato consenta di avere un cedimento residuo a termine costruzione compatibile con la funzionalità delle opere.

Lo studio, compatibilmente con la natura dei terreni, ha condotto all'utilizzo di colonne di diametro 0.8 m, disposte a quinconce con maglia di 1.6 m, come schematizzato di seguito. Tutte le assunzioni dovranno in ogni caso essere validate in sito mediante opportuno campo prova.



Il modulo elastico equivalente del terreno trattato può essere valutato con la relazione:

$$E_m = \frac{A_{col}}{A_{tot}} * E_{col} + \left(1 - \frac{A_{col}}{A_{tot}}\right) * E_t$$

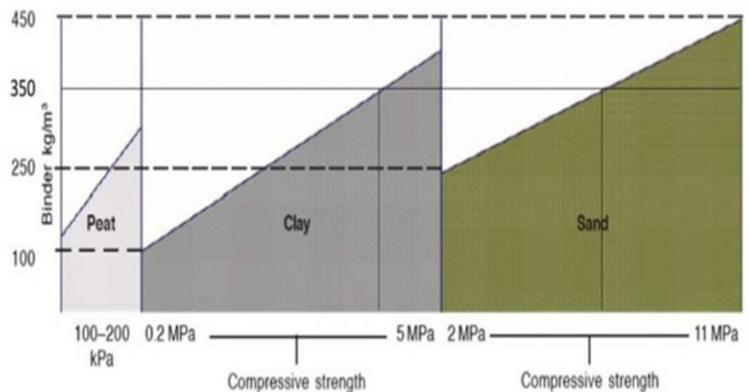
A_{col} = area della sezione della singola colonna

A_{tot} = area di influenza che compete alla singola colonna

E_{col} = modulo elastico colonna

E_t = modulo elastico terreno in sito (E_{ed})

Per la scelta dei parametri di resistenza e rigidezza della colonna trattata, si è fatto riferimento a valori presenti nella letteratura scientifica. In particolare, l'abaco riportato di seguito (Kitazume e Terashi, 2012) mostra come la resistenza a compressione sia correlata alla quantità di cemento utilizzata (peso di cemento per metro cubo di terreno trattato).



Prendendo come riferimento le argille, e un dosaggio di 300 kg/m^3 di cemento, si ottiene una resistenza a compressione di circa 4.0 MPa . Da cui è possibile ricavare il modulo elastico della colonna:

$$E_{col} = 160 * q_u \quad (q_u = \text{resistenza a compressione della colonna})$$

Si fa notare che le proprietà del terreno trattato dovranno essere controllate con prove sui campioni estratti dalle colonne di un campo prove preliminare eseguito nei medesimi terreni che si prevede di trattare. Le stesse proprietà dovranno essere verificate sui lotti di colonne ultimate nei siti reali.

Si riportano di seguito i valori dei moduli equivalenti che si ottengono per i diversi litotipi interessati dal trattamento colonnare:

UG	E_{ed} (MPa)	E_m (MPa)
b1	17	173
b2	10	168
b3	6	165
AVF-1	50	198
AVF-2	12	169
FYN	20	175

Si riportano di seguito i valori del cedimento post-operam per i tratti oggetto di trattamenti.

tratto	Opera	Pk,i	Pk,f	L tratto	sez. rif.	Modello geotecnico UG(z)	B medio	falda da p.c.	h rilevato	ANTE OPERAM		POST OPERAM	
										W _F asse rilevato	W _F binario in esercizio	W _F asse rilevato	W _F binario in esercizio
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
1	rilevato ferrov.	3614	3900	269	74-79	b3(10)-FYN	20	3.5	4.5	11.98	2.20	2.22	0.84
2	rilevato ferrov.	3900	4000	100	79-81	b3(11)-b1(15)-FYN	20	7	2.5	7.51	2.43	0.45	0.06
3	rilevato ferrov.	4000	4250	250	81-86	b3(11)-b1(23)-AVF2	20	10	3.5	12.71	2.02	2.39	0.12
4	rilevato ferrov.	4250	4360	110	86-88	b3(11)-b1(23)-AVF2	26	10	5.4	19.55	3.08	4.38	0.90
5	rilevato ferrov.	5825	5950	125	117-120	b3(18)-AVF1	35	10	7.5	24.28	2.17	4.05	1.19
6	rilevato ferrov.	5950	6120	170	120-123	b3(18)-AVF1	30	11	6.0	18.35	2.19	1.91	0.42
7	Scatolare SL03	6425	6518	94	130-131	b3(15)-AVF1	28	13	-	14.35	1.93	3.52	1.01
8	Scatolare SL03 - SL04	6518	6748	230	131-136	b3(10)-AVF1	25	13	-	16.24	2.51	3.54	1.18
10	scatolare Valle del Torto	6748	7059	311	136-142	b3(5)-b1(10)-AVF2	28	6.5	-	21.91	3.56	4.88	0.94
11	scatolare SL05	7059	7194	135	142-144	b3(12)-AVF2	23	6	-	20.06	2.89	2.90	0.35
12	rilevato ferrov.	7194	7250	56	144-146	b3(18)-AVF2	30	12	5.0	21.26	5.18	3.97	0.81
13	rilevato ferrov.	7250	7450	200	146-150	b3(18)-AVF2	30	12	2.6	7.46	2.04	1.64	0.96
14	rilevato ferrov.	7450	7750	300	150-156	b3(15)-AVF2	35	11	6.0	24.14	6.31	4.31	1.34
16	rilevato ferrov.	7750	7900	150	156-159	b3(14)-AVF2	28	6	6.8	31.69	2.97	4.58	0.07
18	NV07-rilevato stradale	130	280	150	8-17	b3(13)-AVF2	20	7	7.5				
20	Bretella Sciarà	7450	7725	275	150-155	b3(15)-AVF2	15	10	3.0	9.60	1.19	0.32	0.00

* il binario in esercizio a cui ci si riferisce nell'analisi è corrispondente alla fase più critica

Opera	Pk,i	Pk,f	L tratto	Sez. Rif	Intervento	B _{Med}	Geometria Deep Mixing							
							A	d	i _{Trasv.}	i _{Long.}	L	n° col	L _{tot.col.}	
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	
rilevato ferrov.	3613.5	3900	286.5	74-79	Deep Mixing	20	5730	0.8	1.6	1.4	10	2558.0	25580.4	
rilevato ferrov.	3900	4000	100	79-81	Deep Mixing	20	2000	0.8	1.6	1.4	15	892.9	13392.9	
rilevato ferrov.	4000	4250	250	81-86	Deep Mixing	20	5000	0.8	1.6	1.4	11	2232.1	24553.6	
rilevato ferrov.	4250	4360	110	86-88	Deep Mixing	26	2860	0.8	1.6	1.4	15	1276.8	19151.8	
rilevato ferrov.	5825	5950	125	117-120	Deep Mixing	35	4375	0.8	1.6	1.4	18	1953.1	35156.3	
rilevato ferrov.	5950	6120	170	120-123	Deep Mixing	30	5100	0.8	1.6	1.4	18	2276.8	40982.1	
Scatolare SL03	6424.5	6518	93.5	130-131	Deep Mixing	28	2618	0.8	1.6	1.4	10	1168.8	11687.5	
Scatolare SL03-SL04	6518	6748	230	131-136	Deep Mixing	25	5750	0.8	1.6	1.4	11	2567.0	28236.6	
Scatolare Valle del Torto	6748	7059	311	136-142	Deep Mixing	28	8708	0.8	1.6	1.4	20	3887.5	77750.0	
Scatolare SL05	7059	7194	135	142-144	Deep Mixing	23	3105	0.8	1.6	1.4	15	1386.2	20792.4	
rilevato ferrov.	7194	7250	56	144-146	Deep Mixing	30	1680	0.8	1.6	1.4	18	750.0	13500.0	
rilevato ferrov.	7250	7450	200	146-150	Deep Mixing	30	6000	0.8	1.6	1.4	18	2678.6	48214.3	
rilevato ferrov.	7450	7750	300	150-156	Deep Mixing	35	10500	0.8	1.6	1.4	15	4687.5	70312.5	
rilevato ferrov.	7750	7900	150	156-159	Deep Mixing	28	4200	0.8	1.6	1.4	30	1875.0	56250.0	
NV07 - rilevato stradale ASSE 2	130	280	150	8-17	Deep Mixing	20	3000	0.8	1.6	1.4	20	1339.3	26785.7	
Bretella Sciarà	7450	7725	275	150-155	Deep Mixing	15	4125	0.8	1.6	1.4	15	1841.5	27622.8	

Si rimanda agli elaborati RS3Z00D78P6GB0003001B, RS3Z00D78P6GB0003002C, RS3Z00D78P6GB0003003C, RS3Z00D78WAGB0203001C, RS3Z00D78WAGB0203001C per ulteriori dettagli.

9.2.2.2.-.-Accelerazione del processo di consolidazione mediante dreni verticali

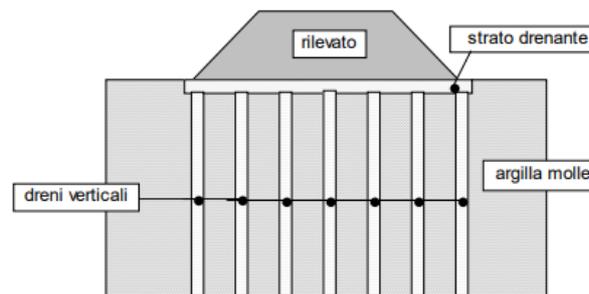
Una tecnica per accelerare il processo di consolidazione consiste nell'inserire nel terreno dreni verticali disposti ai vertici di una maglia regolare, quadrata o triangolare, di lato inferiore alla massima lunghezza di drenaggio H. Il tempo necessario perché avvenga la consolidazione edometrica è proporzionale al quadrato della massima lunghezza di drenaggio:

$$t = \frac{T_v}{c_v} \cdot H^2$$

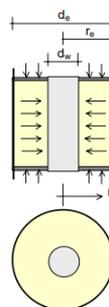
Inserendo dreni verticali nel terreno si permette all'acqua di filtrare anche in direzione orizzontale fino al dreno più vicino, ovvero si riduce la lunghezza del percorso di drenaggio,

Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	143 di 260

si sfrutta la maggiore permeabilità del terreno in direzione orizzontale, si fa avvenire un processo di consolidazione tridimensionale, ottenendo in tal modo una molto più rapida dissipazione delle sovrappressioni neutre e quindi una forte accelerazione dei tempi di consolidazione.



Nel caso specifico è stato ipotizzato l'utilizzo di dreni prefabbricati a nastro, messi in opera a percussione o per infissione lenta di un mandrino. I dreni prefabbricati hanno sezione lamellare (larghezza $a=100$ mm, spessore $b=5$ mm), e se ne calcola il diametro equivalente con l'equazione: $d_w = 2 (a + b) / \pi$



Per il dimensionamento del sistema di dreni verticali occorre considerare la consolidazione radiale. Si considera un cilindro di terreno con superficie esterna impermeabile e un dreno centrale. Le ipotesi sono le stesse della teoria della consolidazione edometrica di Terzaghi, a parte la direzione del flusso:

- terreno omogeneo,
- parametri di compressibilità e di permeabilità costanti durante il processo di consolidazione,
- deformazioni solo verticali e filtrazione solo radiale,
- deformazioni piccole rispetto all'altezza del cilindro che drena.

L'equazione della consolidazione radiale è la seguente:

$$c_h \cdot \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_e}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_e}{\partial r^2} \right) = \frac{\partial u_e}{\partial t}$$

in cui

$$c_h = \frac{k_h}{m_v \cdot \gamma_w}$$

è il coefficiente di consolidazione per flusso in direzione orizzontale. Analogamente a quanto già visto per la consolidazione edometrica, anche per la consolidazione radiale si definisce il fattore di tempo adimensionale:

$$T_r = \frac{c_h \cdot t}{d_c^2}$$

e il grado di consolidazione radiale medio, U_r , che rappresenta il rapporto tra il cedimento di consolidazione radiale al tempo t e il cedimento di consolidazione totale, e che può essere calcolato con la seguente equazione approssimata

$$U_r(\%) = \frac{s(t)}{s_f} \cdot 100 = \left[1 - \exp\left(-\frac{8 \cdot T_r}{F}\right) \right] \cdot 100 \quad (\text{Eq. 8.11})$$

$$F = \ln(n) - 0,75$$

in cui $n = \frac{d_c}{d_w}$ è il rapporto tra il diametro del cilindro, d_c , e il diametro del dreno, d_w .

Il diametro equivalente del cilindro di terreno che drena, d_c , è assunto pari al diametro del cerchio di area eguale all'area di influenza del dreno, per cui: per disposizione a quinconce, con maglia triangolare equilatera di lato s :

$$d_c = \sqrt{\frac{6}{\pi \cdot \sqrt{3}}} \cdot s$$

Il grado di consolidazione medio complessivo, U , in un processo combinato di consolidazione verticale e radiale, si determina con la seguente equazione (Carrillo, 1942):

$$U(\%) = 100 - \frac{1}{100} \cdot (100 - U_v) \cdot (100 - U_r)$$

in cui si sono indicati con $U_v(\%)$ e con $U_r(\%)$ rispettivamente i gradi di consolidazione medi dei processi di filtrazione verticale e radiale.

9.2.2.3.-.Progetto dreni con precarica

Al fine di accelerare il decorso dei cedimenti del banco di argilla limosa si può ricorrere a drenaggi verticali (nel caso specifico dreni a nastro) che attraversano il banco stesso per tutto il suo spessore.

Si calcola il diametro e l'interasse dei dreni in modo da ottenere che l'80% del cedimento si verifichi prima che vengano costruite le sovrastrutture; in tale calcolo si assumerà per il coefficiente di consolidazione radiale: $C_h = 10 C_v$.

Supponendo di aver fissato la lunghezza dei dreni, pari all'intero spessore del banco di argilla, e fissato il diametro dei dreni (diametro equivalente per i dreni a nastro del caso specifico) resta da determinare l'interasse tra essi. Per risolvere il problema, si utilizza la teoria della consolidazione radiale con la quale è possibile relazionare il grado di consolidazione col fattore tempo avendo fissato il parametro "n":

$$U_h = 1 - e^{-\frac{8T_h}{F}} \quad \text{grado di consolidazione}$$

$$T_h = \frac{C_h t}{D^2} \quad \text{fattore tempo}$$

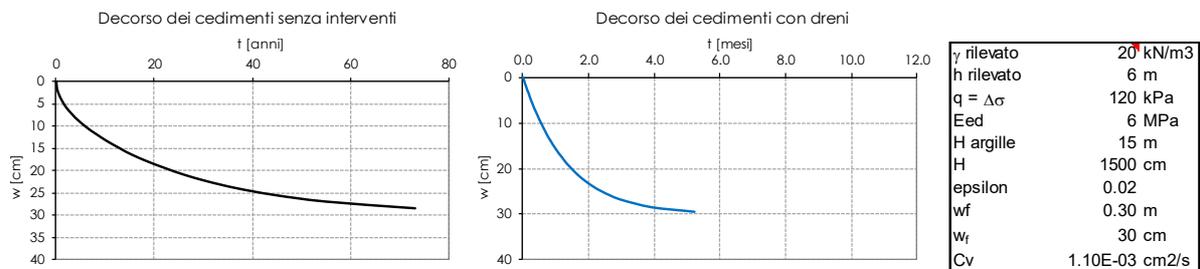
$$D = n \cdot d \quad \text{diametro di influenza del drenò}$$

$$F = \frac{n^2}{n^2-1} \cdot \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} \quad \text{parametro geometrico}$$

$$d \quad \text{diametro del drenò}$$

Ipotizzando una disposizione dei dreni a maglia quadrata, si ha $D=1.05 \cdot s$ indicando con "s" l'interasse tra i dreni.

Nel caso specifico, per un rilevato alto 6.0 m è stato stimato un cedimento di consolidazione pari a 30 cm (in condizioni edometriche) che si sviluppa in un tempo di oltre 60 anni. Ipotizzando di installare dreni sotto al rilevato, a passo 3 m, si riesce a scontare l'95% del cedimento in circa 4 mesi (v. immagine che segue), praticamente entro i tempi di costruzione del rilevato quindi compatibili con la funzionalità della struttura.



Al variare dell'altezza del rilevato varia il precarico per ogni sezione di studio. Per il dimensionamento dell'interasse dei dreni è stata presa a riferimento un'altezza rappresentativa del rilevato. Il precarico potrà essere realizzato con qualsiasi terreno e non

necessariamente con terreni da rilevato ferroviario e/o stradale. In dipendenza delle caratteristiche meccaniche dei terreni utilizzati, i rilevati di precarica potranno essere riprofilati al fine di soddisfare le verifiche di stabilità.

Si riporta di seguito una sintesi degli interventi di precarica con dreni da realizzare preventivamente la costruzione dei rilevati definitivi.

Opera	Geometria Dreni											
	P _{k,i}	P _{k,f}	L _{tratto}	Sez. Rif	H _{Ril} Pre-Carica	B _{Med}	A	i _{Trasv.}	i _{Long.}	L	n° Dreni	L _{tot} Dreni.
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]
rilevato ferrov.	5260	5400	140	106-109	5	28	3920	3	3	18	435.6	7840.0
rilevato ferrov.	5400	5600	200	109-113	4.5	28	5600	3	3	18	622.2	11200.0
rilevato ferrov.	5700	5825	125	115-118	4.2	30	3750	3	3	20	416.7	8333.3
rilevato ferrov.	7900	8050	150	159-162	6	32	4800	3	3	20	533.3	10666.7
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	20	90.7	70.7	2-5A	6	32	2300	3	3	18	255.6	4600.0
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	339.7	396	56.3	18A-21	3	22	1300	3	3	23	144.4	3322.2
PT04 - Fabbricato Energia	360	379	19	19-20	2	22	420	3	3	23	46.7	1073.3
NV06 - rilevato stradale ASSE 1	771	844	73	41-44	5	30	2200	3	3	15	244.4	3666.7
NV06 - rilevato stradale ASSE 2	39	215	176	3-12	5	30	5300	3	3	15	588.9	8833.3
NV06 - rilevato stradale ASSE 2	230	403	173	13-21(1-2)	5	30	5200	3	3	15	577.8	8666.7
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	160	400	240	9-21	2	19	4560	3	3	18	506.7	9120.0
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	460	600	140	24-31	2	20	2800	3	3	20	311.1	6222.2
NV06 - rilevato stradale ASSE 4	780	972	192	40-50	5.5	28	5300	3	3	20	588.9	11777.8
NV06 - rilevato stradale ASSE 5	40	120	80	3-10	7	20	1600	3	3	20	177.8	3555.6
NV07 - rilevato stradale ASSE 1	0	30	30	1-2	2.5	20	600	3	3	18	66.7	1200.0
NV07 - rilevato stradale ASSE 1	400	500	100	21-26	3	20	2000	3	3	18	222.2	4000.0
NV07 - rilevato stradale ASSE 2	100	130	30	6-8	7	24	720	3	3	20	80.0	1600.0
NV07 - rilevato stradale ASSE 3	120	200	80	7-11	1.5	13	1000	3	3	18	111.1	2000.0
PT01 - Piazzale di emergenza	7882	7947	65	-	6	38	2500	3	3	20	277.8	5555.6
PT02 - Piazzale di emergenza	7882	7947	65	-	7	15	1000	3	3	20	111.1	2222.2
PT03 - Piazzale SSE	7950	8100	150	-	6	65	9750	3	3	20	1083.3	21666.7
rilevato ferrov. Varainte km 48	4250	5300	1050	86-107	4	20	21000	3	3	15	2333.3	35000.0
NV04 - rilevato stradale ASSE1	140	360	220	8-19	*	22	4840	3	3	14	537.8	7528.9
NV04 - rilevato stradale ASSE1	480	1340	860	25-68	*	32	27520	3	3	14	3057.8	42808.9

* limitatamente ai rilevati stradali della NV04, si prevede intervento solo con dreni senza utilizzo del rilevato di precarica provvisorio

Per il controllo dei binari in esercizio è previsto il monitoraggio della linea storica, e dei binari in progetto con rilievi e livellamento del binario in più fasi. Il controllo continuo nel tempo della corretta geometria del binario in esercizio resta in carico all'appaltatore.

Durante tutte le fasi di consolidazione dovranno essere monitorati adeguatamente i cedimenti sia del rilevato di precarica sia della linea in esercizio mediante treno di analisi. Il monitoraggio dovrà protrarsi per tutte le fasi di costruzione del rilevato stradale e ferroviario in dipendenza delle caratteristiche geometriche del rilevato di precarica (altezza ed estensione planimetriche) e delle caratteristiche locali del terreno.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	147 di 260

9.3.-..VALUTAZIONE NUMERICA DEL CEDIMENTO – ANALISI ELEMENTI FINITI

Al fine di chiarire meglio i motivi che hanno portato alla scelta progettuale del Deep Mixing, si riporta di seguito lo studio effettuato con il metodo degli elementi finiti Plaxis 2D su tre sezioni particolari:

- Sez 81 – pk 4+000
- Sez 153 – pk 7+600
- Sez 135 – pk 6+700

9.3.1.-..SEZIONE 81 – PK 4+000

Schematicamente alla progressiva 4+000 le fasi realizzative possono così sintetizzarsi:

1. Linea storica in esercizio;
2. Realizzazione binario pari;
3. Esercizio ferroviario sul binario pari;
4. Realizzazione binario dispari;
5. Esercizio ferroviario su binario pari e dispari.

Nel modello di calcolo nessun intervento di miglioramento del terreno è stato simulato. Lo studio bidimensionale è stato svolto trascurando gli effetti legati alle sovrappressioni interstiziali che si generano nel terreno e al loro conseguente tempo di dissipazione. Il cedimento che si visualizza dunque è un cedimento totale.

Lo scopo è quello di dimostrare che anche un intervento mirato ad accelerare la conclusione dei processi di consolidazione (dreni + precarica) porterebbe a cedimenti indotti incompatibili con l'esercizio ferroviario.

Di seguito si mostrano le fasi di realizzazione (el. RS3Z00D78W9IF0104014B)

[Nero] – Situazione attuale – linea storica

[Magenta] – Realizzazione binario pari

[Verde] – Realizzazione binario dispari



La sezione 81 è particolarmente significativa allo scopo in quanto presenta una distanza di circa 10m tra l'asse del binario pari e la linea storica in esercizio; inoltre, il rilevato di nuova costruzione risulta essere moderatamente basso (circa 2m) rispetto alle altezze incontrate sulla linea in progetto.

Il fine è quello di mostrare che anche condizioni che possono ritenersi di modesto impatto per la problematica analizzata conducano all'esigenza di intervenire per mitigare gli effetti indotti sul binario in esercizio durante le lavorazioni della specifica fase realizzativa. Il modello di calcolo agli elementi finiti è stato realizzato in Plaxis2d replicando le fasi di realizzazione dell'opera descritte. Si riporta di seguito una breve descrizione del modello:

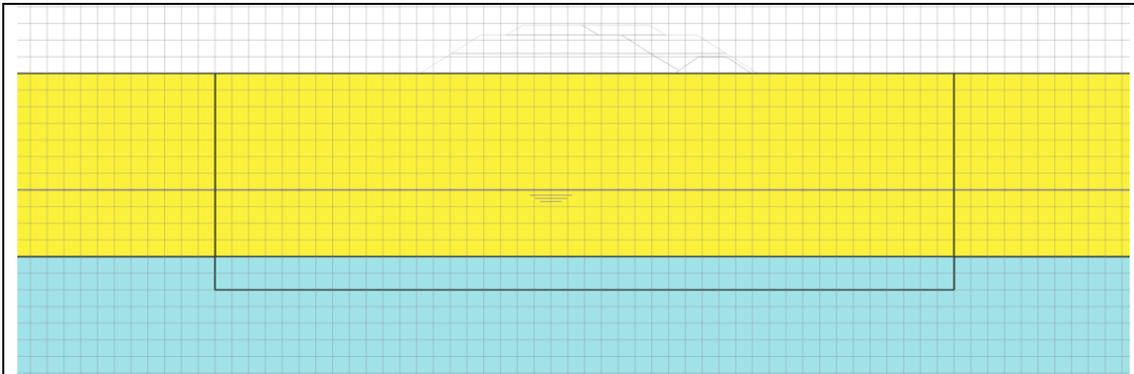
- Modello di riferimento terreno Mohr Coulomb:
- Caratteristiche meccaniche

Soil Name	b1	b3	AVF/2	Rilevato	Ballast
Material Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Elastic
Drainage Type	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour					
γ_{unsat} (KN/m ³)	19.5	19	22.5	20	18
γ_{sat} (KN/m ³)	19.5	19	22.5	20	18
E (MPa)	25	7	25	35	35
ν (-)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
φ (°)	33	22	24	38	-
c (kPa)	0	10	20	0	-
K_0 (-)	0.4554	0.6254	0.5933	0.3843	1

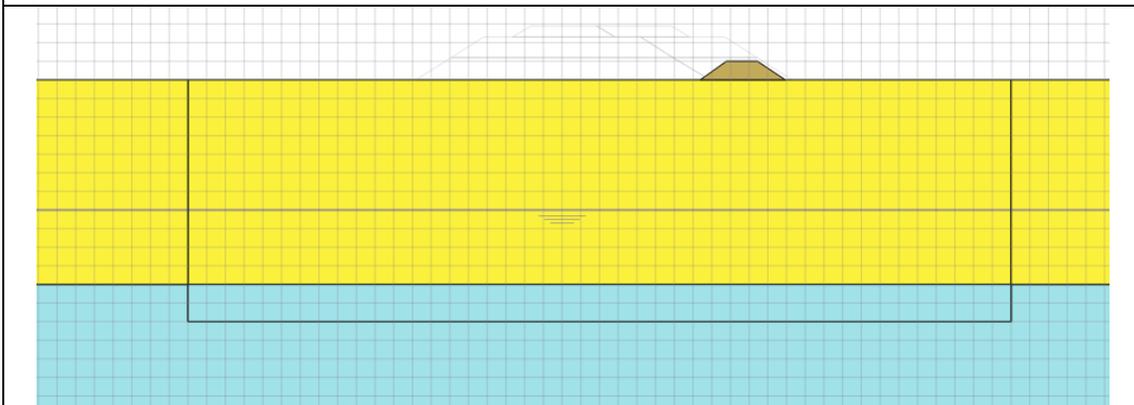
Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	149 di 260

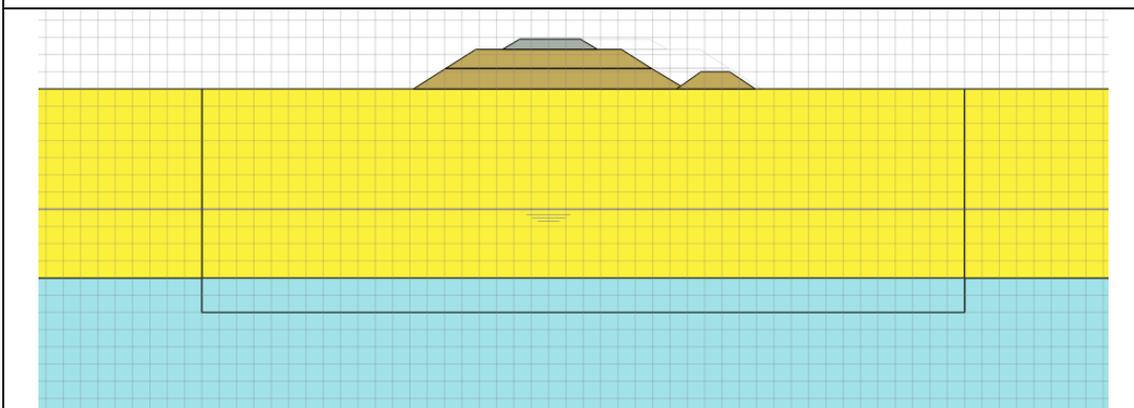
• Fasi realizzative



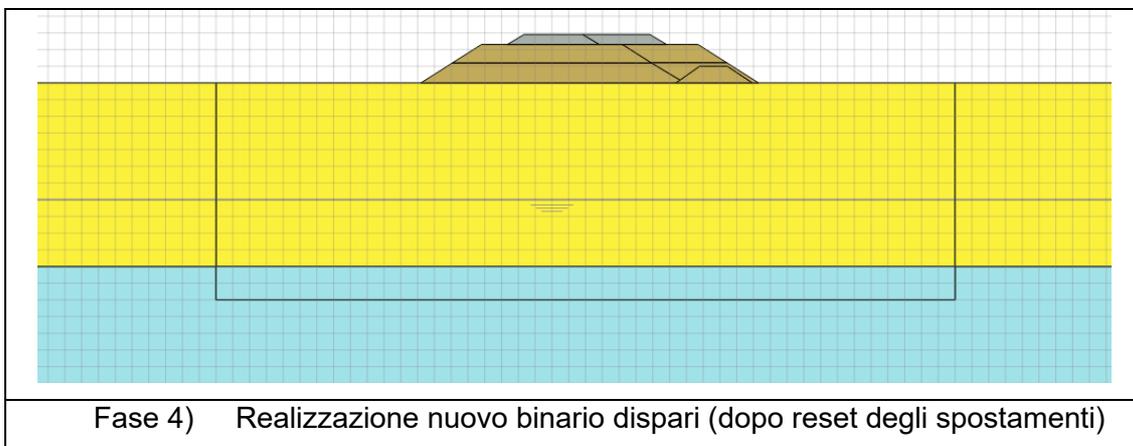
Fase 1) Condizioni geostatiche iniziali



Fase 2) Binario linea storica (condizioni attualmente in sito)



Fase 3) Realizzazione nuovo binario pari (dopo reset degli spostamenti)



Di seguito si riportano i risultati in termini di “countour” dei cedimenti verticali relativi alla Fase 3 e alla Fase 4. Come precisato in sede di descrizione delle fasi, tali spostamenti sono da riferirsi solo alla fase di realizzazione (tutti gli spostamenti e le deformazioni sono state resettate a zero nelle Fasi 2 e 3).

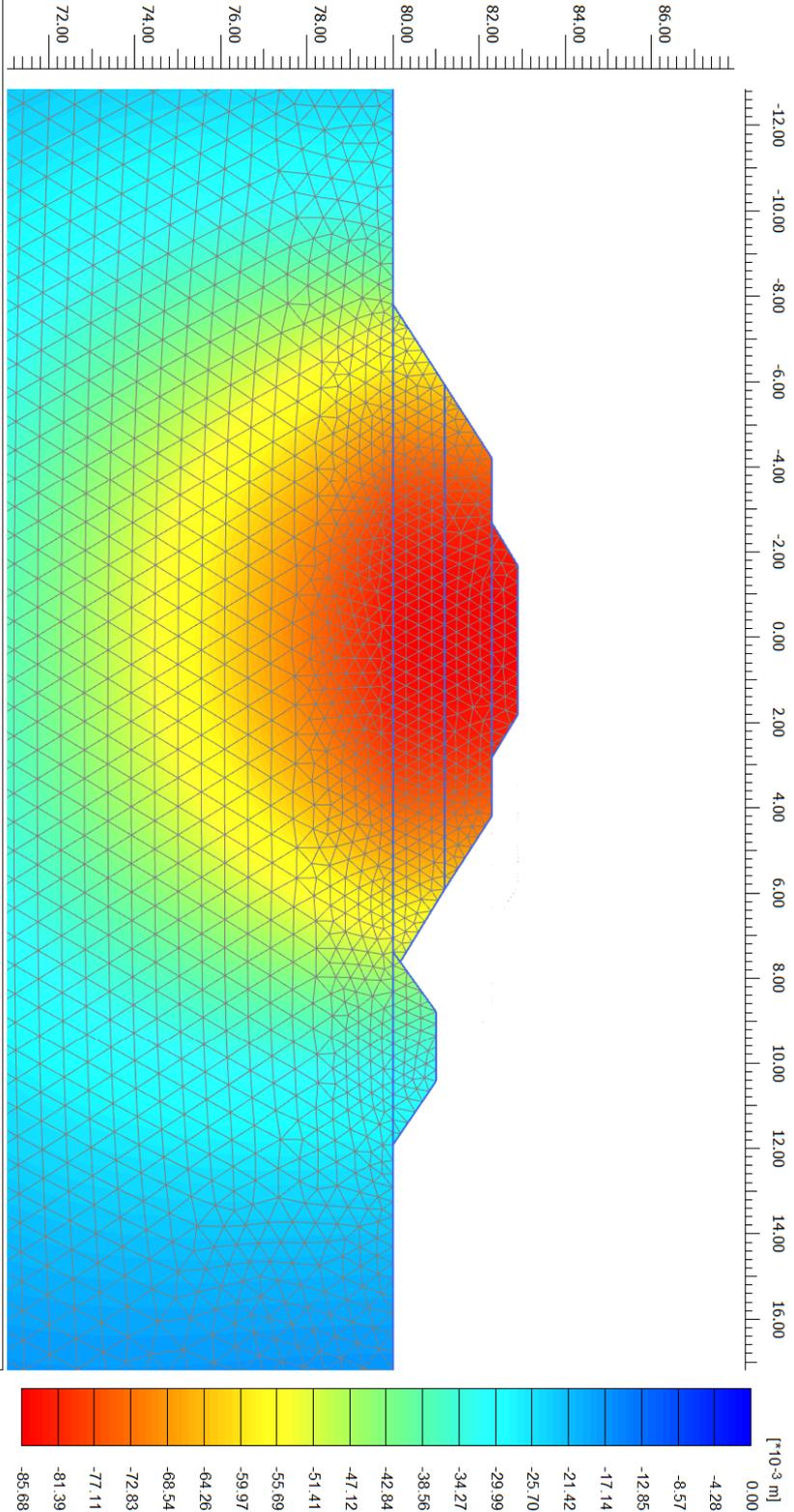
Nella tabella seguente sono illustrati i cedimenti nelle diverse fasi sul binario in esercizio e sul rilevato costruito nella fase analizzata:

Fase	Descrizione	Esercizio ferroviario	Cedimento rotaia esercizio ferroviario	Cedimento asse binario pari	Cedimento asse binario dispari
Fase 3	Realizzazione rilevato binario pari (H=2.3m)	Esercizio linea storica	3.5 cm	8.5 cm	-
Fase 4	Realizzazione binario dispari (H=2.3m)	Esercizio su binario pari	1.85 cm	1.6 cm	2.7 cm

In assenza di un intervento di miglioramento del terreno i cedimenti indotti dalla realizzazione dei nuovi rilevati comportano incompatibilità con l’esercizio ferroviario indipendentemente dalla loro traslazione nel tempo.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	151 di 260

Output Version 20.4.0.790

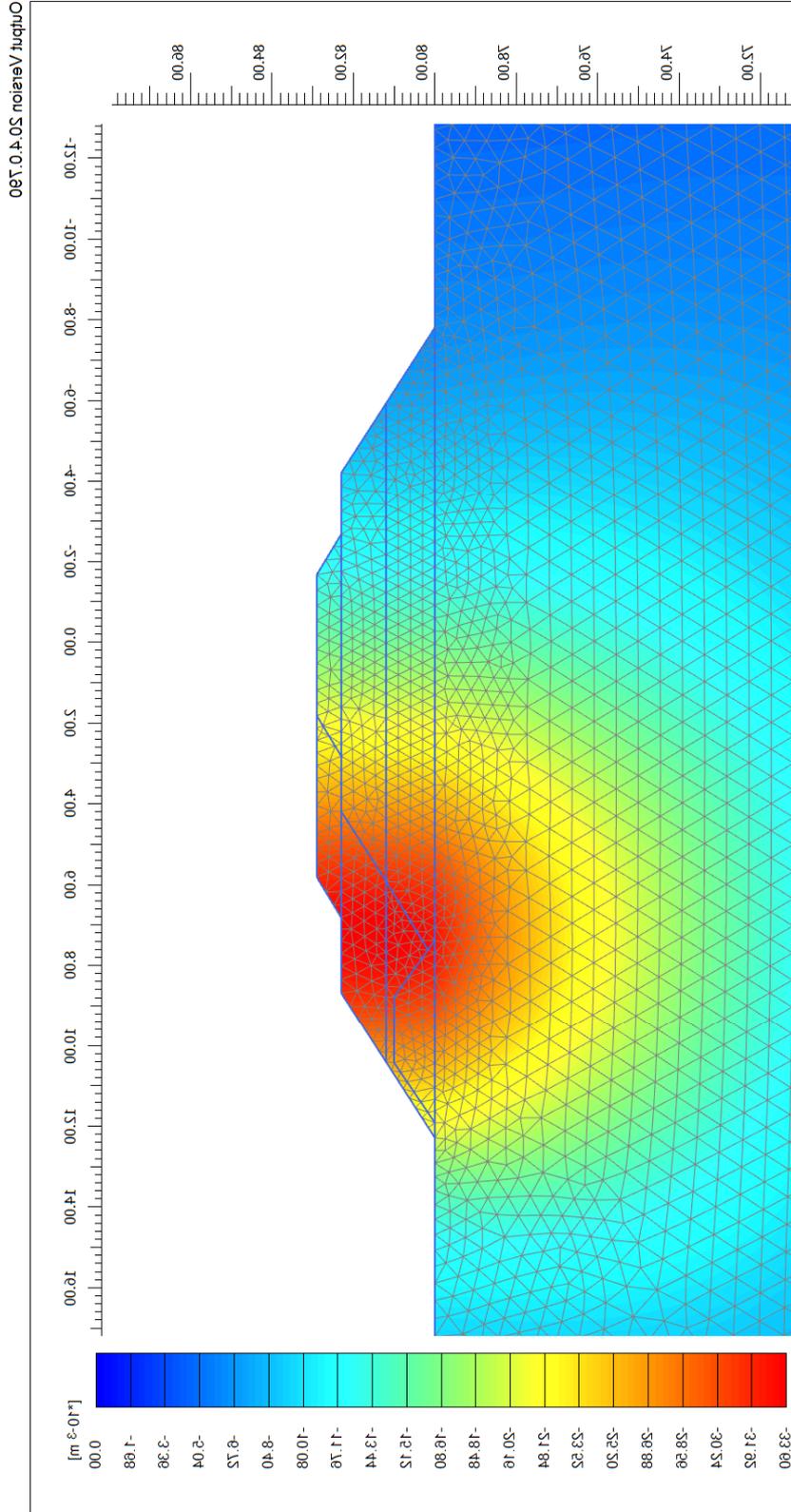


PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description	Project filename	Step	Company	Date
	Sez_81	18	Italferr Spa	12/02/2021

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	152 di 260



CONNECT Edition
PLAXIS[®] SD

Project description

Set_81
Project description

10
Date

Italferr spa
Contract

15/05/2015
Date

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	153 di 260

9.3.2.-..SEZIONE 153 – PK 7+600 (SENZA MIGLIORAMENTO)

Schematicamente alla progressiva 7+600 le fasi realizzative possono così sintetizzarsi:

1. Linea storica in esercizio;
2. Circolazione su bretella pari realizzata su rilevato della storica nella sez. 153;
3. Realizzazione binario pari
4. Realizzazione bretella dispari;
5. Esercizio sulla bretella dispari;
6. Realizzazione binario dispari;
7. Esercizio sul doppio binario pari dispari.

Si presentano nel seguito i risultati relativi a due modelli di calcolo uno in assenza di intervento di miglioramento del terreno ed uno in cui è stato simulato l'intervento di Deep Mixing. Lo studio bidimensionale è stato svolto trascurando gli effetti legati alle sovrappressioni interstiziali che si generano nel terreno e al loro conseguente tempo di dissipazione.

Di seguito si mostrano le fasi di realizzazione (el. RS3Z00D78W9IF0104023C)

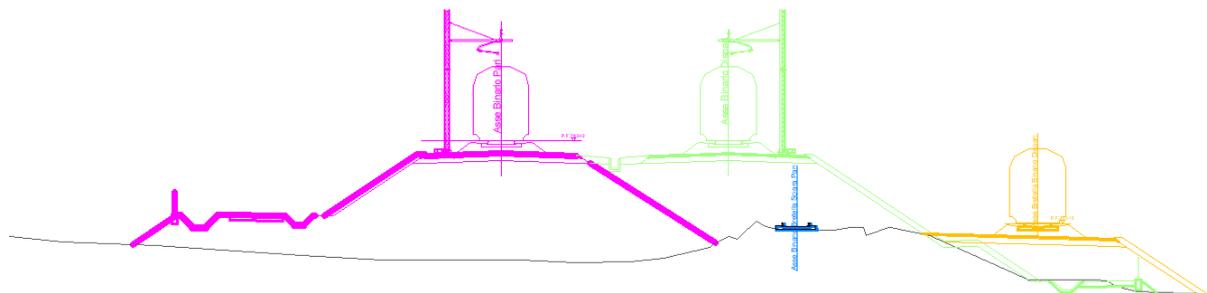
[Nero] – Situazione attuale – linea storica

[Ciano] – Spostamento esercizio ferroviario su bretella pari

[Magenta] – Realizzazione binario pari

[Giallo] – Realizzazione bretella dispari

[Verde] – Realizzazione binario dispari

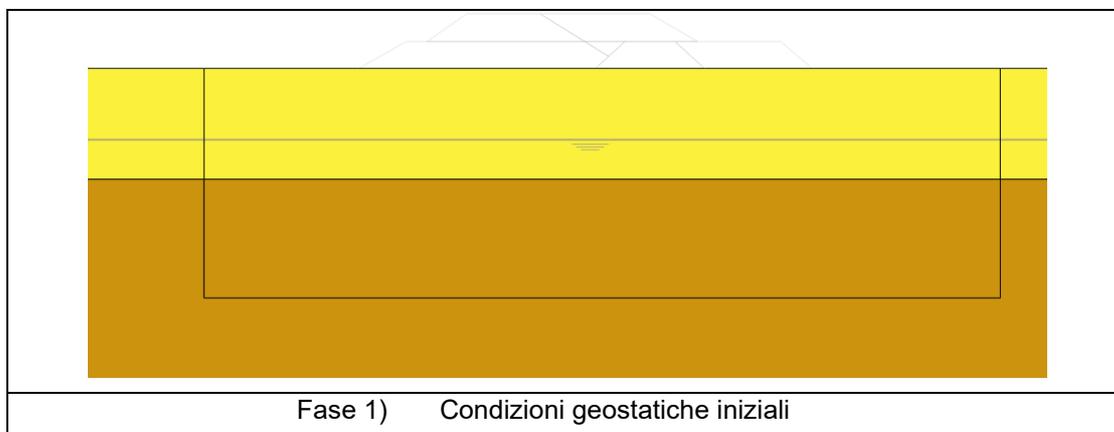


La sezione 156 è particolarmente significativa data la complessità delle fasi realizzative. L'esercizio ferroviario viene spostato dalla bretella pari alla bretella dispari al binario pari e dispari e in ogni fase la costruzione del nuovo rilevato potenzialmente può interferire con il rilevato adiacente. Il modello di calcolo agli elementi finiti è stato realizzato in Plaxis 2d replicando le fasi di realizzazione dell'opera. Si riporta di seguito una breve descrizione del modello:

- Modello di riferimento terreno Mohr Coulomb:
- Caratteristiche meccaniche

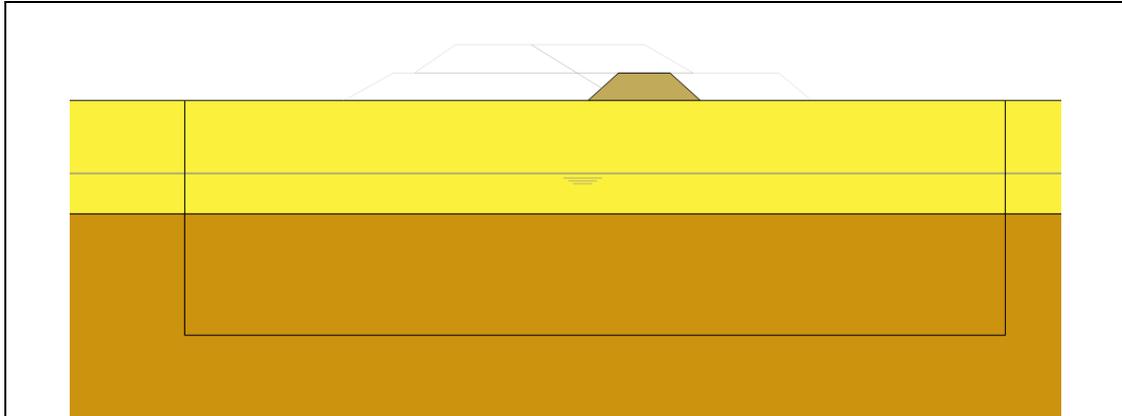
Soil Name	b1	b3	AVF/2	Rilevato
Material Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage Type	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour				
γ_{unsat} (KN/m ³)	19.5	19	22.5	20
γ_{sat} (KN/m ³)	19.5	19	22.5	20
E (MPa)	25	7	25	35
ν (-)	0.25	0.25	0.25	0.25
ϕ (°)	33	22	24	38
c (kPa)	0	10	20	0
K_0 (-)	0.4554	0.6254	0.5933	0.3843

- Fasi realizzative

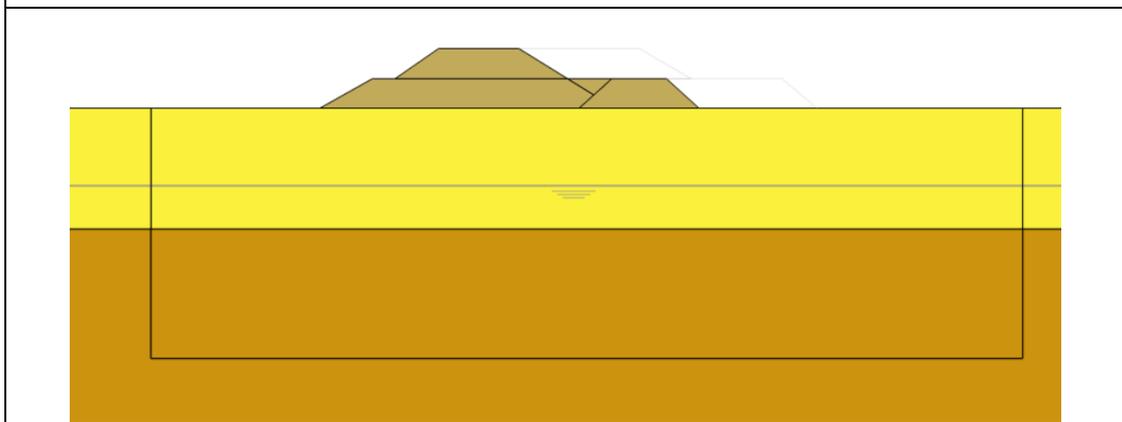


Relazione geotecnica generale

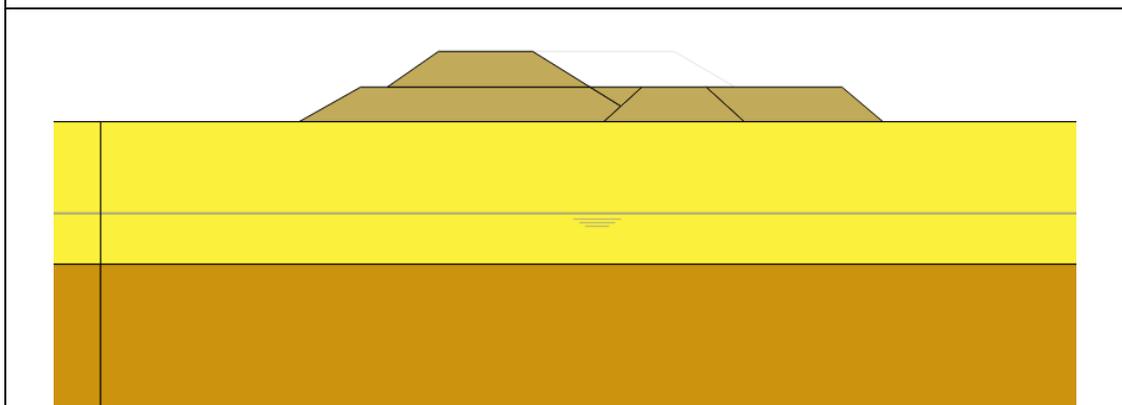
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	155 di 260



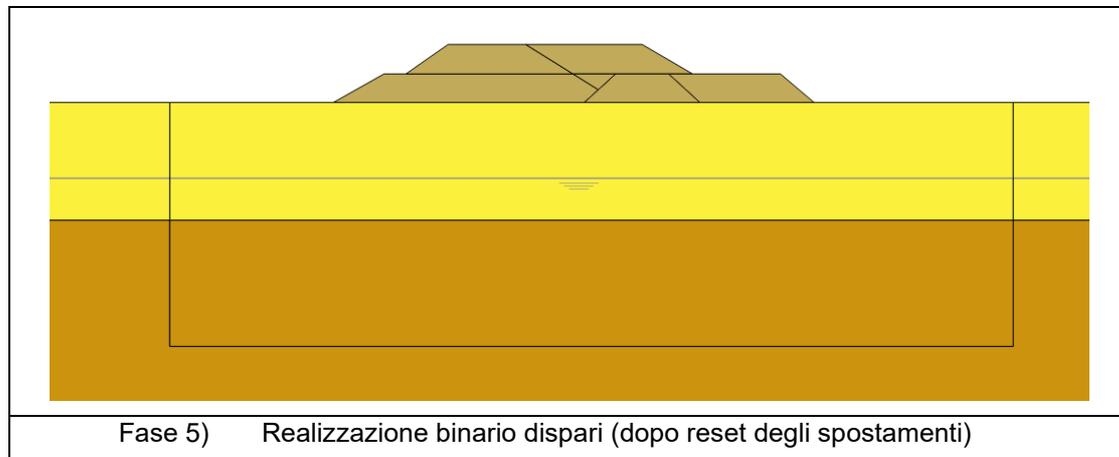
Fase 2) Binario linea storica (condizioni attualmente in sito) sede della bretella pari



Fase 3) Realizzazione nuovo binario pari (dopo reset degli spostamenti)



Fase 4) Realizzazione bretella dispari (dopo reset degli spostamenti)

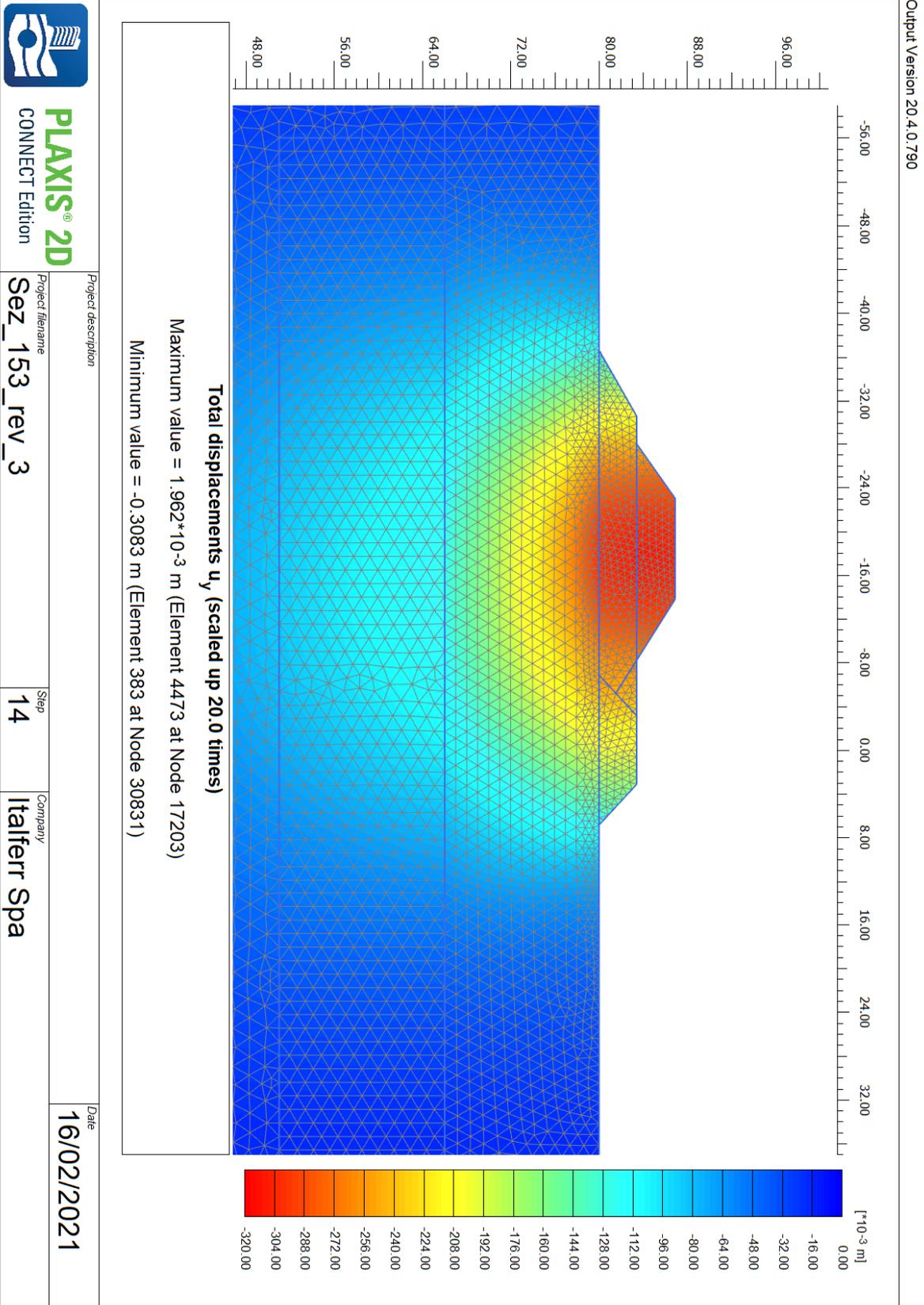


Di seguito si riportano i risultati in termini di “countour” dei cedimenti verticali relativi alla Fase 3, Fase 4 e alla Fase 5. Come precisato in sede di descrizione delle fasi, tali spostamenti sono da riferirsi solo alla fase di realizzazione (tutti gli spostamenti e le deformazioni sono state resettate a zero nelle Fasi 2, 3 e 4).

Nella tabella seguente sono illustrati gli incrementi di cedimento nelle diverse fasi sul binario in esercizio e sul rilevato costruito nella fase analizzata:

Fase	Descrizione	Esercizio ferroviario	Cedimento rotaia esercizio ferroviario	Cedimento asse binario pari	Cedimento asse bretella dispari	Cedimento asse binario dispari
Fase 3	Realizzazione rilevato pari	Esercizio bretella pari	21.0 cm	32.0 cm	-	-
Fase 4	Realizzazione bretella dispari	Esercizio su bretella pari	5.8 cm (26.8 cm) ¹	1.2 cm (26.8 cm) ¹	11.6 cm	-
Fase 5	Realizzazione binario dispari	Esercizio su bretella dispari	16.5 cm (43.3 cm) ¹	6.4 cm (33.2 cm) ¹	16.5 cm (28.1 cm) ¹	13.7 cm

In assenza di un intervento di miglioramento del terreno i cedimenti indotti dalla realizzazione dei nuovi rilevati inducono cedimenti incompatibili con l'esercizio ferroviario indipendentemente dalla loro traslazione nel tempo.



COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	158 di 260



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project filename
Sez_153_rev_3

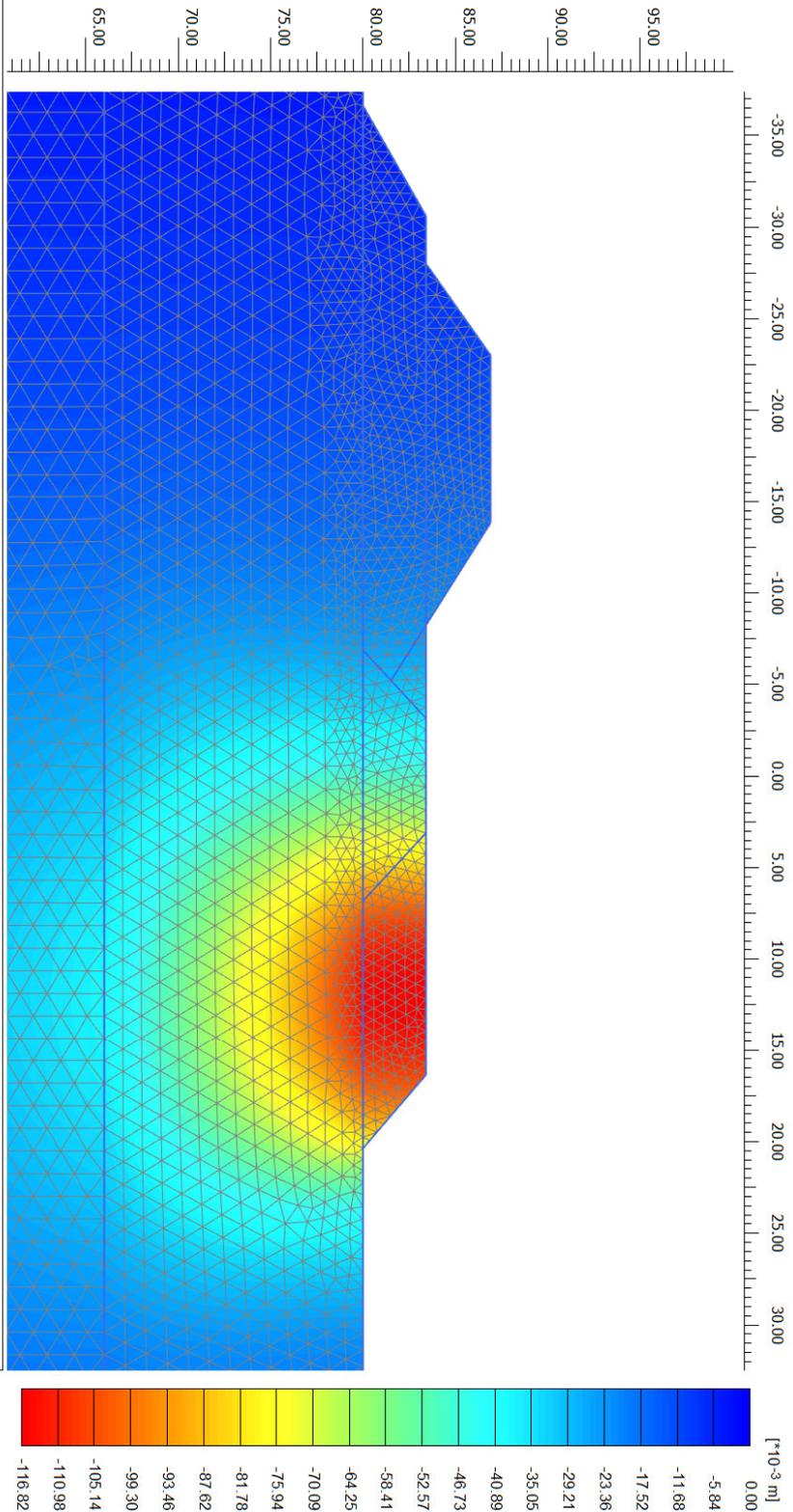
Step
6

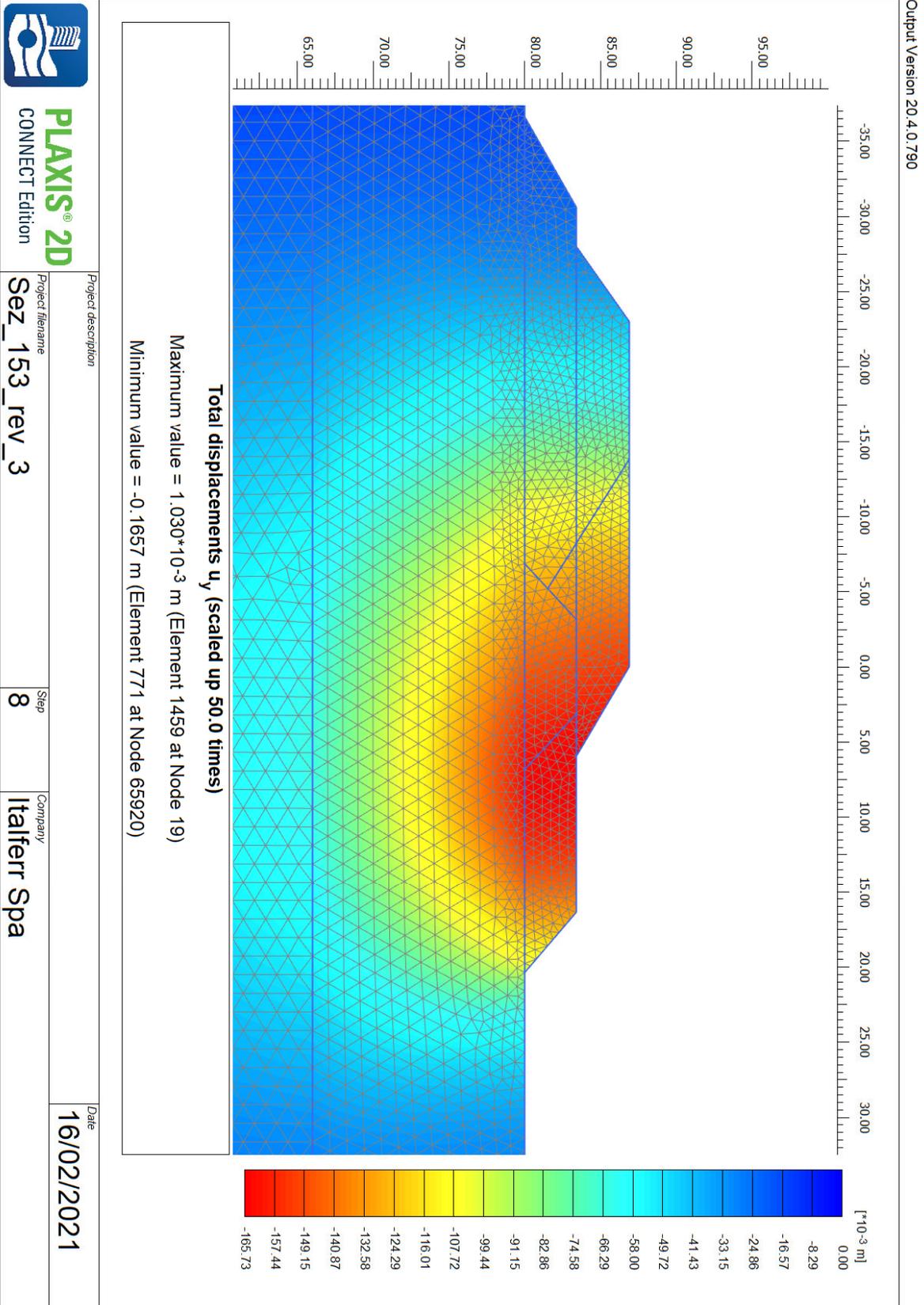
Company
Italferr Spa

Date
16/02/2021

Project description

Total displacements u_y (scaled up 50.0 times)
Maximum value = $0.5994 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1459 at Node 17)
Minimum value = -0.1168 m (Element 746 at Node 67766)

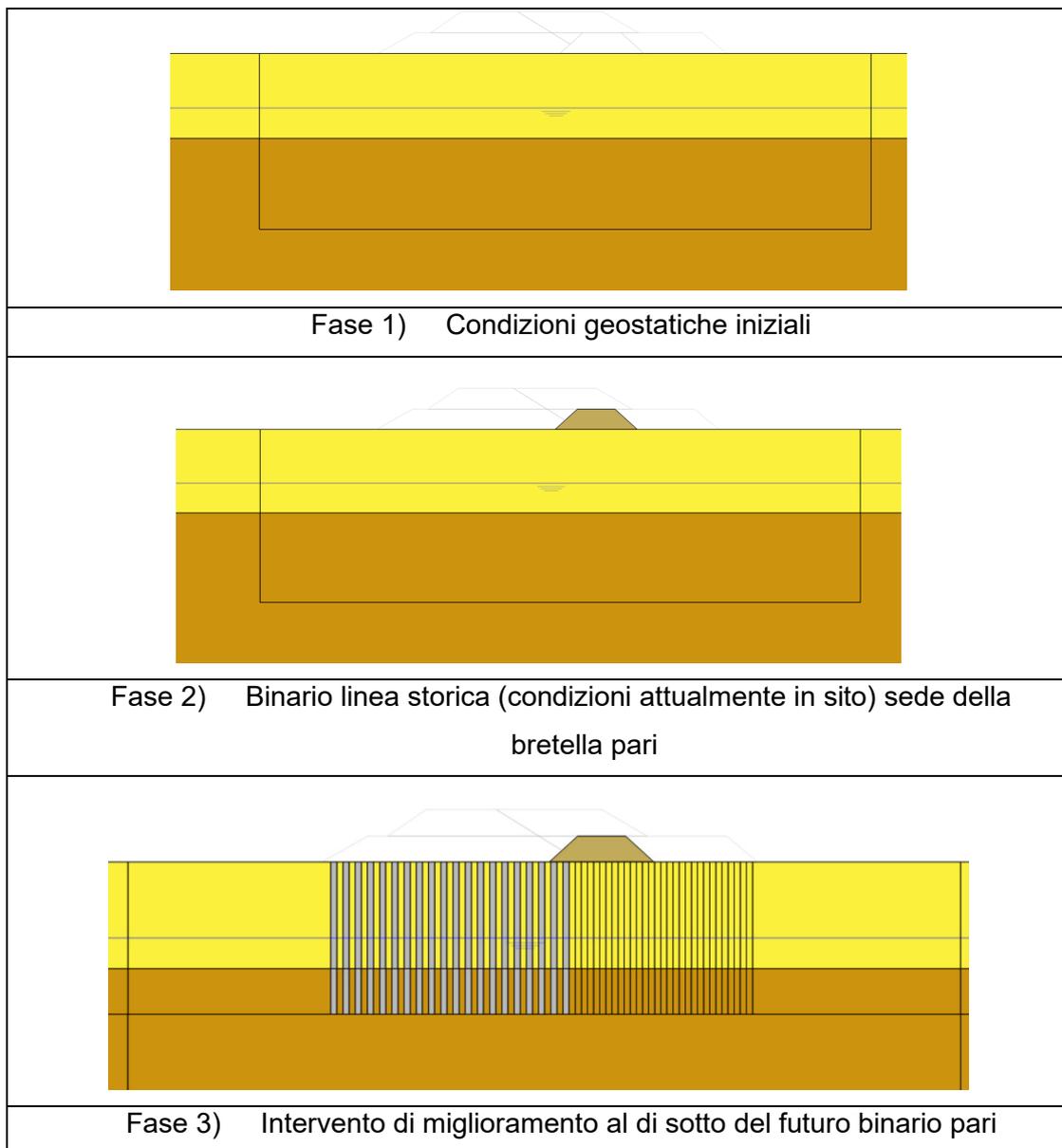


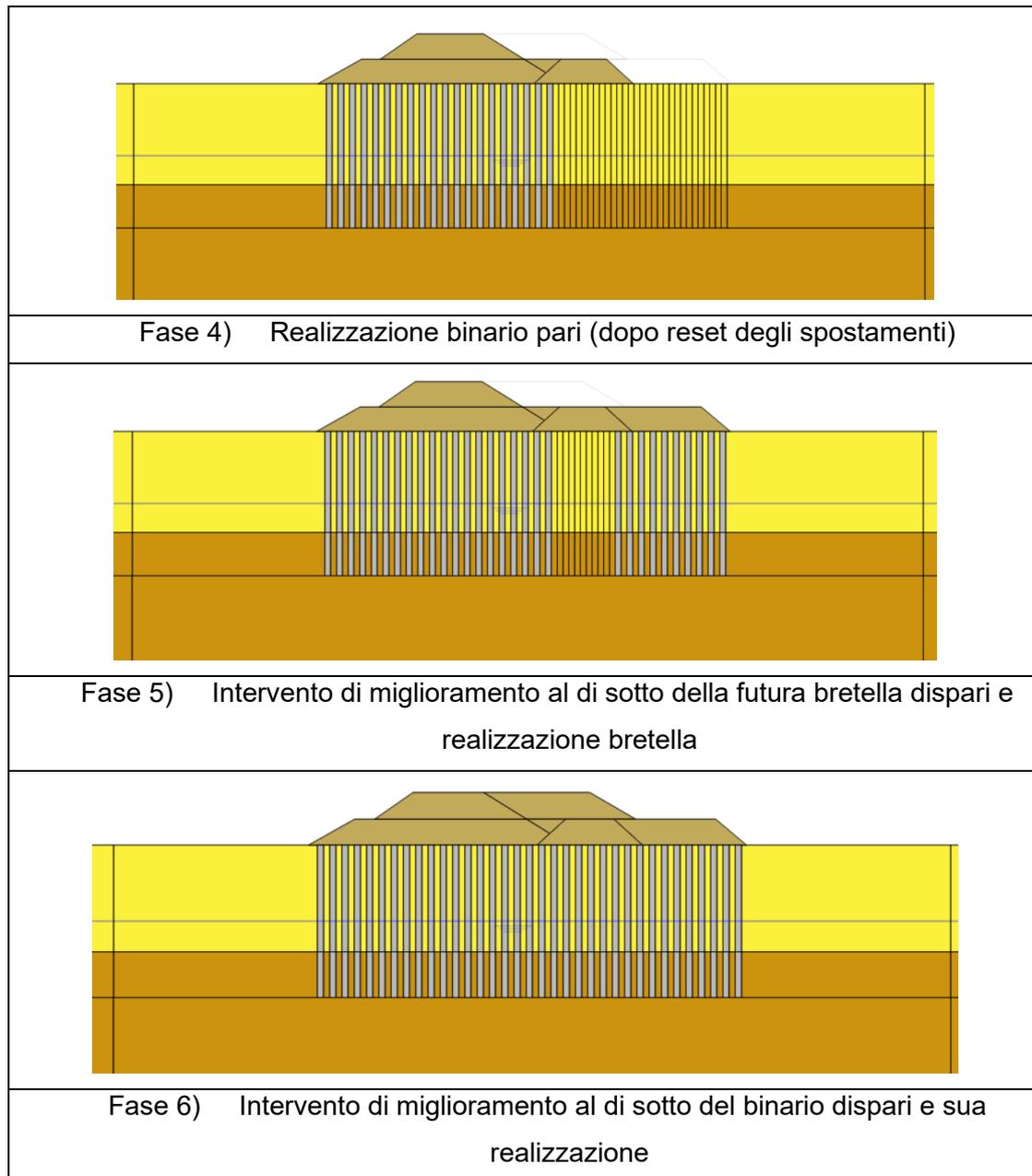


9.3.3.-..SEZIONE 153 – PK 7+600 (CON MIGLIORAMENTO DEEP MIXING)

Nello stesso modello di calcolo presentato nel precedente paragrafo è stata simulata la presenza delle colonne di Deep Mixing al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione.

• Fasi realizzative

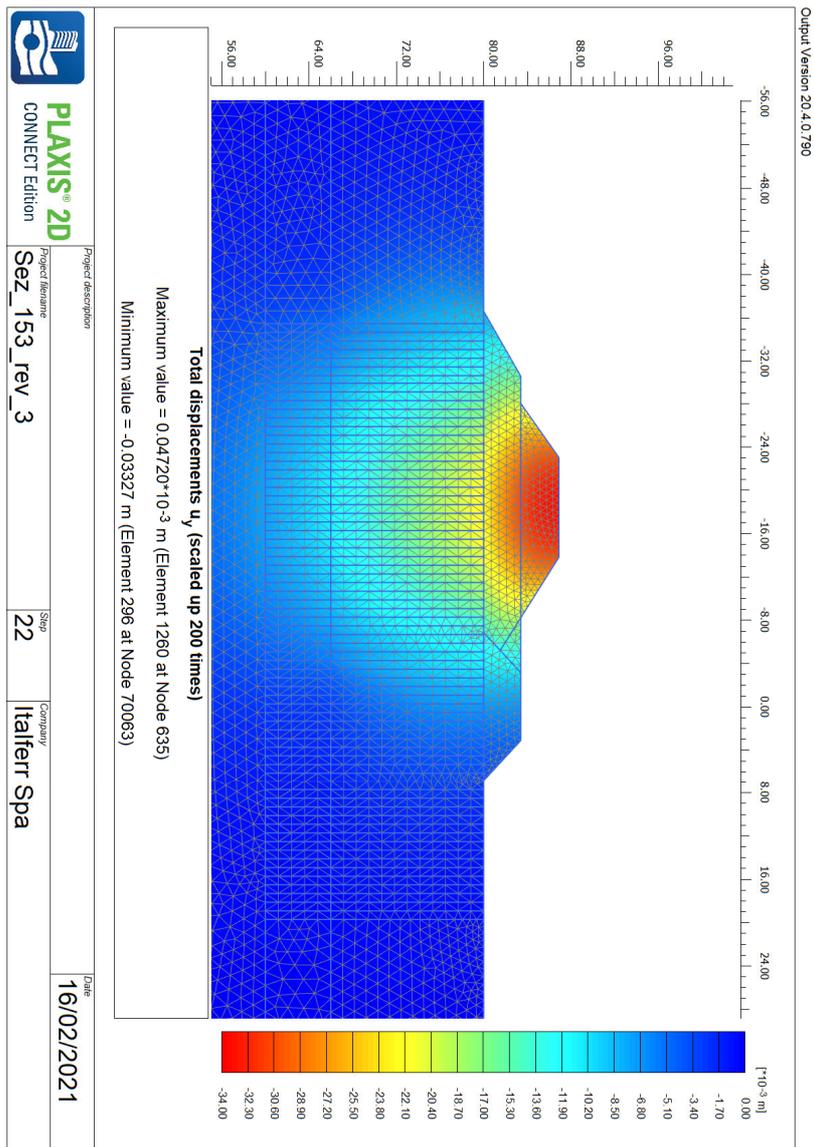


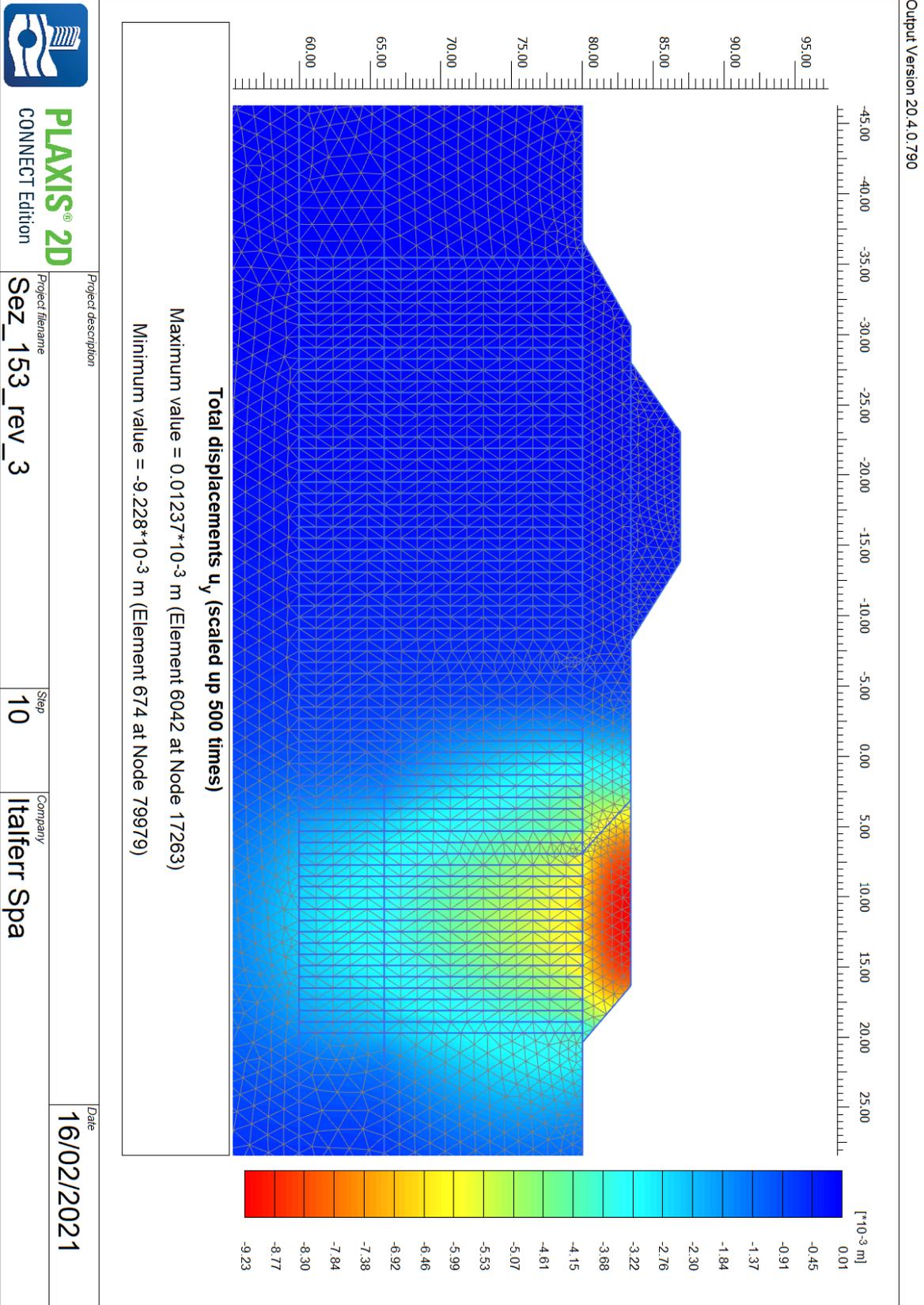


Di seguito si riportano i risultati in termini di “countour” dei cedimenti verticali relativi alla Fase 4, Fase 5 e alla Fase 6. Come precisato in sede di descrizione delle fasi, tali spostamenti sono da riferirsi solo alla fase di realizzazione (tutti gli spostamenti e le deformazioni sono state resettate a zero nelle Fasi 3, 4 e 5).

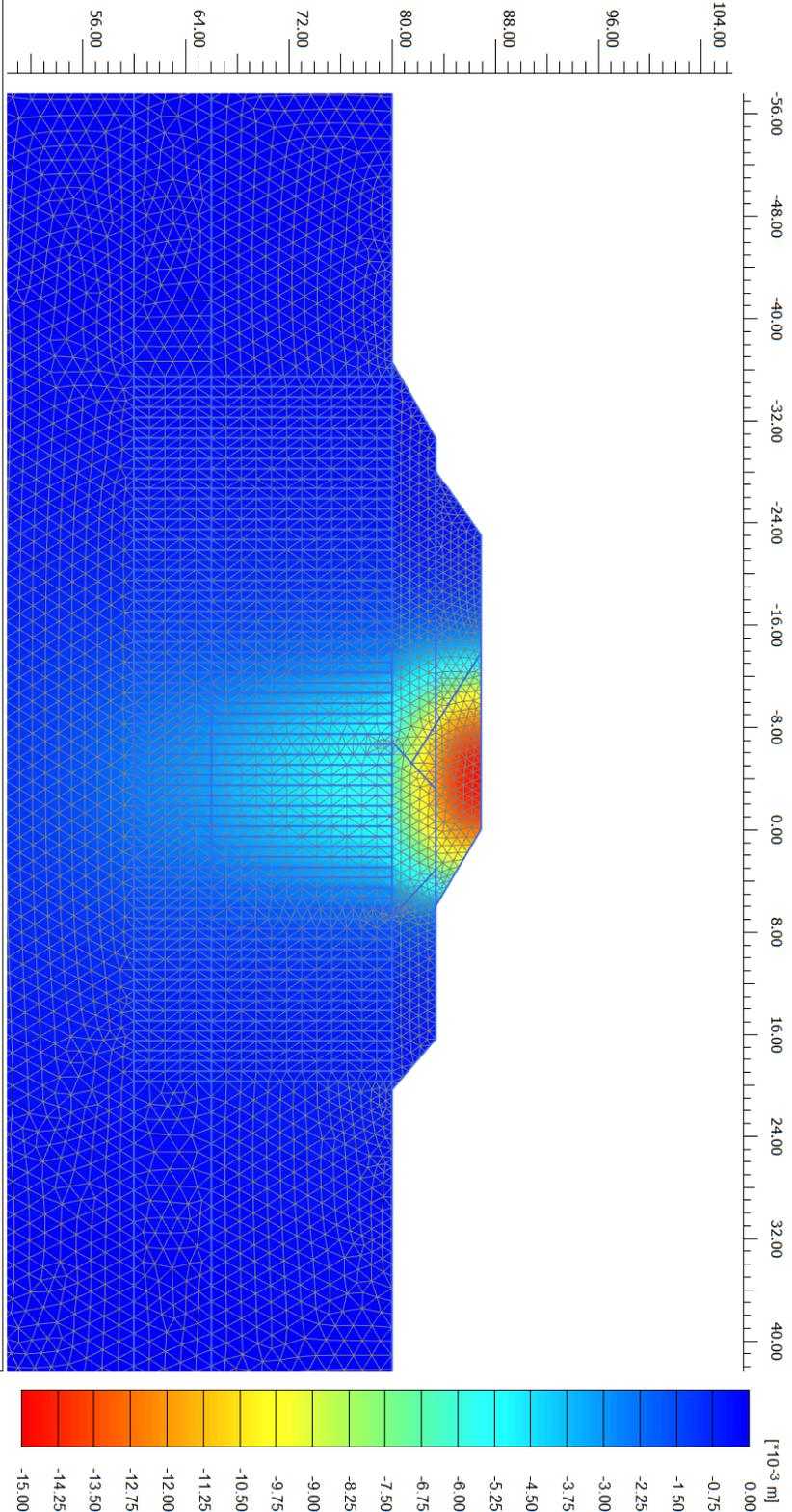
Nella tabella seguente sono illustrati i cedimenti nelle diverse fasi sul binario in esercizio e sul rilevato costruito nella fase analizzata:

Fase	Descrizione	Esercizio ferroviario	Cedimento rotaia esercizio ferroviario	Cedimento asse binario pari	Cedimento asse bretella dispari	Cedimento asse binario dispari
Fase 4	Realizzazione rilevato pari	Esercizio bretella pari	0.56 cm	2.5 cm	-	-
Fase 5	Realizzazione bretella dispari	Esercizio su bretella pari	0.30 cm (0.86 cm)	0.02 cm (2.52 cm)	0.92 cm	-
Fase 6	Realizzazione binario dispari	Esercizio su bretella dispari	0.8 cm	0.14 cm (2.66 cm)	0.11 cm (1.03 cm)	1.4 cm





Output Version 20.4.0.790



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Project filename
Sez_153_rev_3

Step
15

Company
Italferr Spa

Date
16/02/2021

9.3.4.-...SEZIONE 135– PK 6+700

Schematicamente alla progressiva 6+700 le fasi realizzative possono così sintetizzarsi:

1. Linea storica in esercizio;
2. Scavo in adiacenza alla linea storica per realizzazione SL03 (binario pari);
3. Completamento SL03 e spostamento esercizio ferroviario su binario pari;
4. Realizzazione SL04;
5. Completamento SL04 e spostamento esercizio ferroviario su binario dispari;
6. Esercizio sul doppio binario pari dispari.

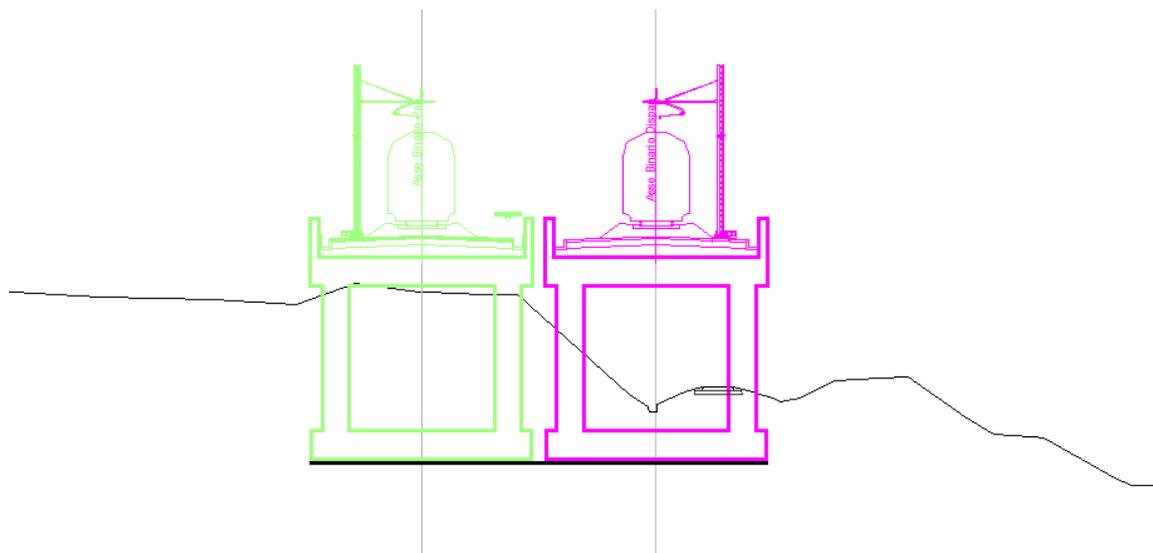
Nel modello di calcolo nessun intervento di miglioramento del terreno è stato simulato. Lo studio bidimensionale è stato svolto trascurando gli effetti legati alle sovrappressioni interstiziali che si generano nel terreno e al loro conseguente tempo di dissipazione. Il cedimento che si visualizza dunque è un cedimento totale.

Di seguito si mostrano le fasi di realizzazione (el. RS3Z00D78W9IF0104020C)

[Nero] – Situazione attuale – linea storica

[Verde] – Realizzazione scatolare SL03 e spostamento esercizio su binario pari

[Magenta] – Realizzazione scatolare SL04 e spostamento esercizio su binario dispari



La sezione 135 è particolarmente significativa data la presenza dei due scatolari in adiacenza. Lo studio vuole mostrare come la realizzazione del binario dispari induca cedimenti sullo scatolare del binario pari ove è attivo l'esercizio ferroviario.

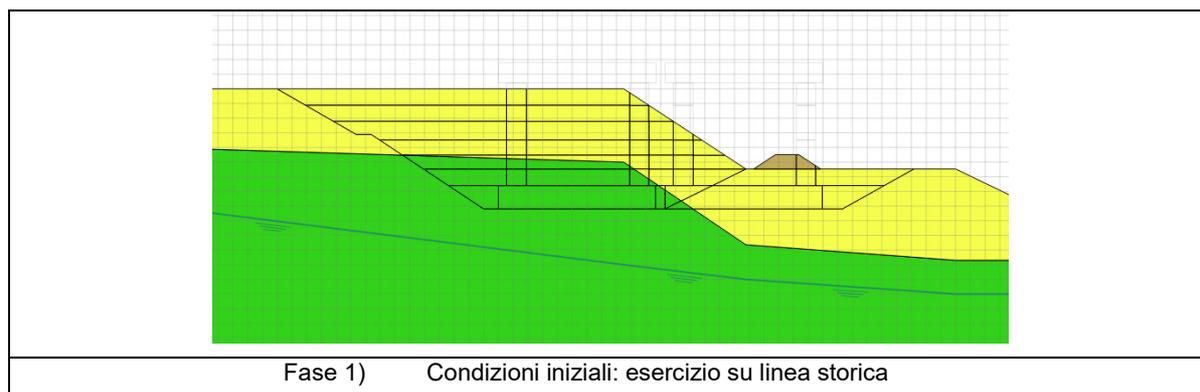
Il modello di calcolo agli elementi finiti è stato realizzato in Plaxis 2d replicando le fasi di realizzazione dell'opera. Si riporta di seguito una breve descrizione del modello:

- Modello di riferimento terreno Hardening Soil (al fine di simulare correttamente il comportamento in scarico del terreno):
- Caratteristiche meccaniche

Soil Name	b1	b3	AVF/1	Rilevato	CLS
Material Model	Mohr-Coulomb	Hardening Soil	Hardening Soil	Mohr-Coulomb	Elastic
Drainage Type	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour					
γ_{unsat} (KN/m ³)	19.5	20	22.5	20	25
γ_{sat} (KN/m ³)	19.5	20	22.5	20	25
E_{50}^{ref} (MPa)	20	7	40	35	32000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (MPa)	-	21	120	-	-
ν (-)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
φ (°)	33	22	40	38	-
c (kPa)	0	10	15	0	-
K_0 (-)	0.4554	0.6254	0.3572	0.3843	1

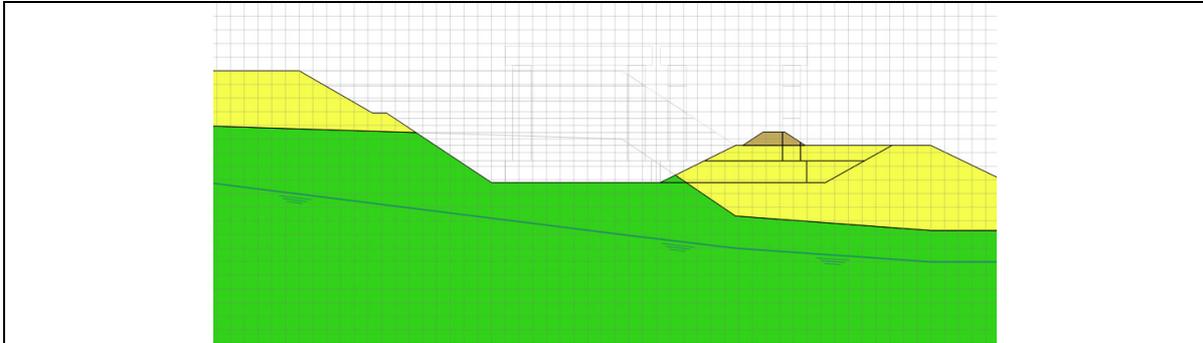
Nel modello di calcolo in testa agli scatolari sono stati applicati 18kN/m/m al fine di modellare i permanenti ferroviari.

- Fasi realizzative:

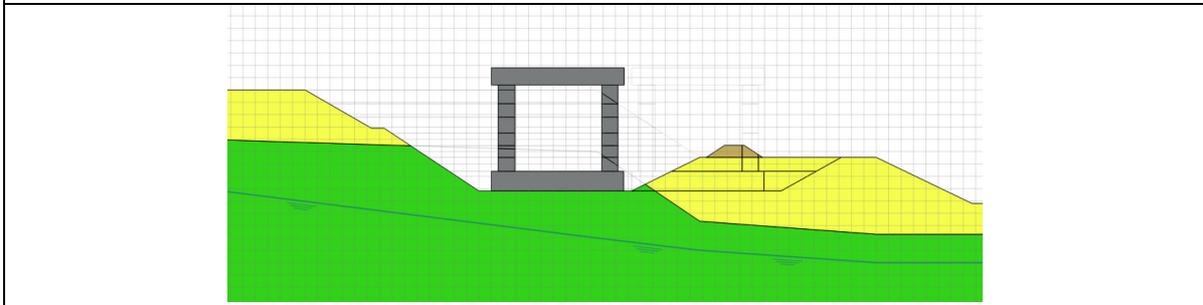


Relazione geotecnica generale

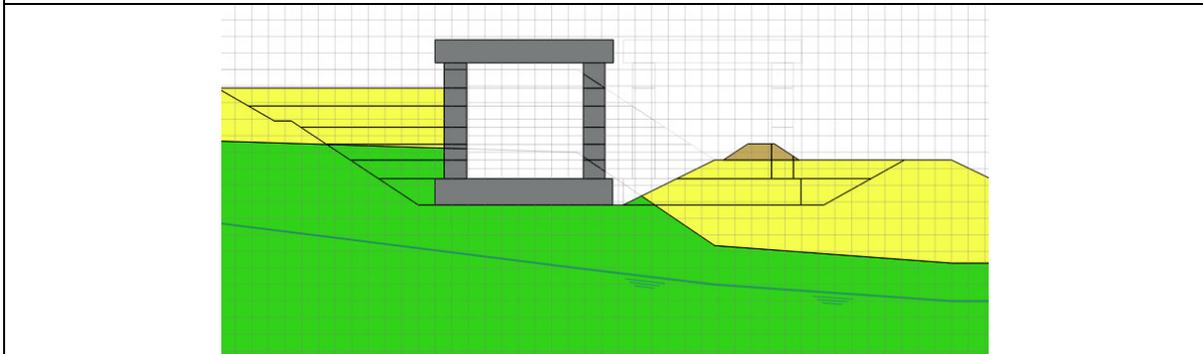
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	167 di 260



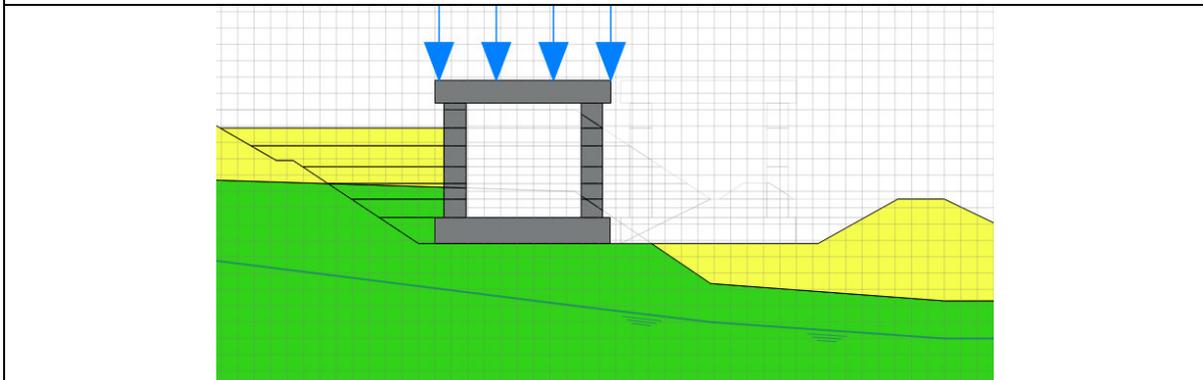
Fase 2) Scavo in più fasi fino al piano di fondazione scatolare binario pari (dopo reset spostamenti)



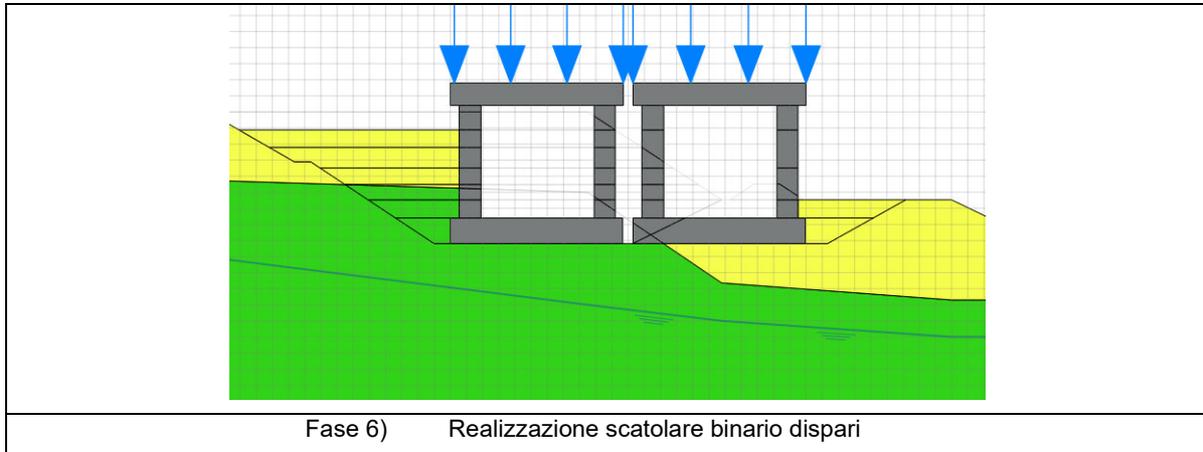
Fase 3) Realizzazione scatolare binario pari



Fase 4) Riempimento a tergo dello scatolare binario pari



Fase 5) Scavo in più fasi fino al piano di fondazione scatolare binario dispari (dopo reset spostamenti)



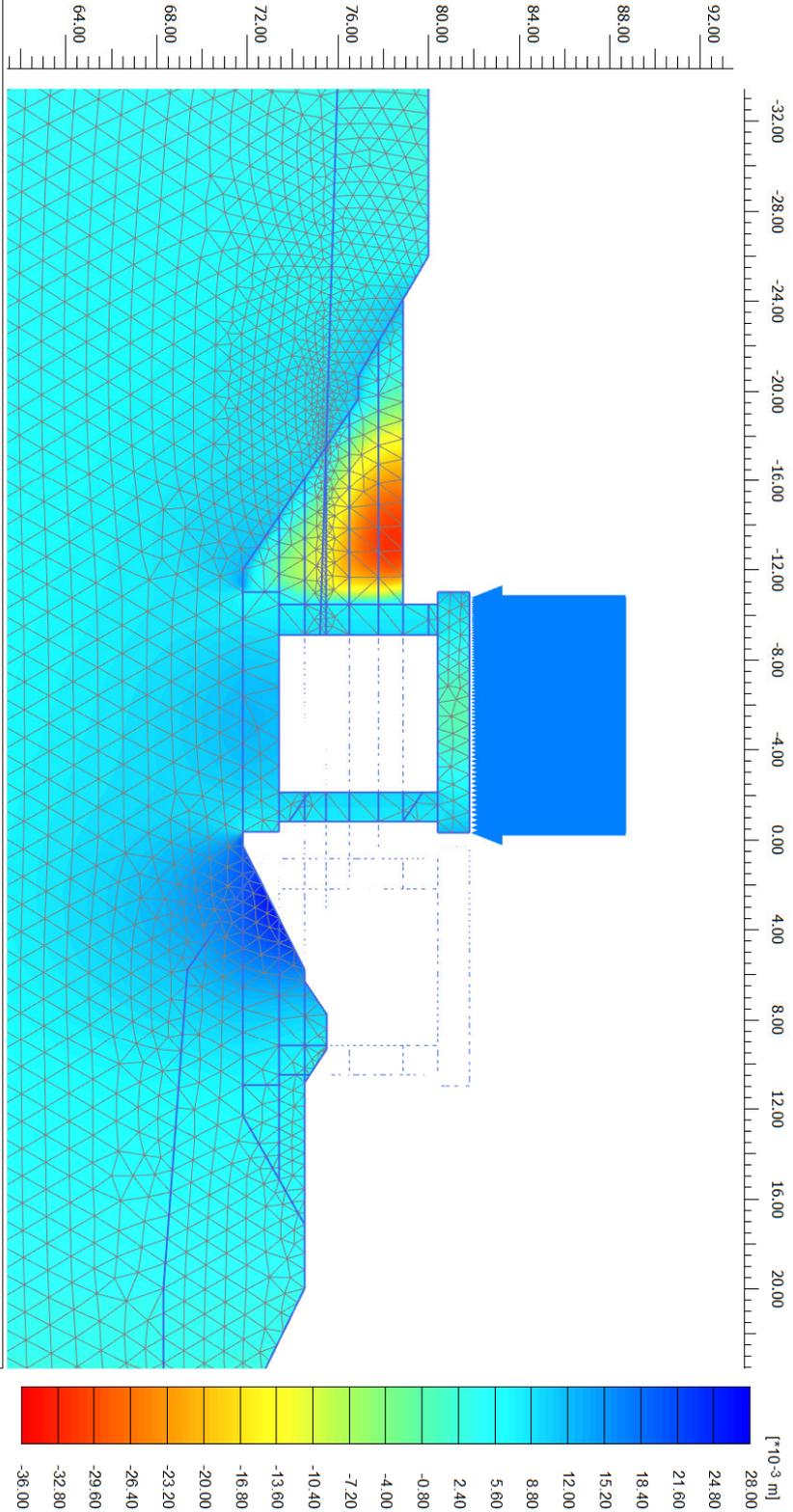
Di seguito si riportano i risultati in termini di “countour” dei cedimenti verticali relativi alla Fase 5 e alla Fase 6. Gli spostamenti rappresentati si riferiscono alla fase di realizzazione del singolo scatolare così da poter osservare l’effetto della costruzione dello scatolare del binario pari sulla linea storica e l’effetto della costruzione dello scatolare del binario dispari sullo scatolare del binario pari.

Nella tabella seguente sono illustrati i cedimenti nelle diverse fasi sul binario in esercizio:

Fase	Descrizione	Esercizio ferroviario	Cedimento rotaia esercizio ferroviario	Cedimento asse binario pari	Cedimento asse binario dispari
Fase 5	Realizzazione scatolare binario pari	Linea storica	(-1.3 cm) 0.00	0.5 cm	-
Fase 6	Realizzazione scatolare binario dispari	Esercizio su binario pari	1.8 cm	1.48 cm	4.8 cm

In assenza di un intervento di miglioramento del terreno i cedimenti indotti dalla realizzazione dello scatolare del binario dispari inducono cedimenti incompatibili con l’esercizio ferroviario sullo scatolare del binario pari indipendentemente dalla loro traslazione nel tempo.

Output Version 20.4.0.790

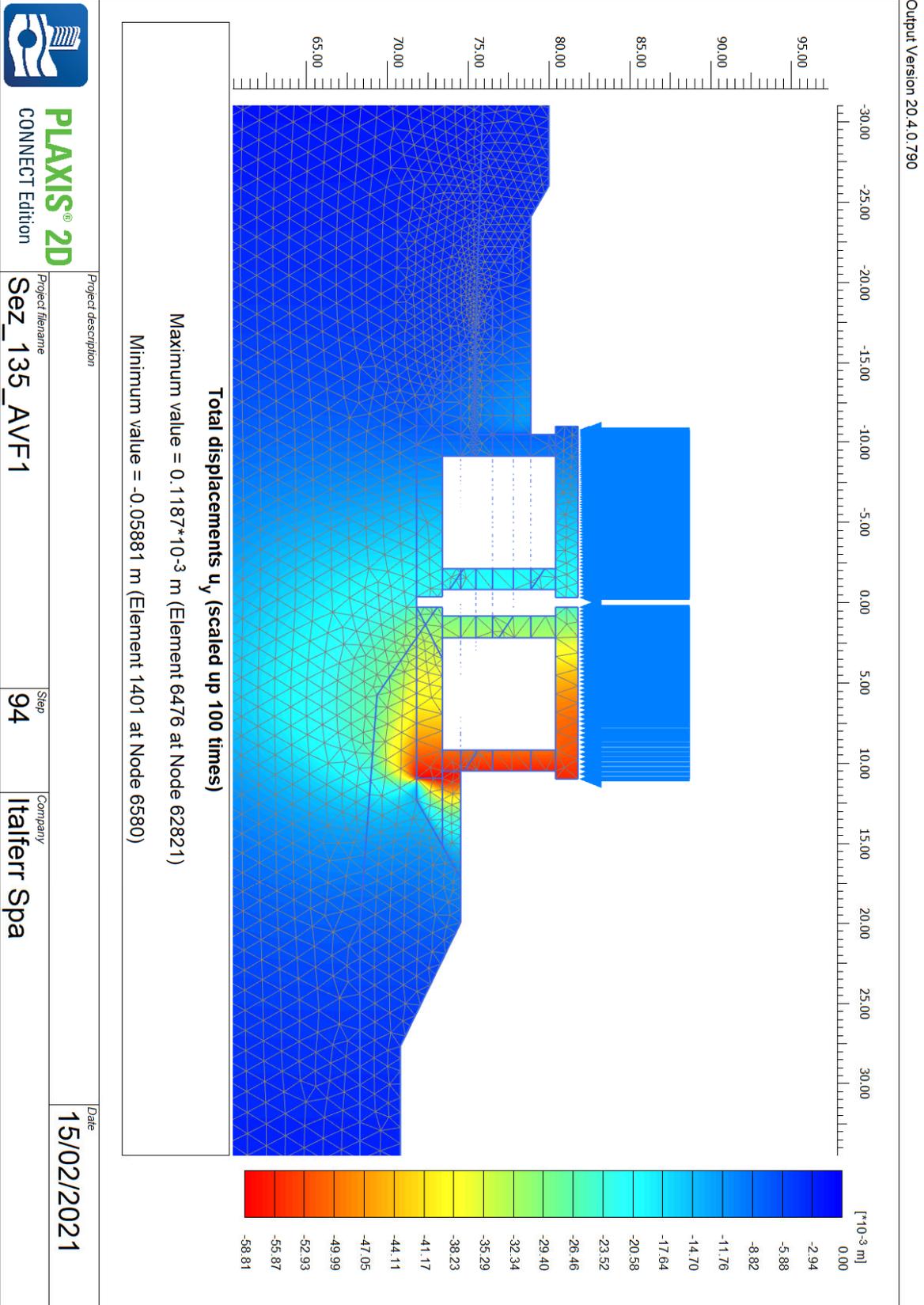


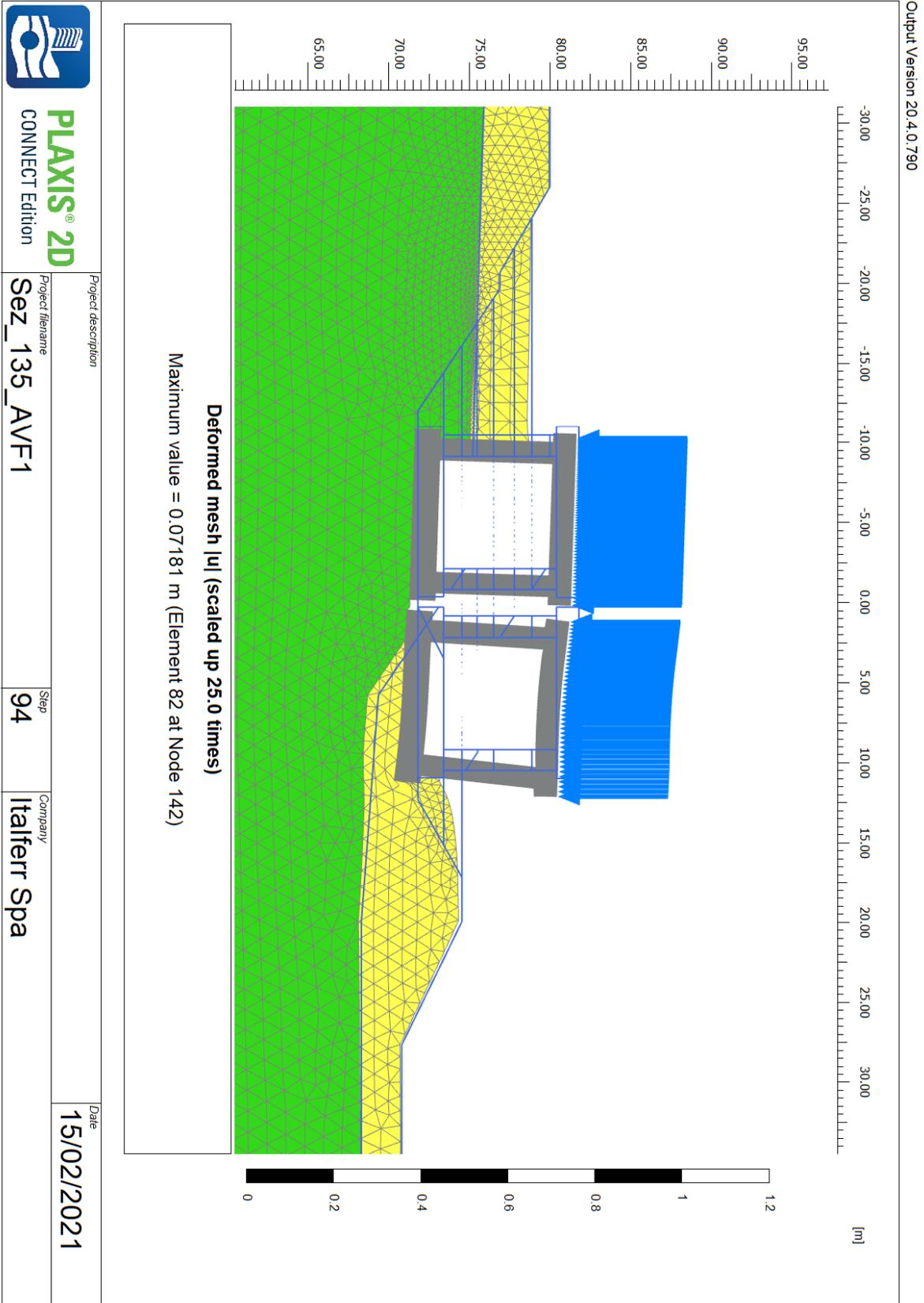
Total displacements u_y (scaled up 100 times)
 Maximum value = 0.02664 m (Element 1477 at Node 4580)
 Minimum value = -0.03205 m (Element 224 at Node 5802)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description	Project filename	Step	Company	Date
	Sez_135_AVF1	80	Italferr Spa	15/02/2021





	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	172 di 260

In merito alla sezione 135, le analisi agli elementi finiti consentono di fare le seguenti considerazioni:

1. La realizzazione dello scatolare binario pari avviene successivamente ad uno scarico tensionale confrontabile con il ricarica dovuto alla realizzazione della struttura definitiva in calcestruzzo. Questo aspetto è ben evidenziato dall'entità dei cedimenti sul binario pari al termine della fase di realizzazione della struttura e si traduce in un "sollevamento" sulla linea storica in esercizio (trascurabile);
2. La realizzazione dello scatolare del binario dispari comporta un cedimento indotto sullo scatolare del binario pari incompatibile con l'esercizio ferroviario con conseguente esigenza di migliorare le caratteristiche del terreno di fondazione dello stesso.

Dalle conclusioni sopraesposte potrebbe risultare sufficiente l'intervento di consolidazione solo al di sotto dello scatolare del binario dispari al fine di limitare gli effetti indotti sul binario pari. Va però evidenziato che una configurazione di questo tipo porterebbe una differente rigidità nei terreni di fondazione sia in direzione trasversale che in direzione longitudinale con disomogeneità flessionale degli scotalari che potrebbe materializzarsi in uno specifico concio e/o fra conci contigui.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RH	DOCUMENTO OC000X 001	REV. C

10.-..ANALISI DI STABILITA' DELLE SCARPATE

10.1.-..PREMESSA

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità globali dei rilevati, trincee e fronti di scavo presenti lungo la sede ferroviaria ed in corrispondenza di alcune opere di viabilità.

I rilevati sono previsti con pendenza delle scarpate 2/3 e berma intermedia di larghezza 2 m per altezze rilevato maggiori di 5.0 m. Anche le trincee sono previste con pendenza delle scarpate 2/3, mentre i fronti di scavo sono previsti con pendenze sia 1/1 che 2/3 in dipendenza delle situazioni locali.

10.2.-..METODOLOGIE DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità per le scarpate provvisorie e definitive sono state condotte sia in condizioni statiche che sismiche in accordo a quanto previsto da normativa vigente (NTC 2018 – §6.8 e §7.11.4, §7.11.3.5).

D'altra parte, si ricorda che per scavi provvisori può essere omessa la verifica sismica.

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 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 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:

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

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 (A2+M2+R2).

Secondo la normativa quindi i parametri di resistenza del terreno devono essere ridotti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	174 di 260

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

$$\tan(\varphi'_d) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi'} \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_c \quad \text{coesione drenata}$$

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari a 1.1 (γ_R).

Pertanto, il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare $FS \geq 1.1$.

In accordo alla normativa vigente, nell'analisi sismica (SLV) sono unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e il coefficiente di sicurezza dovrà risultare ≥ 1.2

10.2.1.-.. CARICHI STRADALI

Per le analisi di stabilità dei rilevati è stato considerato il sovraccarico accidentale stradale di 26 kPa già fattorizzato ($\gamma_F = 1.3$, Tabella 5.2.V NTC 2018). In condizioni sismiche al carico accidentale è stato applicato un coefficiente di combinazione pari a 0.2, come da § 2.3.3 delle Specifiche RFI.

10.2.2.-.. CARICHI FERROVIARI

Si è fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (§5.2), considerando i carichi variabili da azioni da traffico ferroviario:

"I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale (LM71) e pesante (SW)"

I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento "α", variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.), come definito in Tab. 2.5.1.4.1-1 Coefficiente "α" del MdP RFI 2019 e di seguito riportata.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

Tabella 27 – coefficiente di adattamento "α" secondo RFI

I valori del carico da traffico saranno valutati alla base del ballast così da essere applicato su piano campagna di monte nel modello di calcolo come di seguito indicato.

Distribuzione dei carichi ferroviari

I sovraccarichi ferroviari si distribuiscono con una pendenza 4 a 1 all'interno del ballast, per cui la diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_d = L_{trav} + 2 \times (H_{PF} - H_{rot} - H_{trav})/4 = 2,40 + 2 \times (0,80 - 0,17 - 0,17)/4 = 2,515 \text{ m}$$

Modello di carico LM 71

Il treno di carico LM71 è costituito da 4 assi verticali da 250 kN con interasse di 1,60 m e carico distribuito (segmentabile) di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,80 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata. La distribuzione dei carichi del treno LM71 è rappresentata di seguito.

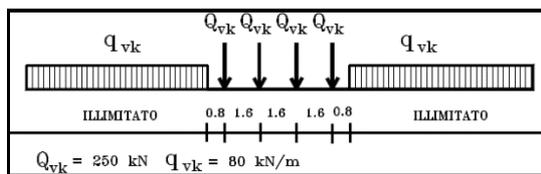


Figura 21 – Modello di carico LM71

Carico LM 71 ripartito a metro di profondità			
α	= 1,10	[-]	coefficiente di adattamento
L_d	= 2,515	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario (su piano campagna di monte)
LM71			
Q_{1vk}	= 250	[kN]	carico asse caratteristico
Q_{1v}	= 250x1,10=275	[kN]	carico asse caratteristico in adattamento
L_1	= 6,40	[m]	impronta quattro assi
q_{1vk}	= (275x4)/6,4=171,875	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito su 6,40m
q_{1vk}	= 171,875/2,515=68,34	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito in direzione trasversale al binario
q_{2vk}	= 80x1,10=88	[kN/m]	Carico distribuito caratteristico LM71
q_{2vk}	= 88/2,515=35	[kN/m]	Carico distribuito in direzione trasversale al binario

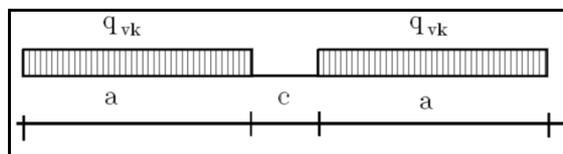
Tabella 28 – Modello di carico LM71

Modello di carico SW

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

L'articolazione del carico è mostrata nella figura sottostante; per tale modello di carico sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 e SW/2. Le caratterizzazioni di

entrambe queste configurazioni sono indicate nella Tab. 5.2.I delle NTC18 e di seguito riportata.



Tab. 5.2.I - Caratteristiche Modelli di Carico SW

Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 22 - Modello di carico SW

In riferimento, alla larghezza di diffusione del carico, vale quanto detto in precedenza.

Carico SW/0			
α	= 1,10	[-]	coefficiente di adattamento
L_d	= 2,515	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario (su piano campagna di monte)
SW/0			
a	= 15,00	[m]	linea di carico
c	= 5,3	[m]	Spazio tra linee di carico successive
q_{3vk}	= $133 \times 1,10 = 146,3$	[kN/m]	Carico SW/0 caratteristico in adattamento
q_{3vk}	= $146,3 / 2,515 = 58,17$	[kN/m]	Carico SW/0 ripartito trasversalmente al binario
Carico SW/2			
α	= 1,00	[-]	coefficiente di adattamento
L_d	= 2,515	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
SW/2			
a	= 25,0	[m]	linea di carico
c	= 7,0	[m]	Spazio tra linee di carico successive
q_{3vk}	= $150 \times 1,00 = 150$	[kN/m]	Carico SW/2 caratteristico in adattamento
q_{3vk}	= $150 / 2,515 = 59,64$	[kN/m]	Carico SW/2 ripartito trasversalmente al binario

Tabelle 29 – Treni di carico SW/0 ed SW/2.

Considerando pertanto i due modelli di carico si prende in considerazione il carico a metro lineare più gravoso, ovvero il modello di carico LM 71 in particolare per il carico derivante dai 4 assi verticali da 250 kN, per cui si ha un carico di 68,34 kN/m.

10.2.3.-...AZIONI SISMICHE PER ANALISI DI STABILITÀ

In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali k_h e verticali k_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:

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

In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale (k_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;

$\beta_s = 0.38$, coefficiente di riduzione che dipende dall'accelerazione massima e dalla categoria di suolo).

Per il tracciato in esame si considera:

β_s	0.38
a_g	0.18
S_s	1.45
ST	1.2
a_{\max}	0.31
k_h	0.12
k_v	0.06
V_N	75
Cu	1.5
Vr	112.5
Cat.	C

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2					
	Relazione geotecnica generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	178 di 260

10.2.4.-..SEZIONI DI CALCOLO

L'analisi di stabilità è stata condotta cautelativamente per le situazioni più gravose, con riferimento sia alla linea sia alle viabilità, per altezza, sia per condizioni stratigrafiche:

- Fronte di scavo provvisorio Galleria NG01;
- Scavi provvisori fondazioni viadotti;
- Rilevati ferroviari
- Rilevati stradali

Le sezioni analizzate interessano terreni caratterizzati con “unità geotecniche” **b2**, **b3** e **AVF/2** (i parametri di resistenza di progetto sono indicati nelle immagini dei risultati), per i quali si rimanda al capitolo 7. Per i rilevati stradali e ferroviari si assumono i seguenti parametri geotecnici di resistenza:

- Riporto antropico del rilevato stradale
 - $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 - $\varphi' = 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 - $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- Riporto antropico del rilevato ferroviario
 - $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 - $\varphi' = 38^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 - $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata

Successivamente sono illustrate le verifiche di stabilità per le sezioni di studio, nelle quali è possibile individuare le geometrie ed i parametri adottati per le diverse unità geotecniche.

10.2.5.-..RISULTATI

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità sia in condizioni statiche che sismiche.

I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle verifiche sono sempre maggiori di quanto previsto da normativa ($FS > 1.10$ in condizioni statiche e $FS > 1.20$ in condizioni sismiche), quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte.

Scavi provvisorio fondazioni viadotti

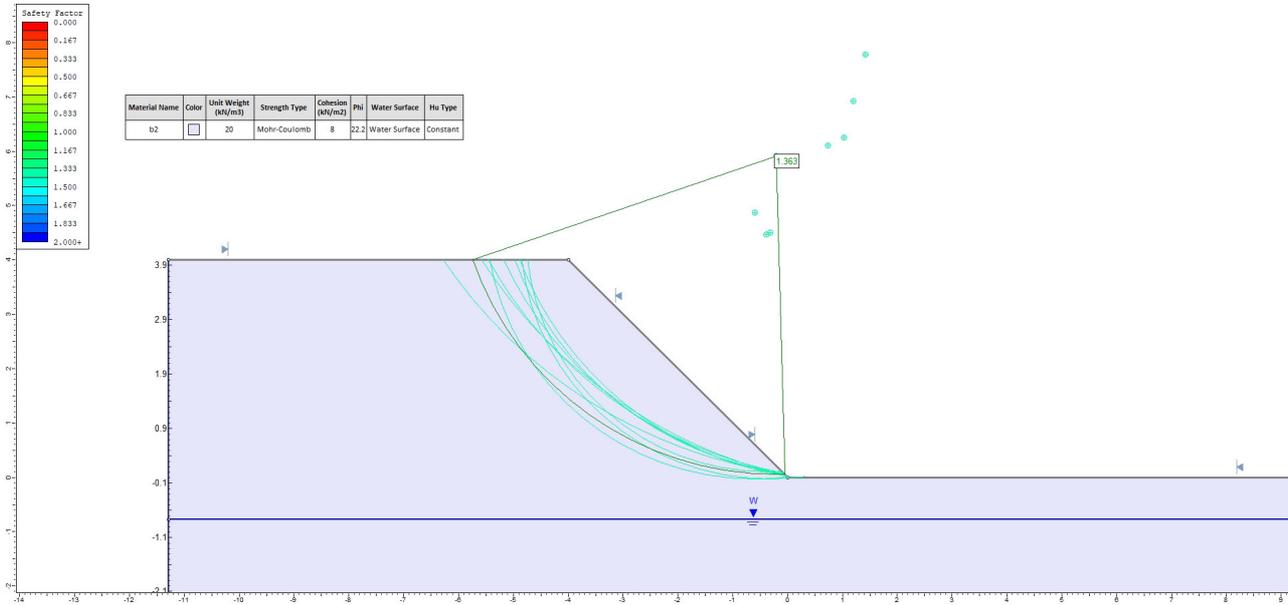


Figura 23. Scavo 1/1 fondazioni viadotti – sezione tipo h=4 m – SLU

Fronte di scavo provvisorio Galleria NG01

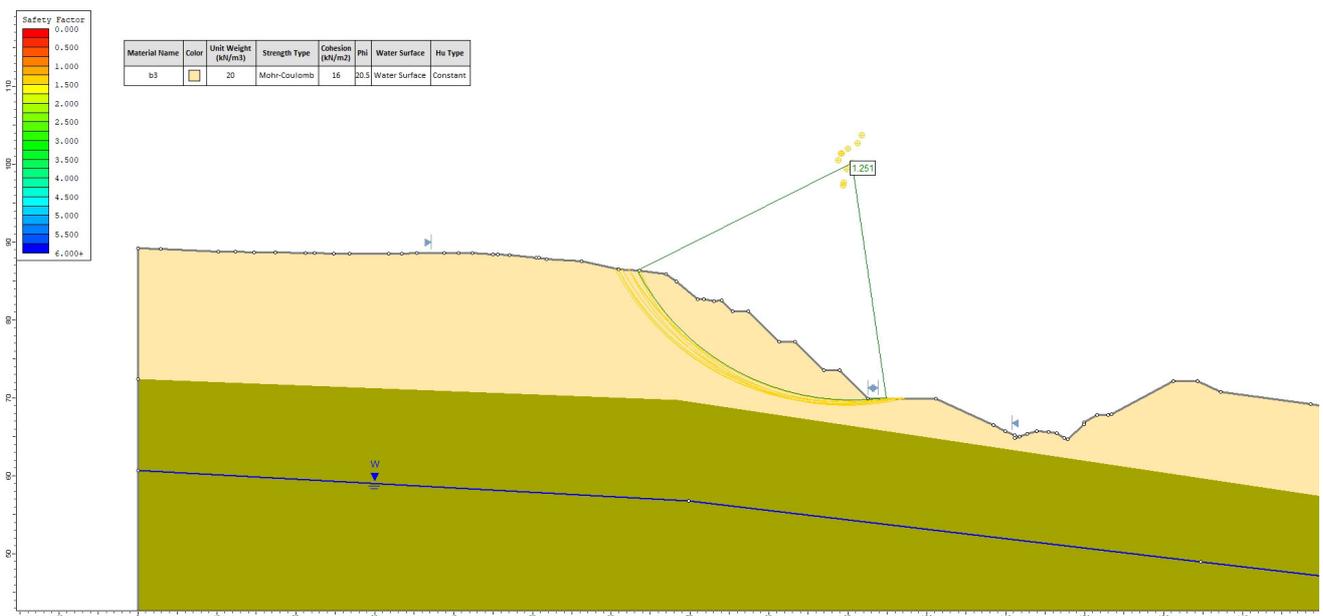


Figura 24. Fronte di scavo galleria NG01 – sezione 32 - SLU

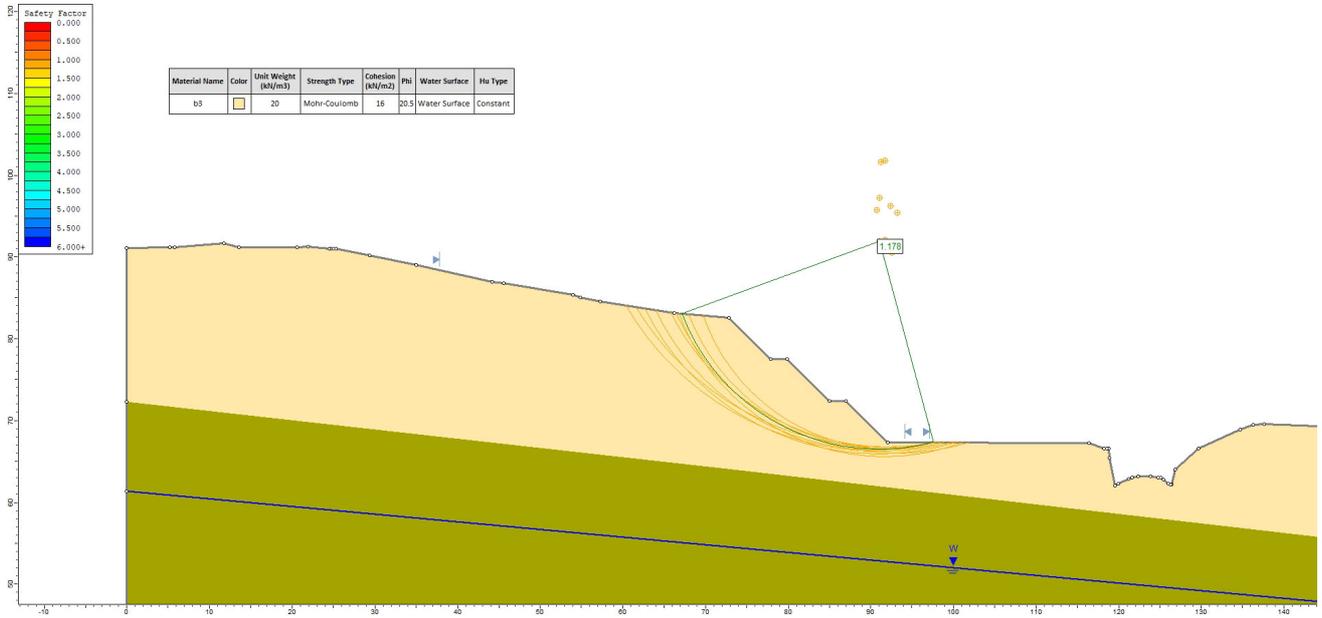


Figura 25. Fronte di scavo galleria NG01 – sezione 35 – SLU

Rilevato ferroviario

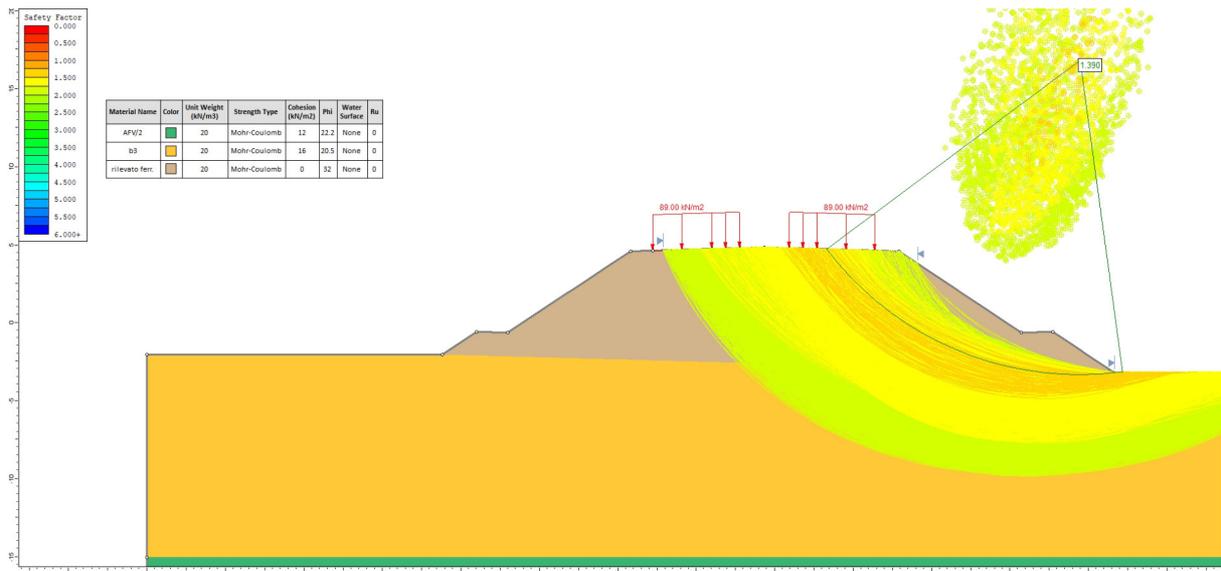


Figura 26. Rilevato ferroviario sez. 118 – SLU

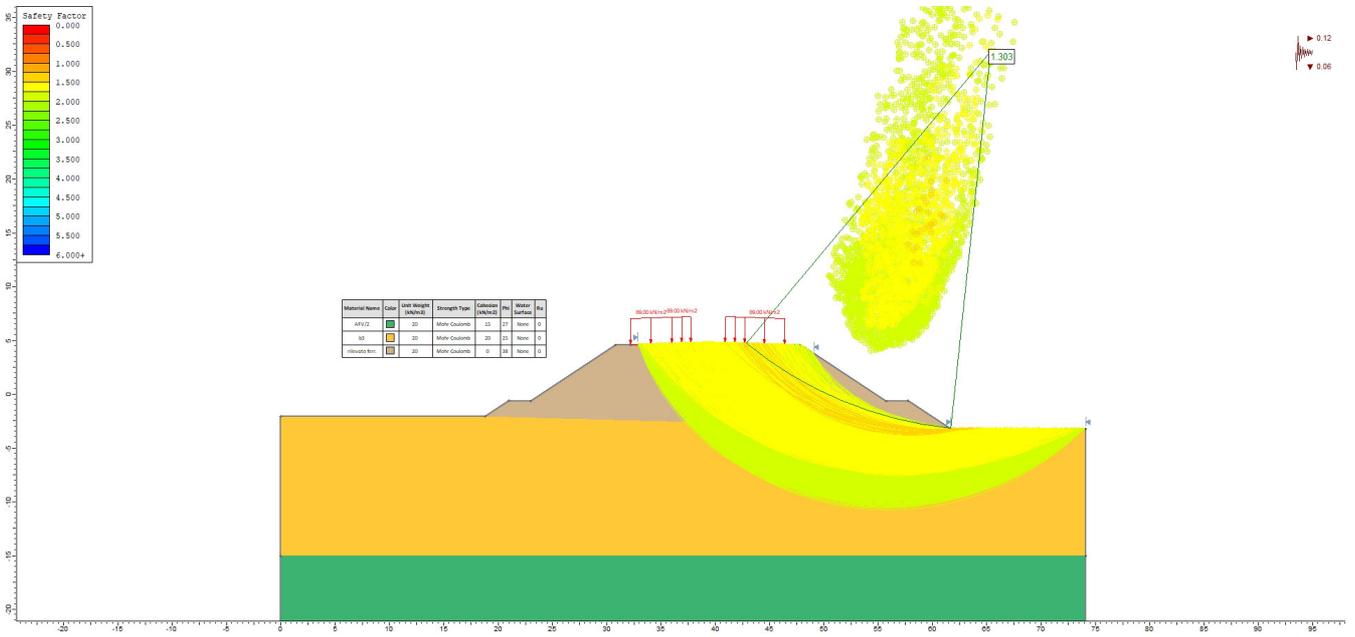


Figura 27. Rilevato ferroviario sez. 118 – SLV

Rilevato stradali

NV07

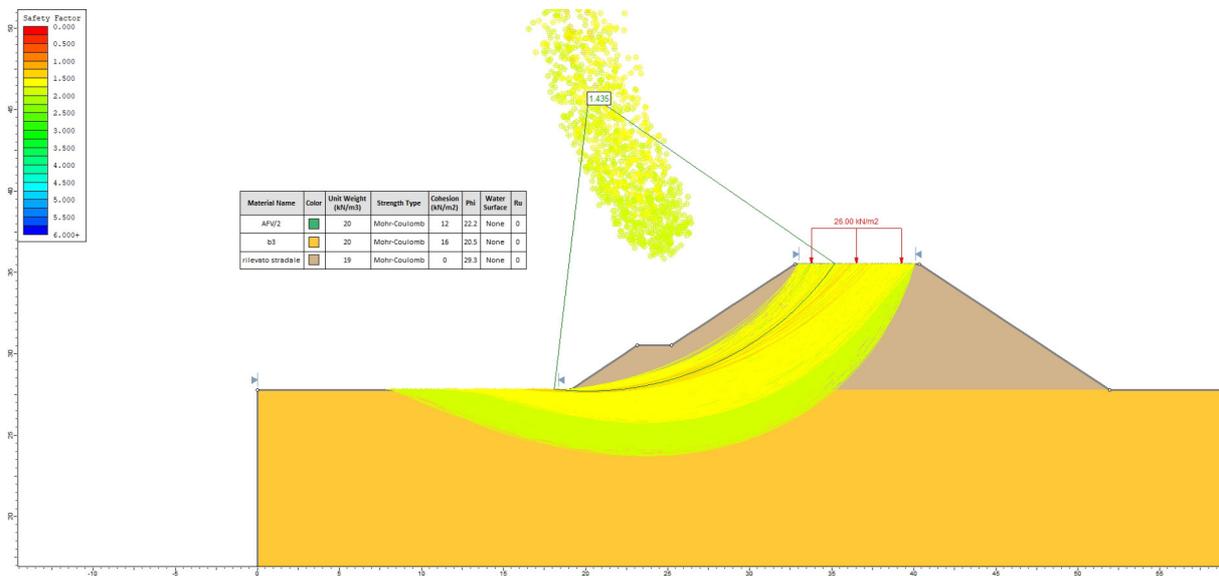


Figura 28. Rilevato stradale NV07 asse 2 sez.12 – SLU

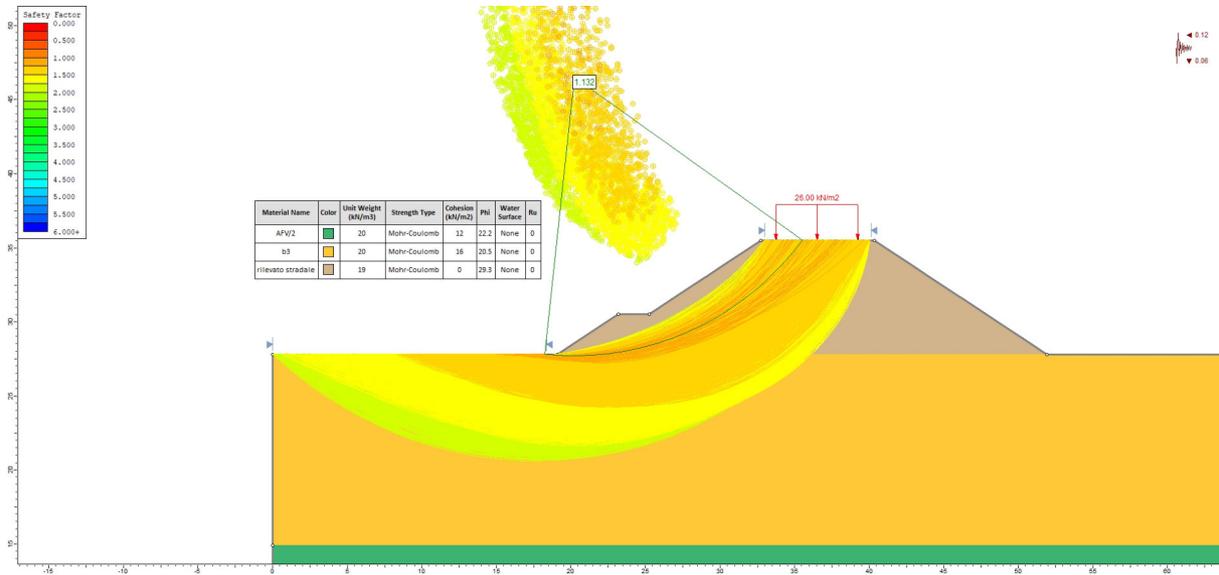


Figura 29. Rilevato stradale NV07 asse 2 sez.12 – SLV

NV01

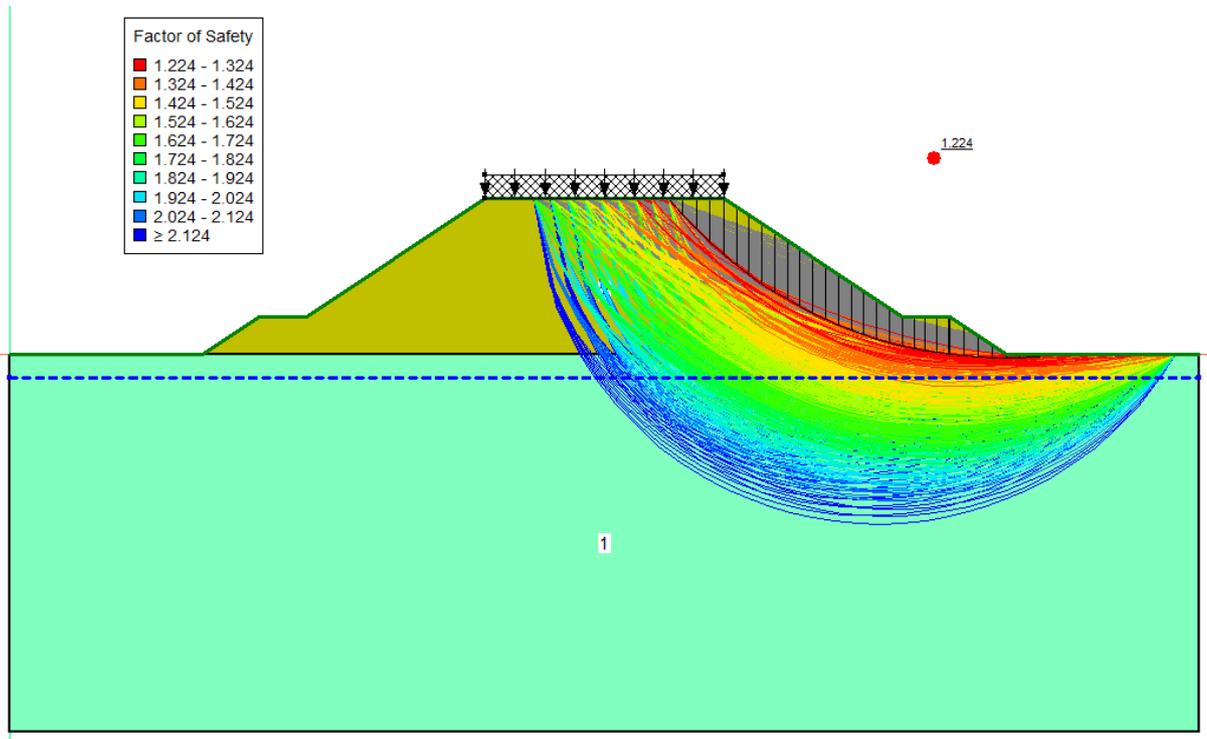


Figura 30. Rilevato stradale NV01 asse 1 sez.13 – SLU

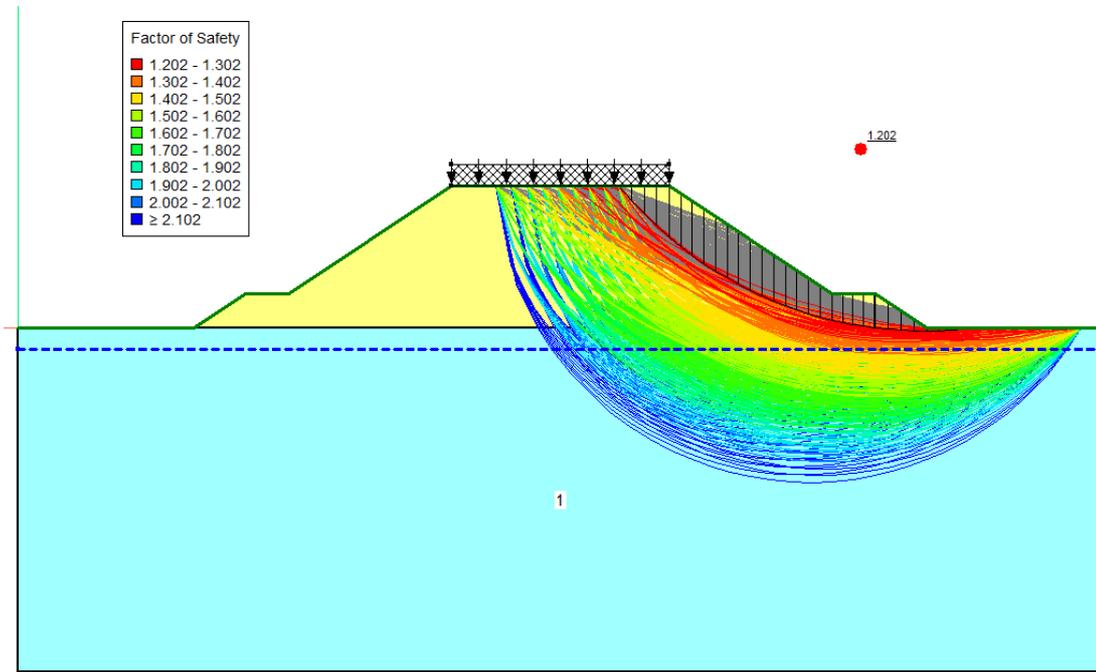


Figura 31. Rilevato stradale NV01 asse 1 sez.13 – SLV

NV02

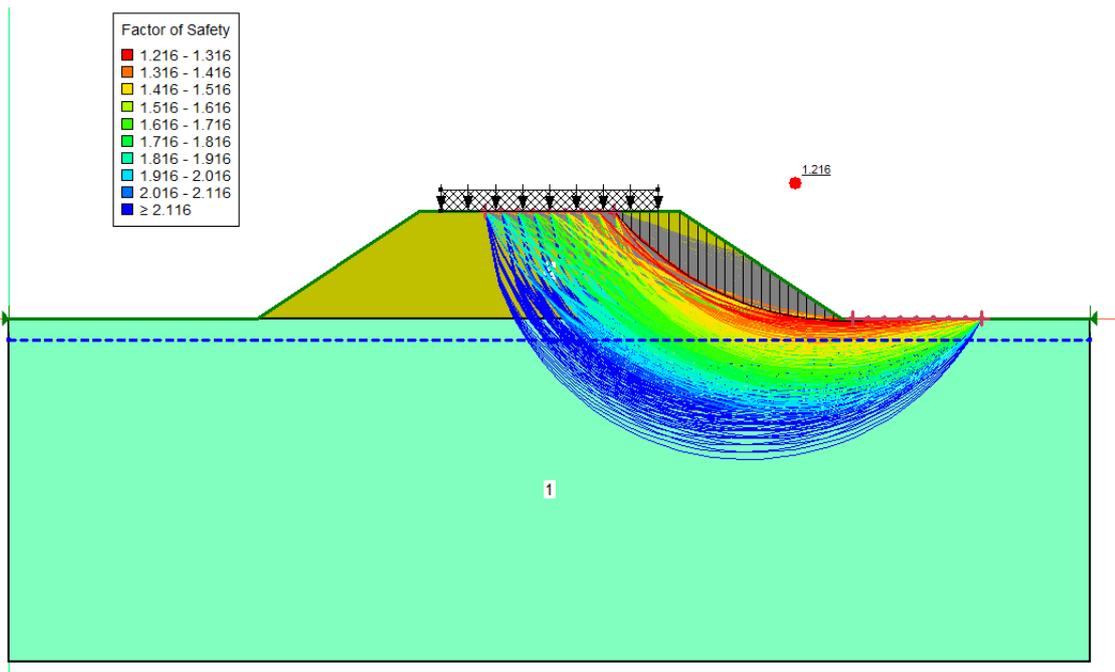


Figura 32. Rilevato stradale NV02 asse 1 sez.2 – SLU

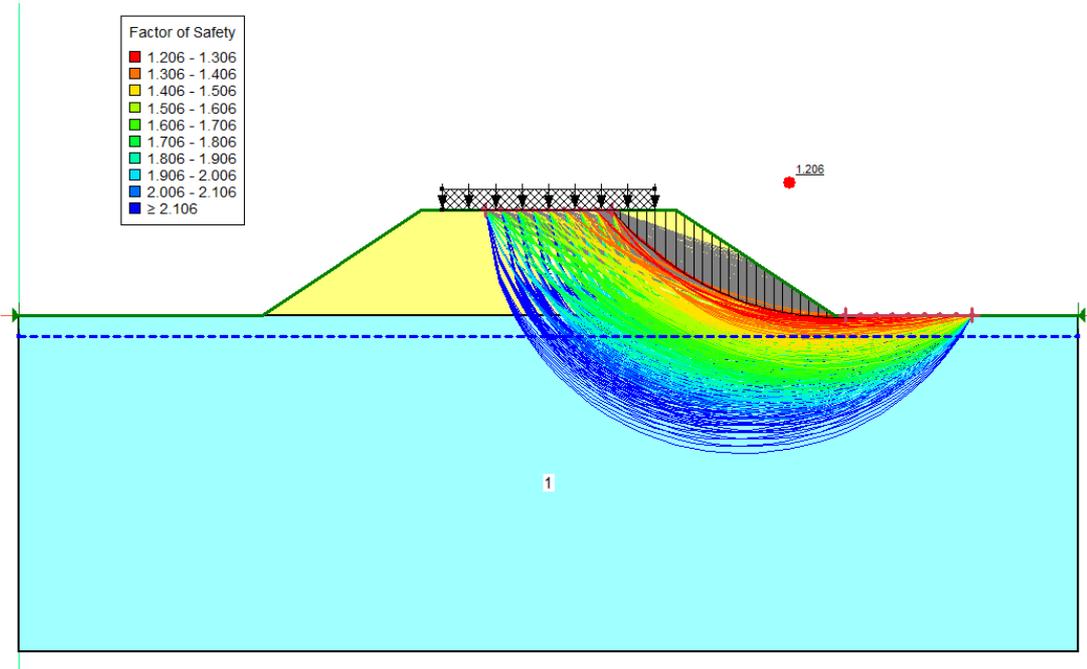


Figura 33. Rilevato stradale NV02 asse 1 sez.2 – SLV

NV04

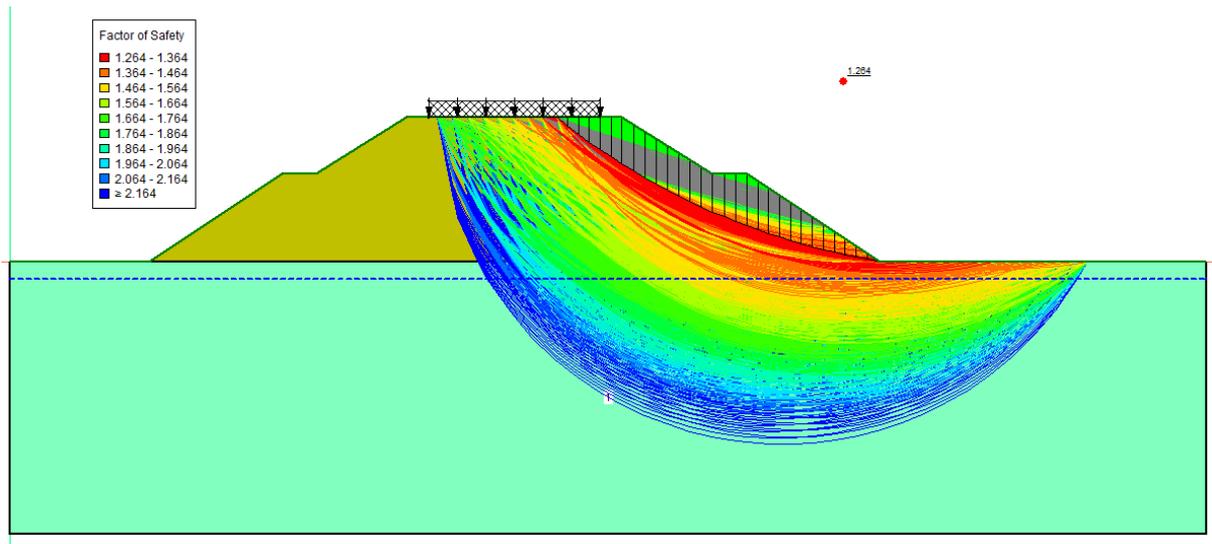


Figura 34. Rilevato stradale NV04 asse 1 sez.50 – SLU

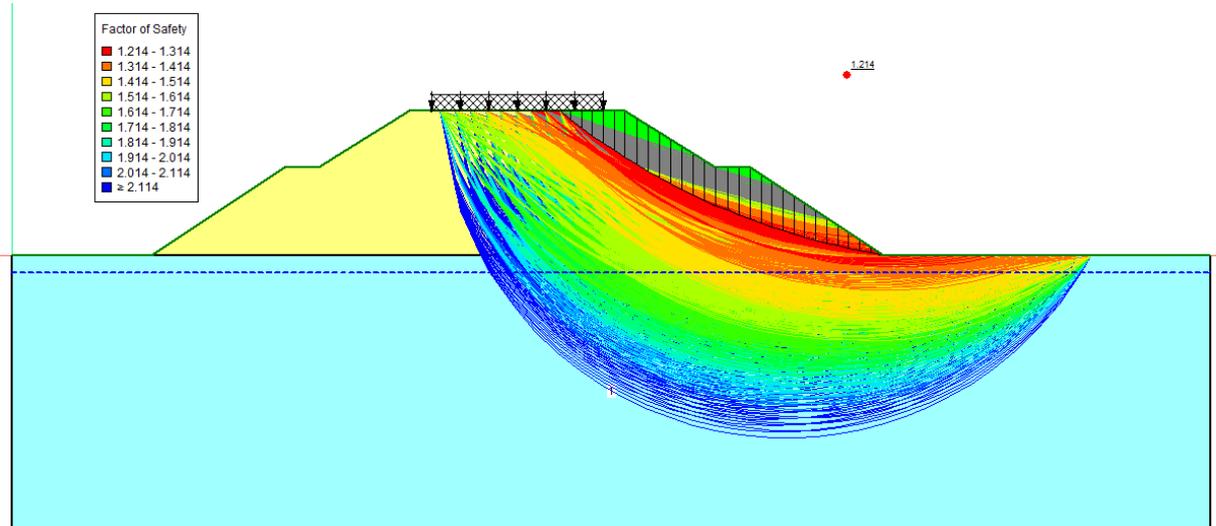


Figura 35. Rilevato stradale NV04 asse 1 sez.50 – SLV

Per la viabilità NV06, date le altezze ridotte dei rilevati confrontate a quelle della viabilità NV07 e date le caratteristiche simili del terreno di fondazione, si omettono le verifiche ritenendosi implicitamente soddisfatte. Per le sezioni in trincea della stessa viabilità, si può far riferimento alle sezioni di figure 24 e 25.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1+2

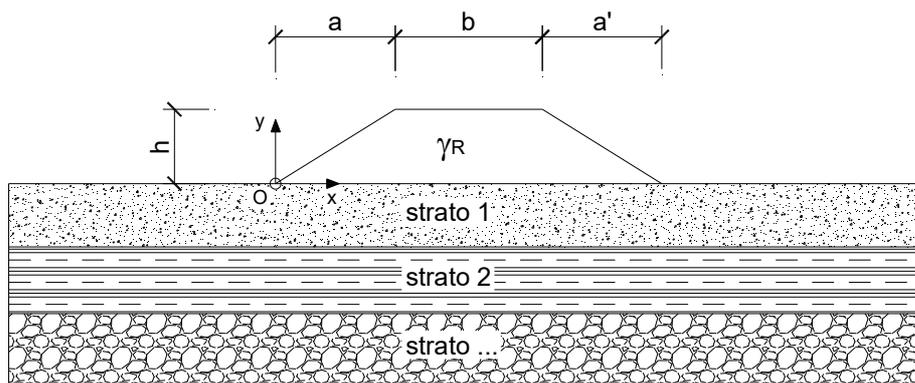
Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	186 di 260

11.-..APPENDICE

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 74-79 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	4.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	5.74	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	4.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	7.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	3.50	(m)

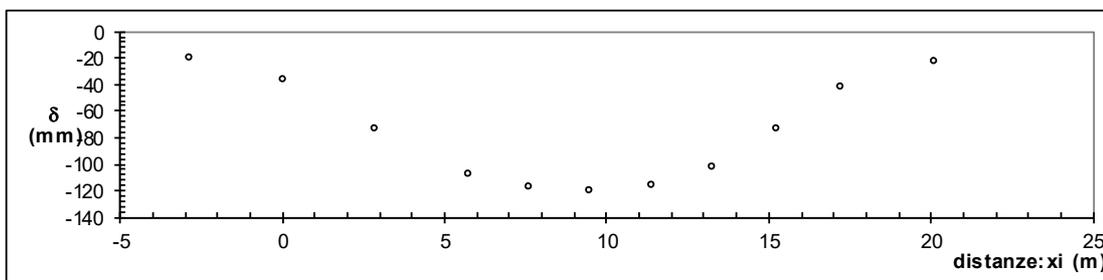
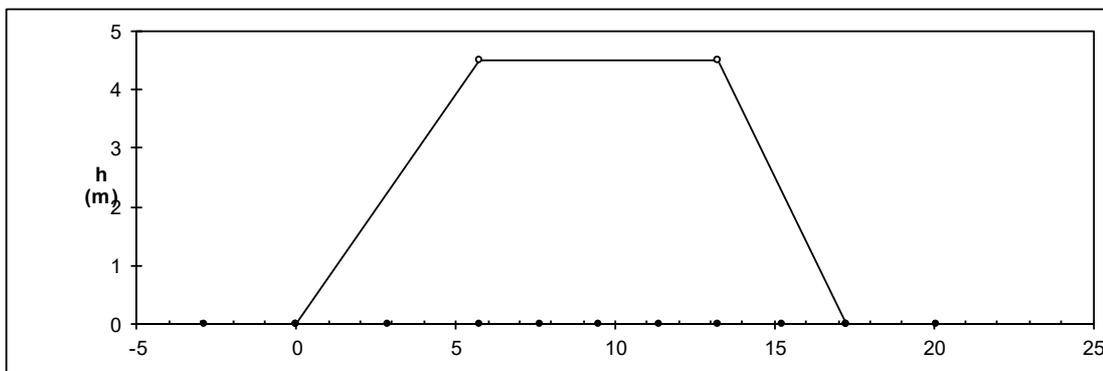
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	10.00	10.00	0.5	6.7	0.25	23.0	20.00	b3
2	10.00	25.00	15.00	0.5	31.0	0.25	33.0	20.00	FYN
3	25.00	50.00	25.00	0.5	40.0	0.25	33.0	20.00	FYN
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-2.87	0.00	2.87	5.74	7.62	9.49	11.37	13.24	15.24	17.24	19.24
										20.1

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

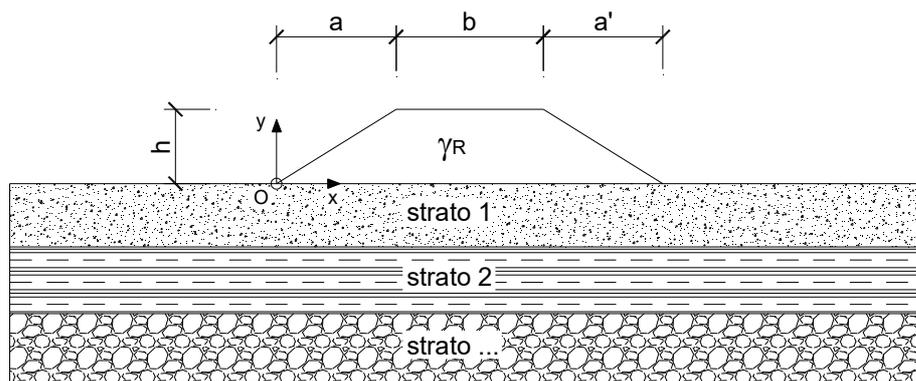
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.87	0.00	2.87	5.74	7.62	9.49	11.37	13.24	15.24	17.24	20.10

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-1.94	-3.58	-7.27	-10.82	-11.78	-11.98	-11.56	-10.25	-7.26	-4.19	-2.20

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 74-79 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	4.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	5.74	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	4.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	7.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	3.50	(m)

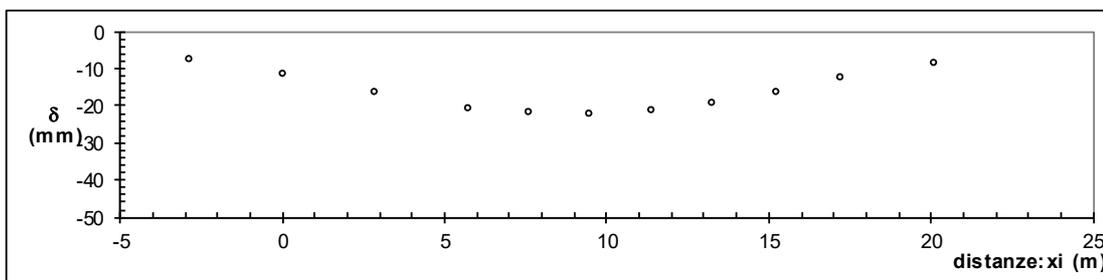
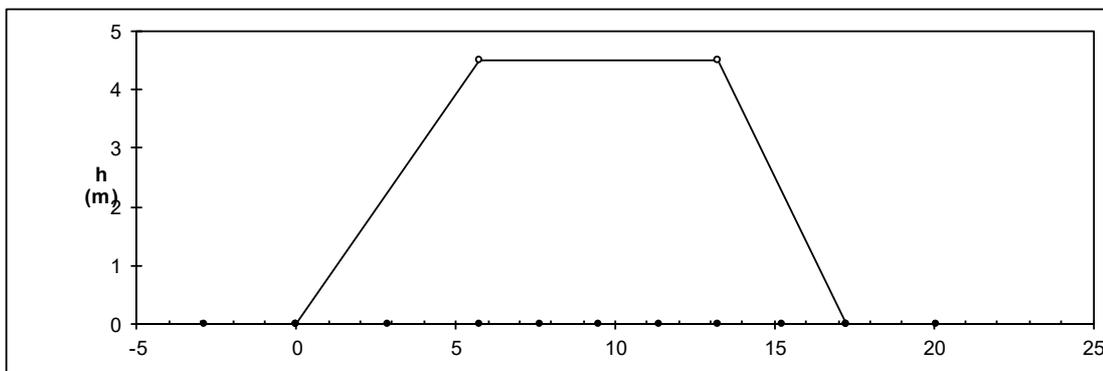
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	10.00	10.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	10.00	25.00	15.00	0.5	31.0	0.25	33.0	20.00	FYN
3	25.00	50.00	25.00	0.5	40.0	0.25	33.0	20.00	FYN
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-2.87	0.00	2.87	5.74	7.62	9.49	11.37	13.24	15.24	17.24	19.24
										20.1

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

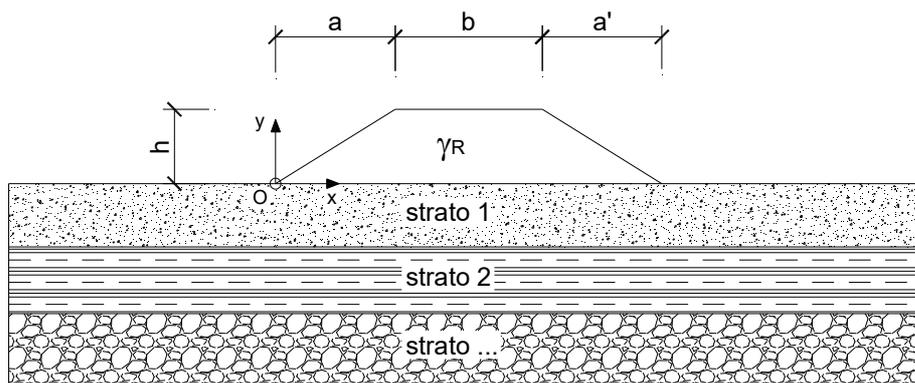
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.87	0.00	2.87	5.74	7.62	9.49	11.37	13.24	15.24	17.24	20.10

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-0.76	-1.15	-1.65	-2.06	-2.19	-2.22	-2.15	-1.95	-1.64	-1.26	-0.84

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 79-81 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	2.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	3.80	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	3.80	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.40	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

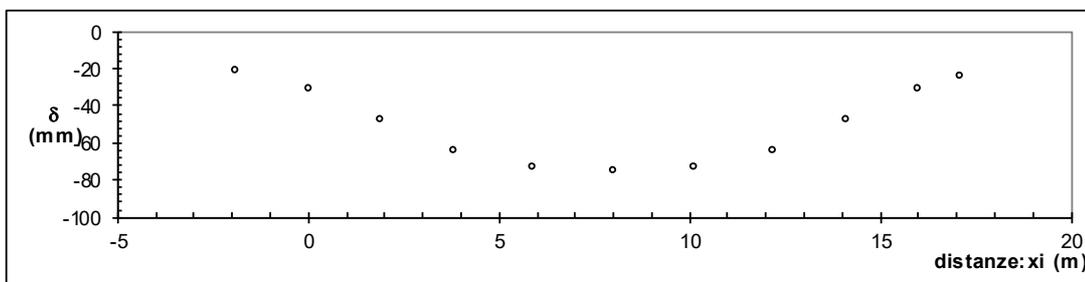
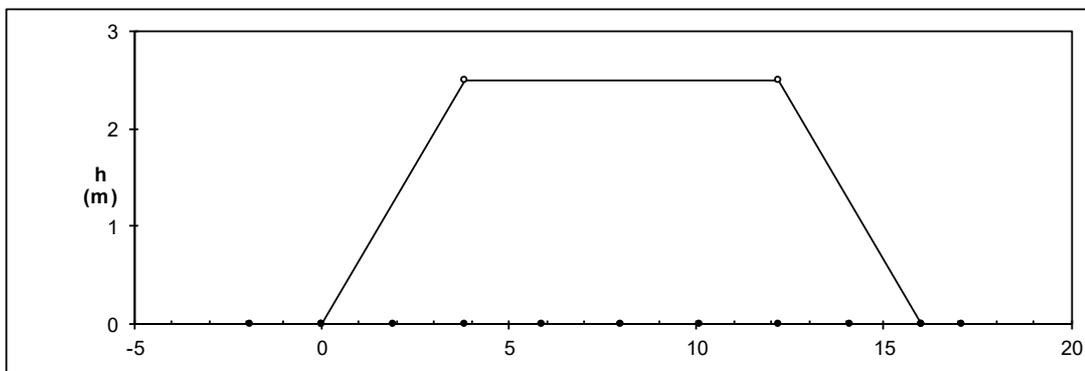
n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	8.00	(m)

Strato (n)	$z_{iniziale}$ (m)	z_{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	7.0	0.25	22.0	19.00	b3
2	11.00	15.00	4.00	0.5	23.0	0.20	33.0	19.50	b1
3	15.00	25.00	10.00	0.5	25.0	0.20	33.0	19.50	b1
4	25.00	50.00	25.00	0.5	18.0	0.25	24.0	22.50	AVF/2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	5.90	8.00	10.10	12.20	14.10	16.00	17.90
										17.1

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

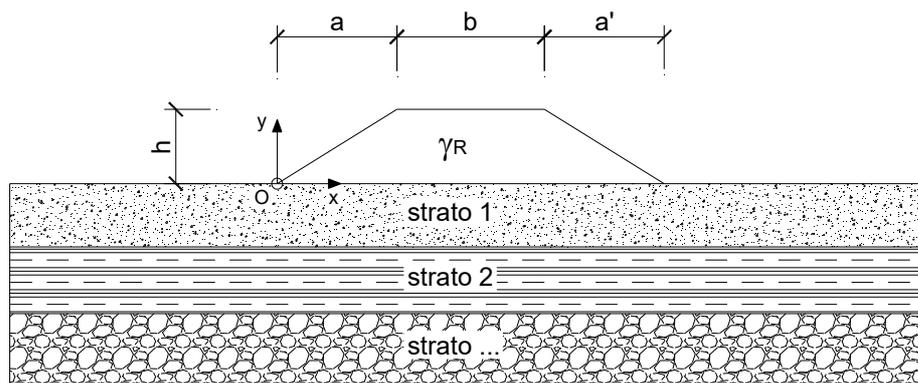
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	5.90	8.00	10.10	12.20	14.10	16.00	17.10

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-2.11	-3.07	-4.77	-6.44	-7.28	-7.51	-7.28	-6.44	-4.77	-3.07	-2.43

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 79-81 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	2.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	3.80	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	3.80	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.40	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	8.00	(m)

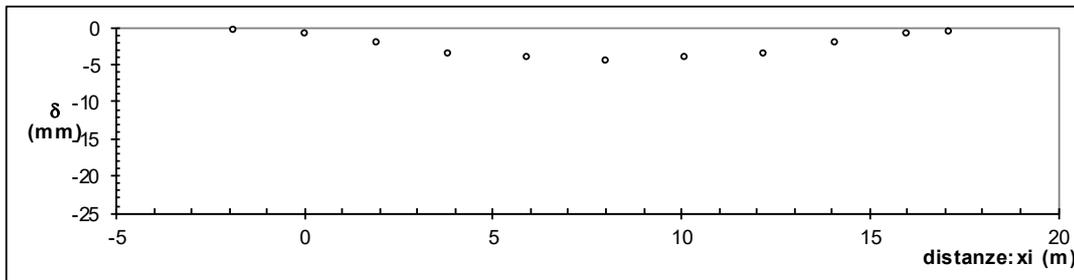
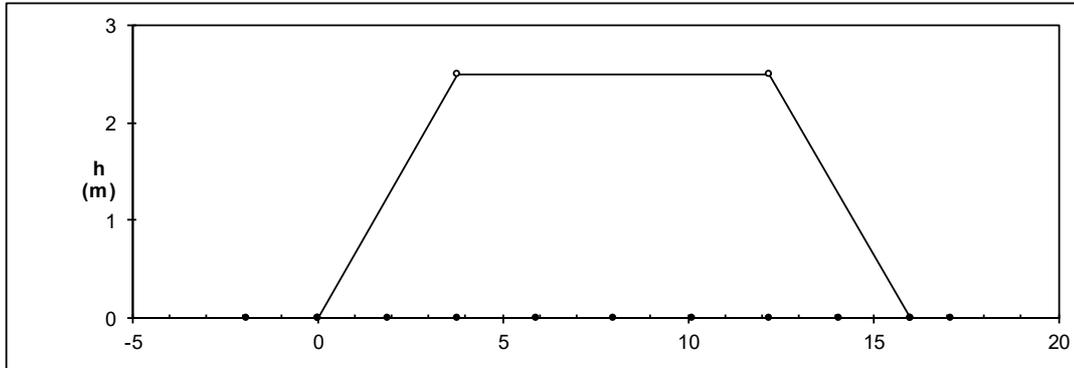
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	164.0	0.25	22.0	19.00	b3
2	11.00	15.00	4.00	0.5	172.0	0.20	33.0	19.50	b1
3	15.00	25.00	10.00	0.5	25.0	0.20	33.0	19.50	b1
4	25.00	50.00	25.00	0.5	18.0	0.25	24.0	22.50	AVF/2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	5.90	8.00	10.10	12.20	14.10	16.00	17.90
										17.1

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

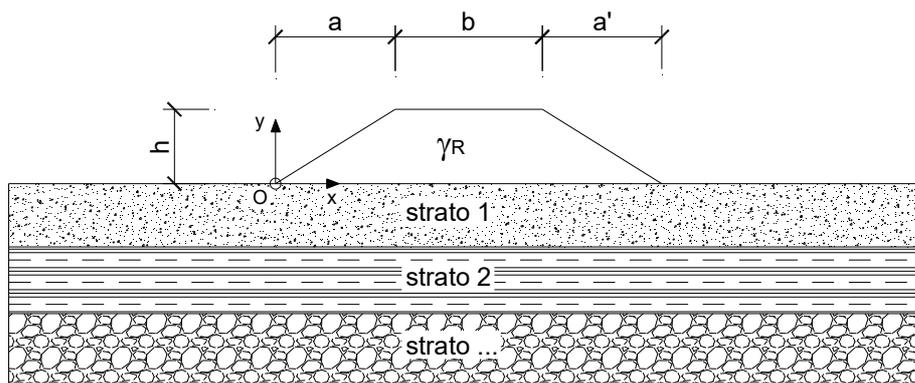
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	5.90	8.00	10.10	12.20	14.10	16.00	17.10

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.04	-0.09	-0.20	-0.35	-0.39	-0.45	-0.39	-0.35	-0.20	-0.09	-0.06

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez 81-86 - Costruzione rilevato binario Pari e Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	5.37	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	5.37	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	12.80	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

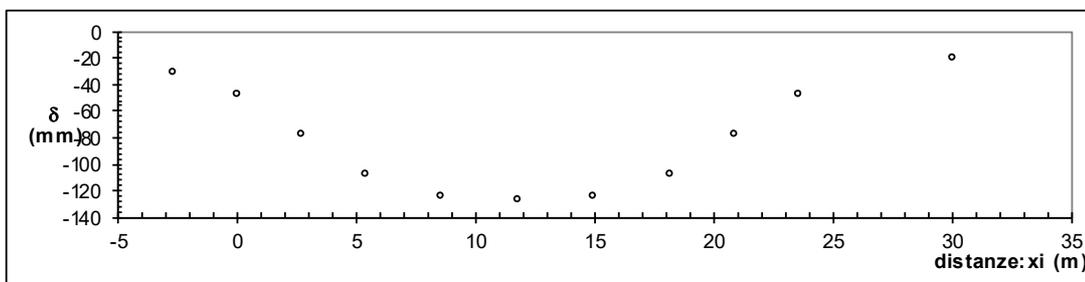
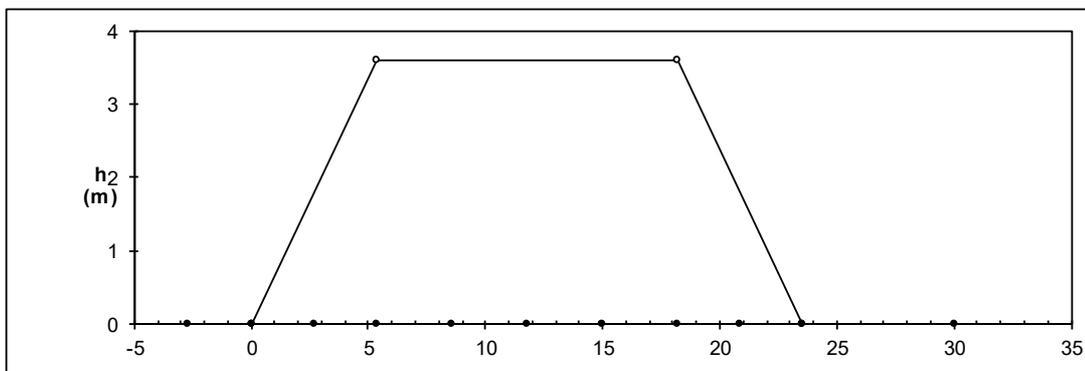
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	11.00	34.00	23.00	0.5	25.0	0.20	33.0	20.00	b1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	18.0	0.25	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-2.69	0.00	2.69	5.37	8.57	11.77	14.97	18.17	20.86	23.55	26.23
										30

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

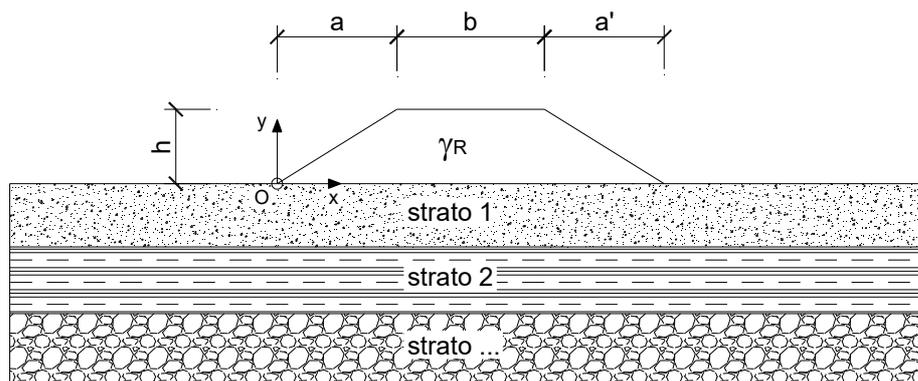
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.69	0.00	2.69	5.37	8.57	11.77	14.97	18.17	20.86	23.55	30.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-3.09	-4.67	-7.77	-10.81	-12.33	-12.71	-12.33	-10.81	-7.77	-4.67	-2.02

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 81-86 - Costruzione rilevato binario Pari e Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	5.37	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	5.37	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	12.80	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

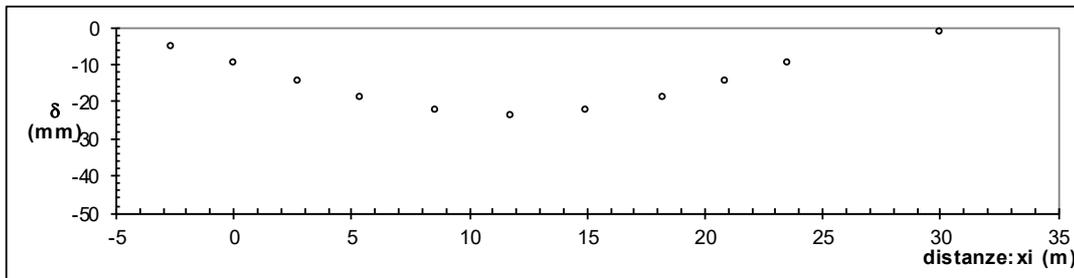
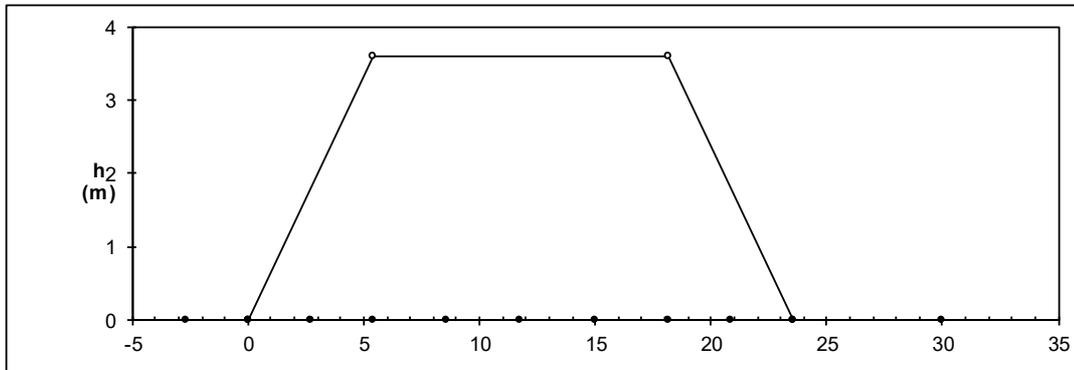
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	11.00	34.00	23.00	0.5	25.0	0.20	33.0	20.00	b1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	18.0	0.25	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-2.69	0.00	2.69	5.37	8.57	11.77	14.97	18.17	20.86	23.55	26.23
										30

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

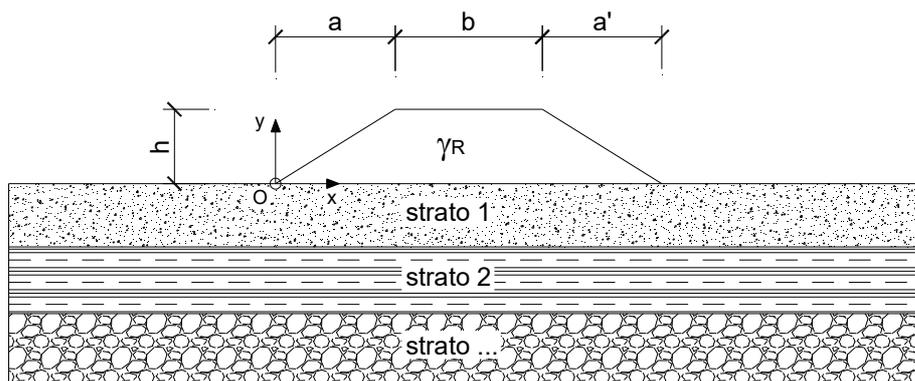
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.69	0.00	2.69	5.37	8.57	11.77	14.97	18.17	20.86	23.55	30.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.52	-0.94	-1.42	-1.90	-2.23	-2.39	-2.23	-1.90	-1.42	-0.94	-0.12

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez 86-88 - Costruzione rilevato binario Pari e Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	5.40	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	8.06	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.06	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	12.80	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

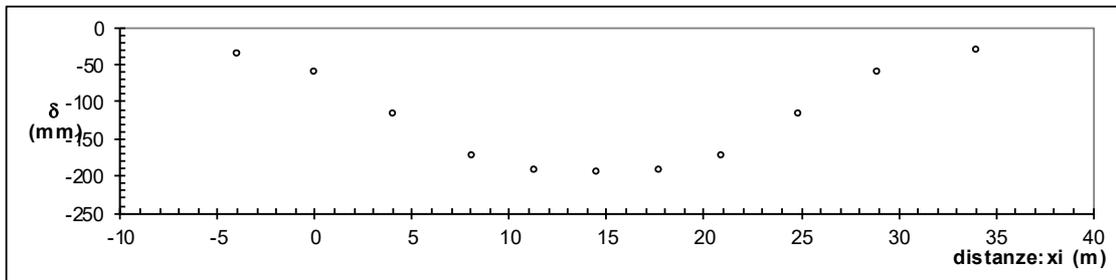
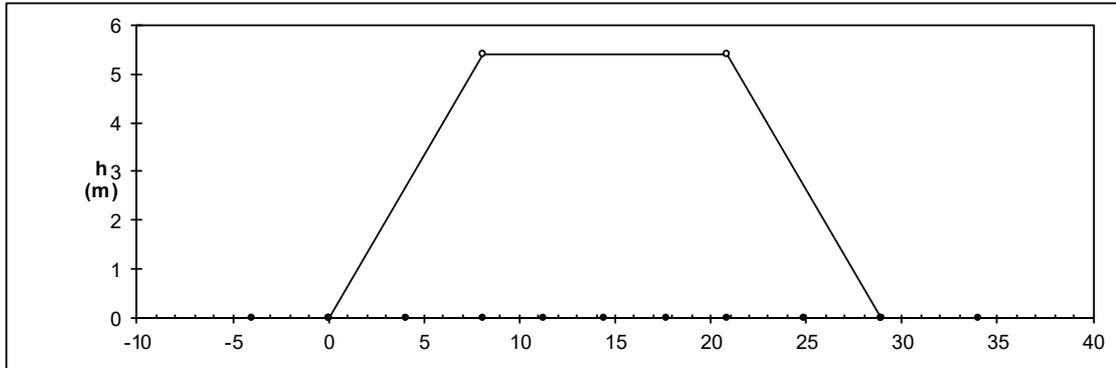
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	11.00	15.00	4.00	0.5	23.0	0.20	33.0	20.00	b1
3	15.00	34.00	19.00	0.5	27.0	0.20	33.0	20.00	b1
4	34.00	50.00	16.00	0.5	19.0	0.25	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-4.03	0.00	4.03	8.06	11.26	14.46	17.66	20.86	24.89	28.92	32.95
										34

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

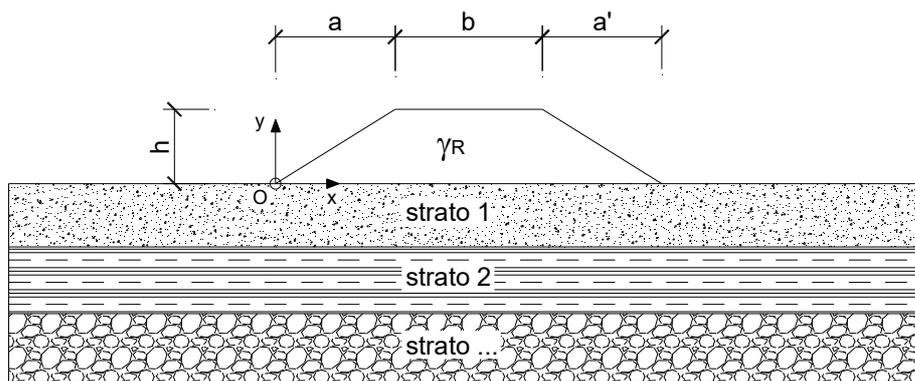
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.03	0.00	4.03	8.06	11.26	14.46	17.66	20.86	24.89	28.92	34.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-3.46	-5.97	-11.71	-17.30	-19.10	-19.55	-19.10	-17.30	-11.71	-5.97	-3.08

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 86-88 - Costruzione rilevato binario Pari e Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	5.40	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	8.06	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.06	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	12.80	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

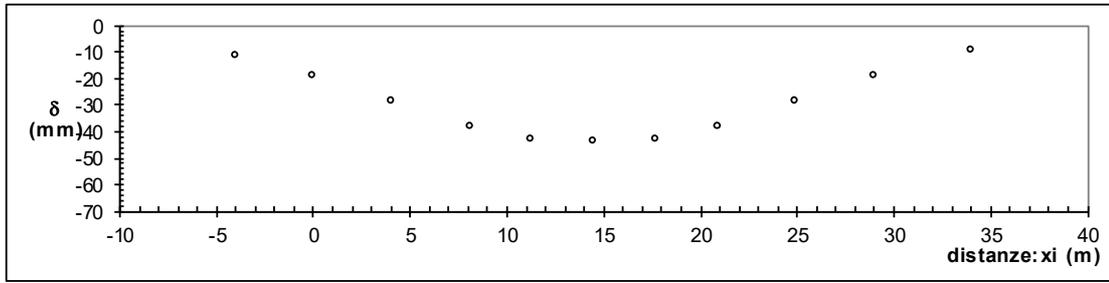
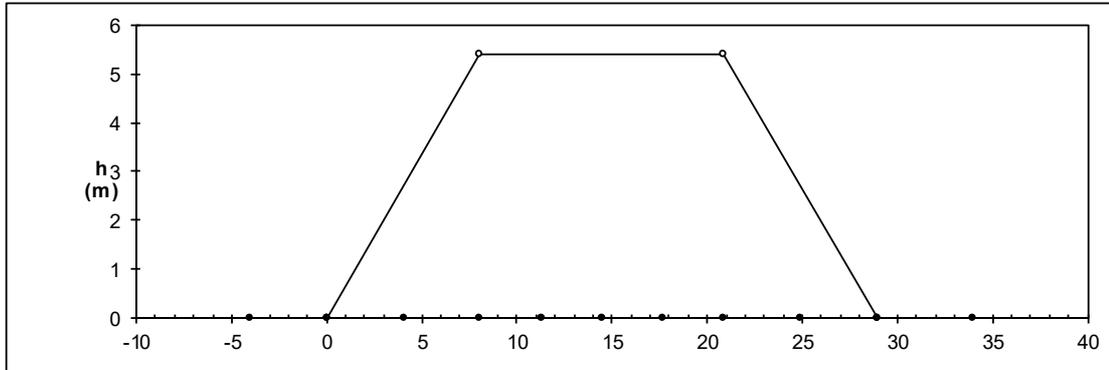
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	11.00	15.00	4.00	0.5	172.0	0.20	33.0	20.00	b1
3	15.00	34.00	19.00	0.5	27.0	0.20	33.0	20.00	b1
4	34.00	50.00	16.00	0.5	19.0	0.25	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-4.03	0.00	4.03	8.06	11.26	14.46	17.66	20.86	24.89	28.92	32.95
										34

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

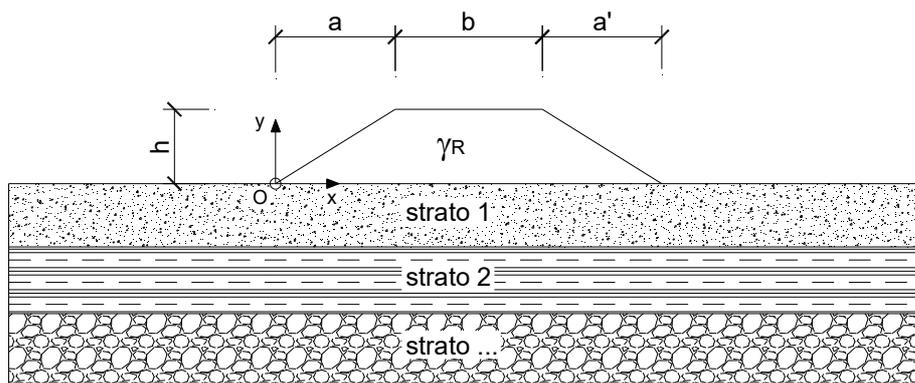
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.03	0.00	4.03	8.06	11.26	14.46	17.66	20.86	24.89	28.92	34.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-1.09	-1.85	-2.81	-3.83	-4.26	-4.38	-4.26	-3.83	-2.81	-1.85	-0.90

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 118-120 - Esecuzione Binario Pari e Binario Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	7.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	12.60	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	12.60	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	17.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

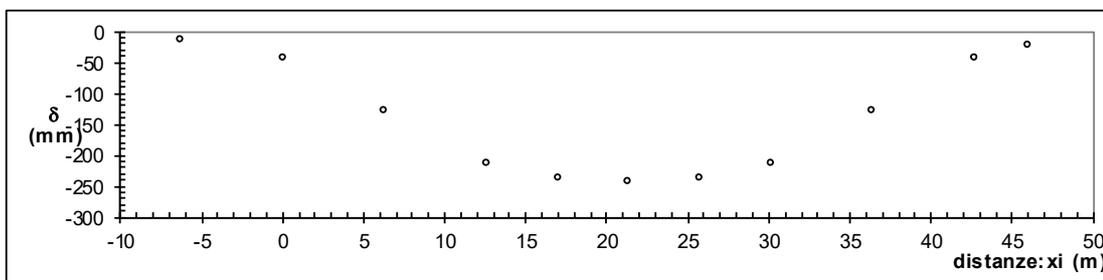
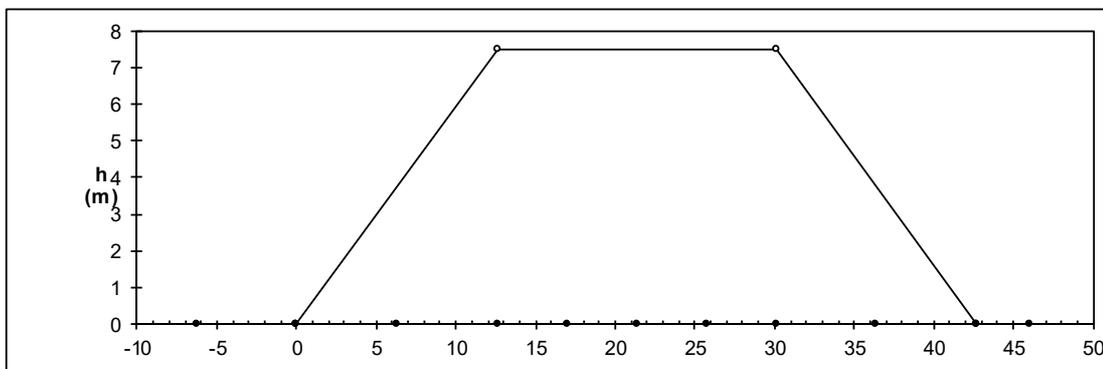
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	9.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	34.00	16.00	0.5	75.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	85.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-6.30	0.00	6.30	12.60	16.98	21.35	25.73	30.10	36.40	42.70	49.00
										46

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

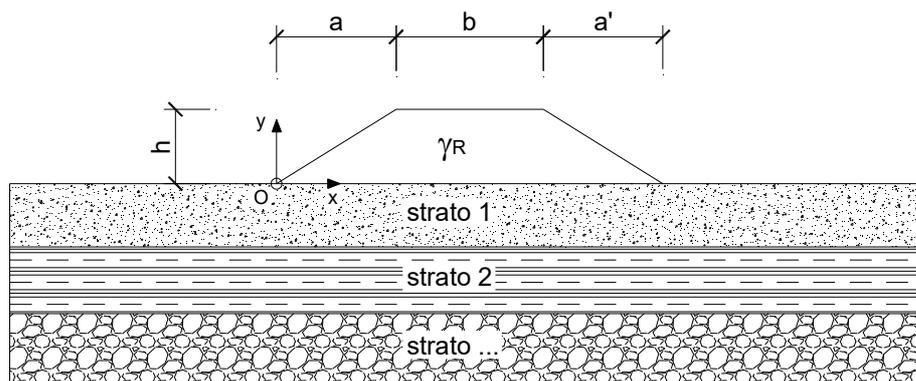
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6.30	0.00	6.30	12.60	16.98	21.35	25.73	30.10	36.40	42.70	46.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-1.17	-4.27	-12.89	-21.42	-23.71	-24.28	-23.71	-21.42	-12.89	-4.27	-2.17

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 118-120 - Esecuzione Binario Pari e Binario Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	7.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	12.60	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	12.60	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	17.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

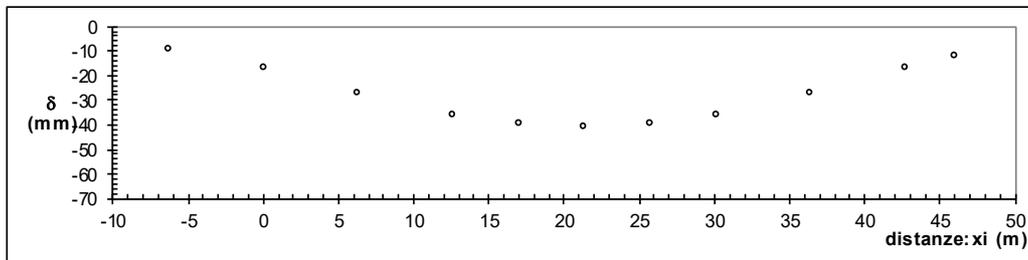
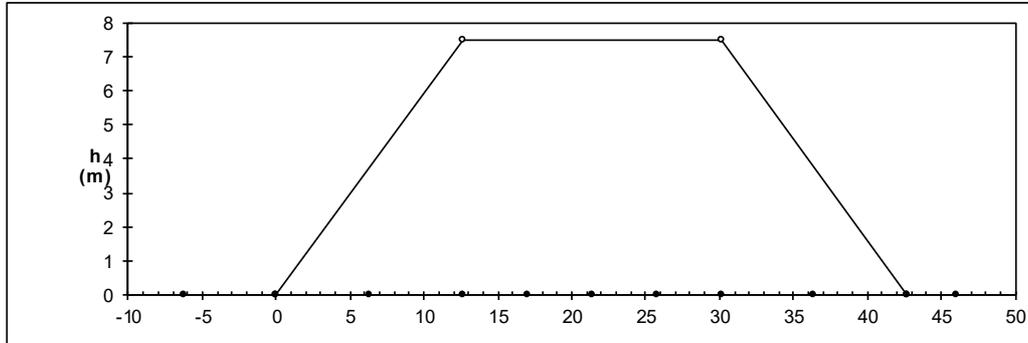
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	34.00	16.00	0.5	75.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	85.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-6.30	0.00	6.30	12.60	16.98	21.35	25.73	30.10	36.40	42.70	49.00
										46

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

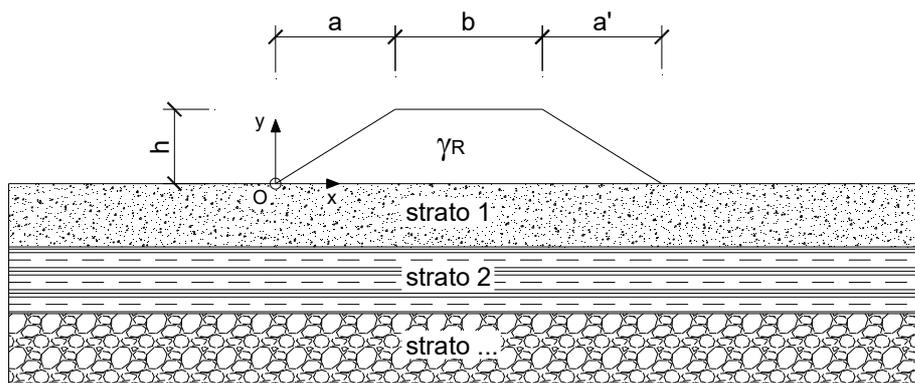
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6.30	0.00	6.30	12.60	16.98	21.35	25.73	30.10	36.40	42.70	46.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.88	-1.64	-2.69	-3.62	-3.95	-4.05	-3.95	-3.62	-2.69	-1.64	-1.19

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 120-123 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.20	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	11.64	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

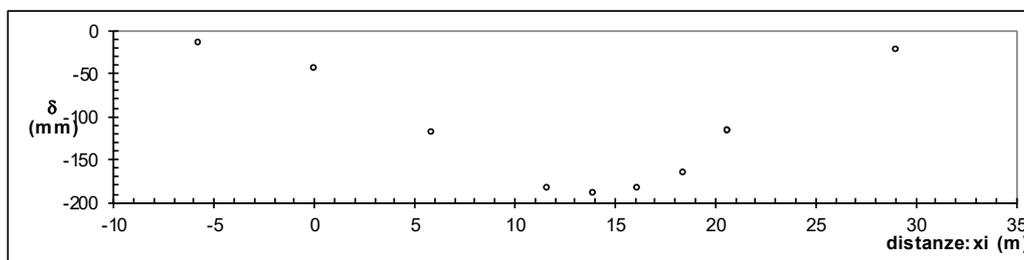
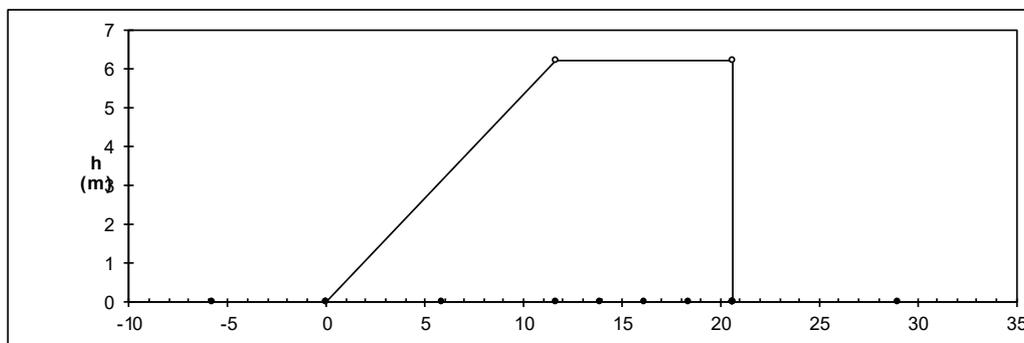
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	8.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	34.00	16.00	0.5	50.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	65.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.82	0.00	5.82	11.64	13.89	16.14	18.39	20.64	20.64	20.64	20.64
										29

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

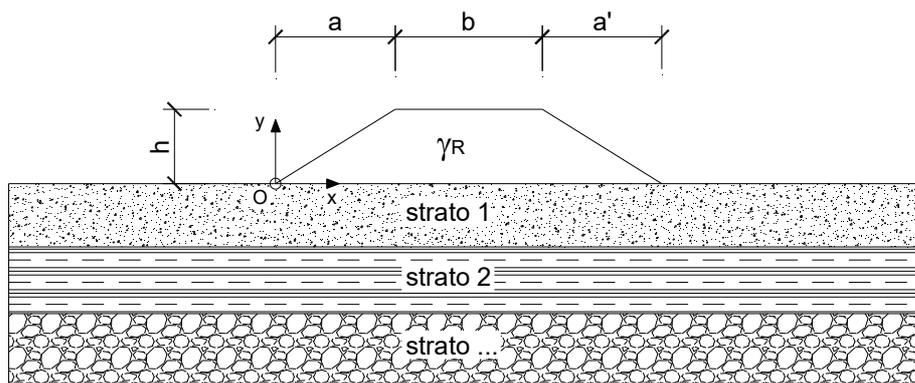
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.82	0.00	5.82	11.64	13.89	16.14	18.39	20.64	20.64	20.64	29.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-1.52	-4.36	-11.78	-18.35	-18.94	-18.35	-16.45	-11.64	-11.64	-11.64	-2.19

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 120-123 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.20	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	11.64	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

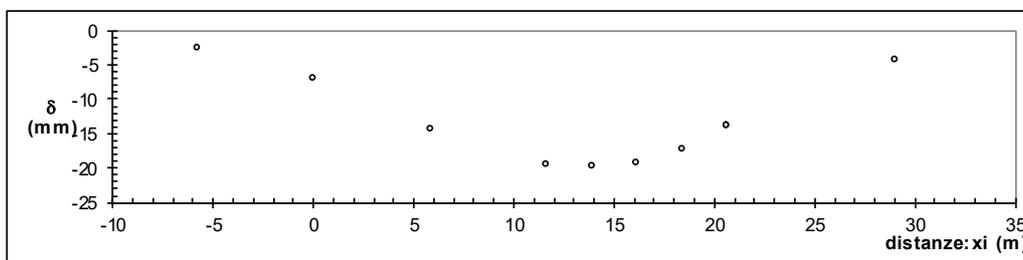
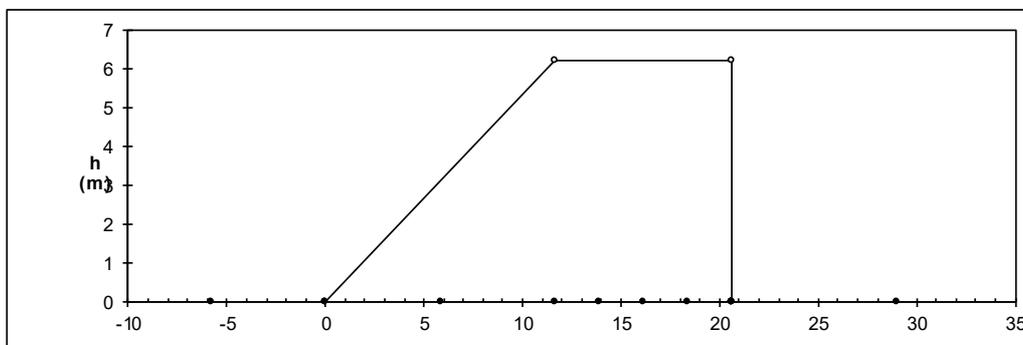
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	34.00	16.00	0.5	50.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	65.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.82	0.00	5.82	11.64	13.89	16.14	18.39	20.64	20.64	20.64	20.64
										29

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

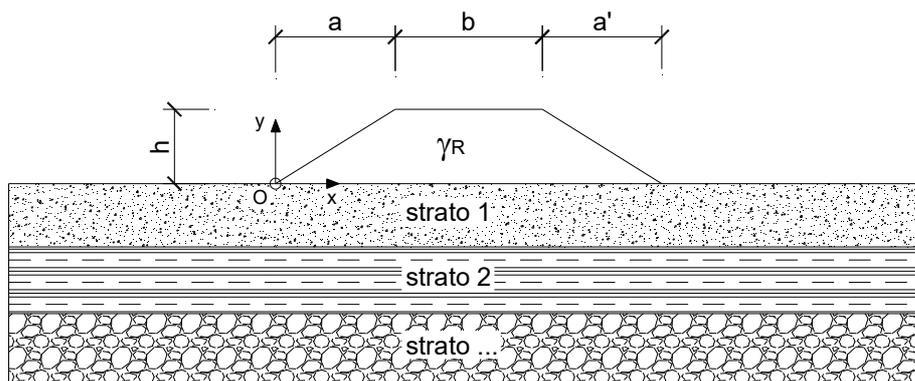
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.82	0.00	5.82	11.64	13.89	16.14	18.39	20.64	20.64	20.64	29.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.24	-0.70	-1.44	-1.93	-1.97	-1.91	-1.73	-1.38	-1.38	-1.38	-0.42

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 130-131 - Costruzione scatolare Binario Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	4.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.10	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

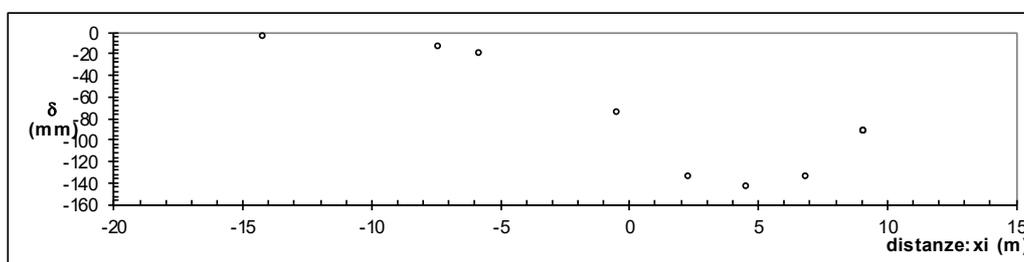
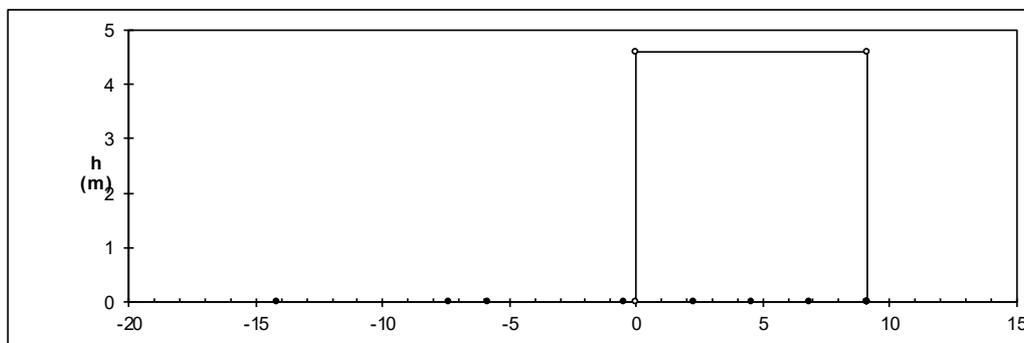
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	10.00	10.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	10.00	15.00	5.00	0.5	8.0	0.25	23.0	20.00	b3
3	15.00	30.00	15.00	0.5	75.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
4	30.00	50.00	20.00	0.5	83.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	4.55	6.83	9.10	9.10	9.10	9.10
-14.20	-7.4	-5.85	-0.5							

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

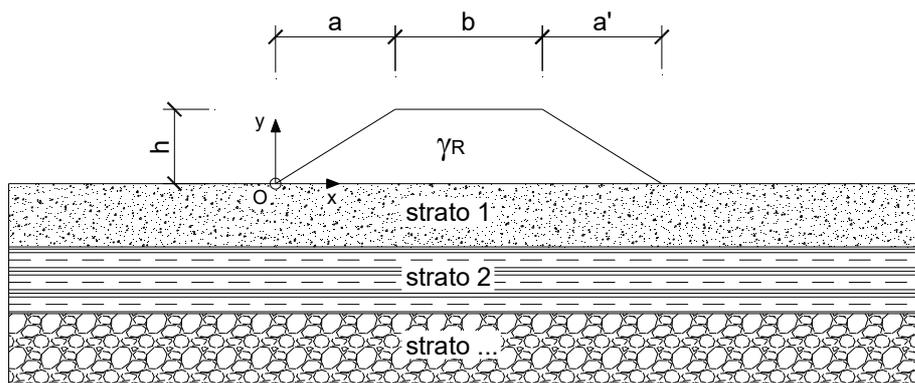
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-14.20	-7.40	-5.85	-0.50	2.28	4.55	6.83	9.10	9.10	9.10	9.10

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-0.32	-1.37	-1.93	-7.48	-13.39	-14.35	-13.39	-9.09	-9.09	-9.09	-9.09

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 130-131 - Costruzione scatolare Binario Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	4.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.10	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

Strato (n)	$z_{iniziale}$ (m)	z_{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	10.00	10.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	10.00	15.00	5.00	0.5	8.0	0.25	23.0	20.00	b3
3	15.00	30.00	15.00	0.5	75.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
4	30.00	50.00	20.00	0.5	83.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

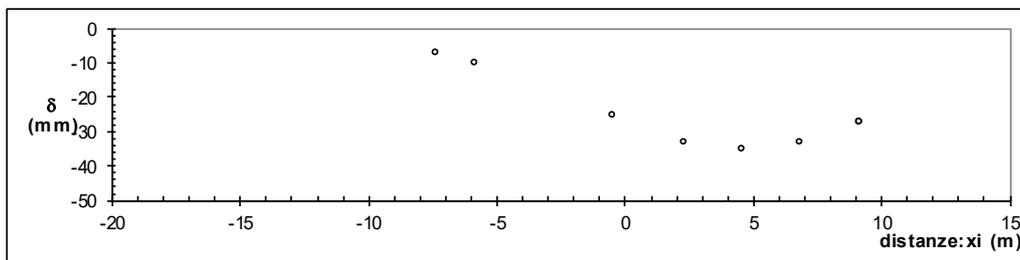
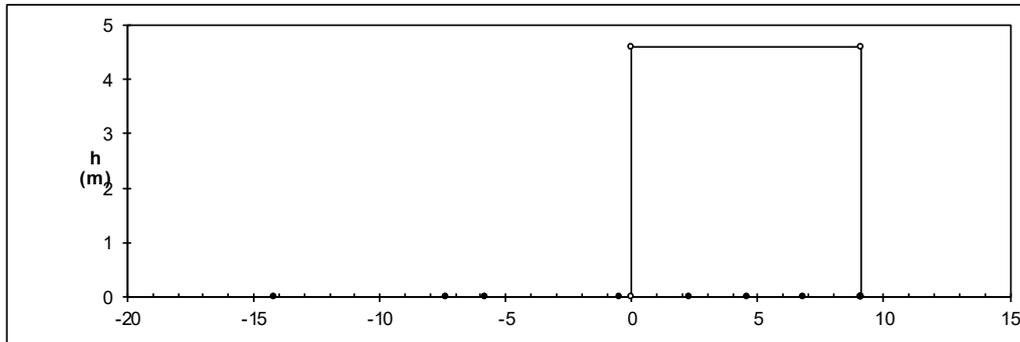
x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	4.55	6.83	9.10	9.10	9.10	9.10
-14.20	-7.4	-5.85	-0.5							

(automatico)
(manuale)

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	214 di 260

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

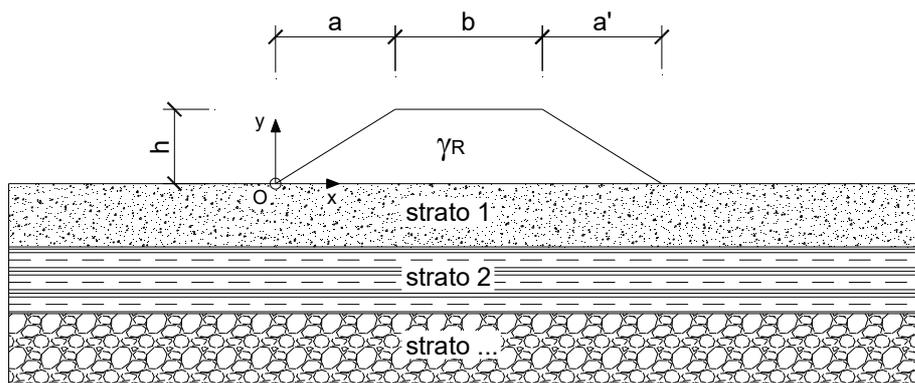
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-14.20	-7.40	-5.85	-0.50	2.28	4.55	6.83	9.10	9.10	9.10	9.10

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0.00	-0.72	-1.01	-2.52	-3.32	-3.52	-3.32	-2.70	-2.70	-2.70	-2.70

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 132-136 - Costruzione scatolare Binario Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	5.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	10.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

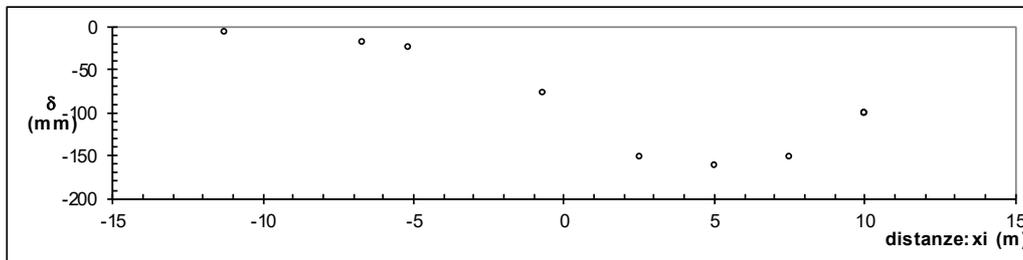
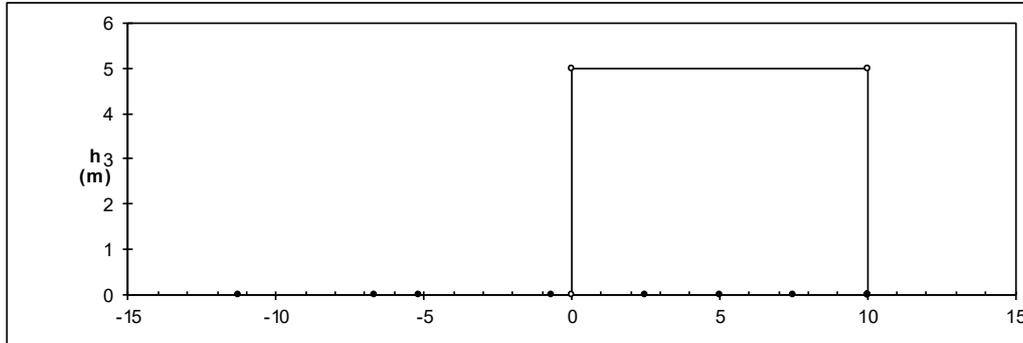
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	10.00	10.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	10.00	15.00	5.00	0.5	8.0	0.25	23.0	20.00	b3
3	15.00	30.00	15.00	0.5	75.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
4	30.00	50.00	20.00	0.5	83.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	10.00	10.00	10.00
-11.30	-6.7	-5.2	-0.7							

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

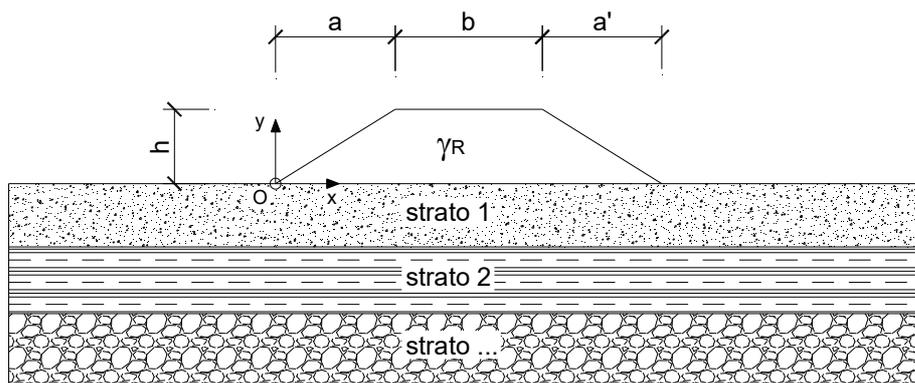
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-11.30	-6.70	-5.20	-0.70	2.50	5.00	7.50	10.00	10.00	10.00	10.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-0.67	-1.80	-2.51	-7.79	-15.14	-16.24	-15.14	-10.09	-10.09	-10.09	-10.09

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 132-136 - Costruzione scatolare Binario Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	5.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	10.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	5	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

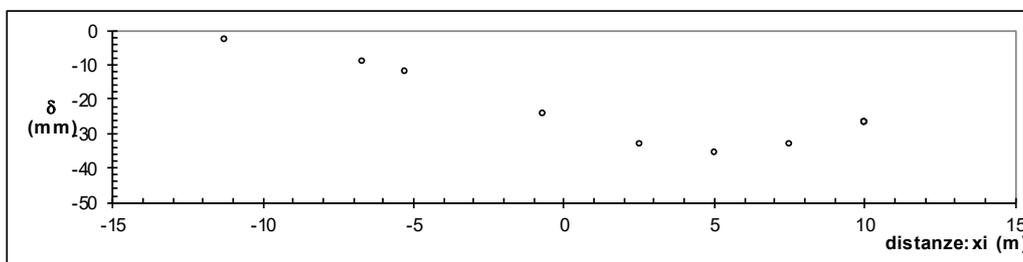
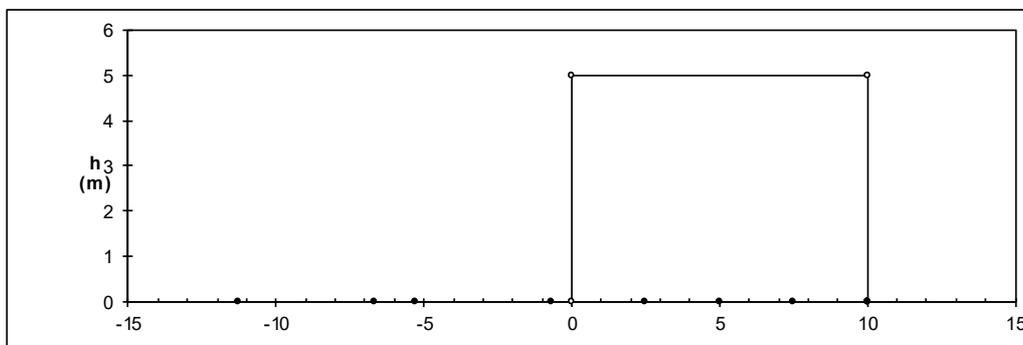
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	11.00	11.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	11.00	15.00	4.00	0.5	8.0	0.25	23.0	20.00	b3
3	15.00	30.00	15.00	0.5	75.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
4	30.00	50.00	20.00	0.5	83.0	0.20	40.0	24.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	10.00	10.00	10.00
-11.30	-6.7	-5.3	-0.7							

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

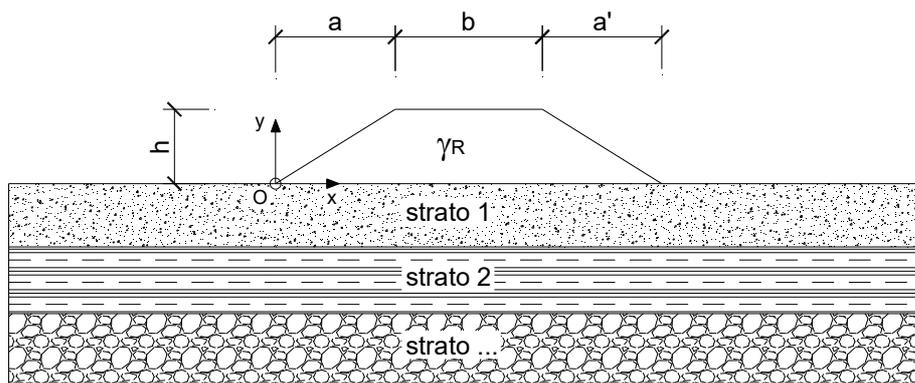
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-11.30	-6.70	-5.30	-0.70	2.50	5.00	7.50	10.00	10.00	10.00	10.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.28	-0.90	-1.18	-2.42	-3.32	-3.54	-3.32	-2.68	-2.68	-2.68	-2.68

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 136-142 - Costruzione scatolare Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	6.41	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	13.20	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.50	(m)

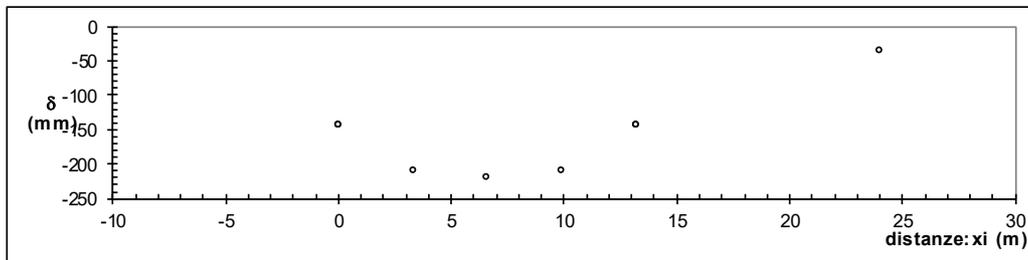
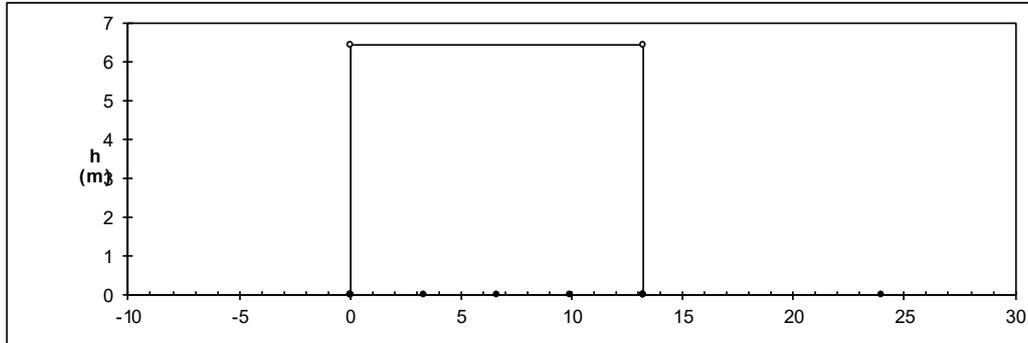
Strato (n)	$z_{iniziale}$ (m)	z_{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	5.00	5.00	0.5	6.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	5.00	15.00	10.00	0.5	21.0	0.25	33.0	20.00	b1
3	15.00	20.00	5.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
4	20.00	50.00	30.00	0.5	20.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.60	9.90	13.20	13.20	13.20	13.20
										24

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

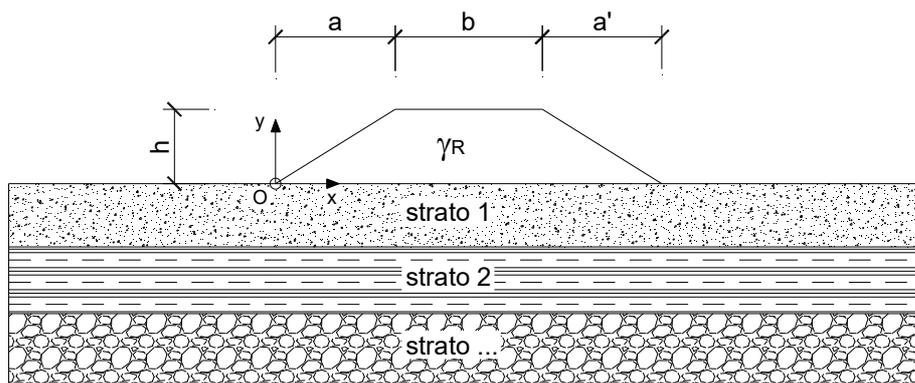
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.60	9.90	13.20	13.20	13.20	24.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)									
-14.19	-14.19	-14.19	-14.19	-20.91	-21.91	-20.91	-14.19	-14.19	-14.19	-3.56

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 136-142 - Costruzione scatolare Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	6.06	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	13.20	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	5	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.50	(m)

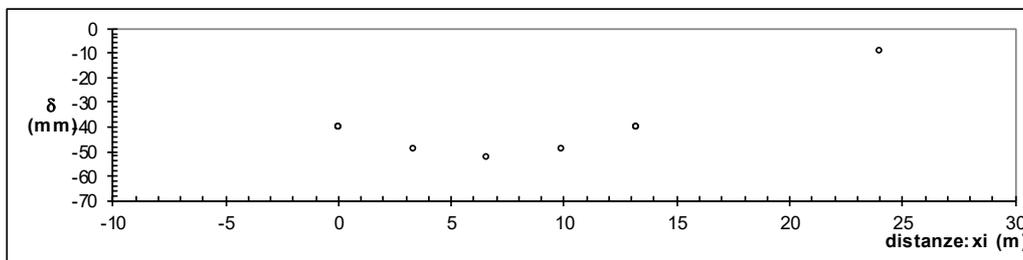
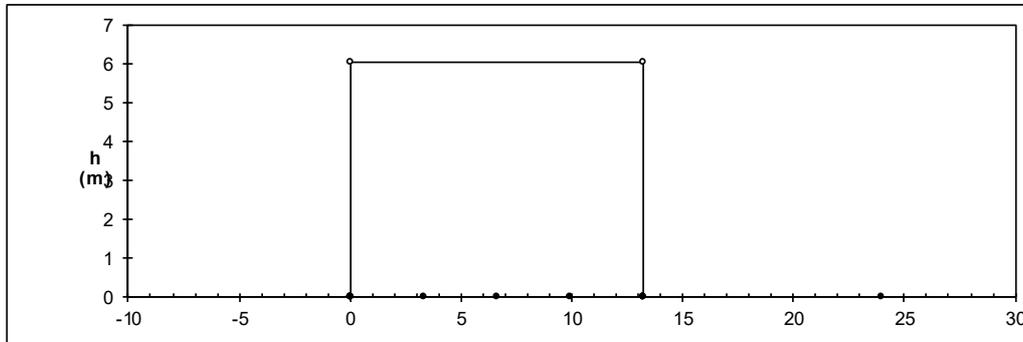
Strato	$z_{iniziale}$	z_{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	5.00	5.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	5.00	15.00	10.00	0.5	172.0	0.25	33.0	20.00	b1
3	15.00	20.00	5.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
4	20.00	50.00	30.00	0.5	20.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.60	9.90	13.20	13.20	13.20	13.20
										24

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

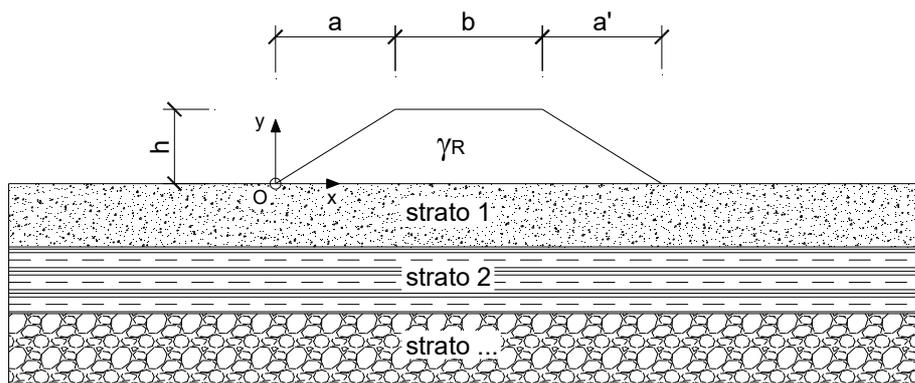
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	6.60	9.90	13.20	13.20	13.20	24.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-3.99	-3.99	-3.99	-3.99	-4.88	-5.23	-4.88	-3.99	-3.99	-3.99	-0.94

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 142-144 - Costruzione scatolare Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	5.13	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	10.60	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

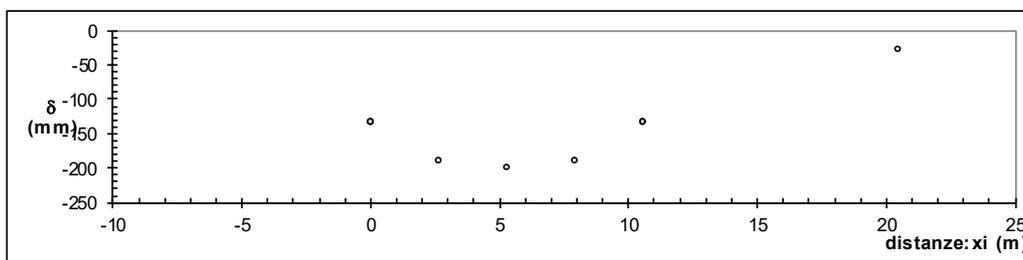
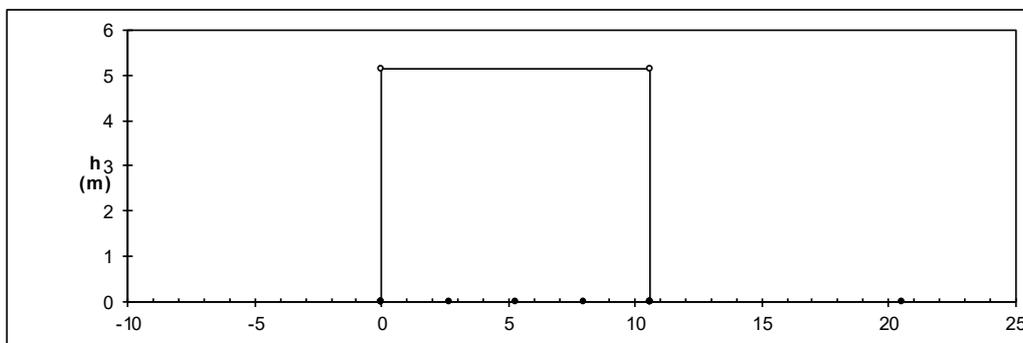
Strato	$z_{iniziale}$	z_{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	12.00	12.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	12.00	15.00	3.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	15.00	25.00	10.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
4	25.00	50.00	25.00	0.5	20.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	5.30	7.95	10.60	10.60	10.60	10.60
										20.5

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

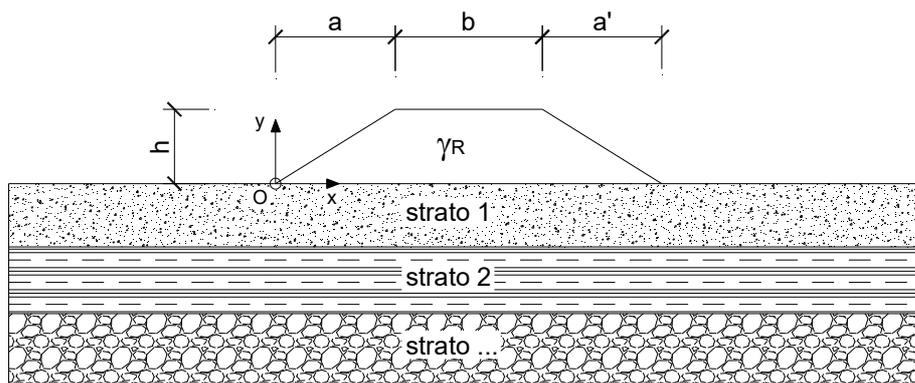
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	5.30	7.95	10.60	10.60	10.60	20.50

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-13.32	-13.32	-13.32	-13.32	-18.84	-20.06	-18.84	-13.32	-13.32	-13.32	-2.89

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 142-144 - Costruzione scatolare Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	5.13	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	10.60	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	25.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	5	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

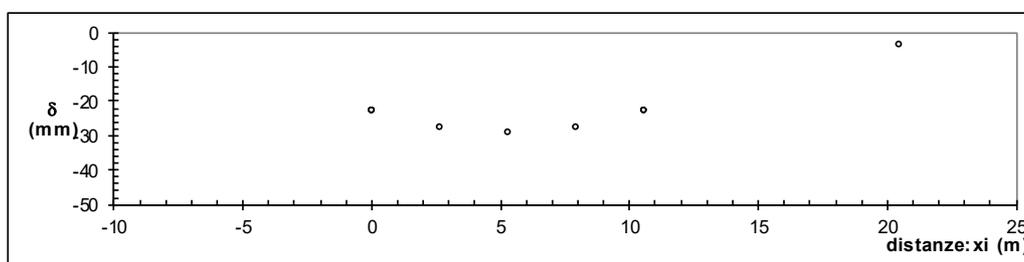
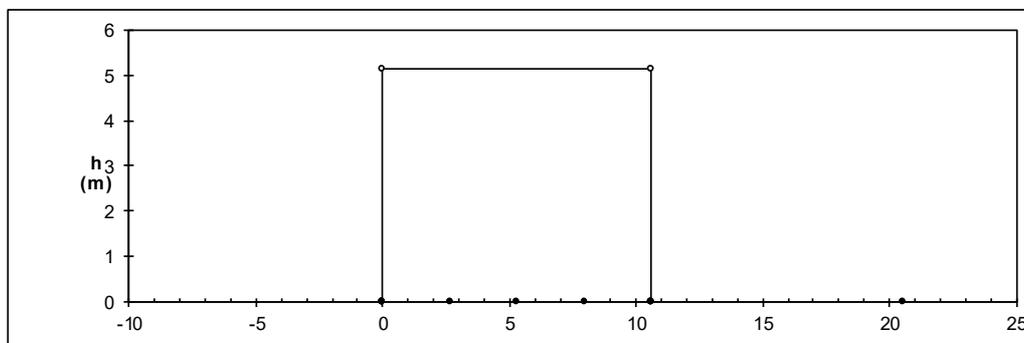
Strato	z _{iniziale}	z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	12.00	12.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	12.00	15.00	3.00	0.5	168.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	15.00	25.00	10.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
4	25.00	50.00	25.00	0.5	20.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	5.30	7.95	10.60	10.60	10.60	10.60
										20.5

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)							
0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	5.30	7.95	10.60	10.60	10.60	20.50

CEDIMENTI

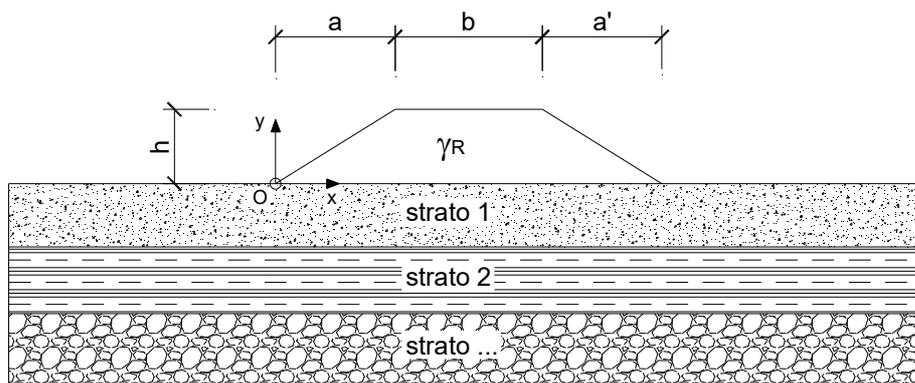
δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-2.25	-2.25	-2.25	-2.25	-2.78	-2.90	-2.78	-2.25	-2.25	-2.25	-0.35

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	227 di 260

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 144-146 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato **equivalente**): 5.00 (m)
a (larghezza scarpata sinistra): 7.46 (m)
a' (larghezza scarpata destra): 0.00 (m)
b (larghezza coronamento del rilevato): 17.80 (m)
 γ_R (peso di unità di volume del rilevato): 20.00 (kN/m³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5): 3 (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: 1 (%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)
Zw (Profondità della falda): 12.00 (m)

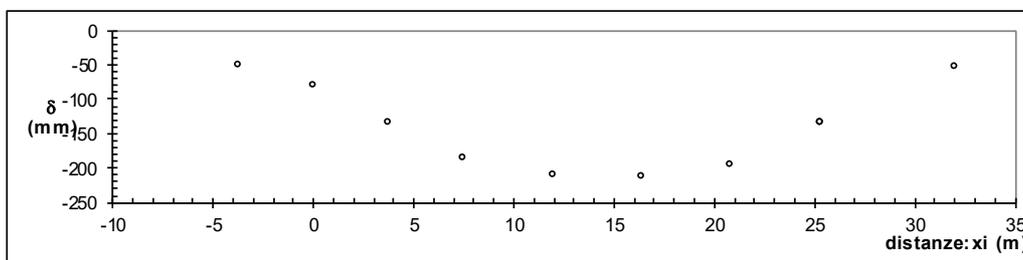
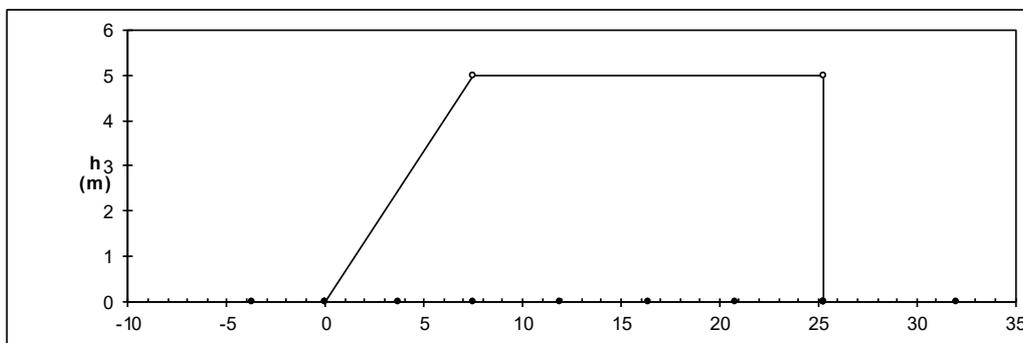
Strato (n)	z _{iniziale} (m)	z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	8.5	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	30.00	12.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-3.73	0.00	3.73	7.46	11.91	16.36	20.81	25.26	25.26	25.26	25.26
										32

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

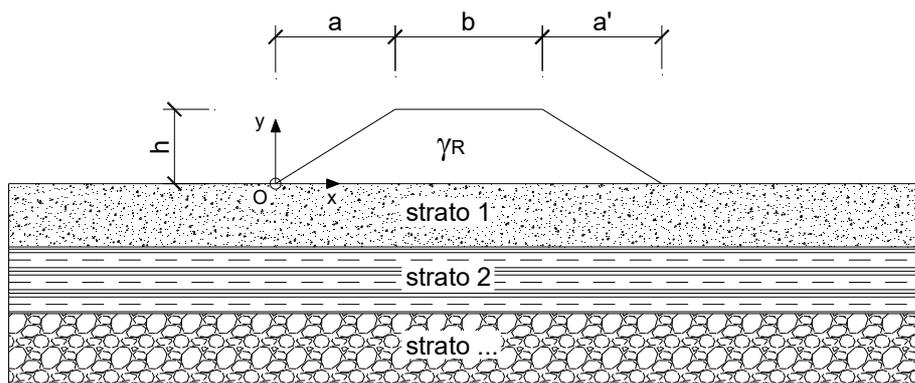
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-3.73	0.00	3.73	7.46	11.91	16.36	20.81	25.26	25.26	25.26	32.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-4.98	-7.87	-13.26	-18.48	-21.03	-21.26	-19.46	-13.23	-13.23	-13.23	-5.18

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 144-146 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	5.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	7.46	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	17.80	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

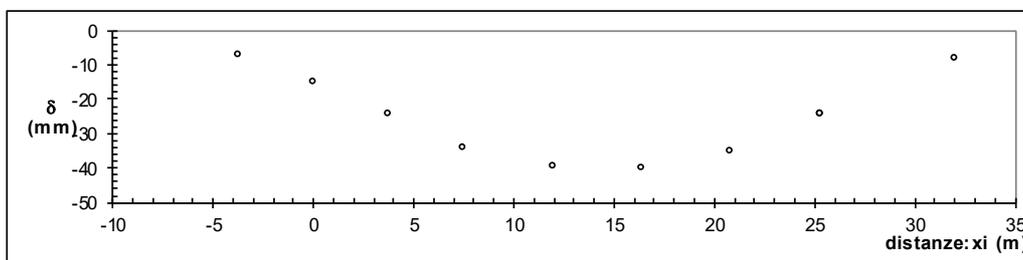
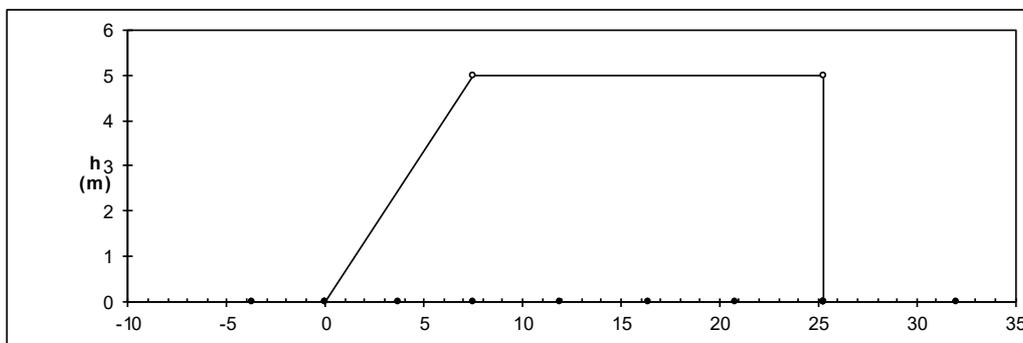
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	12.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	30.00	12.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-3.73	0.00	3.73	7.46	11.91	16.36	20.81	25.26	25.26	25.26	25.26
										32

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

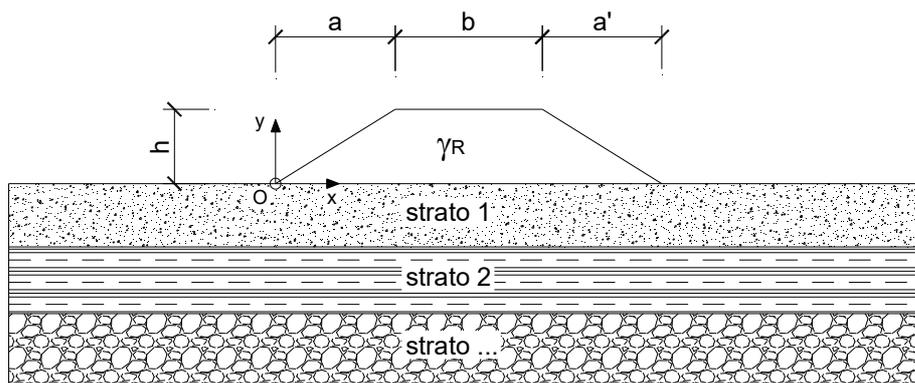
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-3.73	0.00	3.73	7.46	11.91	16.36	20.81	25.26	25.26	25.26	32.00

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.71	-1.50	-2.43	-3.38	-3.93	-3.97	-3.50	-2.42	-2.42	-2.42	-0.81

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 146-150 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	2.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	3.80	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.20	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

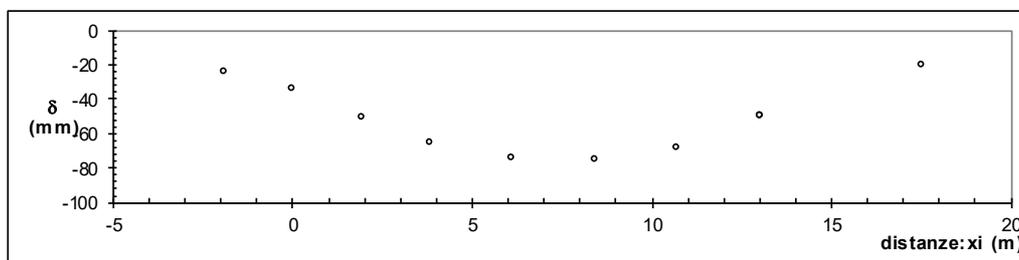
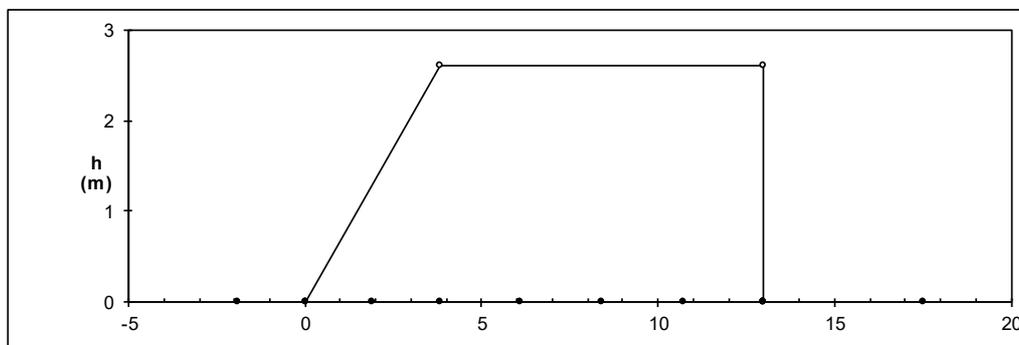
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	13.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	18.00	18.00	0.5	8.5	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	30.00	12.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	6.10	8.40	10.70	13.00	13.00	13.00	13.00
										17.5

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

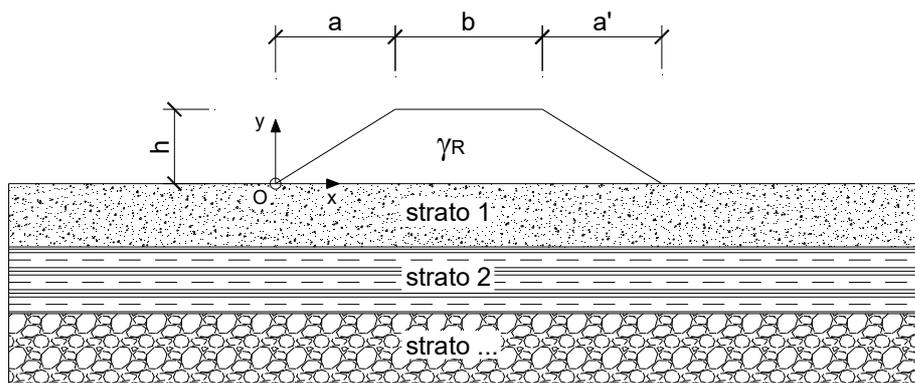
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	6.10	8.40	10.70	13.00	13.00	13.00	17.50

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-2.35	-3.35	-5.00	-6.54	-7.39	-7.46	-6.84	-4.98	-4.98	-4.98	-2.04

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 146-150 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	2.60	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	3.80	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	9.20	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	13.00	(m)

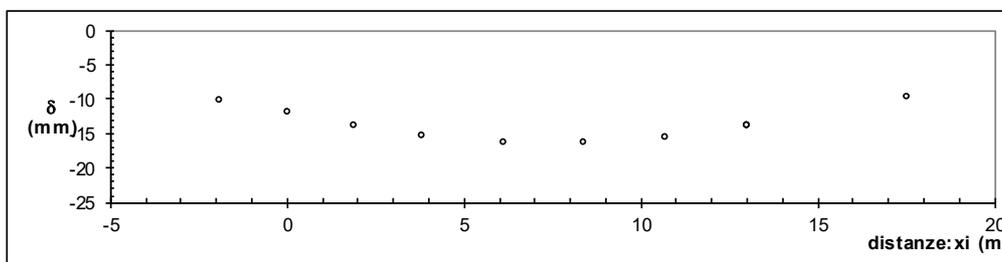
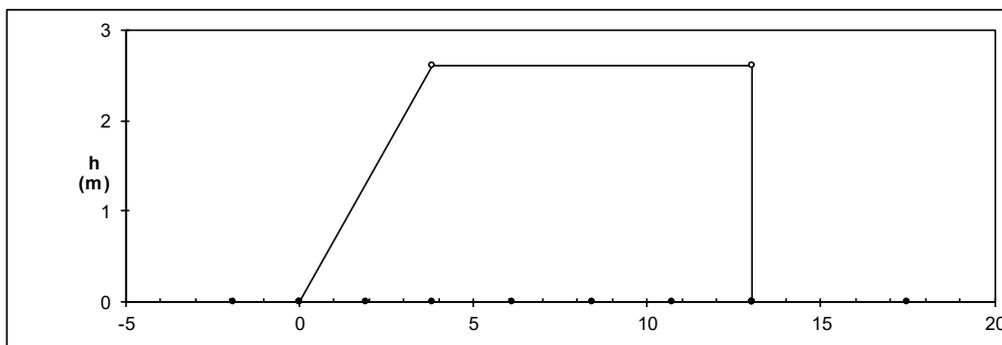
Strato	$z_{iniziale}$	z_{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	18.00	18.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	30.00	12.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	6.10	8.40	10.70	13.00	13.00	13.00	13.00
										17.5

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

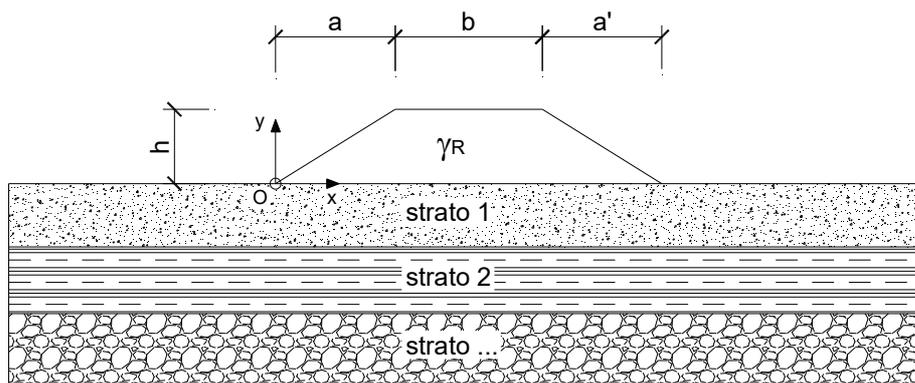
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1.90	0.00	1.90	3.80	6.10	8.40	10.70	13.00	13.00	13.00	17.50

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-1.02	-1.18	-1.37	-1.52	-1.63	-1.64	-1.54	-1.37	-1.37	-1.37	-0.96

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 150-157 - Costruzione rilevato Binario Pari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.50	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	11.70	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

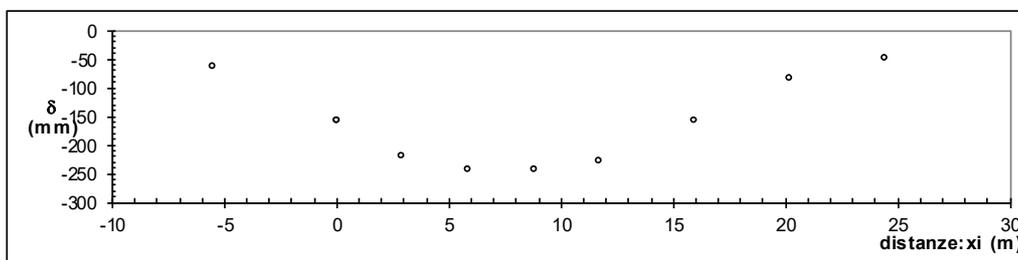
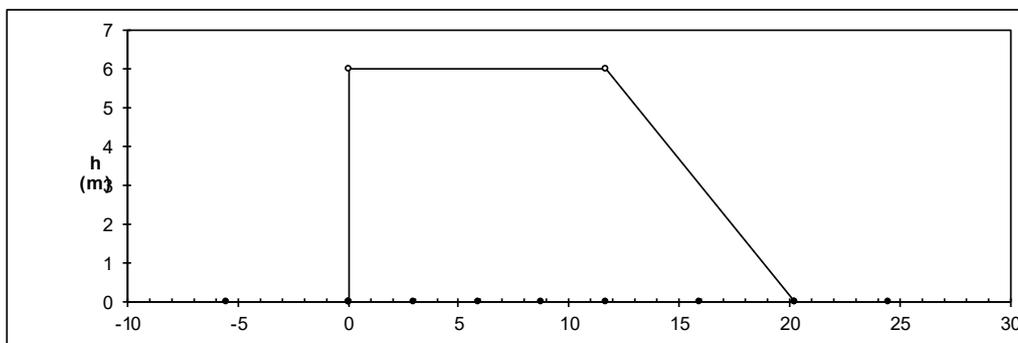
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	13.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	15.00	15.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	15.00	30.00	15.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.93	5.85	8.78	11.70	15.95	20.20	24.45
		-5.53								

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

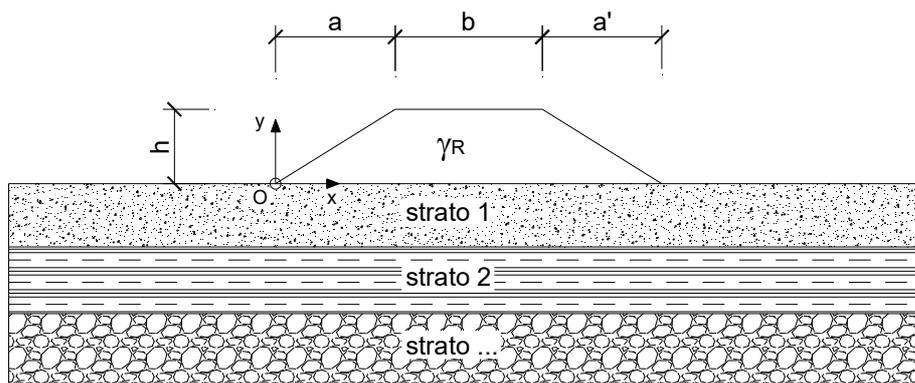
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	-5.53	0.00	2.93	5.85	8.78	11.70	15.95	20.20	24.45

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-15.62	-15.62	-6.31	-15.62	-22.00	-24.14	-24.35	-22.63	-15.70	-8.28	-4.74

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 150-157 - Costruzione rilevato Binario Pari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.50	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	11.70	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

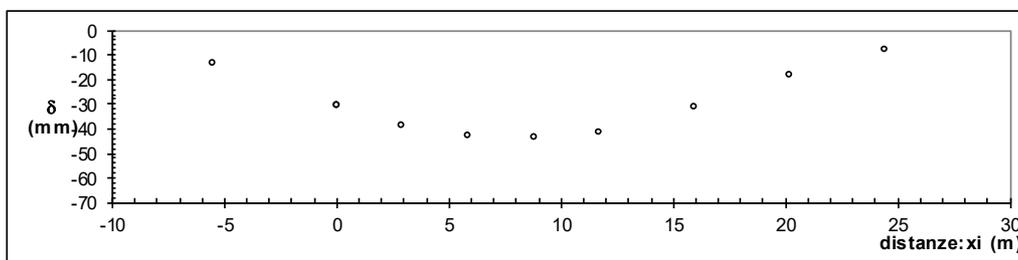
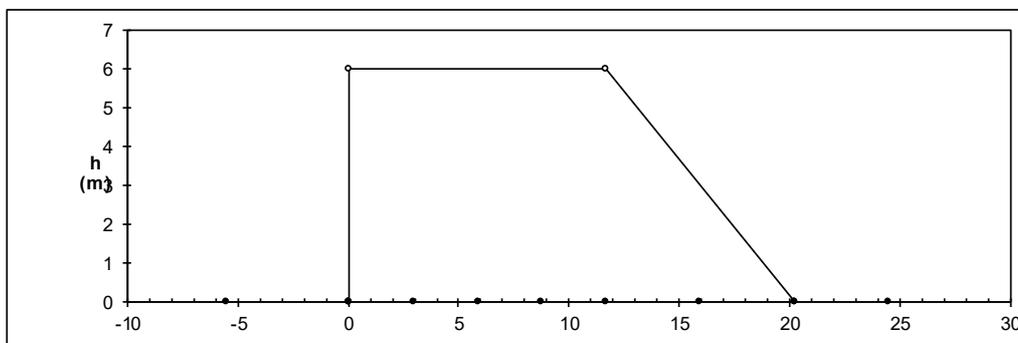
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	13.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	15.00	15.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	15.00	30.00	15.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.93	5.85	8.78	11.70	15.95	20.20	24.45
		-5.53								

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

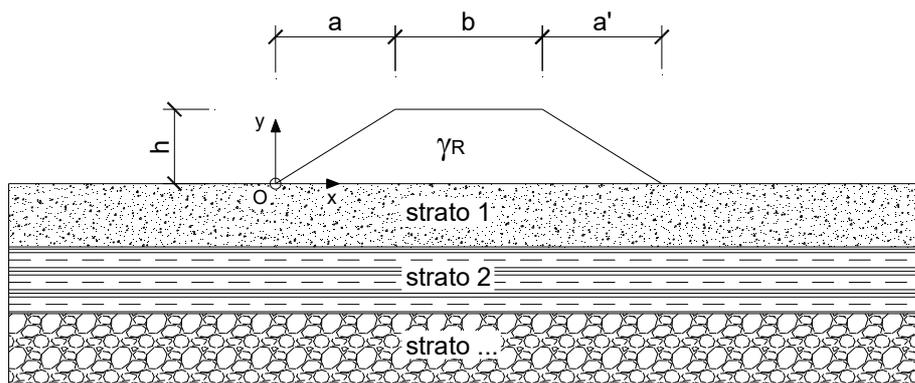
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	-5.53	0.00	2.93	5.85	8.78	11.70	15.95	20.20	24.45

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-3.08	-3.08	-1.34	-3.08	-3.85	-4.31	-4.37	-4.14	-3.10	-1.79	-0.81

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 157-160 - Costruzione rilevato Binario Pari e Dispari - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	8.40	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	23.40	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

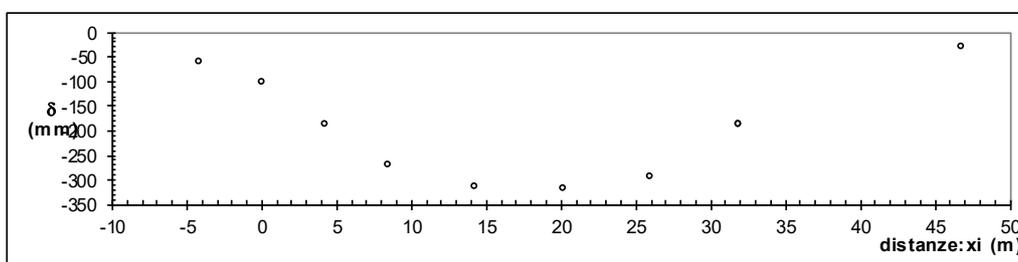
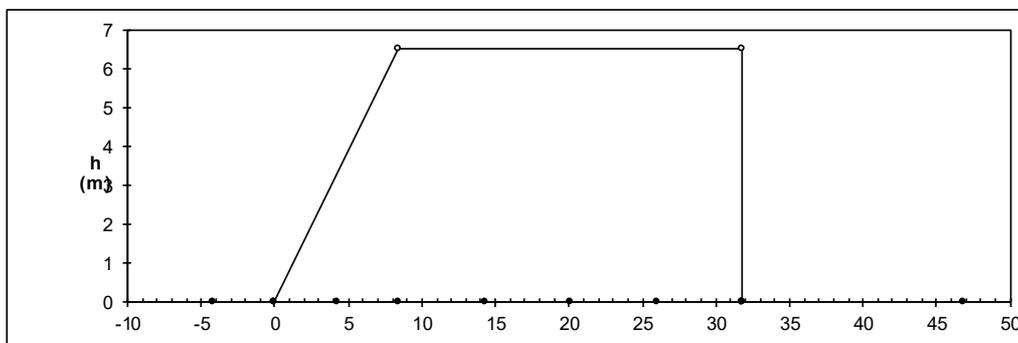
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	14.00	14.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	14.00	30.00	16.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	14.25	20.10	25.95	31.80	31.80	31.80	31.80
										46.8

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	14.25	20.10	25.95	31.80	31.80	31.80	46.80

CEDIMENTI

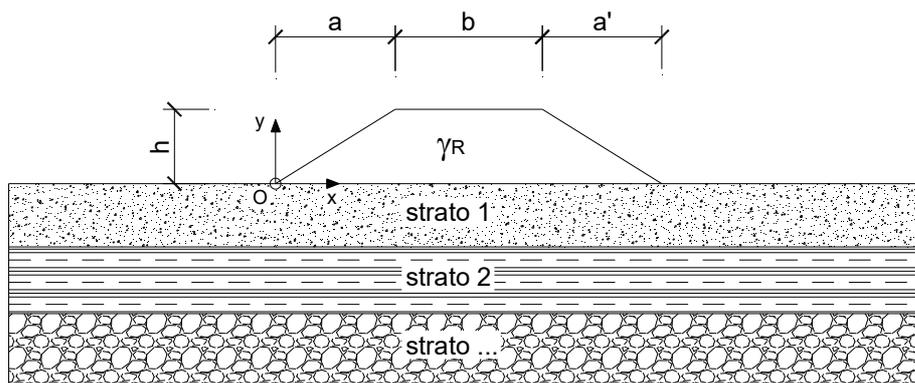
δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-5.98	-10.11	-18.57	-26.88	-31.21	-31.69	-29.21	-18.54	-18.54	-18.54	-2.97

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	241 di 260

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 157-160 - Costruzione rilevato Binario Pari e Dispari - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato): 6.50 (m)
a (larghezza scarpata sinistra): 8.40 (m)
a' (larghezza scarpata destra): 0.00 (m)
b (larghezza coronamento del rilevato): 23.00 (m)
 γ_R (peso di unità di volume del rilevato): 20.00 (kN/m³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

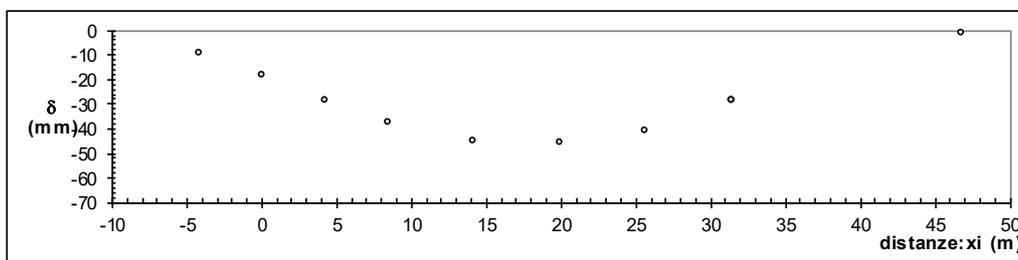
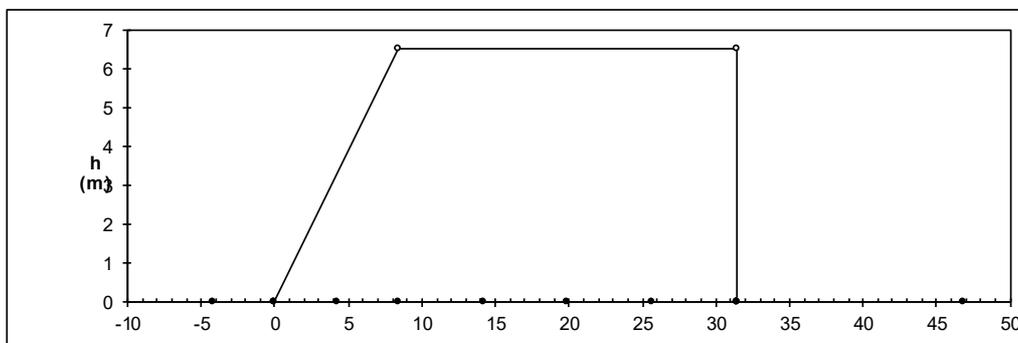
n (numero degli strati) (max 5): 3 (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: 5 (%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)
Zw (Profondità della falda): 6.00 (m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	14.00	14.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	14.00	30.00	16.00	0.5	169.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	14.15	19.90	25.65	31.40	31.40	31.40	31.40
										46.8

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

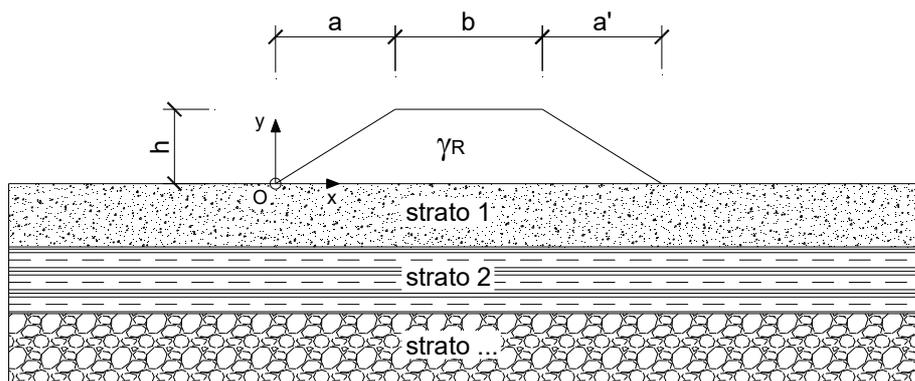
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	14.15	19.90	25.65	31.40	31.40	31.40	46.80

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-0.92	-1.81	-2.84	-3.76	-4.52	-4.58	-4.09	-2.83	-2.83	-2.83	-0.07

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 147-155 - Bretella Sciara - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	4.48	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	1	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

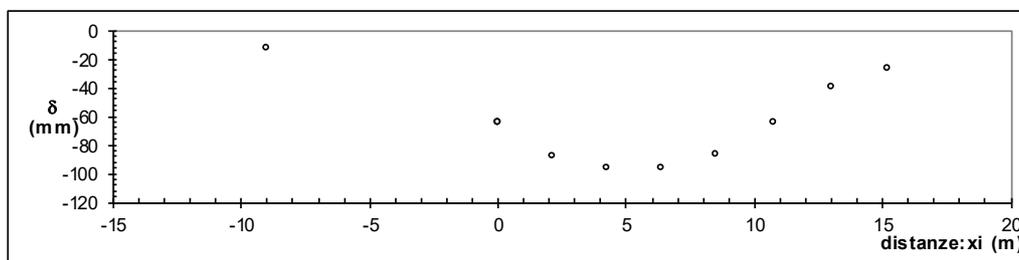
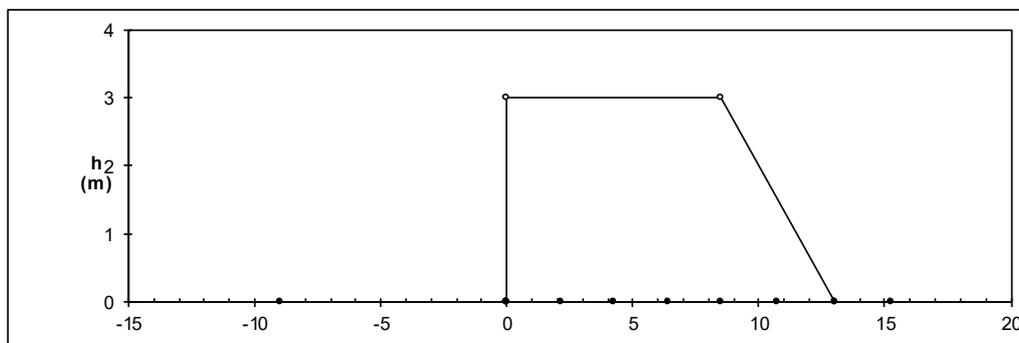
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	15.00	15.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	15.00	30.00	15.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	4.25	6.38	8.50	10.74	12.98	15.22
-9.00										

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

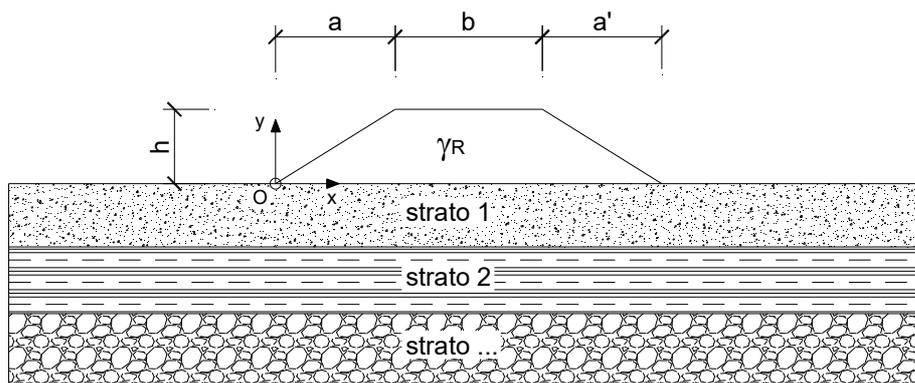
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-9.00	0.00	0.00	0.00	2.13	4.25	6.38	8.50	10.74	12.98	15.22

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)										
-1.19	-6.38	-6.38	-6.38	-8.78	-9.60	-9.58	-8.66	-6.40	-3.98	-2.61

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 147-155 - Bretella Sciara - Post Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	4.48	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

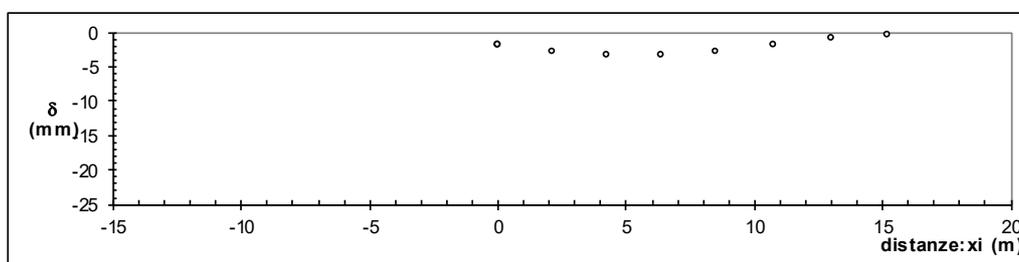
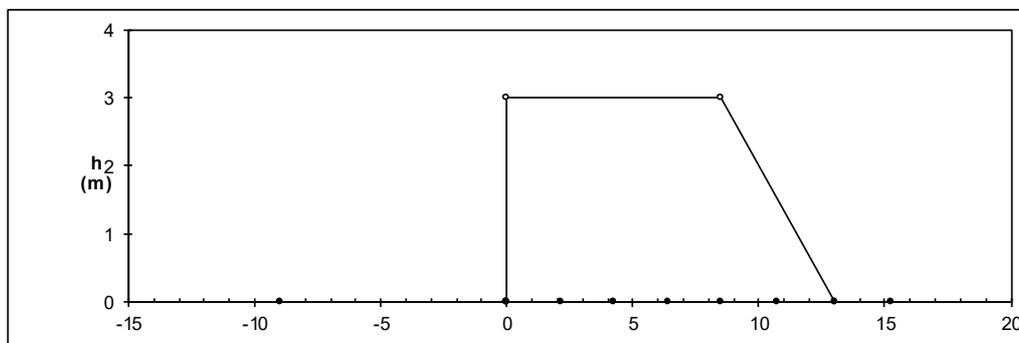
n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media):	5	(%)
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	v (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0.00	15.00	15.00	0.5	164.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	15.00	30.00	15.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	4.25	6.38	8.50	10.74	12.98	15.22
-9.00										

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

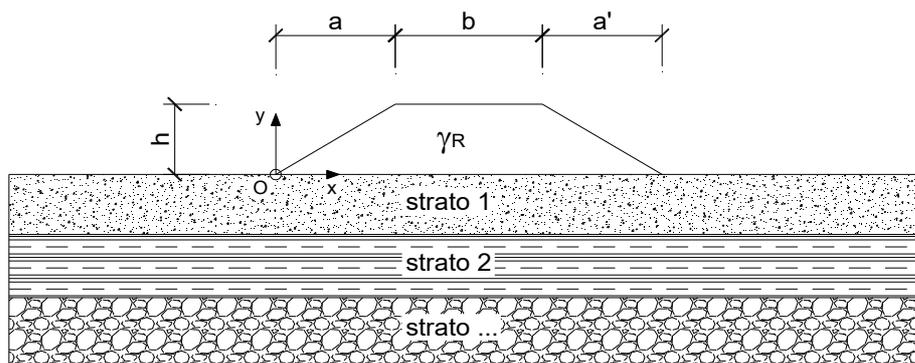
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-9.00	0.00	0.00	0.00	2.13	4.25	6.38	8.50	10.74	12.98	15.22

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
0.00	-0.19	-0.19	-0.19	-0.28	-0.32	-0.32	-0.28	-0.19	-0.08	-0.03

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 106-113 Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	6.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	6.50	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.10	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	13.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

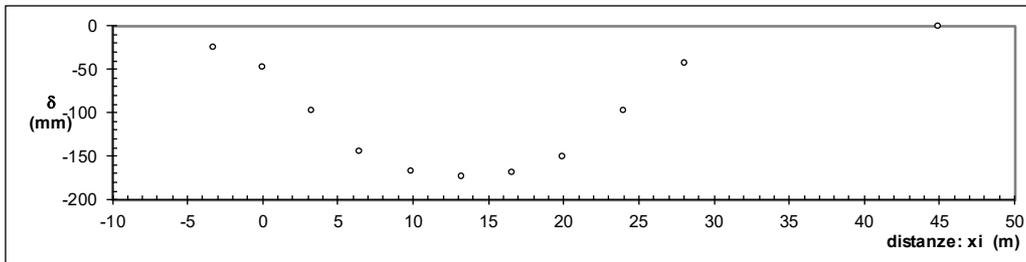
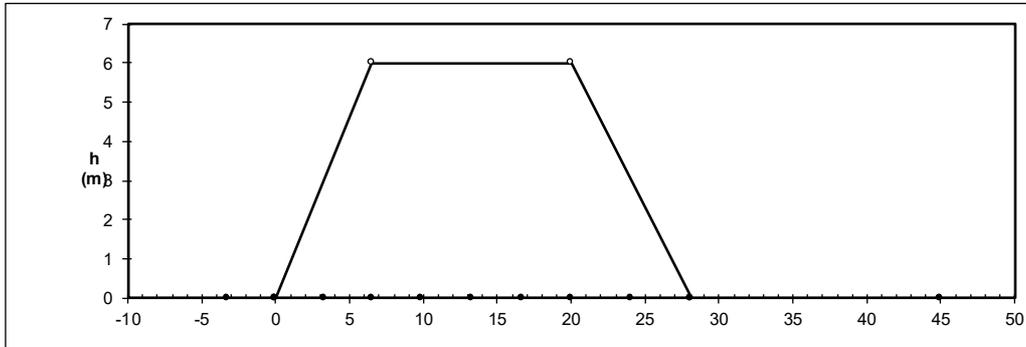
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	17.00	17.00	0.5	9.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	17.00	34.00	17.00	0.5	75.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	85.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-3.25	0.00	3.25	6.50	9.88	13.25	16.63	20.00	24.05	28.10	32.15
										45

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

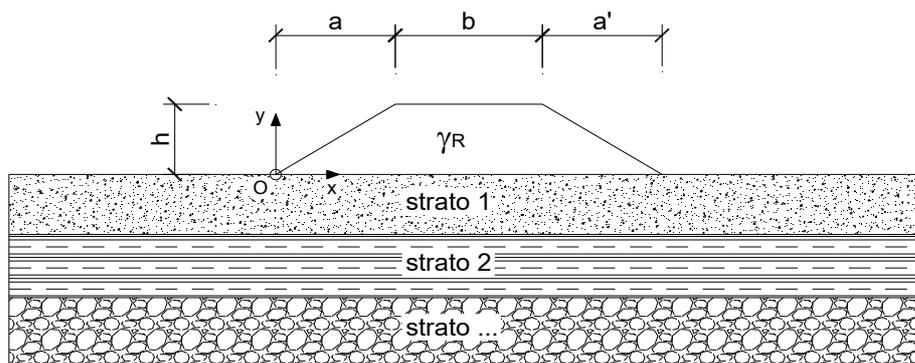
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-3.25	0.00	3.25	6.50	9.88	13.25	16.63	20.00	24.05	28.10	45.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-2.48	-4.87	-9.75	-14.56	-16.76	-17.39	-16.96	-15.10	-9.75	-4.31	-0.09

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 115-118 Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	8.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	13.80	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	13.80	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	18.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	11.00	(m)

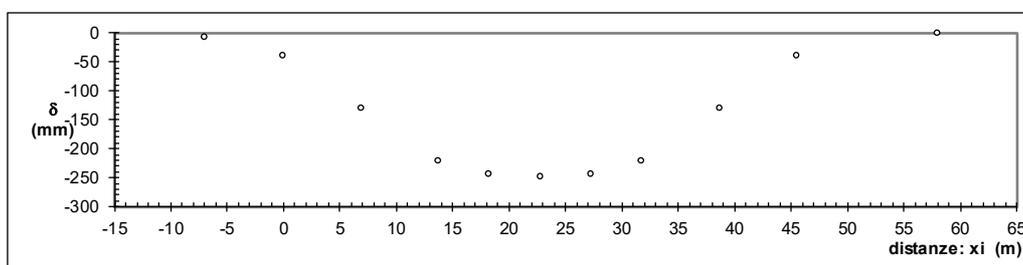
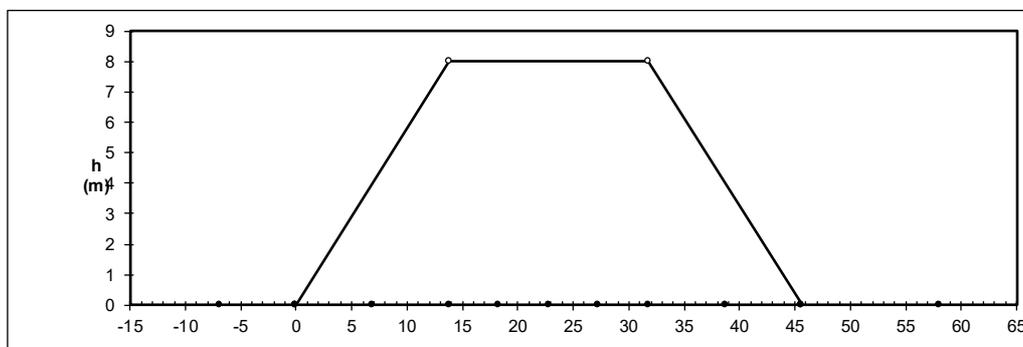
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	17.00	17.00	0.5	9.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	17.00	34.00	17.00	0.5	75.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	85.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6.90	0.00	6.90	13.80	18.30	22.80	27.30	31.80	38.70	45.60	52.50
										58

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

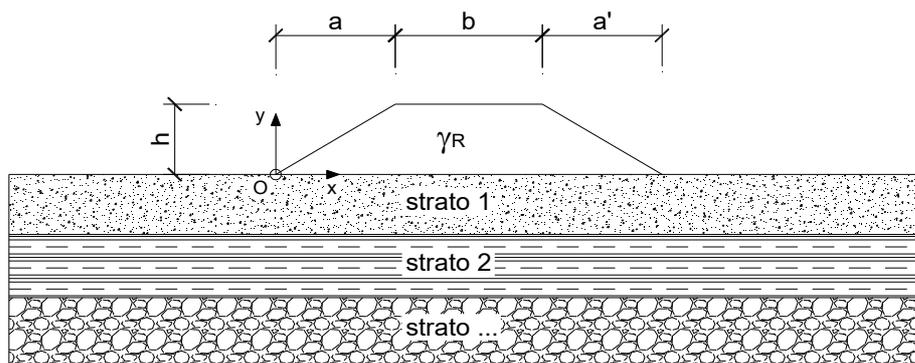
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6.90	0.00	6.90	13.80	18.30	22.80	27.30	31.80	38.70	45.60	58.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-0.90	-3.93	-13.17	-22.31	-24.52	-25.06	-24.52	-22.31	-13.17	-3.93	-0.17

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Sez. 159-162 Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	7.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	30.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

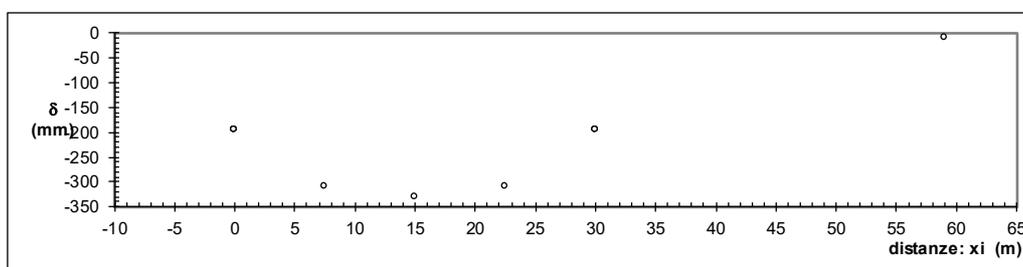
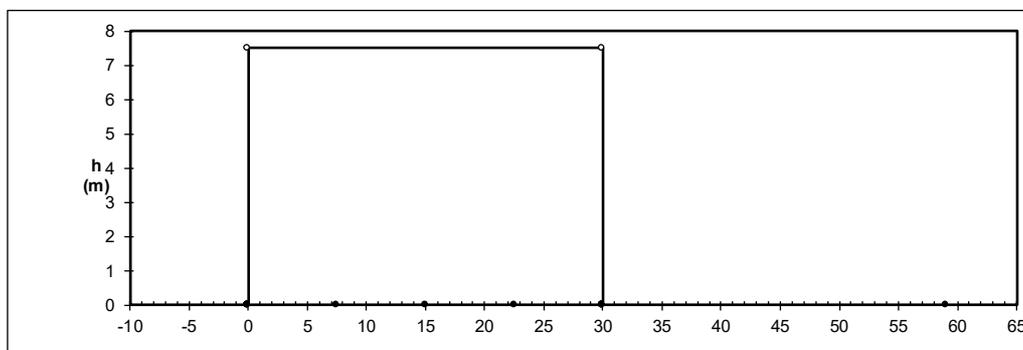
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	13.00	13.00	0.5	9.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	13.00	34.00	21.00	0.5	16.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	34.00	50.00	16.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	15.00	22.50	30.00	30.00	30.00	30.00
										59

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

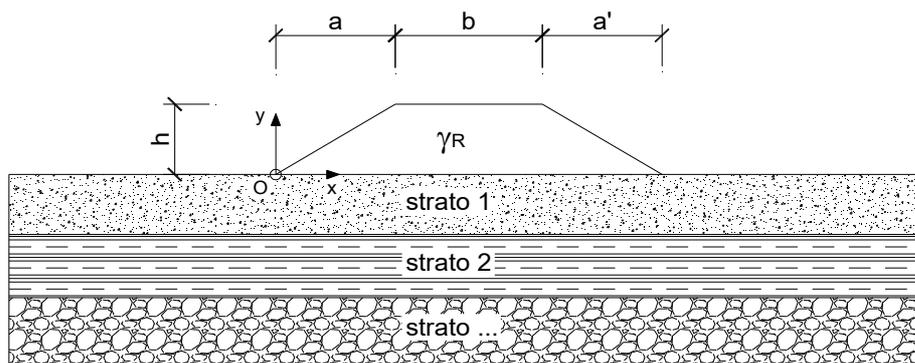
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	15.00	22.50	30.00	30.00	30.00	59.00

CEDIMENTI

$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	$\delta 4$	$\delta 5$	$\delta 6$	$\delta 7$	$\delta 8$	$\delta 9$	$\delta 10$	$\delta 11$
(cm)	(cm)									
-19.56	-19.56	-19.56	-19.56	-31.08	-33.14	-31.08	-19.56	-19.56	-19.56	-1.03

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: NV06 - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato equivalente):	6.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	8.40	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	8.50	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.50	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	19.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.50	(m)

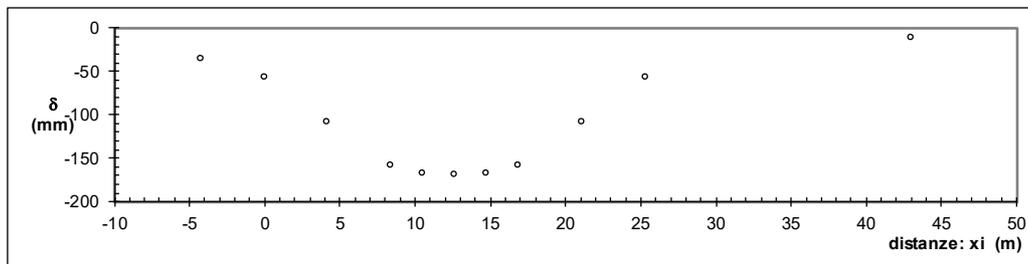
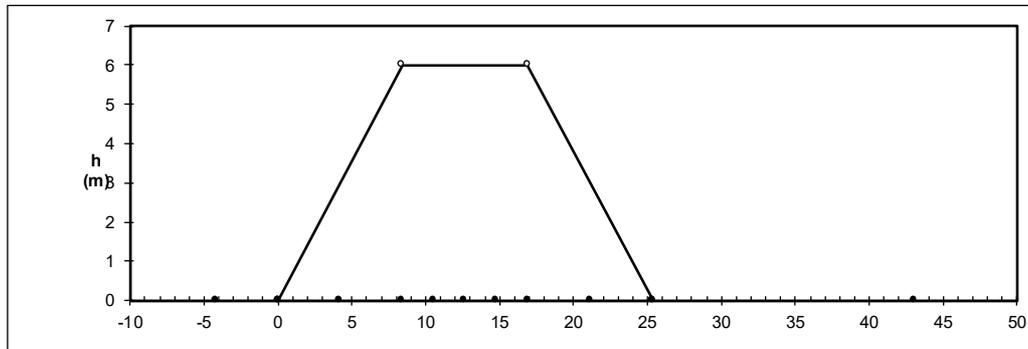
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	5.00	5.00	0.5	6.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	5.00	15.00	10.00	0.5	21.0	0.25	33.0	20.00	b1
3	15.00	20.00	5.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
4	20.00	50.00	30.00	0.5	20.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	10.53	12.65	14.78	16.90	21.15	25.40	29.65
										43

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

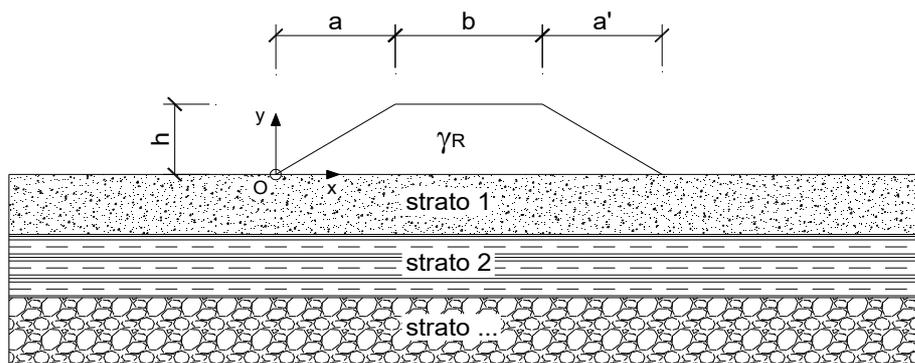
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-4.20	0.00	4.20	8.40	10.53	12.65	14.78	16.90	21.15	25.40	43.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-3.61	-5.68	-10.88	-15.80	-16.73	-16.96	-16.73	-15.82	-10.88	-5.66	-1.20

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: NV07 - Sezione 7 + Piazzale SSE - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	7.00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	11.75	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	7.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.70	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	19.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

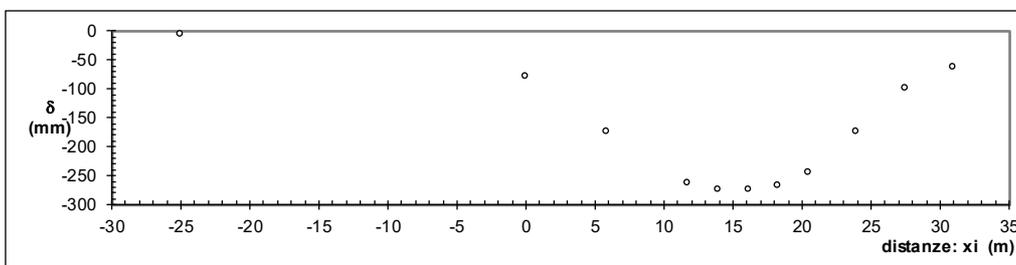
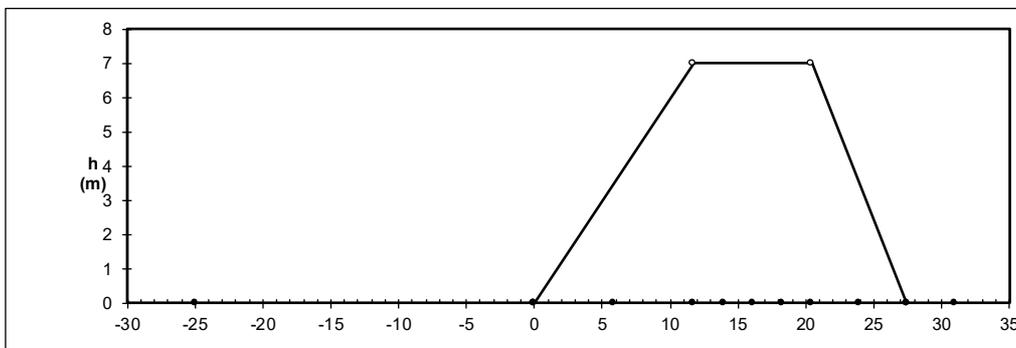
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	14.00	14.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	14.00	30.00	16.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5.88	0.00	5.88	11.75	13.93	16.10	18.28	20.45	23.95	27.45	30.95
-25.00										

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

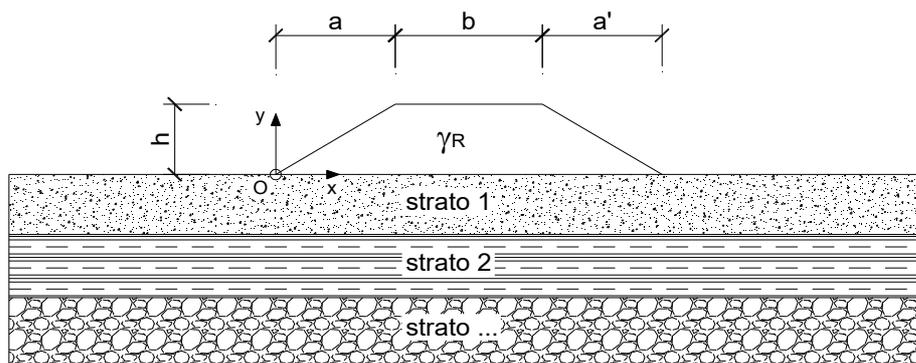
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-25.00	0.00	5.88	11.75	13.93	16.10	18.28	20.45	23.95	27.45	30.95

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-0.63	-7.94	-17.50	-26.24	-27.42	-27.53	-26.68	-24.54	-17.42	-9.99	-6.23

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: PT01_PT02 - Piazzale di emergenza - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	8.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	0.00	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	0.00	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	15.00	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	6.00	(m)

Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	14.00	14.00	0.5	7.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	14.00	30.00	16.00	0.5	17.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
3	30.00	50.00	20.00	0.5	18.0	0.20	24.0	23.00	AVF-2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

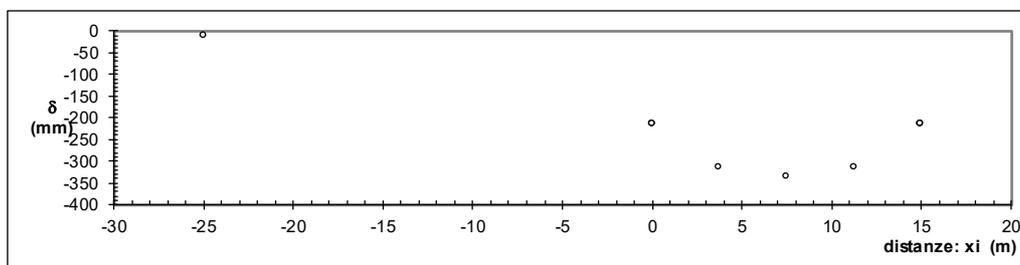
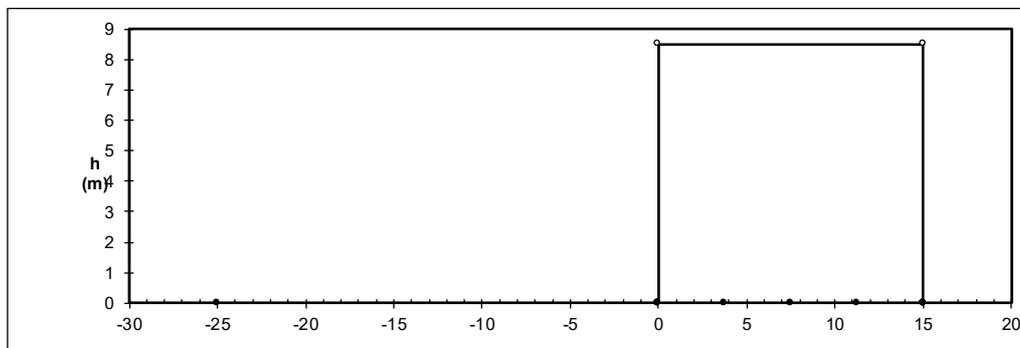
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	7.50	11.25	15.00	15.00	15.00	15.00
-25.00										

(automatico)
(manuale)

Relazione geotecnica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 78	RH	OC000X 001	C	258 di 260

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

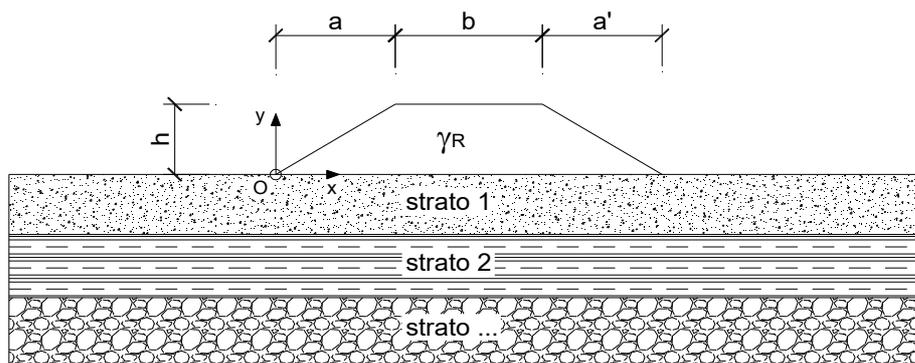
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-25.00	0.00	0.00	0.00	3.75	7.50	11.25	15.00	15.00	15.00	15.00

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
-1.26	-21.38	-21.38	-21.38	-31.36	-33.45	-31.36	-21.38	-21.38	-21.38	-21.38

CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO

LAVORO: Variante linea storica - Sez 33 - Ante Operam



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3.50	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	5.22	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	5.22	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	8.90	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	20.00	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	10.00	(m)

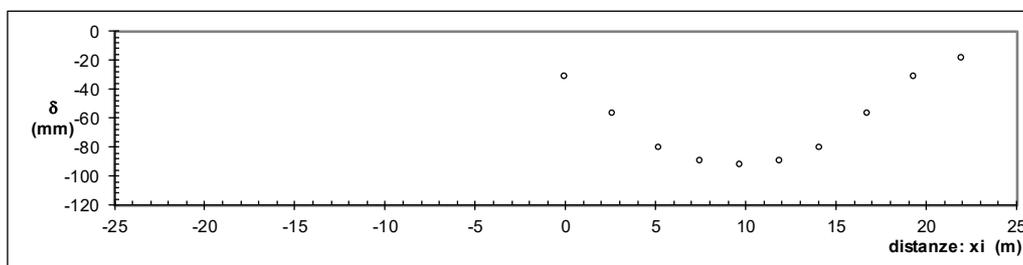
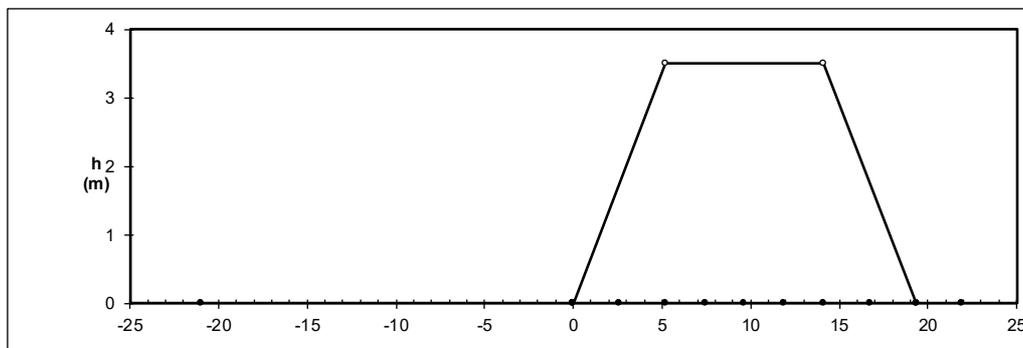
Strato	Z _{iniziale}	Z _{finale}	Spessore	Δz_i	E	v	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0.00	18.00	18.00	0.5	9.0	0.25	23.0	20.00	b3
2	18.00	34.00	16.00	0.5	75.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
3	34.00	50.00	16.00	0.5	85.0	0.20	33.0	20.00	AVF-1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2.61	0.00	2.61	5.22	7.45	9.67	11.90	14.12	16.73	19.34	21.95
-21.00										

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-21.00	0.00	2.61	5.22	7.45	9.67	11.90	14.12	16.73	19.34	21.95

CEDIMENTI

delta1	delta2	delta3	delta4	delta5	delta6	delta7	delta8	delta9	delta10	delta11
(cm)	(cm)									
0.00	-3.18	-5.67	-8.06	-9.01	-9.28	-9.01	-8.06	-5.67	-3.18	-1.85