GRUPPO FS ITALIANE

Direzione Tecnica

S.S. n°1 AURELIA
VARIANTE ALL'ABITATO DI IMPERIA
LOTTO 1
DA SVINCOLO TORRENTE PRINO A SVINCOLO IMPERO

PROGETTO DEFINITIVO

COD. GE271

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA: PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.

MANDANTI: delta ingegneria; VIA INGEGNERIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:
Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl
Ordine Geologi Regione Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Ing. Matteo Di Girolamo – Società VIA Ingegneria Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. n° 15138

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:
Ing. Fabrizio Cardone

PROTOCOLLO: DATA:

IL PROGETTISTA:
Ing. Enrico Maria Pizzarotti – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 29470

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT.ING. FORMICHI RICCARDO
Sez.A Settori:
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 18045

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT.ING. ENRICO MARIA PIZZAROTTI
Sez.A Settori
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 29470

02 - GEOLOGIA E GEOTECNICA
02.03 - GEOTECNICA
Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO: DPGE2710 LIV. PROG.: D 23	T00GE03GETRE01A.pdf		
	CODICE ELAB.: T00GE03GETRE01	A	

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Gennaio 2024	Vitiello	Mezzanzanica	Formichi

ANAS S.p.A.

S.S. 1 AURELIA – VARIANTE ALL'ABITATO DI IMPERIA

1° LOTTO FUNZIONALE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

INDICE

1 PREMESSA 6

2 NORMATIVA ED ELABORATI DI RIFERIMENTO 8

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E RACCOMANDAZIONI TECNICHE 8
2.2 ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO 8

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE 10

3.1 CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA PREGRESSA (2010) 10
3.1.1 Indagini geognostiche in sito 12
3.1.1.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo 12
3.1.1.2 Prove penetrometriche dinamiche in foro di sondaggio (SPT) 13
3.1.1.3 Prove di permeabilità Lefranc 15
3.1.1.4 Prove di permeabilità Lugeon 15
3.1.1.5 Prove pressiometriche 16
3.1.1.6 Prove dilatometriche 16
3.1.1.7 Prove penetrometriche dinamiche continue 16
3.1.1.8 Prospezioni sismiche di superficie 17
3.1.1.9 Prospezioni sismiche down hole 18
3.1.1.10 Pozzetti esplorativi 20
3.1.1.11 Misure piezometriche 20
3.1.2 Prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio 21
3.1.3 Rilievi geomeccanici 22
3.2 CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA INTEGRATIVA (2023) 24
3.2.1 Indagini geognostiche in sito 24
3.2.1.1 Sondaggi geognostici 24
3.2.1.2 Prove di resistenza dinamica in foro: Standard Penetration Test (SPT) 25
3.2.1.3 Prove di permeabilità Lefranc 26
3.2.1.4 Prove di permeabilità Lugeon 27
3.2.1.5 Prove dilatometriche 27
3.2.1.6 Prelievo di carico su piastra 28
3.2.1.7 Prelievo di campioni ambientali 29
3.2.1.8 Indagini geofisiche 29
3.2.2 Prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio 33

4 QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO 35

4.1 UNITÀ STRATIGRAFICHE DI RIFERIMENTO 35
4.1.1 Unità tettonica Sanremo-Saccarello 36
4.1.1.1 Flysch di Sanremo - facies arenaceo-torbiditica (FS1) 36
4.1.1.2 Flysch di Sanremo - facies marnosa (FS2) 36
4.1.2 Depositi tardo e post-orogenici 36
4.1.2.1 Argille di Ortovero 37
4.1.3 Depositi continentali 37
4.1.3.1 Complesso alteritico 37
4.1.3.2 Depositi di versante (coltre eluvio-colluviale) 37
4.1.3.3 Depositi alluvionali antichi 37
4.1.3.4 Depositi alluvionali recenti 38

5 QUADRO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO 39

6 IDROGEOLOGIA 40

6.1 AREE DI FONDOVALLE 40
6.1.1 Bacino del Torrente Prino 40
6.1.2 Bacino del Torrente Impero 40
6.2 AREE DI VERSANTE 41
6.3 POSSIBILI INTERFERENZE 41

7 SISMICA 42

7.1 ZONAZIONE SISMOGENETICA 42
7.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE E SISMICITÀ STORICA 43
7.3 STRUTTURE SISMOGENETICHE 45
7.4 FAGLIE CAPACI 46
7.5 AZIONE SISMICA DI PROGETTO 48
7.5.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche 48
7.5.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica 49
7.5.3 Parametri sismici 49
7.4 ANALISI DI DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA 51
7.5 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE 53
7.6 CATEGORIA SISMICA DEI SUOLI DI FONDAZIONE 56
7.6.1 Criteri per la definizione delle categorie di sottosuolo sulla base delle prospezioni sismiche eseguite 57
7.6.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione 58
7.6.3 Coefficiente di amplificazione topografica 59
7.7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE SUL PRINO E IL PONTE SULL'IMPERO (COMPRESI) AD ECCEZIONE DELL'IMBOCCO OVEST DELLA GALLERIA BARDELLINI 59
7.8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'IMBOCCO OVEST DELLA GALLERIA MONTE BARDELLINI 59
7.9 ANALISI PSEUDOSTATICHE 62
7.9.1 Stabilità dei fronti di scavo e rilevati 62
7.9.2 Opere di sostegno 62
7.9.3 Manufatti scatolari 63
7.9.4 Paratie 63

8 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 65

8.1 TERRENI PREVALENTEMENTE GRANULARI 65
8.1.1 Premessa 65
8.1.2 Normalizzazione del valore di NSPT 65
8.1.3 Densità relativa 66
8.1.4 Angolo di resistenza a taglio 66
8.1.5 Parametri di deformabilità 67
8.2 TERRENI PREVALENTEMENTE COESIVI 67
8.2.1 Premessa 68
8.2.2 Proprietà indice dei terreni coesivi 68
8.2.3 Resistenza al taglio non drenata 68

8.2.3.1 Valutazione di c_u da prove SPT 68
8.2.4 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci 69
8.2.5 Caratteristiche di deformabilità 69
8.2.5.1 Modulo edometrico da prove edometriche 69
8.2.5.2 Modulo edometrico da prove SPT 69
8.3 CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 69

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE 70

9.1 INTERVENTI PREVISTI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE 70
9.1.1 Ponte sul Torrente Prino (L=70 m) 70
9.1.2 Viadotto Caramagna (L=290 m) 71
9.1.3 Ponte sul Torrente Impero (L=100 m) 71
9.1.4 Definizione delle unità geotecniche e geomeccaniche di riferimento 72
9.2 PROPRIETÀ FISICHE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE: RISULTATI DELLE PROVE DI IDENTIFICAZIONE 72
9.3 PROPRIETÀ MECCANICHE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE DAI RISULTATI DELLE PROVE SPT 76
9.4 PROPRIETÀ MECCANICHE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE DALLE PROVE EDOMETRICHE .. 77
9.5 PARAMETRI DI RESISTENZA MECCANICA DELLE UNITÀ GEOTECNICHE DALLE PROVE DI TAGLIO DIRETTO E PARAMETRI DI RESISTENZA NON DRENATA DALLE PROVE DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA E DALLE PROVE TRIASSIALI UU 78
9.6 PROPRIETÀ GEOTECNICHE DEI MATERIALI DEI RILEVATI DI NUOVA REALIZZAZIONE 79
9.7 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI (E GEOMECCANICI) DELLE PRINCIPALI UNITÀ 79

10 RILEVATI E TRINCEE 81

10.1 FORMAZIONE DEI RILEVATI 81
10.2 PAVIMENTAZIONE STRADALE DEI TRATTI IN TRINCEA 82
10.3 DETERMINAZIONE DEGLI SPESSORI DI SCOTICO E BONIFICA 82

11 VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISIONALI 84

11.1 PREMESSA 84
11.2 GENERALITÀ SULLE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE 84
11.3 RISULTATI 85
11.3.1 Imbocco ovest Galleria artificiale Monte Calvario – p.k. 0+120 86

12 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA 87

12.1 PREMESSA 87
12.2 GENERALITÀ SULLE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE 87
12.2.1 Verifiche di stabilità in condizioni statiche 88
12.2.2 Verifiche di stabilità in condizioni sismiche 88
12.2.3 Software di calcolo 90
12.3 RISULTATI 90
12.3.1 Sezione 131 – Trincea alla p.k. 0+070 (h=8.5 m) 91
12.3.2 Sezione 5_113 – Rilevato alla p.k. 2+240 (h=8 m) 93

13 VERIFICHE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI 95

13.1 METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CEDIMENTI 95
13.2 CEDIMENTI: IMMEDIATI E DI CONSOLIDAZIONE 96

Terreni granulari *96*
Terreni coesivi sovraconsolidati (OCR>1) *97*
Terreni coesivi normalconsolidati (OCR≈1) *97*
13.3 SINTESI DEI RISULTATI 98

14 APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE DETERMINATE DALLE PROVE IN SITO E DALLE PROVE DI LABORATORIO 100

14.1 UNITÀ “AR" 100
14.2 UNITÀ “AA” 109
14.3 UNITÀ “EC” 117
14.4 UNITÀ “ALT” 120
14.5 UNITÀ “AO” 128
14.6 UNITÀ “R” 135

15 APPENDICE 2 – TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISIONALI E DEFINITIVI 144

15.1 IMBOCCO OVEST GALLERIA ARTIFICIALE MONTE CALVARIO – P.K. 0+120 144
15.2 SEZIONE 131 152
15.3 SEZIONE 5_113 173

16 APPENDICE 3 – TABULATI DI CALCOLO CEDIMENTI DEI RILEVATI 191

16.1 SEZIONE 5_113 191

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste nell'ambito della progettazione definitiva dell'infrastruttura denominata "*S.S.1 Aurelia – Variante all'abitato di Imperia – 1° Lotto funzionale"* (cfr. **Figura 1-1**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.), il cui tracciato si snoda tra il Torrente Prino a ovest e il Torrente Impero a ovest, esclusivamente all'interno del territorio comunale di Imperia.

L'opera definita "Aurelia bis" si inquadra nella serie di interventi volti a modernizzare la viabilità costiera ligure lungo la direttrice est-ovest, decongestionando gli assi viari urbani con lo spostamento del flusso veicolare di transito alle spalle dei centri abitati. La conformazione del territorio implica così lo sviluppo di lunghi tratti in galleria, per un totale di n.4, nonché di alcuni ponti e viadotti (pari a n.3) per uno sviluppo complessivo di circa 6 km.

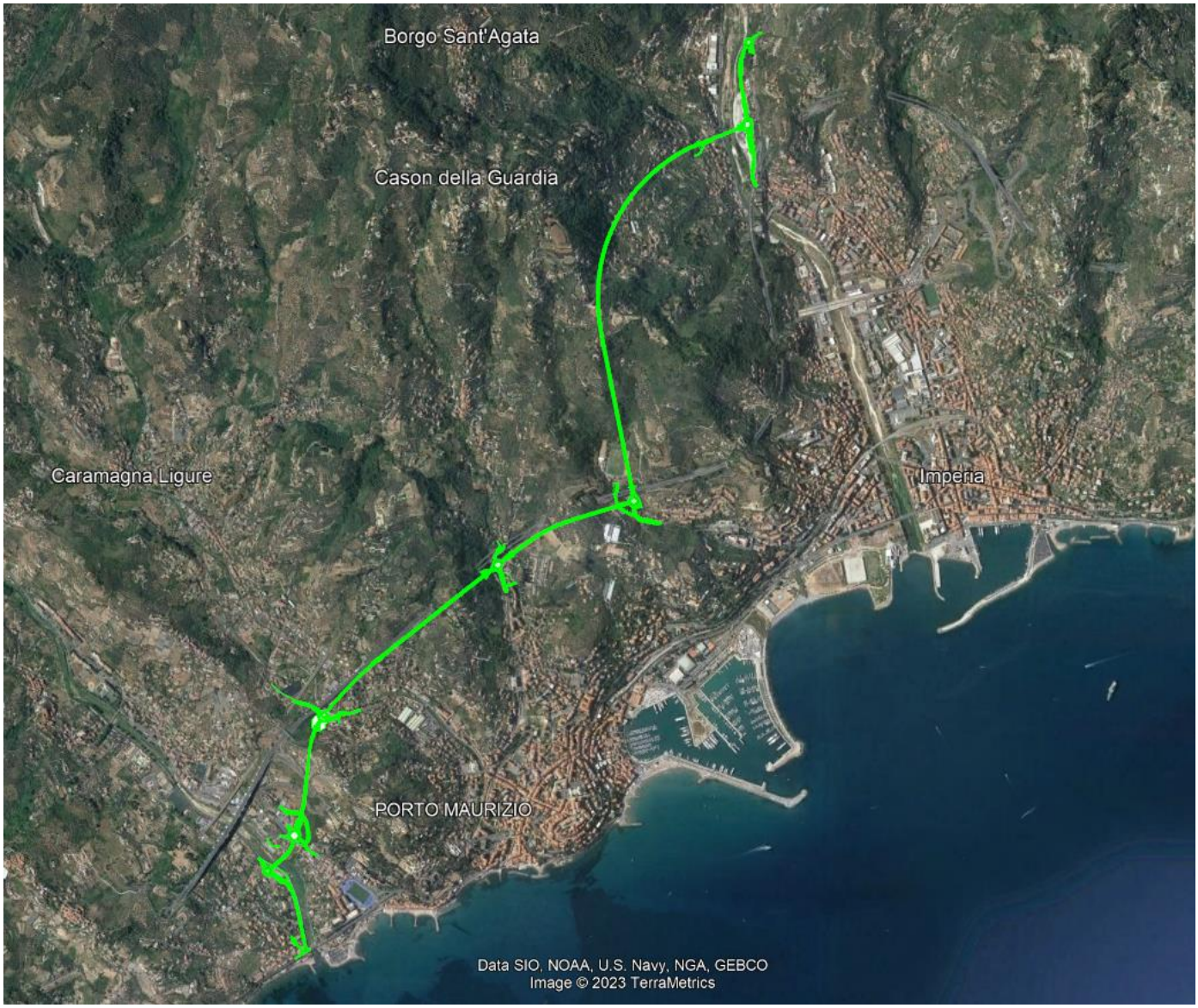


FIGURA 1-1 - FOTO AEREA DA GOOGLE EARTH CON SOVRAPPOSIZIONE SCHEMATICA DEL TRACCIATO DI PROGETTO (IN VERDE)

La presente relazione geotecnica generale si articola come segue:

- il capitolo **2** elenca la normativa e gli elaborati di riferimento;
- il capitolo **3** riporta il riepilogo delle indagini geognostiche eseguite e la sintesi dei relativi risultati;
- il capitolo **4** esamina il quadro geologico-stratigrafico di riferimento;
- il capitolo **5** riporta il quadro geomorfologico dell'area in esame;
- il capitolo **6** esamina il quadro idrogeologico dell'area;
- il capitolo **7** riporta la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto;
- il capitolo **8** descrive i criteri adottati per la caratterizzazione geotecnica, ovvero per l'interpretazione dei dati delle indagini geotecniche in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità);
- il capitolo **9** descrive la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto;
- il capitolo **10** descrive le sezioni tipo in rilevato e trincea, individuando sinteticamente gli spessori di scotico e bonifica dei piani di posa;
- i capitoli **11** e **12** riportano le verifiche di stabilità dei fronti di scavo provvisionali e dei rilevati definitivi per le stratigrafie di progetto considerate sulla base delle differenti configurazioni geometriche maggiormente significative;
- il capitolo **13** riporta il calcolo dei cedimenti attesi per le configurazioni geometriche dei rilevati ritenute maggiormente significative;

In **Appendice 1** (Capitolo **14**), sono stati riportati i grafici che descrivono, per le diverse unità geotecniche riconosciute, le caratteristiche fisiche e meccaniche determinate dalle prove in sito eseguite nei fori di sondaggio e dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante la realizzazione dei sondaggi geognostici.

Infine, in **Appendice 2** (Capitolo **15**) sono stati riportati i tabulati di calcolo delle verifiche di stabilità dei fronti di scavo provvisionali e dei rilevati effettuate sulle sezioni di maggior significatività, mentre in **Appendice 3** (Capitolo **16**) sono riportati i tabulati di calcolo dei cedimenti dei rilevati.

2 NORMATIVA ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** *"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018)*.
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l'applicazione dell'*"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;*
- **EN 1997 Eurocodice 7** *"Geotechnical Design: Part 1: General rule. Part 2: Ground investigation and testing";*
- **CNR UNI 10006** *"Costruzione e manutenzione delle strade - Tecnica di impiego delle terre".*

2.2 Elaborati di Progetto Definitivo

Geologia

- **T00GE01GEORE01** - Relazione geologica
- **T00GE01GEORE02** - Indagini geognostiche – Monografie di ubicazione dei punti di indagine
- **T00GE01GEORE03** - Indagini geognostiche – Indagini in sito
- **T00GE01GEORE04** - Indagini geognostiche – Prospezioni sismiche MASW
- **T00GE01GEORE05** - Indagini geognostiche – Prove geotecniche di laboratorio
- **T00GE01GEORE06** - Indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio
- **T00GE01GEORE07** - Indagini geognostiche pregresse – Sondaggi geognostici
- **T00GE01GEORE08** - Indagini geognostiche pregresse – Prove penetrometriche dinamiche continue
- **T00GE01GEORE09** - Indagini geognostiche pregresse – Pozzetti esplorativi
- **T00GE01GEORE10** - Indagini geognostiche pregresse – Indagini sismiche a rifrazione
- **T00GE01GEORE11** - Indagini geognostiche pregresse – Prove in foro
- **T00GE01GEORE12** - Indagini geognostiche pregresse – Prove di laboratorio – Parte 1
- **T00GE01GEORE13** - Indagini geognostiche pregresse – Prove di laboratorio – Parte 2
- **T00GE01GEORE14** - Indagini geognostiche pregresse – Analisi chimiche sui terreni
- **T00GE01GEORE15** - Indagini geognostiche pregresse - Autostrada dei Fiori - Sondaggi geognostici
- **T00GE01GEORE16** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Sondaggi - Parte 1
- **T00GE01GEORE17** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Sondaggi - Parte 2
- **T00GE01GEORE18** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Laboratorio - Parte 1
- **T00GE01GEORE19** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Laboratorio - Parte 2
- **T00GE01GEORE20** - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora – Galleria Poggi - Rilievi geologico-strutturali dei fronti di scavo

- **T00GE01GEOPU01÷04** - Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - scala 1:2.000 (4 tavv.).
- **T00GE01GEOCG01÷02** - Carta geologica generale – Scala 1:5.000 (2 tavv.)
- **T00GE01GEOCG03÷06** - Carta geologica di dettaglio – Scala 1:2.000 (4 tavv.)
- **T00GE01GEOCG07÷10** - Carta geologico-strutturale di dettaglio – Scala 1:2.000 (4 tavv.)
- **T00GE01GEOCG11÷14** - Carta geomorfologica – Scala 1:2.000 (4 tavv.)
- **T00GE01GEOCI01÷04** - Carta idrogeologica – Scala 1:2.000 (4 tavv.)
- **T00GE01GEOFG01÷02** - Profilo geologico asse principale – Scala 1:2.000/2.000 (2 tavv.)
- **T00GE01GEOSG01** - Sezioni geologiche trasversali – Scala 1:2.000/2.000
- **T00GE01GEOPF01** - Planimetria e profilo geologico – Ponte sul Torrente Prino - Scala 1:1.000/1.000
- **T00GE01GEOPF02** - Planimetria e profilo geologico – Viadotto Caramagna - Scala 1:1.000/1.000
- **T00GE01GEOPF03** - Planimetria e profilo geologico – Ponte sul Torrente Impero - Scala 1:1.000/1.000
- **T00GE01GEOSG02** - Sezioni geologico-tecniche – Scala 1:200/200

Piano di gestione materie

- **T00GE02GEORE01** - Relazione di gestione materie
- **T00GE02GEORE02** - Piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo - Relazione tecnica
- **T00GE02GEOCD01** - Planimetria ubicativa dei siti di cava e deposito

Geotecnica

- **T00GE03GETRE02** - Relazione geomeccanica
- **T00GE03GETFG01÷04** - Profilo geotecnico asse principale - Scala 1:2.000/200 (4 tavv.)
- **T00GE03GETFG05** – Profili geotecnici opere maggiori - Scala 1:500/200
- **T00GE03GETFG06** – Profilo geologico-geomeccanico – Galleria Monte Calvario - Scala 1:2.000/2000
- **T00GE03GETFG07** – Profilo geologico-geomeccanico – Galleria Costa Murata - Scala 1:2.000/2000
- **T00GE03GETFG08** – Profilo geologico-geomeccanico – Galleria Meriello - Scala 1:2.000/2000
- **T00GE03GETFG09** – Profilo geologico-geomeccanico – Galleria Monte Bardellini - Scala 1:2.000/2000

Sismica

- **T00GE04GETRE01** - Relazione sismica
- **T00GE04GETCS01÷04** - Planimetria con classificazione sismica del territorio - scala 1:2.000 (4 tavv.).

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Gli elementi necessari per la progettazione definitiva delle opere previste in progetto sono stati ricavati principalmente dall'interpretazione dei dati geognostici disponibili dall'esecuzione delle campagne di indagini previste per la presente fase di progetto definitivo, congiuntamente all'esame dei dati bibliografici disponibili tra cui risultano due diverse campagne di indagini pregresse.

In particolare, sono stati utilizzati gli esiti della recente (2023) campagna di indagine eseguita per l'integrazione della caratterizzazione sismica e ambientale imposta dalla recente normativa, gli esiti della campagna di indagine (2010) eseguita per il precedente progetto definitivo dell'intera variante fino a Diano Marina, nonché gli esiti delle indagini eseguite per il raddoppio della Linea S. Lorenzo a Mare-Andora, fornite da *Italferr S.p.A.*, e le indagini eseguite per la realizzazione dell'autostrada A10, fornite da e da *Autostrada dei Fiori S.p.A.*

L'ubicazione di tutte le indagini eseguite nell'ambito del tracciato in progetto è riportata nell'elaborato **T00GE01GEOPU01÷04** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" (4 tavv.) allegato al progetto sulla quale, oltre alle indagini programmate ed eseguite nell'ambito dello sviluppo della presente fase progettuale, si riporta anche l'ubicazione delle indagini pregresse eseguite nelle aree limitrofe al tracciato in progetto e messe a disposizione da *Italferr S.p.A.* e da *Autostrada dei Fiori S.p.A.*

3.1 Campagna di indagine geognostica pregressa (2010)

Nell'ambito della progettazione definitiva dell'intera variante di Imperia fino a Diano Marina, è stata eseguita nel 2010 una campagna di indagini geognostiche nell'ottica di caratterizzare i terreni e le rocce di sottofondo delle opere oltre che da un punto di vista prettamente geologico anche dal punto di vista geotecnico, sismico ed ambientale.

Tale campagna, infatti si rendeva necessaria per integrare i dati disponibili per l'area che consistevano negli gli esiti delle indagini eseguite per il raddoppio della Linea S. Lorenzo a Mare-Andora, fornite da *Italferr S.p.A.* (2004-05) nonché nelle indagini eseguite per la realizzazione dell'autostrada A10, fornite da e da *Autostrada dei Fiori S.p.A* e datate anni '60-'70. In particolare, per queste due campagne risultano disponibili esclusivamente i report stratigrafici dei sondaggi eseguiti, ad oggi ubicati comunque a diversi metri di distanza dall'asse di progetto e utilizzati nella presente fase di progettazione esclusivamente a corredo dei dati più recenti per la caratterizzazione geologica di terreni e rocce costituenti l'area in esame.

Le indagini realizzate nel 2010 hanno comportato l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con installazione di piezometri a tubo aperto, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche e pressiometriche, prove penetrometriche dinamiche, indagini sismiche down-hole, indagini sismiche di superficie a rifrazione, pozzetti esplorativi e rilievi geomeccanici di dettaglio su affioramenti significativi.

Le indagini sono state eseguite nel periodo giugno-dicembre 2010 dalla Società "Citiemme" di Torino. In particolare, l'indagine di progetto definitivo è consistita in:

- sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo, con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche tipo SPT, prove dilatometriche e pressiometriche, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio;
- sondaggi a distruzione di nucleo, con installazione nei fori di sondaggio di tubazioni in PVC per l'esecuzione di prospezioni sismiche down-hole;
- prove penetrometriche dinamiche continue spinte sino ad ottenere rifiuto alla penetrazione;
- stendimenti sismici a rifrazione;
- pozzetti esplorativi con rilievo della stratigrafia, prelievo di campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove di carico su piastra;
- rilievi geomeccanici di dettaglio su affioramenti rocciosi significativi.

Sui campioni prelevati in sito sono state eseguite, presso il Laboratorio geotecnico SGL di Vado Ligure (SV), prove di identificazione, prove edometriche, prove di taglio diretto, prove triassiali UU, prove di compressione ad espansione laterale libera, misure della velocità sonica, prove di trazione indiretta e prove di compressione monoassiale e triassiale su provini di materiale lapideo.

L'esatta ubicazione di tutte le indagini eseguite, comprese quelle pregresse fornite da *Italferr S.p.A.* e *Autostrada dei Fiori S.p.A.*, è riportata in planimetria nell'elaborato di progetto **T00GE01GEOPU01÷04** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" (4 tavv.).

I risultati sperimentali completi sono riportati nei seguenti rapporti tecnico-descrittivi:

- **T00GE01GEORE02** - Indagini geognostiche – Monografie di ubicazione dei punti di indagine
- **T00GE01GEORE03** - Indagini geognostiche – Indagini in sito
- **T00GE01GEORE04** - Indagini geognostiche – Prospezioni sismiche MASW
- **T00GE01GEORE05** - Indagini geognostiche – Prove geotecniche di laboratorio
- **T00GE01GEORE06** - Indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio
- **T00GE01GEORE07** - Indagini geognostiche pregresse – Sondaggi geognostici
- **T00GE01GEORE08** - Indagini geognostiche pregresse – Prove penetrometriche dinamiche continue
- **T00GE01GEORE09** - Indagini geognostiche pregresse – Pozzetti esplorativi
- **T00GE01GEORE10** - Indagini geognostiche pregresse – Indagini sismiche a rifrazione
- **T00GE01GEORE11** - Indagini geognostiche pregresse – Prove in foro
- **T00GE01GEORE12** - Indagini geognostiche pregresse – Prove di laboratorio – Parte 1
- **T00GE01GEORE13** - Indagini geognostiche pregresse – Prove di laboratorio – Parte 2
- **T00GE01GEORE14** - Indagini geognostiche pregresse – Analisi chimiche sui terreni
- **T00GE01GEORE15** - Indagini geognostiche pregresse - Autostrada dei Fiori - Sondaggi geognostici
- **T00GE01GEORE16** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Sondaggi - Parte 1

- **T00GE01GEORE17** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S Lorenzo-Andora - Sondaggi - Parte 2
- **T00GE01GEORE18** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S Lorenzo-Andora - Laboratorio – Parte 1
- **T00GE01GEORE19** - Indagini geognostiche pregresse - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora - Laboratorio - Parte 2
- **T00GE01GEORE20** - Linea ferroviaria S. Lorenzo-Andora – Galleria Poggi - Rilievi geologico-strutturali dei fronti di scavo

3.1.1 Indagini geognostiche in sito

3.1.1.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Sono stati eseguiti n° 19 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti fino a profondità variabile tra 23.4 e 110 m. Per la perforazione a carotaggio dei sondaggi nelle tratte in terreno è stato utilizzato il carotiere semplice con corona al widia, mentre per i tratti in roccia (calcari, arenarie, siltiti e marne) è stato utilizzato il carotiere doppio T6 con corona diamantata. Nella **Tabella 3-1** sono riassunti in uno schema i tipi di perforazione eseguita e la strumentazione installata in ogni verticale di indagine:

sondaggio n°	*tipo di perforazione*	*profondità [m]*	*strumentazione installata*
S1	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S1bis	distruzione di nucleo	30	tubazione in PVC per down-hole
S2	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S3	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S4	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S5	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S5bis	distruzione di nucleo	30	tubazione in PVC per down-hole
S6	carotaggio continuo	70	piezometro a tubo aperto
S7	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S8	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S9	carotaggio continuo	40	piezometro a tubo aperto
S17	carotaggio continuo	23.4	piezometro a tubo aperto
S19	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S21	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S22	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto

S23	carotaggio continuo	25	piezometro a tubo aperto
S24	carotaggio continuo	35	piezometro a tubo aperto
S25	carotaggio continuo	70	piezometro a tubo aperto
S26	carotaggio continuo	110	piezometro a tubo aperto
S28	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S29	carotaggio continuo	30	piezometro a tubo aperto
S29bis	distruzione di nucleo	30	tubazione in PVC per down-hole

TABELLA 3-1 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: SONDAGGI GEOGNOSTICI E STRUMENTAZIONE INSTALLATA

3.1.1.2 Prove penetrometriche dinamiche in foro di sondaggio (SPT)

Nei fori di sondaggio sono state complessivamente eseguite n° 86 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT (*Standard Penetration Test*). Nella **Tabella 3-2** vengono riportati, per ciascun sondaggio, la profondità di ogni prova e il corrispondente valore di N_{SPT} (numero di colpi necessario ad una penetrazione del campionatore Raymond pari a 30 cm).

Sondaggio n°	*profondità [m]*	N_{SPT} *[colpi/30 cm]*
S1	1,5	56
	3,0	73
	4,5	62
	6,0	66
	9,0	65
	12,0	37
	15,0	49
	18,0	R
	21,0	R
S2	1,5	R
	3,0	R
	4,5	R
	6,0	39
	7,5	47
	9,0	26
	12,0	3
	15,0	10
	18,0	27

Sondaggio n°	*profondità [m]*	N_{SPT} *[colpi/30 cm]*
S17	3,0	61
	6,0	11
	9,0	R
	12,0	R
S19	1,5	9
	3,0	15
S21	3,0	25
	6,0	20
	9,0	57
	12,0	R
	15,0	R
S22	1,5	54
	4,5	52
	7,5	65
S23	3,0	8
	6,0	12
	9,0	R
S24	1,5	R

	21,0	R
S3	3,0	21
	4,5	R
	6,0	R
	9,0	44
S4	1,5	25
	3,0	22
	6,0	19
S5	1,5	16
	3,0	22
	6,0	12
S6	1,5	R
	3,0	R
	4,5	79
S7	1,5	31
	4,5	R
	6,0	R
	9,0	57
	12,0	R
S8	1,5	11
	3,0	11
	4,5	8
	6,0	8
	9,0	17
	12,0	25
	15,0	29
	18,0	31
S9	1,5	12
	3,0	17
	4,5	19
	6,0	66
	9,0	R
	3,0	R
	6,0	R
S25	1,5	R
	3,0	R
	6,0	83
S26	1,5	26
	3,0	R
	6,0	39
S28	3,0	R
	6,0	R
	9,0	R
S29	1,5	R
	4,5	80
	7,5	R
	10,5	50
	13,5	R

TABELLA 3-2 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: RISULTATI PROVE SPT

3.1.1.3 Prove di permeabilità Lefranc

In n.5 fori di sondaggio sono state eseguite prove Lefranc per la determinazione del coefficiente di permeabilità in sito. Le prove sono state condotte sempre a carico idraulico variabile, previa preparazione della tasca di prova (cilindrica) e saturazione, misurando nel tempo gli abbassamenti del livello dell'acqua nel foro a partire da un livello iniziale, coincidente generalmente con l'estremità superiore del tubo di rivestimento.

Nella **Tabella 3-3** si riportano, per ciascuna prova, il foro di sondaggio in cui è stata eseguita, la profondità della tasca di prova e il valore del coefficiente di permeabilità calcolato sulla base delle misure eseguite.

sondaggio n°	*profondità [m]*	*K [m/s]*
S1	9.0÷10.5	7.61E-06
S5	4.5÷5.0	3.21E-06
S8	18.5÷20.0	7.36E-08
S15	6.0÷7.0	1.70E-07
S29	12.0÷13.5	1.83E-04

TABELLA 3-3 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC

3.1.1.4 Prove di permeabilità Lugeon

In n° 6 fori di sondaggio è stata eseguita una prova Lugeon per la determinazione del coefficiente di permeabilità in sito all'interno del substrato lapideo. Le prove sono state condotte isolando, mediante idonei otturatori (packer), tratti di foro di lunghezza compresa tra 1.0 e 3.0 m e misurando il volume d'acqua assorbito a diversi valori di pressione di iniezione.

Nella **Tabella 3-4** si riportano, per ciascuna prova, il foro di sondaggio in cui è stata eseguita, la profondità della tasca di prova e il valore del coefficiente di permeabilità calcolato sulla base delle misure eseguite.

sondaggio n° [-]	*da prof. [m]*	*a prof. [m]*	*L [m]*	*Unità Lugeon media [U.L.]*	*K [m/s]*	*note*
S2	27,50	29,00	1,50	0,94	9,38E-08	intasamento fratture
S5	23,00	25,00	2,00	10,24	1,02E-06	moto idraulico laminare
S21	24,00	25,00	1,00	1,13	1,13E-07	parziale dilavamento fratture
S22	9,00	12,00	3,00	0,48	4,83E-08	dilatazione fratture
S24	20,00	22,00	2,00	30,63	3,06E-06	moto idraulico laminare
S28	27,00	30,00	3,00	0,16	1,65E-08	dilatazione fratture

TABELLA 3-4 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ LUGEON

3.1.1.5 Prove pressiometriche

All'interno della perforazione di sondaggio S1 è stata eseguita una prova pressiometrica tipo Menard per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza dell'ammasso roccioso attraversato. La prova è stata condotta in sostituzione della prevista prova dilatometrica in ragione della natura siltitica del substrato. La prova ha fornito un valore di modulo pressiometrico pari a 426.6 MPa.

3.1.1.6 Prove dilatometriche

Sono state eseguite complessivamente n° 5 prove dilatometriche per la definizione dei parametri di deformabilità degli ammassi rocciosi. Le prove sono state condotte impiegando una sonda dilatometrica cilindrica del diametro di 95 mm in grado di misurare le deformazioni delle pareti del foro lungo tre direzioni diametrali poste a 120° l'una dall'altra in seguito alla pressurizzazione della sonda mediante azoto. Le prove hanno previsto l'esecuzione di tre cicli di carico/scarico, che hanno consentito la definizione del modulo di deformazione e del modulo di elasticità per ogni ciclo di carico, oltre alla definizione del modulo di deformazione globale (ottenuto dalla retta congiungente i picchi del primo e del terzo ciclo). La sintesi dei risultati delle prove è riportata nella **Tabella 3-5**.

			modulo di deformazione				modulo di elasticità		
			1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo	globale	1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo
sondaggio	prof. [m]	litologia	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]
S4	20,00	marna litoide colore grigio	241	395	487	266	580	574	624
S6	65,00	marna calcarea	267	506	600	669	401	562	650
S9	35,00	calcare marnoso	245	552	701	485	745	841	914
S24	25,00	calcare marnoso-arenaceo	469	1026	1221	1213	789	1302	1556
S26	100,00	marna e/o marna calcarea fratturata e frammentata	125	237	278	180	208	532	465

TABELLA 3-5 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: RISULTATI PROVE DILATOMETRICHE

3.1.1.7 Prove penetrometriche dinamiche continue

Lungo lo sviluppo dell'opera in progetto sono state eseguite n° 16 prove penetrometriche dinamiche continue con attrezzatura superpesante DPSH tipo Meardi-AGI, con massa battente di 73 kg ed altezza di caduta di 75 cm e penetrazione di riferimento di 30 cm. La punta impiegata ha una conicità di 60° ed un diametro di 51 mm. Le prove che hanno raggiunto rifiuto alla penetrazione a profondità inferiore a 3 m sono state ripetute in posizioni limitrofe (DPSH5bis e DPSH14bis)

Nella **Tabella 3-6** sono riassunte le profondità raggiunte dalle prove penetrometriche dinamiche continue eseguite.

Prova n°	*profondità [m]*
DPSH1	20.4
DPSH2	12.9
DPSH3	6.3
DPSH4	14.4
DPSH5	2.1
DPSH5bis	1.8
DPSH6	5.1
DPSH7	8.1
DPSH8	7.2
DPSH9	11.4
DPSH10	12.9
DPSH12	9.0
DPSH13	6.9
DPSH14	1.8
DPSH14bis	2.1
DPSH15	5.4
DPSH16	6.3
DPSH17	4.2

TABELLA 3-6 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: PROFONDITÀ PROVE PENETROMETRICHE DPSH

3.1.1.8 Prospezioni sismiche di superficie

Lungo lo sviluppo dell'opera in progetto sono stati acquisiti n. 27 stendimenti sismici con tecnica a rifrazione, per complessivi 4320 m di linea indagata. La geometria degli stendimenti ha previsto una distanza intergeofonica pari a 5 metri, in grado quindi di coprire con 12 geofoni una lunghezza complessiva di 55 metri, oppure con 24 geofoni di 115 metri. Per la realizzazione di stendimenti di lunghezza maggiore è stata utilizzata una combinazione di stese successive delle tipologie sopra descritte, distanziate reciprocamente di 5 metri. Ogni stendimento è stato energizzato in 7 punti e per l'acquisizione dei segnali è stato impiegato un sismografo a 24 canali. I risultati della prospezione sismica eseguita sono mostrati nel rapporto di indagine allegato. In linea generale le indagini eseguite hanno consentito l'individuazione di tre orizzonti sismo-stratigrafici, così schematizzabili (cfr. **Tabella 3-7**):

Unità sismostratigrafica	*Litologia*	*V_P [m/s]*
1	coltre eluvio-colluviale	< 1200÷1400
2	Alterite	1200÷1400 - 2300÷2600
3	Substrato lapideo	>2300÷2600

TABELLA 3-7 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: STENDIMENTI SISMO-STRATIGRAFICI E RISULTATI

È da evidenziare la presenza di ampi settori delle aree indagate caratterizzati da elevati spessori degli orizzonti eluvio-colluviale e lateritico che sovente raggiungono valori complessivamente superiori a 15 m.

3.1.1.9 Prospezioni sismiche down hole

All'interno delle perforazioni di sondaggio S1bis, S5bis ed S29bis, della profondità di 30 m, sono state eseguite altrettante prospezioni sismiche tipo down-hole, con la finalità di misurare le velocità sismiche delle onde di compressione V_P e delle onde di taglio V_S, in modo da definire in maniera diretta i parametri dinamici dei terreni attraversati.

I risultati della prospezione sismica down-hole, in termini di velocità delle onde di compressione V_P e delle onde di taglio V_S sono mostrati nelle seguenti figure (cfr. **Figura 3-1**, **Figura 3-2**, **Figura 3-3**)

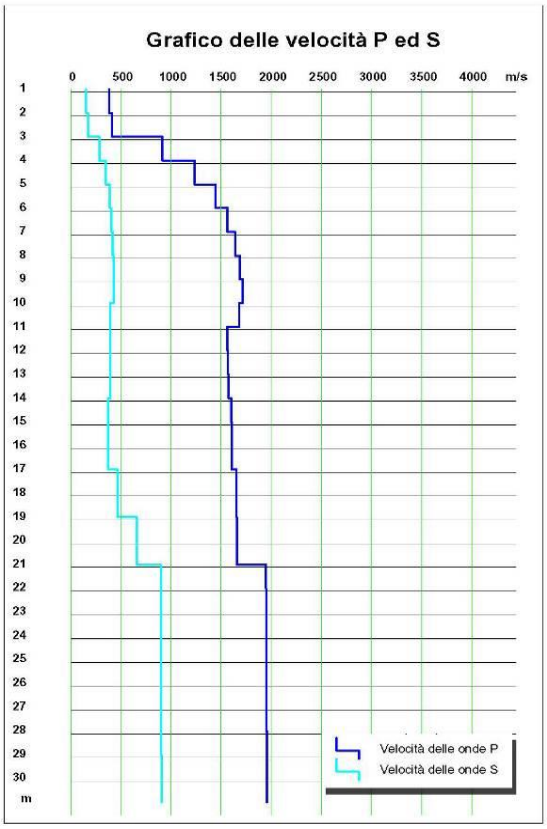


FIGURA 3-1 – DOWN-HOLE S1BIS

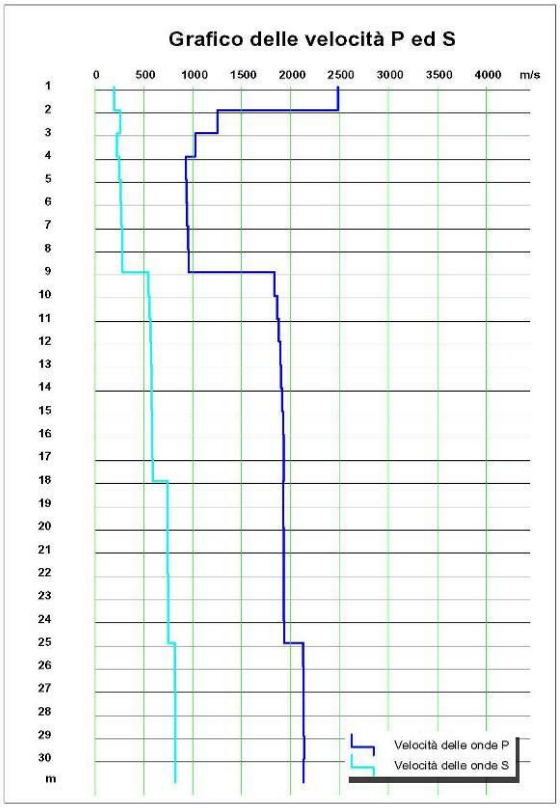


FIGURA 3-2 – DOWN-HOLE S5BIS

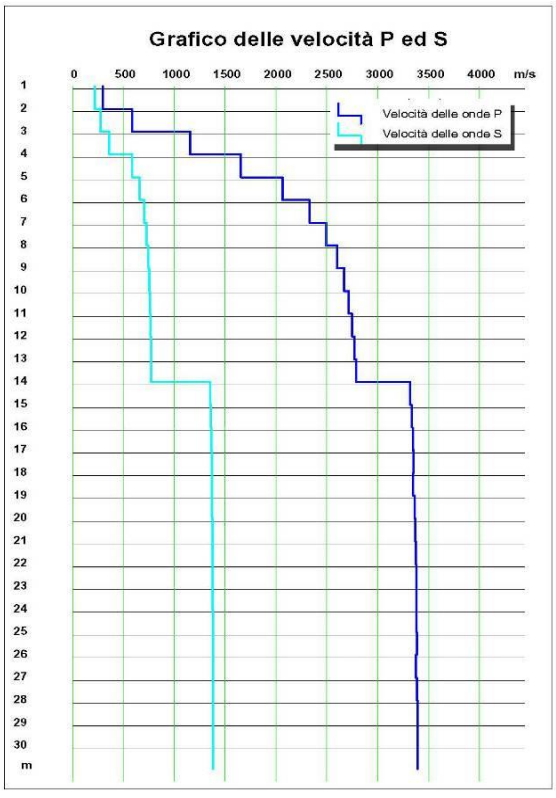


FIGURA 3-3 – DOWN-HOLE S29BIS

3.1.1.10 Pozzetti esplorativi

Lungo lo sviluppo del tracciato di progetto sono stati scavati n° 6 pozzetti esplorativi con escavatore a braccio rovescio che hanno raggiunto profondità comprese tra 1.6 e 3.0 m da p.c.. All'interno di ciascun pozzetto esplorativo è stato prelevato un campione rimaneggiato da sottoporre ad analisi di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondo ed è stata eseguita una prova di carico su piastra per la determinazione delle relative caratteristiche di deformabilità. Una sintesi delle profondità raggiunte e della quota di prelievo dei campioni rimaneggiati è mostrata nella **Tabella 3-8.**

Pozzetto esplorativo	*Profondità [m]*	*Profondità di campionamento [m]*
PE1	1.6	1.6
PE2	3.0	2.5
PE3	1.9	1.8
PE5	3.0	1.8
PE6	3.0	1.0
PE7	3.0	2.5

TABELLA 3-8 - CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: PROFONDITÀ POZZETTI ESPLORATIVI

3.1.1.11 Misure piezometriche

Per la definizione del livello piezometrico di progetto lungo tutto il tracciato della variante in progetto in ogni verticale di indagine è stato installato un piezometro a tubo aperto per la definizione del livello piezometrico di progetto. Nella seguente tabella si riporta la profondità del tratto fenestrato di misura in corrispondenza di ciascuna verticale di misura (cfr. **Tabella 3-9**).

Sondaggio	*Profondità [m]*	*Piezometro [m]*	*tratto filtrante [m]*	*profondità del livello piezometrico [m]*	*data di misurazione*
S1	30	*30*	*3-30*	*2.70*	*17/06/2010*
S2	30	*30*	*3-30*	*1.77*	*22/06/2010*
S3	25	*25*	*1-25*	*6.70*	*24/06/2010*
S4	25	*25*	*1-25*	*11.00*	*29/07/2010*
S5	30	*30*	*3-30*	*22.25*	*23/07/2010*
S6	70	*70*	*55-70*	*38.30*	*22/07/2010*

S7	25	*25*	*1-25*	*6.00*	*05/07/2010*
S8	30	*27*	*3-27*	*19.70*	*02/07/2010*
S9	40	*40*	*25-40*	*11.80*	*08/07/2010*
S17	23.4	*23.4*	*2.4-23.4*	*6.30*	*13/08/2010*
S19	25	*25*	*1-25*	*7.20*	*09/07/2010*
S21	25	*25*	*1-25*	*4.05*	*16/07/2010*
S22	25	*25*	*1-25*	*5.20*	*10/08/2010*
S23	25	*25*	*1-25*	*14.36*	*30/07/2010*
S24	35	*35*	*20-35*	*4.80*	*12/08/2010*
S25	70	*70*	*55-70*	*39.21*	*02/09/2010*
S26	110	*110*	*95-110*	*14.50*	*15/10/2010*
S28	30	*30*	*3-30*	*5.30*	*27/08/2010*
S29	30	*30*	*3-30*	*7.00*	*22/07/2010*

TABELLA 3-9 - CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: MISURE PIEZOMETRICHE

3.1.2 Prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio

Sui campioni prelevati in sito sono state eseguite, presso il Laboratorio geotecnico SGL di Vado Ligure (SV), prove di identificazione, prove edometriche, prove di taglio diretto, prove triassiali UU sui campioni geotecnici, mentre sugli spezzoni di carota lapidei sono state eseguite prove di compressione ad espansione laterale libera, misure di velocità soniche, prove di compressione monoassiale e triassiale, prove di trazione indiretta brasiliana. Nella **Tabella 3-10** sono indicate le profondità di tutti i campioni prelevati, sondaggio per sondaggio.

Sondaggio n°	*Campione n°*	*Profondità m*
S01	A	10,00-10,30
S01	B	14,50-15,00
S02	1	11,50-12,00
S02	A	7,50-8,00
S02	B	19,70-20,20
S03	1	7,50-8,00
S03	C	22,50-22,60
S04	A	9,00-9,30
S04	B	11,00-11,30

Sondaggio n°	*Campione n°*	*Profondità m*
S19	A	2,40-2,90
S19	B	15,00-15,47
S19	C	20,70-21,00
S21	A	2,70-3,00
S21	B	7,50-8,00
S21	C	8,70-9,00
S22	A	4,70-5,00
S22	B	6,00-6,20
S22	C	12,50-12,80

S04	C	17,70-18,00	S22	D	19,50-19,80
S04	D	22,45-22,80	S23	A	4,80-5,00
S05	A	5,60-6,00	S23	B	7,00-7,30
S05	D	19,00-19,35	S23	C	10,50-10,80
S05	E	26,30-26,60	S23	D	24,50-25,00
S06	A	8,50-9,00	S24	A	5,10-5,30
S06	B	36,35-36,65	S24	B	9,20-9,40
S06	C	49,40-49,90	S24	C	16,60-16,90
S06	D	61,65-61,95	S25	1	59,40-60,40
S07	A	4,00-4,30	S26	A	4,70-5,00
S07	C	16,60-16,80	S26	B	22,20-22,40
S07	D	20,20-20,35	S26	C	43,60-43,90
S08	A	7,00-7,50	S26	D	71,40-71,95
S09	A	11,00-11,30	S28	1	7,50-7,90
S09	C	28,00-28,60	S28	A	3,80-4,00
S09	D	31,70-31,90	S28	B	5,80-6,00
S17	A	4,00-4,30	S28	D	13,70-14,00
S17	B	9,50-9,80	S29	A	6,00-6,50
S17	D	20,00-20,30	S29	C	17,00-17,40
			S29	D	22,05-22,40

TABELLA 3-10 - CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: PROFONDITÀ CAMPIONI

Per l'analisi dei risultati delle prove di identificazione e resistenza eseguite su ciascun campione, necessarie ai fini della caratterizzazione geotecnica si rimanda al **punto 9.**

Sugli spezzoni di carota lapidea prelevati sono state eseguite complessivamente n.9 misure del peso di volume naturale e delle velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, n.19 prove di resistenza a compressione monoassiale, n. 21 prove di resistenza a compressione triassiale e n.5 prove di resistenza a trazione indiretta tipo brasiliana. Per i risultati di tali prove si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica".

3.1.3 Rilievi geomeccanici

Lungo lo sviluppo del tracciato in progetto sono stati condotti n° 10 rilievi geomeccanici di dettaglio in accordo alle raccomandazioni ISRM ("Quantitative description of discontinuities in rock masses", 1978).

L'esame dei risultati dei rilievi geomeccanici e della caratterizzazione condotta in ciascuna area di rilievo ha consentito la suddivisione degli ammassi rocciosi analizzati in 4 gruppi geomeccanici omogenei, definiti sulla base

della litologia e del rapporto stratimetrico tra le litologie arenacee competenti e le litologie siltitico-marnose caratterizzate da più modesti parametri di resistenza e deformabilità.

In particolare, sono stati individuati i seguenti gruppi geomeccanici:

- *Gruppo 1*: marne siltose con sporadiche intercalazioni di marne calcaree;
- *Gruppo 2*: siltiti debolmente marnose di aspetto scaglioso fittamente laminate con sporadici sottili straterelli di arenarie fini a laminazione parallela di spessore da centimetrico a decimetrico.
- *Gruppo* 3: alternanze di arenarie a grana da media a fine, gradate e laminate, in strati di spessore da decimetrico a metrico, marne in banchi metrici e strati decimetrici e siltiti grigio verdastre in livelli di spessore da decimetrico a metrico, con rapporto stratimetrico percentuale tra le litologie competenti ed i livelli siltitici mediamente compreso tra 35/65 e 65/35.
- *Gruppo 4:* sequenze arenacee in strati decimetrici e banchi metrici con sottili interstrati siltitici di spessore centimetrico.

I gruppi 1 e 2 risultano distribuiti all'interno del Membro di San Lorenzo del Flysch di Sanremo (*Unità FS2*), distribuito nella porzione occidentale dell'area rilevata, mentre i gruppi 3 e 4 si rinvengono all'interno del Membro di San Michele (*Unità FS1*), distribuito nelle porzioni centrale ed orientale dell'area rilevata. Per quanto concerne la distinzione tra gruppo 3 e gruppo 4 occorre rilevare che spesso l'esiguità degli affioramenti disponibili non ha consentito di valutare correttamente il rapporto stratimetrico; di conseguenza allo stato attuale delle conoscenze, in attesa del completamento delle indagini geognostiche, non è possibile escludere l'eventualità che gli elevati rapporti stratimetrici tra arenarie e siltiti che caratterizzano il gruppo 4 siano in realtà da attribuire esclusivamente alla scarsa estensione delle serie affioranti. A tale proposito risulta di particolare interesse l'esame del rilievo stratimetrico eseguito lungo uno stendimento di misura di sviluppo pari a circa 450 m nei pressi di Capo Berta, lungo la strada litoranea tra Diano Marina ed Oneglia, che ha consentito il rilievo di circa 200 m di serie stratigrafica. L'esame dei risultati ottenuti evidenzia infatti che nell'ambito della serie esaminata il rapporto stratimetrico tra i livelli arenacei ed i livelli pelitici, valutato su intervalli di lunghezza pari a 10 m, pur risultando generalmente compreso tra 0,8 e 2,5, mostra tuttavia locali incrementi fino ad oltre 10 e decrementi fino a 0,5. È quindi possibile che il gruppo 4 sia frutto di locali e periodiche variazioni degli apporti di torbida all'interno dell'area di sedimentazione dell'unità.

I rilievi geomeccanici eseguiti risultano così distribuiti all'interno dei gruppi geomeccanici omogenei:

- Gruppo 1: RG1
- Gruppo 2: RG10
- Gruppo 3: RG4, RG5, RG8 e RG9
- Gruppo 4: RG2, RG3, RG6 e RG7

I risultati dei rilievi eseguiti sono riportati nell'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica" a cui si rimanda per ogni approfondimento.

3.2 Campagna di indagine geognostica integrativa (2023)

Le indagini realizzate nella recente campagna del 2023 hanno comportato l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con installazione di piezometri a tubo aperto, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche, prospezioni sismiche tipo MASW, pozzetti esplorativi geotecnici e ambientali.

Le indagini sono state eseguite nel periodo giugno-dicembre 2023 dalla ATI Geoserving S.r.l. (IN.TEC. Soc. Coop.-Logos S.r.l. – Geo-Surveys S.r.l. – Aureli Soil S.r.l. – O.S.I. S.r.l.).

La campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione delle seguenti tipologie di indagini in sito, eseguite dalla ATI Geoserving S.r.l. nel periodo giugno-agosto 2023:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati da sottoporre a prove di laboratorio;
- esecuzione di prove in foro (SPT, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche) e installazione nei fori di sondaggio a carotaggio di piezometri a tubo aperto;
- pozzetti esplorativi con rilievo della stratigrafia, prelievo di campioni rimaneggiati, ambientali ed esecuzione di prove di carico su piastra;
- prospezioni sismiche tipo MASW.

3.2.1 Indagini geognostiche in sito

3.2.1.1 Sondaggi geognostici

Sono stati previsti complessivamente n.6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di profondità variabile tra 15 e 100 m in funzione delle quote di progetto della strada e delle caratteristiche strutturali delle opere (viadotti e gallerie, in particolare). Oltre a tali verticali, sono stati realizzati anche pozzetti esplorativi da 2 m in prossimità degli assi secondari del tracciato, oggetto di realizzazione di opere in rilevato, coadiuvati da prove di carico su piastra necessarie ai fini della determinazione del comportamento geotecnico dei terreni nei primi metri di profondità. La planimetria che riporta le indagini eseguite è rappresentata dall'elaborato di progetto **T00GE01GEOPU01÷04** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" (4 tavv.)

Tutte le perforazioni delle verticali di sondaggio sono state eseguite tutte a carotaggio continuo, con l'utilizzo del carotiere semplice nei tratti in materiale sciolto (depositi superficiali e substrato roccioso molto alterato) e del carotiere doppio, associato a corona diamantata, nei tratti in roccia. In particolare, l'utilizzo del carotiere doppio ha consentito di misurare per ogni manovra il valore di RQD % (Deere, 1964), ottenuto dalla somma delle lunghezze delle carote lapidee di lunghezza > 10 cm rapportato alla lunghezza della manovra.

A fine perforazione, è stata prevista l'installazione di tubazioni piezometriche a tubo aperto, per l'esecuzione di misure di livello della falda.

Nella **Tabella 3-11** sono riassunti in uno schema i tipi di perforazione eseguita e la strumentazione installata in ogni verticale di indagine:

Sondaggio	Prof. (m)	Metodo perforazione	Strumentazione installata
SN01	50	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN02	25	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN03	25	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN04bis	25	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN05	50	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN06	200	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto

TABELLA 3-11 – SONDAGGI GEOGNOSTICI ESEGUITI: PROFONDITÀ E STRUMENTAZIONE INSTALLATA

Tutti i sondaggi hanno raggiunto il substrato roccioso, costituito sostanzialmente lungo tutto lo sviluppo del tracciato dalla formazione del *Flysch di Sanremo,* nelle sue due facies arenaceo-pelitica e marnosa, intervallate nel tratto centrale del tracciato dalle formazioni delle *Argille di Ortovero* e, nel complesso, sempre ricoperte da spessori metrici di materiale alteritico limoso-sabbioso-argilloso e da depositi alluvionali recenti o antichi in corrispondenza delle valli principali (Prino, Caramagna, Artallo e Baité).

Per un quadro più generale in merito alla stratigrafia di riferimento per i terreni di sottofondo delle opere si rimanda al punto **4** della presente relazione.

3.2.1.2 Prove di resistenza dinamica in foro: Standard Penetration Test (SPT)

All'interno dei fori di sondaggio, durante la loro esecuzione, sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT, a profondità variabili. In particolare, sono state eseguite n.17 prove SPT.

Nella sottostante tabella (cfr. **Tabella 3-12**) sono riassunti i risultati delle prove SPT eseguite (R = "rifiuto").

Sondaggio	SPT [-]	Profondità da p.c. [m]	N_{SPT} [colpi/30cm]
SN01	SPT1	1,5	12
	SPT2	4,5	51
	SPT3	7,5	R
SN02	SPT1	3,0	37
	SPT2	6,0	33
	SPT3	7,5	R
	SPT4	9,0	R
	SPT5	12,0	R

SN03	SPT1	4,0	23
	SPT2	6,0	R
	SPT3	9,0	R
SN04bis	SPT1	3,0	R
	SPT2	6,0	R
	SPT3	9,0	R
SN05	SPT1	1,5	33
	SPT2	4,5	R
	SPT3	7,5	R

TABELLA 3-12 – PROVE DI RESISTENZA DINAMICA SPT DI CIASCUN SONDAGGIO

In generale i risultati delle prove penetrometriche SPT hanno consentito di verificare, per i terreni di copertura, uno stato di addensamento tendenzialmente medio e uno stato di consistenza da medio ad elevato per i primi metri di terreno di alterazione del substrato roccioso.

3.2.1.3 Prove di permeabilità Lefranc

Come anticipato, la campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione, all'interno dei sondaggi eseguiti, di prove di permeabilità Lefranc per i tratti in terreno che hanno consentito di determinare il valore del *coefficiente di permeabilità K*.

Il modello idrogeologico proposto al punto Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. della presente relazione d eriva dalla attribuzione del valore qualitativo del grado di permeabilità a ciascuna delle unità litostratigrafiche discriminate in base a quanto rinvenuto dalle prove di permeabilità di cui sopra. A tal proposito, nell'elaborato **T00GE01GEOCI01÷04** – "Carta idrogeologica" (4 tavv.) allegata al progetto, sono stati rappresentati i range di permeabilità delle unità litostratigrafiche riconosciute.

Nella tabella sottostante (cfr. **Tabella 3-13**) si riportano gli esiti delle prove di permeabilità Lefranc eseguite all'interno dei fori di sondaggio e che hanno permesso di definire i valori di coefficiente di permeabilità K.

Sigla	Opera	Pk	Profondità sondaggio (m)	Tratto di prova (m da p.c.)	K - coeff. di permeabilità (cm/s)
SN-02	Viadotto Caramagna	1418.12	25	4.0 - 4.5	0.01186
SN-03	Viadotto Caramagna	1483.52	25	4.0 - 4.5	0.00859
SN-04 Bis	Ponte sul Torrente Prino	30.57	25	4.0 - 4.5	0.16707

TABELLA 3-13 – RISULTATI DELLE PROVE DI PERMEABILITÀ TIPO LEFRANC ESEGUITE

Per i risultati delle prove Lugeon si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica.

In generale, il sottosuolo del tracciato in esame è caratterizzato nel complesso da unità geotecniche e geomeccaniche a permeabilità variabile, da **molto bassa** *(Argille di Ortovero)* ad **alta-molto alta** *(Depositi alluvionali attuali e recenti)* con valori che variano rispettivamente tra 1E-07÷1E-08 m/s e 1E-03÷1E-04 m/s.

3.2.1.4 Prove di permeabilità Lugeon

In n° 3 fori di sondaggio (SN01, SN05 e SN06) sono state eseguite prove Lugeon per la determinazione del coefficiente di permeabilità in sito all'interno del substrato lapideo. Le prove sono state condotte isolando, mediante idonei otturatori (packer), tratti di foro di lunghezza pari a 3.0 m e misurando il volume d'acqua assorbito a diversi valori di pressione di iniezione.

Nella **Tabella 3-14** si riportano, per ciascuna prova, il foro di sondaggio in cui è stata eseguita, la profondità della tasca di prova e il valore del coefficiente di permeabilità calcolato sulla base delle misure eseguite.

sondaggio n° [-]	*da prof. [m]*	*a prof. [m]*	*L [m]*	*Unità Lugeon media [U.L.]*	*K [m/s]*	*note*
SN01	36,00	39,00	3,00	0,18	1,8E-08	dilatazione fratture
SN05	33,00	36,00	3,00	0,31	3,1E-08	dilatazione fratture
SN06	185,00	188,00	3,00	0,90	9,0E-08	moto idraulico laminare

TABELLA 3-14 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2023: RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ LUGEON

3.2.1.5 Prove dilatometriche

In n° 3 fori di sondaggio (SN01, SN05 e SN06) sono state eseguite prove dilatometriche in foro per la determinazione dei parametri di deformabilità degli ammassi rocciosi in condizioni di carico (modulo di deformazione) e di scarico (modulo di elasticità). Le prove sono state eseguite dalla ditta GeoAnalisi Srl con tre cicli di carico/scarico con determinazione del modulo corrispondente ad ogni ciclo.

Una sintesi dei risultati delle prove è riportata nella ***Tabella 3-15***.

			modulo di deformazione				modulo di elasticità		
			1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo	globale	1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo
sondaggio	prof. [m]	litologia	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]
SN01	41,00	Calcarenite grigia massiva	-	658	579	784	511	2777	4672
SN05	38,50	Calcarenite grigia massiva	-	176	205	205	290	456	5235
SN06	190,50	Calcare marnoso grigio	-	229	261	271	408	728	6352

TABELLA 3-15 – CAMPAGNA DI INDAGINI 2010: RISULTATI PROVE DILATOMETRICHE

I risultati di tali prove hanno permesso di affinare la caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose che vengono attraversate dalle opere. A tal proposito, si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica".

3.2.1.6 Prelievo di carico su piastra

Nel corso della campagna integrativa sono stati realizzati n.6 pozzetti esplorativi, spinti alla profondità di 2 m. Tali pozzetti si sono resi necessari in ottica di:

- verificare la stratigrafia degli strati più superficiali;
- prelievo di n.2 campioni rimaneggiati per ciascun pozzetto, tra 0.5 m e 2 m di profondità, sui quali eseguire prove di laboratorio (analisi granulometrica e limiti di Atterberg) atte a definire il gruppo di appartenenza dei terreni nell'ambito di classificazione stradale CNR-UNI 10006;
- prelievo di n.2 campioni ambientali per ciascun pozzetto, sui quali eseguire le analisi chimiche di cui al **punto 3.2.1.7**;
- esecuzione di prove di carico su piastra circolare al di sotto dello spessore di terreno di scotico di 0.5 m.

Sono state eseguite prove di carico a doppio ciclo su piastra circolare, con piano di posa a 0.5 m di profondità dal p.c., al fine di determinare le caratteristiche di deformabilità dei terreni di sottofondo dei rilevati e delle fondazioni stradali.

Le prove di carico su piastra sono state eseguite con piastra da 298,5 mm e doppio ciclo di carico secondo la norma CNR-BU n.146 del 14.12.1992, con determinazione del modulo di deformazione "Md", al primo e al secondo ciclo di carico, misurato nell'intervallo 50-150 kPa.

I risultati ottenuti, in termini di modulo di deformazione Md (rapporto fra l'intervallo di carico predefinito, 150-50=100 KPa, ed il cedimento corrispondente) sono mostrati nella sottostante tabella dove è riportato anche il rapporto Md1 / Md2.

Pozzetto [-]	**Profondità** [m]	**Md_1** (1° ciclo) [MPa]	**Md_2** (2° ciclo) [MPa]	**Md_1 / Md_2** [-]
PA01	0.5	11.9	76.3	0.16
PA02	0.5	21.3	96.7	0.22
PA03	0.5	9.8	160.7	0.06
PA04	0.5	13.4	160.7	0.08
PA05	0.5	37.5	290.3	0.13
PA06	0.5	14.4	272.7	0.05

TABELLA 3-16 – RISULTATI PROVE DI CARICO SU PIASTRA PER CIASCUN POZZETTO ESPLORATIVO

Nel caso specifico, i valori del modulo di deformazione del terreno di sottofondo sono risultati variabili tra 10 e 38 MPa al 1° ciclo di carico, mentre i valori al 2° ciclo sono risultati molto più elevati, in un range compreso tra 76 e 290

MPa, indicando un elevato incremento del modulo di deformazione in conseguenza delle operazioni di compattazione.

3.2.1.7 Prelievo di campioni ambientali

Per la determinazione dello stato di qualità dei terreni e delle acque, sono stati previsti i prelievi di campioni di terreno e di acqua sotterranea, sia in corrispondenza delle verticali di sondaggio sia nei pozzetti esplorativi. In particolare, è stato previsto almeno un campione ambientale per ogni verticale di indagine, localizzati in corrispondenza delle sezioni si scavo, e un campione composito nei tratti in galleria per un totale di n. 35 campioni di terreno e n.2 campioni di acqua sotterranea che sono stati sottoposti ad analisi chimiche.

Il set analitico di riferimento ha previsto l'analisi della concentrazione delle sostanze così come definito nell'*Allegato 4 al D.P.R. 13 giugno 2017, n.120 – Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n.164* e il prelievo di campioni è stato effettuato in ciascuna verticale di sondaggio in funzione delle previste profondità di scavo: per quanto riguardo lo scavo in galleria, sono stati previsti campioni medi compositi alle profondità di scavo della galleria, prevedendo almeno n.3 incrementi per ciascun campione medio composito.

Sono stati previsti infine campionamenti di acque sotterranee in piezometro ai fini dell'esecuzione di analisi chimiche per la verifica alla conformità alle CSC di cui al D.Lgs. 152/06. Dato che il progetto prevede la presenza di strutture interrate potenzialmente a contatto con acque di falda, sui campioni di acque sotterranee sono state previste anche analisi chimiche per la verifica dell'eventuale aggressività dell'acqua nei confronti del calcestruzzo e analisi chimiche su campioni di terreno nei confronti del calcestruzzo.

Infine, sono state previste analisi chimiche per la classificazione delle terre e rocce da scavo come rifiuto ("omologa rifiuto") per un totale di n.2 campioni.

I risultati delle analisi chimiche, effettuate dai laboratori O.S.I. Srl, sono descritti negli elaborati di progetto **T00GE02GEORE02** – "Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo – Relazione tecnica" e **T00GE02GEORE01** – "Relazione di gestione materie", mentre i certificati delle analisi chimiche si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE06** - "Indagini geognostiche - Analisi chimiche di laboratorio".

3.2.1.8 Indagini geofisiche

Nel corso della campagna di indagini, la ditta Geoserving Srl si è occupata dell'esecuzione di n.6 stendimenti sismici tipo MASW per la determinazione delle categorie di sottosuolo nei diversi tratti del tracciato. Tali indagini vanno ad integrare le diverse prospezioni sismiche eseguite nella campagna di indagine pregressa di cui ai **punti 3.1.1.8** e **3.1.1.9,** costituite da prospezioni sismiche down-hole e stendimenti di sismica a rifrazione.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software SWAN (Surface Wave Analysis) della Geostudi Astier. Le onde sismiche superficiali non evidenziano elevati contrasti di velocità. Infatti, si verifica un aumento graduale delle velocità con la profondità (gradiente di velocità) delle onde S, le quali individuano un bedrock sismico di riferimento (Vs > 800 m/s) prima dei 30 m di profondità dal piano campagna.

Le n.6 prospezioni MASW, eseguite nei tratti di tracciato non coperti dalle precedenti prospezioni e in particolare in prossimità del tratto finale del Ponte sul Prino (MASW1), lungo lo sviluppo del Viadotto Caramagna (MASW2, MASW3 e MASW4), nel tratto compreso tra il Viadotto Caramagna e la Galleria artificiale Costa Murata (MASW5) e infine in prossimità del tratto iniziale del Ponte sull'Impero (MASW6).

Le indagini eseguite con i relativi risultati in termine di onde di taglio, nonché gli esiti delle categorie di sottosuolo assegnate in relazione a ciascuna opera sono riportate nella tabella sottostante (cfr. **Tabella 3-17**) e, assieme agli esiti delle indagini geofisiche pregresse, nella tabella di **Figura 7-12**.

STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L1":	VS,eq = 500.58 m/s
STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L2":	VS,eq = 518.08 m/s
STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L3":	VS,eq = 504.11 m/s
STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L4":	VS,eq = 530.04 m/s
STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L5":	VS,eq = 570.73 m/s
STENDIMENTO SISMICO "MASW50_L6":	VS,eq = 602.60 m/s

TABELLA 3-17 – RISULTATI PROSPEZIONI SISMICHE TIPO MASW IN TERMINI DI VSEQ

Di seguito si riportano i profili delle onde S delle diverse prospezioni eseguite, dalla **Figura 3-4** alla **Figura 3-9**.

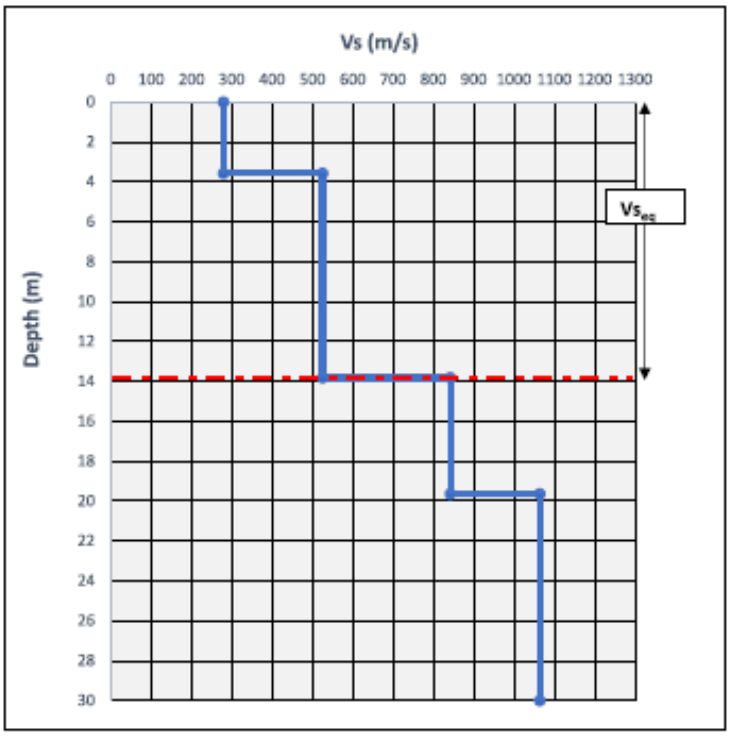


FIGURA 3-4 – MASW1: GRAFICO DELLE VS

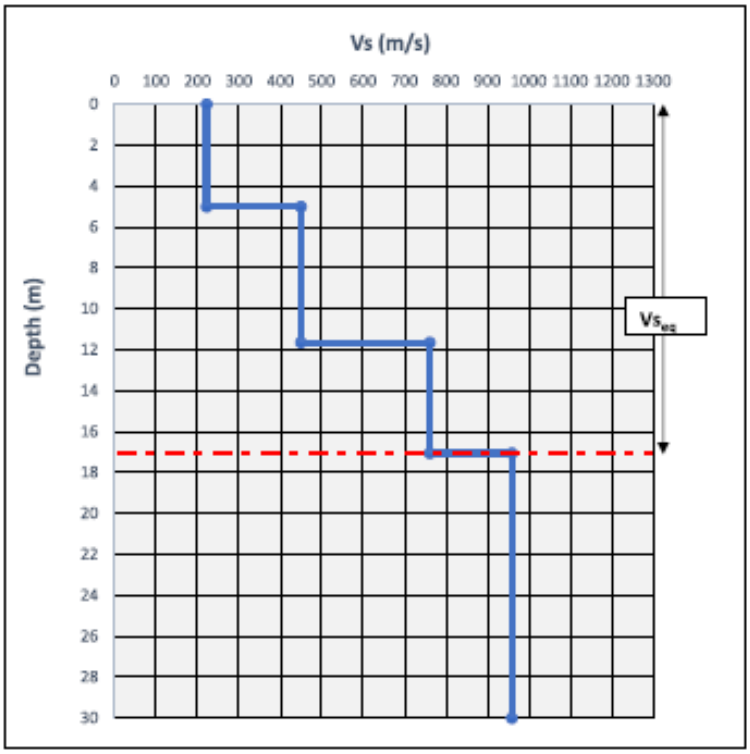


FIGURA 3-5 – MASW2: GRAFICO DELLE VS

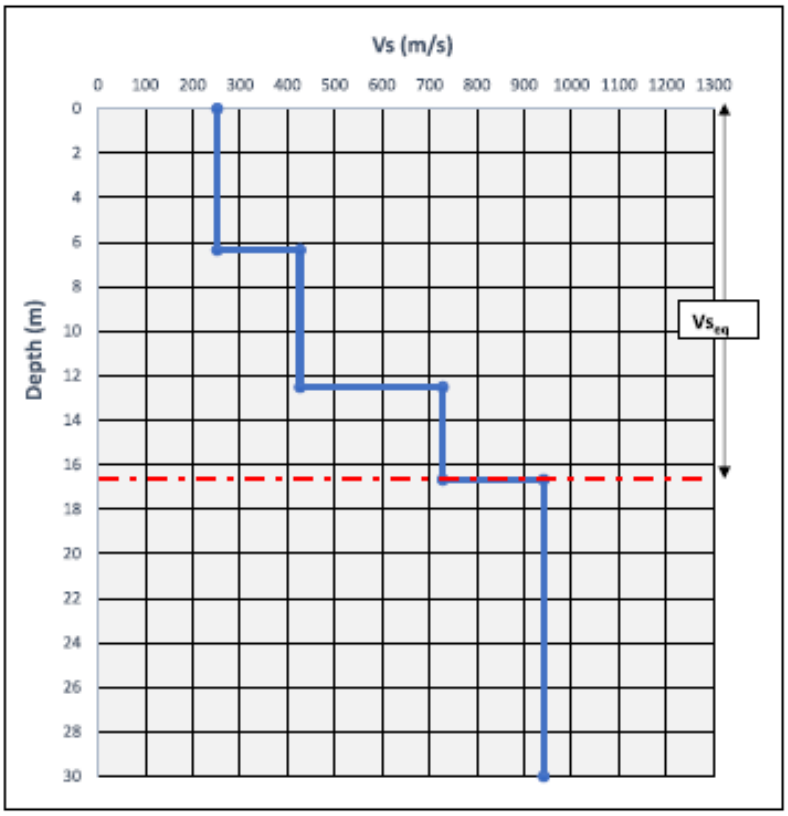


FIGURA 3-6 – MASW3: GRAFICO DELLE VS

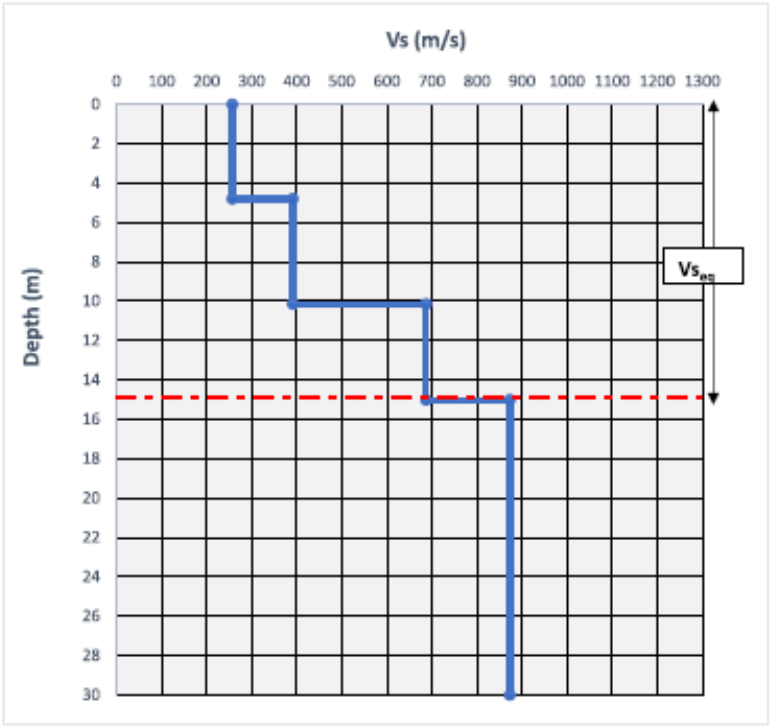


FIGURA 3-7 – MASW4: GRAFICO DELLE VS

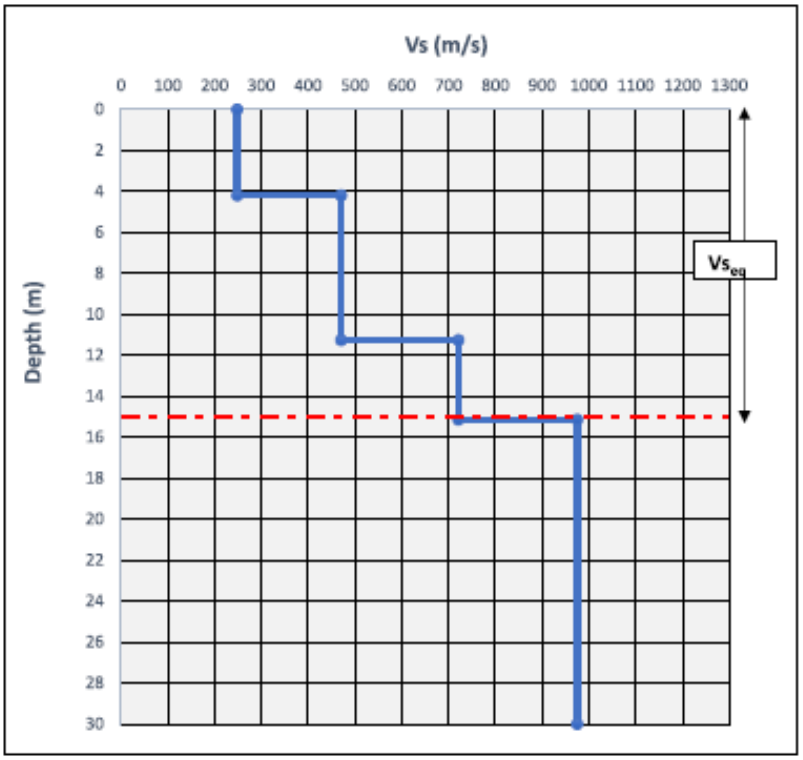


FIGURA 3-8 – MASW5: GRAFICO DELLE VS

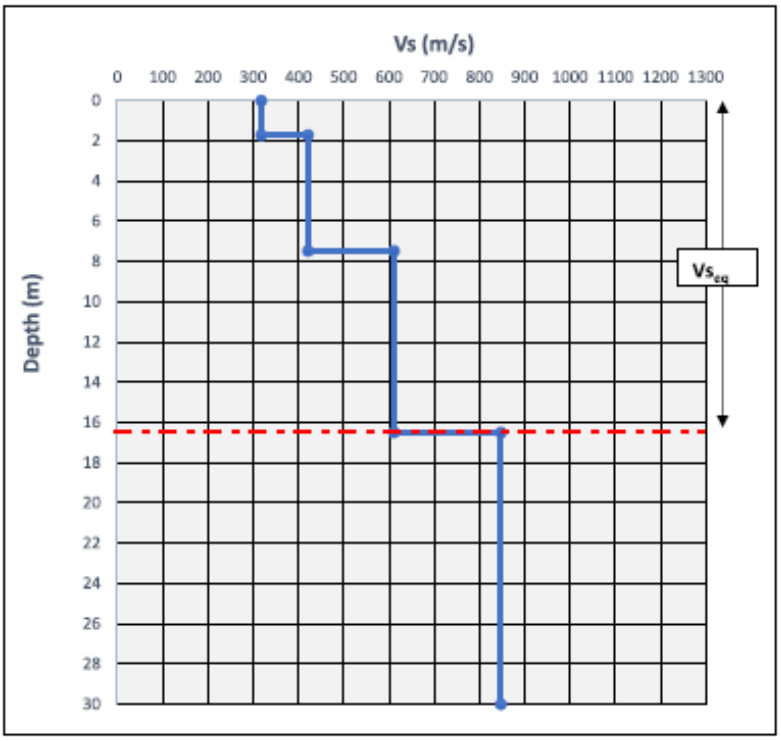


FIGURA 3-9 – MASW6: GRAFICO DELLE VS

3.2.2 Prove geotecniche e geomeccaniche di laboratorio

Durante la perforazione dei sondaggi e dei pozzetti nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati n.26 tra campioni rimaneggiati e indisturbati su cui eseguire prove geotecniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Geoserving Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondo delle opere previste lungo l'infrastruttura in oggetto.

In particolare, durante la perforazione dei sondaggi geognostici sono stati previsti complessivamente n.25 campioni rimaneggiati e n.1 campione indisturbato, oltre a numerosi campioni lapidei.

Sui campioni di terreno sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni geotecniche
- determinazioni del peso di volume naturale e peso specifico dei grani
- determinazioni del contenuto naturale d'acqua
- analisi granulometriche complete
- determinazioni dei limiti di consistenza
- prove di taglio diretto con determinazione della resistenza di picco

I risultati di tali prove sono descritti nel dettaglio nei diversi paragrafi del punto **8** della presente relazione, a cui si rimanda.

Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati anche n.16 spezzoni di carota lapidea su cui eseguire prove geomeccaniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Geoserving Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geomeccanica dele unità rocciose attraversate dalle opere.

In particolare, sui campioni di roccia, ricavati da spezzoni di carota lapidea, sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni del campione di roccia
- determinazioni del peso di volume naturale
- prove di resistenza a compressione monoassiale e triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a compressione triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a trazione indiretta (brasiliana)
- prove di carico puntiforme (point-load strength test)

Tutti i risultati di tali prove e la caratterizzazione delle rocce che ne consegue vengono descritti nel dettaglio nell'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica", a cui si rimanda.

4 QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

L'inquadramento geologico-stratigrafico generale del sito è mostrato nella documentazione geologica di progetto definitivo e in particolare da:

- **T00GE01GEORE01** - "Relazione geologica";
- **T00GE01GEOCG01÷02** - "Carta geologica generale" – 2 tavv.;
- **T00GE01GEOCG03÷06** - "Carta geologica di dettaglio" – 4 tavv.;
- **T00GE01GEOCG07÷10** - "Carta geologico-strutturale di dettaglio" – 4 tavv.;

Le condizioni stratigrafiche di riferimento per il sottosuolo in esame, nonché i profili di dettaglio con la ricostruzione stratigrafica delle differenti unità geologico-tecniche sono state rappresentate nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00GE01GEOFG01÷02** - "Profilo geologico asse principale" – 2 tavv.;
- **T00GE01GEOSG01** - "Sezioni geologiche trasversali".

Di seguito si riportano le caratteristiche stratigrafiche delle unità interessate dal progetto in esame, rimandando all'elaborato **T00GE01GEORE01** – "Relazione geologica" per ulteriori dettagli e punto **8** della presente relazione per l'analisi delle proprietà geotecniche dei terreni.

4.1 Unità stratigrafiche di riferimento

Il rilievo geologico-geomorfologico di campagna, unitamente alle risultanze delle stratigrafie della campagna geognostica eseguita e tenuto conto delle risultanze di quella pregressa, ha consentito di verificare le caratteristiche litologiche, stratigrafiche e tettonico-strutturali delle unità geologiche presenti nell'area di progetto attraverso la ricerca di tutti gli affioramenti significativi.

I risultati del rilievo geologico sono rappresentati negli elaborati **T00GE01GEOCG01÷02** - "Carta geologica generale" – 2 tavv ", e **T00GE01GEOCG02÷06** - "Carta geologica di dettaglio" – 4 tavv. e **T00GE01GEOCG07÷10** - "Carta geologico-strutturale di dettaglio" – 4 tavv. allegati al progetto, dove sono indicate tutte le unità stratigrafiche riconosciute, suddivise nelle relative unità tettoniche di appartenenza, i depositi superficiali quaternari (depositi di frana, depositi alluvionali antichi e recenti, depositi di spiaggia, coltri eluvio-colluviali, depositi antropici), i contatti tra le unità geologiche, stratigrafici o tettonici e le giaciture degli strati.

La perforazione dei sondaggi nelle diverse campagne di indagine eseguite ha consentito di riconoscere la presenza nell'area delle seguenti unità geologiche: l'unità tettonica Sanremo-Saccarello, nella sua facies prevalentemente arenaceo-torbiditica (*Flysch di Sanremo – Unità FS1*) e nella sua facies marnosa (*Flysch di Sanremo – Unità FS2*), e l'unità post-orogenetica delle *Argille di Ortovero* (AO). Sopra tali unità sono spesso presenti depositi superficiali lungo l'asse di progetto, riconducibili a depositi alluvionali antichi e recenti, coltri eluvio-colluviali e materiale alteritico (*Alteriti,* Alt*)*; tutti i depositi di copertura spesso risultano obliterati da successive attività antropiche.

I terreni che caratterizzano il sottosuolo in prossimità delle opere sono stati suddivisi nelle unità geologiche descritte di seguito.

4.1.1 Unità tettonica Sanremo-Saccarello

Il *Flysch di Sanremo* è una formazione monotona costituita dalle facies tipiche a litologia essenzialmente calcareo-marnosa e arenaceo-pelitica. Sono presenti varie facies, di cui la più comune è caratterizzata da arenarie fini e medie ben laminate alla base dell'orizzonte torbiditico, passanti verso l'alto ad un potente strato marnoso che può raggiungere i 2-3 m di spessore. Sono poi diffuse torbiditi argilloso/arenacee.

Il rilevamento di terreno e l'analisi di numerosi sondaggi tra la campagna integrativa 2023 e quella pregressa datata 2010 ha portato sostanzialmente alla conferma di due sole facies significativamente differenti: la facies arenaceo-torbiditica (FS1) e la facies marnosa (FS2), in posizione sommitale all'interno della serie. La facies marnosa FS2 affiora essenzialmente nel settore più occidentale, nella Valle del Torrente Prino e fino al Torrente Caramagna verso est. Qui, al disotto delle alluvioni, è sormontata tettonicamente, con un piano a basso angolo (sovrascorrimento), dalla facies arenaceo-torbiditica FS1, come evidenziato dalle litologie individuate nei sondaggi.

4.1.1.1 Flysch di Sanremo - facies arenaceo-torbiditica (FS1)

È costituita da torbiditi argilloso/arenacee con areniti medie e grossolane, in strati planari medi e sottili, seguite da orizzonti pelitici e marnoso/pelitici laminati. Si osservano frequentemente bancate di arenaria caoticizzata con evidenza morfologica marcata sul rilievo; in questi strati le arenarie laminate sono frequentemente rimaneggiate a dare superfici complesse. Localmente è evidente la giustapposizione di barre da corrente a laminazione incrociata a basso angolo, talora concava. Questi strati caotici presentano spessori che oscillano tra pochi decimetri e il metro; possono localmente superare i 4 m di spessore.

4.1.1.2 Flysch di Sanremo - facies marnosa (FS2)

Nella porzione più occidentale del rilievo si osserva il passaggio, mai osservabile direttamente, alle facies occidentali più marcatamente marnose, dove rari strati decimetrici o centimetrici di arenaria o calcarenite sono separati da marne pelitiche normalmente scagliose e più raramente fogliettate con spessore plurimetrico. Gli strati arenacei e calcarenitici, sempre di esiguo spessore e nettamente subordinati rispetto alla componente pelitica, si presentano marcatamente planari e con una significativa continuità laterale. La caratteristica principale delle marne è che in superficie presentano colori da bruno chiaro a ocracei e sono fortemente scagliose a causa dell'alterazione e della disidratazione; al disotto del profilo di alterazione sono caratterizzate da una migliore consistenza e riduzione dei fenomeni di fessurazione, mostrandosi sostanzialmente massicce con colori tipicamente grigio e bruno grigiastro scuro.

4.1.2 Depositi tardo e post-orogenici

Il tracciato interseca alcuni sistemi vallivi ai cui margini sono conservati depositi bacinali e depositi di aggradazione di età pliocenica-pleistocenica basale. La paleotopografia articolata, delineatasi durante il Messiniano, viene suturata da depositi continentali o prossimali grossolani, a bassa maturità tessiturale (*Brecce di Taggia*, che non sono state

individuate in affioramento e non coinvolgono il tracciato in progetto); tali brecce sono reincise e suturate dai depositi bacinali delle *Argille di Ortovero*.

L'unità delle Argille di Ortovero fa parte delle unità coinvolte nel "ciclo Pliocenico Ligure" come definito in letteratura, i cui termini più recenti, tuttavia, è verosimile si inseriscano bene entro il Pleistocene basale; di seguito si descrive tale unità e quanto rinvenuto dai sondaggi eseguiti.

4.1.2.1 Argille di Ortovero

Si tratta di argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, di colore da grigio cinereo a grigio-azzurro a bruno-giallastro in alterazione, in strati da centimetrici a decimetrici, che costituiscono depositi con spessore di decine di metri. La geometria dei depositi segue l'andamento del substrato, colmando depressioni della paleo-superficie (paleo-valli e depressioni strutturali). Il contenuto micropaleontologico descritto in letteratura comprende foraminiferi planctonici, bentonici, diatomee e nannoplancton calcareo. Le paleo-superfici impostate sulle Argille di Ortovero costituiscono terrazzi ben delineati alle quote 80 e 100 m.

4.1.3 Depositi continentali

I fondovalle, sebbene localmente ristretti, hanno una pendenza media non molto elevata consentendo lo strutturarsi di corsi d'acqua caratterizzati da un pattern che va da canale rettilineo fino a braided, dove sono più ampi. Le tipologie di depositi si sono quindi ripetute nel tempo. Sono presenti infatti depositi alluvionali antichi, recenti, depositi di materiale alteritico e coltri eluvio-colluviali.

Lo spessore complessivo dei depositi alluvionali, al di sotto dei fondovalle, sembra non superare i 30 m nei punti di massima profondità, ma normalmente è inferiore.

4.1.3.1 Complesso alteritico

L'area in oggetto è stata caratterizzata da ingenti processi di alterazione pedogenetica, proseguiti almeno a partire dal Pliocene inferiore se non già dal Messiniano, con il fronte di alterazione che ha raggiunto frequentemente profondità comprese tra i 5 e i 10 m. Date le litologie flyschioidi presenti nella zona, tali processi hanno generato ingenti quantità di materiale alteritico, poi rimobilizzato con gli usuali meccanismi di ridistribuzione gravitativa per soliflusso e colata. Per tali motivi lo spessore è generalmente elevato e la qualità degli affioramenti è scarsa in tutta l'area; ogni falda di detrito, infatti, è caratterizzata dalla presenza di clasti spigolosi del bedrock imballati in matrice fine di limo e sabbia con quantità variabili di argilla.

4.1.3.2 Depositi di versante (coltre eluvio-colluviale)

Si tratta di depositi di coltre costituiti da clasti eterometrici in prevalente matrice limoso-argillosa, di spessori pressoché esigui, generati dai versanti a prevalente litologia flyschoide a ricoprire il materiale alteritico rimobilitato.

4.1.3.3 Depositi alluvionali antichi

Si tratta in generale di sabbie limose e limi sabbiosi, talora con presenza di lenti ghiaiose fini debolmente cementate, presenti sostanzialmente nell'area della valle del Prino, ricoperte dalle alluvioni più recenti.

4.1.3.4 Depositi alluvionali recenti

Si tratta di ghiaie a matrice sabbiosa e sabbie che occupano l'alveo dei corsi d'acqua principali presenti nell'area. Tali materiali sono stati rinvenuti infatti in prossimità dell'alveo del Torrente Prino, del Caramagna e dell'Impero.

5 QUADRO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO

L'assetto geomorfologico dell'area è governato dalla litologia e dalla struttura tettonica in interazione con il sollevamento della catena e le oscillazioni eustatiche. Le forme a versanti ripidi e piuttosto regolarizzati sono determinate da una storia di erosione e alterazione antica, non essendosi mai verificati episodi glaciali in queste aree prossimali alla costa. In questa omogeneità spiccano sui versanti le bancate arenacee più massive che mantengono un risalto morfologico positivo dovuto alla minore erodibilità del litotipo.

Su questa struttura sono impostate forme residuali come ripiani e orli di scarpata erosionale che interessano le successioni di depositi plio-pleistocenici. Le paleo-superfici, come quelle evidenti in sinistra idrografica della Val Caramagna, ad esempio in sinistra idrografica del Torrente Impero, sono da considerarsi in buona parte come piattaforme di ablazione costiera residuali troncate dall'erosione. Sono ubicate fino a 250 m di quota appena a N dell'area rilevata, e sui rilievi prospicienti al mare sono attestati intorno ai 115 metri di quota.



FOTO 1 - SVINCOLO IMPERIA EST: BEN VISIBILE IL RIPIANO DELLE ARGILLE DI ORTOVERO COSTITUENTE LA PALEO-SUPERFICIE PLIOCENICA.

Alle quote più basse le uniche morfologie significative sono limitate ai terrazzi di erosione fluviale nelle sequenze di alluvioni antiche, localizzate fino a 20 m di quota, e recenti, fino al livello del mare.

I versanti, usualmente ricoperti da spessori importanti di alteriti progressivamente passanti a depositi di versante eluvio-colluviali, sono interessati da fenomeni diffusi di colata con scarsa evidenza morfologica; molti valloni presentano corone di arretramento anch'esse poco visibili. Le frane con una nicchia e un corpo di frana ben evidente sono poco comuni, limitate al settore centro-occidentale dell'area rilevata. L'accumularsi di depositi di versante legati a differenti modalità di messa in posto produce generalmente importanti spessori eluvio-colluviali alla base dei pendii.

Le morfologie della parte alta dei valloni meno importanti, non legati a corsi d'acqua rilevanti, sono state frequentemente obliterate e modificate con importanti riporti derivanti dalla realizzazione delle gallerie autostradali.

6 IDROGEOLOGIA

6.1 Aree di fondovalle

In tutta l'area rilevata gli unici acquiferi significativi, soggetti a captazione per uso idropotabile ed industriale, sono limitati al fondovalle dei torrenti Prino e Impero. La valle del T. Caramagna è caratterizzata prevalentemente da depositi più fini, che hanno determinato un uso ridotto esclusivamente a scopo irriguo. Valli minori presentano depositi derivati dalla rielaborazione di alteriti rimaneggiate e quindi estremamente poco permeabili per l'elevato tenore in argille e non sono sede di acquiferi significativi.

I corpi idrici sotterranei dei Torrenti Prino e Impero sono stati individuati come corpi idrici significativi dal Piano Regionale di tutela delle Acque condotto dall'ARPAL.

6.1.1 Bacino del Torrente Prino

Nel bacino del Torrente Prino i principali pozzi sono ubicati in destra idrografica, dove nelle sequenze alluvionali sono presenti i depositi più grossolani: l'alveo fluviale ha insistito maggiormente sul lato occidentale della valle come già evidenziato dalle considerazioni geomorfologiche. La massima profondità registrata del paleoalveo sul substrato è di circa 21 m da piano campagna, mentre presso il viadotto autostradale la profondità del substrato è limitata a 11.5 m. L'acquifero risulta quindi molto superficiale ed è considerabile sostanzialmente come acquifero di subalveo; ciò è confermato dagli studi effettuati per il piano di Bacino del Torrente Prino dalla Provincia di Imperia. Infatti, gli orizzonti argillosi presenti sia alla base della serie, a contatto con il substrato, sia all'interno di essa non è noto se siano riferibili alle Argille di Ortovero o a depositi di bassa energia più recenti, e quale sia la loro continuità sia longitudinale che trasversale. Altri orizzonti fini con le caratteristiche di acquitardi sono comunque discontinui e di spessore estremamente ridotto.

6.1.2 Bacino del Torrente Impero

Nella valle del Torrente Impero alcuni pozzi hanno verificato la profondità massima del materasso alluvionale pari a 38 m dal piano campagna. In generale l'acquifero è limitato alle alluvioni Recenti, poiché le alluvioni antiche sono caratterizzate da sedimenti fini e molto fini, localmente leggermente cementati, quindi con una permeabilità bassissima. L'acquifero captato, considerabile come un acquifero di subalveo, è limitato ai depositi alluvionali non terrazzati del corso d'acqua. La maggiore permeabilità è limitata alle facies più grossolane, dove oscilla tra valori pari a 10^{-2} e 10^{-4} m/s, che sono caratterizzate da porosità efficace pari al 10-30% e sono costituite da ghiaia (70%), sabbia (20%) e limo (10%). Le facies più fini, che arrivano a contenere il 30% di argilla, hanno invece porosità efficace di poco superiore al 5% e di conseguenza permeabilità estremamente bassa.

Il deflusso superficiale del Torrente Impero e il livello della falda sono strettamente correlati, e dipendenti dal ciclo stagionale. Verso mare, a valle della diga subalvea realizzata da Italcementi, è documentata la risalita del cuneo salino.

6.2 Aree di versante

In generale dove sono maggiori gli spessori di alteriti, ma soprattutto entro i depositi di versante contenenti alteriti rimaneggiate, è possibile individuare modeste falde sospese a bassissima trasmissività, talora confinate, alimentate direttamente dall'infiltrazione di acque meteoriche. La presenza di queste piccole falde sospese è talvolta correlabile all'innesco di fenomeni franosi pellicolari.

Gli ammassi rocciosi costituiti dalla facies marnosa FS2 sono sostanzialmente impermeabili sia per litologia sia per fratturazione. Gli ammassi costituiti dalla facies arenaceo-calcareo-marnosa FS1 sono invece sostanzialmente impermeabili dal punto di vista litologico ma presentano una certa permeabilità per fratturazione, che dà luogo ad acquiferi discontinui per saturazione dell'ammasso. Questi acquiferi, generalmente piuttosto profondi rispetto alla superficie, generano modestissime sorgenti e sono talora captati per uso privato da pozzi, che solitamente richiedono una profondità superiore ai 70 m per garantire un minimo di portata.

L'unica evidenza di falda in pressione di una certa consistenza è emersa nel corso del sondaggio S26 (campagna geognostica 2010) nel corso del quale si è verificata una vera e propria eruzione di acqua in pressione che ha costretto a proseguire la perforazione adottando dei preventer di tenuta. Il sondaggio S26 si trova all'incrocio di due sistemi di faglie/fratture orientati NW-SE e NE-SW ed è collocato nel cuneo presso l'intersezione che chiude a valle la dorsale che va dal passo Scuppellino al M. Rosa e al M. Bardellini, con circa 200 m di dislivello tra la cresta e il punto del sondaggio. Si è quindi ipotizzato che i due sistemi di faglia costituiscano una importante soglia di permeabilità.

6.3 Possibili interferenze

Nella valle del Torrente Prino il tracciato stradale si mantiene ad una distanza di oltre 30 m dai pozzi indicati dal gestore AMAT, con opere interamente fuori terra: non è previsto quindi alcun tipo di interferenza, anche se andranno previste particolari attenzioni in fase di esecuzione dei lavori volte ad evitare eventi incidentali che possano implicare dispersione di inquinanti ed andranno allontanate le acque di dilavamento del manto stradale al di fuori delle fasce di rispetto.

Nella valle del Torrente Impero invece il viadotto di attraversamento passa esattamente sopra al pozzo più a monte del campo esistente, anch'esso gestito da AMAT S.p.A., che si sviluppa verso valle con altri sei pozzi il più distante dei quali si trova 900 m a valle dell'opera. Data l'elevata trasmissività dell'acquifero captato andranno adottati metodi di fondazione che limitino la dispersione di contaminanti in falda o anche solamente l'occlusione meccanica a causa del rimaneggiamento e trasporto di frazioni fini.

Per quanto concerne le possibili interferenze con le sorgenti e i pozzi privati nelle aree di versante, sussiste elevata probabilità di interferenza soprattutto nel caso della Galleria Bardellini, dove la quota elevata della superficie piezometrica rispetto alla calotta fa presumere la presenza di soglie di permeabilità litologiche e strutturali tali da sostenere la falda, almeno localmente, entro il mezzo fratturato.

7 SISMICA

7.1 Zonazione sismogenetica

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpa-menti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obbiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

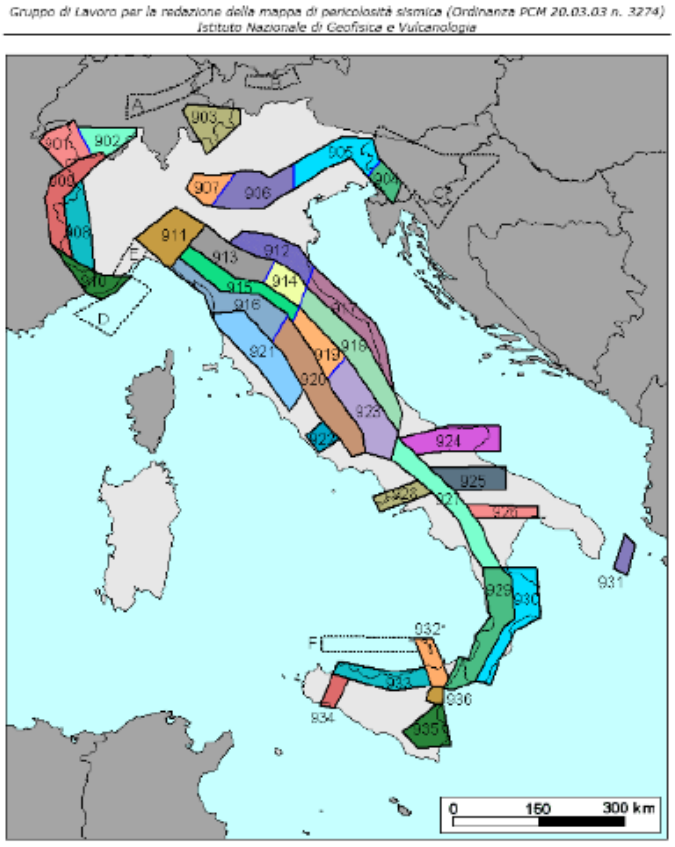


FIGURA 7-1 - CARTA ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9. DAL SITO ZONESISMICHE.MI.INGV.IT (GRUPPO DI LAVORO, 2004)

Come è possibile verificare dalla **Figura 7-1**, la zona in esame, identificata dal numero 910, è tuttora poco caratterizzata dal punto di vista sismo-tettonico. Essa è considerata l'area di svincolo che consente l'arretramento dell'arco alpino occidentale ed è caratterizzata da una sismicità più elevata dei settori di arretramento, motivo per cui è stata separata dalle zone adiacenti. In questa zona il meccanismo focale atteso è di tipo inverso.

7.2 Classificazione sismica comunale e sismicità storica

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Liguria, con delibera della Giunta regionale n.962 del 23 novembre 2018 e relativo Allegato 2 alla stessa DGR, si riporta la mappa della classificazione sismica dei diversi comuni della Regione Liguria. Il comune di Imperia risulta classificato in **Zona 2** come visibile anche dal cerchio rosso che lo identifica nella figura sottostante (cfr. **Figura 7-2**).

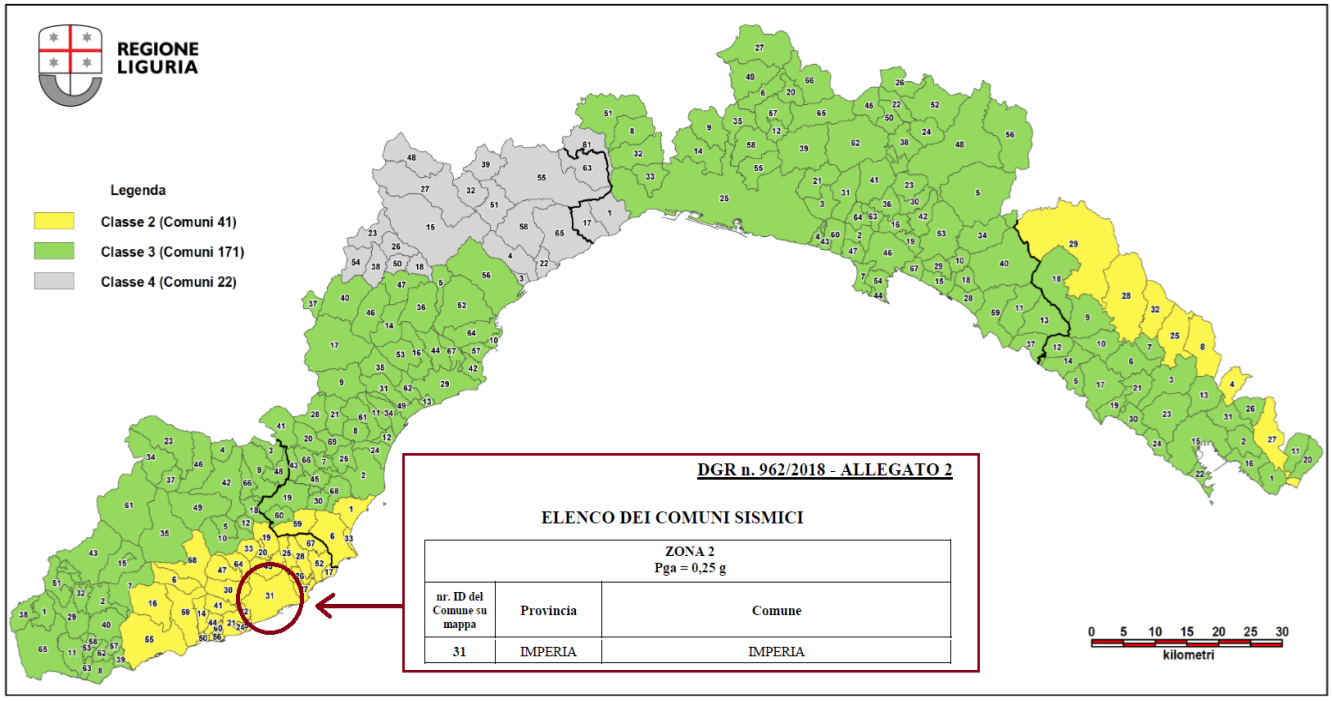


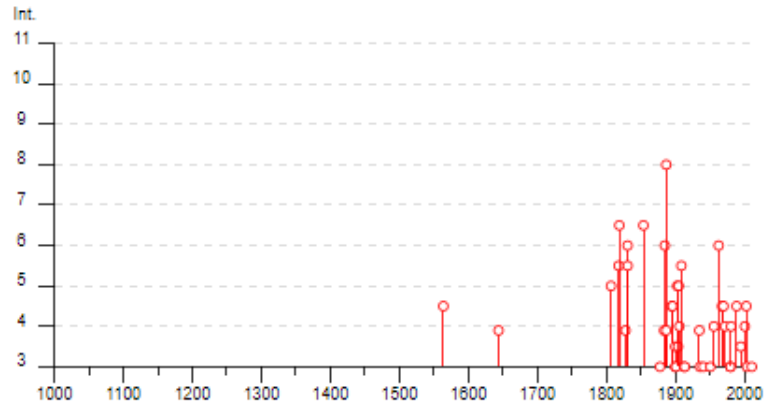
FIGURA 7-2 - REGIONE LIGURIA - STRALCIO DELLA MAPPA DI CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE CON EVIDENZA DEL COMUNE DI IMPERIA

Il Database Macrosismico Italiano *DBMI15 v.3.0* è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti.

In particolare, la **Figura 7-3** mostra la storia sismica del Comune di Imperia dal 1500 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 6-7.

Imperia

PlaceID	IT_32205
Coordinate (lat, lon)	43.885, 8.027
Comune (ISTAT 2015)	Imperia
Provincia	Imperia
Regione	Liguria
Numero di eventi riportati	54



Effetti		In occasione del terremoto del			
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1564 07 20	Lantosque	15	8-9	5.80
F	1644 02 15 04 30	Alpes Niçoises	29	8	5.74
5	1807 09 05 01 30	Liguria occidentale	10	5-6	4.81
5-6	1818 02 23 18 10	Liguria occidentale	45	7	5.32
6-7	1819 01 08 22 30	Liguria occidentale	5	6-7	4.86
F	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5.72
6	1831 05 26 10 30	Liguria occidentale	33	8	5.56
5-6	1831 05 28 12 45	Liguria occidentale	7	6	4.73
6-7	1854 12 29 01 45	Liguria occidentale	86	7-8	5.72
3	1878 06 07 22 25	Cuneese	34	6	4.86
F	1884 11 27 22 15	Alpi Cozie	63	6-7	5.17
6	1885 01 24 20	Liguria occidentale	4	5-6	4.40
8	1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
F	1887 03 11 14 45	Liguria occidentale	20		
4-5	1895 12 25 04 47	Liguria occidentale	9	5	4.18
4-5	1896 10 16	Liguria occidentale	55	6	4.91
3-4	1900 04 22	Liguria occidentale	4	4	3.70
3	1900 12 30 23 36 2	Alto Monferrato	36	5	4.35
3	1901 04 20 09 35 0	Cuneese	15	5	4.31
2	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
5	1903 04 04 01 41	Liguria occidentale	20	5	4.45
3-4	1904 11 15 19 16	Liguria occidentale	17	5	4.16
5	1905 05 30 04 55	Cuneese	121	5-6	4.65
4	1906 08 11 09 58	Liguria occidentale	82	5	4.41
NF	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5-6	1909 05 27 06 10	Liguria occidentale	51	5-6	4.34
3	1913 03 27 02 25 4	Val Trebbia	58	4-5	4.24
3	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
2	1934 06 13 09 06	Val di Taro-Lunigiana	29	6	5.14
2	1935 02 19 00 01 0	Cuneese	45	5	4.34
F	1935 03 19 07 27 1	Embrunais	254	7	5.25
2	1936 07 09 01 10	Cuneese	20	5	4.32

3	1936	12	11	17	25		Liguria occidentale	12	6	4.46
3	1941	02	23	20	12	4	Cuneese	5		
3	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
4	1956	03	20	00	35		Liguria occidentale	6	4-5	3.93
6	1963	07	27	05	58	2	Mar Ligure	9		4.98
4-5	1968	04	18	19	38	1	Liguria occidentale	51	7-8	4.93
NF	1968	06	18	05	27		Valle d'Aosta	60	6	4.86
4-5	1970	12	31	22	04	4	Liguria occidentale	79	6	4.62
2	1971	09	25	10	34	0	Mar Ligure	31	5-6	4.33
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
3	1980	01	05	14	32	2	Torinese	120	6-7	4.82
3	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
4	1981	04	22	04	26	2	Mar Ligure	14		4.43
2	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1989	12	26	19	59	5	Mar Ligure	290		4.46
NF	1993	07	17	10	34	5	Liguria occidentale	336	5	4.34
3-4	1995	04	21	08	02	5	Liguria occidentale	49		4.39
2-3	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94
4	2001	02	25	18	34	4	Mar Ligure	59		4.44
4-5	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7	4.81
3	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99
3	2011	07	25	12	31	2	Torinese	105	5	4.67

FIGURA 7-3 - DBMI15: CATALOGO STORICO DEI SISMI IN COMUNE DI IMPERIA

7.3 Strutture sismogenetiche

Facendo riferimento allo studio pubblicato dall'INGV (*Database of Individual Seismogenic Sources – versione 3.3.0)*, disponibile al collegamento web http://diss.rm.ingv.it/diss è possibile verificare che è presente una struttura sismogenetica composita in prossimità dell'area in oggetto e relative sorgenti individuali (cfr. **Figura 7-4**).

In particolare, la struttura individuale identificata è quella classificata secondo DISS3 come ITIS130, che fa parte a sua volta del complesso della *ITCS022 "Imperia Promontory"*, un sorgente composita è costituita da un sistema di faglie inverse NE-SW situato nel Mar Ligure settentrionale, a pochi chilometri dalla costa italo-francese. Questa è una delle aree sismicamente più attive del Mediterraneo occidentale.

Il sistema composito, ubicato a poco più di 5 km dall'intervento (cfr. **Figura 7-4**, zona identificata da segnaposto rosso), è in grado di produrre complessivamente sismi di magnitudo fino a 7.4 Richter e con profondità della superficie variabile tra 2.5 e 15 km.

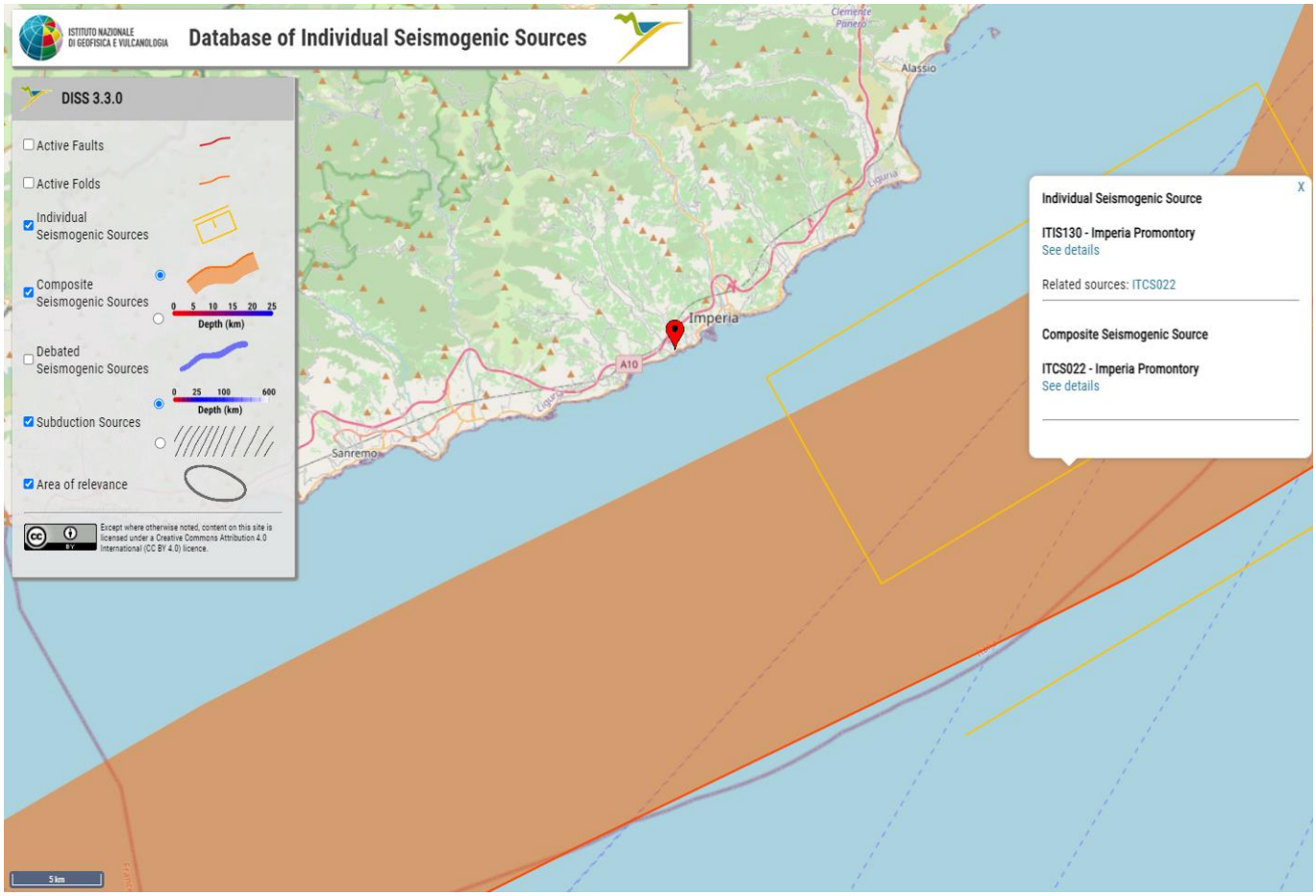


FIGURA 7-4 – INGV-DISS 3.3.0 – MAPPA DEI LINEAMENTI SISMOGENETICI E DETTAGLIO DELLE STRUTTURE (IL SEGNAPOSTO ROSSO IDENTIFICA IL SITO IN ESAME)

7.4 Faglie capaci

La consultazione del database "Ithaca – Catalogo delle faglie capaci", possibile al link di collegamento http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html ha consentito di verificare che non ci sono faglie capaci interferenti con l'area attraversata dal tracciato (cfr. **Figura 7-5**) e che la struttura più vicina, corrispondente alla faglia normale *San Remo Marine 41*, è ubicata circa 2 km dall'area di intervento.

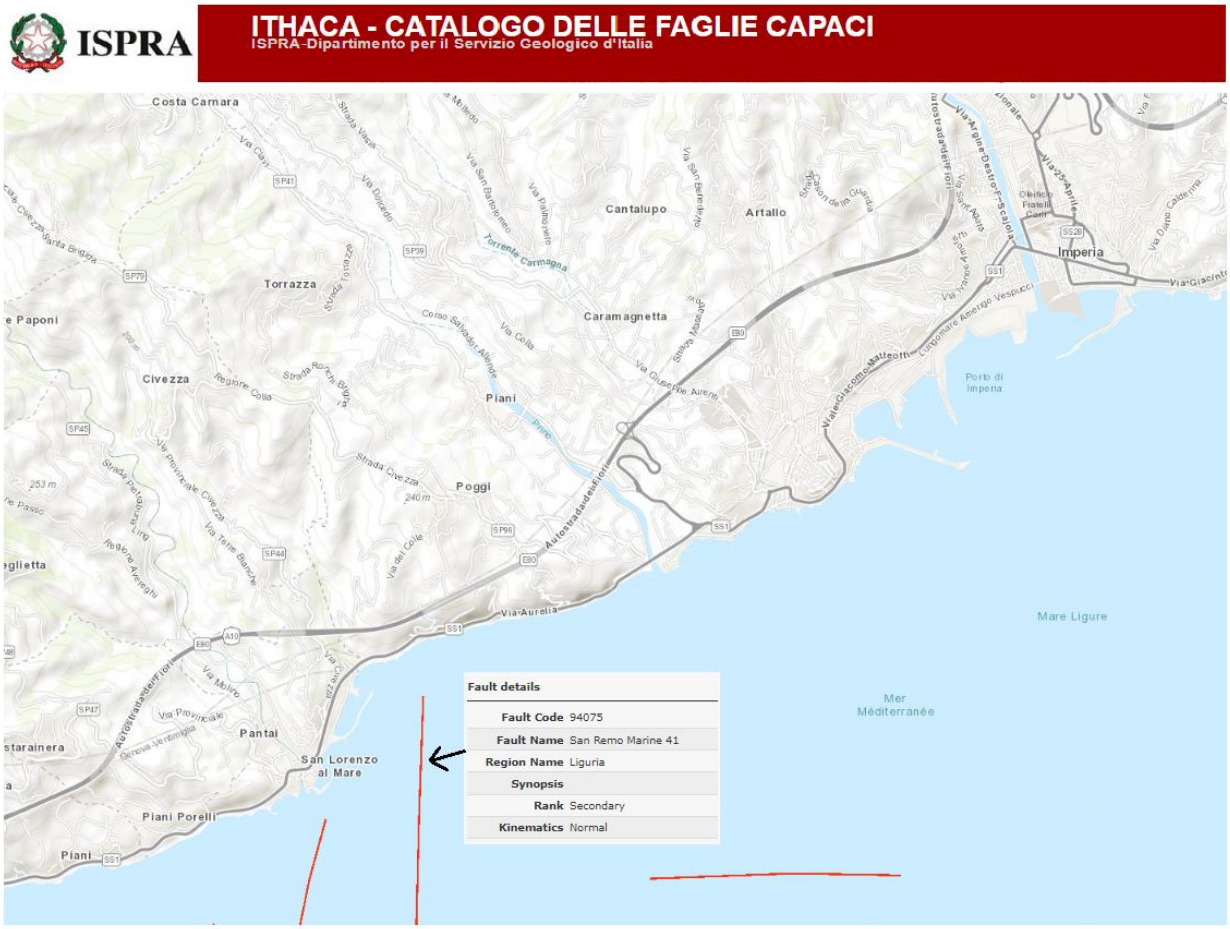


FIGURA 7-5 – ITHACA – STRALCIO CATALOGO FAGLIE CAPACI CON DETTAGLIO DELLA FAGLIA DI SAN REMO MARINE 41

7.5 Azione sismica di progetto

7.5.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento ***PVR***, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		***PVR0: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R***
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

7.5.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $C_U = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N \, C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

7.5.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F^0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g, F_O e T^*_C per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell'i-esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall'i-esimo punto della maglia suddetta.

Sono stati ricavati i parametri sismici a_g agli SLV, mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls", disponibile sul sito http://www.cslp.it/cslp/, inserendo all'interno dello stesso le coordinate geografiche dei punti più significativi in corrispondenza delle principali opere d'arte maggiori (es. Ponte sul Prino, Viadotto Caramagna, Ponte sull'Impero, ecc.). I valori ottenuti sono stati ricavati in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento V_R=100 anni.

Ponte sul Prino (7.9967 – 43.8721)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (s)
SLO	60	0,044	2,599	0,217
SLD	101	0,064	2,530	0,244
SLV	949	0,198	2,469	0,304
SLC	1950	0,263	2,488	0,319

Viadotto Caramagna (8.0010 – 43.8799)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (s)
SLO	60	0,045	2,599	0,217
SLD	101	0,065	2,527	0,244
SLV	949	0,200	2,468	0,304
SLC	1950	0,264	2,488	0,320

Imbocco ovest Galleria Meriello (8.0105 – 43.8858)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (s)
SLO	60	0,043	2,597	0,217
SLD	101	0,062	2,540	0,244
SLV	949	0,195	2,467	0,303
SLC	1950	0,259	2,486	0,319

Ponte sull'Impero (8.0252 – 43.9052)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (s)
SLO	60	0,044	2,598	0,217
SLD	101	0,063	2,536	0,244
SLV	949	0,197	2,466	0,303
SLC	1950	0,262	2,486	0,319

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi all'area del Viadotto Caramagna, che fornisce i valori di a_g più elevati. In particolare, si riportano di seguito i valori dei parametri sismici a_g, F_0 e $T^*_{c(s)}$ ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls" da utilizzare in fase progettuale:

Viadotto Caramagna (8.0010 – 43.8799)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_C (s)
SLO	60	0,045	2,599	0,217
SLD	101	0,065	2,527	0,244
SLV	949	0,200	2,468	0,304
SLC	1950	0,264	2,488	0,320

7.4 Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro & Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in *magnitudo e distanza (M-R)*, che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Il processo di disaggregazione in *M-R* fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo *M* a distanza *R* dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, per effettuare tale analisi viene messo a disposizione il sito http://esse1-gis.mi.ingv.it/ dell'INGV, dove è possibile eseguire l'analisi di disaggregazione.

All'interno del sito, è possibile compilare il "modello di pericolosità sismica MPS04-S1", dove dovranno essere riportati il comune oggetto d'indagine o le coordinate, la probabilità di accadimento di un sisma in 50 anni (indicando il valore più vicino al tempo di ritorno prossimo a quello di progetto) e il percentile, che corrisponde a "50" ai sensi delle NTC 2018. In questo modo è possibile avviare il software e ottenere i valori di magnitudo-distanza *M-R* con relativa probabilità di accadimento.

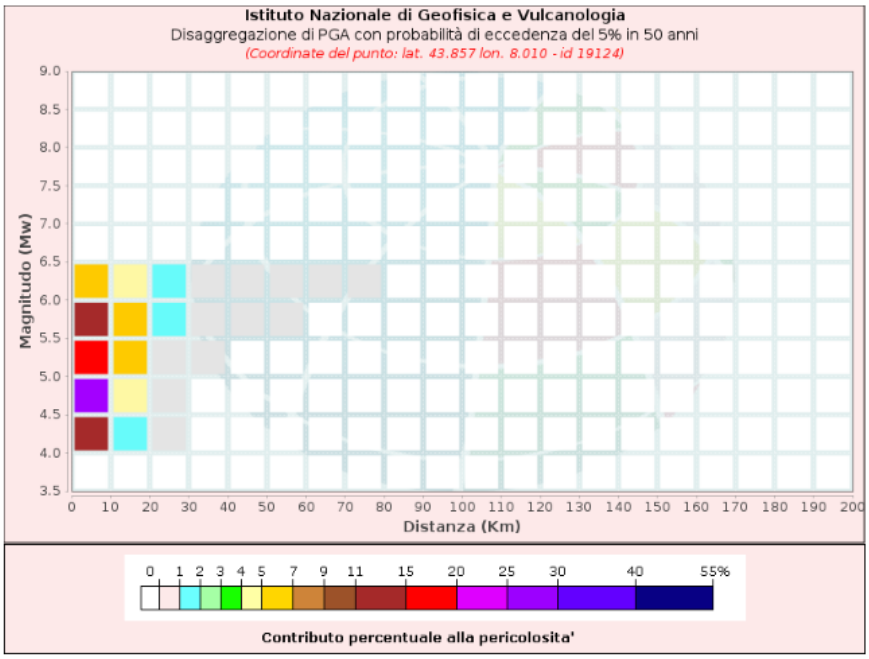
Nel caso dell'infrastruttura in oggetto, sono stati inputati i seguenti dati:

- Coordinate di fine tracciato: Lon. 8.0010; Lat. 43.8799;
- Valore vita di riferimento $V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni
- Valore tempo di ritorno prossimo a quello di progetto (ovvero Tr= 949): Tr = 975, corrispondente alla probabilità di accadimento del 5% in 50 anni

I dati di disaggregazione sismica risultanti, nel caso in oggetto, sono i seguenti (cfr. **Figura 7-6Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

- Magnitudo (M) compresa tra 4.5 e 5.5 Mw
- Distanza (R) compresa tra 0 e 10 km

da cui è stata ricavata la coppia magnitudo-distanza (M-R) con maggior probabilità di accadimento, corrispondente ai valori medi di magnitudo 5.2 Mw e distanza 8.2 km.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.857 lon. 8.010 - id 19124)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	11.3000	25.3000	18.7000	11.7000	5.4500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.1800	4.5300	6.0500	6.2200	4.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0010	0.2360	0.9740	1.6600	1.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0570	0.2760	0.3700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0331	0.0840	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0198	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.2	8.16	0.65

FIGURA 7-6 – RISULTATI DELL'ANALISI DI DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

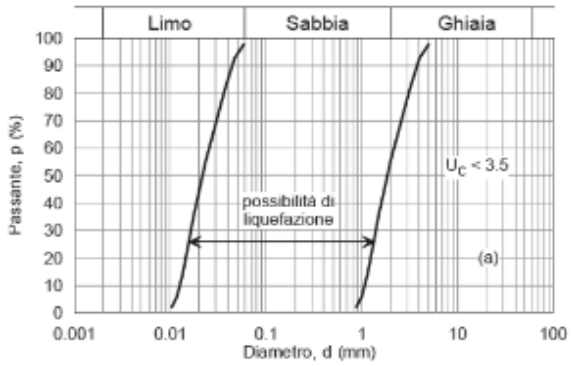
7.5 Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche, in terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni sismiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

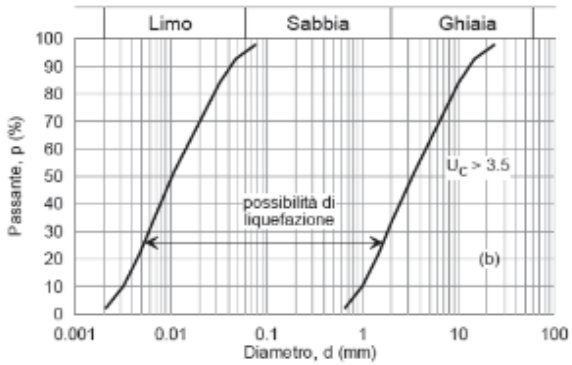
Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere dunque stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



a)



b)

Dato il valore di accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, pari a 0.200 g, a prescindere dalle diverse conformazioni topografiche e categorie di sottosuolo, l'accelerazione massima risulta sicuramente superiore a 0.1 g.

La profondità della falda misurata nei diversi piezometri installati nei fori di sondaggio è risultata variabile tra 2-3 m e 6-7 m all'interno delle unità terrigene lungo il tracciato in oggetto, quindi inferiore a 15 m dal p.c.

Durante la perforazione dei sondaggi eseguiti durante le campagna di indagini geognostiche, sono stati prelevati campion indisturbati e rimaneggiati dei terreni. Sui campioni indisturbati e rimaneggiati dei sondaggi sono state eseguite analisi granulometriche complete (setacciatura e sedimentazione). Di seguito vengono riportati grafici contenenti le curve granulometriche dei terreni raggruppate per le diverse unità rinvenute e messe a confronto con i limiti di figura a) e figura b) di cui sopra. In particolare, è possibile verificare che la totalità dei campioni in ciascuna unità terrigena risulta avere una più che buona percentuale di materiale fine esterna al limite sinistro dei fusi di riferimento, Altresì, tutti i campioni con una bassa percentuale di materiale fine denotano di contro una discreta quantità di materiale esterno ai fusi destri di riferimento e che li rendono, comunque, non suscettibili alla liquefazione.

Si può quindi affermare che, sulla base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.

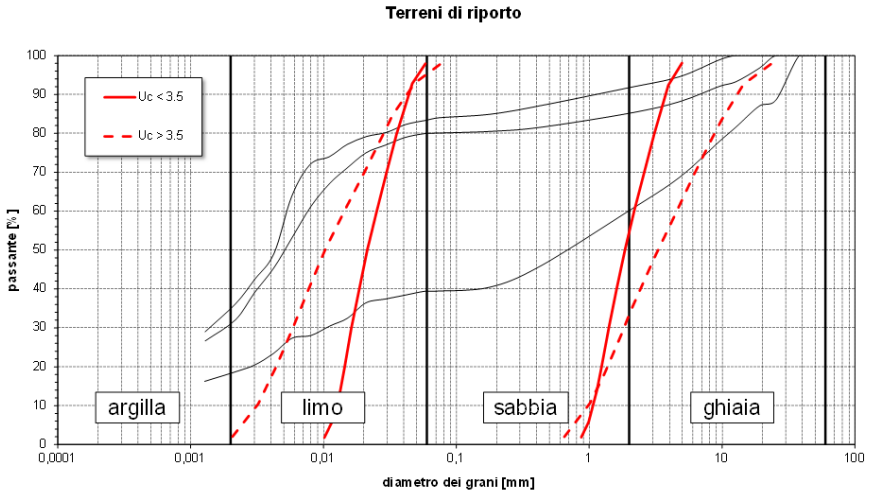


FIGURA 7-7 – FUSO GRANULOMETRICO TERRENI DI RIPORTO

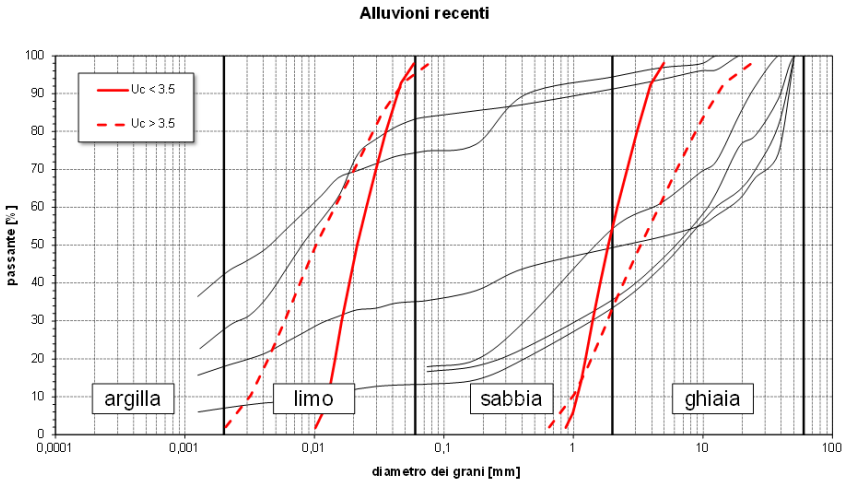


FIGURA 7-8 – FUSO GRANULOMETRICO ALLUVIONI RECENTI

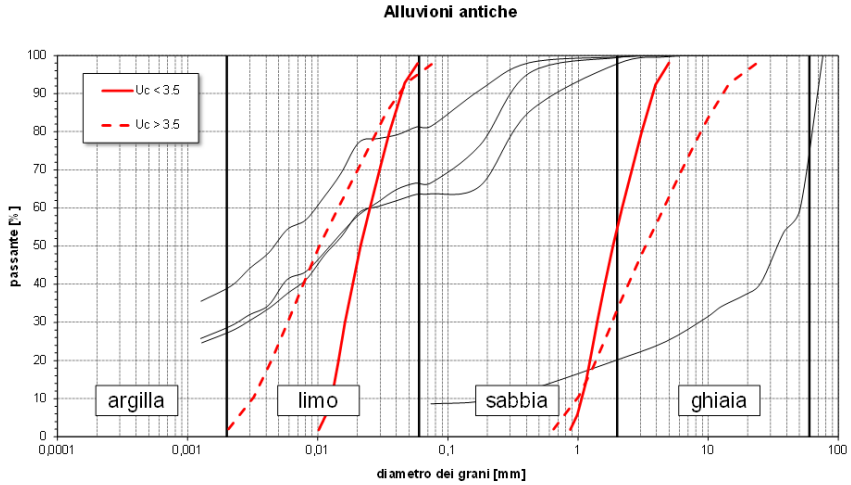


FIGURA 7-9 – FUSO GRANULOMETRICO ALLUVIONI ANTICHE

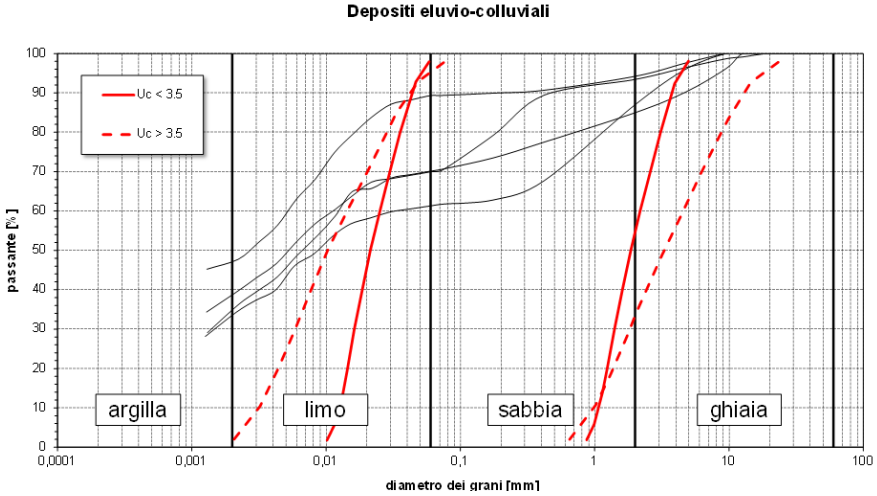


FIGURA 7-10 – FUSO GRANULOMETRICO DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI

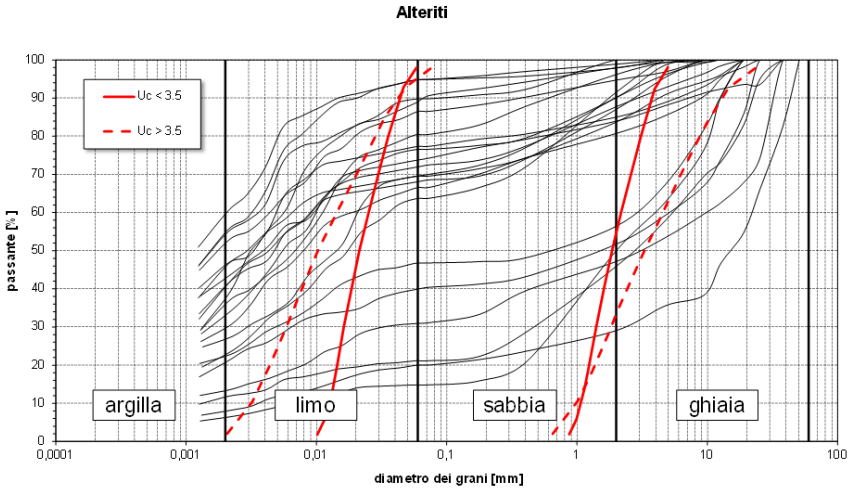


FIGURA 7-11 – FUSO GRANULOMETRICO ALTERITI

7.6 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018. In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di *categorie di sottosuolo* di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione $\mathbf{V_S}$ (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*" (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella Tab.3.2.II del NTC 2018, riportata di seguito.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

7.6.1 Criteri per la definizione delle categorie di sottosuolo sulla base delle prospezioni sismiche eseguite

Per la determinazione delle categorie di sottosuolo sono stati considerati sia i risultati delle prospezioni sismiche eseguite nel corso della campagna di indagine geognostica per la progettazione definitiva delle opere (anno 2010), costituite da prospezioni sismiche down-hole e stendimenti di sismica a rifrazione, sia i risultati delle prospezioni MASW eseguite per la presente fase di progettazione esecutiva in autunno 2023.

In particolare, sono state considerate le seguenti tipologie di indagine:

- n.3 prospezioni sismiche down-hole (S1bis, S5bis, S29bis), ubicate rispettivamente in prossimità dell'innesto del Ponte sul Prino, all'imbocco ovest della Galleria Meriello e in prossimità del tratto finale del Ponte sull'Impero;
- n.19 stendimenti a rifrazione a onde P ed S, ubicati in maniera longitudinale e trasversale sostanzialmente lungo tutte le principali aree del tracciato coinvolte dalle opere, specie in prossimità degli imbocchi delle gallerie (B1, B2, B20, B21, B22, B23, B3, B4, B5a, B6, B7, B8, B91, B10, B9b, B9c, B32 e B25) e di cui sono stati considerati i risultati lungo tre verticali ovvero le due estremità di inizio e fine della linea sismica e una porzione centrale;
- n.6 prospezioni MASW, eseguite nei tratti di tracciato non coperti dalle precedenti prospezioni e in particolare in prossimità del tratto finale del Ponte sul Prino (MASW1), lungo lo sviluppo del Viadotto Caramagna (MASW2, MASW3 e MASW4), nel tratto compreso tra il Viadotto Caramagna e la Galleria artificiale Costa Murata (MASW5) e infine in prossimità del tratto iniziale del Ponte sull'Impero (MASW6).

Le prospezioni down-hole, in quanto strumento più diretto per la misura delle V_{Seq} nei diversi orizzonti di sottosuolo, sono state considerate in termini di affidabilità come elemento principale per la definizione della categoria di sottosuolo, seguite dalla elaborazione dei risultati delle prospezioni MASW. Nei punti del tracciato in cui non sono presenti né prove down-hole né prospezioni tipo MASW, ci si è avvalsi dei risultati ottenuti dalle indagini sismiche a rifrazione di superficie, espressi in termini di velocità di propagazione delle onde di compressione P e poi ricondotte a valori di V_S considerando, come anticipato, tre verticali lungo lo stendimento sismico e corrispondenti al punto iniziale, finale e centrale del lineamento.

Le indagini eseguite con i relativi risultati in termine di onde di taglio, nonché gli esiti delle categorie di sottosuolo assegnate in relazione a ciascuna opera sono riportate nella tabella di **Figura 7-12**.

7.6.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prospezioni sismiche eseguite nelle diverse campagne di indagine, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e delle opere da realizzare, tenuto conto anche dei criteri di valutazione definiti al **punto 7.6.1**, è stato possibile definire, in modo cautelativo, le seguenti categorie di sottosuolo:

- una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s,* nei seguenti tratti/opere:

  - **dal Ponte sul T. Prino all'imbocco ovest della Galleria Monte Calvario (compresi);**
  - **dall'imbocco est della Galleria Monte Calvario all'imbocco ovest della Galleria Meriello (compresi);**
  - **imbocco est della Galleria Meriello**
  - **dall'imbocco ovest della Galleria Monte Bardellini (escluso) a circa la p.k. 0+500 della galleria naturale**
  - **dall'imbocco est della Galleria Monte Bardellini al Ponte sull'Impero (compresi).**

- una **categoria di sottosuolo di tipo C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s* nel seguente tratto:

  - **imbocco ovest della Galleria Monte Bardellini.**

Per i tratti di tracciato previsti in galleria naturale, è stata prevista:

- una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente a *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m,* nei tratti dove l'intera sezione di scavo risulta per almeno 10 m all'interno delle unità lapidee ascrivibili al Flysch di Sanremo, sia nella facies arenaceo-pelitica (FS1) a sia nella facies marnosa (FS2), corrispondenti ai seguenti tratti:
  - **Galleria naturale Monte Calvario: da circa p.k. 0+191 a p.k. 0+524 - Tratto AP02**
  - **Galleria naturale Meriello: da circa p.k. 0+256 a p.k. 0+609 – Tratto AP04**
  - **Galleria naturale Monte Bardellini: da circa p.k. 0+500 a p.k. 1+931 – Tratto AP05**

Si specifica che per la **Galleria naturale Costa Murata** è stata prevista, cautelativamente, una **categoria di sottosuolo di tipo B** sulla base sia dei risultati degli stendimenti sismici a rifrazione e della prospezione sismica tipo down-hole, sia della presenza di materiali argillosi ascrivibili all'unità delle Argille di Ortovero per un lungo tratto di scavo in sotterraneo.

Le categorie di sottosuolo sopra citate sono state riportate anche nella tabella di **Figura 7-12,** in funzione delle opere da realizzare e dei risultati delle indagini sismiche eseguite.

Le categorie di sottosuolo così come descritte in relazione al tracciato sono mostrate anche nell'elaborato **T00GE04GETPL01÷04** – "Planimetria con classificazione sismica del territorio" (4 tavv.).

7.6.3 Coefficiente di amplificazione topografica

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1= superficie pianeggiante, T2 = pendii con inclinazione media >15°), si può adottare il seguente valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0
T2	1.2

7.7 Caratterizzazione sismica del tratto compreso tra il Ponte sul Prino e il Ponte sull'Impero (compresi) ad eccezione dell'imbocco ovest della Galleria Bardellini

I tratti compresi tra il Ponte sul Prino e l'imbocco est della Galleria Meriello (compresi) e dall'imbocco est della Galleria Monte Bardellini al Ponte sull'Impero (compresi), sono stati caratterizzati dalla **categoria di sottosuolo B**.

In caso di presenza di una categoria topografica T1 (S_T=1.0), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.054
SLD	101	0.077
SLV	949	0.239
SLC	1950	0.301

In caso di presenza di una categoria topografica T2 (S_T=1.2), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.064
SLD	101	0.093
SLV	949	0.287
SLC	1950	0.361

7.8 Caratterizzazione sismica dell'imbocco ovest della Galleria Monte Bardellini

Il tratto corrispondente all'imbocco ovest della Galleria Monte Bardellini è stato caratterizzato dalla **categoria di sottosuolo C**.

In caso di presenza di una categoria topografica T1 (S_T=1.0), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.067
SLD	101	0.097
SLV	949	0.280
SLC	1950	0.345

In caso di presenza di una categoria topografica T2 (S_T=1.2), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.080
SLD	101	0.116
SLV	949	0.336
SLC	1950	0.414

V_S da down-hole			V_S da MASW			V_S da sismica a rifrazione							opera	categoria di sottosuolo
sondaggio	$V_{S30\ down-hole}$	categoria	MASW	$V_{S\ eq}$	categoria	stendimento	$V_{S\ 30\ sx}$	categoria	$V_{S\ 30\ dx}$	categoria	$V_{S\ 30\ sond.}$	categoria		
S1bis	445	Categoria B	**MASW1**	501	Categoria B								Ponte sul Torrente Prino	Categoria B
						B1	519	Categoria B	658	Categoria B	619	Categoria B	Imbocco ovest Monte Calvario	Categoria B
						B2	674	Categoria B	585	Categoria B	699	Categoria B		
													Galleria naturale Monte Calvario	Categoria A
						B20	745	Categoria B	878	Categoria A			Imbocco est Monte Calvario	Categoria B
						B21	708	Categoria B	978	Categoria A	764	Categoria B		
			MASW2	518	Categoria B								Viadotto Caramagna	Categoria B
			MASW3	504	Categoria B									
			MASW4	530	Categoria B									
			MASW5	571	Categoria B	**B22**	687	Categoria B	638	Categoria B			tra Caramagna e Costa Murata	Categoria B
						B23	674	Categoria B	552	Categoria B			Imbocco ovest Costa Murata	Categoria B
													Galleria naturale Costa Murata	Categoria B
						B3	881	Categoria A	550	Categoria B	411	Categoria B	Imbocco est Costa Murata	Categoria B
						B4	369	Categoria B	354	Categoria C	362	Categoria B		
						B5a	445	Categoria B	613	Categoria B			Imbocco ovest Meriello	Categoria B
						B5b	493	Categoria B	554	Categoria B				
S5bis	466	Categoria B				**B6**	541	Categoria B	657	Categoria B	462	Categoria B		
													Galleria naturale Meriello	Categoria A
						B7	979	Categoria A	644	Categoria B			Imbocco est Meriello	Categoria B
						B8	520	Categoria B	531	Categoria B				
						B9a	484	Categoria B	512	Categoria B	494	Categoria B	Imbocco ovest Monte Bardellini	Categoria C
						B10	273	Categoria C	314	Categoria C	237	Categoria C		
						B9b	636	Categoria B	681	Categoria B			Tratto iniziale Galleria naturale Monte Bardellini	Categoria B
						B9c	416	Categoria B	751	Categoria B				
						B32	666	Categoria B	547	Categoria B				
													Galleria naturale Mote Bardellini	Categoria A
						B25	611	Categoria B	628	Categoria B			Imbocco est Monte Bardellini	Categoria B
S29bis	806	Categoria A	**MASW6**	603	Categoria B								Ponte sul Torrente Impero	Categoria B

FIGURA 7-12 – TABELLA DI SINTESI DELLE DIVERSE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO PER CIASCUNA OPERA IN RELAZIONE ALLE INDAGINI SISMICHE ESEGUITE.

7.9 Analisi pseudostatiche

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno *W* considerato. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi mediante dei coefficienti di proporzionalità diretta denominati coefficienti sismici orizzontale e verticale e indicati con k_h e k_v rispettivamente. I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018):

$$\begin{aligned} F_h &= k_h \cdot W \\ F_v &= k_v \cdot W \end{aligned} \qquad \text{con} \qquad \begin{aligned} k_h &= \beta \cdot a_{max}/g \\ k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h \end{aligned}$$

dove:

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

β = coefficiente di riduzione di a_{max}.

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);

S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

7.9.1 Stabilità dei fronti di scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nei metodi pseudostatici i valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in mancanza di studi specifici, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s da utilizzare risulta (cfr. § 7.11.4.):

β_s = 0.38 nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

7.9.2 Opere di sostegno

La sicurezza delle opere di sostegno deve essere garantita prima, durante e dopo il terremoto. È ammesso l'uso di metodi pseudo-statici come specificato nel § 7.11.6.2.1.

I valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche strutturali e geotecniche si ottengono a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** come visto nei precedenti paragrafi della relazione e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m da utilizzare risulta:

β_m = 0.38 nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

Per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

7.9.3 Manufatti scatolari

Il calcolo delle spinte delle terre sui ritti dei manufatti scatolari è stato eseguito assimilando tali opere ad opere di sostegno rigide, che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m può essere considerato pari a 1.

7.9.4 Paratie

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente a_h pari a:

$$a_h = k_h\, g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- g = accelerazione di gravità
- k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale
- α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera
- β = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale a_v dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

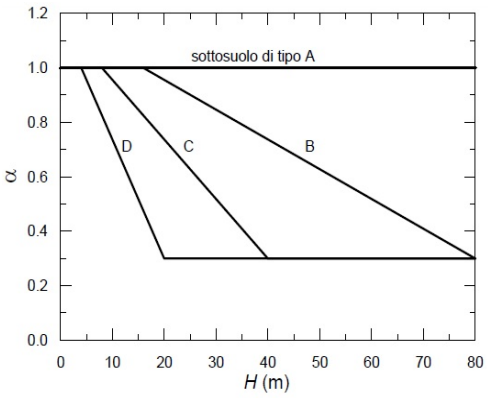
Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale oppure mediante la relazione:

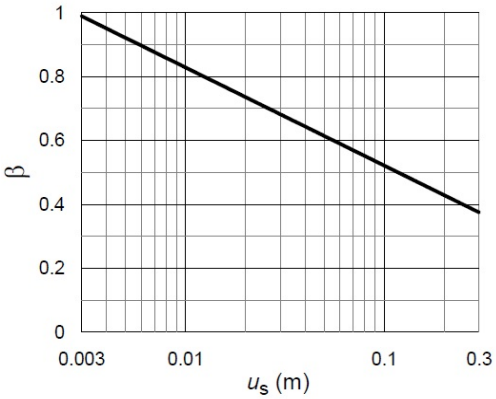
$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori dei coefficienti α e β possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.2I* e *Figura 7.11.3* delle NTC 2018):


sottosuolo di tipo A
D
C
B
α
H (m)


β
u_s (m)

8 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I criteri adottati per l'interpretazione dei dati ottenuti dalle indagini in sito e dalle indagini di laboratorio sono illustrati nei paragrafi seguenti, in particolare:

- nel paragrafo **8.1** sono riportati i criteri adottati per l'interpretazione dei dati relativamente ai materiali a comportamento prevalentemente granulare;
- nel paragrafo **8.2** sono indicati i criteri utilizzati per l'interpretazione dei dati relativamente ai materiali con comportamento prevalentemente coesivo.

8.1 Terreni prevalentemente granulari

8.1.1 Premessa

Come noto, prelevare campioni indisturbati in terreni prevalentemente granulari, risulta molto difficile ed in particolare la caratterizzazione geotecnica di tali terreni è affidata principalmente all'interpretazione dei dati ottenuti dalle prove in sito e dai risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati (granulometrie, pesi specifici, etc.). L'interpretazione dei dati delle prove in situ in correlazione con le prove di laboratorio è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- grado di addensamento;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità.

8.1.2 Normalizzazione del valore di NSPT

L'interpretazione delle prove SPT è stata eseguita adottando una metodologia che si basa sulla definizione del valore del numero di colpi normalizzato $(N_1)_{60}$.

Le prove SPT a fondo foro consistono nel misurare il numero di colpi richiesto per provocare l'avanzamento per battitura di un campionatore standard per tre tratti consecutivi di 15 cm ciascuno. La resistenza dinamica puntuale, N_{SPT}, si ottiene sommando il numero di colpi necessario per l'avanzamento degli ultimi 30 cm.

Per tenere conto dei fattori di variabilità connessi ai diversi dispositivi di infissione presenti sul mercato e della pressione efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova, viene valutato in funzione della profondità il valore normalizzato di N_{SPT}, cioè $(N_1)_{60}$, ricavato dalla seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times \frac{ER}{60} \times C_N$$

in cui:

$C_N = (98.1/\sigma'_{v0})^{0.5}$ = coefficiente di correzione dipendente dal valore di σ'_{v0};

σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

ER = rendimento medio del dispositivo di infissione effettivamente impiegato espresso in percentuale (per il presente caso assunto pari al 65%).

Sulla base della definizione del parametro $(N_1)_{60}$ sono state applicate delle correlazioni di letteratura per interpretare i dati in termini di parametri di resistenza al taglio e deformabilità.

Di seguito si forniscono le correlazioni adottate per le stime della densità relativa D_R, dell'angolo di resistenza al taglio φ' e dei moduli di elasticità.

8.1.3 Densità relativa

I valori di densità relativa sono stati stimati utilizzando i valori del numero di colpi N_{SPT} normalizzati mediante il valore $(N_1)_{60}$.

La stima dei valori di densità relativa è necessaria per la successiva determinazione dei valori degli angoli di resistenza al taglio (cfr. **8.1.4**) e dei moduli di deformabilità per i terreni granulari (cfr. **8.1.5**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).

In particolare, per la stima del valore di densità relativa è stata adotta la relazione di Skempton:

$$D_R = \left[\frac{(N_1)_{60}}{60}\right]^{0.5}$$

Nella valutazione dei risultati, è stato tenuto conto dell'effetto della granulometria come segue:

- nelle sabbie, la D_R è il valore medio "prudenziale" (valore caratteristico);
- nelle ghiaie, di ogni tipo, la D_R e/o i parametri da essa derivati saranno stabiliti in modo tale da essere prudentemente inferiori al valore minimo assoluto; ciò in ragione del fatto che le prove SPT forniscono valori in proporzione maggiori delle sabbie in ragione della differente granulometria.

8.1.4 Angolo di resistenza a taglio

I valori dell'angolo di resistenza al taglio sono calcolati dall'interpretazione di numero di colpi SPT, attraverso la determinazione della densità relativa, mediante la relazione di Schmertmann (cfr. **Figura 8-1**):

$$\phi'_p = 28 + 0.14 \cdot D_R$$

per *sabbie fini uniformi*,

$$\phi'_p = 31.5 + 0.115 \cdot D_R$$

per *sabbie medie uniformi* e *sabbie fini ben gradate*,

$$\phi'_p = 34.5 + 0.10 \cdot D_R$$

per *sabbie grosse uniformi* e *sabbie medie ben gradate*,

$$\phi'_p = 38.0 + 0.08 \cdot D_R$$

per *ghiaietti uniformi* e *sabbie e ghiaie poco limose*.

dove D_R è il corrispondente valore della densità relativa. Si noti come nella relazione sopra riportata, il valore dell'angolo di resistenza al taglio sia quello "di picco".

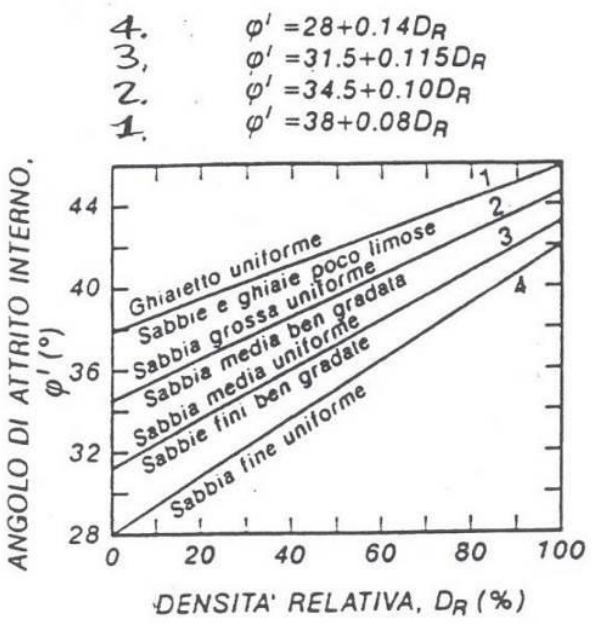


FIGURA 8-1 – RELAZIONE TRA ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Φ') E DENSITÀ RELATIVA (DR) PER DIVERSE GRANULOMETRIE (SCHMERTMANN, 1975)

8.1.5 Parametri di deformabilità

Per una valutazione generale della rigidezza dei materiali (paratie, opere di sostegno, etc.), il modulo elastico operativo E'_{25} (corrispondente ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%) è valutato mediante la correlazione proposta da Jamiolkowski, 1988:

- per terreni normalconsolidati:

  $E'_{25} = 0.0981 \times (10.5 - 3.5 D_R) \times N_{SPT}$ (MPa)

- per terreni sovraconsolidati:

  $E'_{25} = 0.0981 \times (52.5 - 35 D_R) \times N_{SPT}$ (MPa)

in cui:

- E'_{25}: modulo di Young secante, cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;
- D_R: densità relativa, espressa come frazione dell'unità;
- N_{SPT}: numero di colpi da prova SPT.

8.2 Terreni prevalentemente coesivi

8.2.1 Premessa

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine ci si è affidati sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito. Scopo delle indagini è quello di definire in particolar modo le seguenti proprietà:

- OCR – grado di consolidazione;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

8.2.2 Proprietà indice dei terreni coesivi

La classificazione dei terreni a grana fine, e pertanto a prevalente comportamento coesivo, è stata effettuata in primo luogo facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- umidità naturale;

I primi due fattori consentono la classificazione del materiale secondo i riferimenti bibliografici correnti, come ad esempio la UNI 10006 ed il sistema USCS.

8.2.3 Resistenza al taglio non drenata

La resistenza al taglio non drenata cu dei terreni limoso-argillosi saturi verrà valutata facendo riferimento:

- ai risultati delle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
- all'interpretazione delle prove dinamiche SPT;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e torvane sulle carote estratte durante la fase di sondaggi;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e torvane sui campioni di laboratorio.

8.2.3.1 Valutazione di c_u da prove SPT

Nel caso dei terreni limoso-argillosi saturi, la resistenza al taglio non drenata è stata stimata sulla base di correlazioni empiriche.

Nello specifico, è adottata la correlazione di Terzaghi e Peck (coesione non drenata in kPa):

$$c_u = 6\ N_{SPT} \qquad (kPa)$$

e la relazione di Jamiolkowski (1985), valida per terreni normalconsolidati:

$$c_{u\ min} = 0.2 \cdot \sigma'_{vo} (kPa)$$

dove:

σ'_{vo} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

N_{SPT} = numero di colpi della prova SPT.

8.2.4 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio di taglio diretto (TD) e delle prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU).

8.2.5 Caratteristiche di deformabilità

8.2.5.1 Modulo edometrico da prove edometriche

Il modulo edometrico è stato ricavato direttamente attraverso l'esecuzione di prove di compressibilità edometrica in laboratorio.

8.2.5.2 Modulo edometrico da prove SPT

Il valore del modulo edometrico o modulo elastico drenato confinato, M_{ds} è stato calcolato, sulla base dei risultati delle prove SPT, mediante la relazione di Stroud e Butler (1975):

$$M_{ds} = 0.6 \cdot N_{SPT} \text{ (MPa)}$$

8.3 Classificazione geotecnica dei terreni

La classificazione geotecnica dei terreni è stata effettuata facendo riferimento principalmente ai risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometriche (setacciatura e sedimentazione);
- limiti di Atterberg.

Le classificazioni utilizzate per la descrizione dei terreni sono le seguenti:

- Classificazione AGI;
- Classificazione CNR-UNI 10006;
- Classificazione USCS.

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE

Il presente capitolo, dopo un inquadramento degli interventi previsti per le opere in progetto, si propone di fornire un'interpretazione geologico-geotecnica globale delle aree interessate dalla progettazione, che sia comprensiva dei dati derivanti dai sondaggi geognostici, dalle indagini effettuate in sito e dalle eventuali prove di laboratorio.

La caratterizzazione geotecnica si è basata principalmente su:

- descrizione stratigrafica dei sondaggi e visione delle cassette catalogatrici;
- interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT;
- interpretazione dei risultati delle prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati e indisturbati, qualora disponibili, prelevati nell'ambito della realizzazione delle indagini eseguite.

Di seguito, viene fornita una generale caratterizzazione geotecnica dei terreni in relazione agli interventi previsti per le opere.

9.1 Interventi previsti e caratterizzazione geotecnica generale

Da un punto di vista generale, le aree che vengono caratterizzate dal punto di vista geotecnico nell'ambito della presente relazione sono quelle che ospiteranno specificatamente le seguenti opere:

- Ponte sul Torrente Prino, Viadotto Caramagna, Ponte sul Torrente Impero;
- opere minori tra cui muri di sostegno e opere idrauliche.

Di seguito, si riassumono i dettagli principali per gli interventi principali e, tenuto conto dell'esito delle stratigrafie dei sondaggi e prove ivi eseguiti, si forniscono le basi per la successiva identificazione delle principali unità geotecniche da associare ai terreni coinvolti nella realizzazione di tali opere (cfr. **punto 9.1.4**).

9.1.1 Ponte sul Torrente Prino (L=70 m)

L'asse viario in progetto, partendo dall'innesto sulla S.S.1 "Aurelia" in prossimità della foce del Torrente Prino, in destra idrografica, risale verso monte e piega verso est dopo circa 400 m per attraversare il Torrente Prino con un ponte (Ponte sul Torrente Prino, L=70 m).

La geologia del sottosuolo è qui ricavata direttamente dalle stratigrafie dei sondaggi S1 (2010) ed S2 (2010), nonché dal sondaggio SN04bis di nuova realizzazione (2023), L'area è caratterizzata dalla presenza di alluvioni recenti (Ar), prevalentemente ghiaiose, nei primi 9-10 m, e di alluvioni antiche (Aa), costituite da limi argilloso-sabbiosi e sabbie limose con livelli e lenti di ghiaie sabbie grossolane, fino a circa 18-20 m, profondità alla quale compare un substrato litoide prevalentemente argilloso-marnoso, attribuito facies marnoso-pelitica del Flysch di Sanremo (FS2) salvo spessori esigui di materiale alteritico.

Data tale stratigrafia, il Ponte sul Torrente Prino sarà dotato di fondazioni profonde su pali atte a trasferire i carichi al substrato lapideo (FS2). In particolare, per tale opera sono previsti n. 18 pali diam. 1200 mm, di lunghezza pari a

31m in corrispondenza della spalla 1 (ovest) e sono previsti n. 18 pali diam. 1200 mm di lunghezza pari a 31m in corrispondenza della spalla 2 (est).

9.1.2 Viadotto Caramagna (L=290 m)

In corrispondenza dell'attraversamento della Variante di Imperia in progetto, la valle del Torrente Caramagna è oggetto di attraversamento mediante viadotto per circa 290 m. Tale opera è preceduta da una rotatoria con rami di svincolo est e ovest per la viabilità secondaria.

In questo tratto la geologia è ricavata principalmente dalle stratigrafie dei sondaggi S21 e S22 della campagna 2010, SN02 e SN03 della campagna 2023 e dai dati relativi agli stendimenti sismici tipo MASW eseguiti nell'ambito di quest'ultima campagna. L'area nel complesso è caratterizzata dalla presenza di alluvioni recenti (Ar) prevalentemente ghiaiose con lenti e livelli di materiale fine limoso-sabbioso e limoso-argilloso, per uno spessore massimo di 12-13 m, al di sopra di un substrato lapideo prevalentemente marnoso (FS2) nella porzione centrale della valle e arenaceo-torbiditico (FS1) sui due lati. Dati i rapporti di posizione tra le due facies FS1 (base della serie del Flysch di Sanremo) e FS2 (che invece ne costituisce la porzione sommitale), è stato ipotizzato nella valle del Torrente Caramagna un sovrascorrimento della prima unità sulla seconda. Lo spessore di alterazione del substrato lapideo, riconosciuto nei sondaggi, è risultato contenuto tra 2 e 4 m circa.

Il viadotto è costituito da 2 spalle e 3 pile, poggiate ognuna su fondazioni su pali di diametro 1200mm.

Il numero e la lunghezza dei pali sono i seguenti:

- spalla 1 (ovest): n.18 pali L=30m
- pila 1: n. 11 pali L=36m
- pila 2: n. 12 pali L=35m
- pila 3: n. 8 pali L=9m
- spalla 2 (est): n.12 pali L=8m

La lunghezza varia principalmente in funzione, oltre che dei carichi di progetto, della profondità del substrato roccioso, costituito dal Flysch di Sanremo, nel tratto iniziale in facies marnosa (FS2) e quindi (pila P3 e spalla SP2) in facies arenaceo-calcareo-marnosa (FS1).

9.1.3 Ponte sul Torrente Impero (L=100 m)

Per l'attraversamento della Valle dell'Impero il progetto della Variante di Imperia prevede la realizzazione di un ponte ad arco della lunghezza di 100 m. La valle del Torrente Impero, attraversata in viadotto con fondazioni profonde su pali, è caratterizzata da un materasso alluvionale con spessore massimo di circa 14-15 m, sede di un acquifero captato, che poggia sulla facies FS1 del Flysch di Sanremo.

La perforazione del sondaggio S28 (2010), eseguito in destra Impero, ha permesso di riconoscere, al di sotto di uno strato di terreno di riporto di 3 m di spessore, un livello di circa 1m di alluvioni recenti (ghiaie e sabbie), un livello di alterazione del substrato lapideo dello spessore di circa 7 m, costituito superiormente da argille marnose e inferiormente da marne calcaree fratturate ed alterate, e quindi, a 10.8 m di profondità, calcari marnosi molto

massicci, con un RQD sempre molto elevato, ascrivibili alla facies FS1 del Flysch di Sanremo. In sinistra Impero, la stratigrafia del sondaggio S29 (2010) ha mostrato, dopo circa 3 m di terreni di riporto, un livello di depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi fino alla profondità di circa 14 m, dove è stato rinvenuto il substrato lapideo (FS1).

Il Ponte sul Torrente Impero (L=100m) ha conformazione ad arco con struttura mista in acciaio-cls ed è caratterizzato dalla presenza di 2 spalle (Spalla 1 e Spalla 2) per il sostegno dell'arco.

Al fine di garantire il pieno trasferimento dei carichi di progetto al substrato roccioso, le fondazioni verranno realizzate su n. 21 pali diam. 1200mm L=10m per la spalla 1 (ovest) e su n. 28 pali diam. 1200mm L=13m per la spalla 2 (est).

9.1.4 Definizione delle unità geotecniche e geomeccaniche di riferimento

Dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati geofisici e dalle informazioni desumibili dalle indagini in situ e dai campioni analizzati in laboratorio, ai fini prettamente geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità:

- **Terreni di riporto ("r")**: depositi eterometrici di colmata o riporto, generalmente a clasti spigolosi in matrice limoso-argillosa
- **Depositi eluvio-colluviali ("ec")**: coperture detritiche dovute ad alterazione in sito costituite da clasti eterometrici di varia litologia in prevalente matrice limoso-argillosa
- **Alteriti ("Alt")**: limi da sabbioso-argillosi ad argillosi, limi con argilla e sabbie limoso-argillose inglobanti scaglie litiche ad elevato grado di alterazione
- **Alluvioni recenti ("Ar")**: ghiaie a matrice sabbiosa e sabbie
- **Alluvioni antiche ("Aa")**: sabbie limose e limi sabbiosi
- **Alluvioni antiche: lenti granulari ("Aag")**: ghiaie fini talora debolmente cementate
- **Argille di Ortovero ("AO"):** argille grigie e grigio-azzurre, giallastre in alterazione, più o meno siltoso-marnose; argille siltoso-sabbiose; intercalazioni di conglomerati grossolani a matrice argillosa
- **Flysch di Sanremo: Unità FS1 ("FS1"):** substrato litoide arenaceo-pelitico
- **Flysch di Sanremo: Unità FS2 ("FS2"):** substrato litoide argilloso-marnoso

La distribuzione nel sottosuolo, lungo il tracciato, delle unità sopra descritte, è mostrata nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00GE03GEOFG01÷04** - "Profilo geotecnico asse principale" (4 tavv.);
- **T00GE03GEOFG05** - "Profili geotecnici opere maggiori".

9.2 Proprietà fisiche delle unità geotecniche: risultati delle prove di identificazione

Per la definizione delle proprietà fisiche dei terreni coinvolti nelle opere all'aperto sono stati considerati i risultati delle prove di identificazione eseguite in laboratorio sui campioni dei sondaggi disponibili per la campagna di indagine eseguita.

In particolare, per ogni campione sottoposto a prova, sono stati raccolti i risultati delle seguenti prove di identificazione geotecnica:

- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- determinazione dei limiti di Atterberg (limite liquido, limite plastico, indice di plasticità);
- analisi granulometrica (% AGI delle diverse classi granulometriche);
- contenuto di materiale fine (< 0.075 mm);
- classificazione AGI, USCS e CNR-UNI.

Di seguito si riportano, per ogni campione sottoposto a prova, le tabelle riepilogative per ogni unità geotecnica, contenenti i risultati delle prove di identificazione di cui sopra.

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		Peso specifico dei grani	Peso di volume naturale	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
14,75	Aa	S1	B	14,50	15,00				23	18	5	75	16	9		9	A 2-4	**G**(S)[L][A]	GP-GC
11,75	Aa	S2	1	11,50	12,00		19,2	26,4	30	21	10	0	19	43	39	81	A 4	**L**,A(S)	CL
19,95	Aa	S2	B	19,70	20,20				34	21	13	0	36	37	27	64	A 6	**LS**,A	CL
0,75	Aa	PA02-1	CR1	0,50	1,00	26,7			44	21	23	22	19	39	21	64	A 7-6	**L**(G)(A)(S)	CL
1,50	Aa	PA02-2	CR2	1,00	2,00	27,5			37	20	17	25	32	29	14	47	A 6	**S**,L,G(A)	GM

FIGURA 9-1 – PROVE DI IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA SUI CAMPIONI APPARTENENTI ALLE UNITÀ DELLE ALLUVIONI ANTICHE (AA) – RISULTATI

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		Peso specifico dei grani	Peso di volume naturale	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
[m]	[-]	[-]	[-]	[m]		γ_S [kN/m^3]	γ_N [kN/m^3]	W_N [%]	W_L [%]	W_P [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]	[-]	[-]	[-]
10,15	**Ar**	**S1**	**A**	10,00	10,30	26,7			29	21	7	0	33	38	29	67	A 4	**L**,S,A	CL
2,55	**Ar**	**SN04**	**CR1**	2,40	2,70	27,6			27	18	9	65	22	8	5	14	A 2-4	**G**(S)[L][A]	GC
7,55	**Ar**	**SN04**	**CR2**	7,40	7,70	27,9			27	20	7	63	22	8	6	16	A 2-4	**G**(S)[L][A]	GC
13,65	**Ar**	**SN04**	**CR3**	13,50	13,80	27,9			26	16	10	74	16	7	3	12	A 2-4	**G**(S)[L]	GC
7,75	**Ar**	**S2**	**A**	7,50	8,00				25	18	7	54	29	17		17	A 2-4	**G**,S(L)(A)	GC-GM
2,35	**Ar**	**SN02**	**CR1**	2,20	2,50	27,8			28	16	12	47	24	19	11	34	A 2-6	**G**(S)(L)(A)	GC
4,65	**Ar**	**SN02**	**CR2**	4,50	4,80	27,6			32	19	14	54	29	10	6	18	A 2-6	**G**,S(L)[A]	GC
7,35	**Ar**	**SN02**	**CR3**	7,20	7,50	27,5			26	16	10	62	20	12	5	21	A 2-4	**G**(S)(L)[A]	GC
2,85	**Ar**	**S21**	**A**	2,70	3,00				24	19	5	39	43	18		18	A 2-4	**S**,G(L)(A)	SC-SM
7,75	**Ar**	**S21**	**B**	7,50	8,00				27	18	9	56	31	6	7	13	A 2-4	**G**,S[A][L]	SC
8,85	**Ar**	**S21**	**C**	8,70	9,00	26,1			38	19	16	3	22	33	42	75	A 6	**A**,L(S)	CL
1,65	**Ar**	**SN03**	**CR1**	1,50	1,80	28,0			37	19	17	32	19	31	18	50	A 6	**GL**(S)(A)	CL
5,15	**Ar**	**SN03**	**CR2**	5,00	5,30	27,7			38	23	16	41	21	24	15	42	A 6	**G**(L)(S)(A)	GC
7,75	**Ar**	**SN03**	**CI1**	7,50	8,00	27,4	20,10	19,2	39	24	14	28	26	27	19	51	A 6	**GL**(S)(A)	CL
6,25	**Ar**	**S29**	**A**	6,00	6,50				23	14	9	42	37	10	12	21	A 2-4	**G**,S(A)(L)	GC
1,50	**Ar**	**PA01-2**	**CR2**	1,00	2,00	27,6			29	19	10	74	19	5	2	7	A 2-4	**G**(S)[L]	GW-GC
0,75	**Ar**	**PA03-1**	**CR1**	0,50	1,00	27,8			40	21	19	18	24	35	23	60	A 6	L(S)(A)(G)	CL
1,50	**Ar**	**PA03-2**	**CR2**	1,00	2,00	27,9			39	19	20	27	21	31	21	56	A 6	**L**,G(S)(A)	CL
0,75	**Ar**	**PA06-1**	**CR1**	0,50	1,00	27,3			N.D.	N.P.	N.P.	77	19	2	2	5	A 1-a	**G**(S)	GW
1,50	**Ar**	**PA06-2**	**CR2**	1,00	2,00	27,4			N.D.	N.P.	N.P.	79	17	2	2	5	A 1-a	**G**(S)	GW

FIGURA 9-2 – PROVE DI IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA SUI CAMPIONI APPARTENENTI ALLE UNITÀ DELLE ALLUVIONI RECENTI (AR) – RISULTATI

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		Peso specifico dei grani	Peso di volume naturale	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
59,90	**AO**	**S25**	**1**	59,40	60,40	27,0	20,9	17,6	35	27	8	0	13	42	46	87	A 4	**A**,L(S)	ML
11,15	**AO**	**S4**	**B**	11,00	11,30				37	23	13	24	16	27	33	60	A 6	**A**,L,G(S)	CL
17,85	**AO**	**S4**	**C**	17,70	18,00				33	21	13	28	29	18	24	42	A 2-6	**SG**,A(L)	SC

FIGURA 9-3 – PROVE DI IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA SUI CAMPIONI APPARTENENTI ALLE UNITÀ DELLE ARGILLE DI ORTOVERO (AO) – RISULTATI

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		Peso specifico dei grani	Peso di volume naturale	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
[m]	[-]	[-]	[-]	[m]		γ_S [kN/m^3]	γ_N [kN/m^3]	W_N [%]	W_L [%]	W_P [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]	[-]	[-]	[-]
9,15	**R**	**S4**	**A**	9,00	9,30	26,1			43	24	19	50	13	14	22	36	A 2-7	**G**(A)(L)(S)	GC
7,25	**R**	**S8**	**A**	7,00	7,50				31	20	11	31	29	21	18	39	A 6	**GS**(L)(A)	GC
0,75	**R**	**PA04-1**	**CR1**	0,50	1,00	27,4			43	27	16	45	22	21	13	35	A 2-7	**G**(S)(L)(A)	GM
1,50	**R**	**PA04-2**	**CR2**	1,00	2,00	27,4			43	26	17	43	24	20	13	35	A 2-7	**G**(S)(L)(A)	GM
0,75	**R**	**PA05-1**	**CR1**	0,50	1,00	26,5			43	23	20	62	15	16	7	26	A 2-7	**G**(L)(S)[A]	GM
1,50	**R**	**PA05-2**	**CR2**	1,00	2,00	27,1			40	19	21	55	16	18	11	33	A 2-6	**G**(L)(S)(A)	GM

FIGURA 9-4 – PROVE DI IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA SUI CAMPIONI APPARTENENTI ALLE UNITÀ RIPORTI ANTROPICI (R) – RISULTATI

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		Peso specifico dei grani	Peso di volume naturale	Contenuto naturale d'acqua	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
7,75	Alt	S3	1	7,50	8,00				47	24	24	0	5	36	59	95	A 7-6	**A**,L[S]	CL
1,35	Alt	SN01	CR1	1,20	1,50	27,6			44	20	24	15	20	37	29	69	A 7-6	**L**,A(S)(G)	CL
2,65	Alt	S19	A	2,40	2,90				33	24	10	4	34	28	33	62	A 4	**SA**,L	ML
4,85	Alt	S22	A	4,70	5,00				40	23	17	4	26	25	45	70	A 6	**A**,S,L	CL
6,10	Alt	S22	B	6,00	6,20				44	26	18	0	5	41	54	95	A 7-6	**A**,L[S]	CL
4,90	Alt	S23	A	4,80	5,00	2,7			33	19	14	1	9	45	46	91	A 6	**AL**[S]	CL
7,15	Alt	S23	B	7,00	7,30				38	21	17	41	19	20	21	40	A 6	**G**(A)(L)(S)	GC
5,20	Alt	S24	A	5,10	5,30				32	22	10	11	12	40	37	77	A 4	**L**,A(S)(G)	CL
9,30	Alt	S24	B	9,20	9,40				33	20	13	64	16	12	8	20	A 2-6	**G**(S)(L)[A]	GC
5,80	Alt	S5	A	5,60	6,00				36	25	11	5	27	28	40	69	A 2-6	**A**,L,S[G]	ML
1,15	Alt	SN05	CR1	1,00	1,30	27,9			49	21	28	21	13	40	27	69	A 7-6	**L**,A(G)(S)	CL
8,75	Alt	S6	A	8,50	9,00				44	27	17	7	20	32	40	73	A 7-6	**A**,L(S)[G]	ML
4,15	Alt	S7	A	4,00	4,30				42	25	17	1	19	45	36	80	A 7-6	**L**,A(S)	CL
6,15	Alt	S9	A	11,00	1,30				32	19	13	33	21	24	22	47	A 6	**G**(A)(L)(S)	GC
2,65	Alt	SN06	CR1	2,50	2,80	27,1			44	26	17	4	31	44	21	70	A 7-6	**L**,S(A)	ML
6,55	Alt	SN06	CR2	6,40	6,70	27,0			41	22	20	13	31	36	19	59	A 7-6	**L**,S(A)(G)	CL
4,85	Alt	S26	A	4,70	5,00				28	23	5	9	21	43	27	70	A 4	**L**,A(S)[G]	ML
3,90	Alt	S28	A	3,80	4,00				34	2	13	0	10	36	54	90	A 6	**A**,L(S)	CL
7,70	Alt	S28	1	7,50	7,90	27,0	20,90	17,6	28	22	6	37	48	9	6	15	A 2-4	**S**,G[L][A]	SC-SM
5,90	Alt	S28	B	5,80	6,00				30	22	8	47	22	18	13	31	A 2-4	**G**(S)(L)(A)	GC

FIGURA 9-5 – PROVE DI IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA SUI CAMPIONI APPARTENENTI ALLE UNITÀ DELLE ALTERITI (ALT) – RISULTATI

Analizzando quanto eseguito nelle diverse campagne di indagine, ovvero le prove di laboratorio su n. 56 campioni distribuiti nelle diverse verticali di sondaggio e pozzetti esplorativi, è emerso che la maggior parte di questi risultano appartenere alle unità geotecniche dei *depositi alluvionali recenti* (unità **"Ar"**) e delle *Alteriti* (unità "**Alt**"). I primi campioni sono prevalentemente ghiaie sabbiose limose e argillose, talora ghiaie limose sabbiose argillose e subordinatamente limi con ghiaia o sabbia, argillosi; l'indice di plasticità di tutti i campioni è risultato essere sempre inferiori o prossimi al 20% e talvolta i campioni sono risultati non plastici. Secondo la classificazione USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte GC, CL e subordinatamente GW-GC, GC-GM e GW. Secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano perlopiù A 2-4 e A 6, subordinatamente A 1-a. I campioni appartenenti all'unità delle Alteriti risultano essere discretamente eterogenei: si tratta di ghiaie argillose limose sabbiose, limi argillosi sabbiosi ghiaiosi, talora argille con limi sabbiosi e subordinatamente sabbie ghiaiose limose argillose, classificati da un punto di vista stradale come CL, ML, GC, subordinatamente SC-SM. Secondo la classificazione USCS i campioni risultano perlopiù A 7-6 a causa della elevata componente di materiale fine sempre presente, A 2-6, A 2-4 e subordinatamente A 4 e A 6.

L'unità geotecnica dei *depositi alluvionali antichi* (unità "**Aa**"**)** è rappresentata da campioni di fatto costituiti da limi con sabbia o con argilla, sabbiosi o ghiaiosi, sabbia con limo e ghiaia argillose e ghiaie sabbiose limose debolmente argillose. La percentuale di fine è sempre mediamente oltre il 60% e secondo la classificazione CNR-UNI i campioni risultano essere A 6, A 4, A 2-4 e A 7-6.

I terreni rappresentativi del materiale di riporto, identificati come **"R"**, sono costituiti da campioni pressoché eterogenei con una componente ghiaiosa di base sempre prevalente; si tratta infatti di ghiaie sabbiose limose argillose o ghiaie argillose limoso sabbiose, passando per ghiaie e sabbie limose argillose. Secondo la classificazione

USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte GM, subordinatamente GC, mentre secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano in gran parte A 2-7, talora A 2-6 e solo un campione è risultato essere appartenente alla classe A 6.

Soltanto n.3 campioni, infine, sono rappresentativi dell'unità geotecnica **"AO"** *(Argille di Ortovero)* e tali campioni sono risultati essere prevalentemente delle argille con limo sabbiose, talora ghiaiose e subordinatamente delle sabbie e ghiaie con argilla limose. In ogni caso la porzione di materiale fine è sempre presente in gran parte e considerando la classificazione CNR-UNI, infatti, due campioni sono risultati appartenere alla classe A 6 e A 4 mentre il campione sabbioso-ghiaioso è risultato appartenere alla classe A 2-6.

Nella tabella di seguito si riassumono le caratteristiche fisiche desunte dai risultati delle prove di identificazione per le principali unità geotecniche. Tali risultati sono riportati anche nei grafici di **Appendice 1** (**punto 14**).

9.3 Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dai risultati delle prove SPT

Le proprietà meccaniche delle diverse unità geotecniche riconosciute sono state desunte in primis dai risultati delle prove SPT a disposizione nelle diverse unità.

In particolare, sono state eseguite complessivamente n. 96 prove in sito tipo SPT tra le diverse campagne di indagini eseguite; tali prove sono risultate utili per definire le proprietà meccaniche delle diverse unità geotecniche riconosciute.

Di seguito si riporta una sintesi di tali proprietà mentre in **Appendice 1** (**punto 14**) vi sono riportati i grafici.

Unità "Aa" – Depositi alluvionali antichi

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	3 ÷ 27	colpi/30cm
Coesione non drenata	=	18 ÷ 162	kPa
Modulo edometrico	=	2 ÷ 16	MPa

Unità "Ar" – Depositi alluvionali recenti

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	2 ÷ 80 (100)	colpi/30cm
Densità relativa DR	=	57 ÷ 100	kPa
Angolo di attrito efficace ϕ'	=	36 ÷ 42	°
Modulo di elasticità a grandi deformazioni E'25	=	18 ÷ 70	MPa

Unità "AO" – Argille di Ortovero

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	83 ÷ 100	colpi/30cm
Coesione non drenata	=	498 ÷ 600	kPa
Modulo edometrico	=	50 ÷ 60	MPa

Unità "R" – Terreni di riporto

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	8 ÷ 25	colpi/30cm

Densità relativa DR	=	32 ÷ 92	%
Angolo di attrito efficace ϕ'	=	34 ÷ 42	°
Modulo di elasticità a grandi deformazioni E'25	=	7 ÷ 18	MPa

Unità "ec" – Coltre eluvio-colluviale

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	8 ÷ 31	colpi/30cm
Coesione non drenata	=	48 ÷ 186	KPa
Modulo edometrico	=	5 ÷ 19	MPa

Unità "Alt" – Alteriti

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	12 ÷ 79 (100)	colpi/30cm
Coesione non drenata	=	72 ÷ 474	KPa
Modulo edometrico	=	7 ÷ 60	MPa

9.4 Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dalle prove edometriche

I risultati di n.2 prove edometriche, eseguite sui campioni prelevati nelle verticali di sondaggio S2 (*unità Aa*) e S28 (*unità Alt)* della campagna 2010, hanno consentito di determinare i valori di modulo edometrico. Le prove sono state eseguite a incrementi di carico controllati (IL), secondo lo Standard ASTM D 2435, su campioni indisturbati di terreni coesivi, e hanno fornito, per determinati intervalli di carico, valori del modulo edometrico e di coefficiente di consolidazione verticale c_v e coefficiente di consolidazione secondaria c_α. I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella sottostante.

Unità	*Sondaggio n°*	*Campione n°*	*Profondità m*	σ kPa	M MPa	c_v cm^2/s
Aa	S2	1	11,50-12,00	25-50	2,32	3,06E-03
				50-100	2,51	1,15E-03
				100-200	3,99	8,38E-04
				200-400	6,82	-
				400-800	12,19	-
				800-1600	22,59	-
Alt	S28	1	7,50-7,90	25-50	4,53	1,75E-02
				50-100	3,97	5,67E-03
				100-200	4,38	3,77E-02
				200-400	6,66	-
				400-800	13,56	-
				800-1600	26,43	-

FIGURA 9-6 – RISULTATI DELLE PROVE EDOMETRICHE

In generale, per l'unità dei depositi alluvionali antichi (***Aa***) i valori di modulo edometrico E_d ottenuti dalle prove in questa unità hanno evidenziato valori prossimi a 4 MPa per l'intervallo di carico 100-200 KPa. Di poco superiore il valore di modulo edometrico ottenuto a parità di carico per il campione rappresentativo dell'unità delle Alteriti ***Alt***, risultato pari a 4.4 MPa circa.

Tali risultati sono stati considerati nel processo di caratterizzazione delle due unità di cui sopra, unitamente alle risultanze dei valori di modulo edometrico ricavate dalle correlazioni con le prove SPT di cui al **punto 9.3**.

9.5 Parametri di resistenza meccanica delle unità geotecniche dalle prove di taglio diretto e parametri di resistenza non drenata dalle prove di espansione laterale libera e dalle prove triassiali UU

I parametri di resistenza meccanica in termini di sforzi efficaci sono stati ottenuti a mezzo di prove di taglio diretto consolidate lente, eseguite nel corso della campagna di indagine 2010.

Sono state eseguite in particolare n.2 prove di taglio diretto consolidate lente con determinazione della sola resistenza di picco. Le prove, che sono state eseguite secondo lo Standard ASTM D 3080 su campioni indisturbati di terreni coesivi, hanno fornito parametri drenati di resistenza (a lungo termine). I campioni sottoposti a prova hanno riguardato in particolare l'unità delle alluvioni recenti "**Ar"** e l'unità delle Alteriti **"Alt"**. I risultati ottenuti sono mostrati nella tabella seguente.

Unità	*Sondaggio* *n°*	*Campione* *n°*	*Profondità* *m*	φ' °	c' kPa
Ar	S25	1	59,40-60,40	28,1	48,9
Alt	S28	1	7,50-7,90	29,6	13,8

FIGURA 9-7 – RISULTATI DELLE PROVE DI TAGLIO DIRETTO

Sempre nell'ambito della campagna pregressa 2010, sono state eseguite n. 2 prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL) secondo lo Standard ASTM D 2166. Le prove hanno fornito parametri non drenati, ossia valori di resistenza a breve termine (coesione non drenata). I risultati ottenuti sono mostrati nella tabella seguente e hanno riguardato l'unità delle Argille di Ortovero "**AO**".

Sondaggio *n°*	*Campione* *n°*	*Profondità* *m*	σ_c kPa
S25	1-a	59,40-60,40	767,59
S25	1	59,40-60,40	856,76

FIGURA 9-8 – RISULTATI DELLE PROVE DI ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Infine, durante la campagna 2010 è stata eseguita anche n.1 prova triassiale non consolidata non drenata (UU), condotta in accordo allo Standard ASTM D 2850. I risultati della prova sono mostrati nella tabella seguente e hanno riguardato l'unità geotecnica delle Alluvioni antiche "**Aa**".

Sondaggio *n°*	*Campione* *n°*	*Profondità* *m*	c_u kPa
S2	1	11,50-12,00	29,22

FIGURA 9-9 – RISULTATI DELLA PROVA TRIASSIALE TIPO UU

9.6 Proprietà geotecniche dei materiali dei rilevati di nuova realizzazione

Per i nuovi rilevati, realizzati con materiali non coesivi con le caratteristiche di compattazione previste dalle specifiche tecniche di capitolato, in maniera cautelativa si possono ipotizzare i seguenti parametri geotecnici:

- γ_N = 20 KN/m^3
- c' = 0 kPa
- φ' = 35 °
- E = 20 MPa

9.7 Sintesi dei parametri geotecnici (e geomeccanici) delle principali unità

A conclusione del processo di caratterizzazione geotecnica di cui ai punti precedenti, di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici (e geomeccanici) caratteristici delle diverse unità, da utilizzare per le verifiche di progetto.

Terreni di riporto R	Depositi eluvio-colluviali ec	Alluvioni recenti Ar	Alluvioni antiche Aa	Alluvioni antiche (lenti granulari) Aag
$\gamma_N = 17 \div 18$ KN/m^3	$\gamma_N = 18 \div 19$ KN/m^3	$\gamma_N = 18$ KN/m^3	$\gamma_N = 19 \div 20$ KN/m^3	$\gamma_N = 17 \div 18$ KN/m^3
c' = 5 ÷ 10 KPa	c' = 10 ÷ 15 KPa	c' = 0 KPa	c' = 0 ÷ 5 KPa	c' = 0 KPa
-	$c_u = 120 \div 150$ KPa	-	$c_u = 30 \div 120$ KPa	-
$\phi' = 33 \div 35°$	$\phi' = 25 \div 27°$	$\phi' = 36 \div 37°$	$\phi' = 26 \div 28°$	$\phi' = 35 \div 36°$
E' = 20 ÷ 30 MPa	E' = 20 ÷ 30 MPa	E' = 50 ÷ 60 MPa	E' = 10 ÷ 20 MPa	E' = 40 ÷ 50 MPa
-	$E_u = 35 \div 45$ MPa	-	$E_u = 30 \div 35$ MPa	-

Alteriti Alt	Argille di Ortovero AO	Flysch di Sanremo Unità FS1 FS1	Flysch di Sanremo Unità FS2 FS2
$\gamma_N = 19 \div 20$ KN/m^3	$\gamma_N = 19 \div 20$ KN/m^3	$\gamma_N = 24 \div 25$ KN/m^3	$\gamma_N = 24 \div 25$ KN/m^3
c' = 15 ÷ 25 KPa	c' = 30 ÷ 40 KPa	c' = 140 ÷ 230 KPa	c' = 50 ÷ 70 KPa
$c_u = 185 \div 265$ KPa	$c_u = 200 \div 265$ KPa	-	-
$\phi' = 27 \div 29°$	$\phi' = 27 \div 29°$	$\phi' = 42 \div 47°$	$\phi' = 29 \div 34°$
E' = 35 ÷ 50 MPa	E' = 40 ÷ 55 MPa	E' = 630 ÷ 1270 MPa	E' = 70 ÷ 120 MPa
$E_u = 60 \div 80$ MPa	$E_u = 60 \div 85$ MPa	-	-

FIGURA 9-10 – SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI E GEOMECCANICI DELLE DIVERSE UNITÀ

10 RILEVATI E TRINCEE

Le opere in oggetto interessano solo tutto alcune porzioni del tracciato in oggetto, ovvero i tratti stradali di innesto alle rotatorie e svincoli nonché i rami di collegamento agli svincoli stessi e ai principali imbocchi. Di seguito vengono descritte le modalità di formazione dei rilevati e delle trincee di scavo in progetto, definendo anche gli spessori di scotico e bonifica da eseguire nell'ambito della realizzazione delle stesse.

10.1 Formazione dei rilevati

In corrispondenza di tutti i tratti stradali di innesto alle rotatorie e svincoli e ad eccezione delle opere d'arte maggiori costituite da viadotti e gallerie, le opere geotecniche consistono nella realizzazione di **rilevati stradali**. I rilevati in oggetto presentano altezze variabili da pochi metri e fino a 8 m circa.

Lo studio geologico generale del tracciato in progetto ha consentito di appurare che i rilevati nel complesso insistono su spessori dell'ordine di qualche metro fino alla decina di metri di terreno alluvionale costituito da granulometrie medio-grossolane ed eterogenee, sempre accompagnate da una discreta componente fine (unità "Ar", unità "Aa"); al di sotto di tali spessori è talvolta presente la coltre eluvio-colluviale oppure i terreni alteritici delle unità flyschoidi che costituiscono il substrato profondo.

Per il corpo del rilevato dovranno essere impiegati materiali appartenenti ai gruppi A1-a, A1-b, A2-4, A2-5 e A3. In caso di utilizzo materiale appartenente al gruppo A3, il coefficiente di uniformità (D60/D10) dovrà essere maggiore o uguale a 7.

L'ultimo strato del rilevato, che andrà a costituire il piano di posa della fondazione stradale, dovrà avere uno spessore non inferiore a 30 cm dovrà essere realizzato con materiali appartenenti esclusivamente ai gruppi A1-a e A3.

I materiali impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi o comunque instabili nel tempo, non essere di natura argillo-scistosa nonché alterabili o molto fragili.

L'impiego di rocce frantumate è ammesso nella restante parte del rilevato, se di natura non geliva, se stabili con le variazioni del contenuto d'acqua e se tali da presentare pezzature massime non eccedenti i 20 cm. Di norma la dimensione delle massime pezzature ammesse non dovrà superare i due terzi dello spessore dello strato compattato. Inoltre, il materiale a pezzatura grossa (compreso tra 7 e 20 cm) deve essere di pezzatura disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume del rilevato. In particolare, dovrà essere realizzato un accurato intasamento dei vuoti, in modo da ottenere, per ogni strato, una massa ben assestata e compattata.

A compattazione avvenuta i materiali costituenti il corpo del rilevato, ad eccezione dello strato terminale, di seguito descritto, dovranno presentare una massa volumica del secco pari o superiore al 90% della massa volumica del secco massima individuata dalle prove di compattazione AASHO Mod. (UNI EN 13286), (CNR 22-1972) e un valore del modulo di deformabilità Md al primo ciclo:

- non inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50÷150 kPa, CNR 146 - 1992) sul piano di posa del rilevato posto a 1,00 m da quello della fondazione della pavimentazione stradale;

- non inferiore a 15 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50÷150 kPa, CNR 146 - 1992) sul piano di posa del rilevato posto a 2,00 m, o più, da quello della fondazione della pavimentazione stradale.

L'ultimo strato di 30 cm, costituente il piano di posa della fondazione della pavimentazione, dovrà invece presentare un grado di costipamento pari o superiore al 95% della massa volumica del secco massima individuata dalle prove di compattazione AASHO Mod. (UNI EN 13286), (CNR 22-1972); il modulo di deformazione al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm) dovrà risultare non inferiore a 50 MPa, nell'intervallo compreso tra 150÷250 kPa (0,15 - 0.25 N/mm2) sul piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale in rilevato.

La variazione di detti valori minimi al variare della posizione all'interno del corpo del rilevato, al termine del costipamento del singolo strato, dovrà risultare lineare.

Le caratteristiche di deformabilità dovranno essere accertate in modo rigoroso e dovranno essere garantite, anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli.

Su ciascuna sezione trasversale i materiali impiegati per ciascuno strato dovranno essere dello stesso gruppo.

Le scarpate dei rilevati avranno pendenze pari a 2V:3H. In caso di rilevati di altezza superiore a 5 m, dovranno essere realizzate banchine di scarpata della larghezza di 2 m ogni 5 m di altezza.

La costruzione del rilevato dovrà essere programmata in maniera tale che il cedimento residuo da scontare, terminati i lavori, non sia superiore al 10% del cedimento teorico a fine consolidazione e comunque non superiore ai 5 cm.

10.2 Pavimentazione stradale dei tratti in trincea

Nei tratti in trincea le scarpate sono realizzate generalmente con pendenza al 2V:3H, rivestite con uno strato di vegetale di 0,20 m ed inerbite. In corrispondenza di particolari imbocchi delle principali opere in sotterraneo, in ragione delle caratteristiche meccaniche del terreno in sito, le pendenze degli scavi sono state realizzate con pendenze 4V:7H. In tutti i casi, il fondo dello scavo verrà compattato fino a raggiungere il grado di portanza idoneo al piano di posa della pavimentazione stradale.

Le acque meteoriche vengono raccolte mediante cunette laterali con predisposizione di foro per l'inserimento di caditoia con griglia carrabile, e convogliate nei pozzetti di raccolta, mediante condotte idrauliche poste in asse alla cunetta stessa.

10.3 Determinazione degli spessori di scotico e bonifica

Le prove di identificazione, eseguite sui campioni prelevati nelle diverse verticali di indagine (tra cui sondaggi limitati a 2 m di profondità) eseguiti lungo il tracciato hanno consentito di verificare che i terreni di sottofondo dei rilevati e trincee in progetto sono costituiti perlopiù da terreni di origine alluvionale antica o recente (unità "Aa, unità "Ar") o da materiale di tipo antropico (unità "R"); soltanto i tratti in corrispondenza dello svincolo Baitè sono costituiti da coltri eluvio-colluviali e materiale flyschoide appartenente all'unità "FS1".

I terreni alluvionali recenti si presentano molto eterogenei e nel complesso sono costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose limose e argillose, talora ghiaie limose sabbiose argillose e subordinatamente limi con ghiaia o sabbia,

argillosi; l'indice di plasticità di tutti i campioni è risultato essere sempre inferiori o prossimi al 20% e talvolta i campioni sono risultati non plastici. Secondo la classificazione USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte GC, CL e subordinatamente GW-GC, GC-GM e GW. Secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano perlopiù A 2-4 e A 6, subordinatamente A 1-a. I depositi alluvionali più antichi, invece, sono rappresentati di fatto da limi con sabbia o con argilla, sabbiosi o ghiaiosi, sabbia con limo e ghiaia argillose e ghiaie sabbiose limose debolmente argillose. La percentuale di fine è sempre mediamente oltre il 60% e secondo la classificazione CNR-UNI i campioni risultano essere A 6, A 4, A 2-4 e A 7-6. I terreni rappresentativi del materiale di riporto invece sono costituiti da terreni pressoché eterogenei con una componente ghiaiosa di base sempre prevalente; si tratta infatti di ghiaie sabbiose limose argillose o ghiaie argillose limoso sabbiose, passando per ghiaie e sabbie limose argillose. Secondo la classificazione USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte GM, subordinatamente GC, mentre secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano in gran parte A 2-7, talora A 2-6 e solo un campione è risultato essere appartenente alla classe A 6.

Come definito al **punto 3.2.1.6**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., nel corso della campagna di indagine integrativa 2023 sono state eseguite n.6 prove di carico a doppio ciclo su piastra circolare, con piano di posa a 0.50 m di profondità dal p.c., al fine di determinare le caratteristiche di deformabilità dei terreni di sottofondo dei rilevati e delle fondazioni stradali. I risultati delle prove di carico su piastra eseguite hanno fornito valori di modulo di deformazione del terreno di sottofondo compresi tra 10 e 38 MPa al 1° ciclo di carico e valori compresi tra 76 e 290 MPa al 2° ciclo (cfr. **Tabella 3-16**), che lascia presumere un buona risposta dei terreni alle operazioni di compattazione legate alla preparazione dei piani di posa dei rilevati e della fondazione della pavimentazione in trincea.

Per quanto riguarda la bonifica sotto lo scotico, il terreno in sito dovrà essere sostituito con materiale selezionato appartenente ai gruppi (UNI 13242 - UNI 14688 - UNI 13285):

- A1-a, A1-b, A3 se proveniente da cave di prestito; nel caso in cui il materiale appartenga al gruppo A3, esso deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7;
- A1, A2-4, A2-5, A3, se proveniente dagli scavi; il materiale appartenente al gruppo A3 deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7.

Il modulo di deformazione dello strato bonificato dovrà risultare non inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50 e 150 kPa (0.05 e 0.15 N/mm2). Nel caso in cui la bonifica debba essere eseguita in presenza d'acqua, l'Impresa dovrà provvedere ai necessari emungimenti per mantenere costantemente asciutta la zona di scavo da bonificare fino ad ultimazione dell'attività stessa.

Sulla scorta di quanto detto, in definitiva, è stata prevista la realizzazione di:

- 20 cm di scotico
- 30 cm di bonifica

per un totale di 50 cm di intervento di bonifica consistente nel completo asporto degli spessori vegetali di scotico e la realizzazione di uno spessore di bonifica con materiale selezionato.

11 VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISIONALI

11.1 Premessa

Nel presente capitolo si definiscono le metodologie e i risultati di sintesi delle analisi di stabilità delle sezioni di scavo provvisionale.

Le analisi di seguito illustrate, in particolare, sono state svolte valutando la stabilità, in corrispondenza dei principali viadotti e gallerie, dei fronti di scavo non sostenuti da opere in fase provvisionale.

A detta di ciò, sono state verificate le stabilità delle sezioni di scavo di maggiore altezza non sostenuti da opere in fase provvisionale e in particolare il seguente fronti di scavo:

- Imbocco ovest Galleria Artificiale Monte Calvario;

11.2 Generalità sulle verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state eseguite nel rispetto della normativa vigente, in particolare:

- *D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018)*.
- *Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.* – Istruzioni per l'applicazione dell'*"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*

Le norme suddette indicano che debba essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'approccio seguito per ottenere le azioni e le resistenze di progetto è l'Approccio 1, in particolare è stata applicata la Combinazione 2: A2+M2+R2, in cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 17/01/2018);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 17/01/2018);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 17/01/2018).

Le verifiche sono state eseguite nelle sole condizioni statiche, in quanto trattasi di fronti di scavo di tipo provvisionale. I parametri sono stati abbattuti secondo quanto definito nel D.M. 17/01/2018 per l'Approccio 1 Combinazione 2 precedentemente definito.

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_F)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

DM 17/01/2018: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_M)	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1.0	1.0

DM 17/01/2018: Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.1

DM 17/01/2018: Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il programma di calcolo *Slide 6.0 (Rocscience inc.)*, che utilizza, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci, diversi modelli di calcolo, sulla base dei quali il programma consente di calcolare il coefficiente di sicurezza per una singola superficie di rottura imposta dall'utente, oppure di ricercare in maniera automatica la superficie critica, mediante una tecnica di generazione casuale. Al fine di valutare le condizioni di stabilità dei rilevati sono state condotte analisi di stabilità con il metodo di Bishop, basato sull'equilibrio dei momenti e delle forze verticali, con risultante delle forze tra i conci contigui assunta orizzontale. Le analisi sono state condotte con ricerca automatica della superficie critica. Nella sezione analizzata è stata ricostruita la situazione geologico-strutturale e morfologica originaria; come detto in precedenza, l'analisi di stabilità è stata eseguita per le sole condizioni statiche.

11.3 Risultati

Il valore del coefficiente di sicurezza FS_{min} per i casi analizzati con le relative superfici di scorrimento, calcolate secondo il metodo di Bishop, sono riportati di seguito. In **Appendice 2** (**punto 15**) vengono riportati i tabulati di calcolo completi per le verifiche di stabilità del fronte di scavo in oggetto.

11.3.1 Imbocco ovest Galleria artificiale Monte Calvario – p.k. 0+120

Il fattore di sicurezza FS_{min} per il fronte di scavo provvisionale dell'imbocco ovest della G.A. Monte Calvario (cfr. **Figura 11-2**), alla p.k. 0+120 e con fronte di altezza h = 8.5 m, risulta pari a 1.23, valore che soddisfa i requisiti minimi imposti dalla normativa vigente.

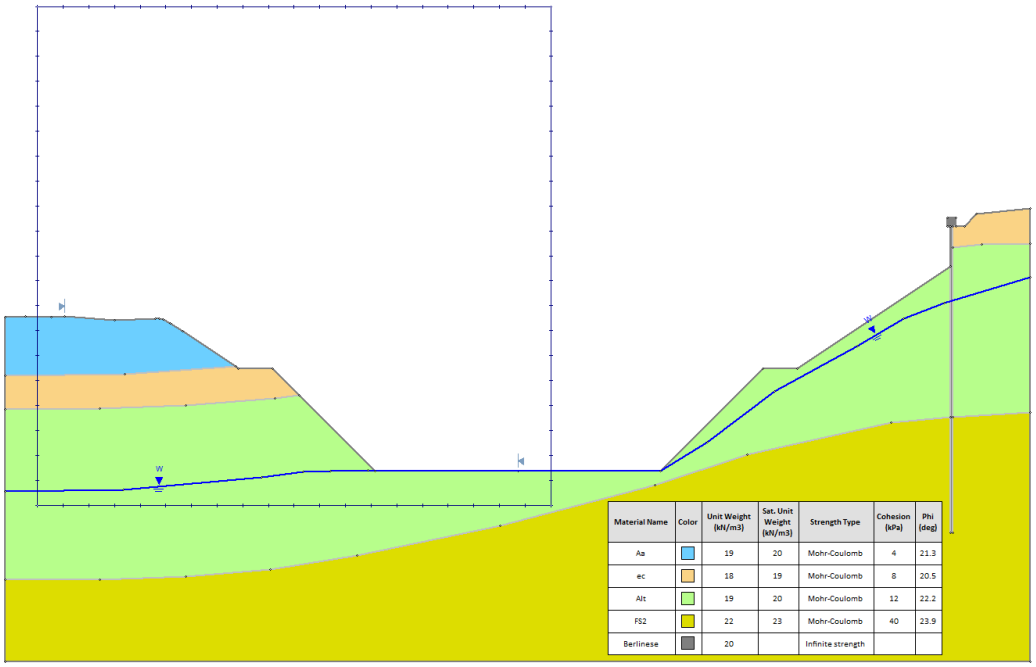


Figura 11-1 *– Scavo provvisionale Imbocco ovest G.A. Monte Calvario (p.k. 0+120): modello di calcolo*

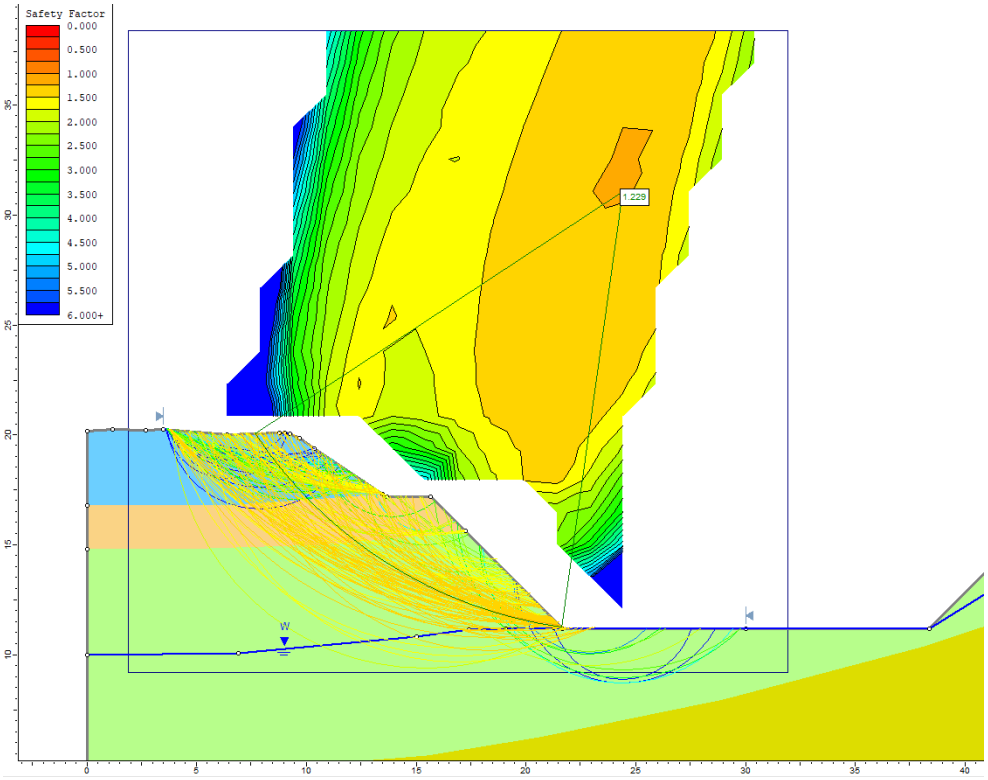


Figura 11-2 *– Scavo provvisionale Scavo provvisionale Imbocco ovest G.A. Monte Calvario (p.k. 0+120): risultati*

12 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA

12.1 Premessa

Nel presente capitolo vengono definite le metodologie e i risultati delle verifiche di stabilità eseguite sulle sezioni in rilevato e trincea della sede stradale di progetto.

Le analisi illustrate in seguito sono state svolte valutando la stabilità delle sezioni di rilevato e trincea di maggiore altezza, sulla base della stratigrafia geotecnica e la stabilità delle sezioni in trincea non sostenute da opere di sostegno.

Per maggiori dettagli sull'ubicazione delle sezioni e relativi profili geotecnici si rimanda ai seguenti elaborati:

- **T00GE03GETFG01÷04** - "Profilo geotecnico asse principale" (4 tavv.)

Le sezioni individuate per le analisi di stabilità sono state preliminarmente oggetto di analisi per la ricostruzione geologico-stratigrafica e rappresentate successivamente nell'elaborato **T00GE01GEOSG02** - "Sezioni geologico-tecniche trasversali".

12.2 Generalità sulle verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state eseguite nel rispetto della normativa vigente, in particolare:

- *D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018)*.
- *Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.* – Istruzioni per l'applicazione dell'*"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*

Le norme suddette indicano che debba essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'approccio seguito per ottenere le azioni e le resistenze di progetto è l'Approccio 1, in particolare è stata applicata la Combinazione 2: A2+M2+R2, in cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 17/01/2018);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 17/01/2018);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 17/01/2018).

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_F)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

DM 17.01.2018: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto di azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_M)	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1.0	1.0

DM 17.01.2018: Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

12.2.1 Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

Il sovraccarico stradale è stato posto pari al valore caratteristico 20 KPa amplificato per il coefficiente A2 corrispondente ai carichi variabili sfavorevoli (carico totale: 20 x 1.3 = 26 KPa, cfr. Tabella 6.2.I)

I parametri geotecnici sono stati abbattuti con i coefficienti parziali M2 secondo quanto definito nel D.M. 17.01.2018 per l'Approccio 1 Combinazione 2 precedentemente definito (cfr. Tabella 6.2.II).

I fattori di sicurezza globali risultanti dalle verifiche sono stati confrontati con il coefficiente parziale γ_R valido per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (cfr. Tabella 6.8.I).

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.1

DM 17.01.2018: Tabella 6.8.I - Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni statiche

12.2.2 Verifiche di stabilità in condizioni sismiche

Anche in questo caso le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

In fase sismica, come previsto dalle NTC 2018, si sono posti pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

Le verifiche del raggiungimento della condizione di Stato Limite Ultimo (SLU) sono state quindi sviluppate considerando le seguenti condizioni di analisi:

Condizione sismica: SISMA +

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso il basso;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente ψ_2 (carico totale: 20 x 0.2 = 4 KPa).

Condizione sismica: SISMA -

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso l'alto;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente ψ_2 (carico totale: 20 x 0.2 = 4 KPa).

La stabilità in condizioni sismiche è stata eseguita secondo il metodo pseudostatico che consente di rappresentare l'azione sismica mediante un'azione statica equivalente, costante nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Come indicato in precedenza nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLV) le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono essere definite come di seguito indicato:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con kh e kv rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, variabili a seconda del tipo di categoria di sottosuolo e topografia caratterizzante ciascuna sezione analizzata (variabilità di a_{max} per SLV), nelle combinazioni seguenti:

- **Categoria B+T1**: $k_h = \beta_s\, a_{max}/g = 0.090$; $k_v = \pm 0.5\, k_h = 0.045$
- **Categoria C+T1**: $k_h = \beta_s\, a_{max}/g = 0.106$; $k_v = \pm 0.5\, k_h = 0.053$

I fattori di sicurezza globali risultanti dalle verifiche sono stati confrontati con il coefficiente parziale γ_R valido per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni sismiche (cfr. tabella sottostante).

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.2

DM 17.01.2018: Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni sismiche

12.2.3 Software di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il programma di calcolo *Slide 6.0 (Rocscience inc.)*, che utilizza, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci, diversi modelli di calcolo, sulla base dei quali il programma consente di calcolare il coefficiente di sicurezza per una singola superficie di rottura imposta dall'utente, oppure di ricercare in maniera automatica la superficie critica, mediante una tecnica di generazione casuale.

Al fine di valutare le condizioni di stabilità dei rilevati sono state condotte analisi di stabilità con il *metodo di Bishop*, basato sull'equilibrio dei momenti e delle forze verticali, con risultante delle forze tra i conci contigui assunta orizzontale. Le analisi sono state condotte con ricerca automatica della superficie critica.

12.3 Risultati

Nelle sezioni analizzate sono state ricostruite le situazioni geologico-strutturali e morfologiche originarie, come detto in precedenza, e le analisi di stabilità sono state eseguite sia in condizioni statiche sia sismiche.

In **Appendice 2** (**punto 15**) vengono riportati i tabulati di calcolo completi per le verifiche di stabilità di tutti i fronti di scavo in oggetto.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche di stabilità globale per i rilevati stradali. In particolare, sono riportati i valori del *fattore di sicurezza* FS_{min} per i casi analizzati e relativi a superfici di scorrimento calcolate secondo il sopracitato metodo di Bishop.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di sintesi delle verifiche di stabilità globale effettuate per le diverse sezioni di calcolo.

Sezione di progetto	Fase statica	Fase sismica k_v ↓	Fase sismica k_v ↑
131	1.28	1.29	1.30
5_113	1.48	1.53	1.53

12.3.1 Sezione 131 – Trincea alla p.k. 0+070 (h=8.5 m)

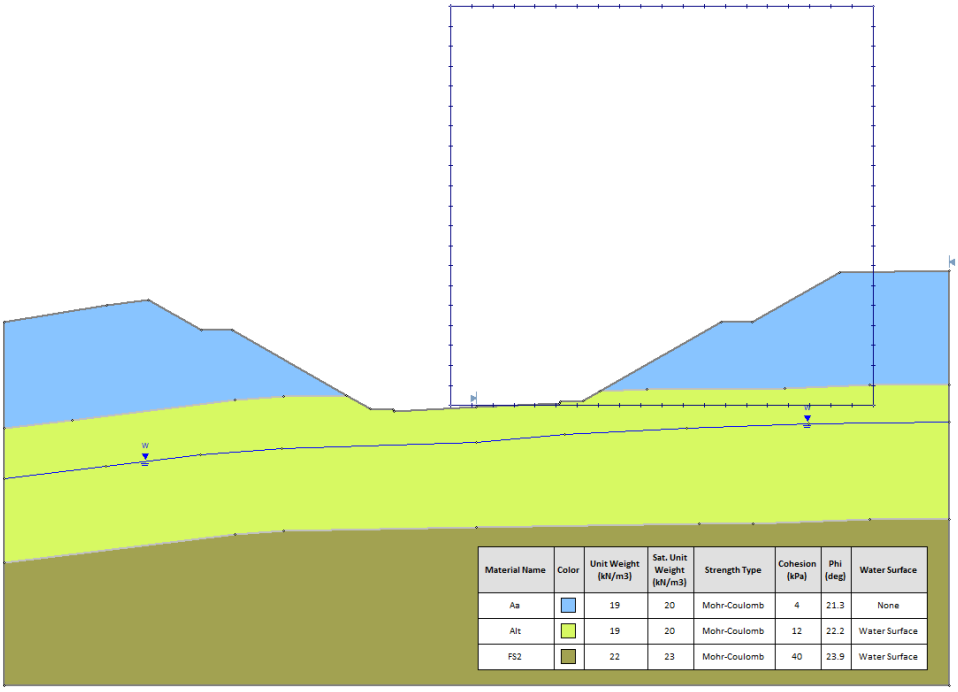


Figura 12-1 *– Trincea alla p.k. 0+070 – Modello di calcolo*

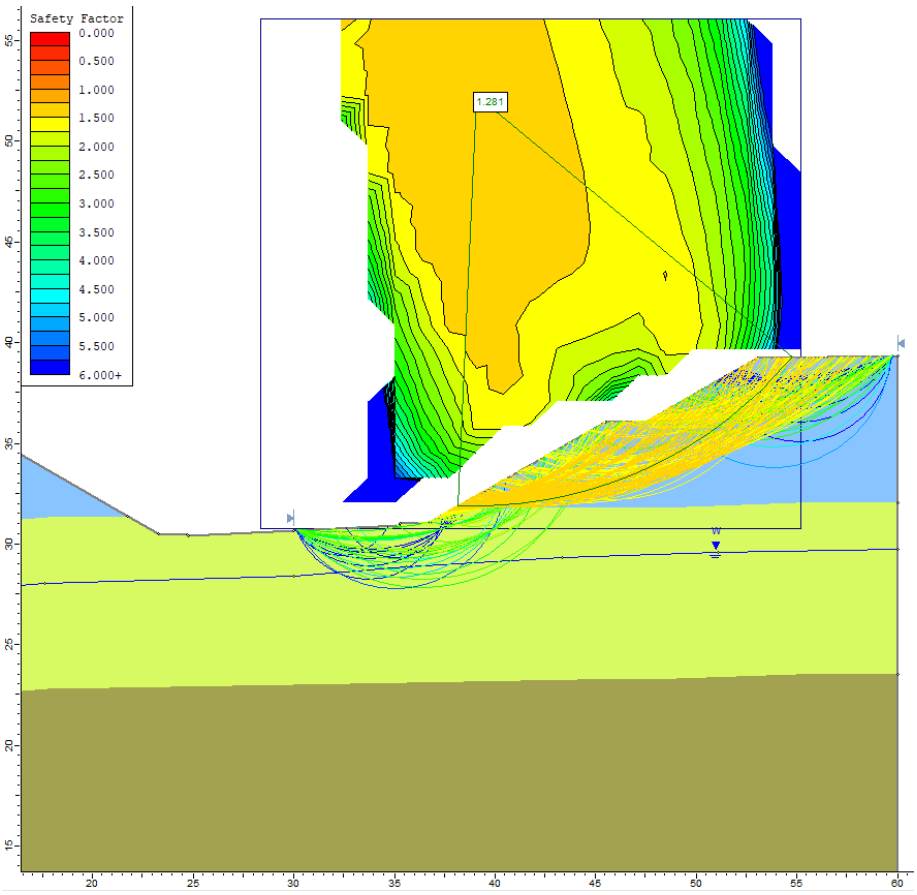
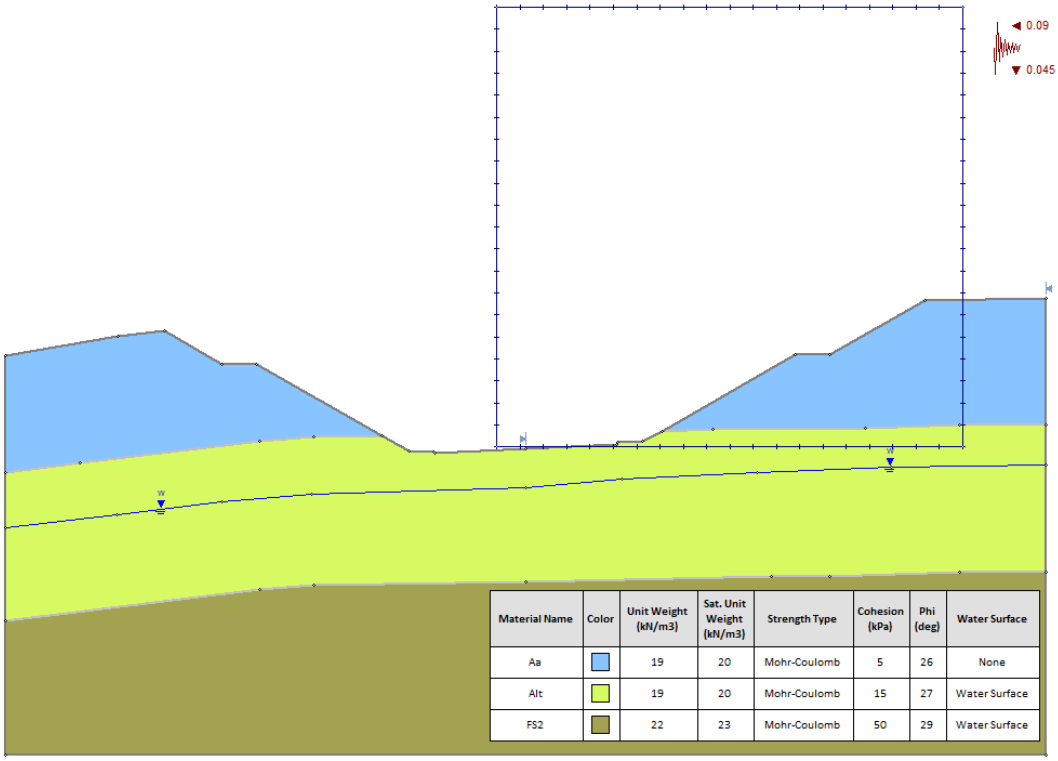


Figura 12-2 *– Trincea alla p.k. 0+070 – Verifica in condizioni statiche*



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Aa		19	20	Mohr-Coulomb	5	26	None
Alt		19	20	Mohr-Coulomb	15	27	Water Surface
FS2		22	23	Mohr-Coulomb	50	29	Water Surface

Figura 12-3 *– Trincea alla p.k. 0+070 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Modello di calcolo*

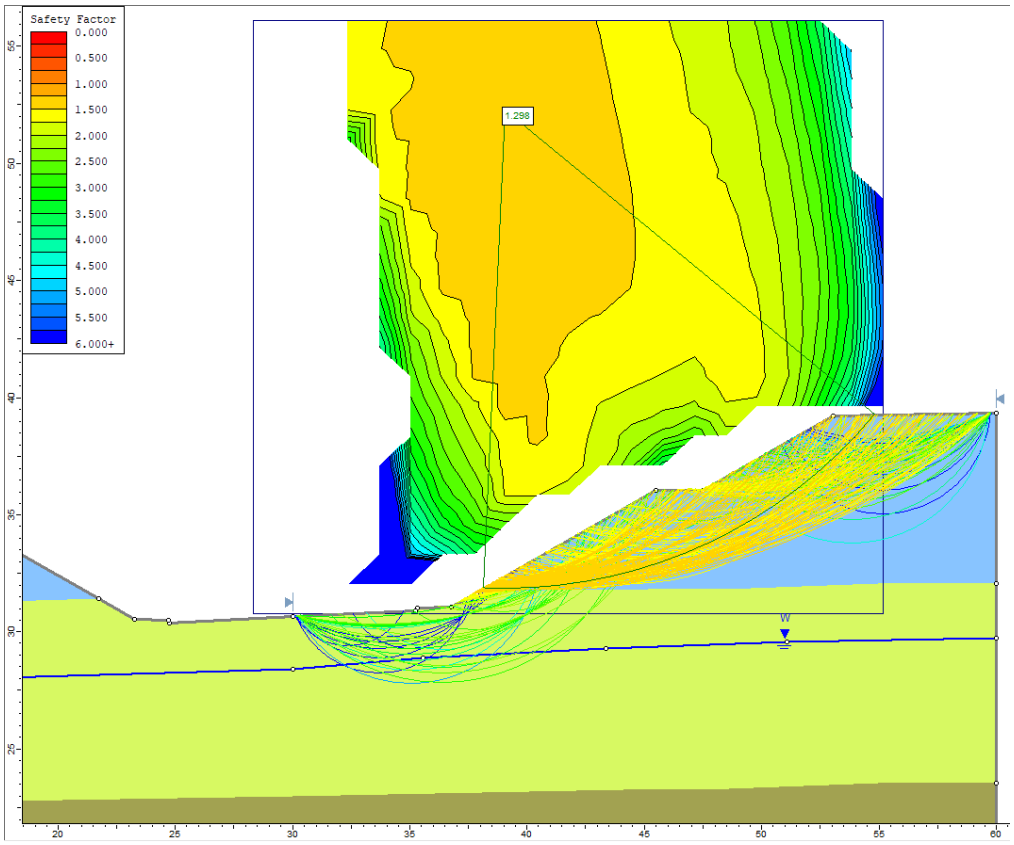


Figura 12-4 *– Trincea alla p.k. 0+070 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Risultati*

12.3.2 Sezione 5_113 – Rilevato alla p.k. 2+240 (h=8 m)

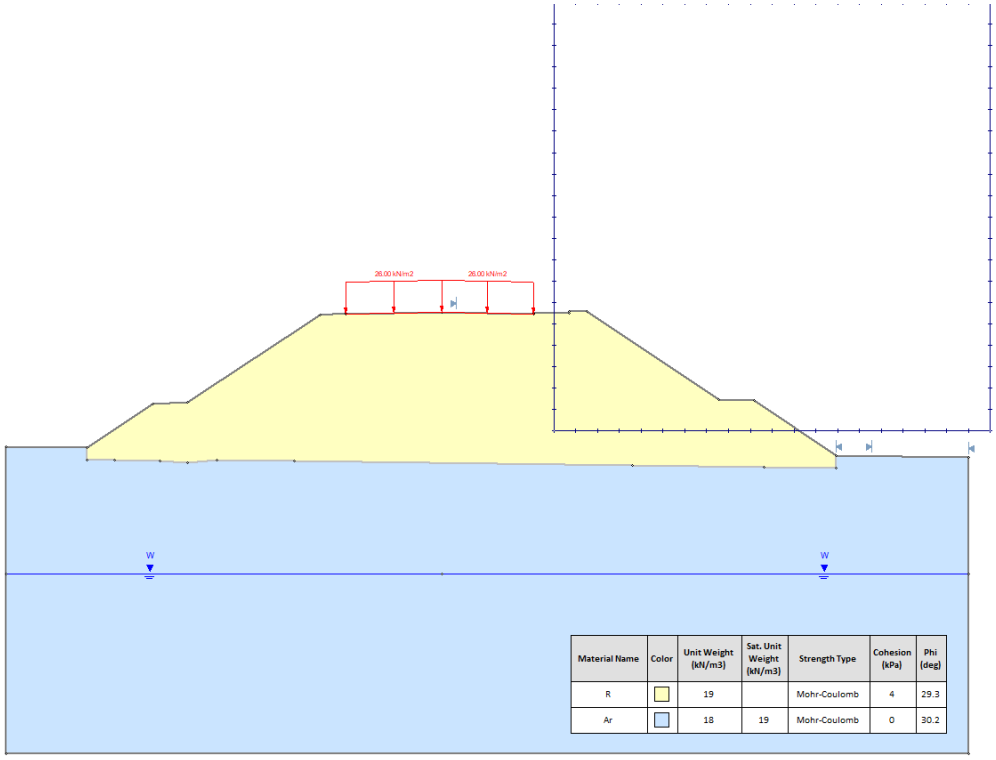


Figura 12-5 *– Rilevato alla p.k. 2+240 – Modello di calcolo*

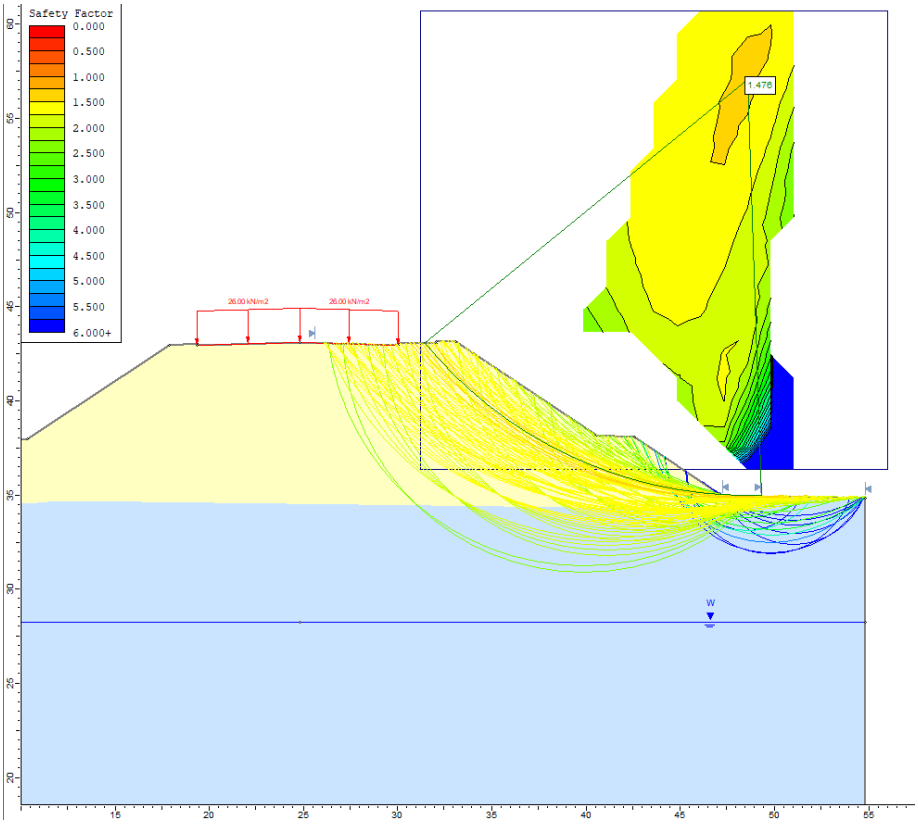
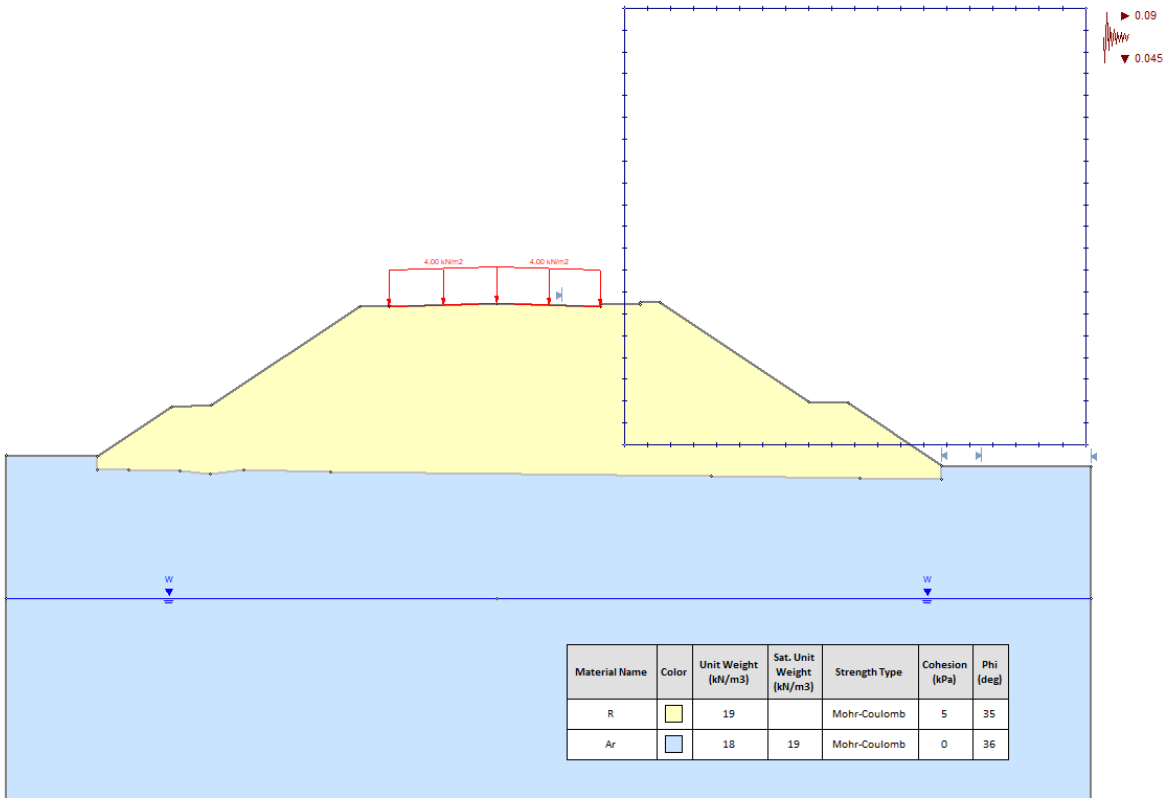


Figura 12-6 *– Rilevato alla p.k. 2+240– Verifica in condizioni statiche*



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
R		19		Mohr-Coulomb	5	35
Ar		18	19	Mohr-Coulomb	0	36

Figura 12-7 *– Rilevato alla p.k. 2+240– Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Modello di calcolo*

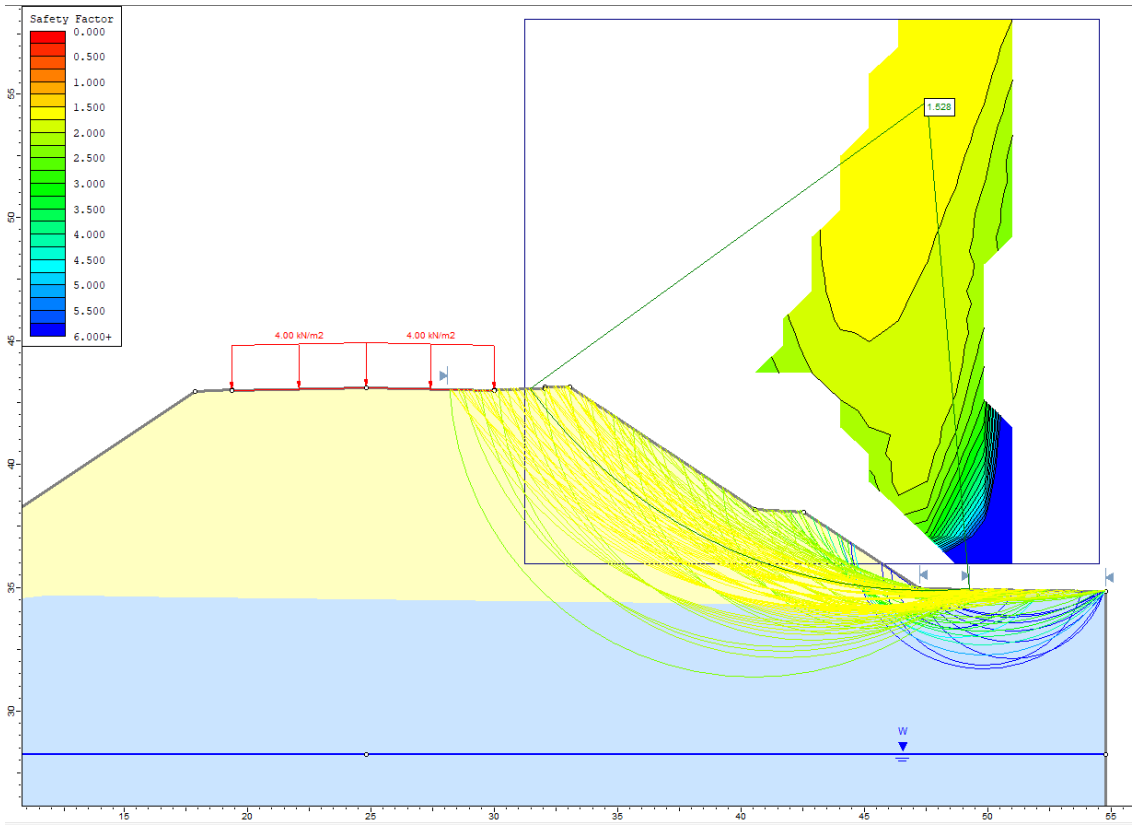


Figura 12-8 *– Rilevato alla p.k. 2+240– Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Risultati*

13 VERIFICHE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Nei seguenti paragrafi viene descritto il metodo di calcolo impiegato per la stima dei cedimenti dei rilevati in progetto e sono presentati i risultati delle analisi eseguite in corrispondenza di differenti sezioni di calcolo.

13.1 Metodologia di calcolo dei cedimenti

Il calcolo dei cedimenti ha come obiettivo la determinazione delle deformazioni verticali del terreno indotte dai carichi agenti rappresentati dalla nuova sede stradale. La risultante delle deformazioni verticali che si manifestano in un terreno è comunemente indicata con il termine “cedimento” e di tale grandezza, nella pratica ingegneristica, interessa di solito conoscere sia l’entità sia l’evoluzione nel tempo.

La stima del valore di cedimento atteso è legata alle varie fasi di carico e dipende dal tipo di terreno incontrato.

In generale, i cedimenti che si verificano per effetto di deformazioni elasto-plastiche indotte dal carico applicato, sono definiti come cedimenti primari S_t, ottenuti dalla somma del cedimento immediato (o distorsionale) S_o, che si sviluppa nel momento in cui viene applicato il carico, ovvero al tempo uguale t=0, e quello di consolidazione primaria (S_c), che avviene al tempo t > 0. Il cedimento primario è espresso in funzione delle suddette aliquote secondo l’espressione seguente:

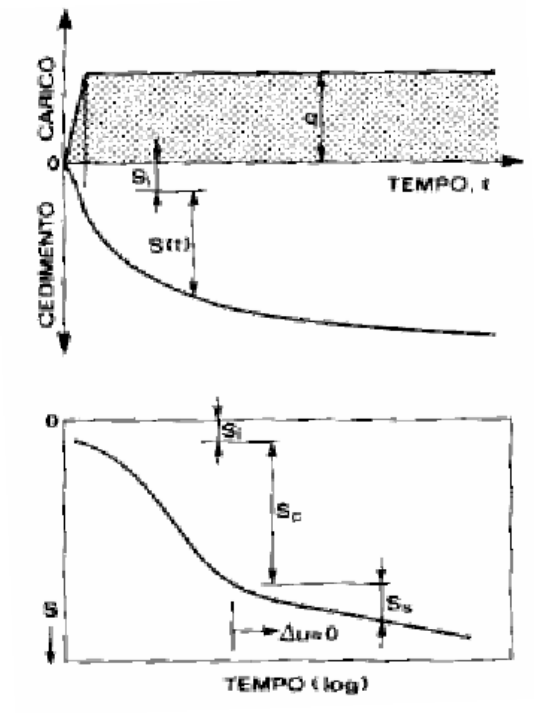
$$S_t = S_o + S_c.$$

Il processo di consolidazione primaria è volto al termine quando tutte le sovrappressioni neutre, che sono state indotte dall’applicazione del carico, si sono dissipate e il sovraccarico totale applicato è interamente sopportato dallo scheletro solido (e cioè interamente equilibrato da un incremento delle pressioni verticali efficaci). Non essendoci più variazioni di tensioni efficaci il terreno è in equilibrio con il carico esterno applicato.

Quasi al termine del processo di consolidazione primaria, in funzione delle caratteristiche dei terreni, è possibile che si verifichino delle deformazioni di tipo viscoso dello scheletro solido; tali deformazioni, che avvengono anche a pressione efficace costante, e quindi anche (ma non solo) a consolidazione primaria esaurita in assenza di carico, generano i così detti cedimenti secondari.

Nei terreni granulari, ad elevata permeabilità, il processo di consolidazione primaria è molto rapido e quindi il cedimento distorsionale e quello volumetrico si verificano praticamente contemporanea-mente durante la fase di costruzione. Nel seguito quindi il contributo degli strati granulari verrà considerato nella sola stima del cedimento immediato.

Nella figura sottostante è rappresentato uno schema in cui in corrispondenza della storia temporale dei carichi, sono associati i corrispondenti cedimenti relativi al processo di consolidazione primaria e secondaria.



Schema di riferimento curva carico-cedimenti
(Viggiani, 1990)

Si tenga presente che la sommatoria dei cedimenti verticali è stata estesa a tutti gli strati, per i quali si producono incrementi degli sforzi verticali superiori al 10% dello sforzo verticale geostatico. In funzione di tale valore viene fissato lo spessore della zona compressibile (H_c).

13.2 Cedimenti: immediati e di consolidazione

Terreni granulari

Gli spostamenti verticali indotti dal carico applicato nei terreni granulari sono calcolati mediante l'espressione di seguito riportata:

$$S_t = \sum_i^n \frac{\left[\Delta\sigma_{zi} - \nu'\left(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi}\right)\right]h_i}{E'_i}$$

con:

S_t = cedimento immediato;

$\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i-esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;

h_i = spessore dello strato i-esimo;

E'_i = modulo di Young dello strato i-esimo (E_{25}).

ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;

n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

Terreni coesivi sovraconsolidati (OCR>1)

Per i terreni coesivi sovraconsolidati si considera, secondo quanto suggerito in (Lancellotta, 1980):

$$S_t = S_{ed};$$

$$S_{ed} = S_o + S_c.$$

in cui

- S_t = cedimento primario o di fine consolidazione;
- S_{ed} = cedimento edometrico;
- S_0 = cedimento immediato.
- S_c = cedimento di consolidazione.

In genere il cedimento immediato atteso per questi materiali è compreso tra 1/3 e 2/3 rispetto al valore del cedimento di prima consolidazione ($1/3\ S_t < S_0 < 2/3\ S_t$), dove il limite superiore risulta più appropriato per strati di spessore rilevante e modulo costante con la profondità.

Il cedimento edometrico, calcolato sostituendo al modulo elastico il modulo edometrico, dello strato i-esimo, è dato dall'espressione riportata al **punto 0**, ovvero:

$$S_{ed} = \sum_{i}^{n} \frac{\left[\Delta\sigma_{zi} - \nu'\left(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi}\right)\right] h_i}{E'_d}$$

con:

- S_{ed} = cedimento edometrico;
- $\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i-esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;
- h_i = spessore dello strato i-esimo;
- E'_d = modulo edometrico dello strato i-esimo;
- ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;
- n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

Terreni coesivi normalconsolidati (OCR≈1)

Per i terreni coesivi normalconsolidati si considera, secondo quanto suggerito in (Lancellotta, 1980), che il cedimento edometrico corrisponda al cedimento di consolidazione e che il cedimento immediato sia circa il 10% di quello edometrico:

$$S_t \sim 1.1\ S_{ed};$$

$$S_{ed} = S_c;$$

$$S_o \sim 0.1\ S_{ed}.$$

in cui:

- S_t = cedimento primario o di fine consolidazione;
- S_{ed} = cedimento edometrico;
- S_0 = cedimento immediato.
- S_c = cedimento di consolidazione.

Anche in questo caso il cedimento edometrico è dato dalla seguente espressione:

$$S_{ed} = \sum_{i}^{n} \frac{\left[\Delta\sigma_{zi} - \nu'\left(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi}\right)\right] h_i}{E'_d}$$

con:

- S_{ed} = cedimento edometrico;
- $\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i-esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;
- h_i = spessore dello strato i-esimo;
- E'_d = modulo edometrico;
- ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;
- n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

13.3 Sintesi dei risultati

La verifica dei cedimenti delle sezioni di maggiore altezza e con peggiore stratigrafia dei rilevati in progetto è stata eseguita in corrispondenza della sezione 5_113 dell'asse principale, ubicata alla p.k. 2+240.

La prima sezione è caratterizzata da un'altezza di progetto del rilevato pari a h= 8 m circa e una stratigrafia costituita da importanti spessori di terreni alluvionali recenti, che lasciano spazio in profondità agli orizzonti flyschoidi dell'unità FS1 di Sanremo.

Sulla base dei parametri geometrici delle sezioni in rilevato e dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni (cfr. tabella in **Figura 9-10**) sono stati calcolati cedimenti massimi pari a 66.4 mm, ubicati in corrispondenza dell'asse del rilevato. I terreni alla base del rilevato risultano perlopiù non coesivi (unità Ar) e i cedimenti calcolati risultano quasi totalmente immediati (63.7 mm, scontati durante la costruzione del rilevato) e solo in piccola parte di consolidazione (2.7 mm).

I risultati ottenuti sono riassunti nei tabulati riportati in **Appendice 3** (**punto 16**) e nel grafico sottostante.

		Verticale di calcolo				
		V0	V1	V2	V3	V4
Coordinata verticale di calcol	[m]	0,00	4,15	8,30	19,50	30,70
Cedimento immediato	[mm]	-63,72	-62,93	-59,75	-33,94	-7,63
Cedimento di consolidazione	[mm]	-2,68	-2,64	-2,53	-1,84	-0,98
Cedimento totale	[mm]	-66,40	-65,57	-62,28	-35,79	-8,61

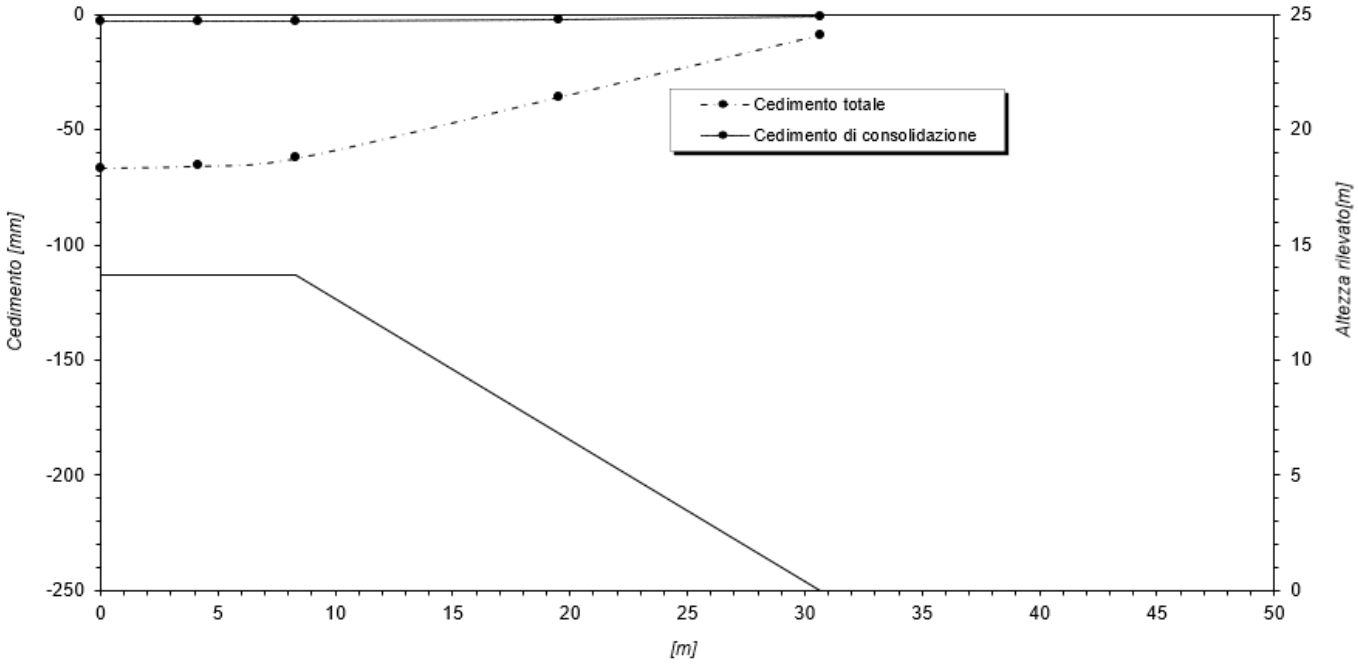
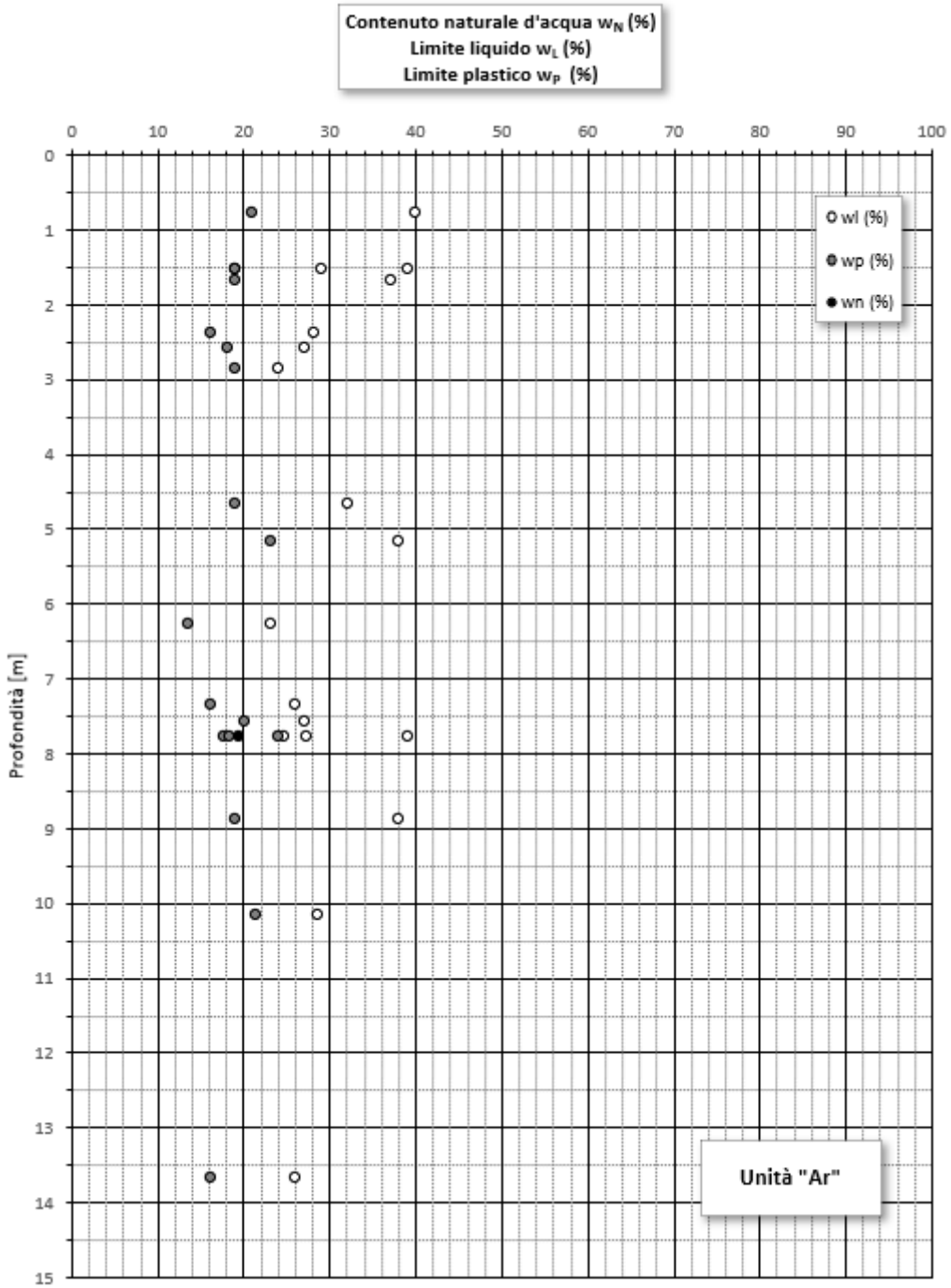
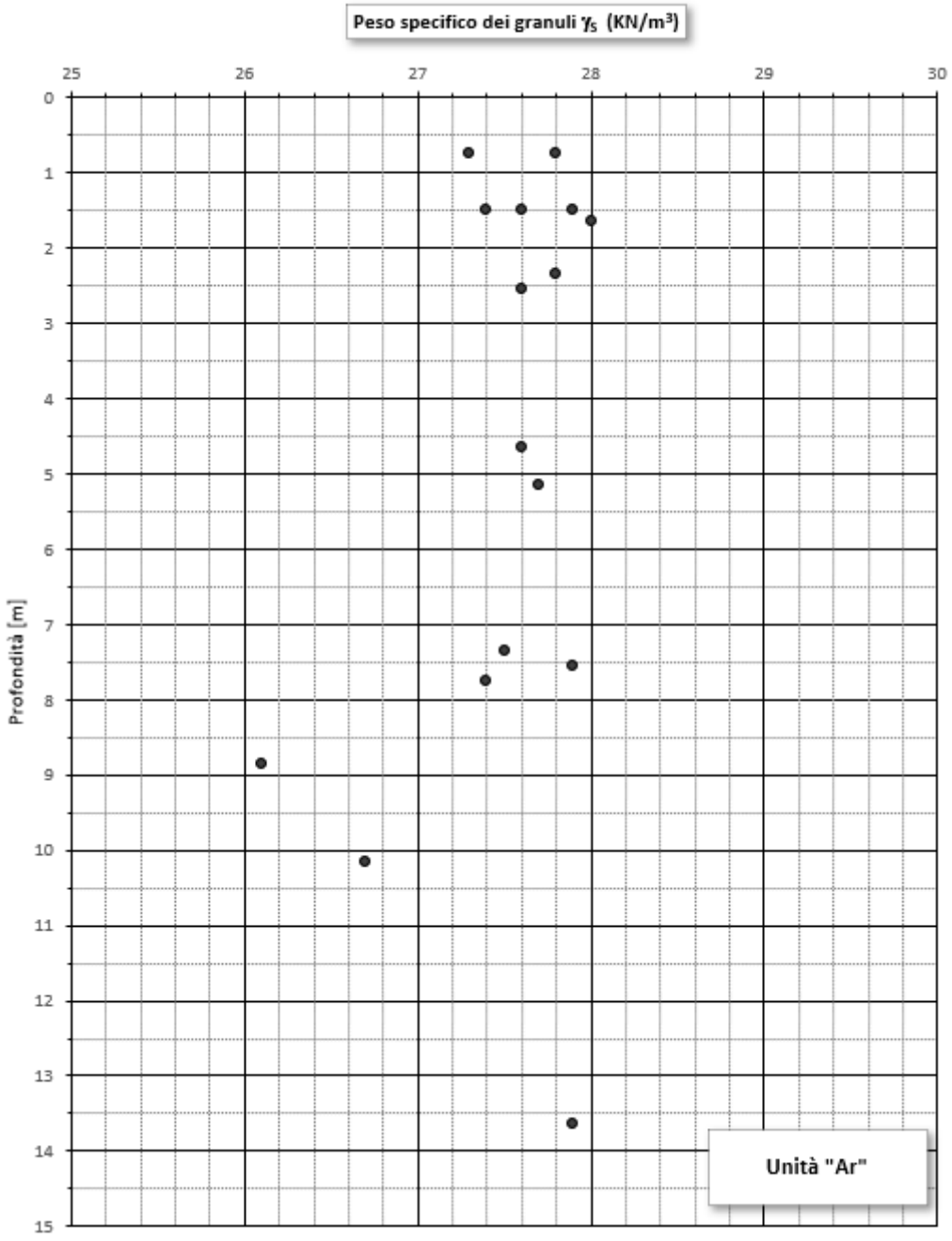


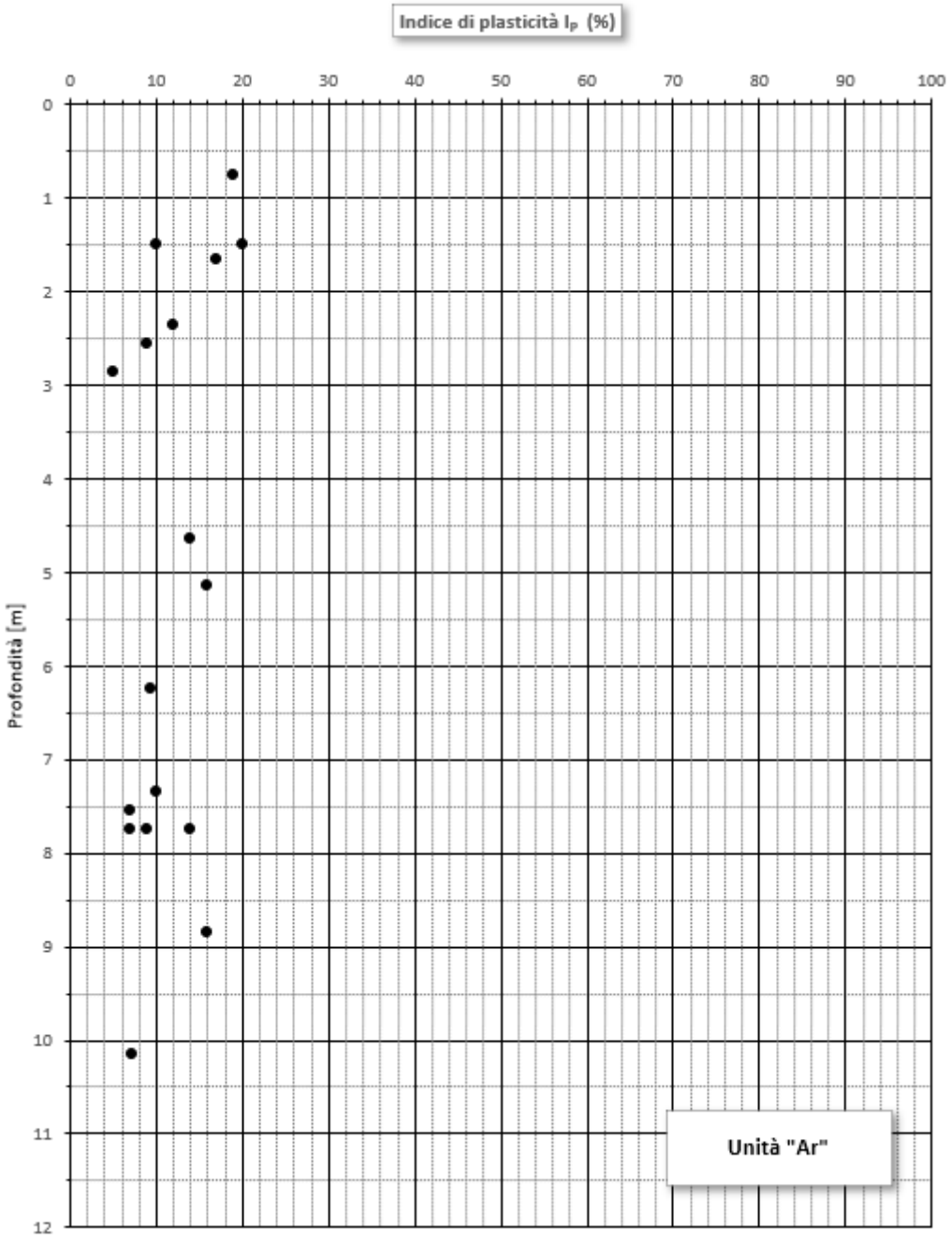
Figura 13-1 *– Verifica dei cedimenti dei rilevati – Sezione 5_113: risultati*

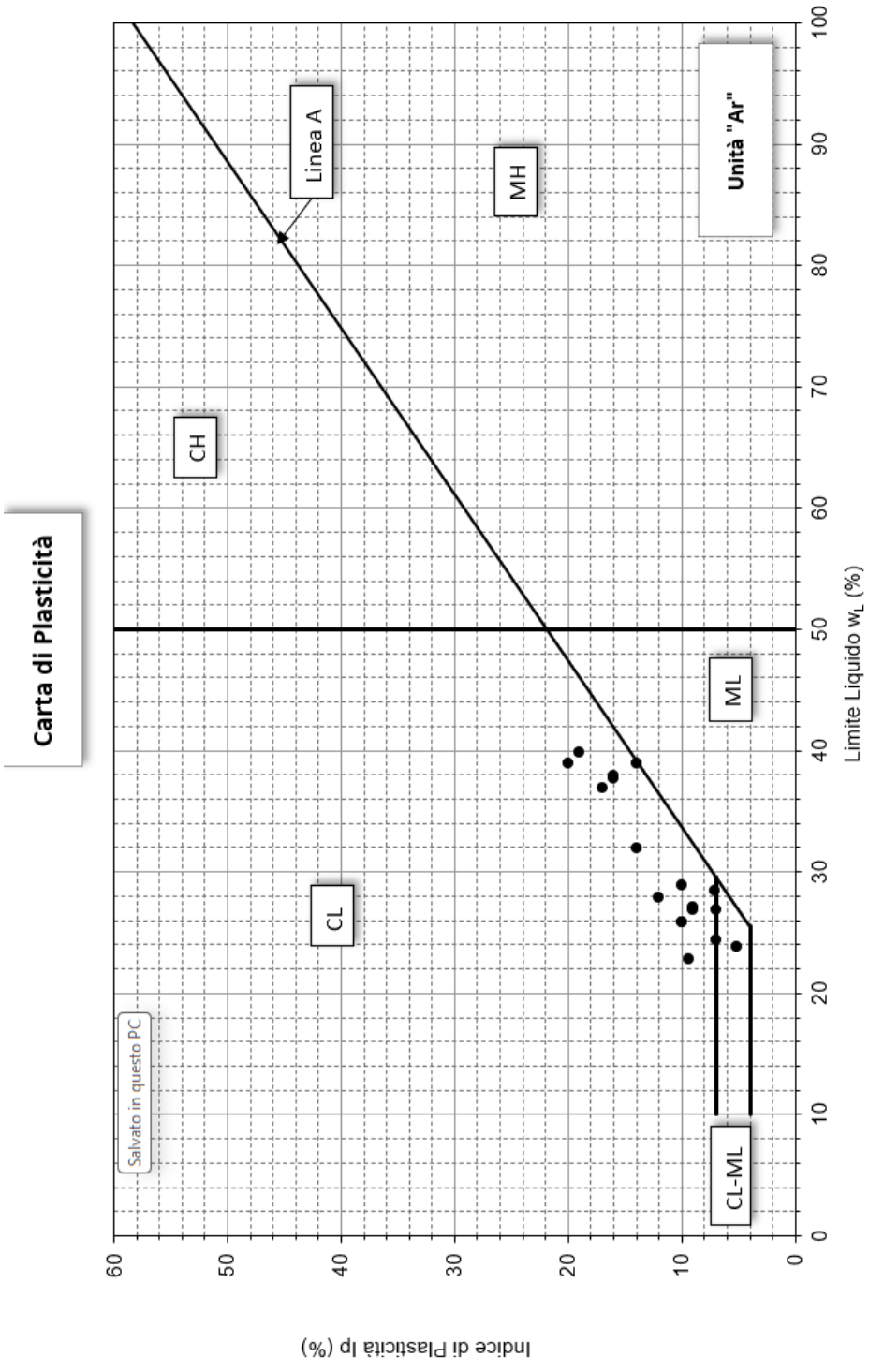
14 APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE DETERMINATE DALLE PROVE IN SITO E DALLE PROVE DI LABORATORIO

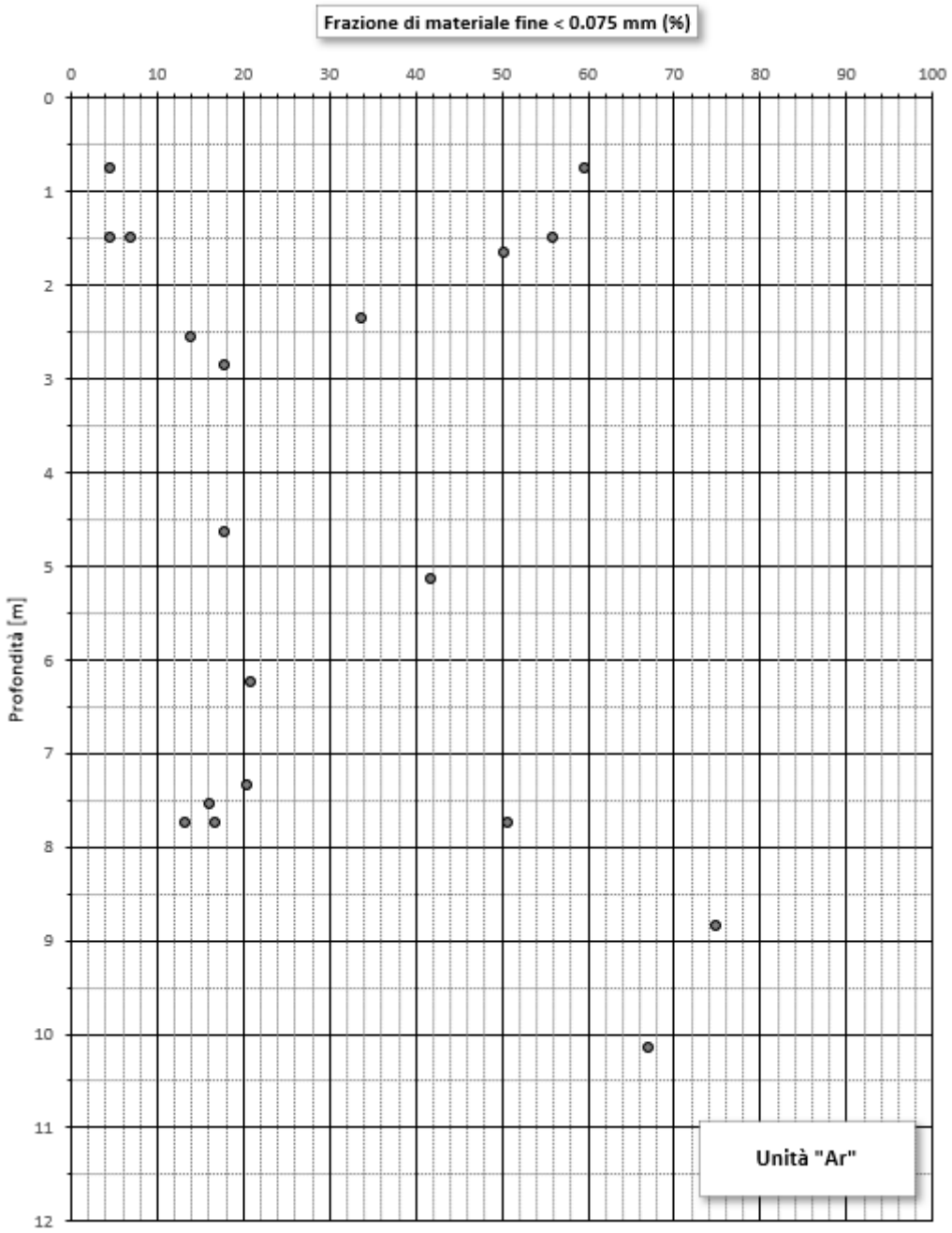
14.1 Unità “Ar"

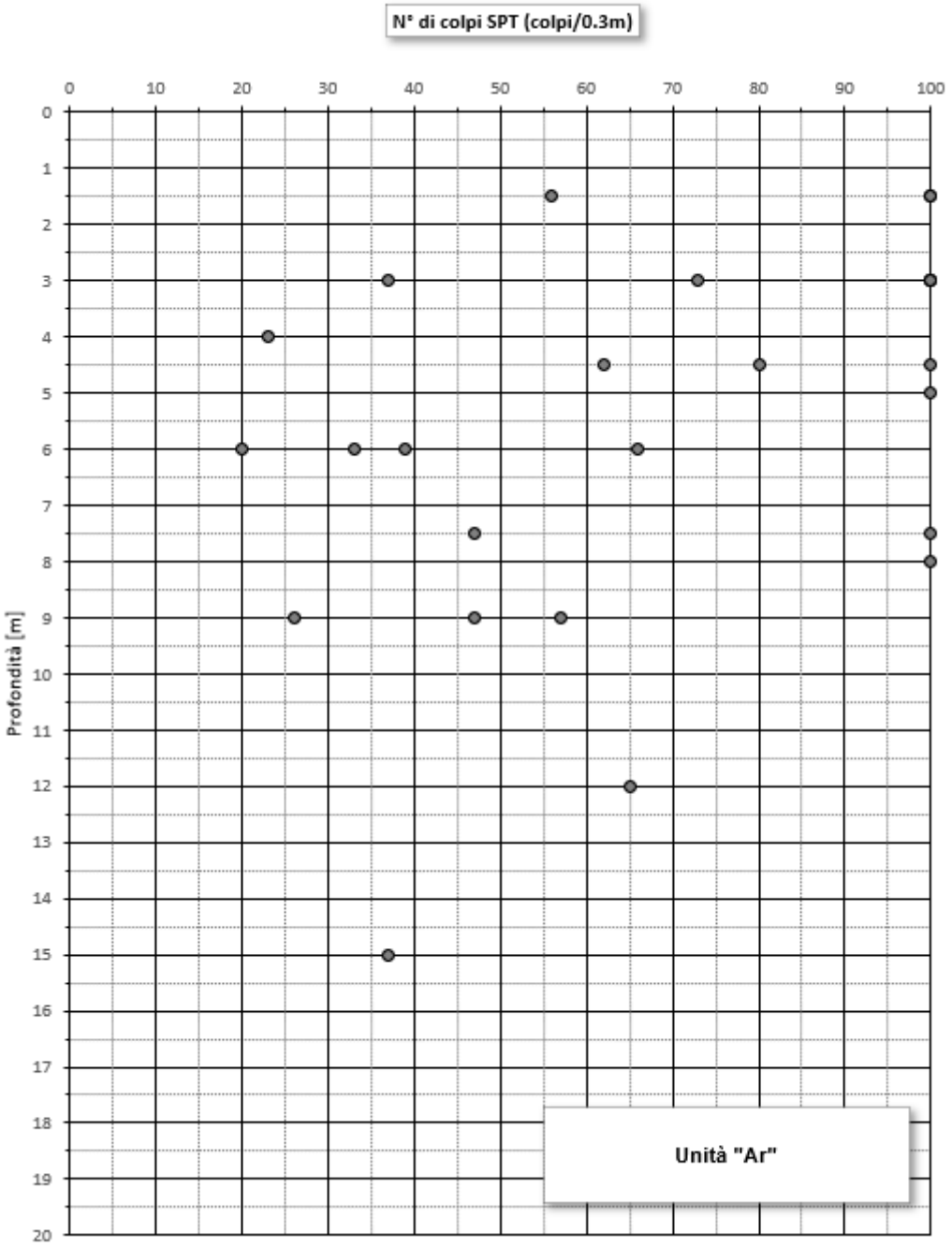


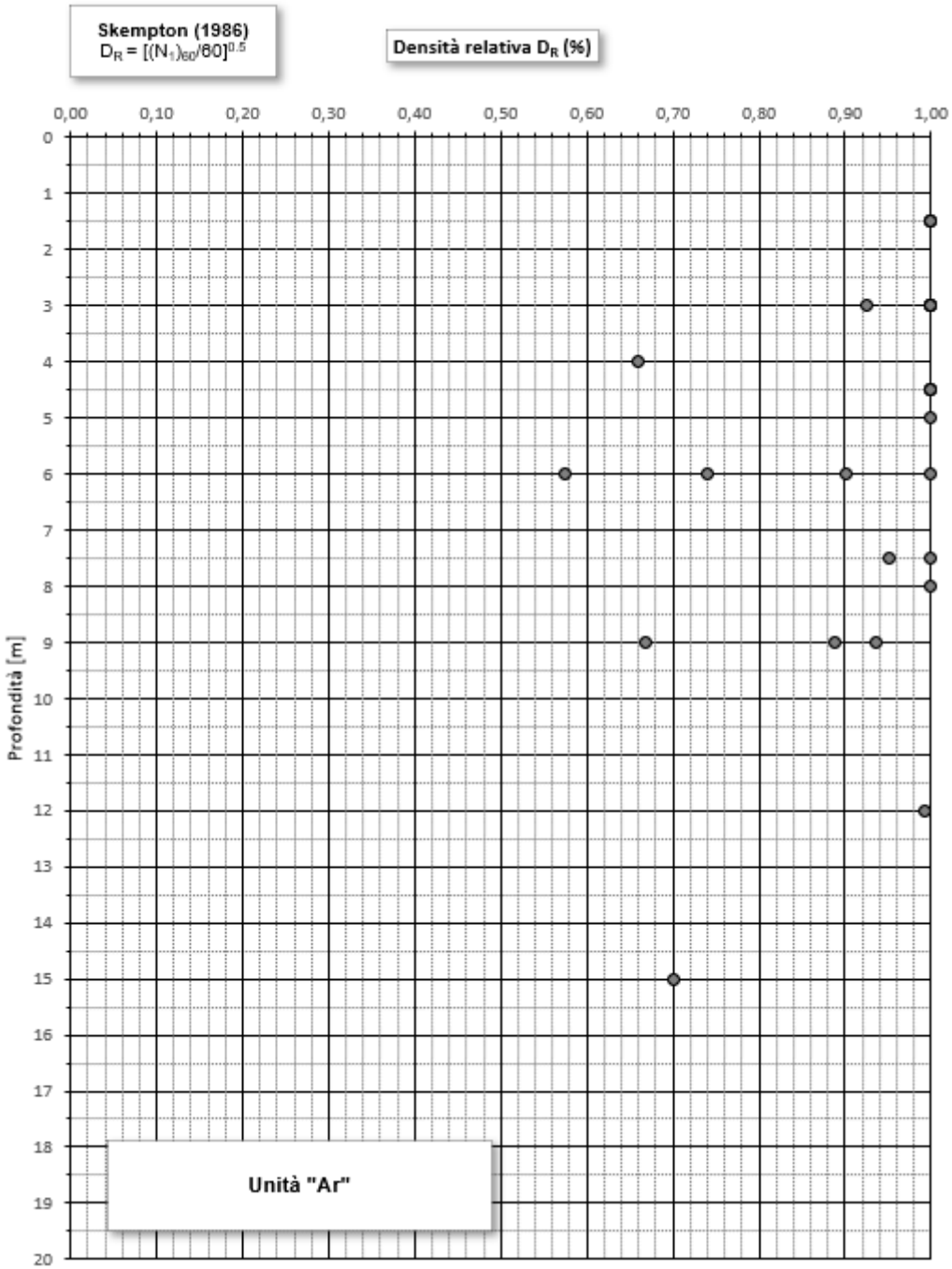

Peso specifico dei granuli γ_S (KN/m³)
25
26
27
28
29
30
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Profondità [m]
Unità "Ar"

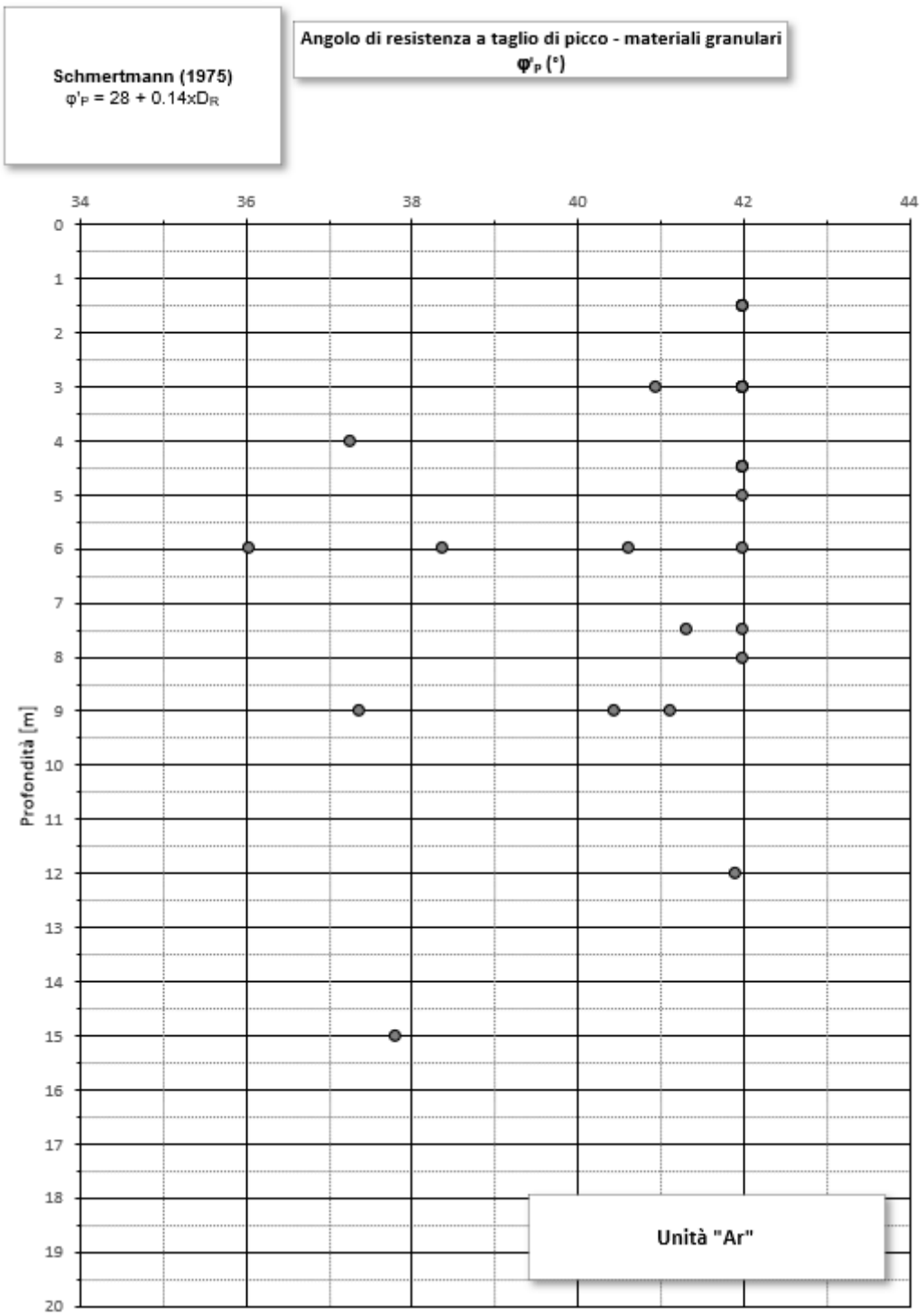

Indice di plasticità I_p (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Unità "Ar"

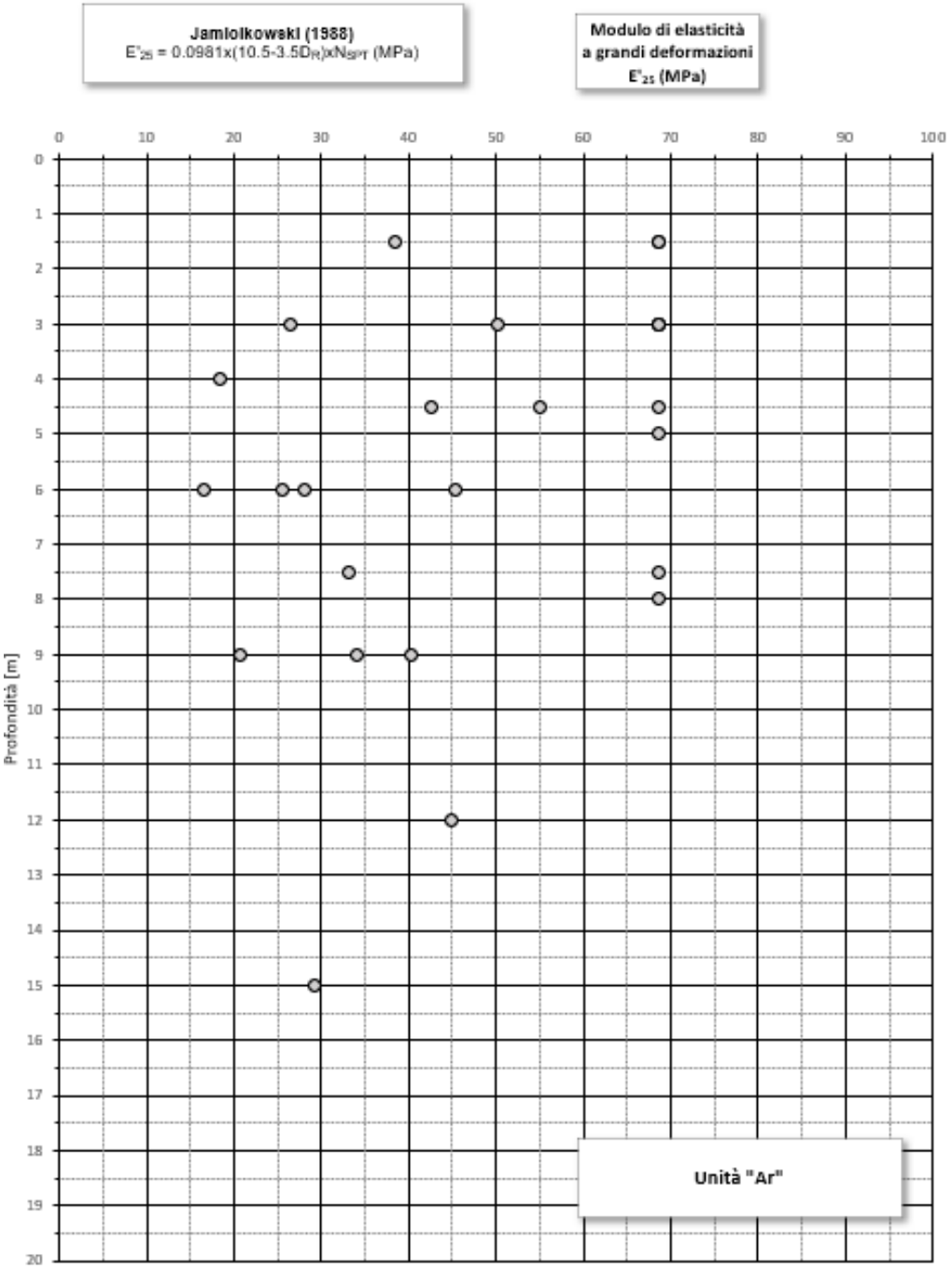

Carta di Plasticità
Linea A
MH
Unità "Ar"
CH
ML
CL
CL-ML
Salvato in questo PC
Limite Liquido w_L (%)
Indice di Plasticità Ip (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
60
50
40
30
20
10
0


Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Unità "Ar"

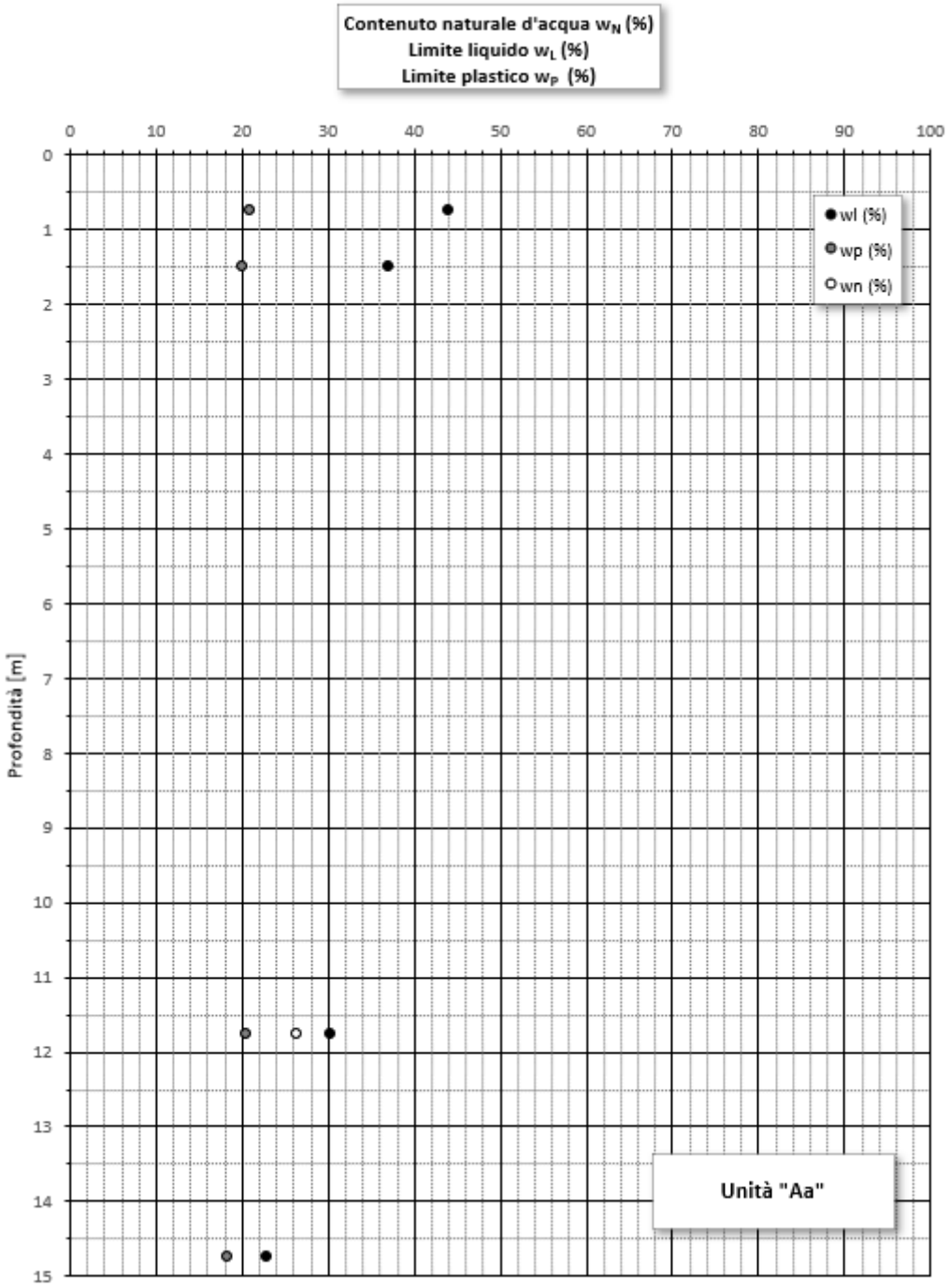

N° di colpi SPT (colpi/0.3m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
Unità "Ar"

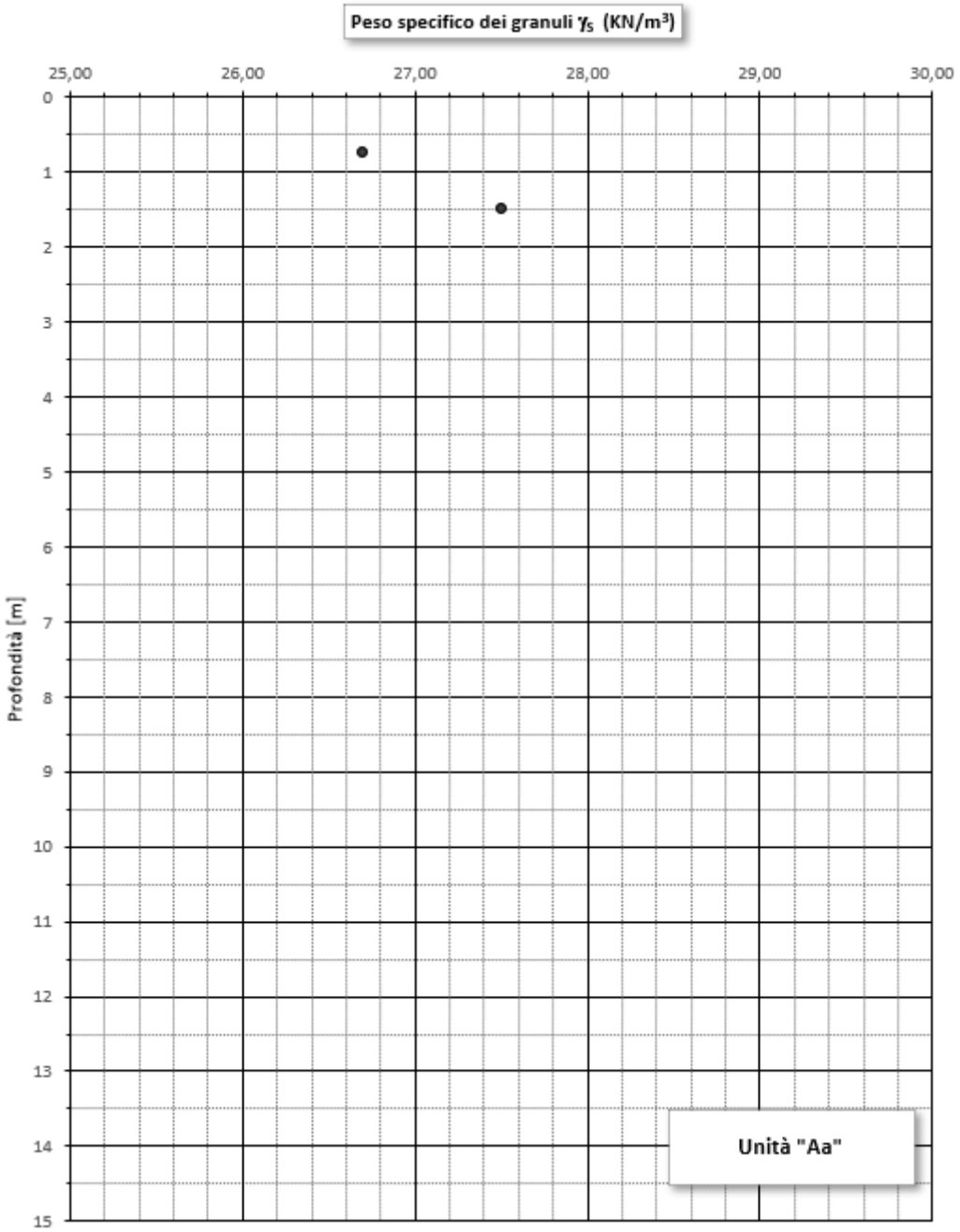

Skempton (1986)
$D_R = [(N_1)_{60}/60]^{0.5}$
Densità relativa D_R (%)
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
Unità "Ar"

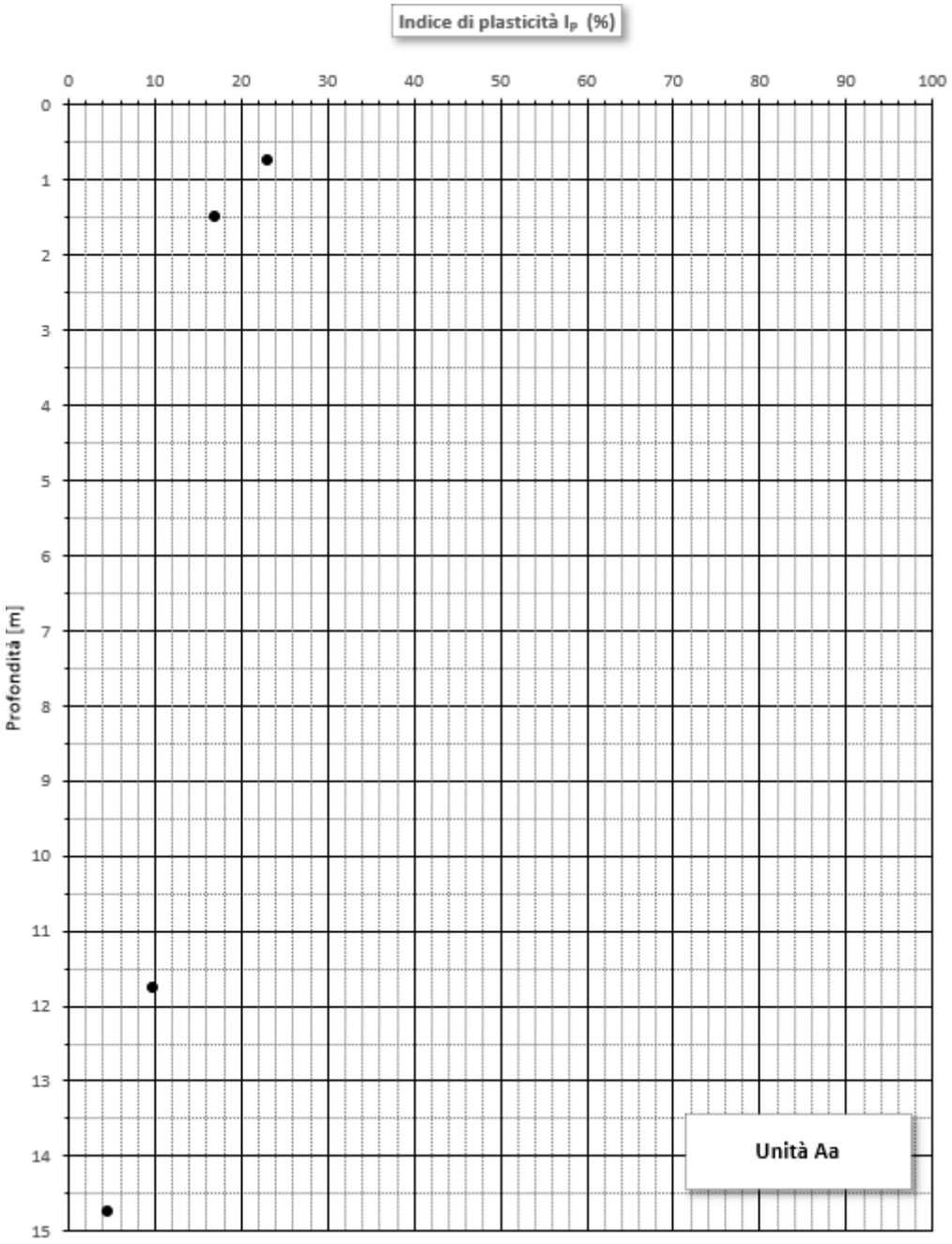

Schmertmann (1975)
φ'P = 28 + 0.14xDR
Angolo di resistenza a taglio di picco - materiali granulari
φ'P (°)
34
36
38
40
42
44
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
Profondità [m]
Unità "Ar"

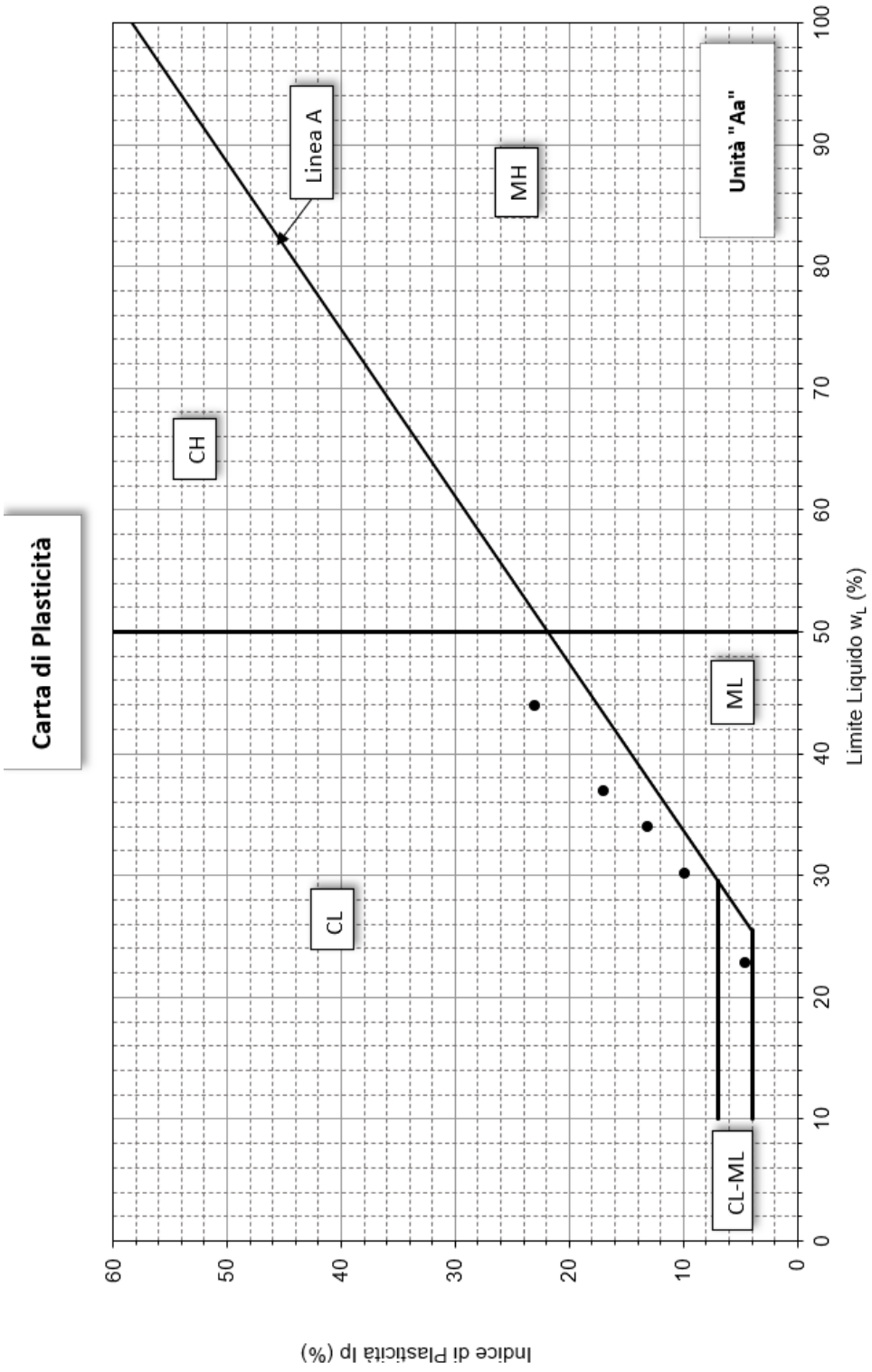

Jamiolkowski (1988)
E'25 = 0.0981x(10.5-3.5DR)xNSPT (MPa)
Modulo di elasticità a grandi deformazioni
E'25 (MPa)
Profondità [m]
Unità "Ar"

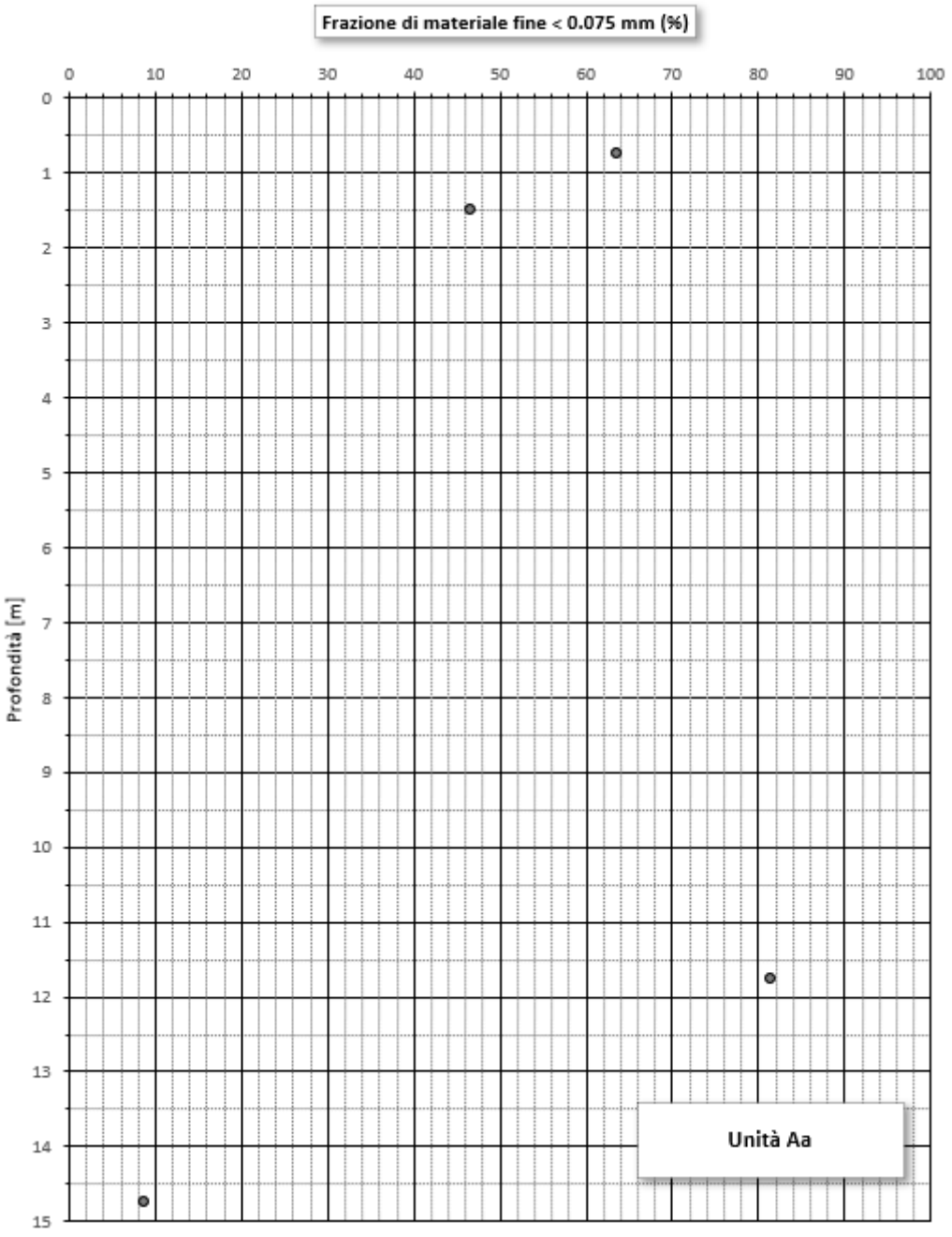
14.2 Unità "Aa"

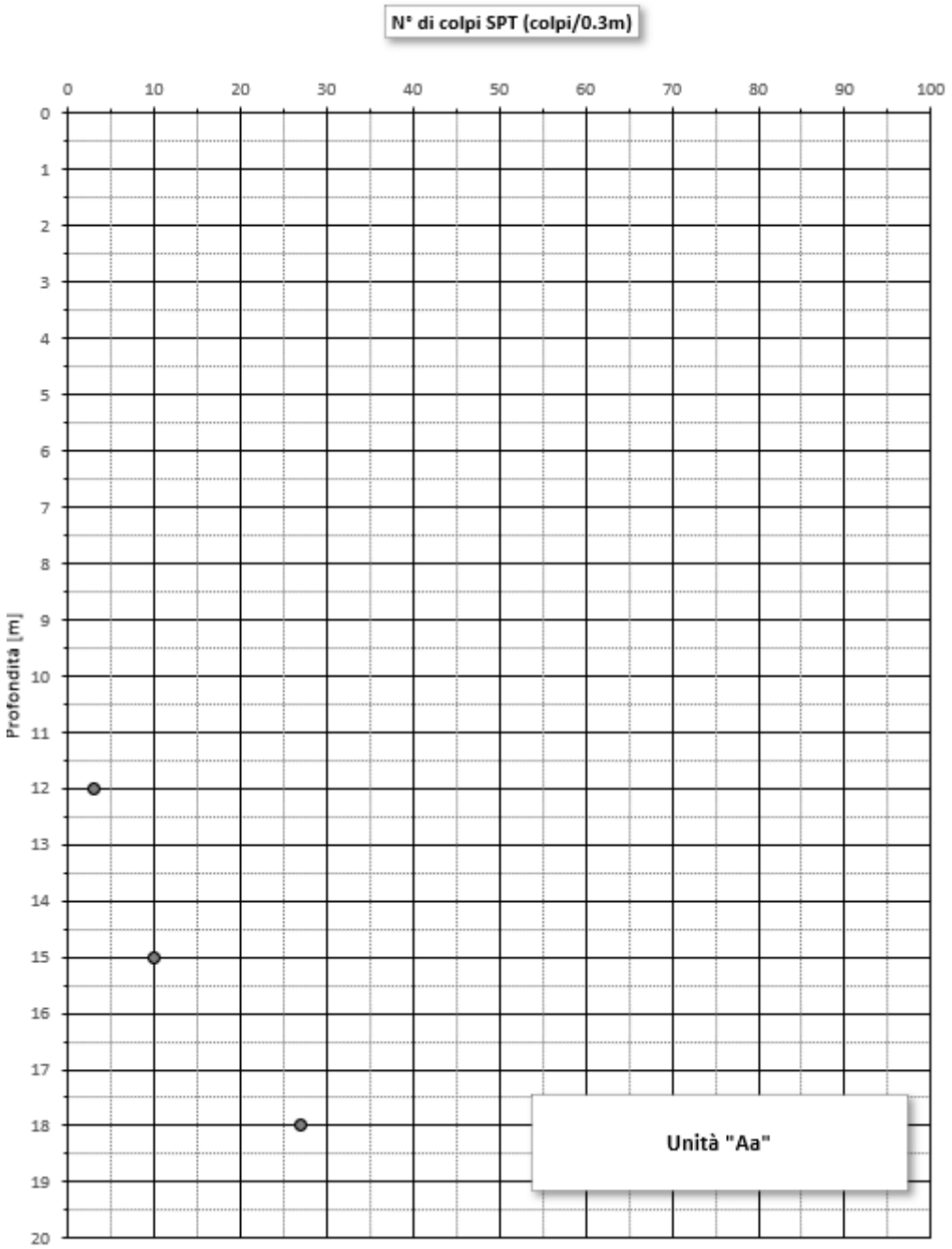

Contenuto naturale d'acqua w_N (%)
Limite liquido w_L (%)
Limite plastico w_P (%)
wl (%)
wp (%)
wn (%)
Profondità [m]
Unità "Aa"

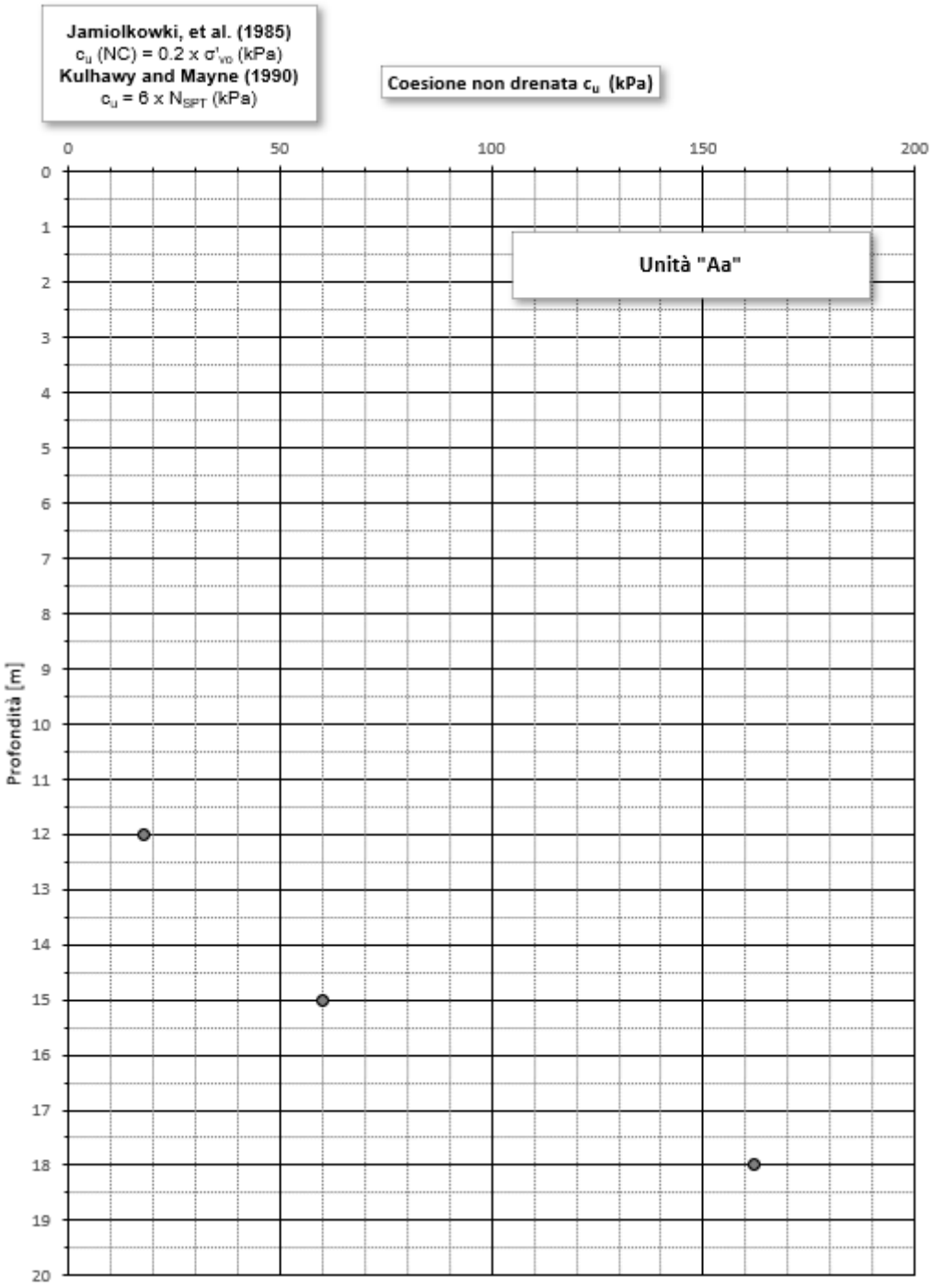

Peso specifico dei granuli γ_s (KN/m³)
25,00
26,00
27,00
28,00
29,00
30,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Profondità [m]
Unità "Aa"

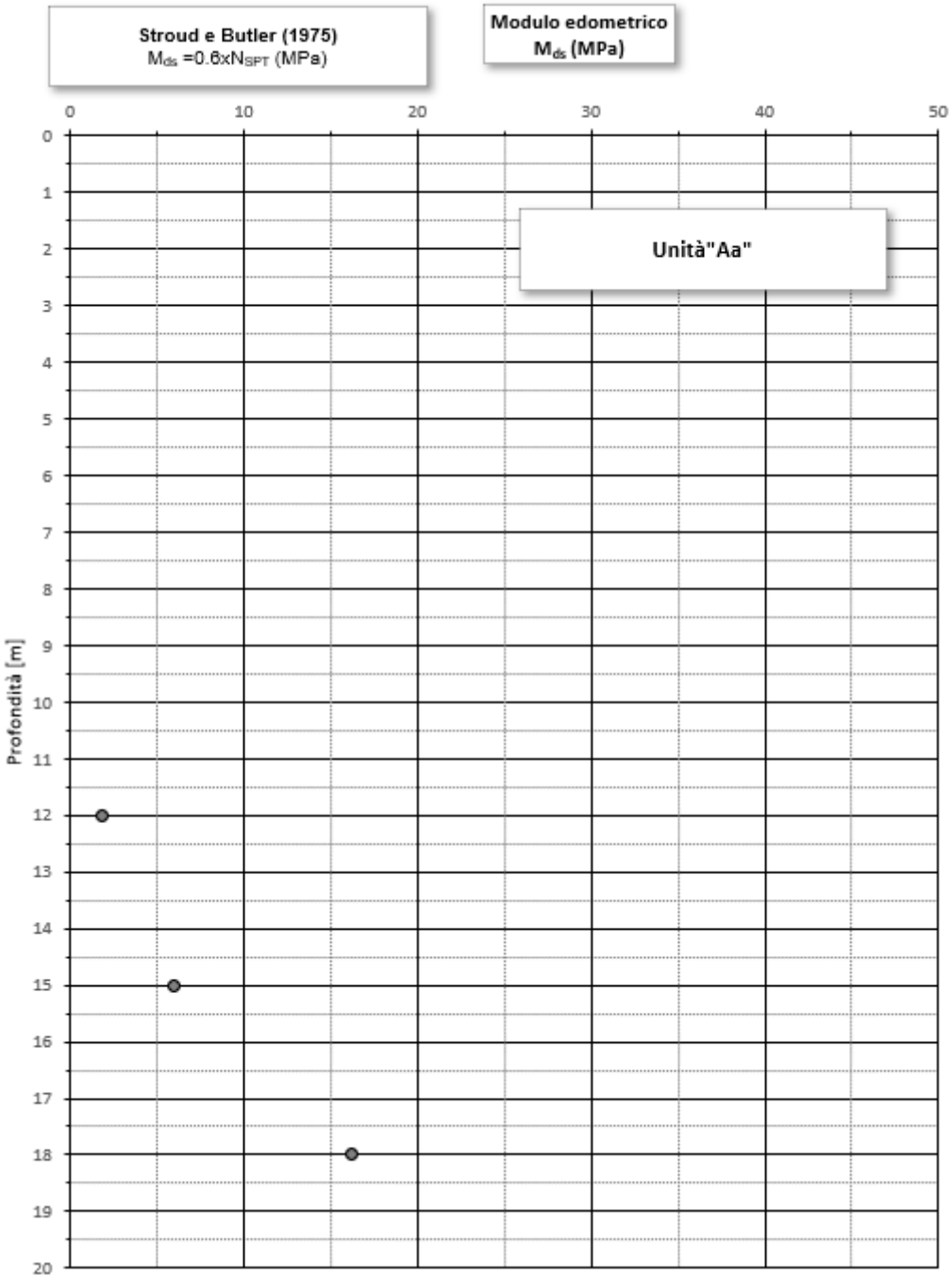

Indice di plasticità I_P (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Unità Aa


Carta di Plasticità
Linea A
CH
MH
ML
CL
CL-ML
Unità "Aa"
Limite Liquido w_L (%)
Indice di Plasticità Ip (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

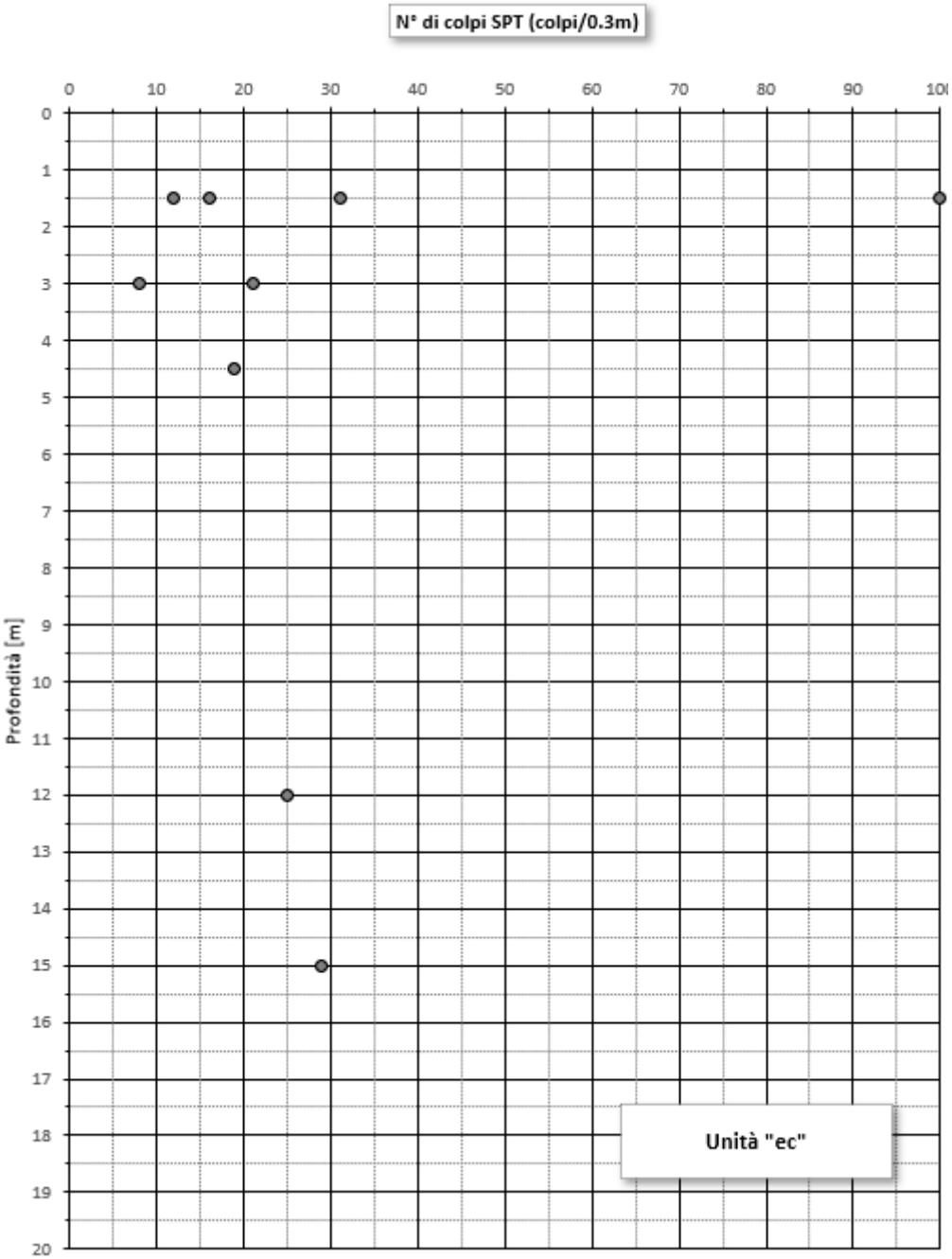

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Unità Aa

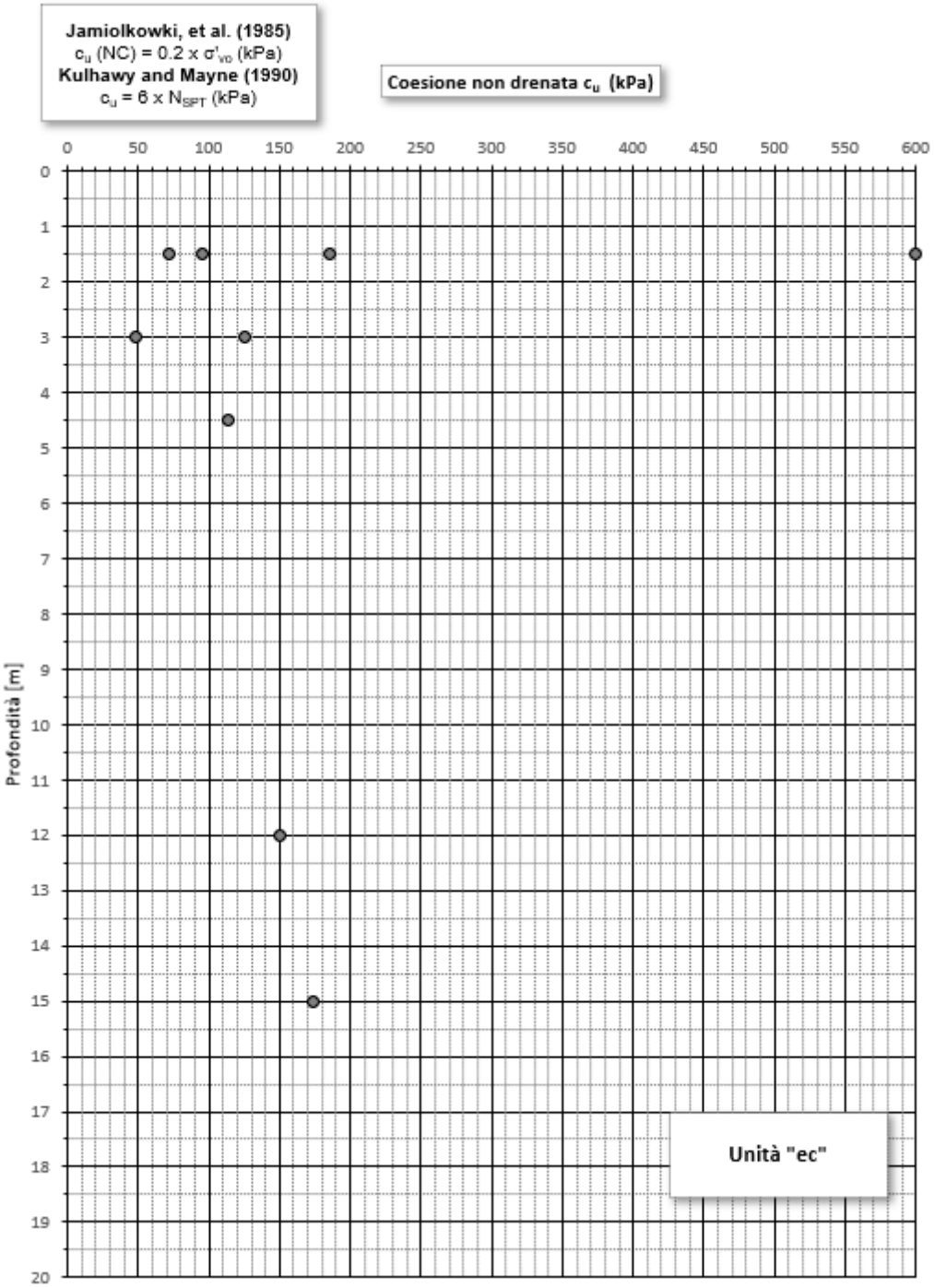

N° di colpi SPT (colpi/0.3m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
Unità "Aa"

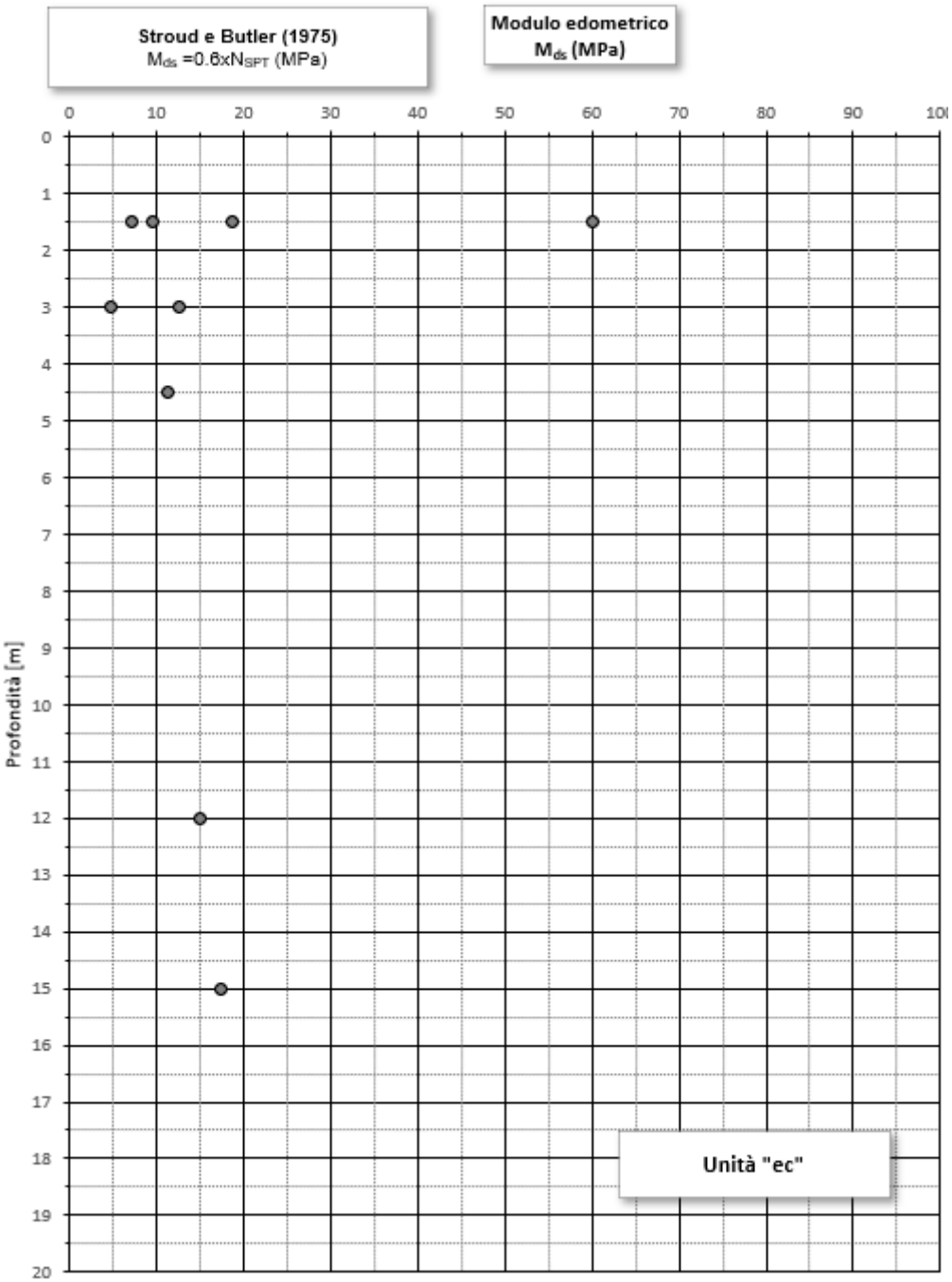

Jamiolkowki, et al. (1985)
c_u (NC) = 0.2 x σ'_{vo} (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
c_u = 6 x N_{SPT} (kPa)
Coesione non drenata c_u (kPa)
0
50
100
150
200
Unità "Aa"
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20


Stroud e Butler (1975)
M_{ds} =0.6xN_{SPT} (MPa)
Modulo edometrico
M_{ds} (MPa)
Unità"Aa"
Profondità [m]
0
10
20
30
40
50
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

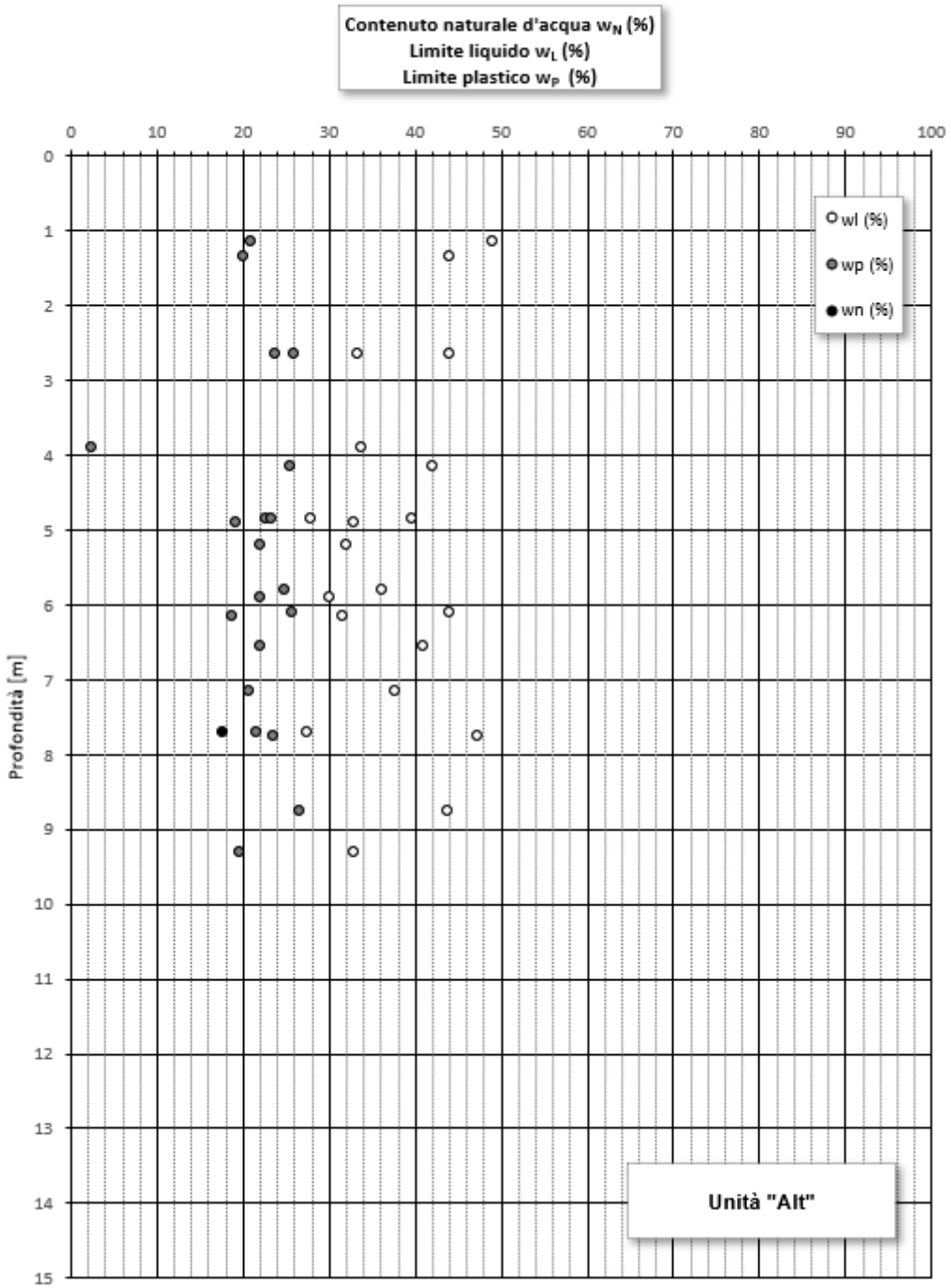
14.3 Unità “ec”

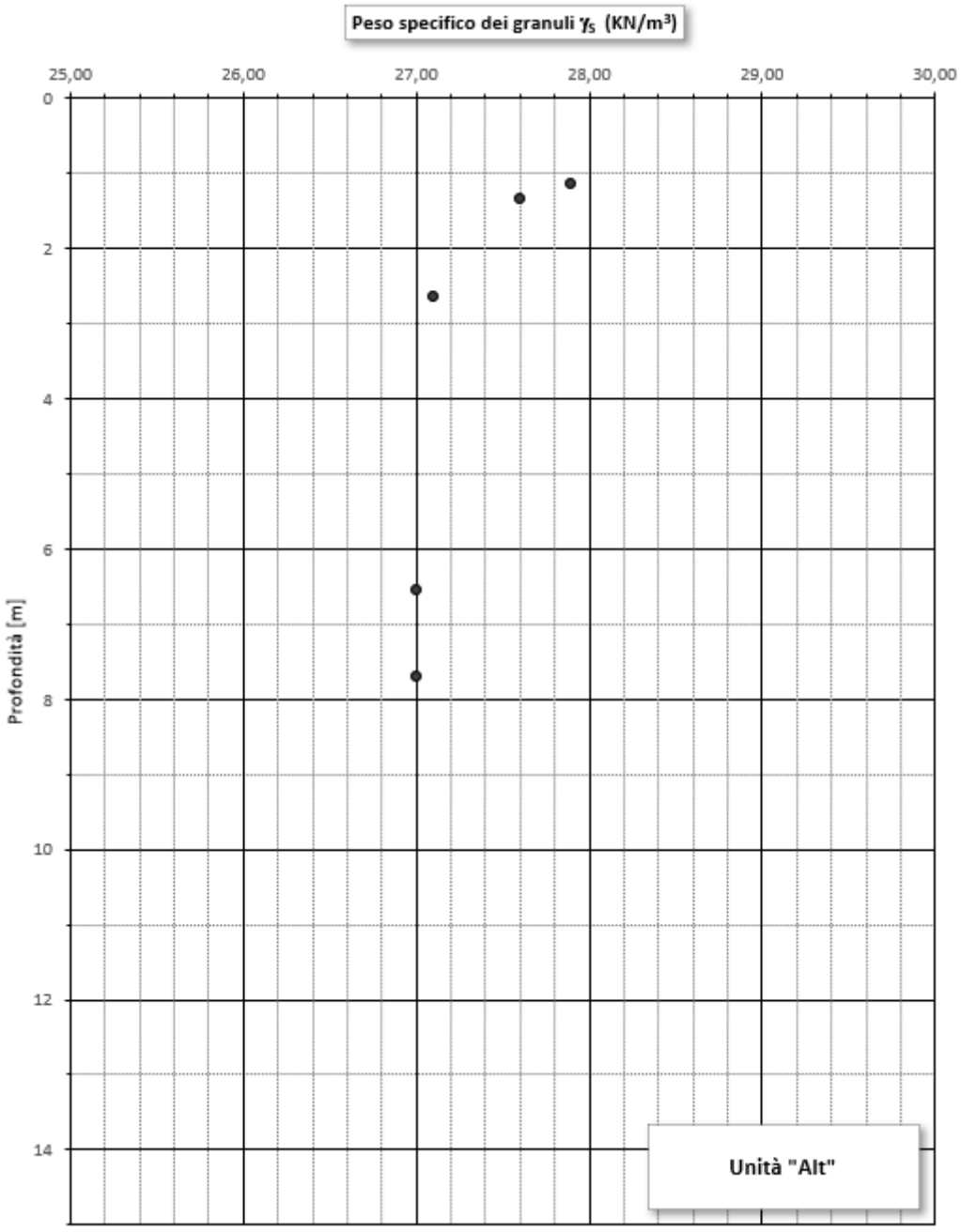


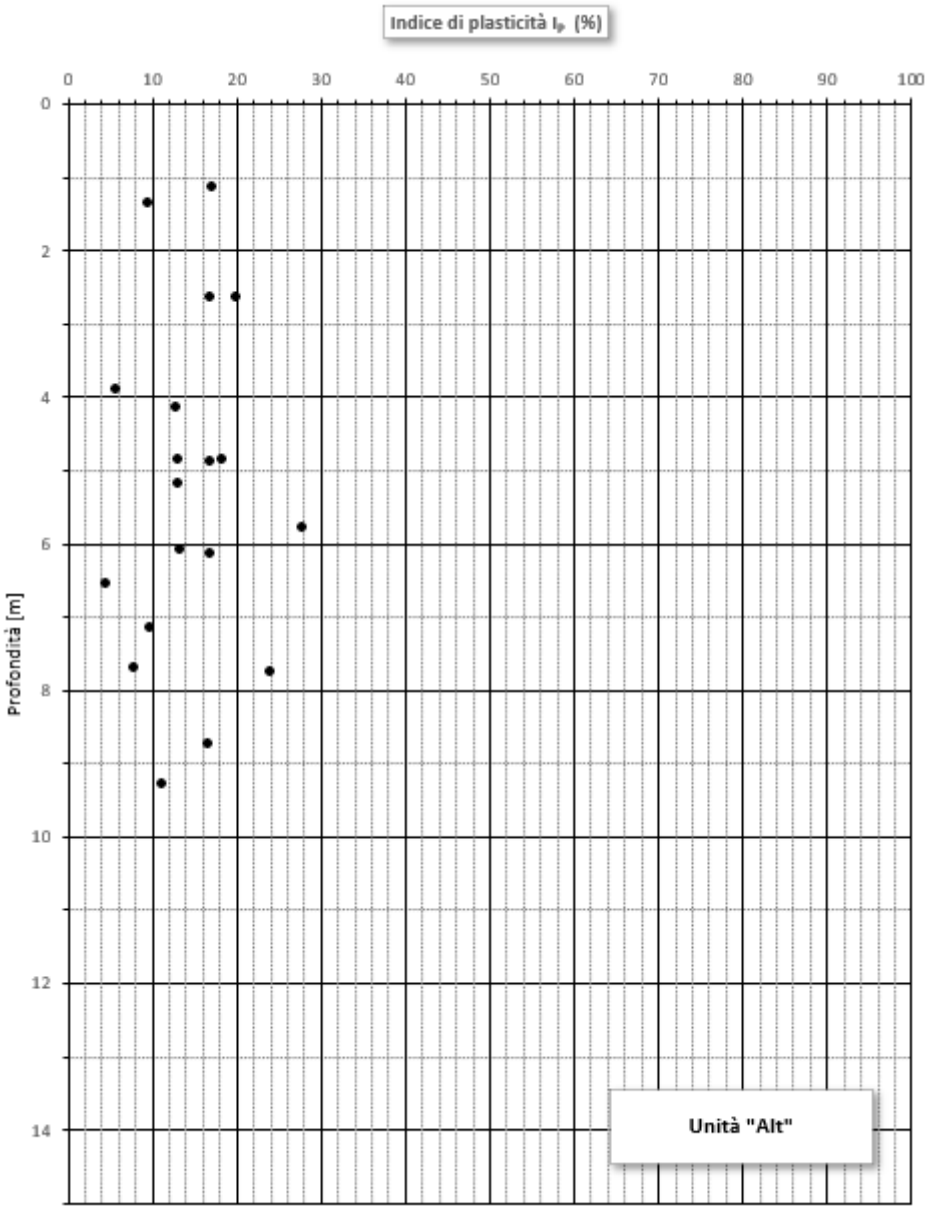

Jamiolkowki, et al. (1985)
c_u (NC) = 0.2 x σ'_{vo} (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
c_u = 6 x N_{SPT} (kPa)
Coesione non drenata c_u (kPa)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Profondità [m]
Unità "ec"

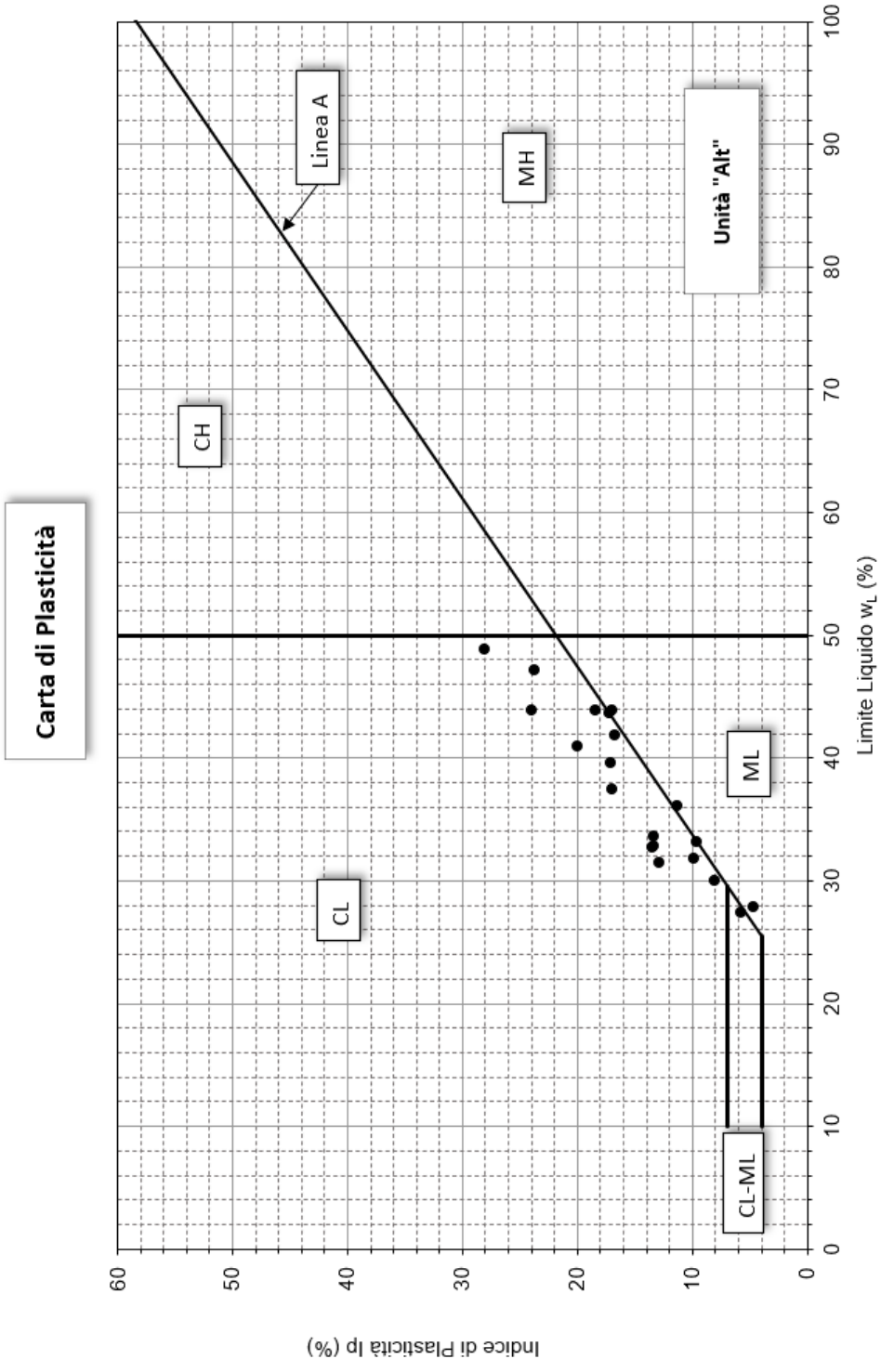

Stroud e Butler (1975)
Mds =0.6xNSPT (MPa)
Modulo edometrico
Mds (MPa)
Profondità [m]
Unità "ec"

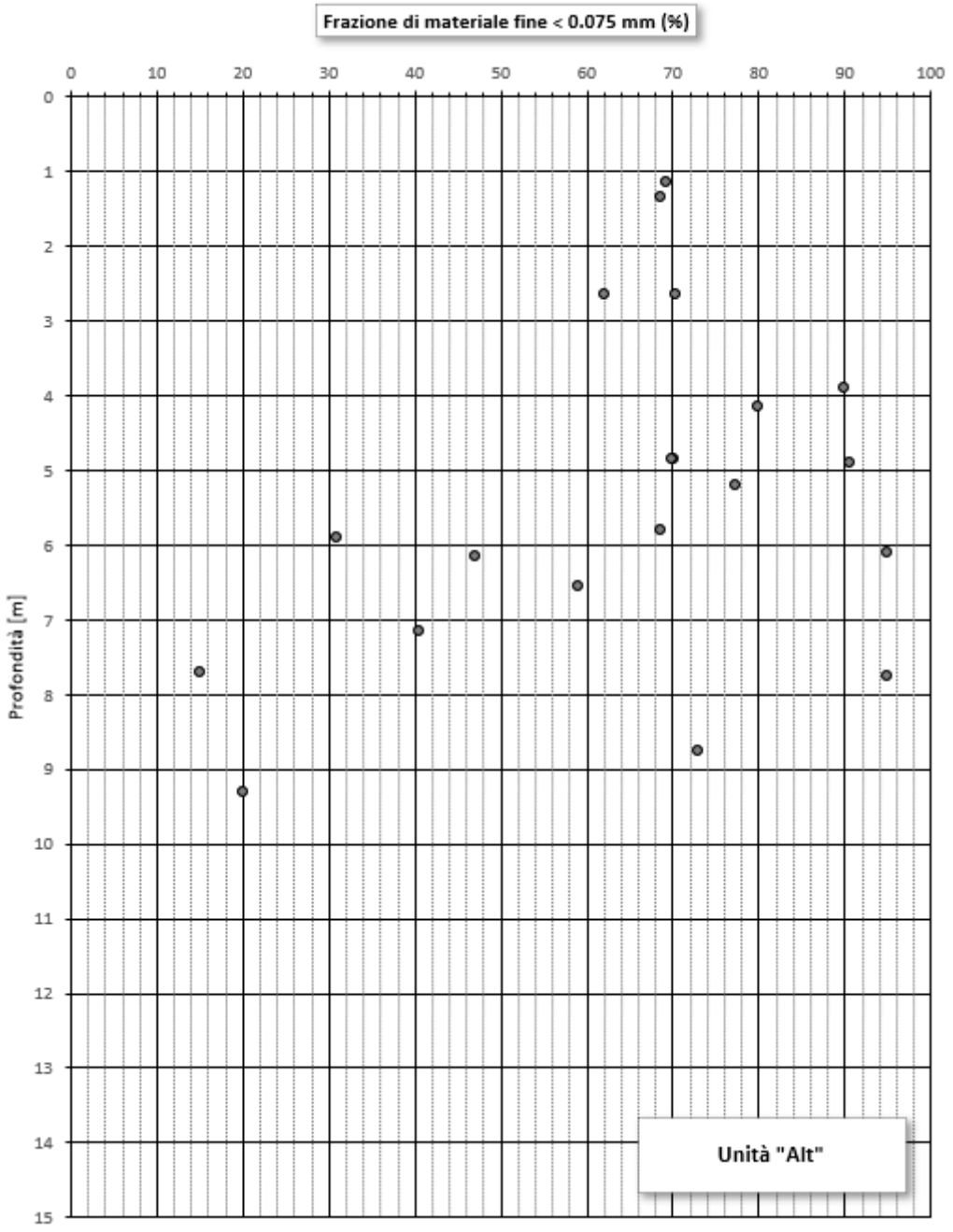
14.4 Unità "Alt"

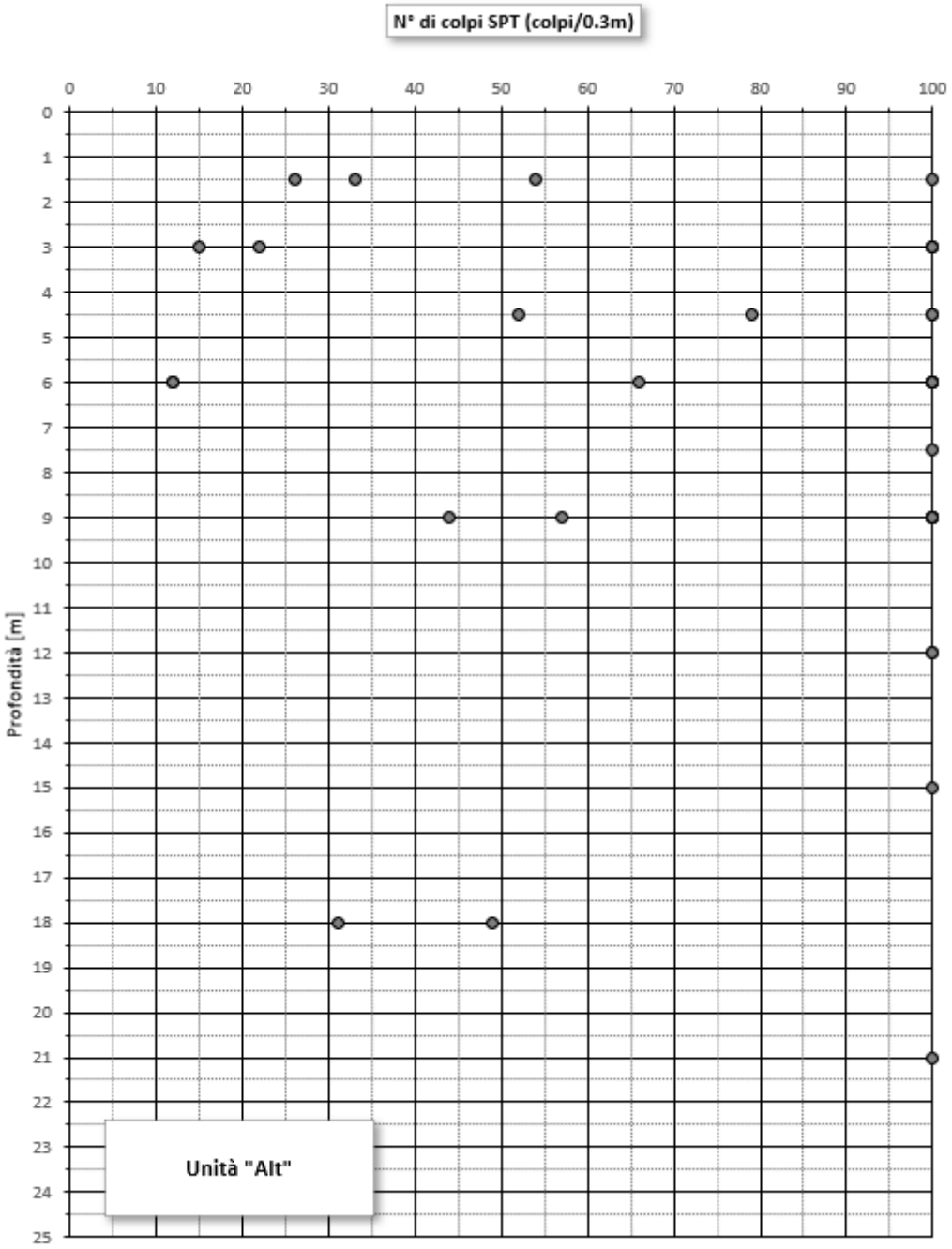


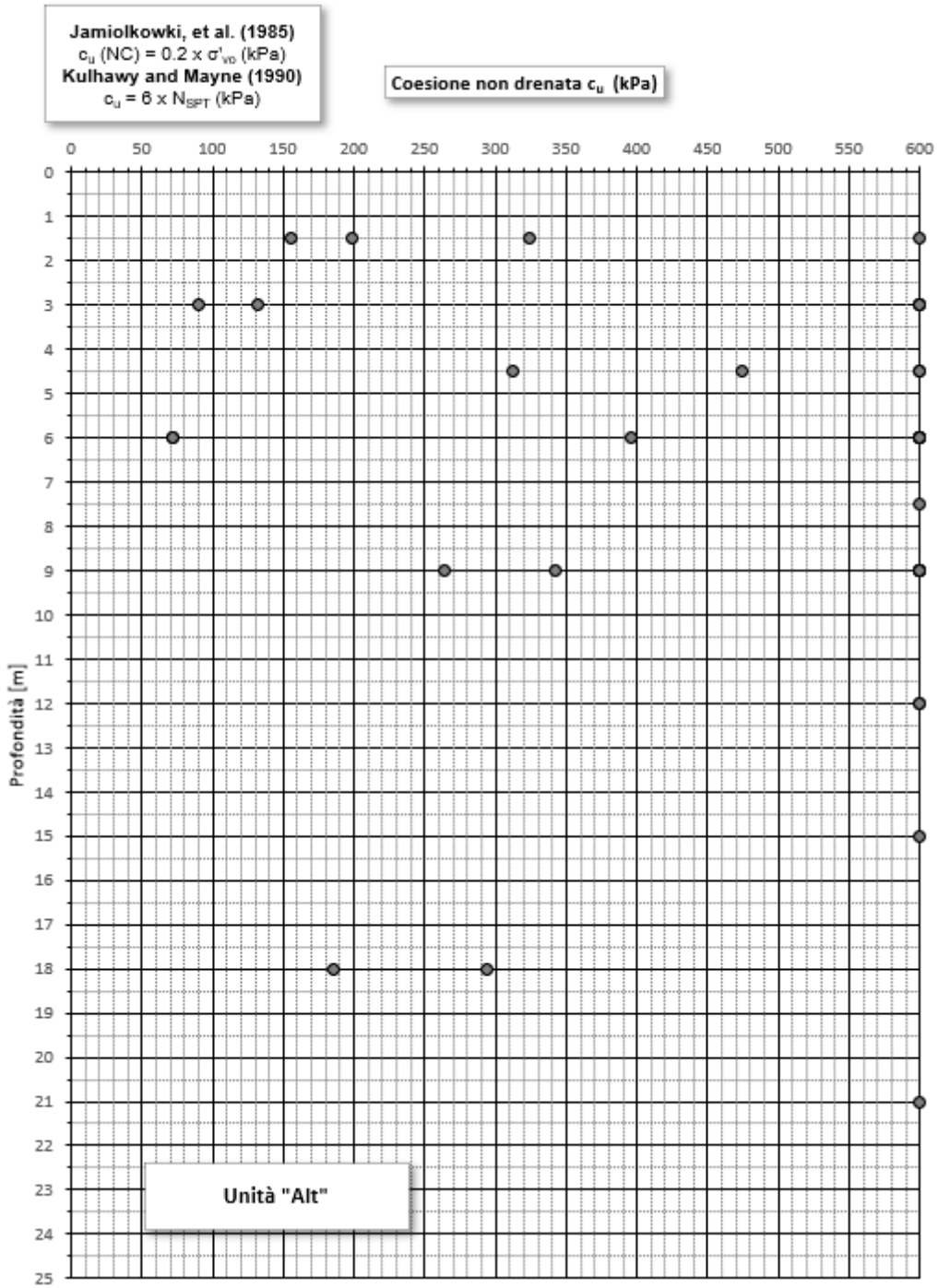

Peso specifico dei granuli γ_S (KN/m^3)
25,00
26,00
27,00
28,00
29,00
30,00
0
2
4
6
8
10
12
14
Profondità [m]
Unità "Alt"

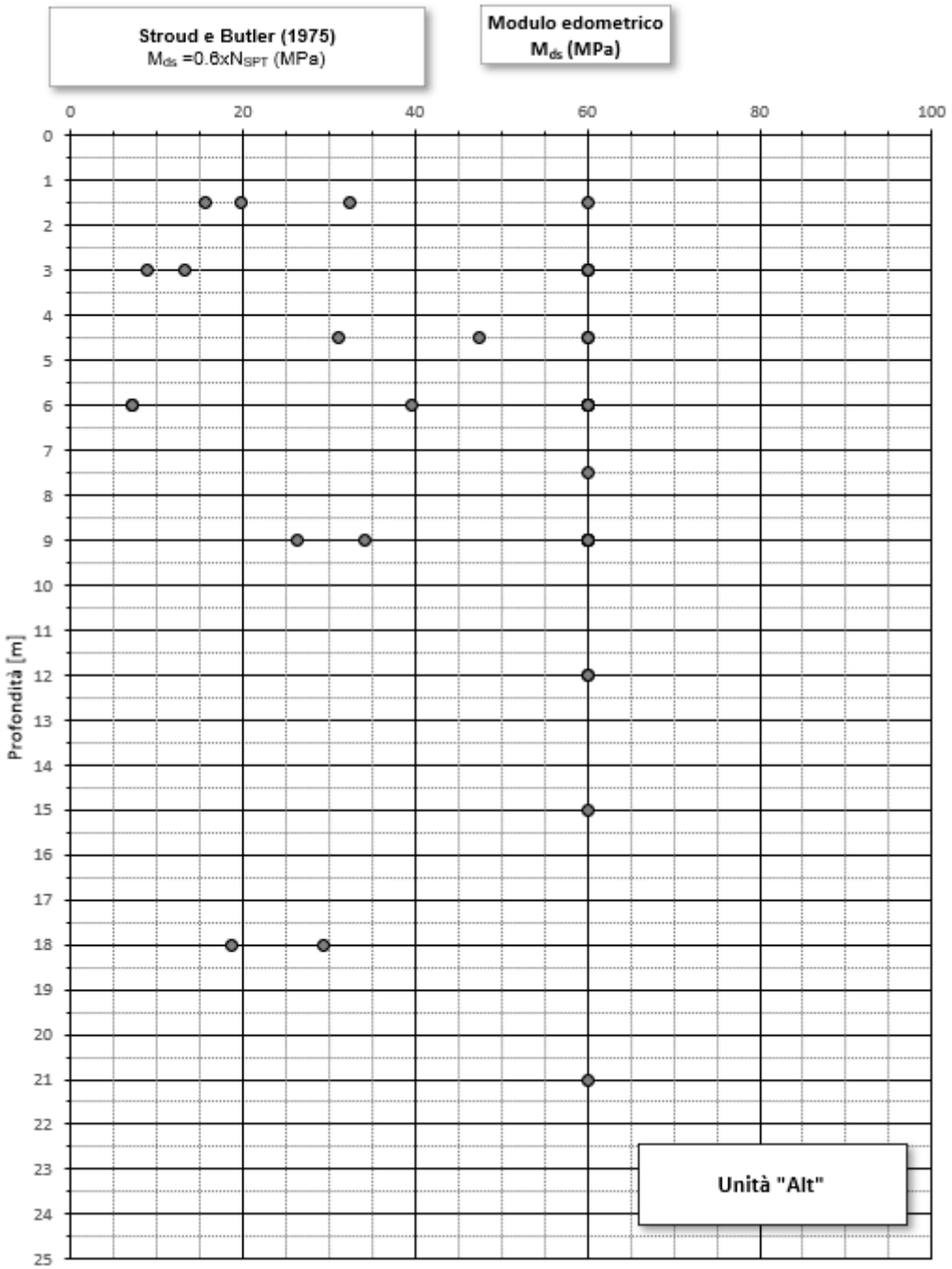

Indice di plasticità I_p (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
2
4
6
8
10
12
14
Unità "Alt"


Carta di Plasticità
Linea A
CH
MH
Unità "Alt"
CL
ML
CL-ML
Limite Liquido w_L (%)
Indice di Plasticità Ip (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

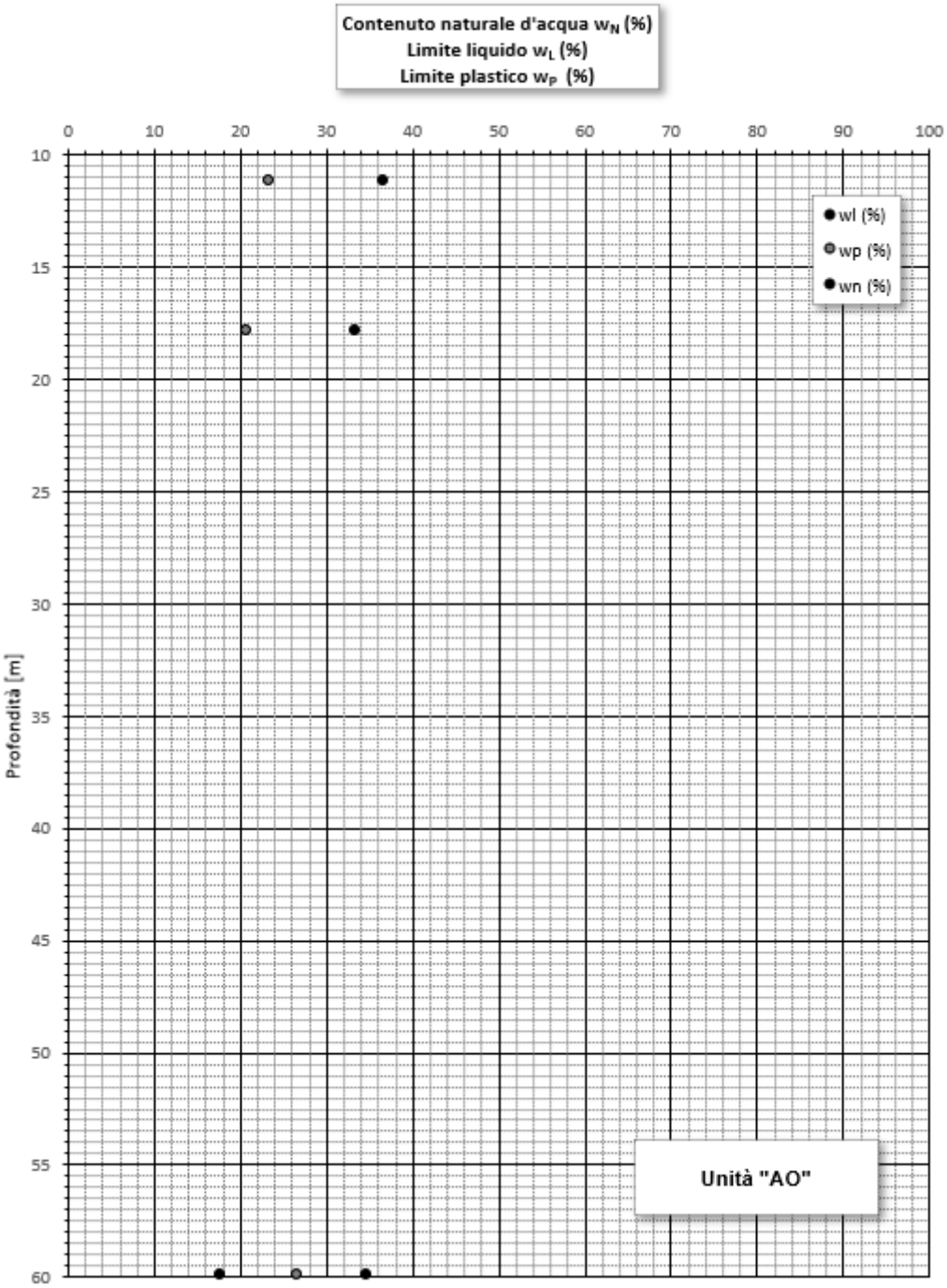

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Unità "Alt"

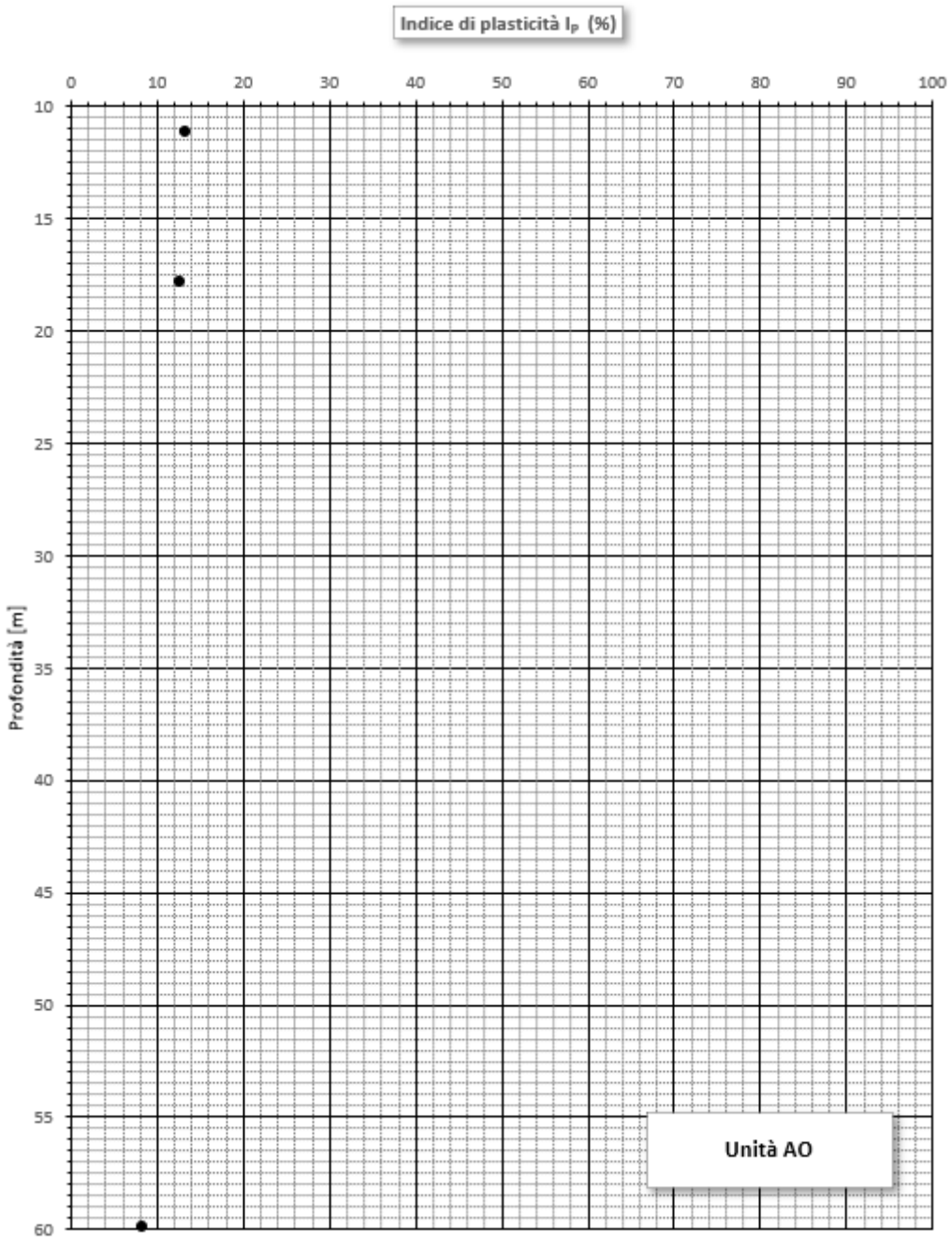

N° di colpi SPT (colpi/0.3m)
Profondità [m]
Unità "Alt"

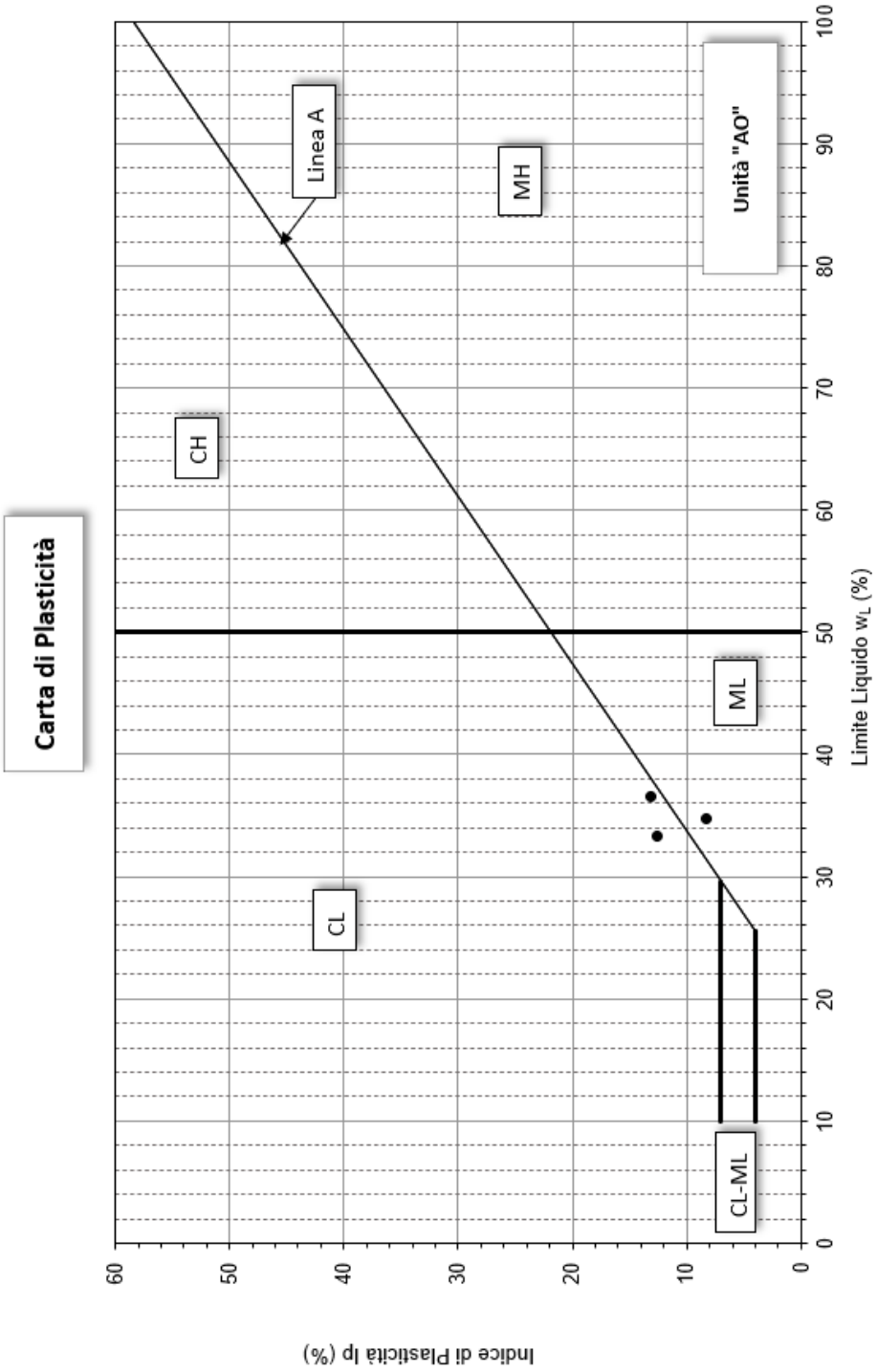

Jamiolkowki, et al. (1985)
c_u (NC) = 0.2 x σ'_{vo} (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
c_u = 6 x N_{SPT} (kPa)
Coesione non drenata c_u (kPa)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
Profondità [m]
Unità "Alt"

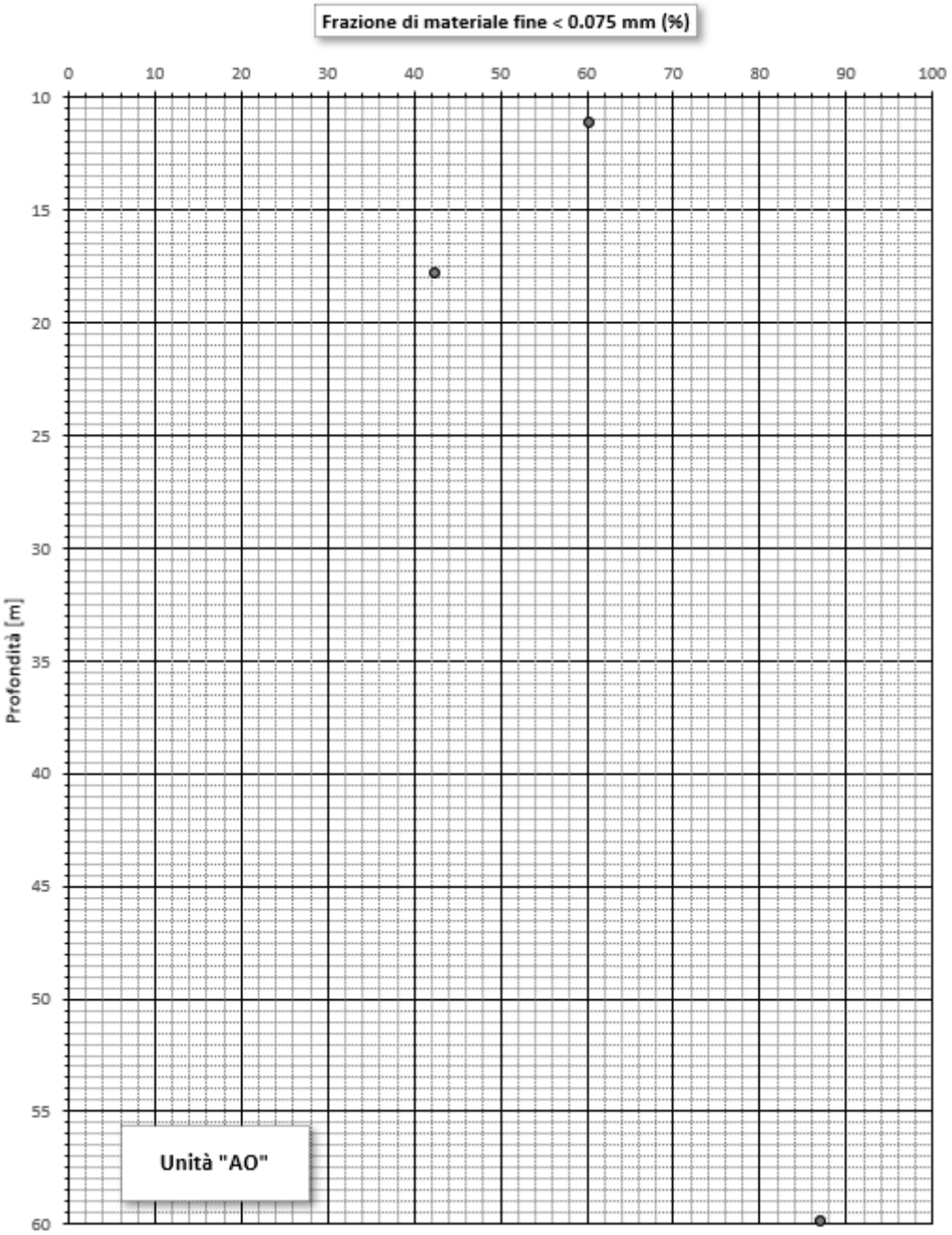

Stroud e Butler (1975)
Mds =0.6xNSPT (MPa)
Modulo edometrico
Mds (MPa)
0
20
40
60
80
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
Unità "Alt"

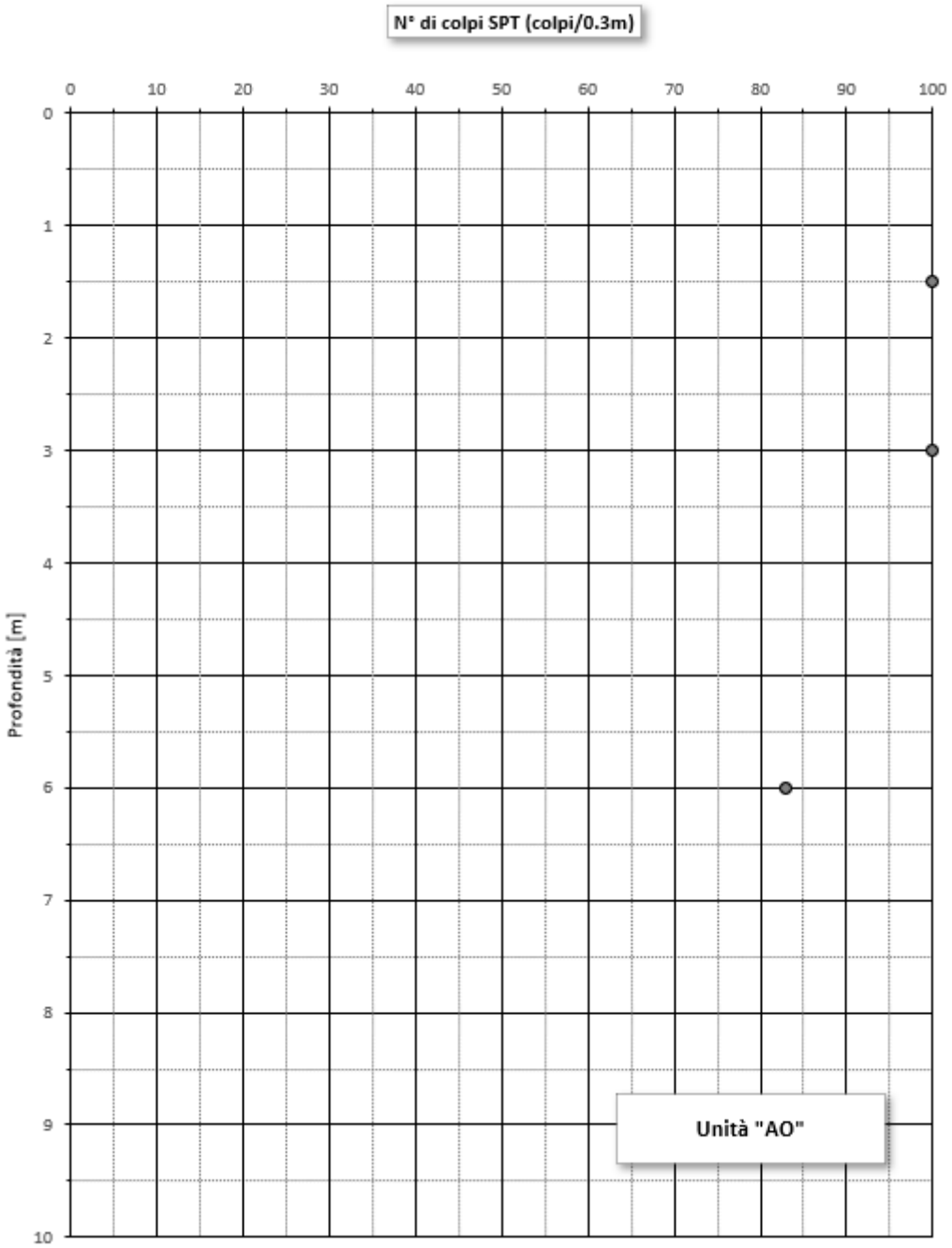
14.5 Unità "AO"

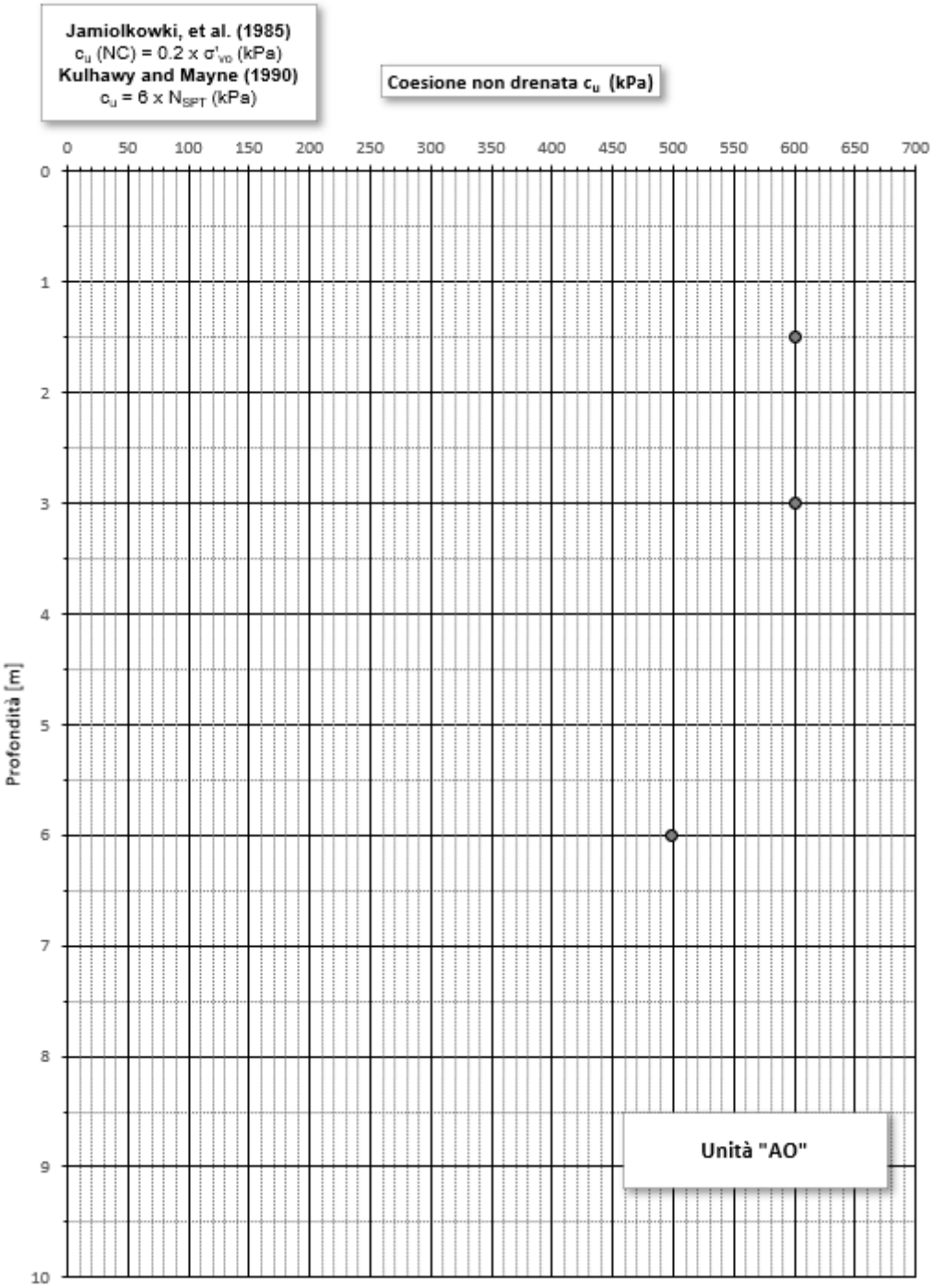

Contenuto naturale d'acqua w_N (%)
Limite liquido w_L (%)
Limite plastico w_P (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
Profondità [m]
wl (%)
wp (%)
wn (%)
Unità "AO"

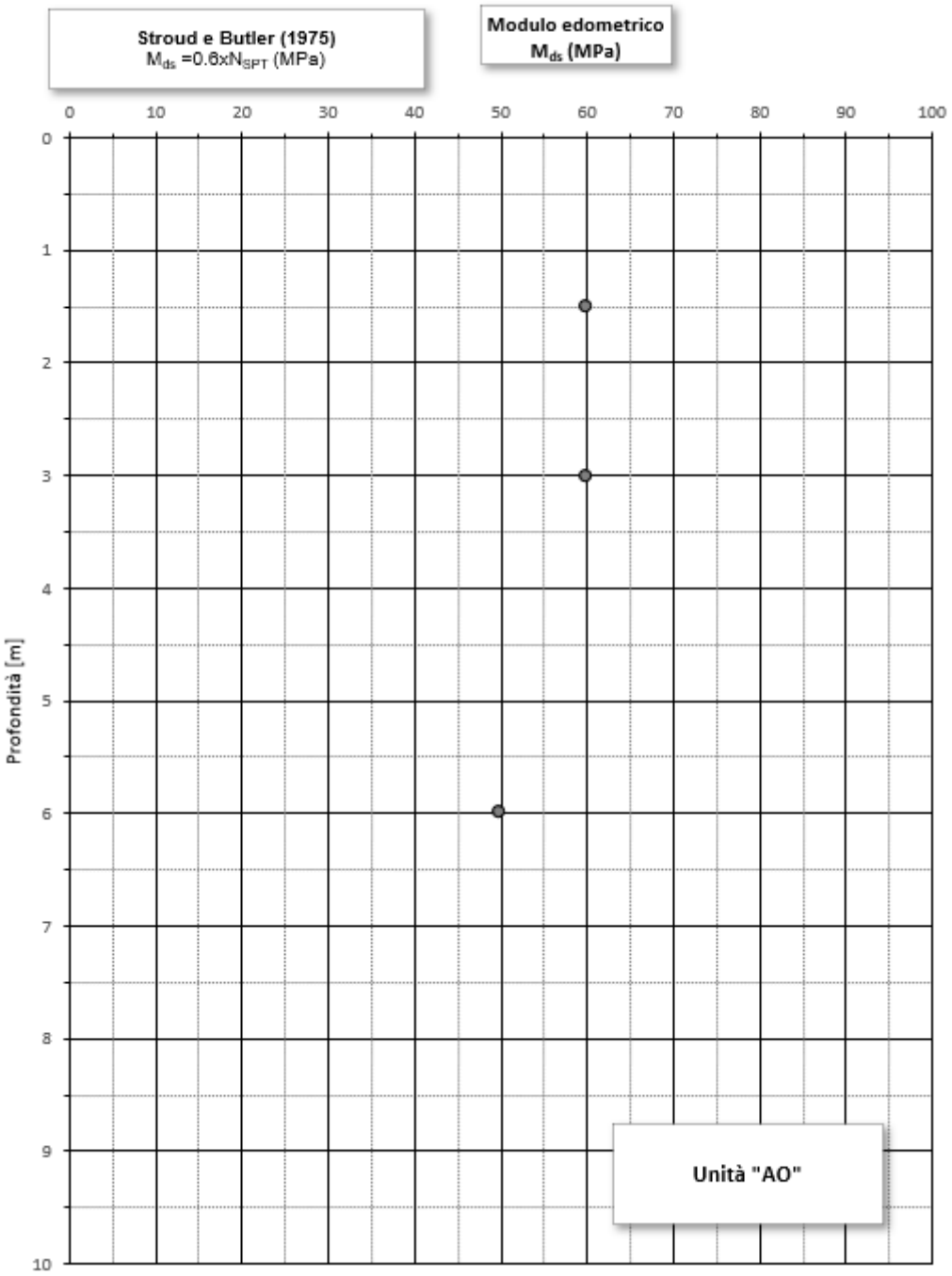

Indice di plasticità I_P (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
Unità AO


Carta di Plasticità
Linea A
CH
MH
Unità "AO"
ML
CL
CL-ML
Limite Liquido w_L (%)
Indice di Plasticità Ip (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
60
50
40
30
20
10
0

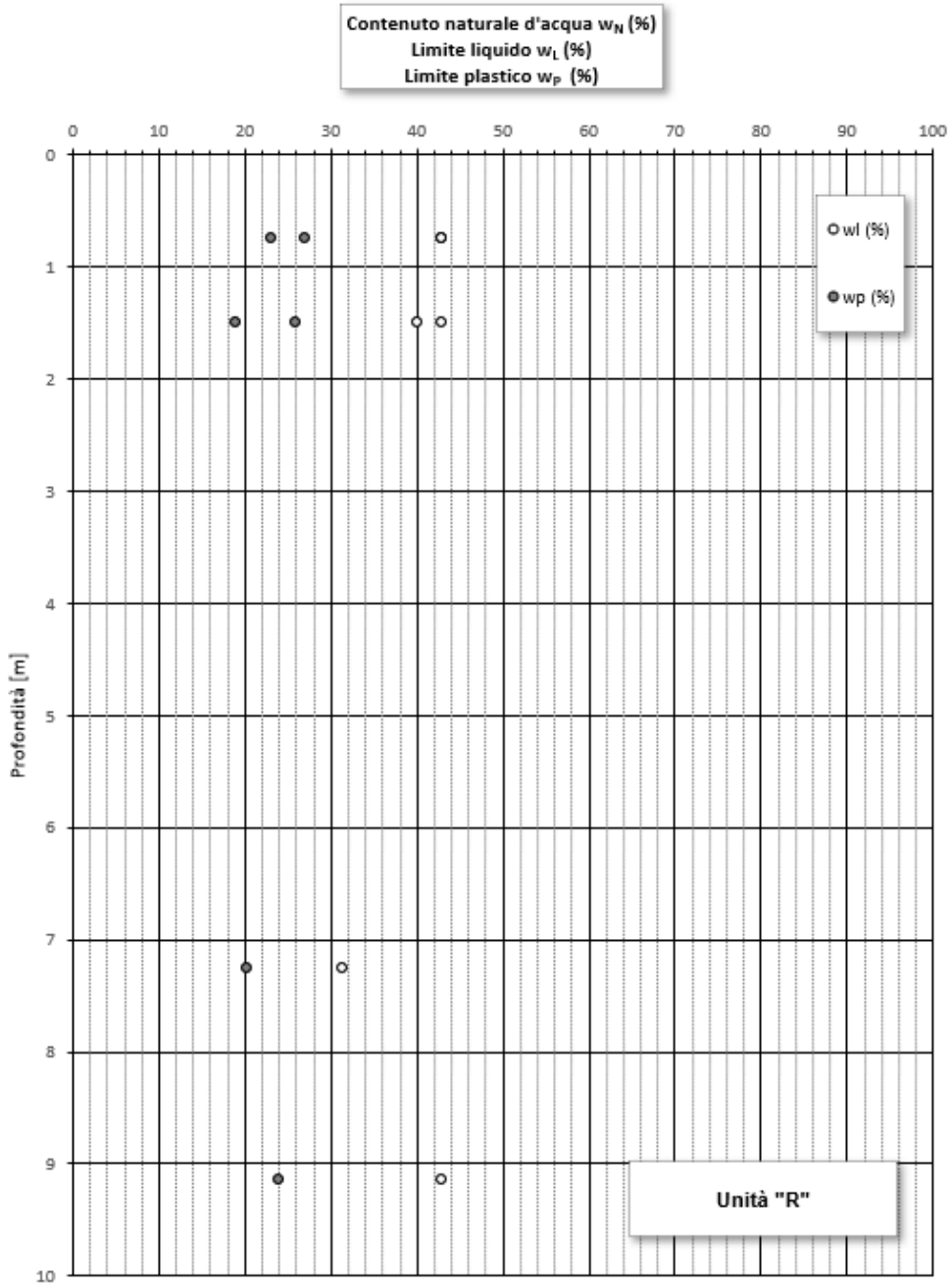

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
Unità "AO"

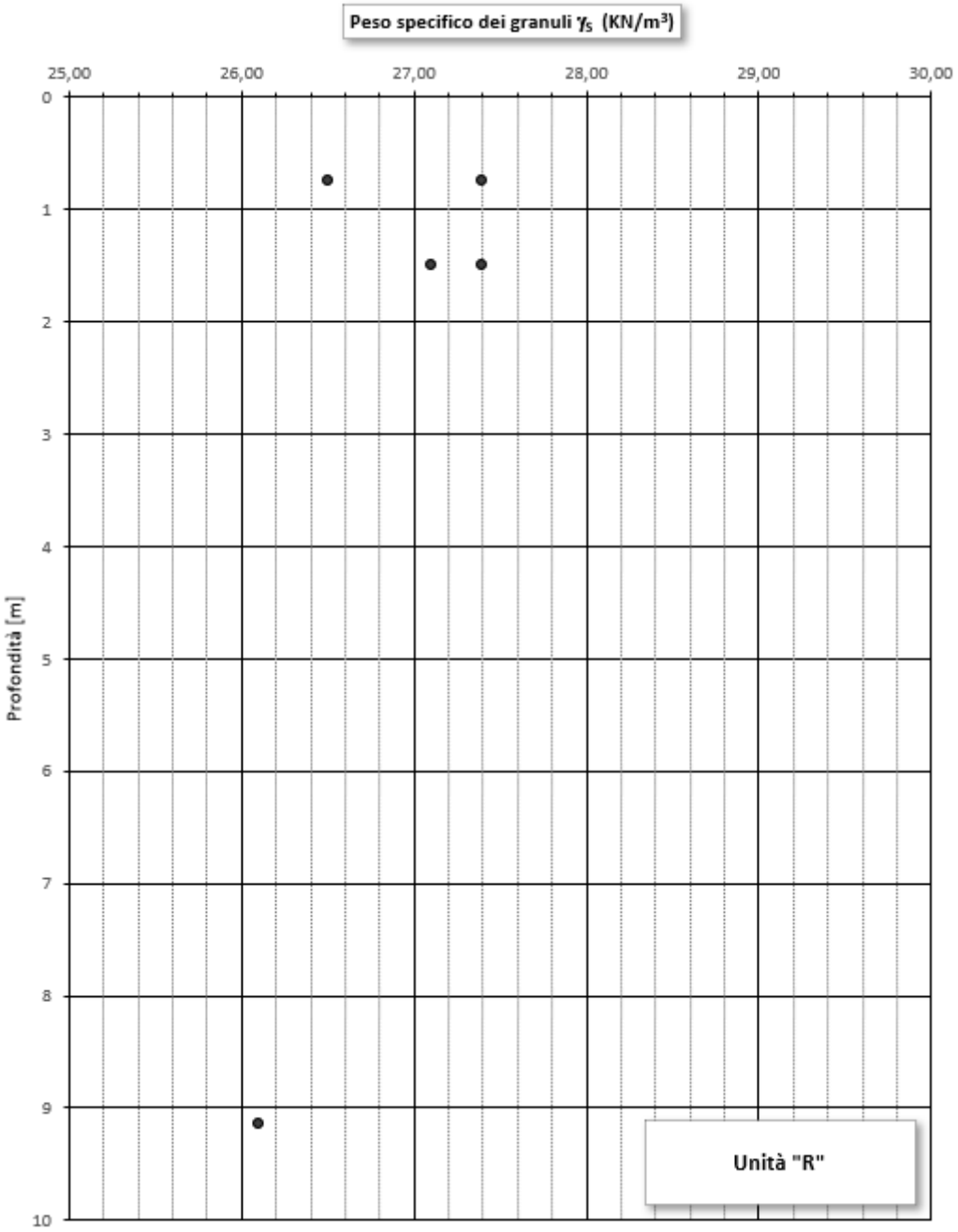

N° di colpi SPT (colpi/0.3m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "AO"

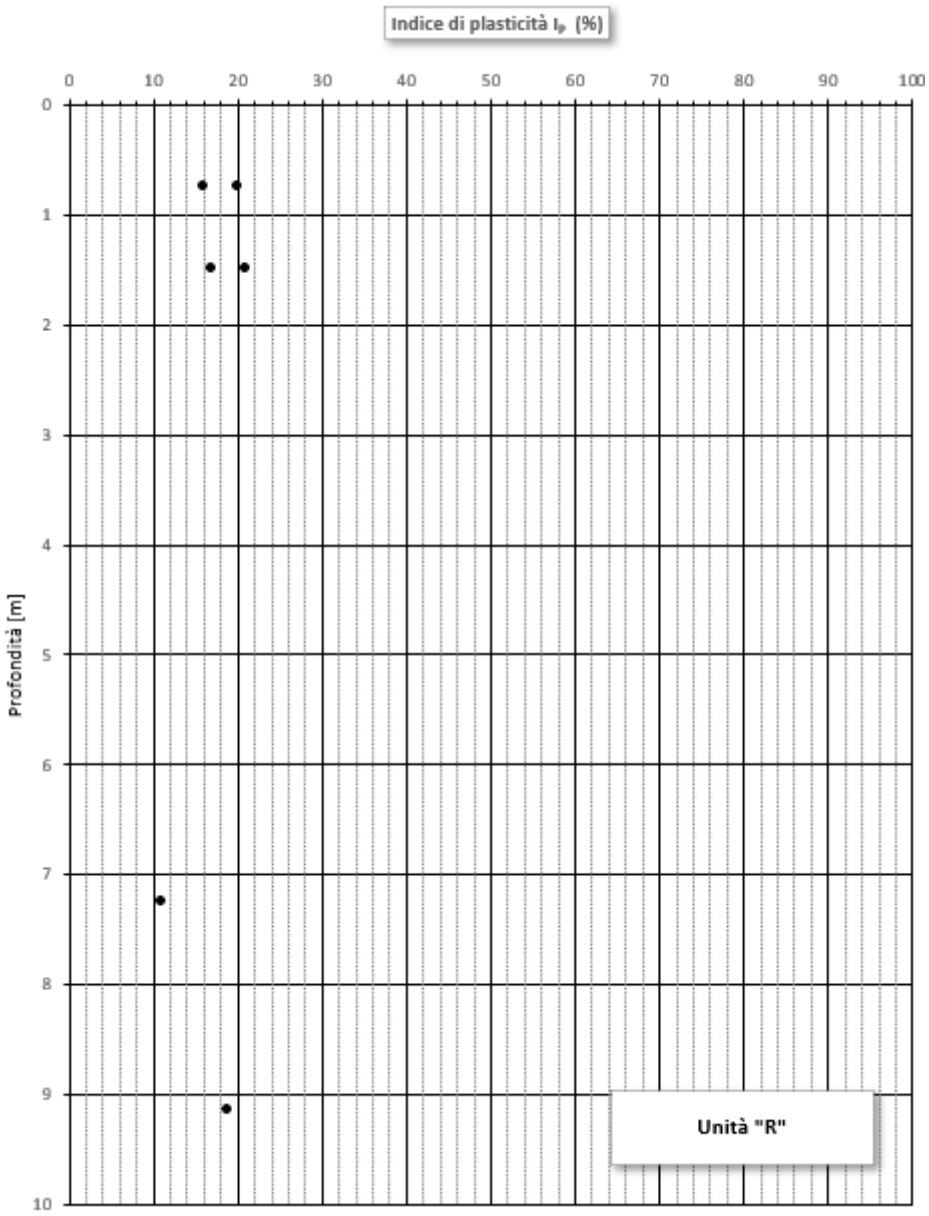

Jamiolkowki, et al. (1985)
c_u (NC) = 0.2 x σ'_{vo} (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
c_u = 6 x N_{SPT} (kPa)
Coesione non drenata c_u (kPa)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Profondità [m]
Unità "AO"

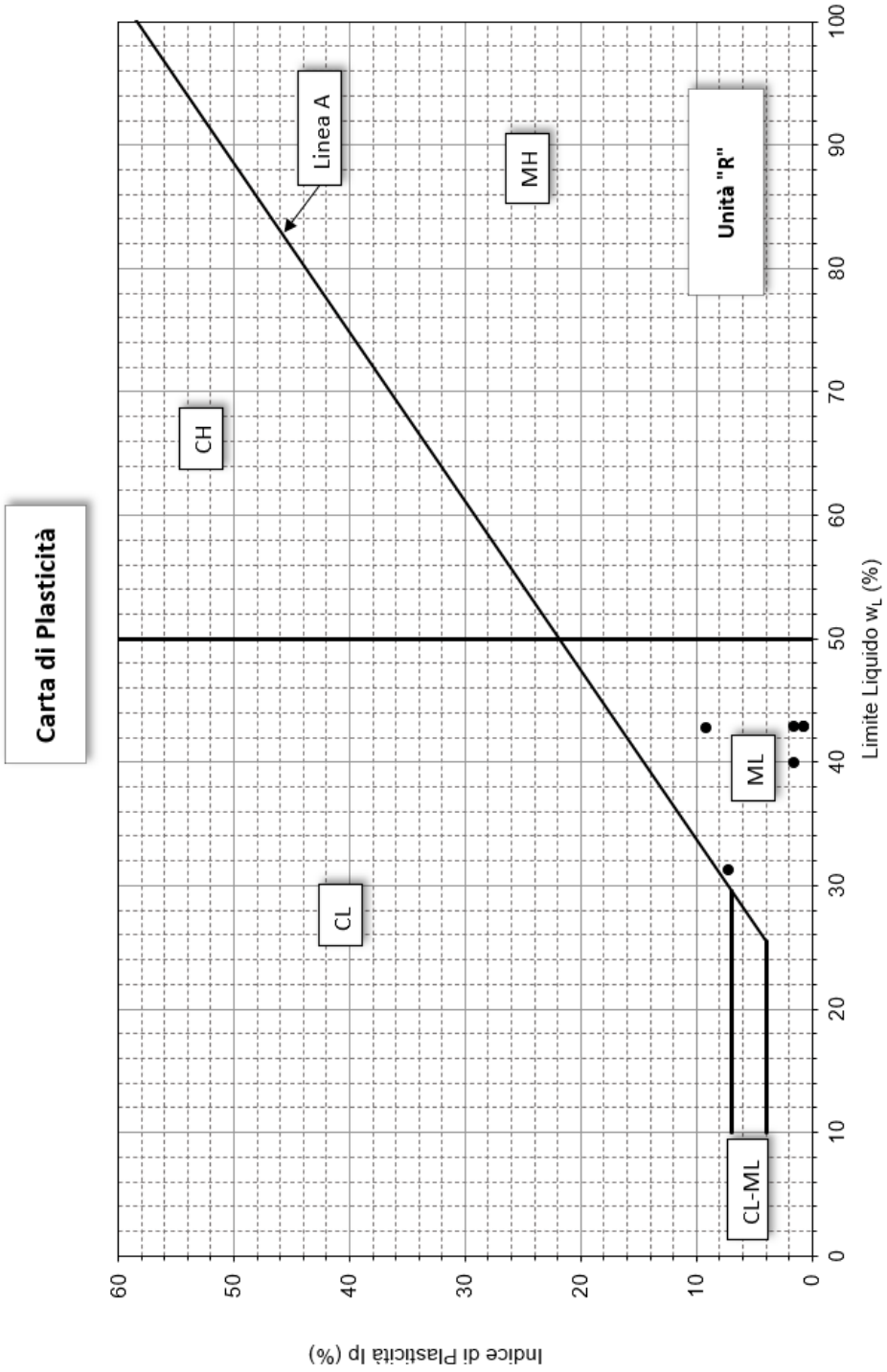

Stroud e Butler (1975)
M_{ds} =0.6xN_{SPT} (MPa)
Modulo edometrico
M_{ds} (MPa)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "AO"

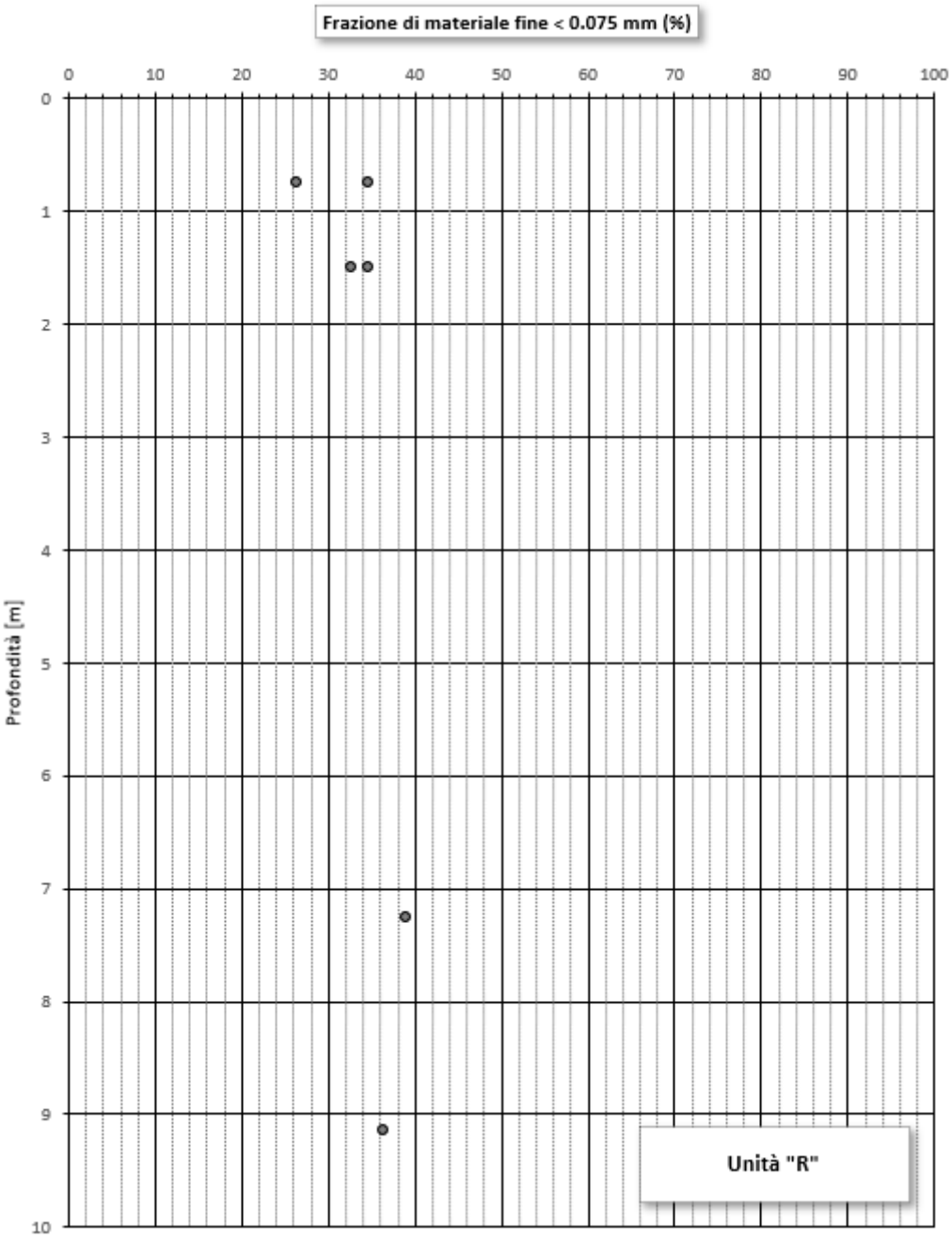
14.6 Unità "R"

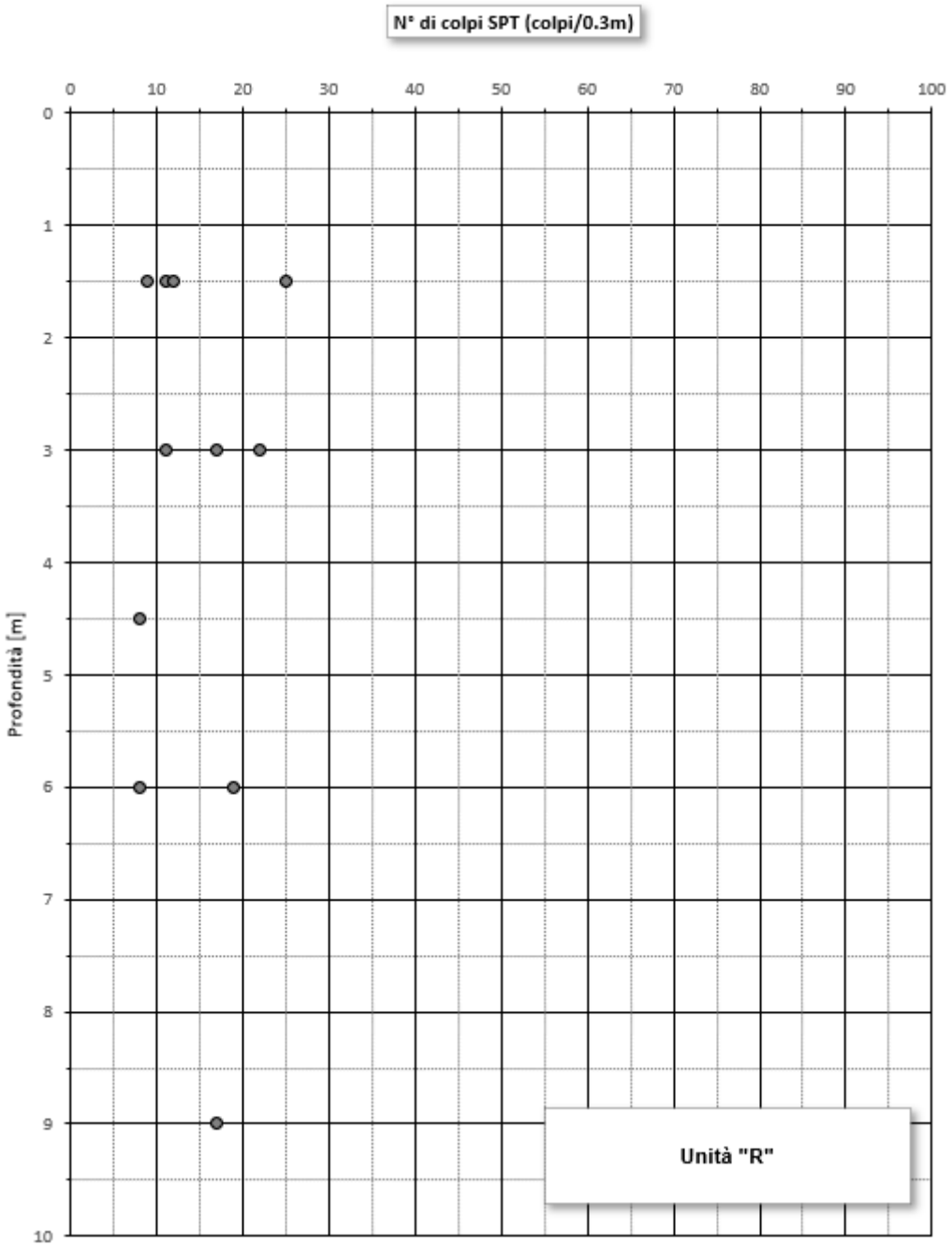

Contenuto naturale d'acqua w_N (%)
Limite liquido w_L (%)
Limite plastico w_P (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Profondità [m]
wl (%)
wp (%)
Unità "R"

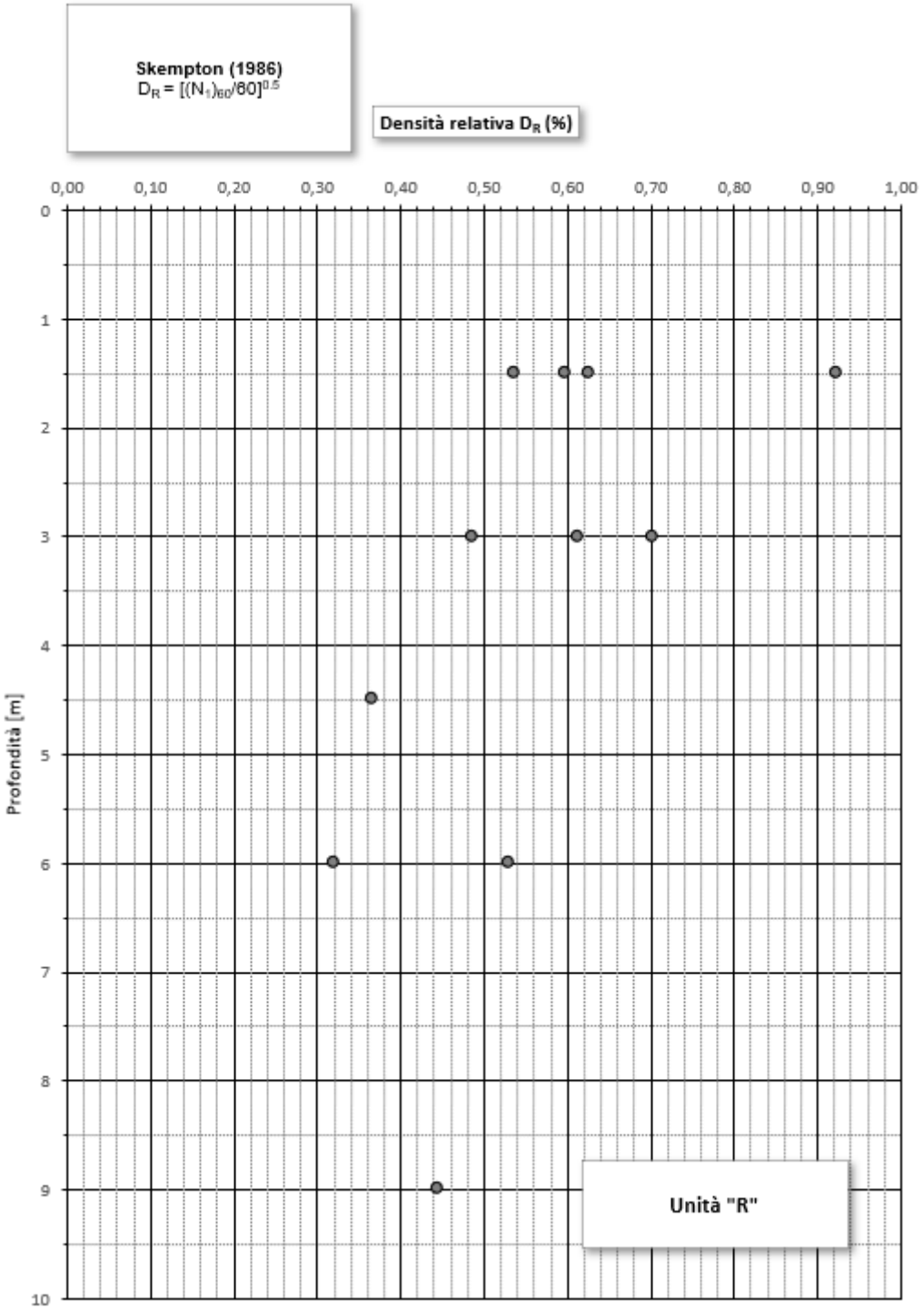

Peso specifico dei granuli γ_S (KN/m³)
25,00
26,00
27,00
28,00
29,00
30,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Profondità [m]
Unità "R"

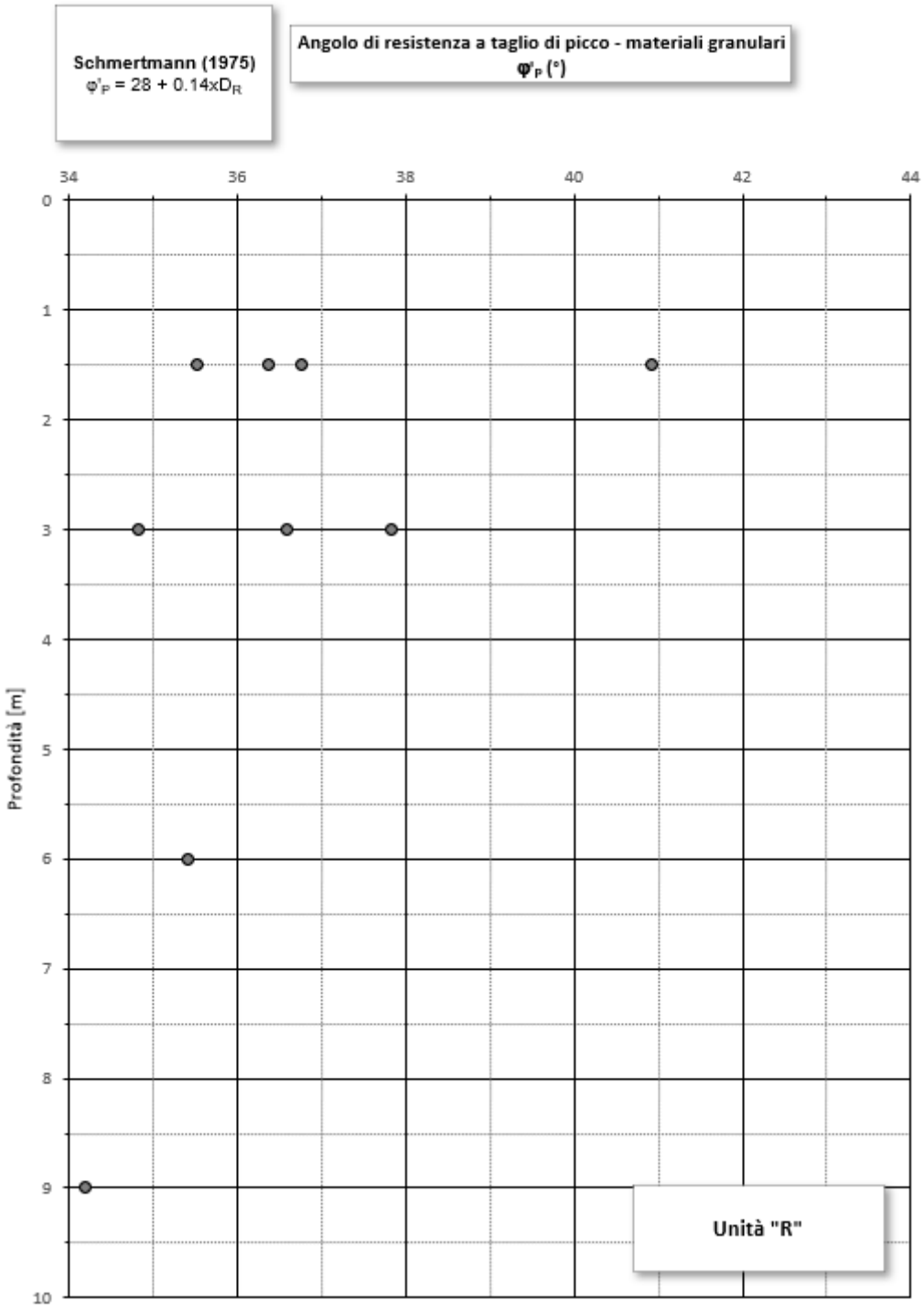

Indice di plasticità I_p (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "R"

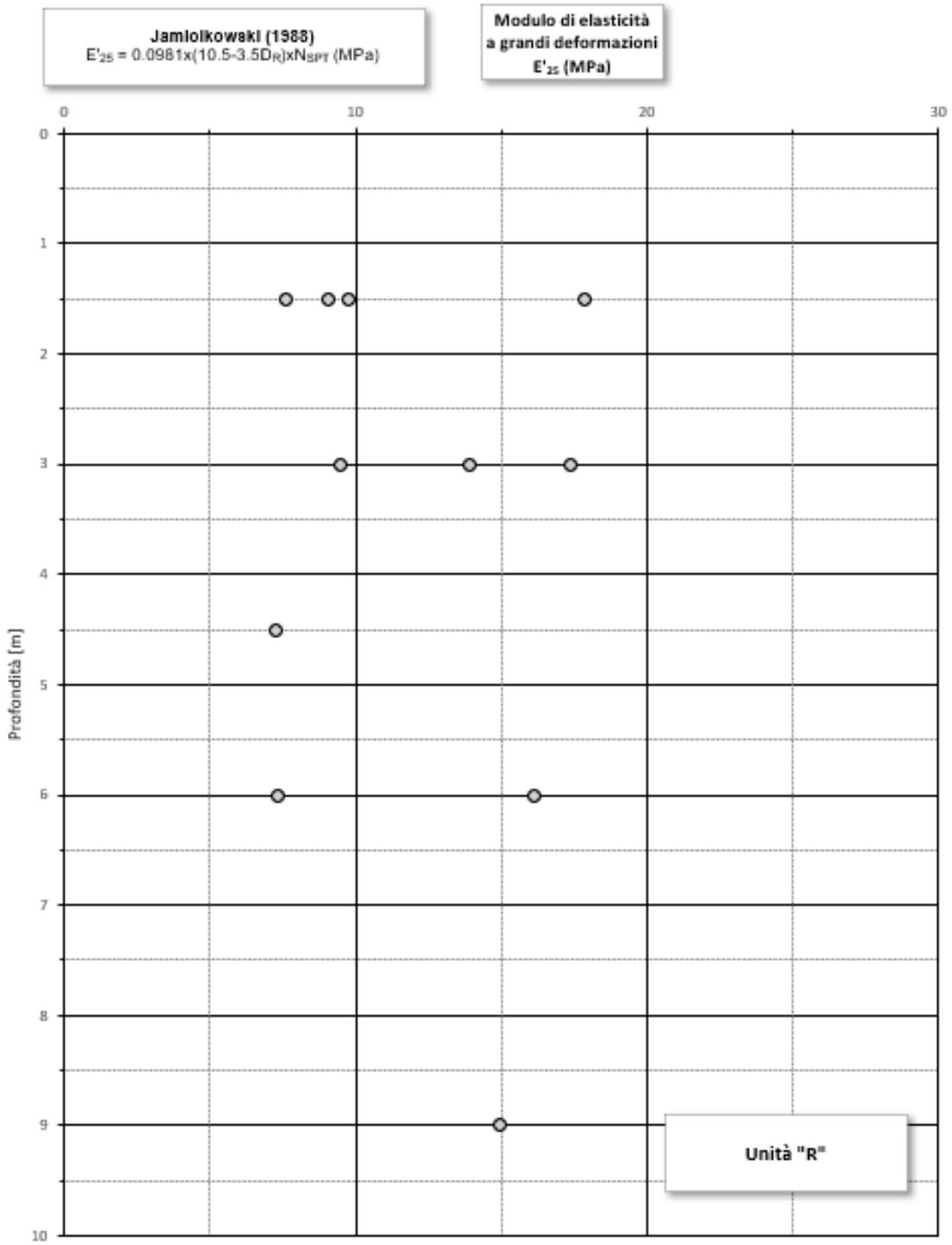

Carta di Plasticità
Linea A
MH
Unità "R"
CH
ML
CL
CL-ML
Limite Liquido w_L (%)
Indice di Plasticità Ip (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Profondità [m]
Unità "R"


N° di colpi SPT (colpi/0.3m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "R"


Skempton (1986)
$D_R = [(N_1)_{60}/60]^{0.5}$
Densità relativa D_R (%)
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "R"


Schmertmann (1975)
φ'P = 28 + 0.14xDR
Angolo di resistenza a taglio di picco - materiali granulari
φ'P (°)
34
36
38
40
42
44
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Profondità [m]
Unità "R"


Jamiolkowski (1988)
E'25 = 0.0981x(10.5-3.5DR)xNSPT (MPa)
Modulo di elasticità a grandi deformazioni E'25 (MPa)
0
10
20
30
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Unità "R"

15 APPENDICE 2 – TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISIONALI E DEFINITIVI

15.1 Imbocco ovest Galleria artificiale Monte Calvario – p.k. 0+120

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 141.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	Aa	ec	Alt	FS2	Berlinese
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	18	19	22	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	19	20	23	
Cohesion [kPa]	4	8	12	40	
Friction Angle [deg]	21.3	20.5	22.2	23.9	
Water Surface	None	None	Water Table	Water Table	None
Hu Value			1	1	
Ru Value	0	0			0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.228940
- Center: 24.414, 31.088
- Radius: 20.076
- Left Slip Surface Endpoint: 7.642, 20.054
- Right Slip Surface Endpoint: 21.632, 11.205
- Resisting Moment=7974.06 kN-m
- Driving Moment=6488.59 kN-m
- Total Slice Area=34.8442 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1441
- Number of Invalid Surfaces: 3410

Error Codes:

- Error Code -102 reported for 2 surfaces
- Error Code -103 reported for 294 surfaces
- Error Code -106 reported for 15 surfaces
- Error Code -107 reported for 1 surface
- Error Code -108 reported for 32 surfaces
- Error Code -114 reported for 927 surfaces
- Error Code -115 reported for 1358 surfaces
- Error Code -1000 reported for 781 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -102 = Two surface / slope intersections, but resulting arc is actually outside soil region.
- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22894**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.603744	5.12357	Aa	4	21.3	4.08682	5.02246	2.62249	0	2.62249
2	0.603744	14.8642	Aa	4	21.3	7.85273	9.65054	14.4929	0	14.4929
3	0.603744	22.9918	Aa	4	21.3	11.1853	13.746	24.9972	0	24.9972
4	0.603744	27.4621	Aa	4	21.3	13.2093	16.2334	31.3772	0	31.3772
5	0.540912	26.7021	ec	8	20.5	16.5677	20.3607	33.0603	0	33.0603
6	0.540912	27.9886	ec	8	20.5	17.4125	21.3989	35.8369	0	35.8369
7	0.540912	28.909	ec	8	20.5	18.0926	22.2347	38.0723	0	38.0723
8	0.540912	29.5072	ec	8	20.5	18.6226	22.886	39.8144	0	39.8144
9	0.553656	30.6381	Alt	12	22.2	22.6077	27.7835	38.6764	0	38.6764
10	0.553656	30.9059	Alt	12	22.2	23.0503	28.3274	40.009	0	40.009
11	0.553656	31.268	Alt	12	22.2	23.53	28.917	41.4538	0	41.4538
12	0.553656	34.2527	Alt	12	22.2	25.3169	31.113	46.835	0	46.835
13	0.553656	37.616	Alt	12	22.2	27.3218	33.5768	52.8724	0	52.8724
14	0.553656	40.7396	Alt	12	22.2	29.2338	35.9266	58.6302	0	58.6302
15	0.553656	41.8491	Alt	12	22.2	30.1292	37.027	61.3268	0	61.3268
16	0.553656	39.1286	Alt	12	22.2	29.0236	35.6683	57.9974	0	57.9974
17	0.553656	36.0957	Alt	12	22.2	27.7175	34.0631	54.0639	0	54.0639
18	0.553656	32.6974	Alt	12	22.2	26.1791	32.1726	49.4315	0	49.4315
19	0.553656	28.9215	Alt	12	22.2	24.3978	29.9834	44.0671	0	44.0671
20	0.553656	24.9568	Alt	12	22.2	22.4719	27.6166	38.2673	0	38.2673
21	0.553656	20.8086	Alt	12	22.2	20.4025	25.0735	32.0356	0	32.0356
22	0.553656	16.4816	Alt	12	22.2	18.1902	22.3547	25.3735	0	25.3735
23	0.553656	11.9795	Alt	12	22.2	15.8352	19.4605	18.2815	0	18.2815
24	0.553656	7.30578	Alt	12	22.2	13.3371	16.3905	10.7585	0	10.7585
25	0.553656	2.46318	Alt	12	22.2	10.695	13.1435	2.80202	0	2.80202

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22894**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	7.64159	20.0543	0	0	0

2	8.24533	19.1871	-0.190673	0	0
3	8.84908	18.4077	6.36933	0	0
4	9.45282	17.7007	17.2967	0	0
5	10.0566	17.0551	29.5855	0	0
6	10.5975	16.5222	38.2505	0	0
7	11.1384	16.0276	46.5684	0	0
8	11.6793	15.5675	54.3081	0	0
9	12.2202	15.139	61.3054	0	0
10	12.7739	14.7306	64.5993	0	0
11	13.3275	14.3504	67.0622	0	0
12	13.8812	13.9965	68.7158	0	0
13	14.4348	13.6675	70.1252	0	0
14	14.9885	13.3618	71.176	0	0
15	15.5422	13.0783	71.628	0	0
16	16.0958	12.816	71.0514	0	0
17	16.6495	12.5739	69.0377	0	0
18	17.2031	12.3514	65.7412	0	0
19	17.7568	12.1476	61.3357	0	0
20	18.3104	11.962	56.0205	0	0
21	18.8641	11.794	50.0182	0	0
22	19.4177	11.6433	43.5626	0	0
23	19.9714	11.5094	36.8998	0	0
24	20.5251	11.392	30.2888	0	0
25	21.0787	11.2907	24.002	0	0
26	21.6324	11.2053	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	9.98107
6.89603	10.0761
15.006	10.8242
17.4116	11.1403
19.0533	11.1799
21.2403	11.2229
21.65	11.1877
38.35	11.1877
41.1128	12.8759

45.0632	15.8478
49.8853	18.483
52.601	20.0989
54.962	20.997
60	22.518

External Boundary

X	Y
0	20.1711
0	16.7773
0	14.7921
0	4.79207
0	0
60	0
60	14.5969
60	24.4948
60	26.5675
56.8736	26.2436
56.15	25.52
55.65	25.52
55.65	26.02
55.15	26.02
55.15	25.52
55.2365	25.52
55.3365	25.52
55.3365	23.1787
46.35	17.1877
44.35	17.1877
38.35	11.1877
30	11.1877
21.65	11.1877
17.2186	15.6191
15.65	17.1877
13.65	17.1877
13.4748	17.3045
10.3659	19.3771
9.664	19.836
9.242	20.057
9.005	20.1027
8.76001	20.1027
6.38782	20

3.46794	20.2448
2.68373	20.2051
1.17864	20.2314

Material Boundary

X	Y
0	16.7773
6.97372	16.8302
13.4748	17.3045

Material Boundary

X	Y
0	14.7921
5.54314	14.82
10.5801	15.0065
15.7752	15.4263
17.2186	15.6191

Material Boundary

X	Y
0	4.79207
5.54314	4.82003
10.5801	5.00647
15.4925	5.40348
20.6072	6.24208
28.9791	7.96384
38.0199	10.3367
43.446	12.1416
51.8891	13.9887
55.3365	14.3096

Material Boundary

X	Y
55.4635	14.3186
60	14.5969

Material Boundary

X	Y
55.3365	23.1787
55.3365	14.3096
55.3365	7.53482
55.4635	7.53482
55.4635	14.3186
55.4635	24.2674
55.4635	25.52
55.65	25.52

Material Boundary

X	Y
55.4635	24.2674
57.1926	24.4415
60	24.4948

15.2 Sezione 131

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 131_statica.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces

- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	Aa	Alt	FS2
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	19	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	20	23
Cohesion [kPa]	4	12	40
Friction Angle [deg]	21.3	22.2	23.9
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.281460

- Center: 39.072, 52.286
- Radius: 20.461
- Left Slip Surface Endpoint: 38.133, 31.846
- Right Slip Surface Endpoint: 54.836, 39.240
- Resisting Moment=6431.82 kN-m
- Driving Moment=5019.13 kN-m
- Total Slice Area=33.9611 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2084
- Number of Invalid Surfaces: 2767

Error Codes:

- Error Code -103 reported for 166 surfaces
- Error Code -106 reported for 26 surfaces
- Error Code -112 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 853 surfaces
- Error Code -115 reported for 1424 surfaces
- Error Code -1000 reported for 297 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) $<$ 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28146**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.668108	2.54864	Aa	4	21.3	4.32093	5.5371	3.94245	0	3.94245
2	0.668108	7.50737	Aa	4	21.3	6.53411	8.3732	11.2167	0	11.2167
3	0.668108	12.189	Aa	4	21.3	8.57894	10.9936	17.9376	0	17.9376
4	0.668108	16.593	Aa	4	21.3	10.4598	13.4038	24.1194	0	24.1194
5	0.668108	20.7179	Aa	4	21.3	12.1801	15.6083	29.7739	0	29.7739
6	0.668108	24.5614	Aa	4	21.3	13.7428	17.6109	34.9102	0	34.9102
7	0.668108	28.1202	Aa	4	21.3	15.1501	19.4143	39.5355	0	39.5355
8	0.668108	31.3899	Aa	4	21.3	16.4035	21.0204	43.655	0	43.655
9	0.668108	34.3651	Aa	4	21.3	17.5038	22.4304	47.2716	0	47.2716
10	0.668108	37.0393	Aa	4	21.3	18.4515	23.6448	50.3864	0	50.3864
11	0.668108	39.4045	Aa	4	21.3	19.2463	24.6633	52.9985	0	52.9985
12	0.668108	39.175	Aa	4	21.3	18.95	24.2837	52.0249	0	52.0249
13	0.668108	36.0483	Aa	4	21.3	17.4729	22.3908	47.1699	0	47.1699
14	0.668108	32.5769	Aa	4	21.3	15.8812	20.3511	41.9384	0	41.9384
15	0.668108	31.0546	Aa	4	21.3	15.093	19.3411	39.3478	0	39.3478
16	0.668108	31.6949	Aa	4	21.3	15.1649	19.4332	39.5842	0	39.5842
17	0.668108	31.9401	Aa	4	21.3	15.071	19.3129	39.2756	0	39.2756
18	0.668108	31.7639	Aa	4	21.3	14.8058	18.973	38.4037	0	38.4037
19	0.668108	31.1369	Aa	4	21.3	14.363	18.4056	36.9485	0	36.9485
20	0.668108	30.0235	Aa	4	21.3	13.7354	17.6014	34.8857	0	34.8857
21	0.668108	28.3809	Aa	4	21.3	12.9143	16.5491	32.1868	0	32.1868
22	0.668108	26.1562	Aa	4	21.3	11.8893	15.2356	28.8178	0	28.8178
23	0.668108	22.0944	Aa	4	21.3	10.2278	13.1066	23.3571	0	23.3571
24	0.668108	13.9709	Aa	4	21.3	7.20171	9.2287	13.411	0	13.411
25	0.668108	4.80761	Aa	4	21.3	3.93607	5.04392	2.67753	0	2.67753

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28146**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.1332	31.8458	0	0	0
2	38.8014	31.826	2.96223	0	0
3	39.4695	31.828	7.3008	0	0
4	40.1376	31.8519	12.5989	0	0
5	40.8057	31.8977	18.4763	0	0

6	41.4738	31.9656	24.5863	0	0
7	42.1419	32.0557	30.6132	0	0
8	42.81	32.1684	36.2698	0	0
9	43.4781	32.3041	41.2963	0	0
10	44.1462	32.4632	45.4588	0	0
11	44.8143	32.6463	48.549	0	0
12	45.4824	32.8541	50.3832	0	0
13	46.1505	33.0874	50.8963	0	0
14	46.8187	33.3471	50.3095	0	0
15	47.4868	33.6344	48.8644	0	0
16	48.1549	33.9504	46.5032	0	0
17	48.823	34.2968	42.9143	0	0
18	49.4911	34.6753	38.1076	0	0
19	50.1592	35.0881	32.1384	0	0
20	50.8273	35.5377	25.1152	0	0
21	51.4954	36.0271	17.2107	0	0
22	52.1635	36.56	8.67695	0	0
23	52.8316	37.1411	-0.133091	0	0
24	53.4997	37.7762	-8.13873	0	0
25	54.1678	38.4726	-12.6712	0	0
26	54.836	39.2402	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	26.0913
6.44544	26.8684
12.4489	27.6133
17.6233	28.0281
30	28.424
35.5653	28.8936
43.3469	29.3074
51.0911	29.566
60	29.7188

External Boundary

X	Y
47.503	36.057
45.503	36.057
37.8397	31.678
36.753	31.057
35.302	31.004
35.25	30.904
30	30.6436
24.7469	30.3829
24.698	30.4832
23.247	30.5362
21.7253	31.4058
14.497	35.5362
12.497	35.5362
9.16783	37.4386
6.49874	37.1092
0	36.0381
0	29.2844
0	20.7627
0	13
60	13
60	23.5295
60	32.0512
60	39.3188
53.0254	39.2127

Material Boundary

X	Y
0	29.2844
4.30765	29.8317
14.6694	31.0821
17.7583	31.3166
21.7253	31.4058

Material Boundary

X	Y
37.8397	31.678
40.7995	31.7823
49.5661	31.8556

54.9738	32.0512
60	32.0512

Material Boundary

X	Y
0	20.7627
14.6694	22.5605
17.7583	22.7949
30	23
44.1273	23.2607
47.5417	23.2607
54.9738	23.5295
60	23.5295

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 131_sisma+.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.09
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.045

Material Properties

Property	Aa	Alt	FS2
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	19	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	20	23
Cohesion [kPa]	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	27	29
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.298410
- Center: 39.072, 52.286
- Radius: 20.461
- Left Slip Surface Endpoint: 38.133, 31.846
- Right Slip Surface Endpoint: 54.836, 39.240
- Resisting Moment=8110.94 kN-m
- Driving Moment=6246.81 kN-m
- Total Slice Area=33.9611 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2084
- Number of Invalid Surfaces: 2767

Error Codes:

- Error Code -103 reported for 166 surfaces
- Error Code -106 reported for 26 surfaces
- Error Code -112 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 853 surfaces
- Error Code -115 reported for 1424 surfaces
- Error Code -1000 reported for 297 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) $<$ 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29841**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.668108	2.54864	Aa	5	26	5.40834	7.02224	4.14619	0	4.14619
2	0.668108	7.50737	Aa	5	26	8.25224	10.7148	11.7171	0	11.7171
3	0.668108	12.189	Aa	5	26	10.8667	14.1094	18.677	0	18.677
4	0.668108	16.593	Aa	5	26	13.259	17.2156	25.0457	0	25.0457
5	0.668108	20.7179	Aa	5	26	15.4354	20.0415	30.8396	0	30.8396
6	0.668108	24.5614	Aa	5	26	17.4011	22.5937	36.0724	0	36.0724
7	0.668108	28.1202	Aa	5	26	19.16	24.8776	40.7551	0	40.7551
8	0.668108	31.3899	Aa	5	26	20.7156	26.8974	44.8962	0	44.8962
9	0.668108	34.3651	Aa	5	26	22.0701	28.6561	48.5021	0	48.5021
10	0.668108	37.0393	Aa	5	26	23.2251	30.1557	51.5769	0	51.5769
11	0.668108	39.4045	Aa	5	26	24.1813	31.3973	54.1224	0	54.1224
12	0.668108	39.175	Aa	5	26	23.7562	30.8453	52.9907	0	52.9907
13	0.668108	36.0483	Aa	5	26	21.8453	28.3642	47.9036	0	47.9036
14	0.668108	32.5769	Aa	5	26	19.7982	25.7062	42.454	0	42.454
15	0.668108	31.0546	Aa	5	26	18.7665	24.3666	39.7074	0	39.7074
16	0.668108	31.6949	Aa	5	26	18.8138	24.428	39.8332	0	39.8332
17	0.668108	31.9401	Aa	5	26	18.6527	24.2188	39.4044	0	39.4044
18	0.668108	31.7639	Aa	5	26	18.2774	23.7316	38.4054	0	38.4054
19	0.668108	31.1369	Aa	5	26	17.6818	22.9582	36.8198	0	36.8198
20	0.668108	30.0235	Aa	5	26	16.8585	21.8892	34.6279	0	34.6279
21	0.668108	28.3809	Aa	5	26	15.7982	20.5126	31.8056	0	31.8056
22	0.668108	26.1562	Aa	5	26	14.4906	18.8148	28.3246	0	28.3246
23	0.668108	22.0944	Aa	5	26	12.408	16.1107	22.7802	0	22.7802
24	0.668108	13.9709	Aa	5	26	8.66939	11.2564	12.8276	0	12.8276
25	0.668108	4.80761	Aa	5	26	4.66492	6.05698	2.16714	0	2.16714

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29841**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.1332	31.8458	0	0	0

2	38.8014	31.826	3.46109	0	0
3	39.4695	31.828	8.2673	0	0
4	40.1376	31.8519	13.9745	0	0
5	40.8057	31.8977	20.1805	0	0
6	41.4738	31.9656	26.5219	0	0
7	42.1419	32.0557	32.67	0	0
8	42.81	32.1684	38.3292	0	0
9	43.4781	32.3041	43.2342	0	0
10	44.1462	32.4632	47.1495	0	0
11	44.8143	32.6463	49.8675	0	0
12	45.4824	32.8541	51.2086	0	0
13	46.1505	33.0874	51.1716	0	0
14	46.8187	33.3471	50.0619	0	0
15	47.4868	33.6344	48.1453	0	0
16	48.1549	33.9504	45.3219	0	0
17	48.823	34.2968	41.2241	0	0
18	49.4911	34.6753	35.8791	0	0
19	50.1592	35.0881	29.3622	0	0
20	50.8273	35.5377	21.8044	0	0
21	51.4954	36.0271	13.4035	0	0
22	52.1635	36.56	4.43893	0	0
23	52.8316	37.1411	-4.70653	0	0
24	53.4997	37.7762	-12.8828	0	0
25	54.1678	38.4726	-17.2893	0	0
26	54.836	39.2402	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	26.0913
6.44544	26.8684
12.4489	27.6133
17.6233	28.0281
30	28.424
35.5653	28.8936
43.3469	29.3074
51.0911	29.566
60	29.7188

External Boundary

X	Y
47.503	36.057
45.503	36.057
37.8397	31.678
36.753	31.057
35.302	31.004
35.25	30.904
30	30.6436
24.7469	30.3829
24.698	30.4832
23.247	30.5362
21.7253	31.4058
14.497	35.5362
12.497	35.5362
9.16783	37.4386
6.49874	37.1092
0	36.0381
0	29.2844
0	20.7627
0	13
60	13
60	23.5295
60	32.0512
60	39.3188
53.0254	39.2127

Material Boundary

X	Y
0	29.2844
4.30765	29.8317
14.6694	31.0821
17.7583	31.3166
21.7253	31.4058

Material Boundary

X	Y
37.8397	31.678
40.7995	31.7823
49.5661	31.8556
54.9738	32.0512
60	32.0512

Material Boundary

X	Y
0	20.7627
14.6694	22.5605
17.7583	22.7949
30	23
44.1273	23.2607
47.5417	23.2607
54.9738	23.5295
60	23.5295

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 131_sisma-.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.09
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.045

Material Properties

Property	Aa	Alt	FS2
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	19	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	20	23
Cohesion [kPa]	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	27	29
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.304580
- Center: 39.072, 52.286
- Radius: 20.461
- Left Slip Surface Endpoint: 38.133, 31.846
- Right Slip Surface Endpoint: 54.836, 39.240
- Resisting Moment=7560.17 kN-m
- Driving Moment=5795.09 kN-m
- Total Slice Area=33.9611 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2084
- Number of Invalid Surfaces: 2767

Error Codes:

- Error Code -103 reported for 166 surfaces
- Error Code -106 reported for 26 surfaces
- Error Code -112 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 853 surfaces
- Error Code -115 reported for 1424 surfaces
- Error Code -1000 reported for 297 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- -112 = The coefficient M-Alpha = cos(alpha)(1+tan(alpha)tan(phi)/F) $<$ 0.2 for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.30458**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.668108	2.54864	Aa	5	26	5.25268	6.85254	3.79827	0	3.79827
2	0.668108	7.50737	Aa	5	26	7.8356	10.2222	10.707	0	10.707
3	0.668108	12.189	Aa	5	26	10.2102	13.32	17.0585	0	17.0585
4	0.668108	16.593	Aa	5	26	12.3831	16.1547	22.8705	0	22.8705
5	0.668108	20.7179	Aa	5	26	14.3598	18.7335	28.1579	0	28.1579
6	0.668108	24.5614	Aa	5	26	16.1451	21.0626	32.9331	0	32.9331
7	0.668108	28.1202	Aa	5	26	17.7426	23.1466	37.206	0	37.206
8	0.668108	31.3899	Aa	5	26	19.1551	24.9894	40.9843	0	40.9843
9	0.668108	34.3651	Aa	5	26	20.385	26.5938	44.2739	0	44.2739
10	0.668108	37.0393	Aa	5	26	21.4333	27.9615	47.078	0	47.078
11	0.668108	39.4045	Aa	5	26	22.3009	29.0933	49.3987	0	49.3987
12	0.668108	39.175	Aa	5	26	21.9115	28.5853	48.357	0	48.357
13	0.668108	36.0483	Aa	5	26	20.1698	26.3131	43.6984	0	43.6984
14	0.668108	32.5769	Aa	5	26	18.3039	23.8789	38.7074	0	38.7074
15	0.668108	31.0546	Aa	5	26	17.3619	22.65	36.188	0	36.188
16	0.668108	31.6949	Aa	5	26	17.402	22.7023	36.2951	0	36.2951
17	0.668108	31.9401	Aa	5	26	17.2522	22.5069	35.8945	0	35.8945
18	0.668108	31.7639	Aa	5	26	16.9074	22.0571	34.9722	0	34.9722
19	0.668108	31.1369	Aa	5	26	16.3618	21.3453	33.5129	0	33.5129
20	0.668108	30.0235	Aa	5	26	15.6086	20.3627	31.4982	0	31.4982
21	0.668108	28.3809	Aa	5	26	14.6395	19.0984	28.9061	0	28.9061
22	0.668108	26.1562	Aa	5	26	13.4447	17.5397	25.7102	0	25.7102
23	0.668108	22.0944	Aa	5	26	11.5436	15.0595	20.625	0	20.625
24	0.668108	13.9709	Aa	5	26	8.13348	10.6108	11.5038	0	11.5038
25	0.668108	4.80761	Aa	5	26	4.4801	5.84465	1.73179	0	1.73179

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.30458**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.1332	31.8458	0	0	0

2	38.8014	31.826	3.3502	0	0
3	39.4695	31.828	7.88028	0	0
4	40.1376	31.8519	13.1878	0	0
5	40.8057	31.8977	18.9087	0	0
6	41.4738	31.9656	24.714	0	0
7	42.1419	32.0557	30.3066	0	0
8	42.81	32.1684	35.4195	0	0
9	43.4781	32.3041	39.8136	0	0
10	44.1462	32.4632	43.2767	0	0
11	44.8143	32.6463	45.6224	0	0
12	45.4824	32.8541	46.6898	0	0
13	46.1505	33.0874	46.5023	0	0
14	46.8187	33.3471	45.3662	0	0
15	47.4868	33.6344	43.5283	0	0
16	48.1549	33.9504	40.8795	0	0
17	48.823	34.2968	37.0648	0	0
18	49.4911	34.6753	32.1135	0	0
19	50.1592	35.0881	26.0993	0	0
20	50.8273	35.5377	19.147	0	0
21	51.4954	36.0271	11.4434	0	0
22	52.1635	36.56	3.25063	0	0
23	52.8316	37.1411	-5.07383	0	0
24	53.4997	37.7762	-12.4585	0	0
25	54.1678	38.4726	-16.3009	0	0
26	54.836	39.2402	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	26.0913
6.44544	26.8684
12.4489	27.6133
17.6233	28.0281
30	28.424
35.5653	28.8936
43.3469	29.3074
51.0911	29.566
60	29.7188

External Boundary

X	Y
47.503	36.057
45.503	36.057
37.8397	31.678
36.753	31.057
35.302	31.004
35.25	30.904
30	30.6436
24.7469	30.3829
24.698	30.4832
23.247	30.5362
21.7253	31.4058
14.497	35.5362
12.497	35.5362
9.16783	37.4386
6.49874	37.1092
0	36.0381
0	29.2844
0	20.7627
0	13
60	13
60	23.5295
60	32.0512
60	39.3188
53.0254	39.2127

Material Boundary

X	Y
0	29.2844
4.30765	29.8317
14.6694	31.0821
17.7583	31.3166
21.7253	31.4058

Material Boundary

X	Y
37.8397	31.678
40.7995	31.7823
49.5661	31.8556
54.9738	32.0512
60	32.0512

Material Boundary

X	Y
0	20.7627
14.6694	22.5605
17.7583	22.7949
30	23
44.1273	23.2607
47.5417	23.2607
54.9738	23.5295
60	23.5295

15.3 Sezione 5_113

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 5_113.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces

- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 26
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	Ar
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		18
Saturated Unit Weight [kN/m3]		19
Cohesion [kPa]	4	0
Friction Angle [deg]	29.3	30.2
Water Surface	Water Table	Water Table

Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.476490
- Center: 48.565, 57.063
- Radius: 22.154
- Left Slip Surface Endpoint: 31.402, 43.054
- Right Slip Surface Endpoint: 49.326, 34.922
- Resisting Moment=7733.26 kN-m
- Driving Moment=5237.61 kN-m
- Total Slice Area=28.1656 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1409
- Number of Invalid Surfaces: 3442

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 31 surfaces
- Error Code -114 reported for 491 surfaces
- Error Code -115 reported for 92 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2827 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.47649**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.716936	5.83863	R	4	29.3	4.02416	5.94163	3.45994	0	3.45994
2	0.716936	17.9645	R	4	29.3	8.72923	12.8886	15.8393	0	15.8393
3	0.716936	26.289	R	4	29.3	12.1854	17.9916	24.9327	0	24.9327
4	0.716936	29.1096	R	4	29.3	13.5881	20.0627	28.6234	0	28.6234
5	0.716936	30.8607	R	4	29.3	14.5852	21.5349	31.2468	0	31.2468
6	0.716936	31.9358	R	4	29.3	15.3134	22.6101	33.1628	0	33.1628
7	0.716936	32.3969	R	4	29.3	15.7846	23.3058	34.4025	0	34.4025
8	0.716936	32.2945	R	4	29.3	16.0088	23.6368	34.9924	0	34.9924
9	0.716936	31.6702	R	4	29.3	15.9942	23.6153	34.954	0	34.954
10	0.716936	30.5584	R	4	29.3	15.7477	23.2513	34.3054	0	34.3054
11	0.716936	28.9885	R	4	29.3	15.2746	22.5528	33.0608	0	33.0608
12	0.716936	26.985	R	4	29.3	14.5794	21.5264	31.2316	0	31.2316
13	0.716936	24.7263	R	4	29.3	13.7379	20.2839	29.0175	0	29.0175
14	0.716936	26.2061	R	4	29.3	14.61	21.5715	31.312	0	31.312
15	0.716936	29.1355	R	4	29.3	16.1829	23.8939	35.4505	0	35.4505
16	0.716936	31.1137	R	4	29.3	17.3344	25.594	38.48	0	38.48
17	0.716936	28.1709	R	4	29.3	16.1243	23.8074	35.2964	0	35.2964
18	0.716936	23.9127	R	4	29.3	14.2342	21.0166	30.3231	0	30.3231
19	0.716936	19.3164	R	4	29.3	12.1259	17.9037	24.7761	0	24.7761
20	0.716936	14.3885	R	4	29.3	9.79682	14.4649	18.6482	0	18.6482
21	0.716936	9.13431	R	4	29.3	7.24342	10.6948	11.9301	0	11.9301
22	0.716936	3.5579	R	4	29.3	4.46112	6.5868	4.60962	0	4.60962
23	0.716936	0.149763	Ar	0	30.2	0.080858	0.119386	0.205126	0	0.205126
24	0.716936	0.273455	Ar	0	30.2	0.149514	0.220756	0.379297	0	0.379297
25	0.716936	0.141065	Ar	0	30.2	0.0781191	0.115342	0.198178	0	0.198178

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.47649**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.4023	43.0539	0	0	0

2	32.1193	42.2188	0.0065839	0	0
3	32.8362	41.4612	5.75389	0	0
4	33.5531	40.7701	14.2533	0	0
5	34.2701	40.1376	22.6242	0	0
6	34.987	39.5572	30.311	0	0
7	35.7039	39.0239	37.026	0	0
8	36.4209	38.5337	42.584	0	0
9	37.1378	38.0831	46.8812	0	0
10	37.8548	37.6695	49.8805	0	0
11	38.5717	37.2905	51.6005	0	0
12	39.2886	36.9442	52.1079	0	0
13	40.0056	36.6289	51.5117	0	0
14	40.7225	36.3431	49.9617	0	0
15	41.4394	36.0857	47.5541	0	0
16	42.1564	35.8557	44.1154	0	0
17	42.8733	35.6521	39.5305	0	0
18	43.5902	35.4743	34.2568	0	0
19	44.3072	35.3215	28.6921	0	0
20	45.0241	35.1933	23.182	0	0
21	45.741	35.0892	18.1047	0	0
22	46.458	35.0089	13.8737	0	0
23	47.1749	34.9521	10.9395	0	0
24	47.8919	34.9187	10.8884	0	0
25	48.6088	34.9085	10.7852	0	0
26	49.3257	34.9215	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	28.2242
24.8072	28.2242
54.8072	28.2242

Line Load

X	Y
19.3532	42.9756

24.8072	43.1114
30.0085	42.9737

External Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
0	35.447
0	18
54.8072	18
54.8072	34.8539
47.2585	34.947
42.5599	38.0792
40.5599	38.1591
33.0596	43.1588
32.0588	43.1588
32.0586	43.0588
30.0085	43.0437
30.0085	42.9737
24.8072	43.1114
19.3532	42.9756
19.3522	43.0256
17.8499	42.966
10.3376	37.9682
8.33349	37.8896

Material Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
4.59186	34.7069
6.15922	34.6933
8.74642	34.6398
10.3083	34.5303
11.9777	34.693
16.3985	34.6342
35.642	34.3904
43.1456	34.2978
47.2616	34.2383
47.2585	34.947

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 5_113_sisma+.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.09
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.045
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	Ar
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		18
Saturated Unit Weight [kN/m3]		19
Cohesion [kPa]	5	0
Friction Angle [deg]	35	36
Water Surface	Water Table	Water Table

Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.527740
- Center: 47.539, 54.728
- Radius: 19.880
- Left Slip Surface Endpoint: 31.448, 43.054
- Right Slip Surface Endpoint: 49.256, 34.922
- Resisting Moment=9672.75 kN-m
- Driving Moment=6331.39 kN-m
- Total Slice Area=31.7562 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1293
- Number of Invalid Surfaces: 3558

Error Codes:

- Error Code -113 reported for 36 surfaces
- Error Code -114 reported for 518 surfaces
- Error Code -115 reported for 111 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2893 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.52774**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.718698	6.59891	R	5	35	4.81454	7.35537	3.36381	0	3.36381
2	0.718698	19.8043	R	5	35	10.7806	16.4699	16.3807	0	16.3807
3	0.718698	28.669	R	5	35	15.1828	23.1954	25.9858	0	25.9858
4	0.718698	31.9906	R	5	35	17.2196	26.3071	30.4296	0	30.4296
5	0.718698	34.2013	R	5	35	18.7746	28.6827	33.8224	0	33.8224
6	0.718698	35.6071	R	5	35	19.9563	30.4881	36.4008	0	36.4008
7	0.718698	36.2948	R	5	35	20.7822	31.7498	38.2026	0	38.2026
8	0.718698	36.3329	R	5	35	21.2663	32.4894	39.2589	0	39.2589
9	0.718698	35.7761	R	5	35	21.42	32.7242	39.5944	0	39.5944
10	0.718698	34.6691	R	5	35	21.2524	32.4681	39.2285	0	39.2285
11	0.718698	33.0487	R	5	35	20.7701	31.7313	38.1763	0	38.1763
12	0.718698	30.9451	R	5	35	19.9781	30.5213	36.4481	0	36.4481
13	0.718698	28.7011	R	5	35	19.0593	29.1176	34.4434	0	34.4434
14	0.718698	30.4365	R	5	35	20.3884	31.1482	37.3434	0	37.3434
15	0.718698	33.1706	R	5	35	22.3353	34.1226	41.5914	0	41.5914
16	0.718698	34.6104	R	5	35	23.5634	35.9988	44.2709	0	44.2709
17	0.718698	31.0557	R	5	35	21.7945	33.2964	40.4114	0	40.4114
18	0.718698	26.4646	R	5	35	19.3207	29.517	35.0139	0	35.0139
19	0.718698	21.501	R	5	35	16.5268	25.2487	28.9182	0	28.9182
20	0.718698	16.1715	R	5	35	13.4052	20.4796	22.1071	0	22.1071
21	0.718698	10.481	R	5	35	9.94574	15.1945	14.5594	0	14.5594
22	0.718698	4.43289	R	5	35	6.13656	9.37507	6.24825	0	6.24825
23	0.665578	1.10147	Ar	0	36	0.823471	1.25805	1.73156	0	1.73156
24	0.665578	0.848303	Ar	0	36	0.644471	0.984584	1.35516	0	1.35516
25	0.665578	0.327462	Ar	0	36	0.252889	0.386348	0.531762	0	0.531762

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.52774**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.4476	43.0543	0	0	0

2	32.1663	42.1229	0.271283	0	0
3	32.885	41.2941	7.89155	0	0
4	33.6037	40.55	18.9112	0	0
5	34.3224	39.8777	29.887	0	0
6	35.0411	39.268	40.1121	0	0
7	35.7598	38.7137	49.1719	0	0
8	36.4785	38.2091	56.7974	0	0
9	37.1972	37.7499	62.8311	0	0
10	37.9159	37.3325	67.2048	0	0
11	38.6346	36.9539	69.9235	0	0
12	39.3533	36.6116	71.0551	0	0
13	40.072	36.3038	70.722	0	0
14	40.7907	36.0286	69.1043	0	0
15	41.5093	35.7846	66.3203	0	0
16	42.228	35.5707	62.1716	0	0
17	42.9467	35.3858	56.5583	0	0
18	43.6654	35.2292	50.0406	0	0
19	44.3841	35.1001	43.0753	0	0
20	45.1028	34.998	36.1007	0	0
21	45.8215	34.9225	29.6038	0	0
22	46.5402	34.8732	24.1252	0	0
23	47.2589	34.8501	20.2641	0	0
24	47.9245	34.8519	19.8129	0	0
25	48.5901	34.8759	19.4282	0	0
26	49.2557	34.9224	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	28.2242
24.8072	28.2242
54.8072	28.2242

Line Load

X	Y
19.3532	42.9756

24.8072	43.1114
30.0085	42.9737

External Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
0	35.447
0	18
54.8072	18
54.8072	34.8539
47.2585	34.947
42.5599	38.0792
40.5599	38.1591
33.0596	43.1588
32.0588	43.1588
32.0586	43.0588
30.0085	43.0437
30.0085	42.9737
24.8072	43.1114
19.3532	42.9756
19.3522	43.0256
17.8499	42.966
10.3376	37.9682
8.33349	37.8896

Material Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
4.59186	34.7069
6.15922	34.6933
8.74642	34.6398
10.3083	34.5303
11.9777	34.693
16.3985	34.6342
35.642	34.3904
43.1456	34.2978
47.2616	34.2383
47.2585	34.947

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 5_113_sisma-.slim
- Slide Modeler Version: 6.025
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.09
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.045
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kPa]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	Ar
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		18
Saturated Unit Weight [kN/m3]		19
Cohesion [kPa]	5	0
Friction Angle [deg]	35	36
Water Surface	Water Table	Water Table

Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.530180
- Center: 47.539, 54.728
- Radius: 19.880
- Left Slip Surface Endpoint: 31.448, 43.054
- Right Slip Surface Endpoint: 49.256, 34.922
- Resisting Moment=8969.88 kN-m
- Driving Moment=5862 kN-m
- Total Slice Area=31.7562 m2

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1293
- Number of Invalid Surfaces: 3558

Error Codes:

- Error Code -113 reported for 36 surfaces
- Error Code -114 reported for 518 surfaces
- Error Code -115 reported for 111 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2893 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53018**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.718698	6.59891	R	5	35	4.57223	6.99633	2.85106	0	2.85106
2	0.718698	19.8043	R	5	35	10.0261	15.3417	14.7695	0	14.7695
3	0.718698	28.669	R	5	35	14.0512	21.5009	23.5657	0	23.5657
4	0.718698	31.9906	R	5	35	15.9162	24.3546	27.6412	0	27.6412
5	0.718698	34.2013	R	5	35	17.3407	26.5344	30.7543	0	30.7543
6	0.718698	35.6071	R	5	35	18.4242	28.1923	33.122	0	33.122
7	0.718698	36.2948	R	5	35	19.1824	29.3526	34.7791	0	34.7791
8	0.718698	36.3329	R	5	35	19.6285	30.0352	35.754	0	35.754
9	0.718698	35.7761	R	5	35	19.773	30.2562	36.0696	0	36.0696
10	0.718698	34.6691	R	5	35	19.6238	30.028	35.7437	0	35.7437
11	0.718698	33.0487	R	5	35	19.1875	29.3604	34.7901	0	34.7901
12	0.718698	30.9451	R	5	35	18.4685	28.2601	33.2188	0	33.2188
13	0.718698	28.7011	R	5	35	17.6336	26.9826	31.3945	0	31.3945
14	0.718698	30.4365	R	5	35	18.8504	28.8445	34.0534	0	34.0534
15	0.718698	33.1706	R	5	35	20.6308	31.5688	37.9442	0	37.9442
16	0.718698	34.6104	R	5	35	21.7552	33.2893	40.4013	0	40.4013
17	0.718698	31.0557	R	5	35	20.1446	30.8248	36.8817	0	36.8817
18	0.718698	26.4646	R	5	35	17.8908	27.3761	31.9564	0	31.9564
19	0.718698	21.501	R	5	35	15.3451	23.4808	26.3934	0	26.3934
20	0.718698	16.1715	R	5	35	12.5006	19.1281	20.177	0	20.177
21	0.718698	10.481	R	5	35	9.348	14.3041	13.2877	0	13.2877
22	0.718698	4.43289	R	5	35	5.87658	8.99222	5.70149	0	5.70149
23	0.665578	1.10147	Ar	0	36	0.75135	1.1497	1.58242	0	1.58242
24	0.665578	0.848303	Ar	0	36	0.588011	0.899762	1.23842	0	1.23842
25	0.665578	0.327462	Ar	0	36	0.230727	0.353054	0.485938	0	0.485938

Interslice Data

- **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53018**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.4476	43.0543	0	0	0

2	32.1663	42.1229	-0.0323759	0	0
3	32.885	41.2941	6.79412	0	0
4	33.6037	40.55	16.8252	0	0
5	34.3224	39.8777	26.862	0	0
6	35.0411	39.268	36.2455	0	0
7	35.7598	38.7137	44.5875	0	0
8	36.4785	38.2091	51.6338	0	0
9	37.1972	37.7499	57.2336	0	0
10	37.9159	37.3325	61.318	0	0
11	38.6346	36.9539	63.8863	0	0
12	39.3533	36.6116	64.9949	0	0
13	40.072	36.3038	64.7511	0	0
14	40.7907	36.0286	63.3175	0	0
15	41.5093	35.7846	60.8348	0	0
16	42.228	35.5707	57.1293	0	0
17	42.9467	35.3858	52.0985	0	0
18	43.6654	35.2292	46.2122	0	0
19	44.3841	35.1001	39.8785	0	0
20	45.1028	34.998	33.4942	0	0
21	45.8215	34.9225	27.5009	0	0
22	46.5402	34.8732	22.3887	0	0
23	47.2589	34.8501	18.7016	0	0
24	47.9245	34.8519	18.2985	0	0
25	48.5901	34.8759	17.9542	0	0
26	49.2557	34.9224	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	28.2242
24.8072	28.2242
54.8072	28.2242

Line Load

X	Y
19.3532	42.9756

24.8072	43.1114
30.0085	42.9737

External Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
0	35.447
0	18
54.8072	18
54.8072	34.8539
47.2585	34.947
42.5599	38.0792
40.5599	38.1591
33.0596	43.1588
32.0588	43.1588
32.0586	43.0588
30.0085	43.0437
30.0085	42.9737
24.8072	43.1114
19.3532	42.9756
19.3522	43.0256
17.8499	42.966
10.3376	37.9682
8.33349	37.8896

Material Boundary

X	Y
4.58793	35.4003
4.59186	34.7069
6.15922	34.6933
8.74642	34.6398
10.3083	34.5303
11.9777	34.693
16.3985	34.6342
35.642	34.3904
43.1456	34.2978
47.2616	34.2383
47.2585	34.947

16 APPENDICE 3 – TABULATI DI CALCOLO CEDIMENTI DEI RILEVATI

16.1 Sezione 5_113

Calcolo delle tensioni indotte e dei cedimenti di rilevati (Gray, 1936)

Caratteristiche del rilevato		
Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00
Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0
Sovraccarico stradale	[kPa]	20,0

Coordinate delle verticali di calcolo		
Verticale di calcolo V0	[m]	0,00
Verticale di calcolo V1	[m]	4,15
Verticale di calcolo V2	[m]	8,30
Verticale di calcolo V3	[m]	19,50
Verticale di calcolo V4	[m]	30,70
Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Stratigrafia

Profondità [m]	Unità [-]	Tipo Terreno	γ_{sat} [kN/m^3]	γ_{dry} [kN/m^3]	E [MPa]	φ [°]	OCR [-]	K_0 [-]	ν [-]
0,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
1,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
2,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
3,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
4,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
5,0	Ar	nc	19,0	18,0	50	36	1	0,41	0,35
10	Ar	nc	19	18	50	36	1	0,41	0,35
15	FS1	coc	25	24	600	42	3	0,57	0,45
20	FS1	coc	25	24	600	42	3	0,57	0,45
25	FS1	coc	25	24	600	42	3	0,57	0,45
30	FS1	coc	25	24	600	42	3	0,57	0,45

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo	[m]	0,00

Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Rapporto di rigidezza	1,00

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m^3]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,5	nc	18,00	0,25	4,50	4,50	294,00
0,5	nc	18,00	0,75	13,50	13,50	293,98
0,5	nc	18,00	1,25	22,50	22,50	293,93
0,5	nc	18,00	1,75	31,50	31,50	293,80
0,5	nc	18,00	2,25	40,50	40,50	293,59
0,5	nc	18,00	2,75	49,50	49,50	293,27
1,0	nc	18,00	3,50	63,00	63,00	292,56
1,0	nc	18,00	4,50	81,00	81,00	291,12
1,0	nc	18,00	5,50	99,00	99,00	289,11
1,0	nc	18,00	6,50	117,00	117,00	286,55
1,0	nc	19,00	7,50	136,00	131,10	283,50
1,0	nc	19,00	8,50	155,00	140,29	280,01
1,0	nc	19,00	9,50	174,00	149,48	276,16
1,0	nc	19,00	10,50	193,00	158,68	272,01
2,0	nc	19,00	12,00	221,50	172,47	265,39
2,0	nc	19,00	14,00	259,50	190,85	256,07
2,0	coc	25,00	16,00	309,50	221,24	246,51
2,0	coc	25,00	18,00	359,50	251,63	236,94
2,0	coc	25,00	20,00	409,50	282,02	227,54
2,0	coc	25,00	22,00	459,50	312,40	218,42
2,0	coc	25,00	24,00	509,50	342,79	209,64
2,0	coc	25,00	26,00	559,50	373,18	201,25
2,0	coc	25,00	28,00	609,50	403,56	193,27
2,0	coc	25,00	30,00	659,50	433,95	185,71
4,0	coc	25,00	33,00	734,50	479,53	175,12
4,0	coc	25,00	37,00	834,50	540,31	162,36
4,0	coc	25,00	41,00	934,50	601,08	151,02
4,0	coc	25,00	45,00	1034,50	661,85	140,93
4,0	coc	25,00	49,00	1134,50	722,63	131,94
4,0	coc	25,00	53,00	1234,50	783,40	123,90
4,0	coc	25,00	57,00	1334,50	844,18	116,70
4,0	coc	25,00	61,00	1434,50	904,95	110,23
4,0	coc	25,00	65,00	1534,50	965,72	104,38

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	s_i [mm]	s_c [mm]	s_t [mm]	s_{ED} [mm]
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	4,2	-	4,2	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,0	-	4,0	-
50,0	0,41	0,35	4,0	-	4,0	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	7,6	-	7,6	-
50,0	0,41	0,35	7,3	-	7,3	-
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,6	0,6
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3

Cedimento immediato	**[mm]**	**63,7**
Cedimento di consolidazione	**[mm]**	**2,7**
Cedimento totale	**[mm]**	**66,4**

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	30,70
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo [m]	0,00

Parametri di calcolo

x	30,70
x'	30,70

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R_0 [m]	R_1 [m]	R_2 [m]	a [°]	b [°]	R_0' [m]	R_1' [m]	R_2' [m]	α' [°]	β' [°]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,3	30,7	8,3	0,3	1,3	88,3	30,7	8,3	0,3	1,3	88,3	294,00
0,8	30,7	8,3	0,8	3,8	84,8	30,7	8,3	0,8	3,8	84,8	293,98
1,3	30,7	8,4	1,3	6,2	81,4	30,7	8,4	1,3	6,2	81,4	293,93
1,8	30,7	8,5	1,8	8,6	78,1	30,7	8,5	1,8	8,6	78,1	293,80
2,3	30,8	8,6	2,3	11,0	74,8	30,8	8,6	2,3	11,0	74,8	293,59
2,8	30,8	8,7	2,8	13,2	71,7	30,8	8,7	2,8	13,2	71,7	293,27
3,5	30,9	9,0	3,5	16,4	67,1	30,9	9,0	3,5	16,4	67,1	292,56
4,5	31,0	9,4	4,5	20,1	61,5	31,0	9,4	4,5	20,1	61,5	291,12
5,5	31,2	10,0	5,5	23,4	56,5	31,2	10,0	5,5	23,4	56,5	289,11
6,5	31,4	10,5	6,5	26,1	51,9	31,4	10,5	6,5	26,1	51,9	286,55
7,5	31,6	11,2	7,5	28,4	47,9	31,6	11,2	7,5	28,4	47,9	283,50
8,5	31,9	11,9	8,5	30,2	44,3	31,9	11,9	8,5	30,2	44,3	280,01
9,5	32,1	12,6	9,5	31,7	41,1	32,1	12,6	9,5	31,7	41,1	276,16
10,5	32,4	13,4	10,5	32,8	38,3	32,4	13,4	10,5	32,8	38,3	272,01
12,0	33,0	14,6	12,0	34,0	34,7	33,0	14,6	12,0	34,0	34,7	265,39
14,0	33,7	16,3	14,0	34,8	30,7	33,7	16,3	14,0	34,8	30,7	256,07
16,0	34,6	18,0	16,0	35,1	27,4	34,6	18,0	16,0	35,1	27,4	246,51
18,0	35,6	19,8	18,0	34,9	24,8	35,6	19,8	18,0	34,9	24,8	236,94
20,0	36,6	21,7	20,0	34,4	22,5	36,6	21,7	20,0	34,4	22,5	227,54
22,0	37,8	23,5	22,0	33,7	20,7	37,8	23,5	22,0	33,7	20,7	218,42
24,0	39,0	25,4	24,0	32,9	19,1	39,0	25,4	24,0	32,9	19,1	209,64
26,0	40,2	27,3	26,0	32,0	17,7	40,2	27,3	26,0	32,0	17,7	201,25
28,0	41,6	29,2	28,0	31,1	16,5	41,6	29,2	28,0	31,1	16,5	193,27
30,0	42,9	31,1	30,0	30,2	15,5	42,9	31,1	30,0	30,2	15,5	185,71
33,0	45,1	34,0	33,0	28,8	14,1	45,1	34,0	33,0	28,8	14,1	175,12
37,0	48,1	37,9	37,0	27,0	12,6	48,1	37,9	37,0	27,0	12,6	162,36
41,0	51,2	41,8	41,0	25,4	11,4	51,2	41,8	41,0	25,4	11,4	151,02
45,0	54,5	45,8	45,0	23,9	10,5	54,5	45,8	45,0	23,9	10,5	140,93
49,0	57,8	49,7	49,0	22,5	9,6	57,8	49,7	49,0	22,5	9,6	131,94
53,0	61,2	53,6	53,0	21,2	8,9	61,2	53,6	53,0	21,2	8,9	123,90
57,0	64,7	57,6	57,0	20,0	8,3	64,7	57,6	57,0	20,0	8,3	116,70
61,0	68,3	61,6	61,0	19,0	7,7	68,3	61,6	61,0	19,0	7,7	110,23
65,0	71,9	65,5	65,0	18,0	7,3	71,9	65,5	65,0	18,0	7,3	104,38

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo	[m]	4,15

Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Rapporto di rigidezza	1,00

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m^3]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,5	nc	18,00	0,25	4,50	4,50	294,00
0,5	nc	18,00	0,75	13,50	13,50	293,96
0,5	nc	18,00	1,25	22,50	22,50	293,84
0,5	nc	18,00	1,75	31,50	31,50	293,58
0,5	nc	18,00	2,25	40,50	40,50	293,15
0,5	nc	18,00	2,75	49,50	49,50	292,54
1,0	nc	18,00	3,50	63,00	63,00	291,29
1,0	nc	18,00	4,50	81,00	81,00	289,04
1,0	nc	18,00	5,50	99,00	99,00	286,22
1,0	nc	18,00	6,50	117,00	117,00	282,93
1,0	nc	19,00	7,50	136,00	131,10	279,27
1,0	nc	19,00	8,50	155,00	140,29	275,32
1,0	nc	19,00	9,50	174,00	149,48	271,13
1,0	nc	19,00	10,50	193,00	158,68	266,77
2,0	nc	19,00	12,00	221,50	172,47	259,99
2,0	nc	19,00	14,00	259,50	190,85	250,69
2,0	coc	25,00	16,00	309,50	221,24	241,32
2,0	coc	25,00	18,00	359,50	251,63	232,03
2,0	coc	25,00	20,00	409,50	282,02	222,96
2,0	coc	25,00	22,00	459,50	312,40	214,18
2,0	coc	25,00	24,00	509,50	342,79	205,75
2,0	coc	25,00	26,00	559,50	373,18	197,69
2,0	coc	25,00	28,00	609,50	403,56	190,01
2,0	coc	25,00	30,00	659,50	433,95	182,73
4,0	coc	25,00	33,00	734,50	479,53	172,54
4,0	coc	25,00	37,00	834,50	540,31	160,22
4,0	coc	25,00	41,00	934,50	601,08	149,23
4,0	coc	25,00	45,00	1034,50	661,85	139,43
4,0	coc	25,00	49,00	1134,50	722,63	130,68
4,0	coc	25,00	53,00	1234,50	783,40	122,84
4,0	coc	25,00	57,00	1334,50	844,18	115,80
4,0	coc	25,00	61,00	1434,50	904,95	109,46
4,0	coc	25,00	65,00	1534,50	965,72	103,72

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,0	-	4,0	-
50,0	0,41	0,35	4,0	-	4,0	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	3,8	-	3,8	-
50,0	0,41	0,35	7,4	-	7,4	-
50,0	0,41	0,35	7,1	-	7,1	-
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,6	0,6
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3

Cedimento immediato	**[mm]**	**62,9**
Cedimento di consolidazione	**[mm]**	**2,6**
Cedimento totale	**[mm]**	**65,6**

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	30,70
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo [m]	4,15

Parametri di calcolo

x	26,55
x'	34,85

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R_0 [m]	R_1 [m]	R_2 [m]	a [°]	b [°]	R_0' [m]	R_1' [m]	R_2' [m]	α' [°]	β' [°]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,3	26,6	4,2	4,2	2,9	173,1	34,9	12,5	4,2	0,7	2,3	294,00
0,8	26,6	4,2	4,2	8,6	159,5	34,9	12,5	4,2	2,2	6,8	293,96
1,3	26,6	4,3	4,3	14,1	146,5	34,9	12,5	4,3	3,7	11,0	293,84
1,8	26,6	4,5	4,5	19,1	134,3	34,9	12,6	4,5	5,1	14,9	293,58
2,3	26,6	4,7	4,7	23,6	123,1	34,9	12,7	4,7	6,6	18,2	293,15
2,8	26,7	5,0	5,0	27,6	112,9	35,0	12,8	5,0	7,9	21,1	292,54
3,5	26,8	5,4	5,4	32,6	99,7	35,0	12,9	5,4	10,0	24,4	291,29
4,5	26,9	6,1	6,1	37,7	85,4	35,1	13,2	6,1	12,5	27,4	289,04
5,5	27,1	6,9	6,9	41,3	74,1	35,3	13,6	6,9	14,9	29,1	286,22
6,5	27,3	7,7	7,7	43,7	65,1	35,5	14,0	7,7	17,0	29,9	282,93
7,5	27,6	8,6	8,6	45,3	57,9	35,6	14,5	8,6	18,9	30,0	279,27
8,5	27,9	9,5	9,5	46,2	52,0	35,9	15,1	9,5	20,6	29,7	275,32
9,5	28,2	10,4	10,4	46,7	47,2	36,1	15,7	10,4	22,1	29,1	271,13
10,5	28,6	11,3	11,3	46,9	43,1	36,4	16,3	11,3	23,4	28,3	266,77
12,0	29,1	12,7	12,7	46,6	38,2	36,9	17,3	12,7	24,9	27,0	259,99
14,0	30,0	14,6	14,6	45,7	33,0	37,6	18,7	14,6	26,5	25,1	250,69
16,0	31,0	16,5	16,5	44,4	29,1	38,3	20,3	16,5	27,5	23,3	241,32
18,0	32,1	18,5	18,5	42,9	26,0	39,2	21,9	18,5	28,0	21,7	232,03
20,0	33,2	20,4	20,4	41,3	23,4	40,2	23,6	20,4	28,2	20,2	222,96
22,0	34,5	22,4	22,4	39,7	21,4	41,2	25,3	22,4	28,2	18,8	214,18
24,0	35,8	24,4	24,4	38,1	19,6	42,3	27,0	24,4	28,0	17,6	205,75
26,0	37,2	26,3	26,3	36,5	18,1	43,5	28,8	26,3	27,7	16,5	197,69
28,0	38,6	28,3	28,3	35,0	16,9	44,7	30,6	28,3	27,2	15,5	190,01
30,0	40,1	30,3	30,3	33,6	15,8	46,0	32,5	30,3	26,7	14,7	182,73
33,0	42,4	33,3	33,3	31,7	14,3	48,0	35,3	33,3	25,9	13,5	172,54
37,0	45,5	37,2	37,2	29,3	12,8	50,8	39,0	37,2	24,7	12,2	160,22
41,0	48,8	41,2	41,2	27,1	11,6	53,8	42,8	41,2	23,5	11,1	149,23
45,0	52,2	45,2	45,2	25,3	10,5	56,9	46,7	45,2	22,3	10,2	139,43
49,0	55,7	49,2	49,2	23,6	9,7	60,1	50,6	49,2	21,2	9,4	130,68
53,0	59,3	53,2	53,2	22,1	9,0	63,4	54,4	53,2	20,1	8,7	122,84
57,0	62,9	57,2	57,2	20,8	8,3	66,8	58,3	57,2	19,1	8,2	115,80
61,0	66,5	61,1	61,1	19,6	7,8	70,3	62,3	61,1	18,2	7,6	109,46
65,0	70,2	65,1	65,1	18,6	7,3	73,8	66,2	65,1	17,4	7,2	103,72

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo	[m]	8,30

Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Rapporto di rigidezza	1,00

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m^3]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,5	nc	18,00	0,25	4,50	4,50	292,96
0,5	nc	18,00	0,75	13,50	13,50	290,87
0,5	nc	18,00	1,25	22,50	22,50	288,78
0,5	nc	18,00	1,75	31,50	31,50	286,68
0,5	nc	18,00	2,25	40,50	40,50	284,58
0,5	nc	18,00	2,75	49,50	49,50	282,48
1,0	nc	18,00	3,50	63,00	63,00	279,32
1,0	nc	18,00	4,50	81,00	81,00	275,09
1,0	nc	18,00	5,50	99,00	99,00	270,83
1,0	nc	18,00	6,50	117,00	117,00	266,54
1,0	nc	19,00	7,50	136,00	131,10	262,24
1,0	nc	19,00	8,50	155,00	140,29	257,91
1,0	nc	19,00	9,50	174,00	149,48	253,58
1,0	nc	19,00	10,50	193,00	158,68	249,24
2,0	nc	19,00	12,00	221,50	172,47	242,75
2,0	nc	19,00	14,00	259,50	190,85	234,16
2,0	coc	25,00	16,00	309,50	221,24	225,71
2,0	coc	25,00	18,00	359,50	251,63	217,47
2,0	coc	25,00	20,00	409,50	282,02	209,48
2,0	coc	25,00	22,00	459,50	312,40	201,77
2,0	coc	25,00	24,00	509,50	342,79	194,36
2,0	coc	25,00	26,00	559,50	373,18	187,28
2,0	coc	25,00	28,00	609,50	403,56	180,51
2,0	coc	25,00	30,00	659,50	433,95	174,07
4,0	coc	25,00	33,00	734,50	479,53	165,00
4,0	coc	25,00	37,00	834,50	540,31	153,95
4,0	coc	25,00	41,00	934,50	601,08	144,01
4,0	coc	25,00	45,00	1034,50	661,85	135,06
4,0	coc	25,00	49,00	1134,50	722,63	127,01
4,0	coc	25,00	53,00	1234,50	783,40	119,73
4,0	coc	25,00	57,00	1334,50	844,18	113,16
4,0	coc	25,00	61,00	1434,50	904,95	107,19
4,0	coc	25,00	65,00	1534,50	965,72	101,77

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,0	-	2,0	-
50,0	0,41	0,35	2,0	-	2,0	-
50,0	0,41	0,35	2,0	-	2,0	-
50,0	0,41	0,35	4,0	-	4,0	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	3,9	-	3,9	-
50,0	0,41	0,35	3,8	-	3,8	-
50,0	0,41	0,35	3,7	-	3,7	-
50,0	0,41	0,35	3,7	-	3,7	-
50,0	0,41	0,35	3,6	-	3,6	-
50,0	0,41	0,35	3,5	-	3,5	-
50,0	0,41	0,35	6,9	-	6,9	-
50,0	0,41	0,35	6,7	-	6,7	-
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,5	0,5
600,0	0,57	0,45	0,3	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3

Cedimento immediato	**[mm]**	**59,7**
Cedimento di consolidazione	**[mm]**	**2,5**
Cedimento totale	**[mm]**	**62,3**

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	30,70
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo [m]	8,30

Parametri di calcolo

x	22,40
x'	39,00

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R_0 [m]	R_1 [m]	R_2 [m]	a [°]	b [°]	R_0' [m]	R_1' [m]	R_2' [m]	α' [°]	β' [°]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,3	22,4	0,3	8,3	89,4	88,3	39,0	16,6	8,3	0,5	0,9	292,96
0,8	22,4	0,8	8,3	88,1	84,8	39,0	16,6	8,3	1,5	2,6	290,87
1,3	22,4	1,3	8,4	86,8	81,4	39,0	16,6	8,4	2,5	4,3	288,78
1,8	22,5	1,8	8,5	85,5	78,1	39,0	16,7	8,5	3,4	5,9	286,68
2,3	22,5	2,3	8,6	84,3	74,8	39,1	16,8	8,6	4,4	7,4	284,58
2,8	22,6	2,8	8,7	83,0	71,7	39,1	16,8	8,7	5,4	8,9	282,48
3,5	22,7	3,5	9,0	81,1	67,1	39,2	17,0	9,0	6,8	11,0	279,32
4,5	22,8	4,5	9,4	78,6	61,5	39,3	17,2	9,4	8,6	13,3	275,09
5,5	23,1	5,5	10,0	76,2	56,5	39,4	17,5	10,0	10,3	15,2	270,83
6,5	23,3	6,5	10,5	73,8	51,9	39,5	17,8	10,5	11,9	16,7	266,54
7,5	23,6	7,5	11,2	71,5	47,9	39,7	18,2	11,2	13,4	17,8	262,24
8,5	24,0	8,5	11,9	69,2	44,3	39,9	18,6	11,9	14,8	18,6	257,91
9,5	24,3	9,5	12,6	67,0	41,1	40,1	19,1	12,6	16,1	19,1	253,58
10,5	24,7	10,5	13,4	64,9	38,3	40,4	19,6	13,4	17,2	19,4	249,24
12,0	25,4	12,0	14,6	61,8	34,7	40,8	20,5	14,6	18,8	19,5	242,75
14,0	26,4	14,0	16,3	58,0	30,7	41,4	21,7	16,3	20,4	19,2	234,16
16,0	27,5	16,0	18,0	54,5	27,4	42,2	23,1	18,0	21,6	18,6	225,71
18,0	28,7	18,0	19,8	51,2	24,8	43,0	24,5	19,8	22,5	17,9	217,47
20,0	30,0	20,0	21,7	48,2	22,5	43,8	26,0	21,7	23,2	17,2	209,48
22,0	31,4	22,0	23,5	45,5	20,7	44,8	27,6	23,5	23,5	16,4	201,77
24,0	32,8	24,0	25,4	43,0	19,1	45,8	29,2	25,4	23,7	15,6	194,36
26,0	34,3	26,0	27,3	40,7	17,7	46,9	30,8	27,3	23,8	14,9	187,28
28,0	35,9	28,0	29,2	38,7	16,5	48,0	32,6	29,2	23,7	14,2	180,51
30,0	37,4	30,0	31,1	36,7	15,5	49,2	34,3	31,1	23,5	13,5	174,07
33,0	39,9	33,0	34,0	34,2	14,1	51,1	36,9	34,0	23,1	12,6	165,00
37,0	43,3	37,0	37,9	31,2	12,6	53,8	40,6	37,9	22,3	11,5	153,95
41,0	46,7	41,0	41,8	28,6	11,4	56,6	44,2	41,8	21,5	10,6	144,01
45,0	50,3	45,0	45,8	26,5	10,5	59,5	48,0	45,8	20,7	9,8	135,06
49,0	53,9	49,0	49,7	24,6	9,6	62,6	51,7	49,7	19,8	9,1	127,01
53,0	57,5	53,0	53,6	22,9	8,9	65,8	55,5	53,6	19,0	8,5	119,73
57,0	61,2	57,0	57,6	21,5	8,3	69,1	59,4	57,6	18,1	8,0	113,16
61,0	65,0	61,0	61,6	20,2	7,7	72,4	63,2	61,6	17,4	7,5	107,19
65,0	68,8	65,0	65,5	19,0	7,3	75,8	67,1	65,5	16,6	7,0	101,77

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo	[m]	19,50

Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Rapporto di rigidezza	1,00

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m^3]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,5	nc	18,00	0,25	4,50	4,50	147,00
0,5	nc	18,00	0,75	13,50	13,50	147,00
0,5	nc	18,00	1,25	22,50	22,50	147,00
0,5	nc	18,00	1,75	31,50	31,50	146,99
0,5	nc	18,00	2,25	40,50	40,50	146,99
0,5	nc	18,00	2,75	49,50	49,50	146,97
1,0	nc	18,00	3,50	63,00	63,00	146,95
1,0	nc	18,00	4,50	81,00	81,00	146,89
1,0	nc	18,00	5,50	99,00	99,00	146,80
1,0	nc	18,00	6,50	117,00	117,00	146,67
1,0	nc	19,00	7,50	136,00	131,10	146,50
1,0	nc	19,00	8,50	155,00	140,29	146,29
1,0	nc	19,00	9,50	174,00	149,48	146,02
1,0	nc	19,00	10,50	193,00	158,68	145,70
2,0	nc	19,00	12,00	221,50	172,47	145,12
2,0	nc	19,00	14,00	259,50	190,85	144,14
2,0	coc	25,00	16,00	309,50	221,24	142,94
2,0	coc	25,00	18,00	359,50	251,63	141,53
2,0	coc	25,00	20,00	409,50	282,02	139,92
2,0	coc	25,00	22,00	459,50	312,40	138,13
2,0	coc	25,00	24,00	509,50	342,79	136,18
2,0	coc	25,00	26,00	559,50	373,18	134,11
2,0	coc	25,00	28,00	609,50	403,56	131,93
2,0	coc	25,00	30,00	659,50	433,95	129,67
4,0	coc	25,00	33,00	734,50	479,53	126,16
4,0	coc	25,00	37,00	834,50	540,31	121,39
4,0	coc	25,00	41,00	934,50	601,08	116,60
4,0	coc	25,00	45,00	1034,50	661,85	111,89
4,0	coc	25,00	49,00	1134,50	722,63	107,32
4,0	coc	25,00	53,00	1234,50	783,40	102,92
4,0	coc	25,00	57,00	1334,50	844,18	98,73
4,0	coc	25,00	61,00	1434,50	904,95	94,75
4,0	coc	25,00	65,00	1534,50	965,72	90,98

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	1,0	-	1,0	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	2,1	-	2,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
50,0	0,41	0,35	4,1	-	4,1	-
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,1	0,1	0,2	0,2
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,2	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,4	0,4
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	-	-	-	-

Cedimento immediato		**[mm]**	**33,9**
Cedimento di consolidazione		**[mm]**	**1,8**
Cedimento totale		**[mm]**	**35,8**

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	30,70
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo [m]	19,50

Parametri di calcolo

x	11,20
x'	50,20

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R_0 [m]	R_1 [m]	R_2 [m]	a [°]	b [°]	R_0' [m]	R_1' [m]	R_2' [m]	α' [°]	β' [°]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,3	11,2	11,2	19,5	177,4	0,5	50,2	27,8	19,5	0,2	0,2	147,00
0,8	11,2	11,2	19,5	172,3	1,6	50,2	27,8	19,5	0,7	0,7	147,00
1,3	11,3	11,3	19,5	167,3	2,7	50,2	27,8	19,5	1,1	1,1	147,00
1,8	11,3	11,3	19,6	162,2	3,8	50,2	27,9	19,6	1,6	1,5	146,99
2,3	11,4	11,4	19,6	157,3	4,8	50,3	27,9	19,6	2,1	2,0	146,99
2,8	11,5	11,5	19,7	152,4	5,8	50,3	27,9	19,7	2,5	2,4	146,97
3,5	11,7	11,7	19,8	145,3	7,2	50,3	28,0	19,8	3,2	3,0	146,95
4,5	12,1	12,1	20,0	136,2	8,9	50,4	28,2	20,0	4,1	3,8	146,89
5,5	12,5	12,5	20,3	127,7	10,4	50,5	28,3	20,3	4,9	4,6	146,80
6,5	12,9	12,9	20,6	119,7	11,7	50,6	28,5	20,6	5,8	5,3	146,67
7,5	13,5	13,5	20,9	112,4	12,8	50,8	28,8	20,9	6,6	5,9	146,50
8,5	14,1	14,1	21,3	105,6	13,6	50,9	29,1	21,3	7,4	6,6	146,29
9,5	14,7	14,7	21,7	99,4	14,3	51,1	29,4	21,7	8,2	7,1	146,02
10,5	15,4	15,4	22,1	93,7	14,9	51,3	29,7	22,1	8,9	7,6	145,70
12,0	16,4	16,4	22,9	86,1	15,4	51,6	30,3	22,9	9,9	8,3	145,12
14,0	17,9	17,9	24,0	77,3	15,7	52,1	31,1	24,0	11,1	8,9	144,14
16,0	19,5	19,5	25,2	70,0	15,6	52,7	32,1	25,2	12,2	9,4	142,94
18,0	21,2	21,2	26,5	63,8	15,4	53,3	33,1	26,5	13,2	9,8	141,53
20,0	22,9	22,9	27,9	58,5	15,0	54,0	34,2	27,9	14,0	10,0	139,92
22,0	24,7	24,7	29,4	54,0	14,6	54,8	35,5	29,4	14,7	10,1	138,13
24,0	26,5	26,5	30,9	50,0	14,1	55,6	36,7	30,9	15,3	10,1	136,18
26,0	28,3	28,3	32,5	46,6	13,6	56,5	38,1	32,5	15,7	10,0	134,11
28,0	30,2	30,2	34,1	43,6	13,1	57,5	39,5	34,1	16,1	9,9	131,93
30,0	32,0	32,0	35,8	40,9	12,6	58,5	40,9	35,8	16,3	9,8	129,67
33,0	34,8	34,8	38,3	37,5	11,8	60,1	43,1	38,3	16,6	9,5	126,16
37,0	38,7	38,7	41,8	33,7	10,9	62,4	46,3	41,8	16,7	9,1	121,39
41,0	42,5	42,5	45,4	30,6	10,2	64,8	49,5	45,4	16,6	8,7	116,60
45,0	46,4	46,4	49,0	28,0	9,5	67,4	52,9	49,0	16,4	8,3	111,89
49,0	50,3	50,3	52,7	25,8	8,8	70,2	56,3	52,7	16,1	7,9	107,32
53,0	54,2	54,2	56,5	23,9	8,3	73,0	59,8	56,5	15,8	7,5	102,92
57,0	58,1	58,1	60,2	22,2	7,8	76,0	63,4	60,2	15,4	7,1	98,73
61,0	62,0	62,0	64,0	20,8	7,3	79,0	67,0	64,0	15,0	6,8	94,75
65,0	66,0	66,0	67,9	19,6	6,9	82,1	70,7	67,9	14,5	6,5	90,98

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	8,30
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo	[m]	30,70

Livello piezometrico da p.c.	[m]	7,00

Rapporto di rigidezza	1,00

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m^3]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,5	nc	18,00	0,25	4,50	4,50	1,04
0,5	nc	18,00	0,75	13,50	13,50	3,13
0,5	nc	18,00	1,25	22,50	22,50	5,22
0,5	nc	18,00	1,75	31,50	31,50	7,29
0,5	nc	18,00	2,25	40,50	40,50	9,36
0,5	nc	18,00	2,75	49,50	49,50	11,42
1,0	nc	18,00	3,50	63,00	63,00	14,48
1,0	nc	18,00	4,50	81,00	81,00	18,50
1,0	nc	18,00	5,50	99,00	99,00	22,44
1,0	nc	18,00	6,50	117,00	117,00	26,28
1,0	nc	19,00	7,50	136,00	131,10	30,01
1,0	nc	19,00	8,50	155,00	140,29	33,62
1,0	nc	19,00	9,50	174,00	149,48	37,09
1,0	nc	19,00	10,50	193,00	158,68	40,43
2,0	nc	19,00	12,00	221,50	172,47	45,15
2,0	nc	19,00	14,00	259,50	190,85	50,92
2,0	coc	25,00	16,00	309,50	221,24	56,09
2,0	coc	25,00	18,00	359,50	251,63	60,65
2,0	coc	25,00	20,00	409,50	282,02	64,64
2,0	coc	25,00	22,00	459,50	312,40	68,08
2,0	coc	25,00	24,00	509,50	342,79	71,03
2,0	coc	25,00	26,00	559,50	373,18	73,50
2,0	coc	25,00	28,00	609,50	403,56	75,56
2,0	coc	25,00	30,00	659,50	433,95	77,23
4,0	coc	25,00	33,00	734,50	479,53	79,11
4,0	coc	25,00	37,00	834,50	540,31	80,62
4,0	coc	25,00	41,00	934,50	601,08	81,22
4,0	coc	25,00	45,00	1034,50	661,85	81,13
4,0	coc	25,00	49,00	1134,50	722,63	80,50
4,0	coc	25,00	53,00	1234,50	783,40	79,49
4,0	coc	25,00	57,00	1334,50	844,18	78,19
4,0	coc	25,00	61,00	1434,50	904,95	76,69
4,0	coc	25,00	65,00	1534,50	965,72	75,05

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
50,0	0,41	0,35	0,0	-	0,0	-
50,0	0,41	0,35	0,0	-	0,0	-
50,0	0,41	0,35	0,0	-	0,0	-
50,0	0,41	0,35	0,1	-	0,1	-
50,0	0,41	0,35	0,1	-	0,1	-
50,0	0,41	0,35	0,1	-	0,1	-
50,0	0,41	0,35	0,2	-	0,2	-
50,0	0,41	0,35	0,3	-	0,3	-
50,0	0,41	0,35	0,3	-	0,3	-
50,0	0,41	0,35	0,4	-	0,4	-
50,0	0,41	0,35	0,4	-	0,4	-
50,0	0,41	0,35	0,5	-	0,5	-
50,0	0,41	0,35	0,5	-	0,5	-
50,0	0,41	0,35	0,6	-	0,6	-
50,0	0,41	0,35	1,3	-	1,3	-
50,0	0,41	0,35	1,4	-	1,4	-
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,1	0,0	0,1	0,1
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	0,2	0,1	0,3	0,3
600,0	0,57	0,45	-	-	-	-
600,0	0,57	0,45	-	-	-	-
600,0	0,57	0,45	-	-	-	-

Cedimento immediato	**[mm]**	**7,6**
Cedimento di consolidazione	**[mm]**	**1,0**
Cedimento totale	**[mm]**	**8,6**

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	30,70
Larghezza scarpa esterna	[m]	22,40
Altezza	[m]	13,70
Peso di volume del materiale	[kN/m^3]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	294,0

Coordinate verticale di calcolo [m]	30,70

Parametri di calcolo

x	0,00
x'	61,40

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R_0 [m]	R_1 [m]	R_2 [m]	a [°]	b [°]	R_0' [m]	R_1' [m]	R_2' [m]	α' [°]	β' [°]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
0,3	0,3	22,4	30,7	89,4	0,2	61,4	39,0	30,7	0,1	0,1	1,04
0,8	0,8	22,4	30,7	88,1	0,5	61,4	39,0	30,7	0,4	0,3	3,13
1,3	1,3	22,4	30,7	86,8	0,9	61,4	39,0	30,7	0,7	0,5	5,22
1,8	1,8	22,5	30,7	85,5	1,2	61,4	39,0	30,7	0,9	0,7	7,29
2,3	2,3	22,5	30,8	84,3	1,5	61,4	39,1	30,8	1,2	0,9	9,36
2,8	2,8	22,6	30,8	83,0	1,9	61,5	39,1	30,8	1,5	1,1	11,42
3,5	3,5	22,7	30,9	81,1	2,4	61,5	39,2	30,9	1,9	1,4	14,48
4,5	4,5	22,8	31,0	78,6	3,0	61,6	39,3	31,0	2,4	1,8	18,50
5,5	5,5	23,1	31,2	76,2	3,6	61,6	39,4	31,2	2,9	2,1	22,44
6,5	6,5	23,3	31,4	73,8	4,2	61,7	39,5	31,4	3,4	2,5	26,28
7,5	7,5	23,6	31,6	71,5	4,8	61,9	39,7	31,6	3,9	2,8	30,01
8,5	8,5	24,0	31,9	69,2	5,3	62,0	39,9	31,9	4,4	3,2	33,62
9,5	9,5	24,3	32,1	67,0	5,8	62,1	40,1	32,1	4,9	3,5	37,09
10,5	10,5	24,7	32,4	64,9	6,2	62,3	40,4	32,4	5,4	3,8	40,43
12,0	12,0	25,4	33,0	61,8	6,8	62,6	40,8	33,0	6,0	4,2	45,15
14,0	14,0	26,4	33,7	58,0	7,5	63,0	41,4	33,7	6,9	4,8	50,92
16,0	16,0	27,5	34,6	54,5	8,0	63,5	42,2	34,6	7,7	5,2	56,09
18,0	18,0	28,7	35,6	51,2	8,4	64,0	43,0	35,6	8,4	5,6	60,65
20,0	20,0	30,0	36,6	48,2	8,7	64,6	43,8	36,6	9,1	5,9	64,64
22,0	22,0	31,4	37,8	45,5	8,9	65,2	44,8	37,8	9,7	6,2	68,08
24,0	24,0	32,8	39,0	43,0	9,0	65,9	45,8	39,0	10,3	6,4	71,03
26,0	26,0	34,3	40,2	40,7	9,0	66,7	46,9	40,2	10,7	6,6	73,50
28,0	28,0	35,9	41,6	38,7	9,0	67,5	48,0	41,6	11,2	6,7	75,56
30,0	30,0	37,4	42,9	36,7	8,9	68,3	49,2	42,9	11,5	6,8	77,23
33,0	33,0	39,9	45,1	34,2	8,8	69,7	51,1	45,1	12,0	6,8	79,11
37,0	37,0	43,3	48,1	31,2	8,5	71,7	53,8	48,1	12,4	6,8	80,62
41,0	41,0	46,7	51,2	28,6	8,2	73,8	56,6	51,2	12,7	6,7	81,22
45,0	45,0	50,3	54,5	26,5	7,8	76,1	59,5	54,5	12,8	6,6	81,13
49,0	49,0	53,9	57,8	24,6	7,5	78,6	62,6	57,8	12,9	6,4	80,50
53,0	53,0	57,5	61,2	22,9	7,2	81,1	65,8	61,2	12,9	6,3	79,49
57,0	57,0	61,2	64,7	21,5	6,9	83,8	69,1	64,7	12,7	6,1	78,19
61,0	61,0	65,0	68,3	20,2	6,6	86,6	72,4	68,3	12,6	5,9	76,69
65,0	65,0	68,8	71,9	19,0	6,3	89,4	75,8	71,9	12,4	5,7	75,05