

**S.S. 106 "JONICA"**  
**Lavori di realizzazione dell'asta di collegamento**  
**in dx idraulica del Torrente Gerace**  
**tra la SS 106 VAR/B (Svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050**

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. CZ311

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
 Ing. Francesco M. LA CAMERA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

**S.T.E. s.r.l.**

Structure and Transport Engineering

Direttore Tecnico  
 Ing. E. Moroni  
 Ordine Ing. Roma  
 N. 10020

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  
 Ing. Francesco M. LA CAMERA

**ROCKSOIL** S.p.A.

Direttore Tecnico  
 Ing. G. Cassani  
 Ordine Ing. Milano  
 N.20997

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Fiorenza PENNINO Ordine Geol. Lombardia N. 1575

**E.D.IN. s.r.l.**  
 Società di Ingegneria

Direttore Tecnico  
 Ing. G. Grimaldi  
 Ordine Ing. Roma  
 N. 17703

L'ARCHEOLOGA: Dott.ssa Grazia SAVINO

Elenco MIBACT n. 3856 – archeologa di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Antonella PIRROTTA

**Prof. Arch. F. KARRER**

Ordine Arch. Roma  
 N. 2097

**GEOTECNICA**  
**Relazione geotecnica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00_GE10_GET_RE01_C			
DPCZ0311	D 20	CODICE ELAB.	T00GE10GETRE01	C	-
C	EMISSIONE PER PROCEDURA VASSVIA	Ottobre 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
B	EMISSIONE A SEGUITO RIESAME INTERMEDIO	Luglio 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
A	PRIMA EMISSIONE	Marzo 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>4</b>
2.1	DOCUMENTI .....	4
2.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	4
2.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	4
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>7</b>
3.1	TRACCIATO .....	7
3.2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA .....	8
3.2.1	<i>Formazioni d'interesse</i> .....	9
3.3	IDROGEOLOGIA.....	13
3.4	CRITICITÀ RILEVATE .....	13
3.5	SISMICA .....	15
3.5.1	<i>Azione sismica di progetto</i> .....	17
<b>4</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> .....	<b>18</b>
4.1	DATI PIEZOMETRICI .....	20
<b>5</b>	<b>CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>21</b>
5.1	MATERIALI A GRANA GROSSA .....	21
5.1.1	<i>Densità relativa</i> .....	21
5.1.2	<i>Angolo di resistenza al taglio</i> .....	22
5.1.3	<i>Parametri di deformazione</i> .....	24
5.2	MATERIALI A GRANA FINE .....	27
5.2.1	<i>Resistenza al taglio</i> .....	27
5.2.2	<i>Storia tensionale - OCR</i> .....	28
5.2.3	<i>Permeabilità</i> .....	28
5.2.4	<i>Parametri di deformazione</i> .....	28
5.3	QUALITÀ DEI CAMPIONI.....	30
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>32</b>
6.1	UNITÀ SG .....	34
6.2	UNITÀ SL .....	41
6.3	UNITÀ CON .....	48
6.4	UNITÀ AL.....	55
6.5	UNITÀ LNC .....	67
6.6	CRITICITÀ DOVUTE A MECCANISMI FRANOSI .....	77
6.7	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA .....	79
<b>7</b>	<b>VERIFICA DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>80</b>
7.1	METODOLOGIA DI ANALISI .....	81
7.2	RISULTATI.....	82
<b>8</b>	<b>RILEVATI</b> .....	<b>1</b>
8.1	CRITERI DI VERIFICA E DI CALCOLO.....	1
8.1.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	2
8.1.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	3
8.2	AZIONI DI PROGETTO .....	3
8.2.1	<i>Azioni permanenti</i> .....	3

8.2.2	<i>Azioni variabili</i> .....	3
8.2.3	<i>Azione sismica</i> .....	3
8.3	SEZIONI DI CALCOLO .....	4
8.4	RISULTATI E VERIFICHE .....	5
<b>9</b>	<b>TERRENI DI POSA E SOTTOFONDO .....</b>	<b>18</b>
9.1	PROVE IN SITO.....	18
9.2	PROVE DI LABORATORIO .....	19
9.3	BONIFICA DEI PIANI DI POSA DEI RILEVATI E DEI SOTTOFONDI .....	21

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione definisce gli aspetti geotecnici generali di riferimento per gli interventi ricadenti nell'ambito del Progetto Definitivo della S.S. 106 Variante Svincolo Gerace, ovvero del collegamento tra la S.S. 106 VAR/B (svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050.

In particolare, il modello geotecnico è stato elaborato sulla base di dati geognostici raccolti con la campagna di indagini del 2020-2021 e nel corso delle attività previste per il progetto del Megalotto 1 (DG22) della S.S. 106 "Jonica".

La relazione si articola come segue:

- il capitolo 2 elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento;
- il capitolo 3 propone un inquadramento generale dell'opera e riassume le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito;
- il capitolo 4 riporta un riepilogo delle indagini geotecniche effettuate nelle differenti fasi progettuali;
- il capitolo 5 descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche;
- il capitolo 6 descrive l'esito della caratterizzazione geotecnica dei materiali naturali presenti nell'area d'intervento;
- il capitolo 7 riepiloga le principali criticità geotecniche presenti sul tracciato, con particolare riferimento alle aree in frana presenti;
- il capitolo 8 sintetizza le verifiche eseguite sui rilevati stradali;
- Il capitolo 9 riassume le indicazioni per la preparazione dei terreni di posa del pacchetto stradale e dei rilevati.

La relazione fornisce un quadro geotecnico generale di riferimento per la S.S. 106 Variante Svincolo Gerace. Il dimensionamento delle singole opere partirà dalle osservazioni riassunte nei seguenti capitoli ed il progettista affronterà la parametrizzazione geotecnica, la modellazione e le necessarie verifiche in considerazione delle condizioni locali e della tipologia di manufatto presa in esame. Per maggiori informazioni in merito, si faccia riferimento alle relazioni predisposte per le singole opere.

Il progetto è stato interamente redatto nel rispetto della normativa vigente (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018).

## 2 RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA

### 2.1 Documenti

- [1] Profilo geotecnico – 000\_T00\_GE10\_GET\_FG01-02
- [2] Planimetria ubicazione indagini – 000\_T00\_GE02\_GEO\_PU01-02
- [3] Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica generale – 000\_T00\_GE00\_GEO\_RE01
- [4] Carta geologica di dettaglio – 000\_T00\_GE03\_GEO\_CG01-02
- [5] Carta geomorfologica di dettaglio – 000\_T00\_GE03\_GEO\_CG11-12
- [6] Carta idrogeologica – 000\_T00\_GE03\_GEO\_CI01
- [7] Profilo geologico – 000\_T00\_GE04\_GEO\_FG01-02
- [8] Sezioni geotecniche trasversali - 000\_T00\_GE10\_GET\_SG01
- [9] Carta degli scenari di rischio PAI – 000\_T00\_GE03\_GEO\_CG03
- [10] Relazione sismica – 000\_T00\_GE12\_GET\_RE01
- [11] Documentazione indagini geognostiche pregresse – 000\_T00\_GE01\_GEO\_RE02-04
- [12] Documentazioni indagini geognostiche integrative – 000\_T00\_GE02\_GEO\_RE02-04
- [13] Relazione geotecnica Megalotto1 – LO716APE0TGETGE000000RE01
- [14] Relazione di monitoraggio geotecnico e geomorfologico - 000\_T00\_GE11\_GET\_RE01
- [15] Profili longitudinali – 000\_T00\_PS00\_TRA\_FP00, 000\_T00\_SV01\_TRA\_FP01-05, 000\_T00\_SV02\_TRA\_FP01, 000\_T00\_SV03\_TRA\_FP01, 000\_T00\_SV04\_TRA\_FP01-02, 000\_T00\_SV05\_TRA\_FP01-02
- [16] Sezioni trasversali – 000\_T00\_PS00\_TRA\_SZ01, 000\_T00\_SV01\_TRA\_SZ01, 000\_T00\_SV02\_TRA\_SZ01, 000\_T00\_SV03\_TRA\_SZ01, 000\_T00\_SV04\_TRA\_SZ01, 000\_T00\_SV05\_TRA\_SZ01

### 2.2 Normative di riferimento

- [17] AGI (1977) Raccomandazioni sulla “Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche”
- [18] AGI (1994) Raccomandazioni sulle “Prove geotecniche di laboratorio”
- [19] AGI (2005) Linee Guida “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”
- [20] Circolare Applicativa delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. 17 gennaio 2018
- [21] DM 17.01.2018, “Norme tecniche per le Costruzioni”
- [22] Gruppo di Lavoro MPS 2004, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV Milano-Roma
- [23] UNI EN 1997-1:2005 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”
- [24] UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”

### 2.3 Riferimenti bibliografici

- [25] Amar S. and Jézéquel F.J. (1972). Essais en place et en laboratoire sur sols cohérents comparaison des résultats, Bulletin de liaison de LCPC, Paris, No 58, pp 97-108
- [26] Andrus, R. D., and Stokoe, K. H. (2000), “Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., ASCE 126(11), 1015-025
- [27] Atkinson J.H. and Salfors G. (1991), “Experimental determination of soil properties. General Session 1”, Proc. X ECSMFE, Florence, Vol. 3, pp-915-956

- [28] Atkinson J.H. (2000), "Non-linear soil stiffness in routine design", *Geotechnique*, Vol.50, n.5, pp.487-508
- [29] Baligh (1975) "Theory of deep site static cone penetration resistance" Research Report R-75-56, MIT, Cambridge
- [30] Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36 , n° 1
- [31] Bowles (1997) *Foundation analysis and design*, 5th edition McGraw-Hill,
- [32] CIRIA C760 (2017) *Guidance on embedded retaining wall design*
- [33] Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995
- [34] Cubrinovski, M., and Ishihara, K. (1999) "Empirical Correlation between SPT N-Value and Relative Density for Sandy Soils," *Soils and Foundations*, Japanese Geotechnical Society, Vol. 39, No. 5, pp 61-71
- [35] DeGroot D.J. e Sandven R. (2004), "General report: Laboratory and field comparison". Proc. ISC-2 Geotechnical and geophysical Site Characterization, Viana da Fonseca & Mayne ed. pp.1775-1789
- [36] De Mello V.F.B. (1971), The standard Penetration Test, Proc. 4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, vol. 1
- [37] Duncan J.M., Buchignani A.L. (1976) - "An engineering manual for settlement studies" Dipartimento di Ingegneria Civile – Università della California, Berkeley.
- [38] Hara, A., Ohata, T., and Niwa, M. (1971) Shear Modulus and Shear Strength of Cohesive Soils, *Soils and Foundations*, Vol. 14, No. 3, 1-12
- [39] Ishihara K. (1996), "Soil behaviour in earthquake Engineering". Clarendon Press, Oxford
- [40] Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" *Proceedings In-situ 2001*, Bali
- [41] Ito T., Matsui T. (1975). "Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles", *Soils and Foundations*
- [42] Jamiolkowski M., Ghionna V. N., Lancellotta R. & Pasqualini E. (1988). New correlations of penetration tests for design practice. Proc., Penetration Testing 1988, ISOPT 1, Orlando, Florida, J. De Ruiter ed., Vol.1,263-296
- [43] Kulhawy F.H. e Mayne P.W. (1990), "Manual on estimating soil properties for foundation design", Cornell University, Geotechnical Engineering Group, Ithaca, New York, EL-6800, Research Project 1493-6
- [44] Lancellotta R. (1987) "Geotecnica" Zanichelli, Bologna
- [45] Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. (1997). "Cone Penetration Testing in Engineering Practice" Blackie Academic and Professional, London
- [46] Lunne T., Berre T. and Strandvik S. (1997), "Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay". Conference on Recent Developments in Soil and Pavement mechanics, Rio de Janeiro, June 1997, Proc. pp.81-102
- [47] Mesri, G. and Abdel-Ghaffar, M.E.M. (1993) "Cohesion intercept in effective stress stability analysis". *Journal of Geotechnical Engineering* 119 (8), 1229-1249
- [48] Mesri G. e Godlewski P.M. (1977), "Time and stress-compressibility relationship". JGED, ASCE, GT5
- [49] Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.6
- [50] Robertson P.K. and Cabal K.L. (2012), "Guide to Penetration Testing" Gregg Drilling & testing Inc. Publications. 5th Edition, November 2012. Teh, C.I. & Houlsby, G.T. (1991), "An analytical study of the cone penetration test in clay", *Geotechnique* 41, n. 1, pp. 17-34
- [51] Schmertmann J. H. (1978) "Guidelines for cone penetration test: performance and design" US Department of Transportation – FHWA – TS-78-209 Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test

- procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" *Geotechnique* 36, n° 3
- [53] Seed H.B. e Idriss I.M. (1970), "Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis", Report EERC 70-10, University of California, EERC, Berkeley
  - [54] Seed H.B. and Sun J.I. (1989) Implications of Site Effects in the Mexico City Earthquake of September 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in the San Francisco Bay Area of California. National Science Foundation, Washington, DC., March 1989, 138 p
  - [55] Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham
  - [56] Terzaghi and Peck (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley, New York
  - [57] Tokimatsu K and Yoshimi Y. (1983), Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on Spt N-Value and Fines Content." *Soils and Foundations*, Vol.23, Issue no.4, 56-74 Viggiani C. - "Fondazioni" – Hevelius Edizioni
  - [58] Viggiani (2000) *Fondazioni*, Hevelius Edizioni
  - [59] Yoshida Y. e Motonori I., (1988) "Empirical Formulas of SPT Blow-Counts for Gravelly Soils"; Proceedings of ISOPT-1, Orlando (USA)
  - [60] Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE

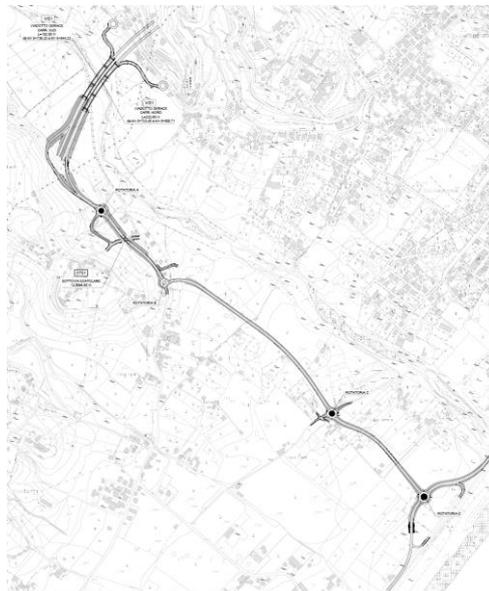
#### 3.1 Tracciato

L'opera in oggetto prevede la realizzazione del nuovo collegamento tra la S.S. 106 VAR/B (svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050. Si colloca lungo la sponda destra del torrente Gerace, con andamento circa NE-SW nella parte iniziale e NW-SE nella parte finale, a ridosso della costa ionica calabrese.

L'opera in oggetto prevede la realizzazione del nuovo collegamento tra la S.S. 106 VAR/B (svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050. Si colloca lungo la sponda destra del torrente Gerace, con andamento circa NE-SW nella parte iniziale e NW-SE nella parte finale, a ridosso della costa ionica calabrese.

Nell'ambito del progetto si prevede la costruzione delle seguenti opere d'arte:

- Nuovo viadotto Gerace VI01, carreggiata sud;
- Paratia di pali OS01, rampa B;
- Tombino circolare TO16  $\Phi$ 1500, 220 rampa C;
- Tombino circolare TO20  $\Phi$ 2000, rotatoria A
- Tombino scatolare TO35 2.00x2.00m, rotatoria A collegamento Sud;
- Tombino scatolare TO30 3.00x2.00m, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Muri di sottoscarpa OS02 e OS03, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Sottovia scatolare 12.00x6.50m ST01, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Tombini circolari TO40 e TO45  $\Phi$ 2000, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Tombino scatolare TO50 4.00x3.00m, rotatoria C;
- Tombino circolare TO20  $\Phi$ 1500, rotatoria C collegamento est;
- Tombino scatolare TO58, 4.00x3.00m, fuori asse;
- Tombino scatolare 3.00x3.00m, nelle vicinanze della rotatoria D
- Tombini circolari TO70 e TO85  $\Phi$ 1500, rotatoria D collegamenti est e ovest;
- Rilevati stradali.



**Figura 1. Tracciato di progetto**

## 3.2 Geologia e geomorfologia

La geologia della Calabria è caratterizzata prevalentemente da falde cristalline (denominate Complesso Calabride, Ogniben, 1969; 1973; o Unità dell'Arco Calabro-Peloritano da Amodio Morelli et al., 1976) messe in posto, nel Miocene inferiore, durante l'orogenesi alpina (Amodio Morelli et al., 1976). In Calabria settentrionale queste falde, costituite da rocce granitiche e da rocce metamorfiche e ofiolitiche sia di basso che di alto grado, sono sovrascorse sui terreni sedimentari che costituiscono la Catena appenninica.

In Calabria meridionale le unità granitiche e metamorfiche che compongono i rilievi dell'Aspromonte proseguono in Sicilia costituendo interamente l'ossatura dei Monti Peloritani. Nell'insieme, le unità cristalline della Calabria meridionale e dei Monti Peloritani si sono accavallate sulle unità sedimentarie della Catene delle Maghrebidi siciliane.

La saldatura delle Unità calabridi con la catena appenninica e maghrebide è avvenuta, quasi sicuramente, durante il Miocene inferiore.

Strutturalmente i terreni che compongono interamente la Calabria hanno subito numerose fasi tettoniche, le cui strutture più appariscenti risultano essere le strutture di sovrascorrimento tra le varie unità cristalline calabridi e tra le rocce sedimentarie del versante jonico.

L'area oggetto del presente progetto ricade nella regione geotettonica dell'Arco Calabro Peloritano, struttura complessa che, secondo le interpretazioni geologiche più accettate, è ritenuta un lembo di catena alpina che dopo l'apertura del Mar Tirreno si è spostata verso SE, in sovrapposizione a un piano di subduzione immergente verso NW, lungo il quale la litosfera ionica sprofonda sotto l'Arco per immergersi sotto la litosfera tirrenica.

L'Arco Calabro-Peloritano rappresenta l'attuale stato di massima distorsione della Catena Appenninico-Maghrebide e l'elemento di raccordo tra gli assi NW-SE dell'Appennino meridionale con quelli E-W delle Maghrebidi. Tale distorsione è legata all'attività geodinamica profonda e presenta velocità ed entità di espansione massime nella porzione più meridionale.

La Calabria presenta caratteri peculiari rispetto al contesto geologico generale dell'Italia meridionale. Le rocce granitiche e metamorfiche che compongono quasi totalmente i rilievi della Sila, delle Serre e dell'Aspromonte spiccano nettamente rispetto alle rocce sedimentarie (calcaree e terrigene) che compongono la gran parte dell'Appennino meridionale e della Sicilia. Due grossi sistemi strutturali trasversali delimitano i terreni cristallini calabridi rispetto alle catene sud-appenninica (linea di Sanginetto) e maghrebide (linea di Taormina).

In un tale contesto strutturale, l'edificio tirrenico dell'Arco Calabro-Peloritano risulta costituito da una serie di falde sovrapposte costituite, in buona parte, da un basamento cristallino premesozoico (Complesso Calabride e Unità dell'Arco Calabro-Peloritano), talora ricoperto da una fascia sedimentaria meso-cenozoica con caratteristiche simili a quelle delle Alpi, messe in posto durante l'orogenesi alpina.

Nel settore meridionale le unità granitiche e metamorfiche che compongono i rilievi dell'Aspromonte e delle Serre proseguono in Sicilia costituendo interamente l'ossatura dei Monti Peloritani.

La struttura regionale risulta, inoltre, ulteriormente segmentata da importanti sistemi tardivi di faglie, legati all'apertura del basso Tirreno ed organizzati secondo allineamenti longitudinali, paralleli alle direttrici strutturali della catena, e trasversali; questi due diversi sistemi strutturali sono i principali responsabili dell'apertura di importanti bacini sedimentari, sia continentali che marini, longitudinali (bacini del Crati, del Mesima, di Crotone-Capo Spartivento, di Paola-Gioia) e trasversali (fossa del basso Crati-Sibari, fossa di Caltanzaro, fossa di Siderno) all'asse della catena calabra e della formazione di numerosi elementi strutturali, come horst e graben. Questi ultimi, in particolare, sono stati sede di deposizione di terreni sedimentari, continentali e marini, per lo più sabbioso-argillosi e conglomeratici.

In relazione alle caratteristiche litologiche, mineralogiche e stratigrafiche, i principali terreni affioranti nella regione calabrese possono essere raggruppati nelle seguenti unità: rocce ofiolitifere di basso, medio e alto grado; rocce intrusive acide e metamorfiche di alto grado; rocce metamorfiche di basso e medio grado; rocce carbonatiche; depositi flyscioidi e ad affinità flyscioide; depositi gessosi e formazioni associate; depositi detritici coerenti; depositi detritici sciolti.

La forma del territorio calabrese rappresenta l'attuale stato di massima distorsione della catena Appennino-Maghrebide che raccorda gli assi NW-SE dell'Appennino meridionale con quelli E-W delle Maghrebidi, che comprendono l'area siciliana. Tale torsione è legata all'attività geodinamica profonda (convergenza tra il blocco euroasiatico e quello africano), che comporta una forte attività tettonica, con l'insorgere di terremoti, un generale sollevamento con la genesi di forti energie di rilievo. È a questa evoluzione che deve essere attribuita la genesi di importanti discontinuità (faglie e fratture), successivamente ereditate dalle masse rocciose, e la formazione horst e graben (Graben del Crati, di Paola, di Catanzaro, del Mesima ecc.), con la deposizione all'interno di questi ultimi di terreni sedimentari continentali e marini per lo più sabbioso-argillosi e conglomeratici.

Le conseguenze di tale dinamica sono rappresentate, da un lato, dallo sviluppo di elevate energie di rilievo e, quindi, di versanti acclivi e instabili anche a causa del generale decadimento dei caratteri fisici dei terreni e, dall'altro, dalla repentina modifica della circolazione delle masse d'aria, sia di provenienza jonica sia tirrenica, e l'insorgere quindi di condizioni climatiche del tutto peculiari.

### 3.2.1 Formazioni d'interesse

Nella fase di rilevamento geologico in situ sono state riconosciute diverse formazioni geologiche, la cui stratigrafia locale viene riassunta qui di seguito.

Per la ricostruzione delle formazioni geologiche presenti nel territorio si è fatto riferimento a riscontri bibliografici – cartografici e al rilevamento geologico di campagna espletato nell'ambito del progetto di "Realizzazione della E90, tratto S.S. 106, da Ardo-re a Marina di Gioiosa Ionica (tratto Palizzi - Caulonia, ex lotti 6-7-8), incluso lo svincolo di Marina di Gioiosa Ionica", e che distingue dall'alto verso il basso le seguenti formazioni:

- Coltre detritico-colluviale;
- Depositi gravitativi di versante;
- Depositi di fiumara e depositi alluvionali dei rii minori;
- Depositi continentali terrazzati;
- Formazione di Monte Narbone;
- Formazione dei Trubi.

#### *Coltre detritico-colluviale attuale*

In generale si tratta di depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi con ciottoli generalmente sub-arrotondati e poligenici. Questi depositi hanno spessori massimi al piede delle scarpate, dove possono raggiungere potenze fino a 3 m, e si assottigliano sulle superfici terrazzate e sui versanti, dove presentano potenze medie pari a 0.5-1 m.

#### *Depositi gravitativi di versante*

Collegati a fenomeni superficiali: cola-menti, soliflussi o scivolamenti superficiali tipo soil slip, coinvolgenti la coltre detritica e la porzione superficiale del substrato. Terreni eterogenei a struttura caotica con granulometria limoso-argillosa-sabbiosa, localmente con elementi ghiaiosi.

#### *Depositi alluvionali e torrentizi dei rii minori (attuale)*

costituiti da ciottoli sub-arrotondati, poligenici ed eterometrici (da centimetrici a decimetrici) in matrice sabbioso-limosa.

#### *Depositi di fiumara (attuale)*

La deposizione di questi sedimenti è strettamente collegata all'azione stagionale delle fiumare (Condoianni, Portigliola, Gerace, Novi-to e Torbido); le dimensioni dei blocchi presenti e la presenza di opere antropiche divelte (argini e briglie di contenimento) sono indice di una alta energia di trasporto.

#### *Depositi continentali terrazzati (olocenici)*

Poggiano, con un contatto erosivo, sulle formazioni sottostanti; affiorano generalmente sulle superfici terrazzate ed hanno spessori piuttosto variabili (da pochi metri fino a una decina di metri). Questi sedimenti sono parzialmente pedogenizzati, hanno una colorazione rossastra e sono costituiti principalmente da ghiaie grossolane con ciottoli poligenici arrotondati, di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, in matrice sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Localmente si rinvergono grossi blocchi di dimensioni fino a metriche

#### *Formazione del Monte Narbone*

Costituita da una sequenza di arenarie debolmente cementate e peliti di ambiente marino. Gli spessori della Formazione di Monte Narbone variano da pochi metri sino ad un massimo di 100 m ed all'interno di essa sono stati distinti tre membri principali in base alla granulometria e al litotipo prevalente: P11, P12, P13.

P11 si tratta di accumuli caotici di sabbie e peliti di colore oca con clasti fino a 30 cm di diametro, riferibili al substrato marnoso-limoso-argilloso, con rari frammenti fossiliferi rimaneggiati, localmente con grossi blocchi, probabilmente connessi alla rielaborazione quaternaria del substrato.

P12 alternanze di livelli sabbiosi e livelli ghiaiosi con ciottoli e rari livelli pelitici; al tetto della formazione sono presenti livelli discontinui di paleosuoli cementati, passanti a livelli di ciottoli arrotondati eterometrici (da centimetrici a pluridecimetrici) e poligenici; scendendo nella successione si incontrano livelli di sabbie medio-fini arancioni ben classate (spessore 20-30 m) localmente con laminazione incrociata (sand waves) e strutture da tempesta tipo hummocky/cross stratification, con sottili strati siltitico-argillosi e livelli a ciottoli.

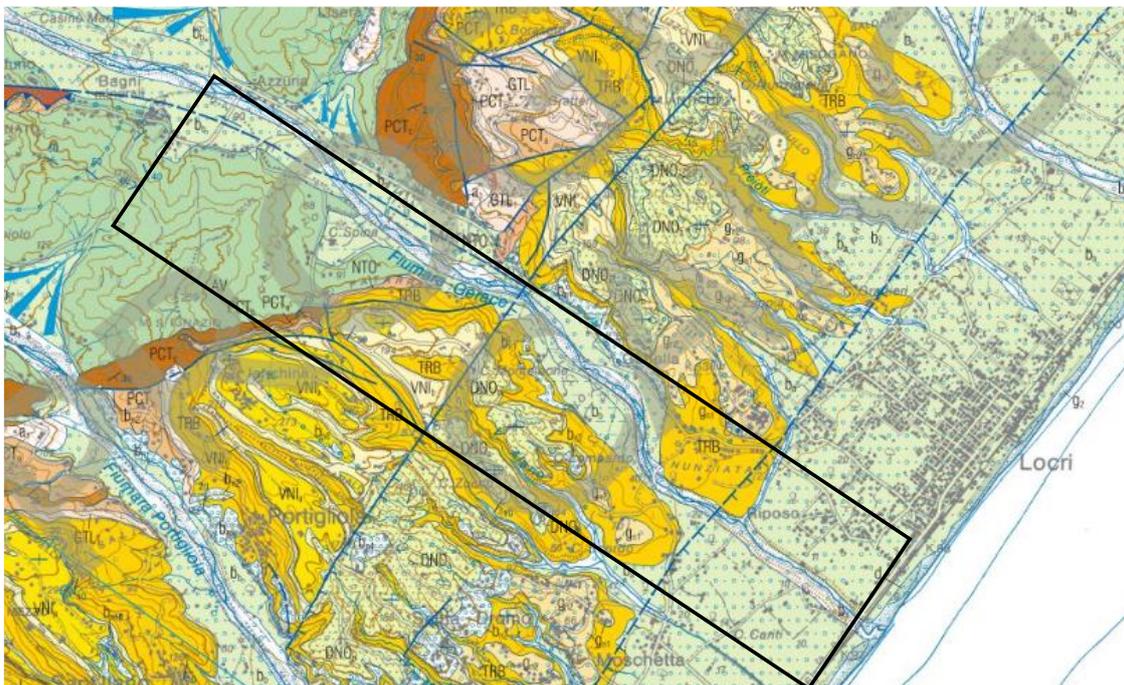
P13 questo livello rappresenta un orizzonte di passaggio al sottostante substrato pliocenico; esso è caratterizzato da livelli metrici di ciottoli arrotondati, poligenici ed eterometrici (da centimetrici a pluridecimetrici fino a metrici) in matrice ghiaioso-sabbiosa rossastra, localmente con passate sabbiose decimetriche.

#### *Formazione dei Trubi (pliocene inferiore)*

Costituisce il substrato presente lungo tutto il tracciato oggetto di studio ed è rappresentata come segue: un membro inferiore prevalentemente argilloso-limoso (P), uno intermedio prevalentemente sabbioso-limoso (SP), in eteropia con potenti livelli limoso-argillosi (SP/a), ed uno superiore nuovamente argilloso-limoso (AP, APa, APas). Questi membri, ben distinguibili durante il rilevamento di terreno e quindi anche

cartograficamente, sono caratterizzati da continue eteropie laterali e verticali che interessano sia i vari membri che i diversi termini di ogni singolo membro.

Di seguito, viene mostrato un estratto della carta geologica dell'area in progetto, facente parte del foglio 590 – Taurianova, della carta geologica del progetto CARG, in scala 1:50000.



**Figura 2. Estratto della carta geologica d'Italia (Foglio 590 – Taurianova, Ispra Ambiente – scala 1:50000)**

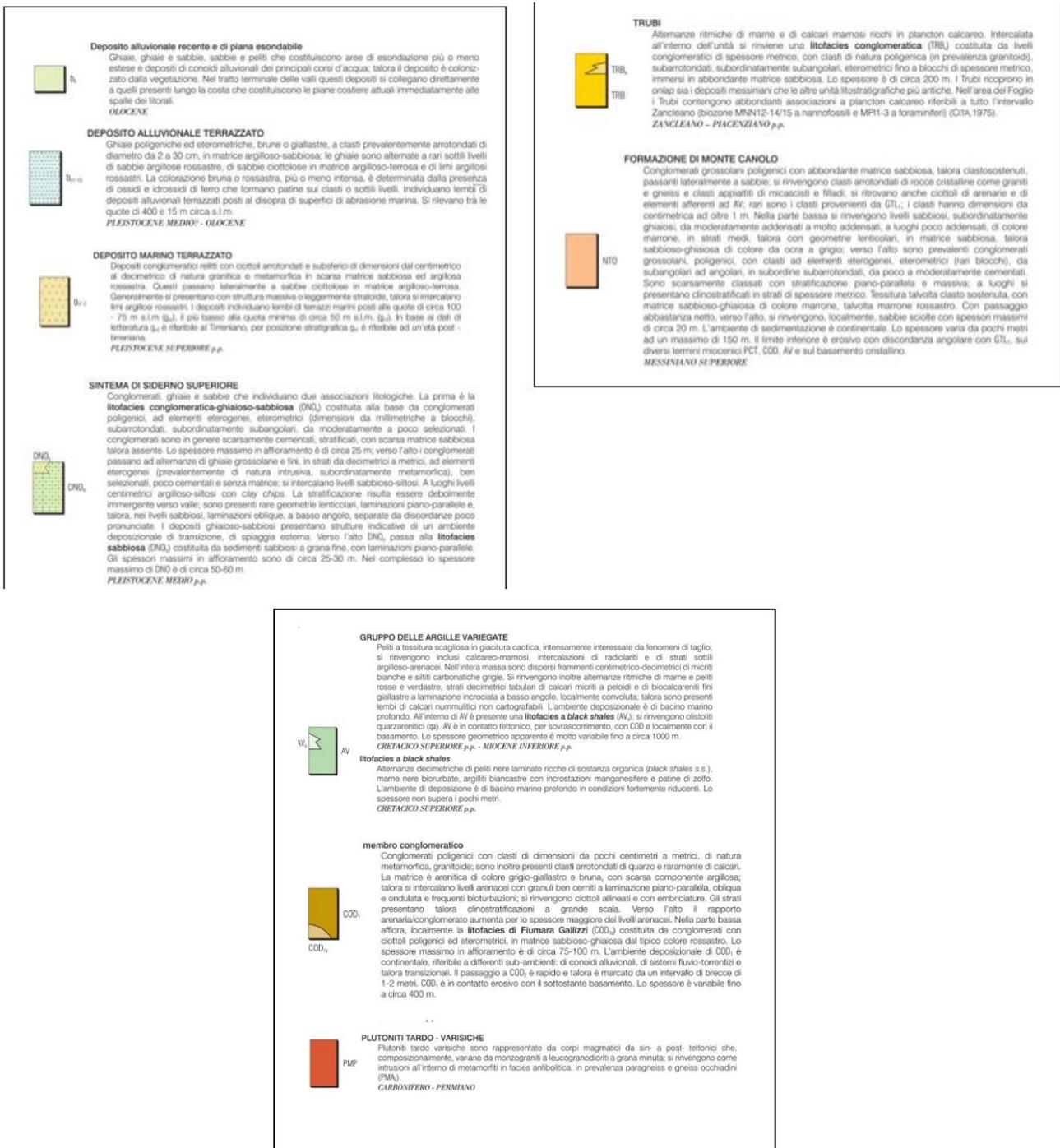


Figura 3. Unità geologiche d'interesse per la lettura della carta geologica

### 3.3 Idrogeologia

Il tracciato in progetto della S.S. 106 Jonica percorre, per la maggior parte, la piana alluvionale del Fiume Gerace, e le proprietà litologiche delle sequenze stratigrafiche locali condizionano le peculiarità idrogeologiche del territorio attraversato dalla S.S. 106.

L'assetto neotettonico regionale e l'attuale morfologia del territorio consentono lo sviluppo dei fiumi di maggiore lunghezza (Crati, Neto) soltanto nel settore settentrionale della Calabria.

La struttura della rete idrografica si presenta comunque nel complesso alquanto elementare. Lo spartiacque principale corre da nord a sud seguendo le cime della Catena Costiera, delle Serre e dell'Aspromonte delimitando un versante tirrenico, realmente esteso, ed uno ionico molto più ampio.

I complessi idrogeologici individuati nel Piano Territoriale Regionale (PTR) sono riassunti di seguito.

#### *Complesso dei depositi sabbioso-ghiaiosi a permeabilità di tipo primario a grado medio-alto*

Appartengono a questo complesso i depositi alluvionali e torrentizi terrazzati e attuali. Sono sedimenti caratterizzati da notevole eterogeneità litologica (prevalentemente sabbioso-ghiaiosi) e spessore molto variabile, ma di solito limitato. Questo complesso, vista la sua natura, è molto permeabile.

#### *Complesso sabbioso arenaceo a permeabilità di tipo misto di grado medio-alto*

Depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, variamente addensati o pseudocementati.

#### *Complesso argilloso a permeabilità di tipo primario di grado basso e molto basso*

Rappresentato da depositi marini prevalentemente argillosi con locali intercalazioni di natura siltos. È caratterizzato da una permeabilità e circolazione idrica sotterranea molto bassa. Il complesso ha funzione di "acquicluda" nei confronti dei complessi a maggior permeabilità relativa e di base per falde contenute nei complessi più superficiali.

#### *Complesso conglomeratico a permeabilità primaria di grado alto*

È costituito da un'associazione litologica che passa dai conglomerati con trovanti granitici di notevoli dimensioni, a ghiaie sabbiose, fino alle sabbie grossolane.

#### *Complesso granitico a permeabilità secondaria di grado medio-basso*

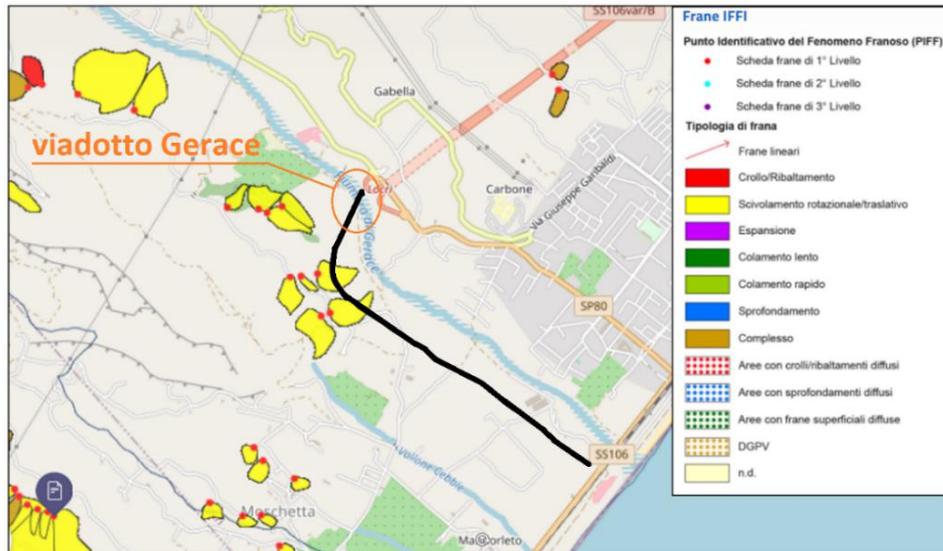
Comprende i depositi granitici che costituiscono il substrato su cui poggiano in discordanza tutti i depositi sedimentari che caratterizzano l'area oggetto di studio.

### 3.4 Criticità rilevate

Le principali criticità geomorfologiche descritte nella Relazione Geologica (Doc. rif. [3]) possono avere un impatto non trascurabile nell'ambito della progettazione di alcune opere d'arte.

L'analisi degli elaborati geologici e geomorfologici ha rilevato una elevata criticità morfologica nella zona più occidentale del tracciato. Trattasi di un'area interessata da movimenti franosi censiti dal PAI e che si estendono fino alle rampe B e C, nelle vicinanze di opere d'arte quali paratie di sostegno, rilevati e viadotto VI01.

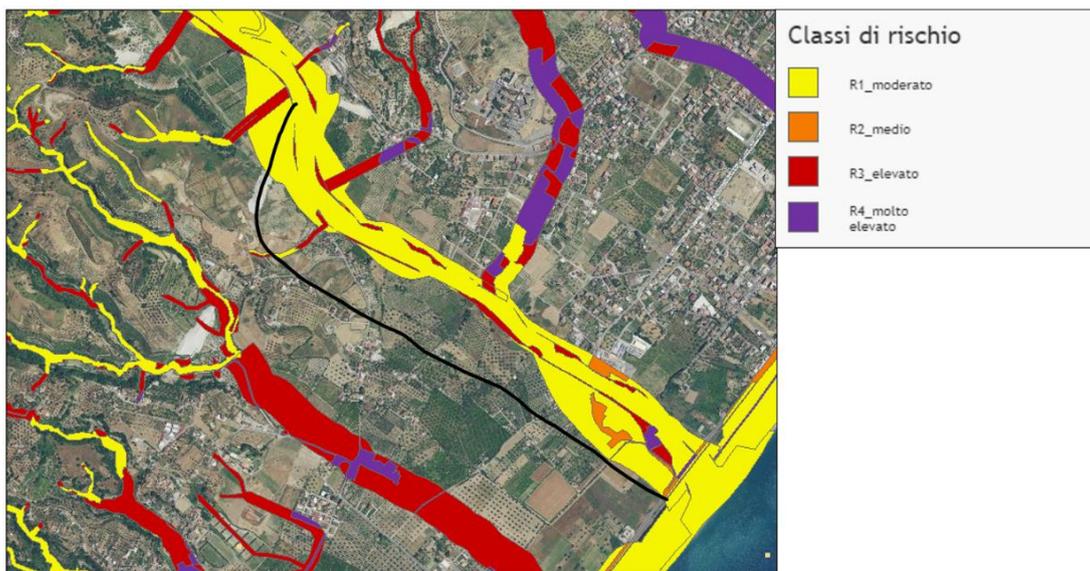
Secondo il catalogo IFFI di ISPRA e come illustrato in Figura 4, le zone in frana sono caratterizzate da scivolamenti rotazionali/traslazionali e da litologie argillose e sabbioso-limose. Per maggiori dettagli relativamente ai fenomeni franosi evidenziati, si rimanda alla Carta geomorfologica di dettaglio (Doc. rif. 4), alla Carta degli scenari di rischio PAI (Doc. rif. [8]) e alla Relazione geologica (Doc. rif. [3]).



**Figura 4. Carta identificativa dei complessi franosi (Portale IFFI). In nero l'area di tracciato della S.S. 106 Jonica**

Per quel che riguarda le zone a rischio alluvione, secondo il PGRA 2021 (GeoPortale Nazionale) tutta l'area nelle vicinanze del fiume Gerace è caratterizzata da un rischio moderato. In particolare, le zone attenzionate sono circoscritte all'ampio letto della fiumara e, nella parte terminale del tracciato, possono interessare alcuni caseggiati e campi agricoli, oltre al collegamento est tra la rotonda D e la S.S. 106.

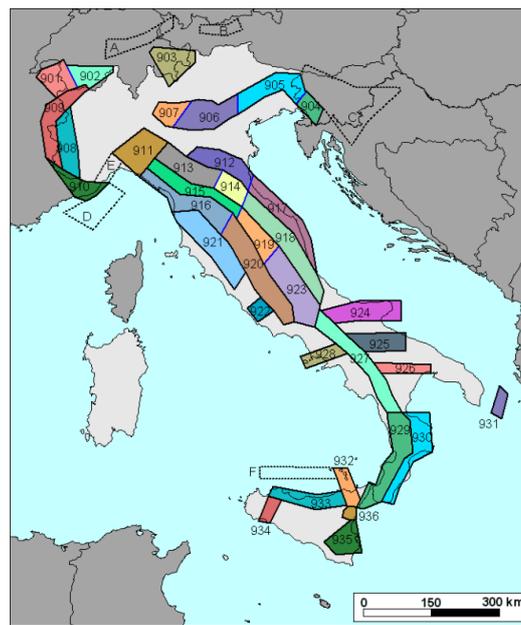
All'interno di tale regione, è pertanto da considerare il verificarsi di fenomeni di esondazione, erosione ed eventuale scalzamento di manufatti.



**Figura 5. Carta delle pericolosità idrogeologiche (Portale IFFI)**

### 3.5 Sismica

L'inquadramento sismico dell'area di progetto è stato eseguito a partire dalla zonazione sismogenetica ZS9 dell'INGV, nella quale il territorio nazionale è discretizzato in 36 zone (v. Figura 6) e per ognuna si definiscono la profondità media dei terremoti, il meccanismo di fagliazione prevalente e l'intensità massima dei fenomeni registrati.



**Figura 6. Zonazione sismogenetica ZS9**

In particolare, la Calabria è percorsa da due zone-sorgente che corrono parallele da nord a sud, una sul lato tirrenico (denominata 929) e l'altra sul lato ionico (zona 930). Tali zone sono il risultato della risposta superficiale all'arretramento fessurale della litosfera adriatica. Esse sono indice di due livelli di sismicità ben differenti. I terremoti con più alta magnitudo si sono verificati nella zona 929, ovvero nei bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo stretto di Messina. Relativamente alla zona 930, di maggiore interesse per il sito in esame, la relativa pericolosità sismica è in larga misura definita da terremoti che avvengono a profondità di circa 8-12 km e con magnitudo 4.3.

Con riferimento alla mappa di pericolosità sismica dell'INGV, l'accelerazione massima del suolo attesa nella zona d'interesse, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni è illustrata in Figura 7, mentre la Figura 8 mostra i risultati dell'analisi di disaggregazione.

Per maggiori informazioni si faccia riferimento alla Relazione Sismica di progetto (Doc. rif. [8]).

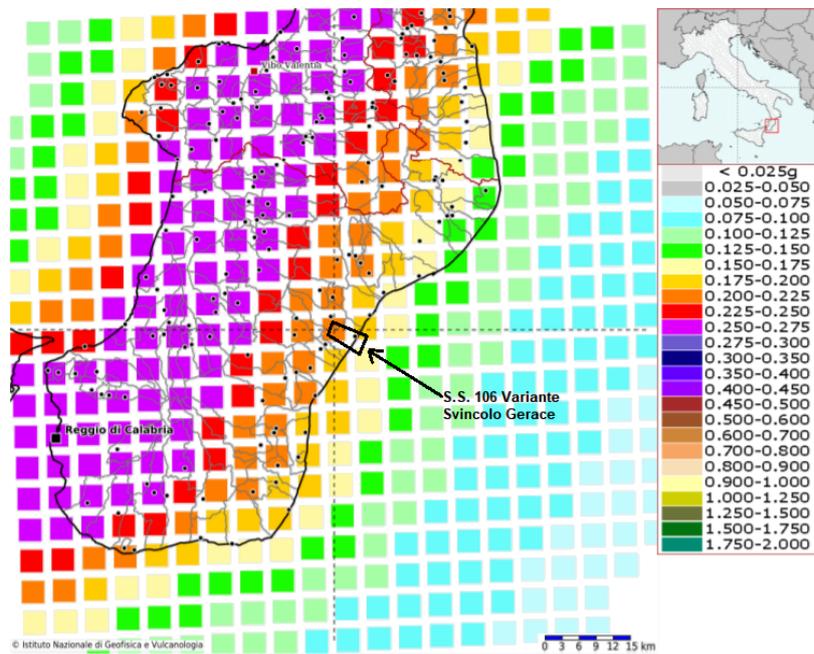


Figura 7. Valori di scuotimento al suolo (PGA) atteso con probabilità di eccedenza pari a 10% in 50 anni su suolo di tipo rigido e pianeggiante

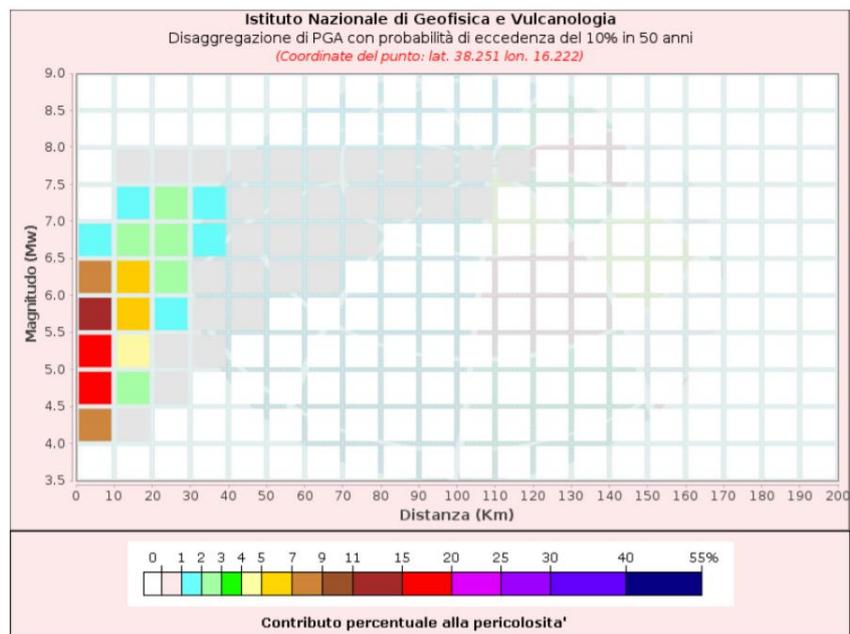


Figura 8. Grafico di disaggregazione di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

### 3.5.1 Azione sismica di progetto

A partire dalla pericolosità sismica del sito su suolo rigido e pianeggiante, l'azione sismica di progetto è stimata in considerazione della natura delle opere e delle caratteristiche prestazionali richieste, oltre che dalle proprietà dei terreni e dall'assetto topografico del sito.

Nell'ambito del Progetto Definitivo della S.S. 106 Variante Svincolo Gerace, le opere d'arte previste sono caratterizzate da una Vita Nominale di 50 anni, una classe d'uso IV e, dunque, da un Periodo di Riferimento di 100 anni.

Sulla base delle caratteristiche topografiche del sito e dell'esito delle prove geofisiche eseguite, rispetto a quanto previsto dalle NTC si individuano una Categoria Topografica T1 ed una Categoria di Sottosuolo C.

L'azione sismica di progetto può, pertanto, essere descritta per mezzo dei seguenti parametri spettrali:

$a_g$ (g) (SLV)	0.258
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.326
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo, $a_{max}$ (g)	0.342

Per una descrizione completa dell'argomento, si rimanda alla alla Relazione Sismica di progetto (Doc. rif. [8]).

## 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per il progetto in esame è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla determinazione delle caratteristiche geotecniche, sismiche ed ambientali del sito.

Il modello geotecnico di riferimento è stato elaborato facendo riferimento ai risultati di tale campagna e considerando alcuni dati raccolti nell'ambito del progetto del Megalotto 1 (DG22) della S.S. 106 "Jonica".

La campagna di indagini del 2020-2021 è stata eseguita dall'impresa Socotec Italia di Montefredane (AV) e consiste in:

- n. 5 sondaggi fino a profondità comprese tra 20m e 50m pc, di cui uno eseguito a distruzione di nucleo, n. 2 attrezzati a piezometro e n. 1 attrezzato a inclinometro;
- n. 2 prove tipo Down-Hole;
- n. 5 prove geofisiche tipo MASW;
- n. 1 stendimento sismico;
- n. 13 pozzetti.

Per quanto riguarda le indagini relative al Megalotto 1, alcune di esse sono state ubicate nei pressi dell'area di futura realizzazione della variante di progetto. Trattasi di:

- n. 6 sondaggi fino a profondità comprese tra 25m e 30m pc;
- n. 2 prove geofisiche tipo MASW;
- n. 2 prove penetrometriche statiche;
- n. 9 pozzetti.

In generale, nel corso dei sondaggi si è provveduto ad eseguire alcune prove penetrometriche dinamiche ed a campionare i terreni da destinare in laboratorio e sottoporre a prove geotecniche di taglio diretto, compressione ad espansione laterale libera e edometriche.

Le indagini considerate nella presente relazione sono elencate nella tabella che segue; la loro ubicazione è, invece, mostrata negli elaborati grafici di progetto (Doc. rif. [2]). Per maggiori informazioni circa i risultati delle indagini si rimanda ai report fattuali (Doc. rif. [11] e [12]).

**Tabella 1 – Sondaggi nell'area di progetto**

Sondaggi	Anno	Profondità (m pc)	SPT	Piezometro	Prove in sito permeabilità	Prove Laboratorio	Down-Hole
SI1DH	2021	50	X		X	X	X
SI2PZ	2021	45	X	X	X	X	
SI3INCL	2021	30	X			X	
SI4PZ	2021	20		X			
SI5DH	2021	30	X			X	X
SI 1 INCL	2018	25	X			X	
SP 2	2018	25	X			X	
SP 3	2018	25	X				
AS11	2006	25				X	

Sondaggi	Anno	Profondità (m pc)	SPT	Piezometro	Prove in sito permeabilità	Prove Laboratorio	Down-Hole
AS12	2006	30	X			X	
AS13	2006	30	X		X	X	

*Tabella 2 – Prove penetrometriche statiche nell'area di progetto*

CPTU	Anno	Profondità (m pc)
CPTU10	2006	14
CPTU12	2006	12

*Tabella 3 – MASW nell'area di progetto*

Geofisiche	Anno
MASW1	2021
MASW2	2021
MASW3	2021
MASW4	2021
MASW5	2021
BSR1	2021

*Tabella 4 – Pozzetti nell'area di progetto*

ID POZZETTO	Anno	Prove carico su piastra	Prove laboratorio
PZ1A	2021	X	X
PZ2A	2021	X	X
PZ 2 A BIS INTEGR.	2021	X	X
PZ3A	2021	X	X
PZ4A	2021	X	X
PZ 4 A BIS INT	2021	X	X
PZ5A	2021	X	X
PZ6A	2021	X	X
PZ6A BIS INT	2021	X	X
PZ7A	2021	X	X
PZ8A	2021	X	X
PZ9	2021	X	X
PZ10	2021	X	X
PE11	2006	X	
PE12	2006	X	
PE 13	2006	X	
PZ1	2006		

ID POZZETTO	Anno	Prove carico su piastra	Prove laboratorio
PZ2	2006		X
PZ4	2006		X
PZ5	2006		X
PZ7	2006		X
PZ8	2006		X

#### 4.1 Dati piezometrici

Il tracciato stradale di progetto si sviluppa in una zona costiera, a distanze comprese tra 150m e 2500m dal mare. Le letture freaticometriche eseguite nel corso dei sondaggi indicano una soggiacenza di falda compresa tra 2m pc e 13m pc: si hanno valori superiori a 10m pc a distanze superiori a 2000m dalla linea costiera (approssimativamente fino alla Rotatoria A), ad esclusione dei punti d'indagine nelle vicinanze del fiume Gerace e valori inferiori a 5m pc altrove. Per maggiori informazioni in merito si rimanda agli elaborati di progetto dedicati (Doc. rif. [3] e [6]).

## 5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si illustrano le metodologie seguite per la valutazione dei parametri geotecnici generali a partire dai risultati delle prove in sito e di laboratorio. Si forniscono, pertanto, le informazioni necessarie ad inquadrare le unità geotecniche da un punto di vista macroscopico, cogliendone i caratteri comuni; in accordo a quanto previsto dalle NTC, rimane responsabilità del progettista la scelta del modello costitutivo e dei parametri caratterizzanti le unità, da definire alla luce delle condizioni locali e della natura delle opere prese in esame.

A livello generale, si distinguono due tipologie di materiali: a grana grossa e a grana fine. L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta principalmente sulla base delle informazioni riportate nei registri dei sondaggi e dell'esito delle prove di laboratorio sui campioni di terreno. Per informazioni circa l'interpretazione delle prove CPTU eseguite nell'ambito del progetto del Megalotto1, si rimanda alla relativa Relazione Geotecnica (Doc. rif. [13]).

### 5.1 Materiali a grana grossa

All'interno di unità costituite prevalentemente da materiale incoerente, risulta difficile prelevare campioni indisturbati e, pertanto, la caratterizzazione geotecnica si basa sull'interpretazione delle prove in sito (SPT, sismiche, ecc.) e delle prove di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati, in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

#### 5.1.1 Densità relativa

Per le sabbie, i valori di  $D_r$  sono stati stimati a partite dai dati SPT in accordo a quanto indicato da Skempton (Doc. rif. [51]). Nella formulazione adottata, la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente relazione:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma'_{vo}} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B costanti empiriche, riportate nella seguente tabella;

$\sigma'_{vo}$  pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>);

$N_{SPT}$  numero di colpi per 30 cm corrispondente ad una energia di infissione pari ad una percentuale di quella teorica (60%);

*Tabella 5. Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)*

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5÷43,3	21,7÷27,5

Diversamente, l'interpretazione dei valori  $N_{SPT}$  per le ghiaie è stata eseguita in accordo al metodo proposto da Cubrinowski & Ishihara (1999, Doc. rif. [36]) per materiali normalmente consolidati, caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  dell'ordine di 0,4-0,5, successivamente esteso da Ishihara et al. (2001, Doc. rif. [40]) anche al caso dei terreni sovraconsolidati. Tale metodo utilizza la seguente espressione:

$$D_r = \left\{ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0.23 + \frac{0.06}{D_{50}}\right)^{1.7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{v0}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{K_{0,NC}}{K_{0,NC}}\right)^{1/2} \right\}^{1/2}$$

essendo:

$D_r$  densità relativa;

$(N_{SPT})_{78\%}$  numero di colpi/30 cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica;

$$(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT}) \cdot \frac{ER}{78}$$

$D_{50}$  diametro delle particelle corrispondente al 50% di passante (mm);

$\sigma'_{v0}$  pressione verticale efficace geostatica (kPa);

$K_{0,NC}$  coefficiente di spinta a riposo di terreni normalmente consolidati (-);

$K_{0,SC}$  coefficiente di spinta a riposo di terreni sovraconsolidati (-).

Si rileva che l'espressione sopra indicata è applicabile al seguente caso.

- Energia trasferita alle aste pari al 78%. L'esperienza acquisita nelle indagini eseguite in Italia ha mostrato che mediamente l'energia trasferita alle aste è inferiore al 78% e pari all'incirca al 60%; nell'applicazione della formula, il valore  $N_{SPT}$  misurato, assunto pari a  $(N_{SPT})_{60\%}$ , viene pertanto corretto in base alla seguente equazione:

$$(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT})_{60\%} \cdot \frac{60}{78}$$

- Resistenze ottenute con il campionatore standard nelle sabbie e con il campionatore LPT, di diametro maggiore rispetto a quello standard, nel caso delle ghiaie. In questa sede, in mancanza di prove con il campionatore LPT, l'applicazione della formula in presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi ( $D_{50} \geq 1$  mm) è stata fatta senza apportare alcuna correzione ai valori  $N_{SPT}$  misurati (Doc. rif. [31], [51] e [57]).

### 5.1.2 Angolo di resistenza al taglio

Per i materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie), i valori dei parametri di resistenza al taglio sono stati stimati a partire dai risultati delle prove in situ e, in particolar modo, delle prove SPT. I valori dell'angolo di resistenza al taglio operativo sono stati valutati considerando i diversi approcci di seguito descritti

L'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'$  è stato determinato facendo riferimento a diverse correlazioni:

### Bolton (1986)

L'angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'$  può essere determinato con il metodo proposto da Bolton (Doc. rif. [29]), sintetizzato nel modo seguente.

$$\phi_{cv}' = \phi'_{picco} - m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$\phi'_{picco}$	angolo di attrito di picco (°)
Q	coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto in questa sede pari a 10;
$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}'$	(Doc. rif. [42]) (kPa);
$\sigma_{ff}'$	tensione efficace normale alla superficie di rottura = 272 kPa;
m	costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi tabella seguente);
$\phi_{cv}'$	angolo di attrito di stato critico (°);
$D_r$	densità relativa (-).

**Tabella 6. Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)**

Condizioni di rottura	m (-)
Prova triassiale di compressione ( $\sigma_2' = \sigma_3'$ )	3
Prova triassiale in estensione o di deformazione piana ( $\sigma_2' \neq \sigma_3'$ )	5

$\sigma_2'$  = tensione principale efficace intermedia

$\sigma_3'$  = tensione principale efficace minore

I valori dell'angolo di attrito  $\phi_{cv}'$  possono essere ricavati da prove di laboratorio (triassiali o di taglio diretto) su provini ricostituiti a basse densità relative e, in assenza di queste ultime, assegnati in base a quanto indicato nella tabella seguente (Doc. rif. [58] e [53]).

**Tabella 7. Valori di  $\phi_{cv}'$  secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)**

Sabbie	Ben gradate	Uniformi
A spigoli vivi	38°	34°
A spigoli arrotondati	33°	30°

Nel caso delle ghiaie si potrà assumere mediamente  $\phi_{cv}' = 35^\circ - 36^\circ$ .

### Schmertmann (1978)

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio operativo per sabbie e ghiaie è stato inoltre stimato in accordo alla formulazione proposta da Schmertmann (Doc. rif. [51]), ed illustrata nella figura che segue, sulla base dei valori di densità relativa stimati ed a seconda della granulometria prevalente del materiale riscontrato in una data area.

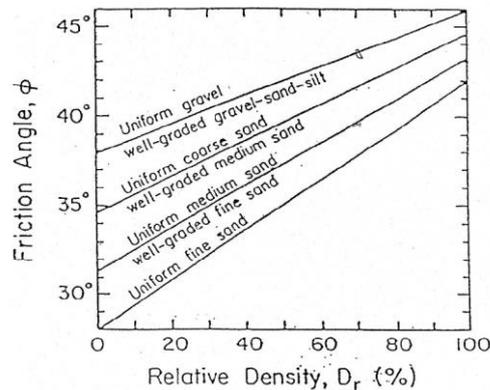


Figura 9. Relazione fra angolo di resistenza al taglio operativo e densità relativa

In fine, l'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  è stimabile anche a partire dai risultati delle prove pressiometriche, Pertanto i valori di  $\phi'$  possono ricavarsi dalla relazione:

$$P'_l = 0.25 \cdot 2^{(\phi'/4-6)}$$

Con  $P'_l$  pressione limite netta (ovvero depurata dalla pressione iniziale  $P_0$ ) espressa in MPa.

Per materiali sciolti, si sono inoltre considerati i risultati delle prove di taglio diretto eseguiti su provini ricostituiti.

### 5.1.3 Parametri di deformazione

Per quanto concerne la stima dei parametri di deformabilità dei materiali a grana grossa, si è ritenuto di procedere come segue:

- valutazione dei moduli di taglio e di Young iniziali  $G_0$  ed  $E_0$ , sulla base dei dati delle misure geofisiche effettuate nelle diverse fasi progettuali, (DH), confrontando i dati sperimentali con i valori e le tendenze deducibili dalle prove penetrometriche dinamiche (SPT);
- sulla base dei valori tipici di deformazione attesa per le diverse opere e del relativo tasso di abbattimento (degrado) del modulo iniziale - a titolo di esempio si faccia riferimento a quanto raccomandato nelle CIRIA (Doc. rif. [32]), da Atkinson e Salfors (Doc. rif. [27] e [28]) e Seed et al. (Doc. rif. [53] e [54]) ed illustrati di seguito.

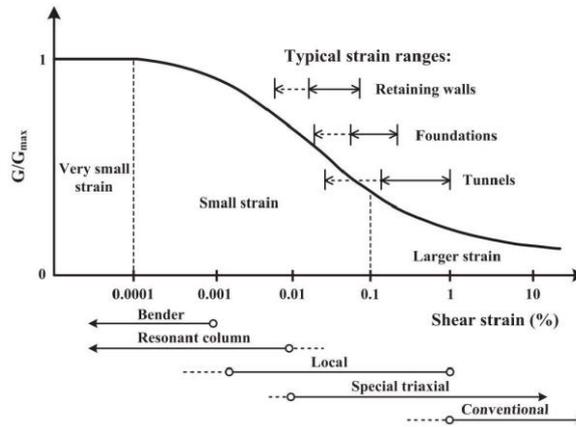


Figura 10. Livelli deformativi raggiunti dal terreno per diverse opere di ingegneria (Doc. rif. [25] e [27])

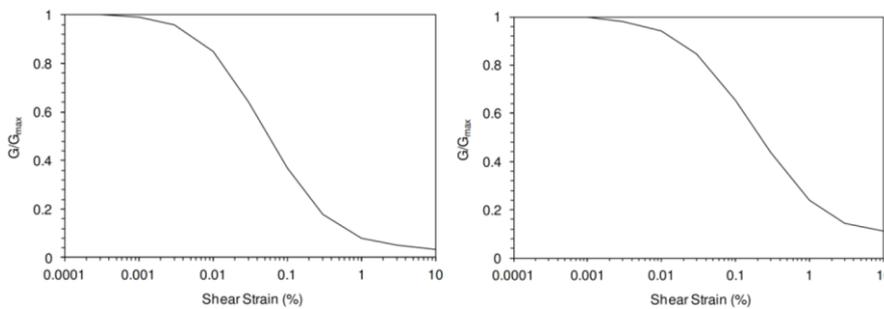


Figura 11. Curva di decadimento del modulo di taglio per depositi sabbiosi (a sinistra, Doc. rif. [53]) e argillosi (a destra, Doc. rif. [54])

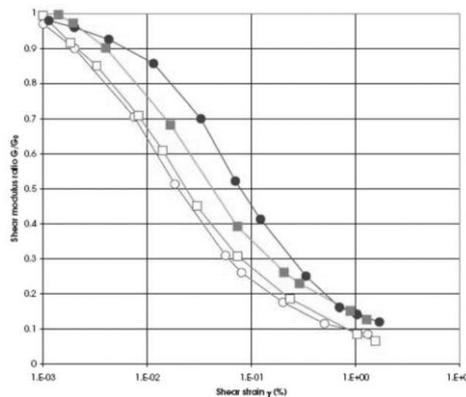


Figura 12. Altro esempio di curva di decadimento del modulo di taglio (Doc. rif. [37])

In mancanza di prove geofisiche, il valore della velocità delle onde di taglio  $V_s$  da adoperare per il calcolo di  $G_0$  secondo la teoria dell'elasticità, può essere stimato secondo le note correlazioni di Otha e Goto (Doc. rif. [45]) e Yoshida e Motonori (Doc. rif. [58]).

Le curve di degrado del modulo in funzione della distorsione a taglio a disposizione in letteratura sono molte e il progettista sceglierà quelle che riterrà più opportune, confrontandole con eventuali risultati di prove di laboratorio cicliche. Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, sceglierà il valore del modulo elastico operativo in relazione al livello deformativo atteso, che in prima approssimazione può essere definito come funzione del tipo e della geometria di opera in esame, dell'entità dei carichi agenti e della natura e profondità dei terreni d'interesse. Di seguito si riportano alcune indicazioni di carattere generale, comunemente impiegate nella progettazione in ambito infrastrutturale.

- Fronti di scavo ed opere di sostegno: i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  sono pari a circa  $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$ , in quanto le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di  $1 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-3}$  e prevalentemente di scarico o scarico-ricarico. Inoltre, i coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità imposti dalla normativa vigente sono tali per cui normalmente le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di  $1 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-3}$ .
- Fondazioni profonde e dirette: i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  possono ritenersi pari a circa  $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$  con valori prossimi all'estremo inferiore del range, in considerazione del livello deformativo indotto e del fatto che gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l'opera devono essere comunque contenuti.
- Rilevati: i moduli statici sono pari a circa  $1/5 \div 1/10 \cdot E_0$ ; per tali strutture in terra; si hanno, infatti, cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette. L'estremo superiore del range (1/5) è generalmente impiegato nei casi in cui la stima di  $E_0$  sia ritenuta ampiamente cautelativa o laddove l'aumento di tensioni è da ritenersi moderato.

In questa sede, si sono generalmente proposti valori di moduli di Young operativi, validi per il calcolo di cedimenti di rilevati, ipotizzando valori del decadimento del modulo iniziale in funzione della profondità dello strato d'interesse.

Ad integrazione di quanto sopra, la stima della rigidità delle unità incoerenti è stata eseguita anche a partire dai risultati delle indagini penetrometriche dinamiche e con riferimento alle seguenti formulazioni.

#### Jamiolkowski (1988)

$$E_{25} = (10.5 - 3.5 D_r) N_{spt} \quad \text{per terreni NC}$$

$$E_{25} = (52.5 - 35 D_r) N_{spt} \quad \text{per terreni oC}$$

dove  $E_{25}$  è il modulo elastico corrispondente a tensioni dell'ordine del 25% di quelle a rottura

#### D'Appolonia et al. (1970)

$$E = 0.756 N_{spt} + 18.75 \quad \text{per sabbia e ghiaia NC}$$

$$E = 1.043 N_{spt} + 36.79 \quad \text{per sabbia OC}$$

#### Pasqualini (1983)

$$E = 7 (N_{spt})^{0.5} \quad \text{per sabbie e ghiaie}$$

## 5.2 Materiali a grana fine

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine si basa sia sull'interpretazione delle prove di laboratorio, laddove disponibili, e delle prove in sito. Le prove di laboratorio consentono di definire, tra le altre cose, i parametri fisici (fusi granulometrici, limiti di Atterberg, contenuto d'acqua naturale e peso specifico del terreno – si faccia riferimento ai certificati di laboratorio per maggiori informazioni) ed il grado di sovraconsolidazione, la resistenza al taglio, i parametri di deformabilità e la permeabilità del materiale.

### 5.2.1 Resistenza al taglio

Laddove possibile, la resistenza al taglio non drenata  $c_u$  è definita facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio triassiali non drenate, di compressione ad espansione libera, penetrometriche e scissometriche eseguite a partire da campioni indisturbati. Nel farlo, si è tenuto in conto del fatto che i valori delle prove di laboratorio possono talora essere affetti da un grado di disturbo del campione. Nella loro valutazione si è quindi tenuto conto di tale possibile degrado, stimato sulla base di diversi elementi, ed in particolare:

- o sulla natura dei materiali, tenendo conto che i materiali con elevata componente sabbiosolimoso, sono generalmente più sensibili al campionamento;
- o sulla compatibilità fra valori delle prove speditive (se disponibili) condotte sulle carote (in sito o in laboratorio) ed i valori da prove triassiali.

Relativamente ai dati geognostici raccolti in sito, la stima della  $c_u$  è eseguita a partire dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Sulla base delle prove SPT, la resistenza al taglio non drenata di materiali saturi sottofalda è stimata adottando le correlazioni empiriche proposte da Stroud (Doc. rif. [55]), e Terzaghi e Peck (Doc. rif. [56]):

$$c_u = 5.0 - 5.5 N_{SPT} \text{ (kPa)} \quad \text{Stroud (1988);}$$

$$c_u = 6.4 N_{SPT} \text{ (kPa)} \quad \text{Terzaghi e Peck (1967).}$$

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di prove di taglio.

In alternativa, i valori sono stati stimati sulla base delle correlazioni riportate nelle figure che seguono, come citati da Mesri e Abdel Ghaffar (Doc. rif. [45]).

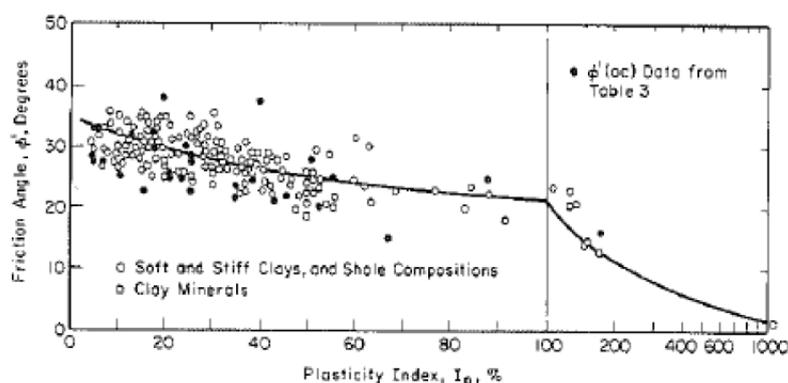


Figura 13. Valori dell'angolo di resistenza al taglio per materiali argillosi (Mesri e Abdel-Ghaffar, 1993)

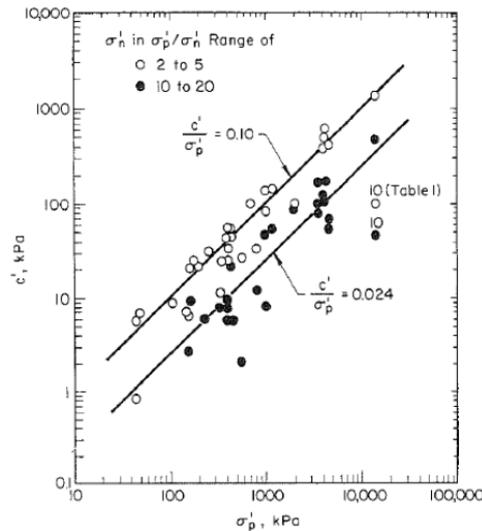


Figura 14. Valori della coesione intercetta  $c'$  in funzione della tensione di preconsolidazione e del valore della tensione normale al piano di rottura  $\sigma'_n$  (da Mesri e Abdel-Ghaffar, 1993)

### 5.2.2 Storia tensionale - OCR

Per la valutazione della tensione di preconsolidazione dei materiali argillosi, si è in generale fatto riferimento alle prove edometriche, ove il valore della tensione di preconsolidazione è stato stimato con il classico metodo di Casagrande.

### 5.2.3 Permeabilità

Per la definizione delle caratteristiche di permeabilità si è fatto riferimento in primo luogo ai risultati delle prove di permeabilità in foro e, successivamente, a quelli delle prove edometriche, in corrispondenza di pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero in corrispondenza di indici dei vuoti pari a quelli iniziali  $e_0$ .

### 5.2.4 Parametri di deformazione

Nel momento in cui un generico materiale argilloso, per effetto del cambio tensionale, si trovi in un campo deformativo a principale componente elastica, si può seguire allo stesso modo la procedura di calcolo elastico-lineare descritta per i materiali a grana grossa. Quando, invece, non ci si trovi ad operare in campo elastico, e convenga invece adottare parametri che definiscano il comportamento sia nel ramo di ricarica (comportamento elastico o pseudo-elastico), e nel campo di compressione vergine, per la definizione dei parametri di deformazione vengono forniti i valori di RR e CR, (rapporto di ricompressione e di compressione vergine), nel piano  $\varepsilon_v - \log \sigma'_v$ .

Per quanto invece concerne la deformabilità viscosa, viene fornito, quando di possibile interesse, un valore di  $c_{\alpha\varepsilon}$  (coefficiente di compressibilità secondaria), sempre nel piano  $\varepsilon_v - \log \sigma'_v$ , generalmente dedotto, laddove disponibili, dalle prove edometriche. In alternativa, si può fare riferimento alla correlazione proposta da Mesri e Godlewski (Doc. rif. [49]):

$$C_{\alpha\epsilon} / CR = 0.04 \pm 0.01.$$

Infine, nel caso in cui ci si è trovati di fronte a strati di modesto spessore in profondità (>15-20 m da p.c.), per i quali non sono disponibili misure geofisiche né prove di laboratorio, il valore del modulo di Young operativo, da impiegare solo nel caso in cui il materiale sia ricaricato nel ramo della ricomprensione, e quindi senza importanti deformazioni plastiche, è stata stimato con riferimento all'approccio proposto da Duncan e Buchigiani (Doc. rif. [37], v. Figura 15), Viggiani (Doc. rif. [58], v. Tabella 8) e Bowles (Doc. rif. [31], v. Tabella 9).

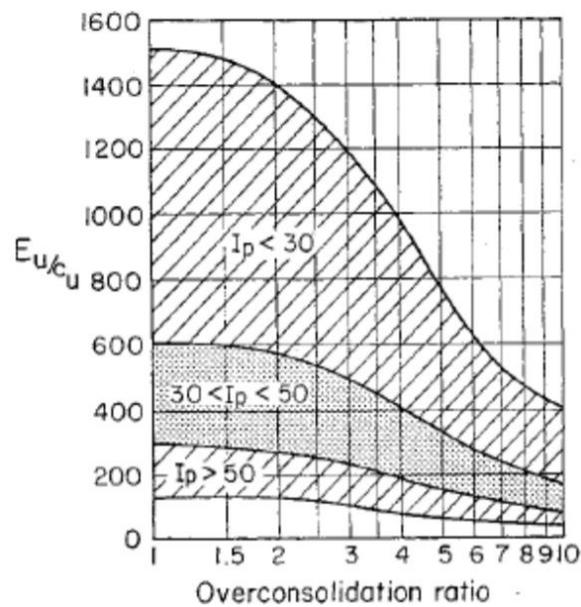


Figura 15. Valore empirico del Modulo di Young (Duncan e Buchigiani)

Tabella 8. valore del rapporto di  $E_u/c_u$  in funzione di OCR e di  $I_p$  (Viggiani)

OCR	Viggiani	$I_p < 0,3$	$0,3 < I_p < 0,5$	$I_p > 0,5$
<3	$E_u/c_u =$	800	400	200
3 ÷ 5	$E_u/c_u =$	500	300	150
>5	$E_u/c_u =$	300	200	100

Tabella 9. valore del rapporto di  $E_u/c_u$  in funzione di OCR e di  $I_p$  (Bowles)

Duncan e Buchigani (1976)	Bowles	
$0,3 < I_p < 0,5$	$I_p < 0,3$	$I_p > 0,3$
$E_u/c_u = 200 + 450$	$E_u = 500 + 1500c_u$	$E_u = 100 + 500c_u$
OCR = 3.43	$E_{(OCR)} = E_{nc} (OCR)^{1/2}$	

### 5.3 Qualità dei campioni

Per i materiali argillosi, molti dei dati qui dedotti ed in particolare quelli relativi alla storia tensionale ed alla deformabilità, provengono dall'interpretazione dei risultati delle prove meccaniche di laboratorio ed in particolare delle prove edometriche.

Con riferimento a queste prove, la qualità dei campioni indisturbati di materiali argillosi può essere valutata sulla base di criteri proposti in letteratura. Ad esempio Lunne et al. (Doc. rif. [45]) e Terzaghi et al. (Doc. rif. [56]), propongono una classificazione della qualità dei campioni basata sulla misura dell'entità di deformazione del campione all'applicazione della tensione verticale efficace di sito  $\sigma'_{vo}$ . Il principio alla base di tale criterio di valutazione è che maggiore è il valore della deformazione a tale livello tensionale, maggiore è il disturbo. In termini quantitativi, le tabelle che seguono mostrano la classificazione come riportata da De Groot e Sandven (2004) (Doc. rif. [35]).

*Tabella 10. Grado di affidabilità dei campioni (SQD) Terzaghi et al. (1996)*

Deformazione volumetrica $\varepsilon_{vol}(\%)$ a $\sigma'_{v0}$ (in una prova edometrica $\varepsilon_{vol} = \varepsilon_{assiale}$ )	SQD
<1	A (best)
1÷2	B
2÷4	C
4÷8	D
>8	E (worst)

*Tabella 11. Grado di affidabilità dei campioni Lunne et al. (1997).  $\Delta e/e0$  a  $\sigma'_{v0}$*

OCR = 1 ÷ 2	OCR = 2 ÷ 4	Livello
< 0.04	< 0.03	Da molto buono a eccellente
0.04 ÷ 0.07	0.03 ÷ 0.05	Da buono ad accettabile
0.07 ÷ 0.14	0.05 ÷ 0.10	Scarso
>0.14	>0.10	Molto scarso

In virtù di tale classificazione, si sono generalmente esclusi i dati provenienti dai campioni di scarsa qualità. In ogni caso, il progettista può utilmente consultare direttamente il dato sperimentale, al fine di valutare l'affidabilità dell'operazione svolta.

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nei seguenti capitoli si descrivono le caratteristiche principali delle unità geotecniche d'interesse per il progetto, individuate sulla base dell'esito delle indagini e delle informazioni geologiche di progetto (Doc. rif. [1], [11] e [12]) ed elencate di seguito:

- SG sabbia con ghiaia e ciottoli di natura metamorfica, granitica o calcarenitica e ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa;
- SL sabbia limosa debolmente argillosa con locali inclusi calcarenitici o cristalli quarzosi e micacei di dimensioni millimetriche;
- CON formazione conglomeratica costituita da sabbie in debole matrice limosa a granulometria medio-grossolana con ghiaia e ciottoli decimetrici di natura metamorfica e granitica;
- AL argilla limosa marnosa, limo argilloso o limo sabbioso;
- LNC limo argilloso o argilla sabbiosa.

Inoltre, nella seconda metà del tracciato (v. SI1 e SP3) si riscontra la presenza di uno strato di terreno vegetale e materiale di colmata, costituito da sabbia limosa ghiaiosa da sciolta a poco addensata ed avente uno spessore compreso tra 0.40m e 0.60m. Tale strato si assume presente anche nella prima parte del tracciato, su tutte le aree agricole.

Il profilo geotecnico illustrato nell'elaborato grafico di riferimento (Doc. rif. [1]) fornisce un inquadramento circa l'assetto stratigrafico lungo il tracciato. Si individuano tre zone principali.

Nel tratto iniziale, che include il viadotto, il profilo è descritto dalla presenza di uno spesso strato superficiale di depositi incoerenti a grana grossa (SG) dello spessore di 8-10m, sotto al quale si rinvencono limi argillosi sabbiosi e argille sabbiose di modesta consistenza (LNC) e sabbie limose poco addensate (SL) o conglomerati (CON). Questi ultimi sono inoltre presenti diffusamente a profondità maggiori di 30 m pc, talvolta sormontati da uno strato di argille sovraconsolidate (AL) dello spessore di circa 7m. All'interno di questa prima zona, sulla base dei risultati dei sondaggi e della tomografia sismica (v. BSR1a e BSR1b, Doc. rif. [12]) è possibile effettuare un'ulteriore distinzione di due sotto-aree, divise dal fiume Gerace: nella zona a NE di questo, il profilo è caratterizzato da materiali di rigidità inferiore e da una diffusa presenza di limi argillosi sabbiosi debolmente sovraconsolidati; nella zona a SO del fiume, vi è una maggior presenza di materiali incoerenti e conglomerati a profondità maggiori di 10m pc. Tali evidenze trovano riscontro anche nelle categorie di sottosuolo (B e C) individuate nella Relazione Sismica (Doc. rif. [10]).

Proseguendo nella zona centrale del tracciato, si rinviene uno strato di terreno vegetale giacente al di sopra di uno strato di argille sovraconsolidate (AL) molto spesso, all'interno del quale si individuano lenti di materiale sabbioso caratterizzato da uno stato di addensamento variabile (SL).

Per concludere, avvicinandosi alla costa il profilo è interamente descritto da depositi incoerenti a grana grossa (SG) giacente al di sotto del terreno vegetale superficiale.

Come già evidenziato nel capitolo 3.4, nella zona delle rampe B e C si riscontra la presenza di meccanismi franosi che coinvolgono unità prevalentemente coerenti, composte da limi argillosi e argille sabbiose (ricongducibili a LNC) e spessori di sabbie limose debolmente argillose (ricongducibili a SL). Tali materiali sono caratterizzati sulla base dei risultati delle indagini geognostiche eseguite nella zona d'interesse. Per la progettazione delle opere d'arte in questa zona, si prenderanno in considerazione le caratteristiche geomorfologiche del sito e le evidenze discusse nella Relazione Geologica (Doc. rif. [3]), oltre ai risultati di monitoraggio (v. SI3inc ed eventuali integrazioni, Doc. rif. [14]).

In linea generale, la stima delle proprietà fisiche e meccaniche delle unità menzionate finora è eseguita coerentemente a quanto descritto nel capitolo 5, prendendo in esame i risultati delle prove in sito (sondaggi, prove penetrometriche e MASW) e di laboratorio (taglio diretto, espansione libera, edometriche, triassiali, ecc.). Le informazioni fornite compongono un quadro geotecnico generale di riferimento, che il progettista delle singole opere completerà ed approfondirà cogliendo le condizioni locali esibite dai materiali indagati nell'area d'interesse.

## 6.1 Unità SG

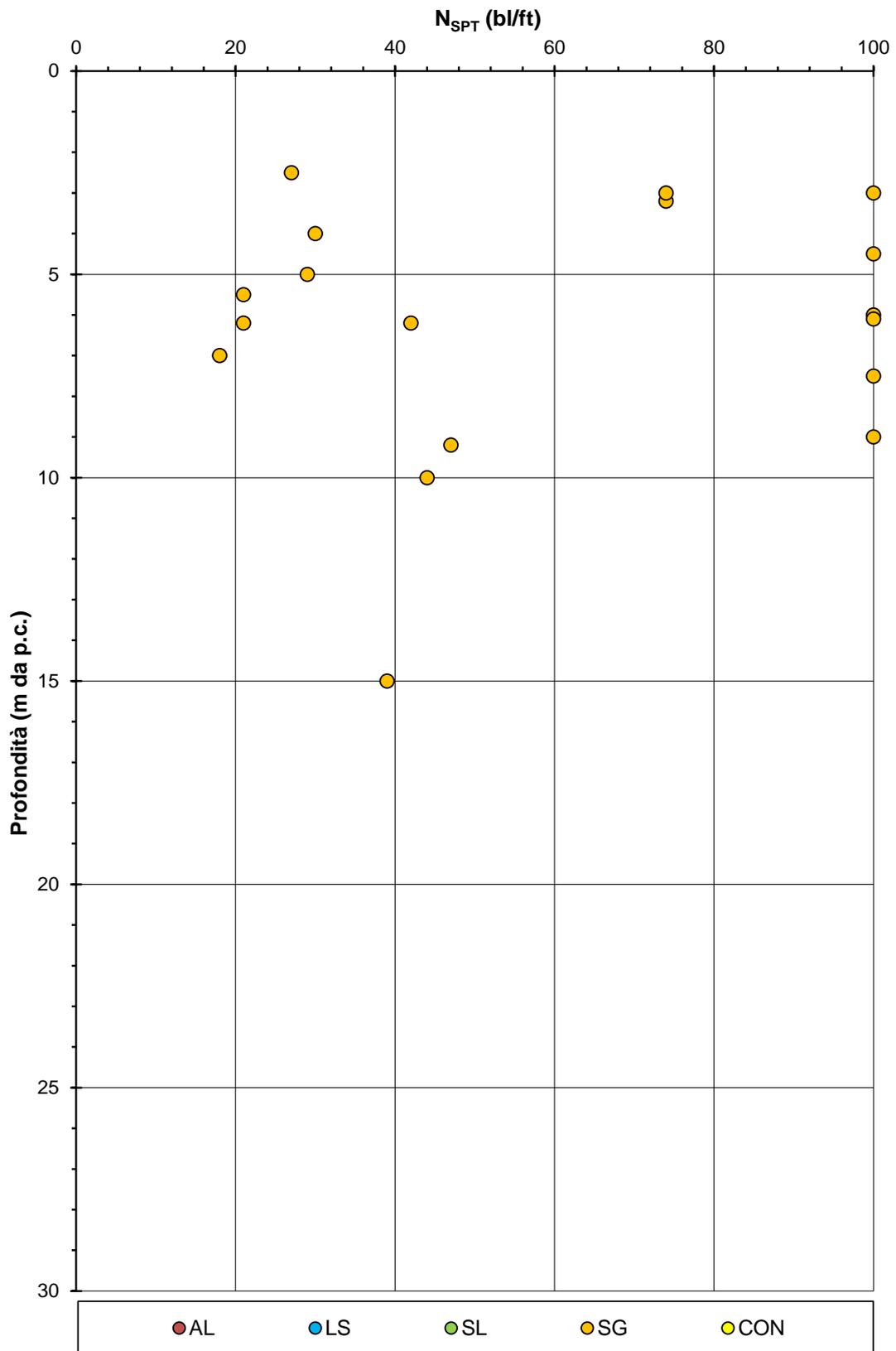
L'unità geotecnica SG è costituita da sabbia con ghiaia e ciottoli e da ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa. La sua presenza è molto diffusa nella porzione finale del tracciato, a profondità comprese tra 2m pc e 15m pc.

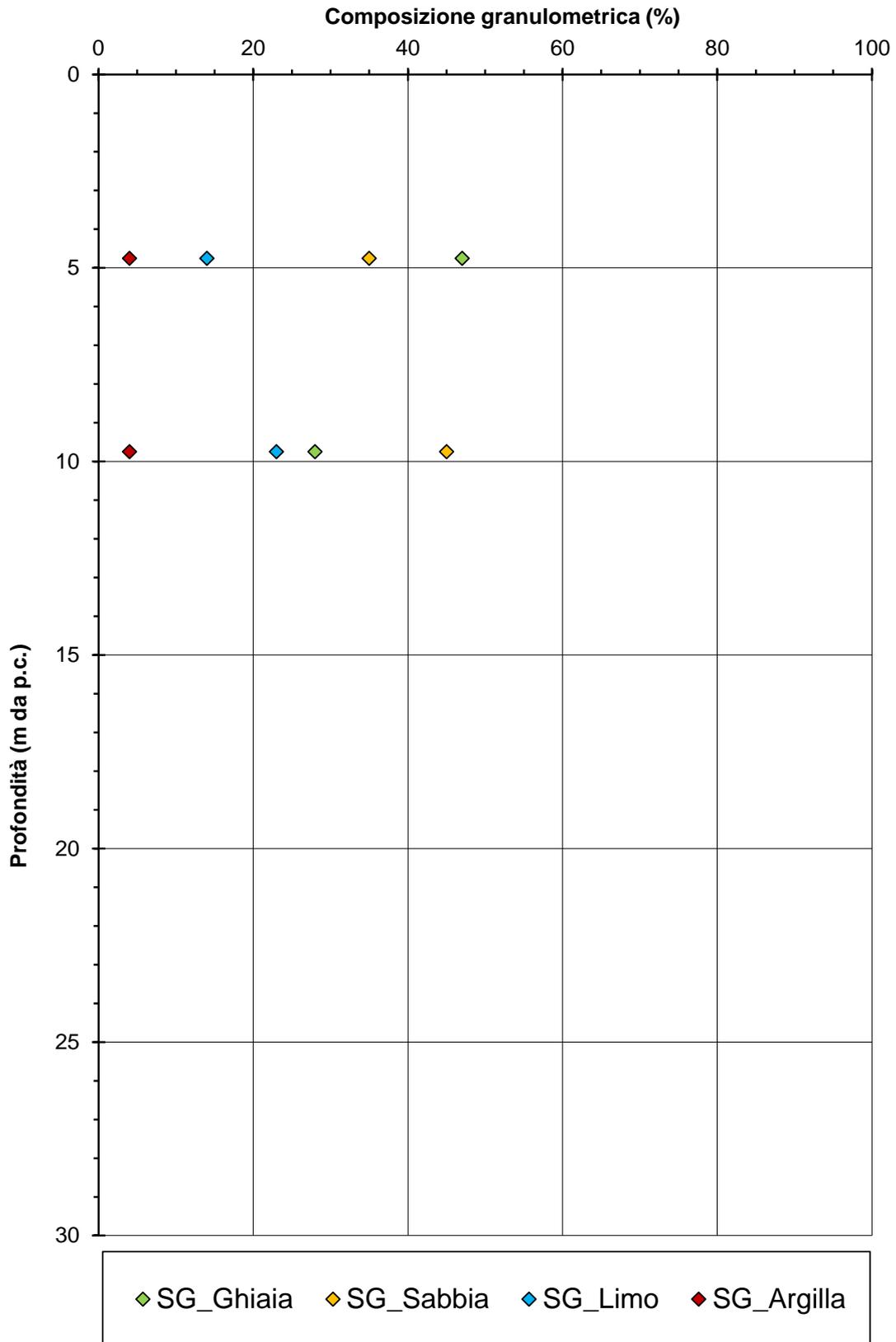
I dati a disposizione consentono una descrizione del materiale a partire dall'esito delle prove penetrometriche dinamiche, le quali indicano resistenze dell'ordine di 20-50 bl/ft, con alcune prove che raggiungono le condizioni di rifiuto.

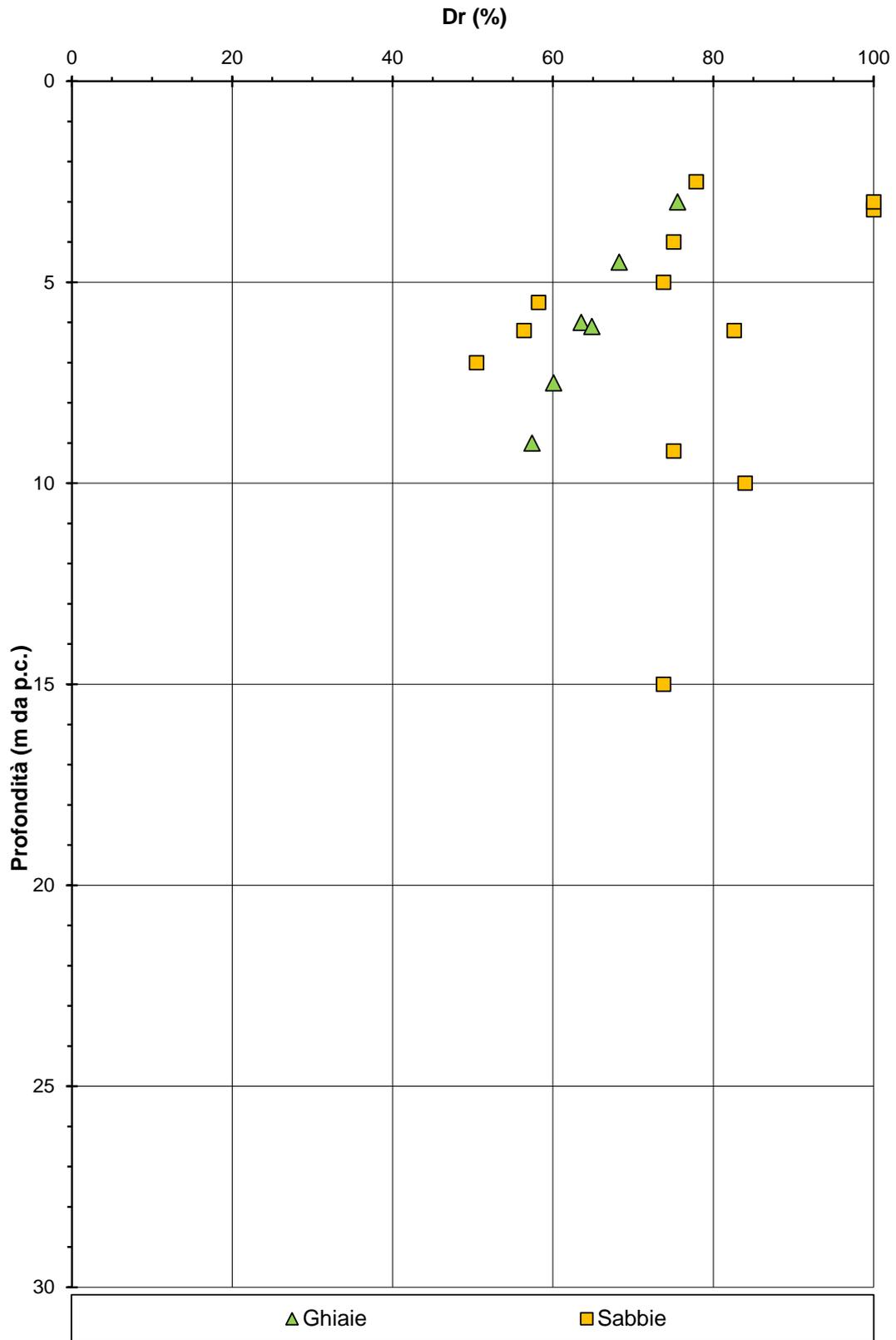
Il deposito si presenta come mediamente addensato o denso, con densità relative stimate comprese tra 55% e 75%.

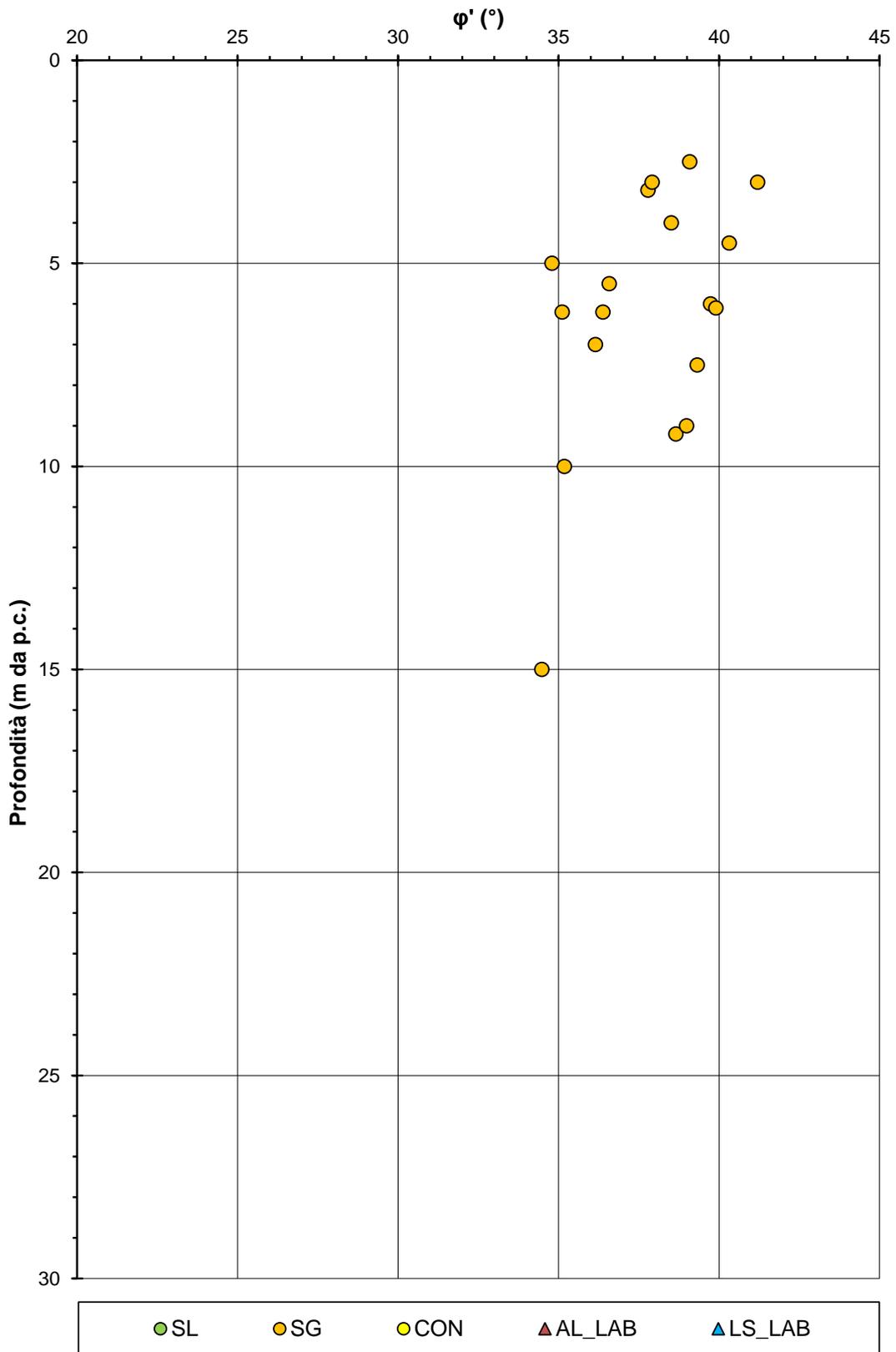
L'interpretazione dei risultati delle prove SPT indica valori dell'angolo di attrito mediamente compresi tra 35° e 39°, con stime locali che possono raggiungere i 40-41°, confermando quanto osservato nel corso dei sondaggi relativamente alla composizione granulometrica ed allo stato di addensamento del materiale.

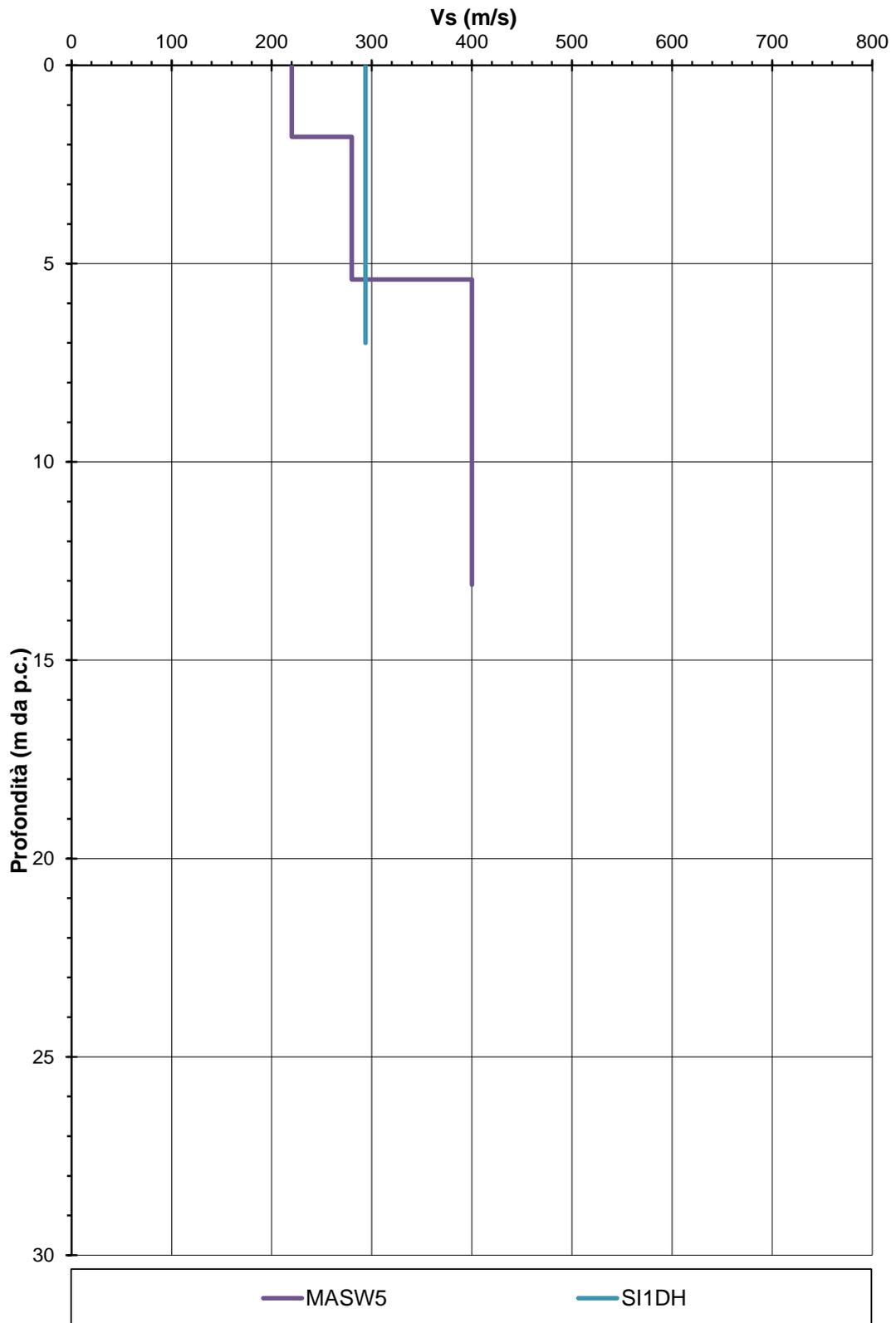
Le rigidezze stimate sono riassumibili in valori rappresentati compresi tra 50MPa e 75MPa e, tuttavia, localmente si riscontrano valori superiori a 100MPa.

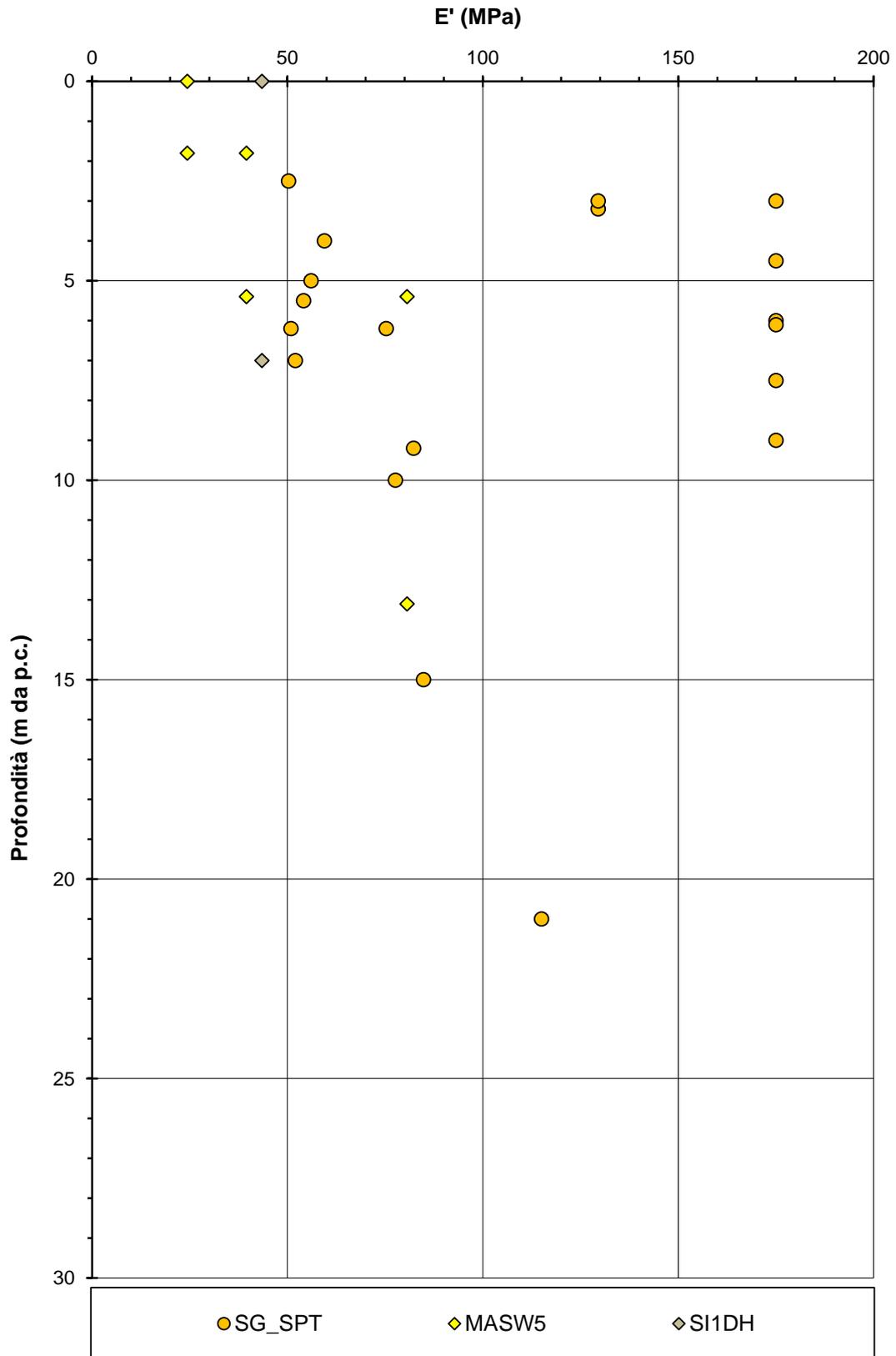












## 6.2 Unità SL

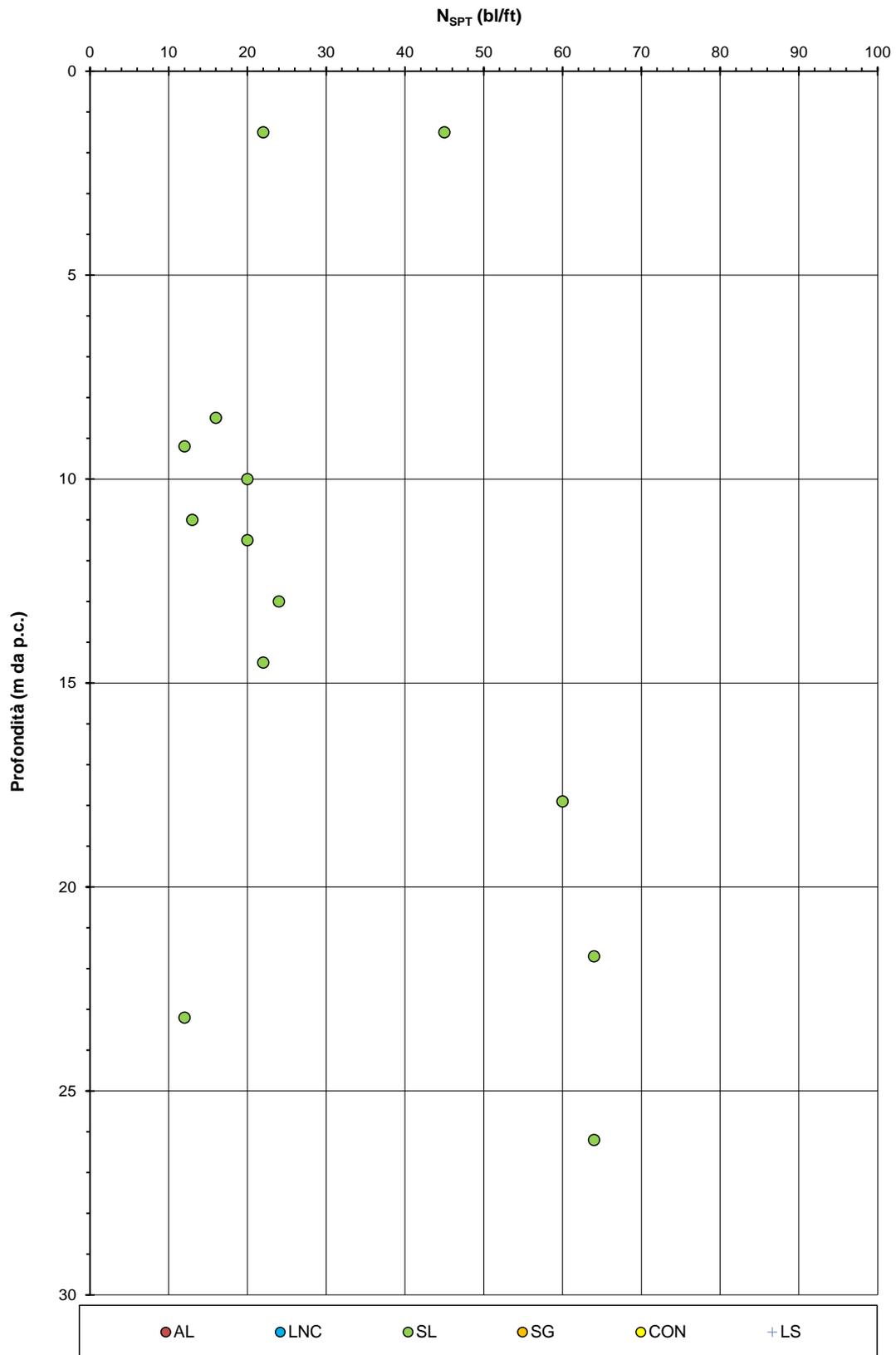
L'unità geotecnica SL è costituita da sabbia limosa debolmente argillosa. La sua presenza è stata individuata nella prima metà del tracciato e a profondità maggiori di 8m pc.

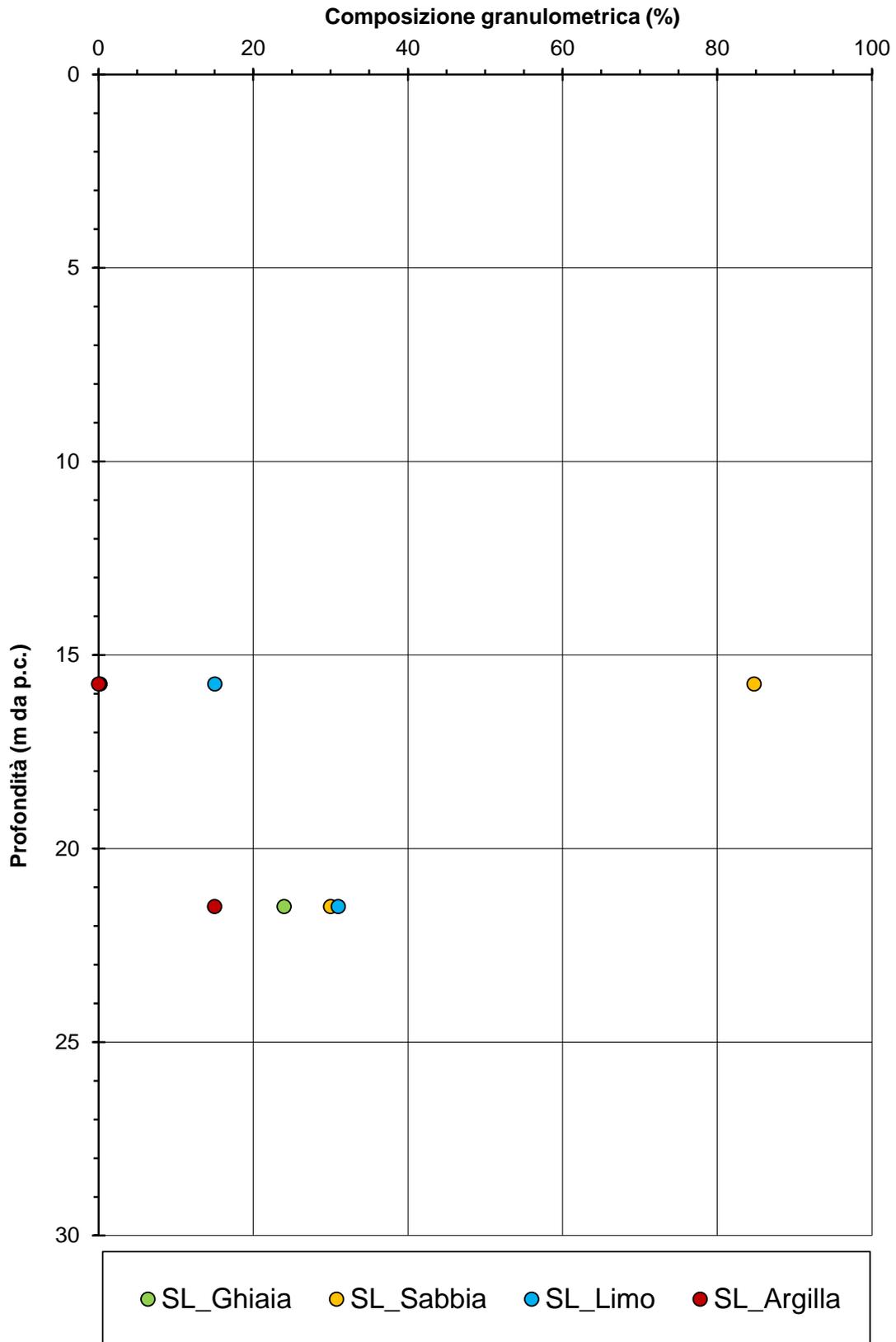
Nel corso delle prove in sito, all'interno dei depositi sono stati misurati valori di  $N_{spt}$  mediamente compresi tra 12 bl/ft e 24 bl/ft; valori maggiori di 50bl/ft sono stati registrati a profondità maggiori di 18m pc in corrispondenza dei sondaggi ubicati nei primi 500m dell'asse principale, indice di uno stato di addensamento maggiore o locale cementazione del materiale costituente.

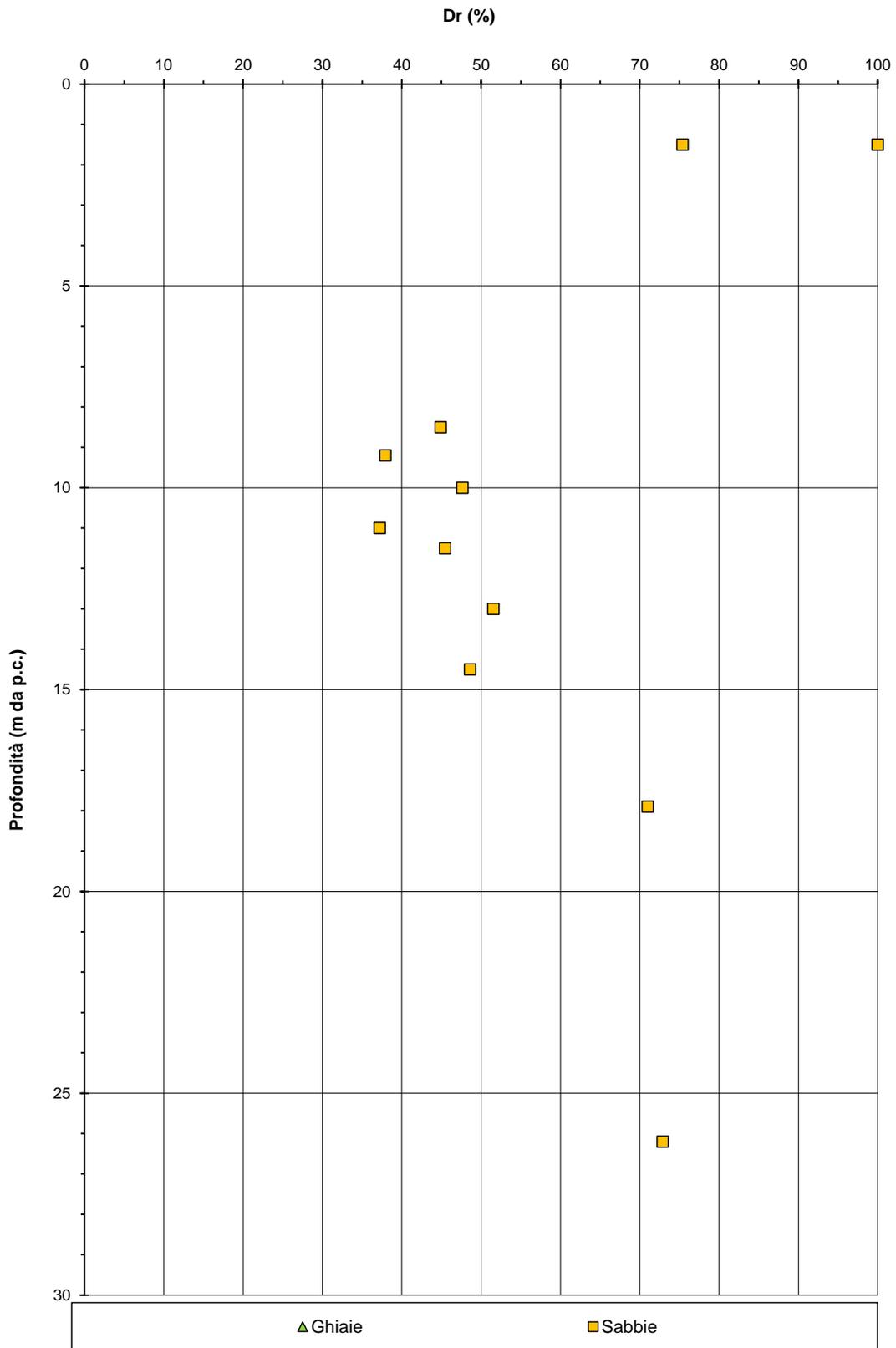
Generalmente, l'unità si presenta come mediamente addensata, con densità relative stimate comprese tra 40% e 50%.

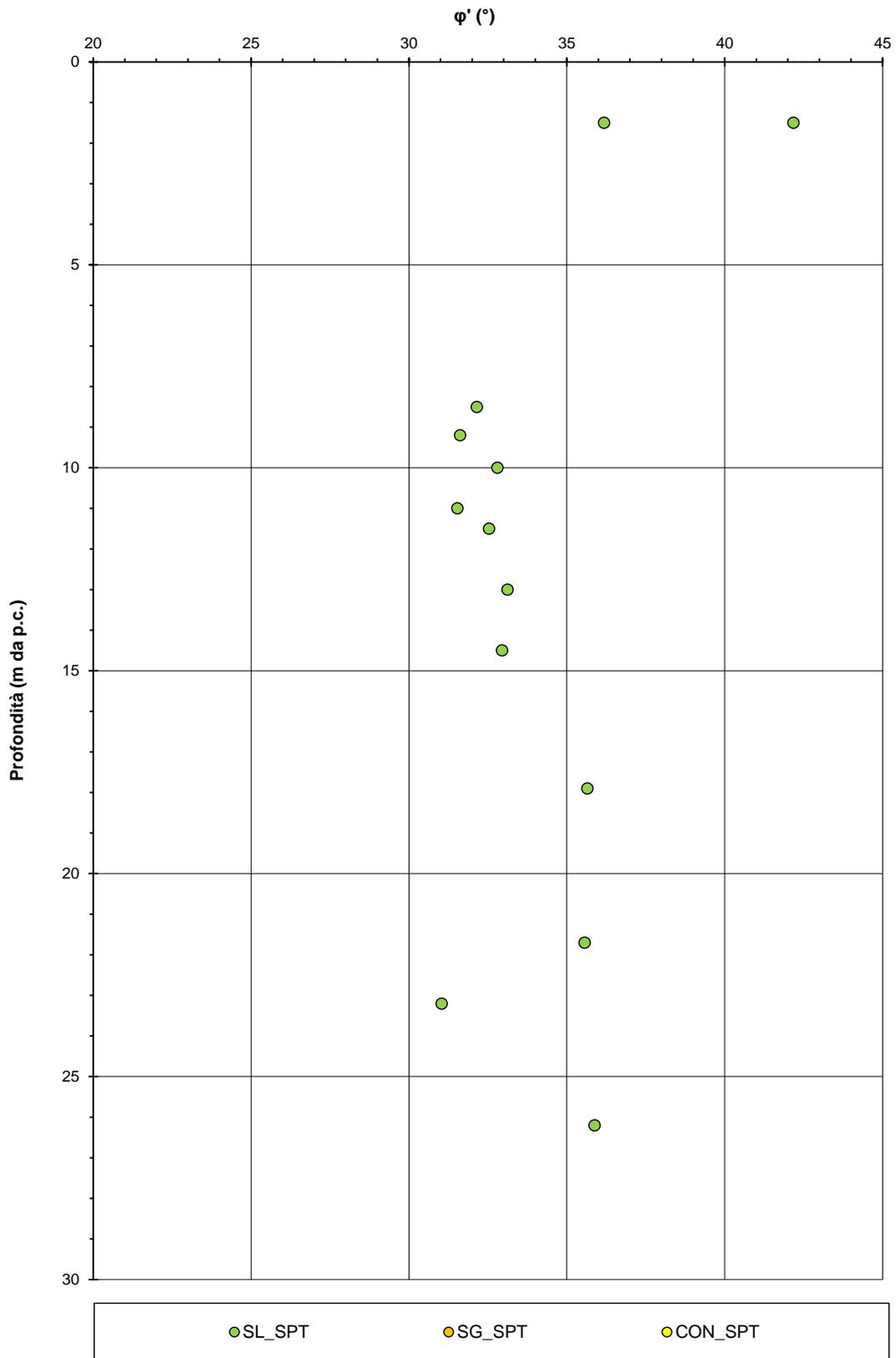
L'interpretazione dei risultati delle prove SPT indica valori dell'angolo di attrito mediamente compresi tra 32° e 33°. Data l'elevata eterogeneità del deposito, non sono da escludere valori fino a 36° all'aumentare della frazione ghiaiosa o in porzioni maggiormente addensate.

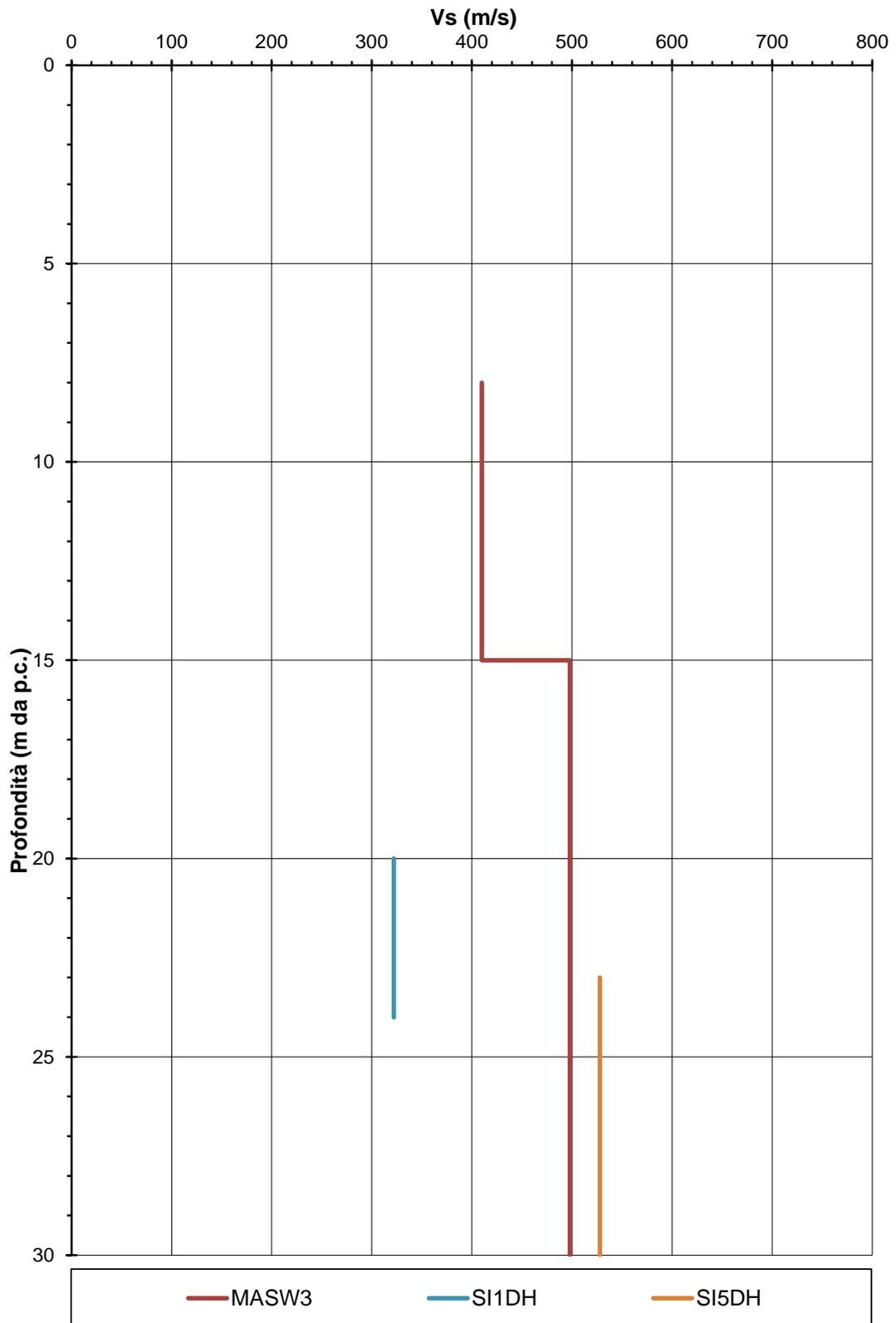
Le rigidezze stimate sono riassumibili in valori rappresentati compresi tra 40MPa e 70MPa e, in linea con quanto osservato relativamente agli angoli di attrito, localmente il deposito potrebbe essere caratterizzato da rigidezze anche superiori a 100 MPa.

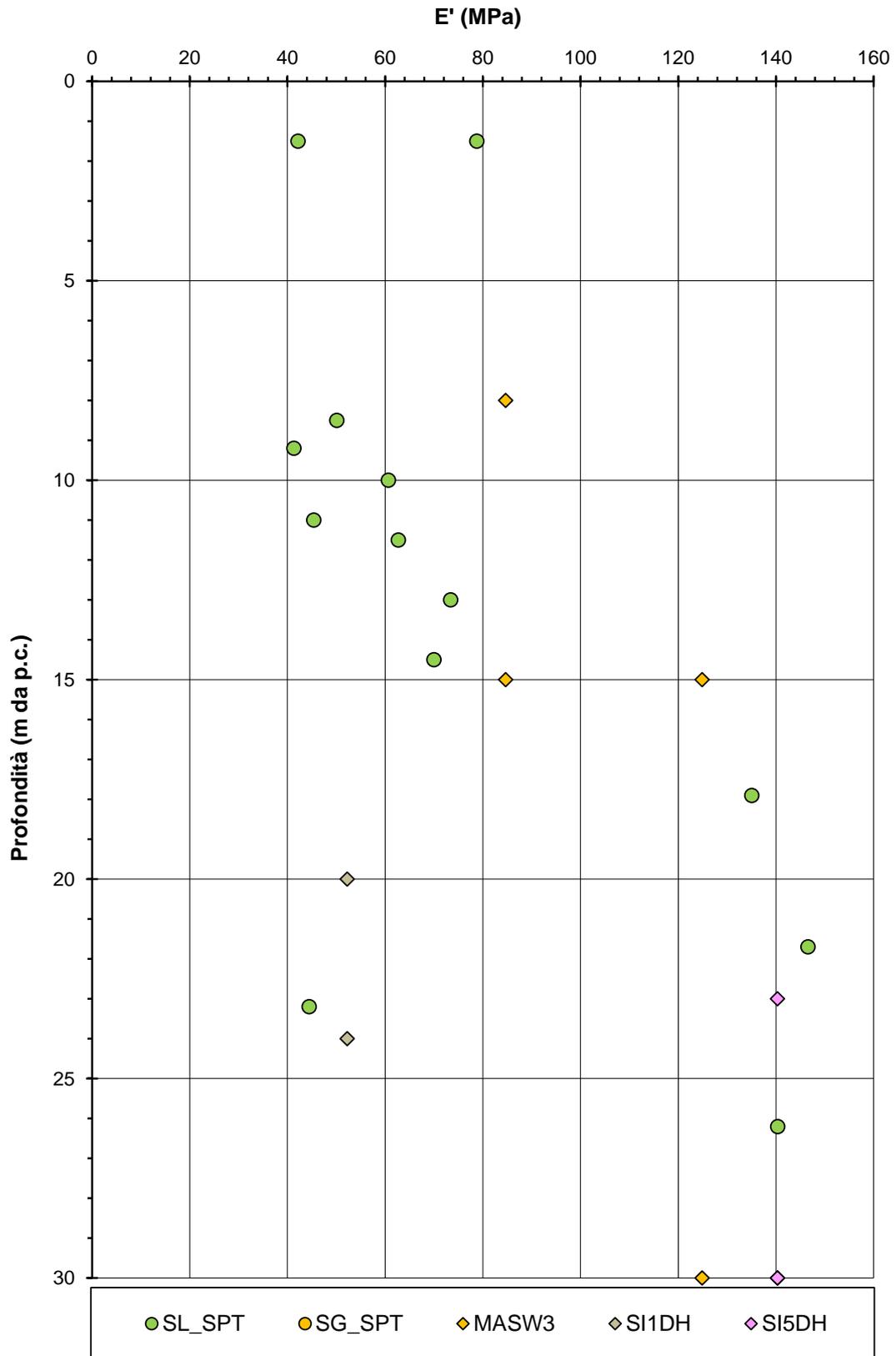












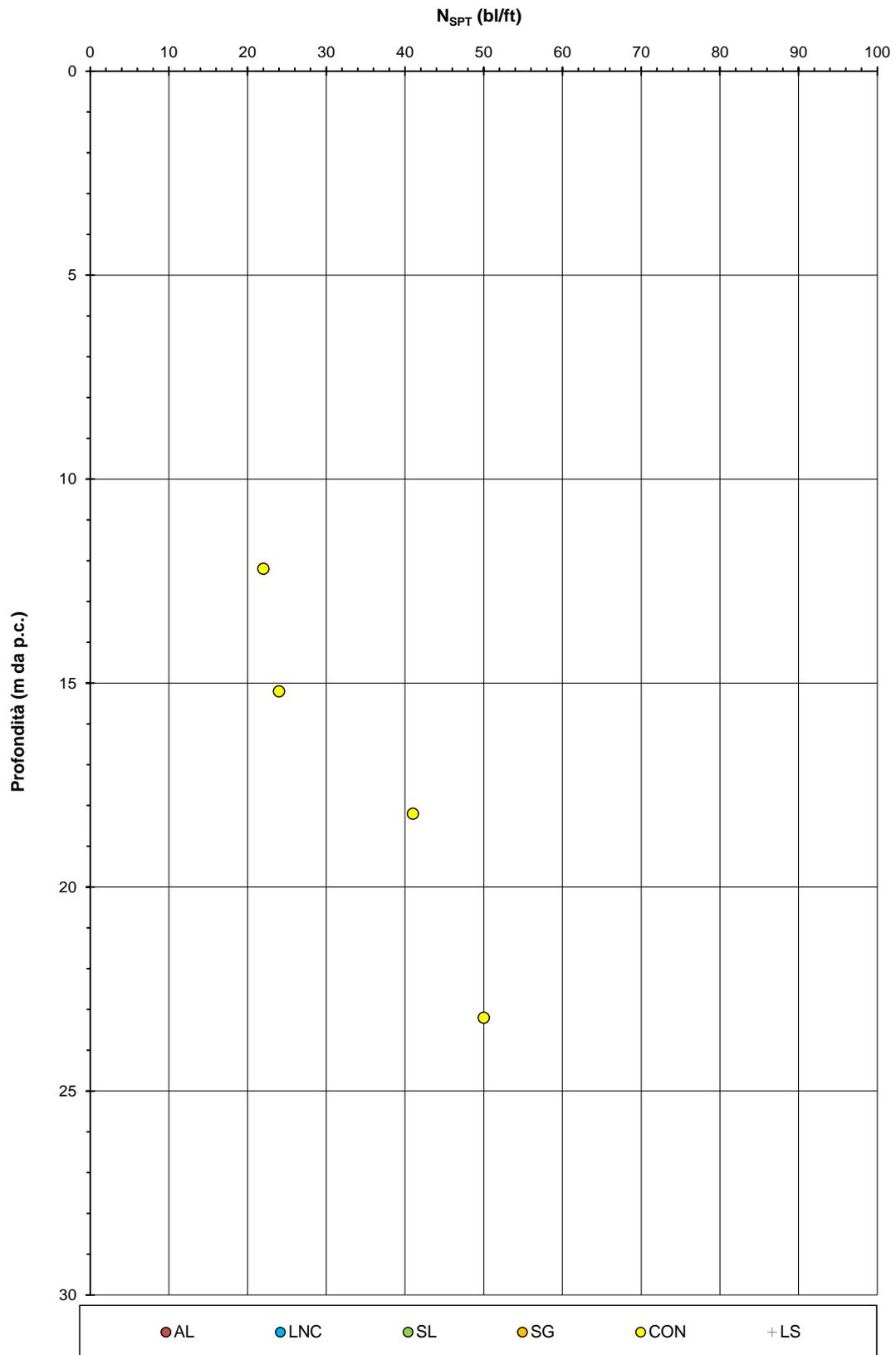
### 6.3 Unità CON

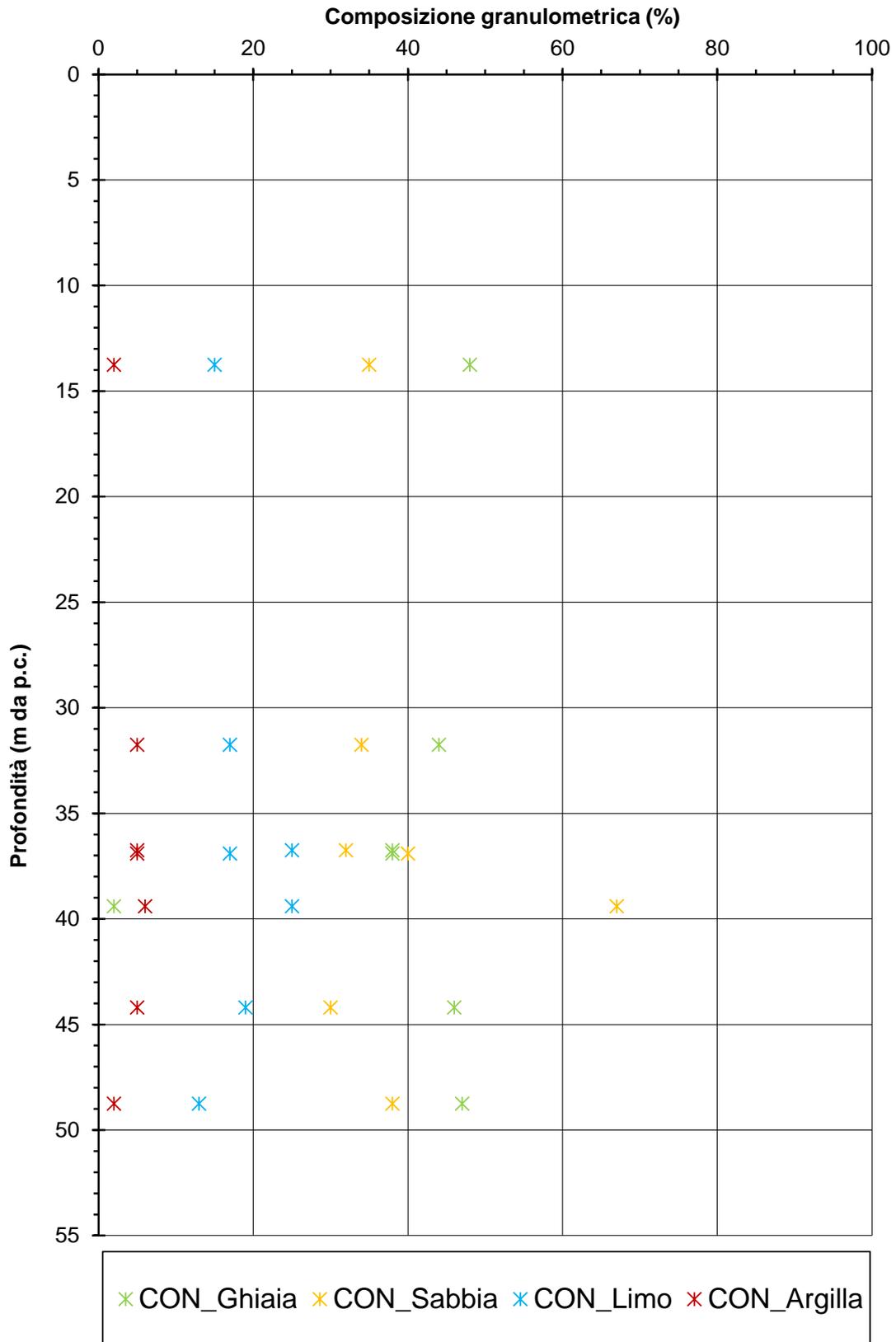
Trattasi di conglomerati costituiti da sabbie in debole matrice limosa a granulometria medio-grossolana e con ghiaia e ciottoli decimetrici. La loro presenza è stata identificata nelle vicinanze del fiume Gerace e, più precisamente, in corrispondenza del sondaggio SI1DH ed a profondità maggiori di 10m pc.

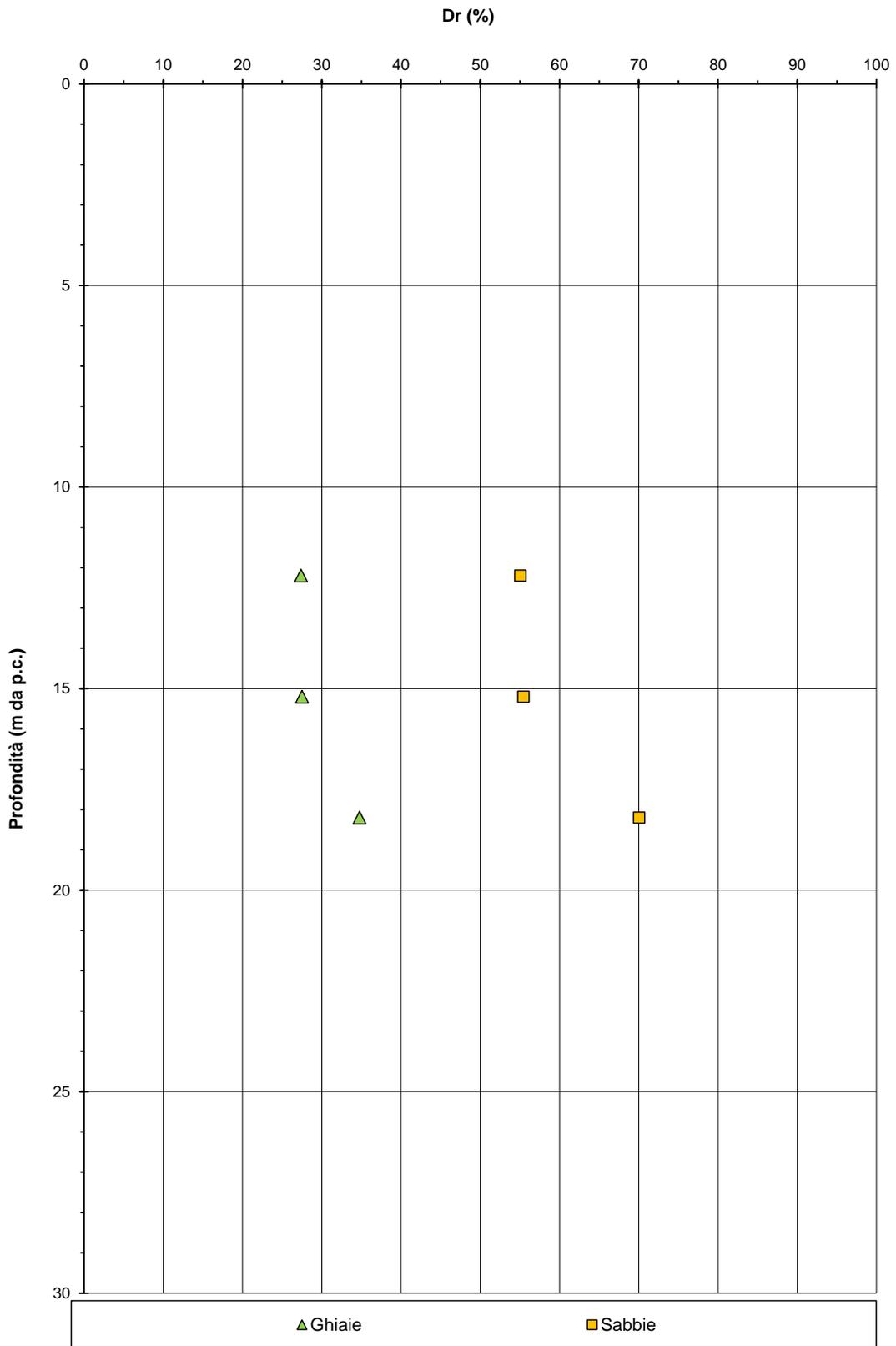
L'unità è caratterizzata da un contenuto di fini compreso tra 15% e 30%. Sebbene le evidenze di campo descrivano l'unità come addensata o molto addensata, le prove penetrometriche restituiscono valori di resistenza mediamente compresi tra 20 bl/ft e 50 bl/ft e, pertanto, il materiale è da ritenersi da debolmente a mediamente addensato, con  $D_r=30-55\%$  ed un modesto e variabile grado di cementazione.

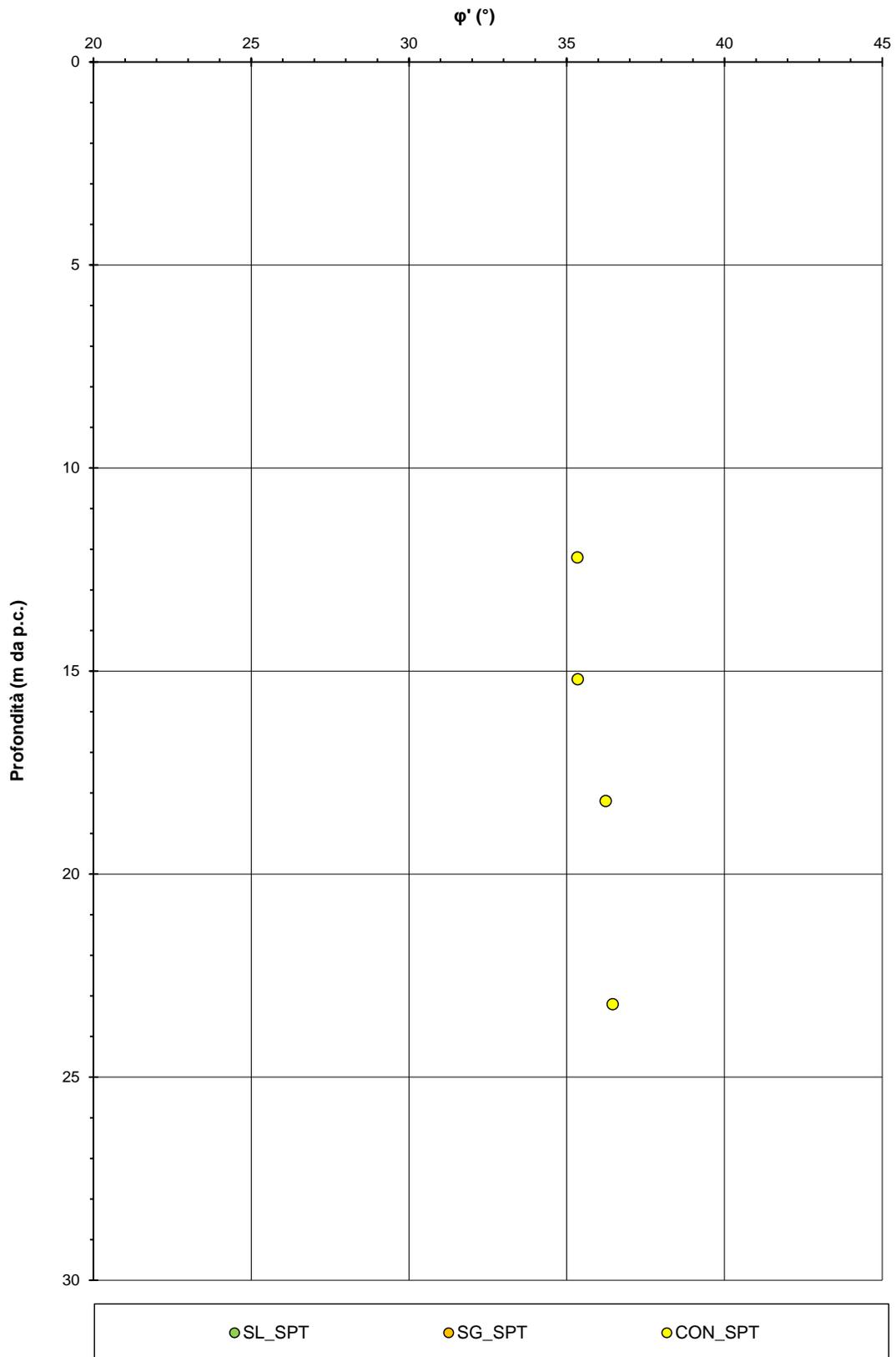
I dati geognostici a disposizione sono caratterizzati da una limitata ridondanza e si riferiscono ad una sola verticale d'indagine. L'interpretazione di tali risultati indica valori dell'angolo di attrito mediamente compresi tra  $35^\circ$  e  $37^\circ$  e rigidezze stimate variabili tra 60MPa e 100MPa.

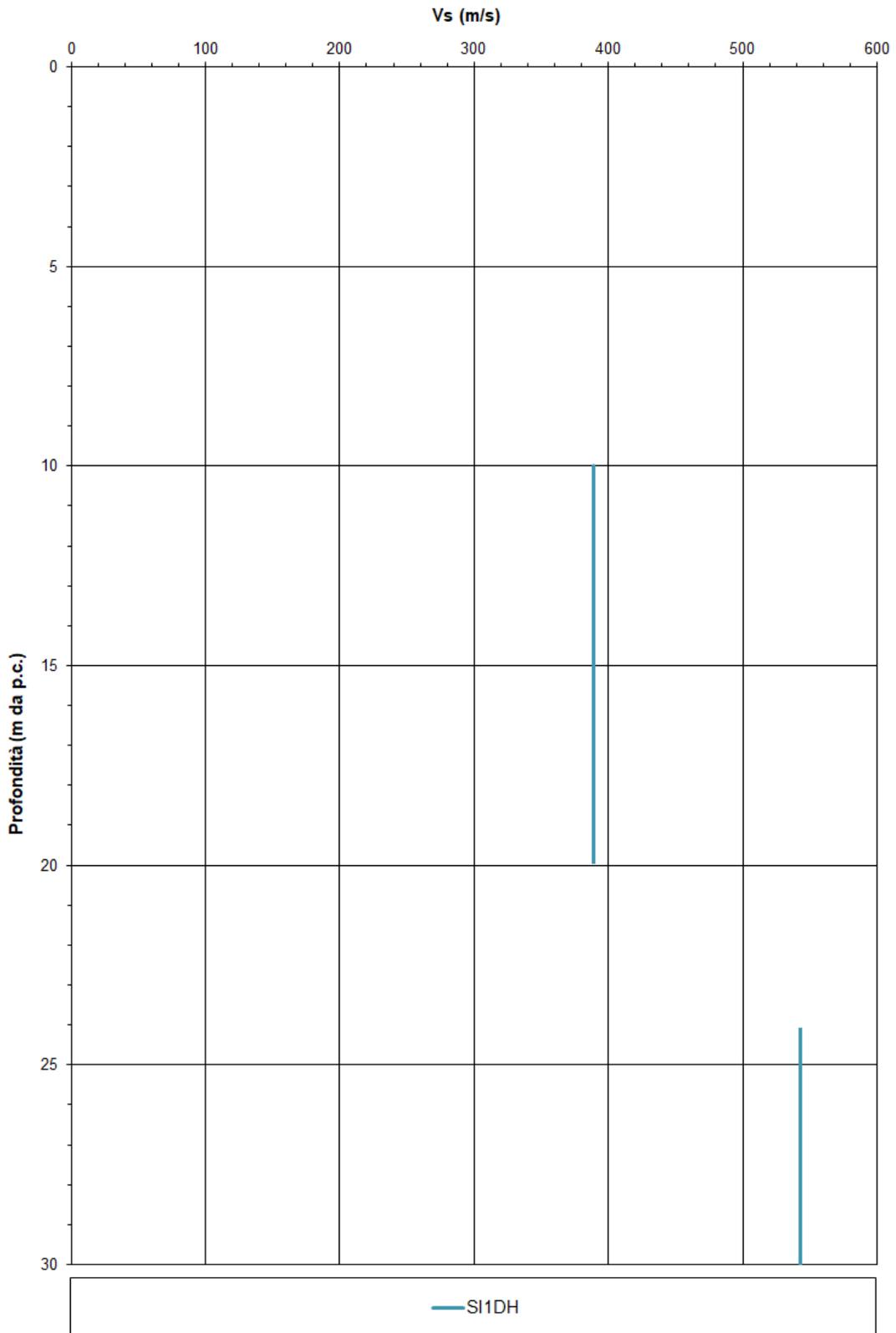
Considerata la circoscritta presenza di tale formazione nella zona di attraversamento del fiume Gerace e di futura realizzazione del viadotto e le caratteristiche del materiale, avente un modesto stato di cementazione, al fine di fornire stime più accurate delle rigidezze dell'unità e valutare eventuali ottimizzazioni circa il dimensionamento delle fondazioni dell'opera d'arte, nella successiva fase di progettazione si consiglia l'esecuzione di indagini integrative tipo SPT e DH nelle vicinanze delle pile e delle spalle.

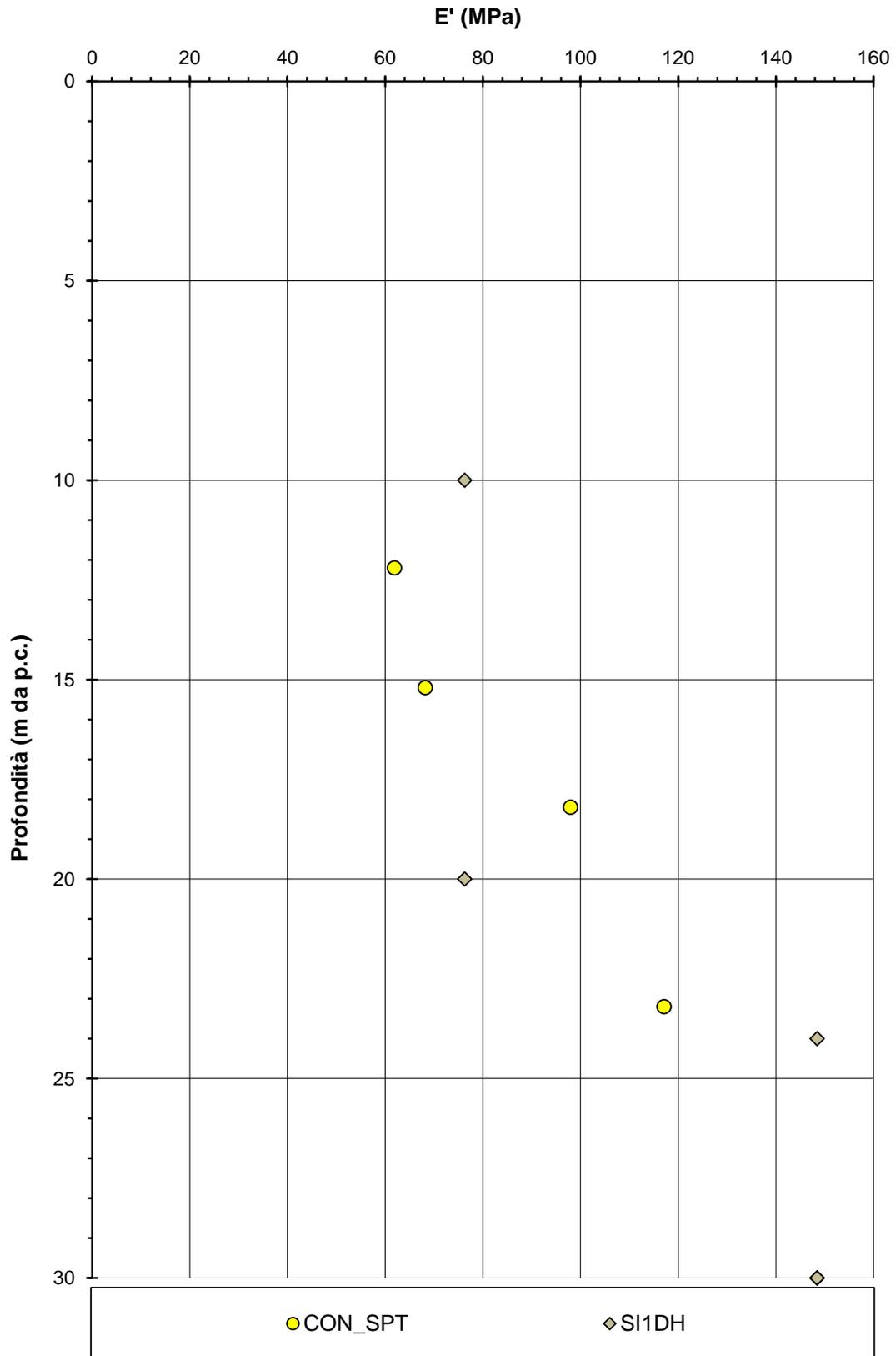












## 6.4 Unità AL

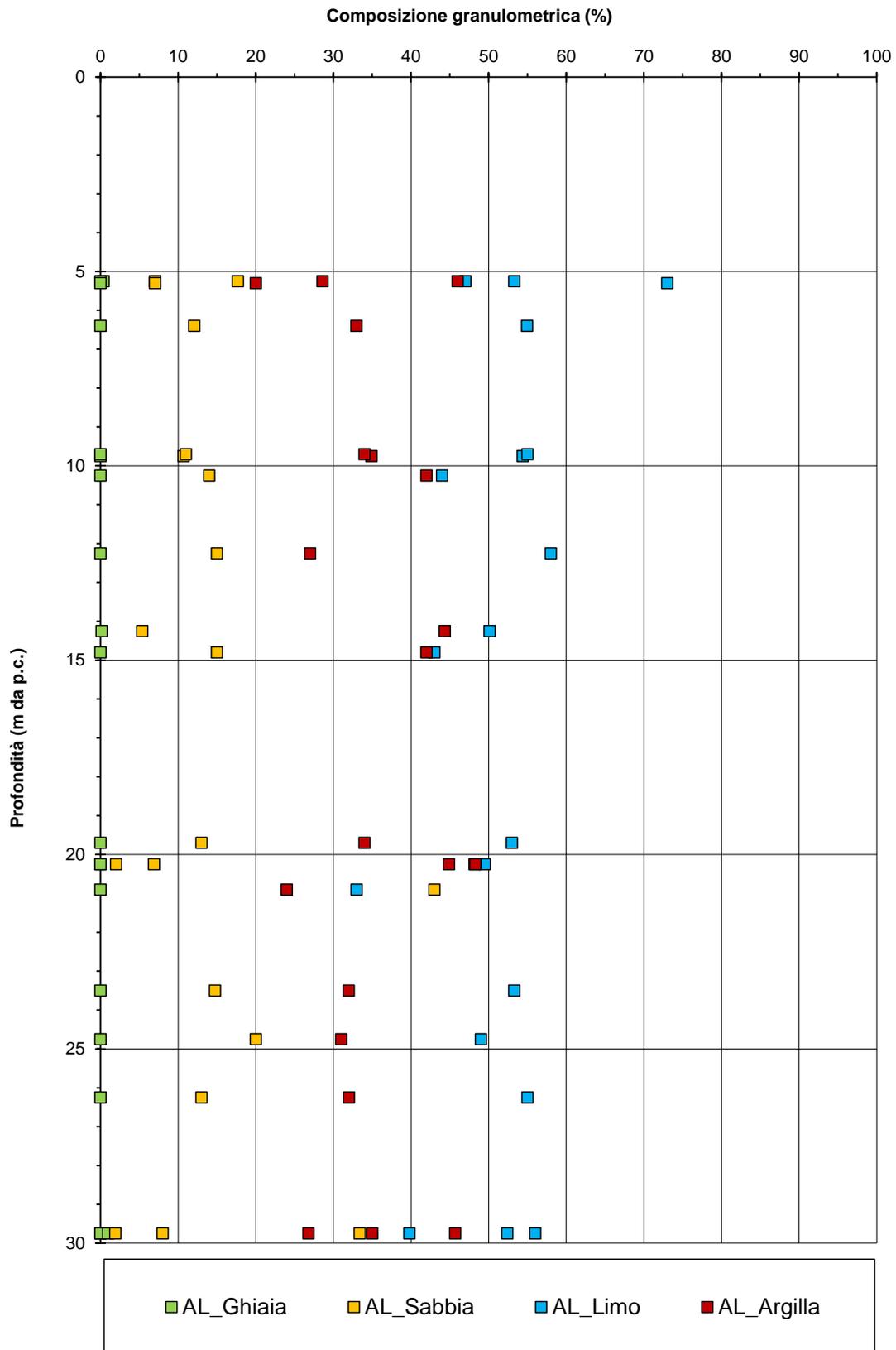
L'unità è composta da terreni che vanno dal limo argilloso sabbioso all'argilla limosa marnosa. È presente lungo tutto il tracciato, ad esclusione della zona più costiera, superficialmente o in profondità, anche ad oltre 25m pc.

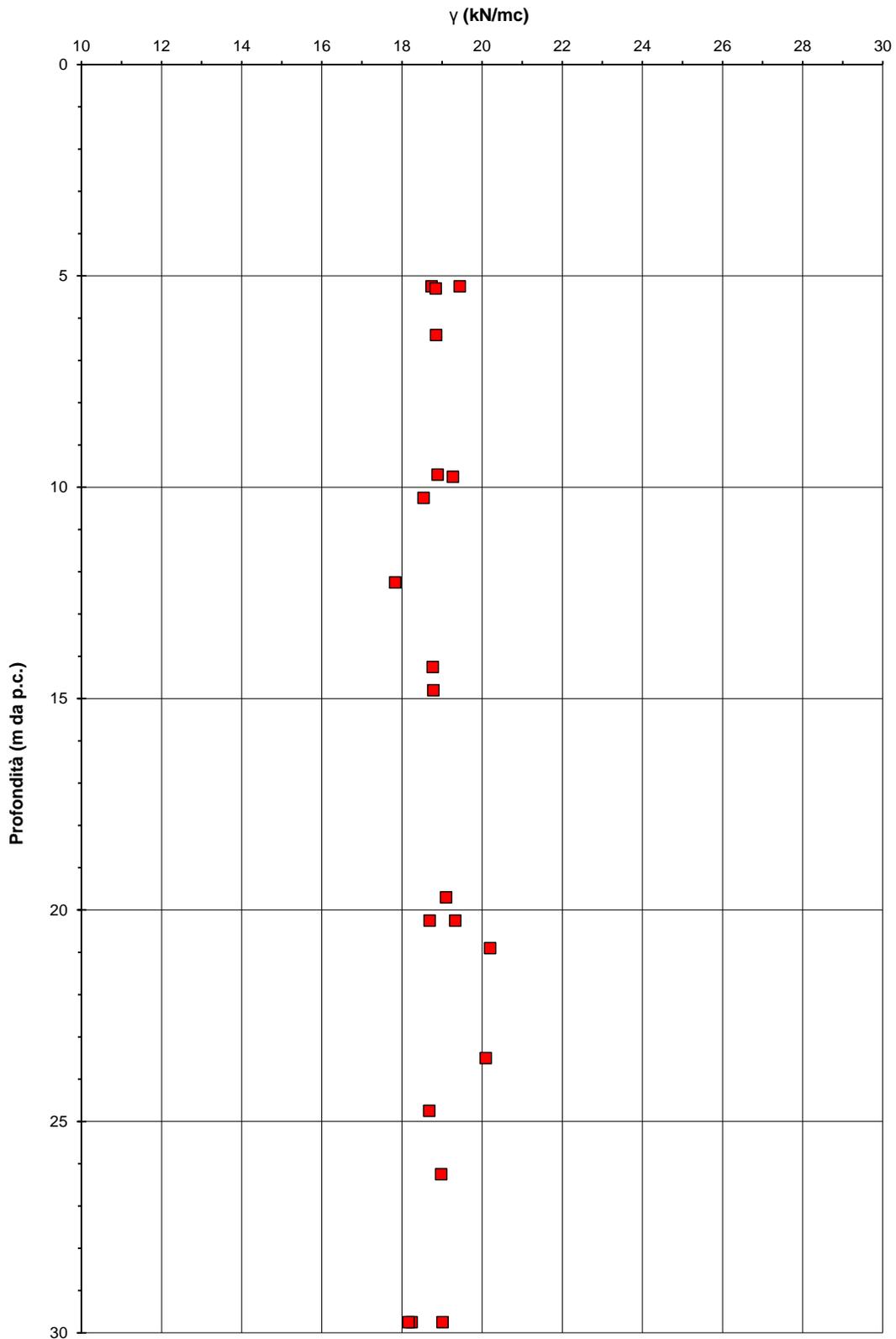
Sulla base delle prove di laboratorio disponibili, l'unità AL risulta avere un contenuto di fini di 80-98% ed essere costituita da argille e limi medio-plastici. Si stimano un limite liquido  $LL=40-55\%$ , un limite plastico  $LP=15-35\%$  ed un contenuto naturale di acqua  $w=18-34\%$ . Il deposito ha una plasticità medio bassa, una consistenza solido-plastica o semisolida e, nel corso dei sondaggi, è stato descritto come consistente o molto consistente. Sulla base dei dati disponibili, è possibile concludere che si tratti di materiali sovraconsolidati, con pressioni di preconsolidazione superiori a 500kPa.

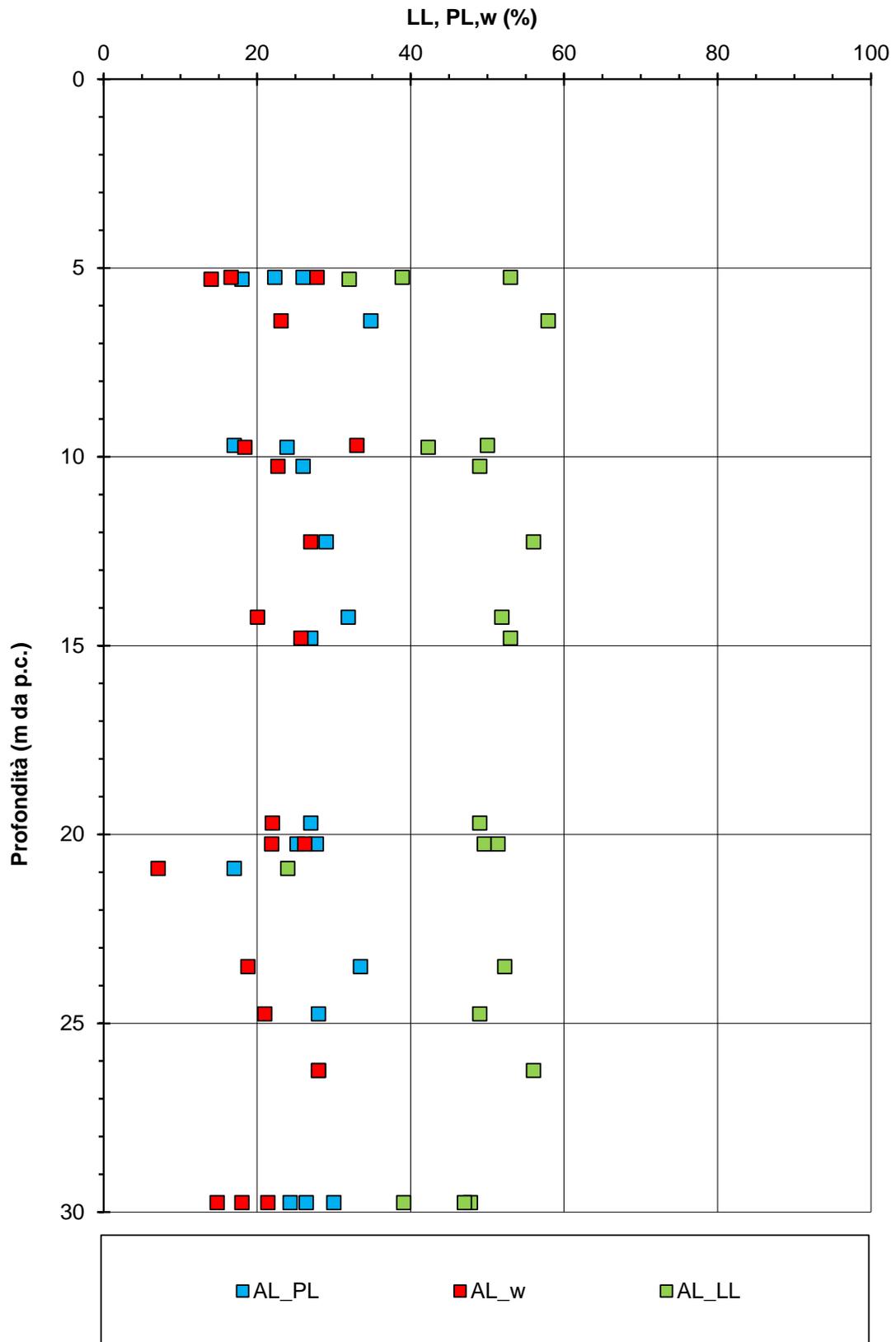
La resistenza può essere stimata per mezzo parametri drenati con un angolo di attrito compreso tra  $24^\circ$  e  $27^\circ$  ed una coesione di 15-30kPa. In termini non drenati, si stima che la resistenza del materiale sia di circa 60-100kPa nei primi 5m pc e compresa tra 120kPa e 200kPa più in profondità – valori complessivamente confermati dall'interpretazione delle CPT riportata nell'ambito del progetto del Megalotto1.

A partire dai risultati delle prove edometriche si definiscono coefficienti di compressibilità di circa  $7 \times 10^{-5}$ - $10^{-4}$  1/kPa e le rigidezze stimate sulla base delle prove penetrometriche indicano valori rappresentativi tra 5MPa e 15MPa nei primi 5m pc e tra 15MPa e 45MPa a profondità maggiori – valori che trovano riscontro nelle stime effettuate secondo l'approccio proposto da Duncan&Buchignani (Doc. rif. [37]).

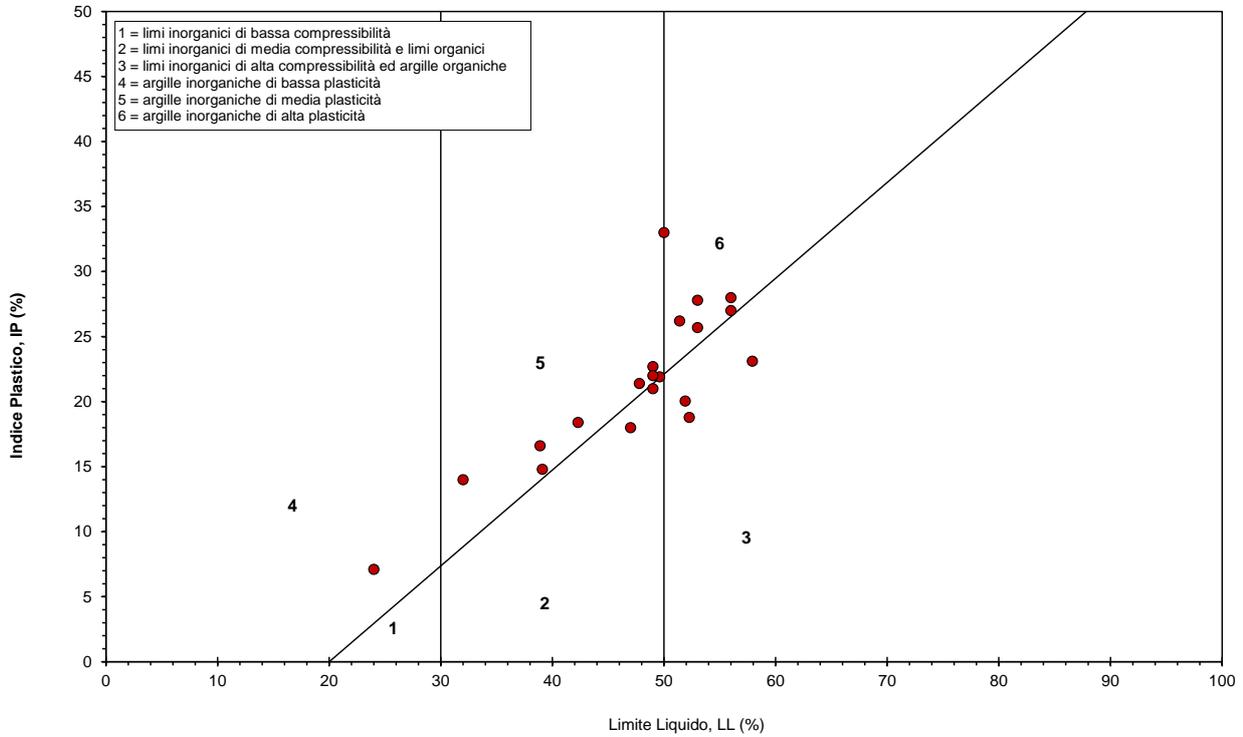
Le permeabilità stimate sono dell'ordine di  $10^{-10}$ - $10^{-9}$  m/s.

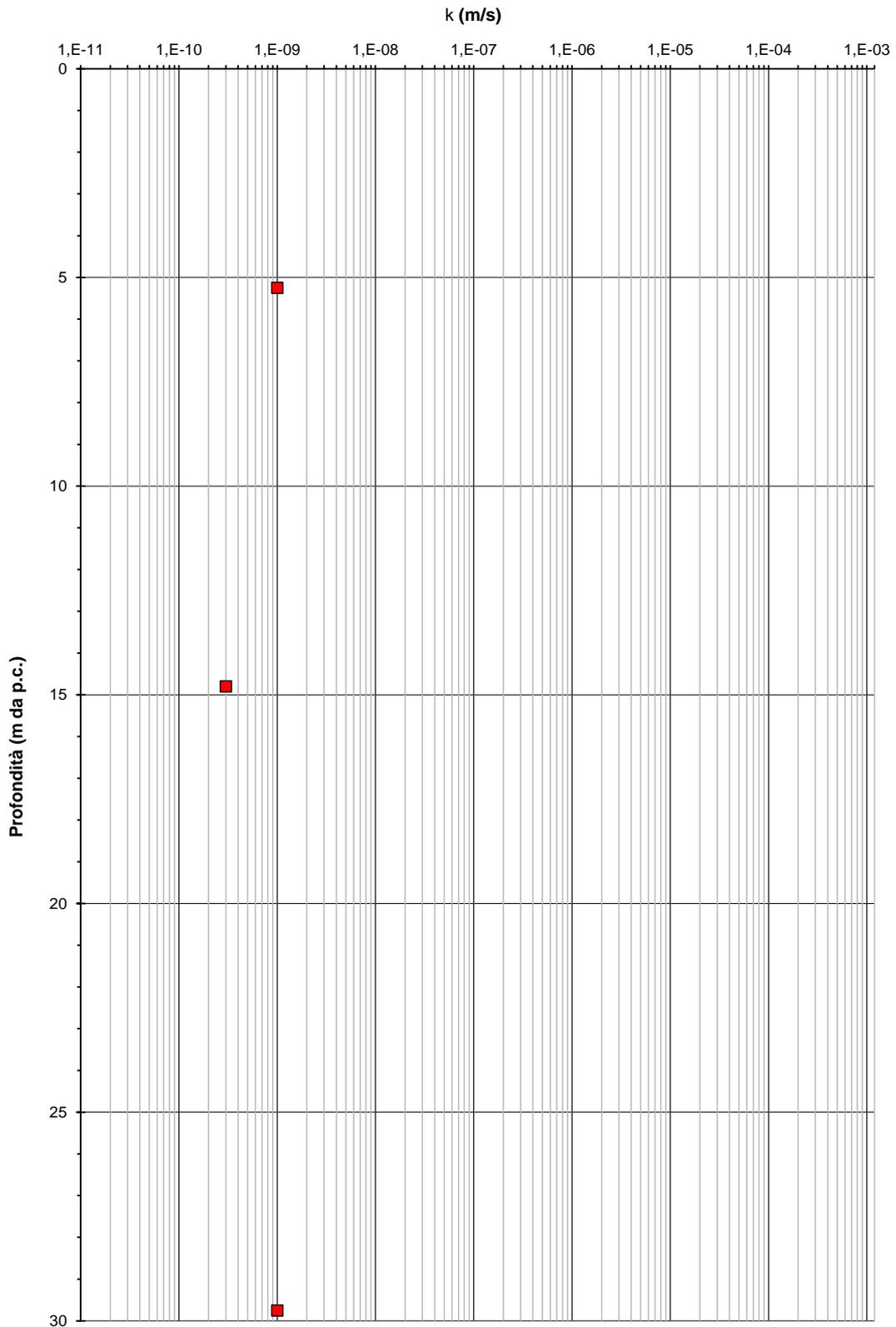


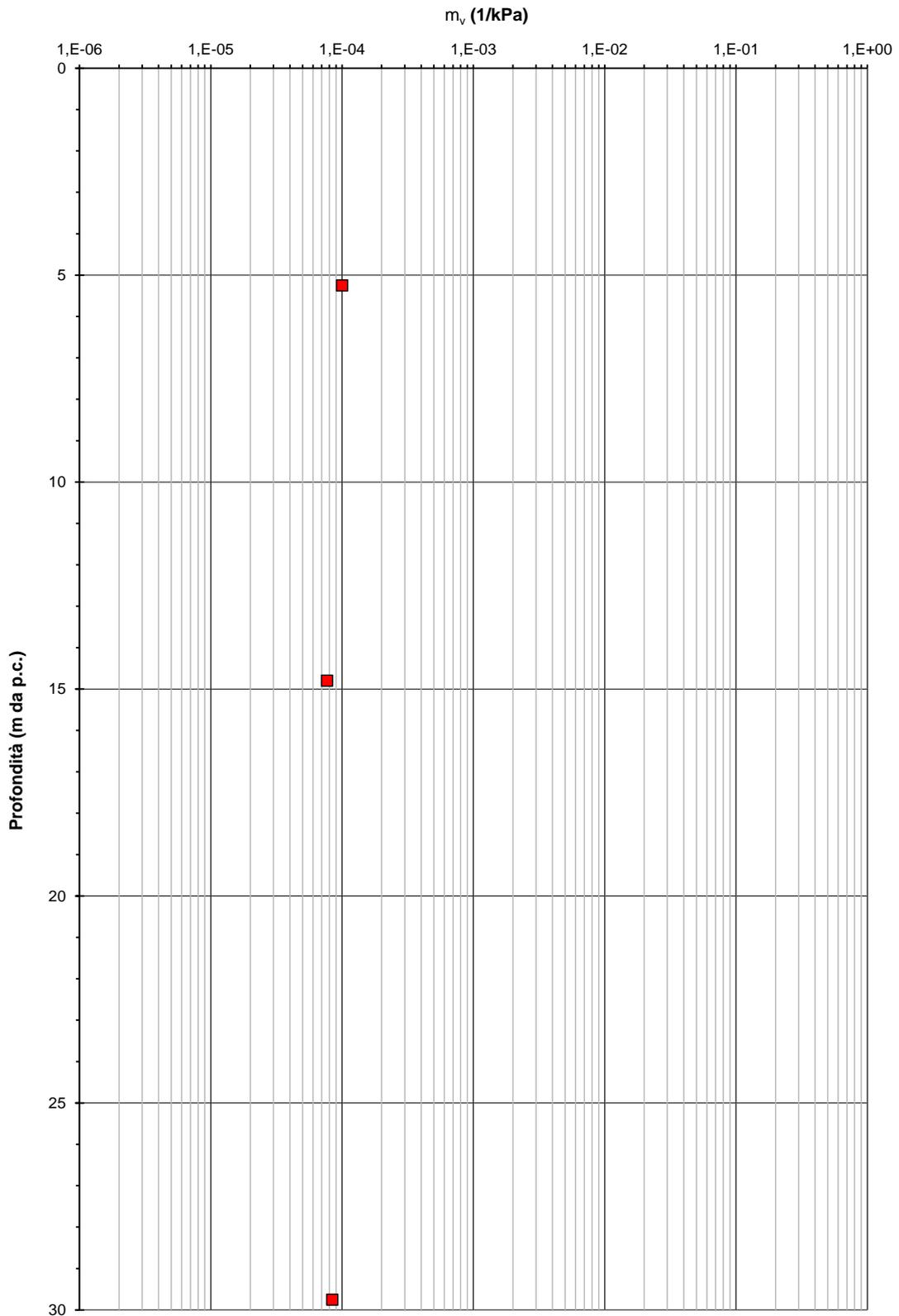


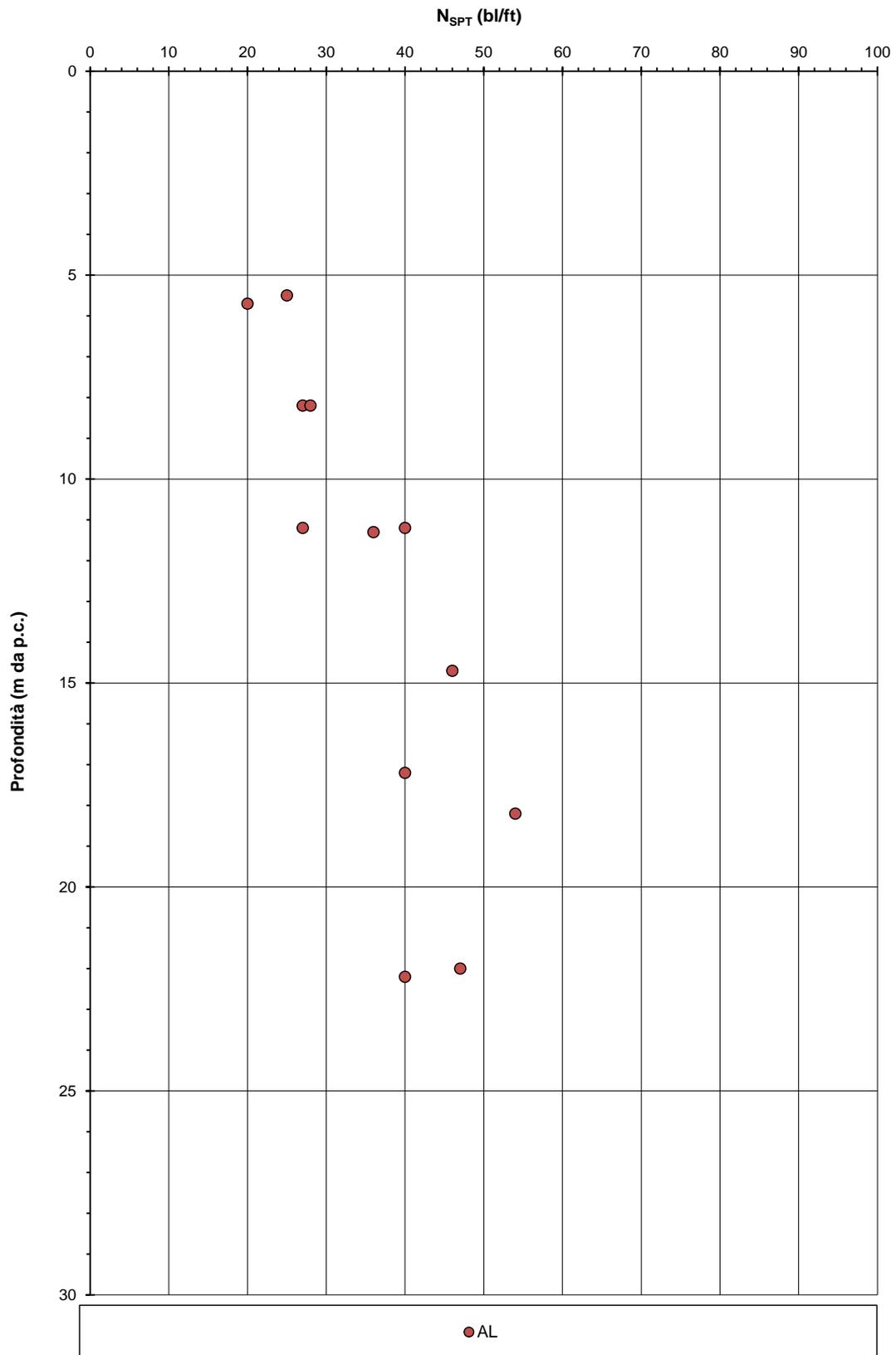


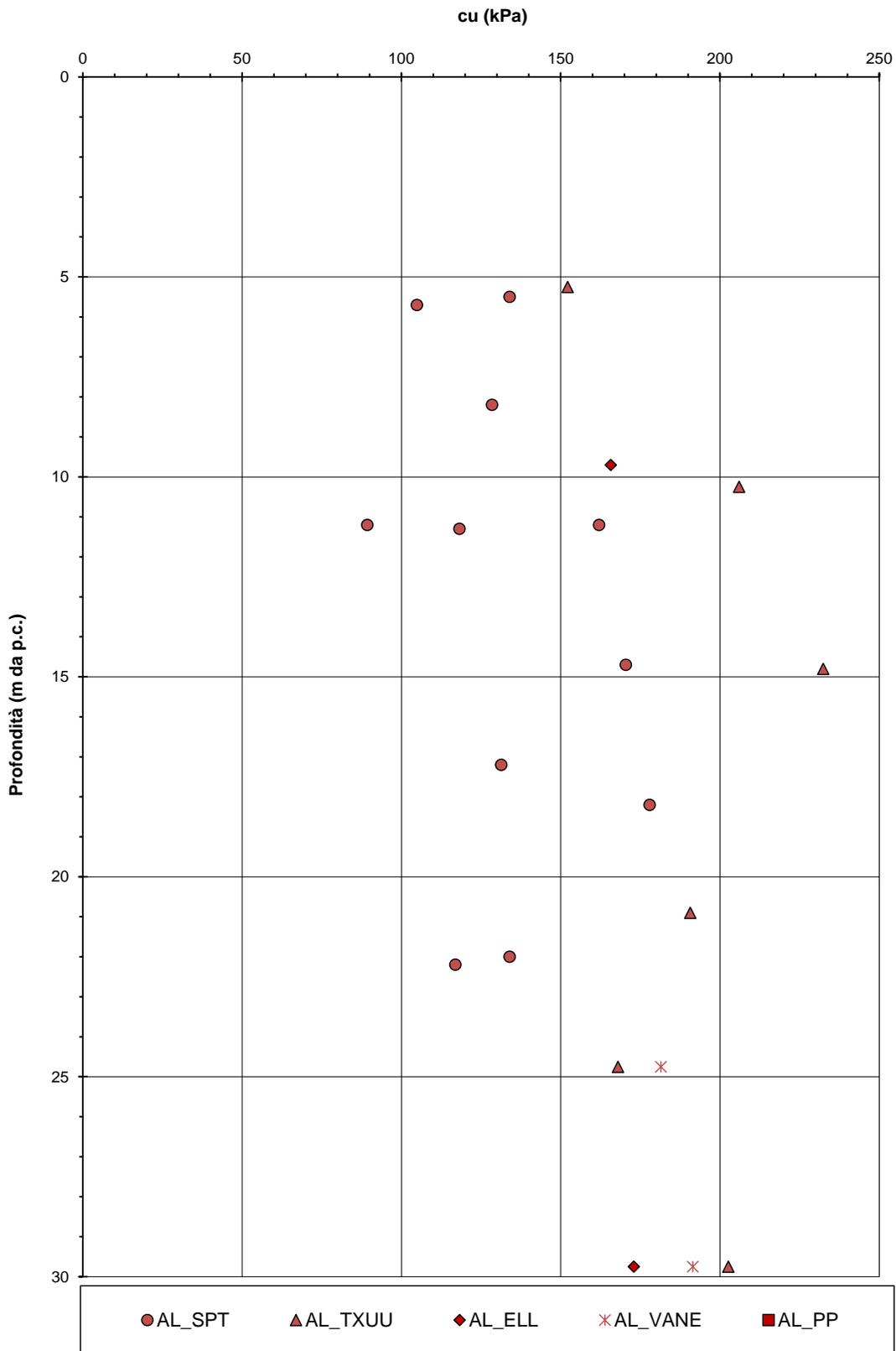
**Carta di Casagrande**

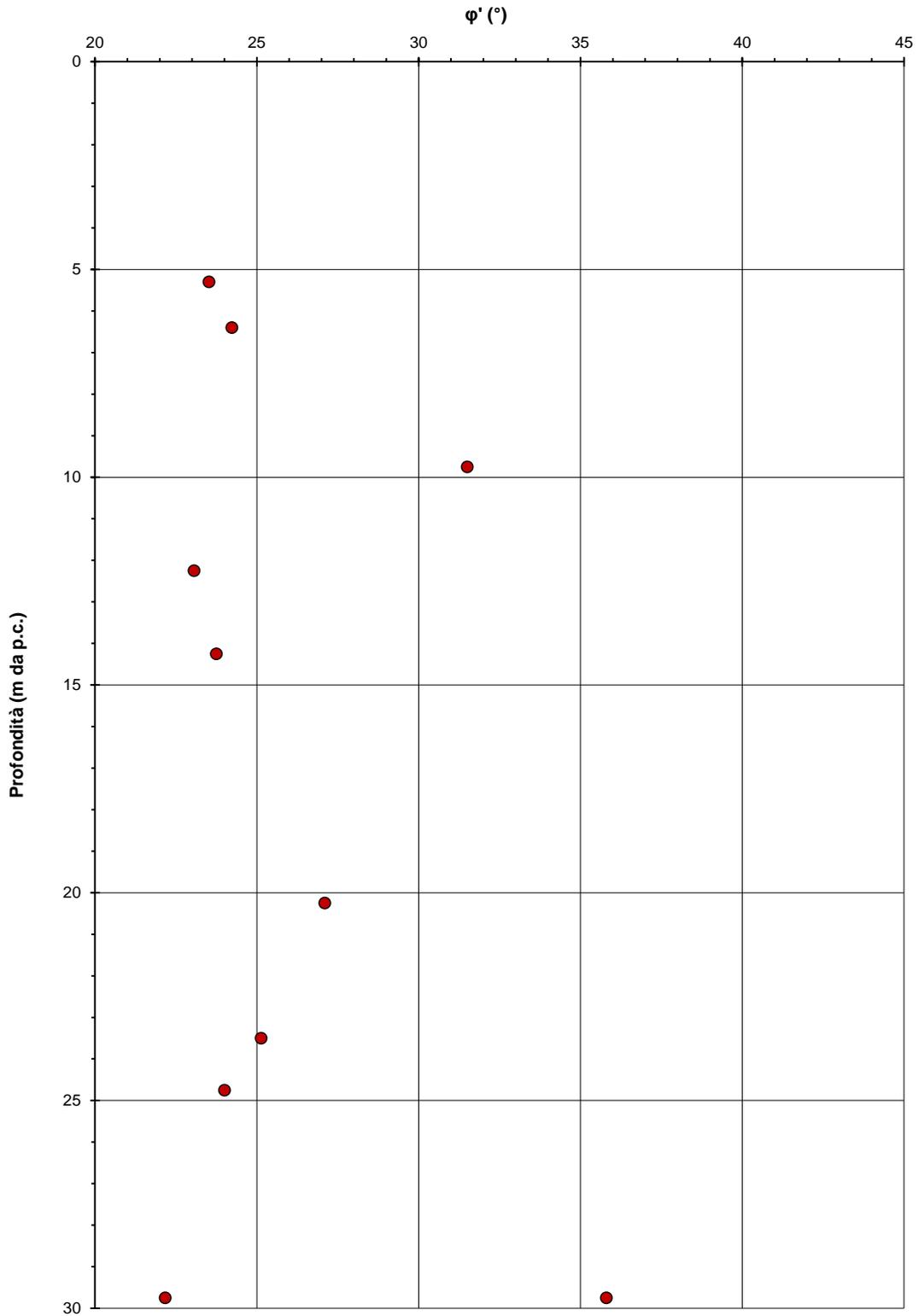


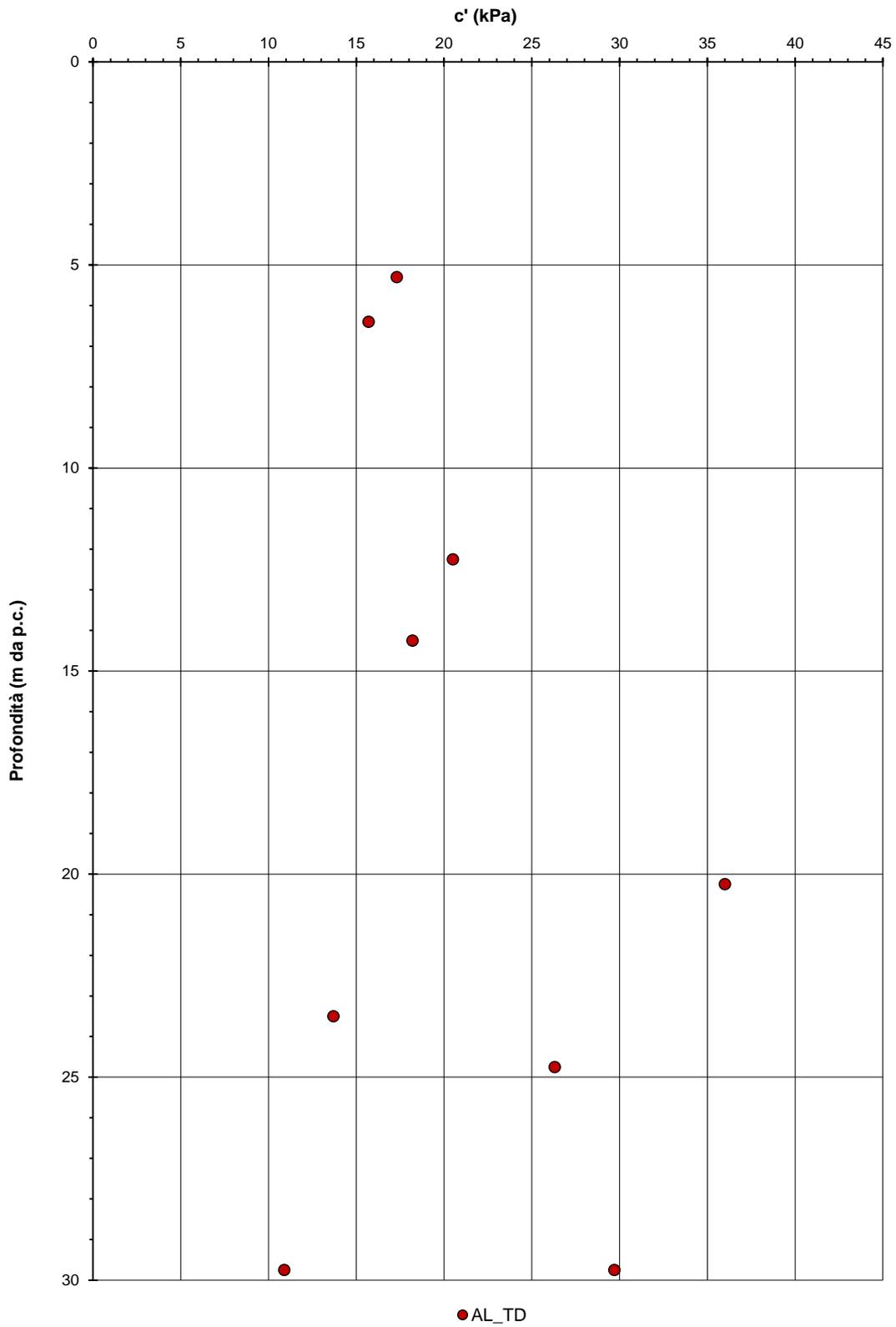


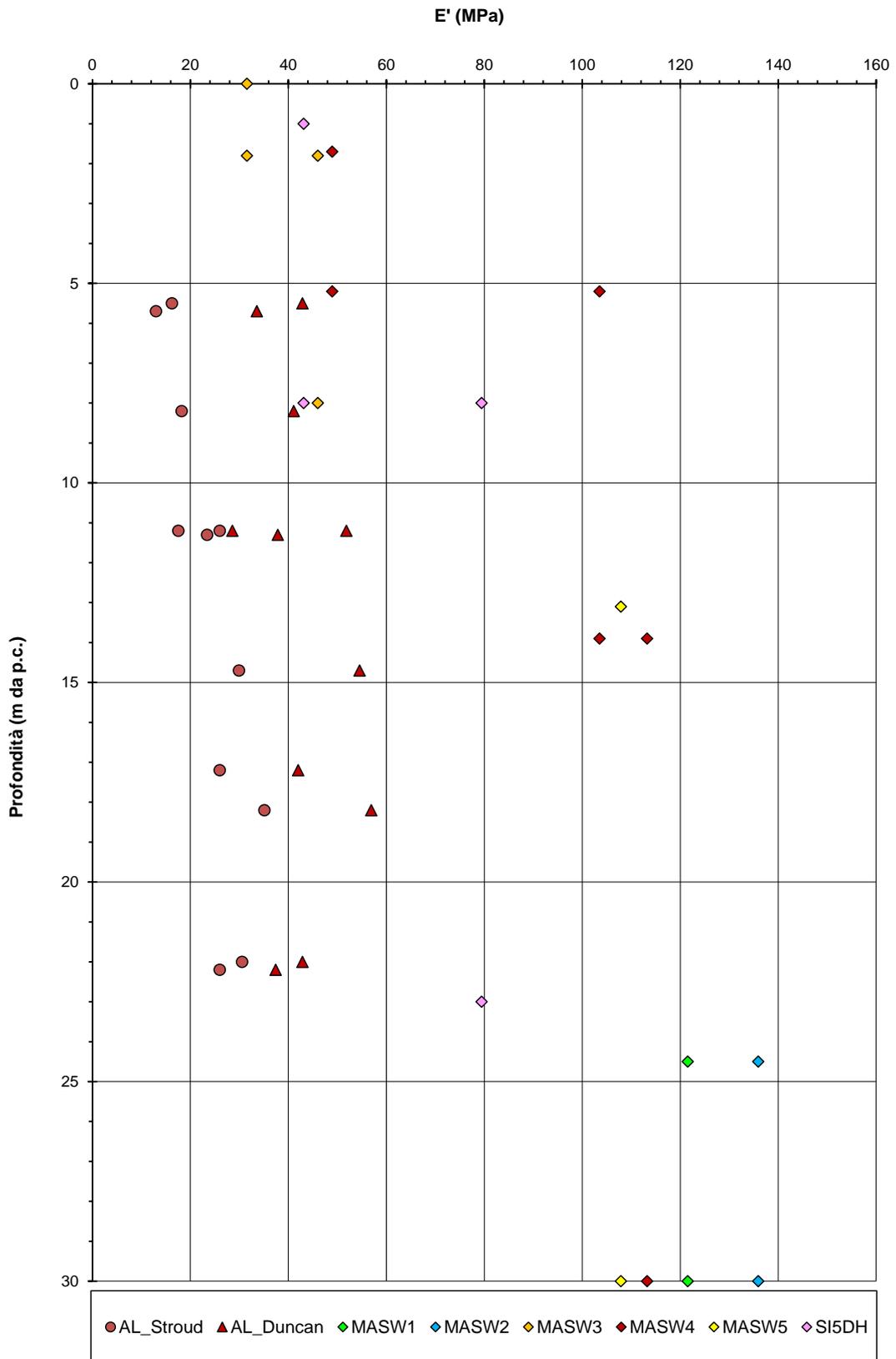










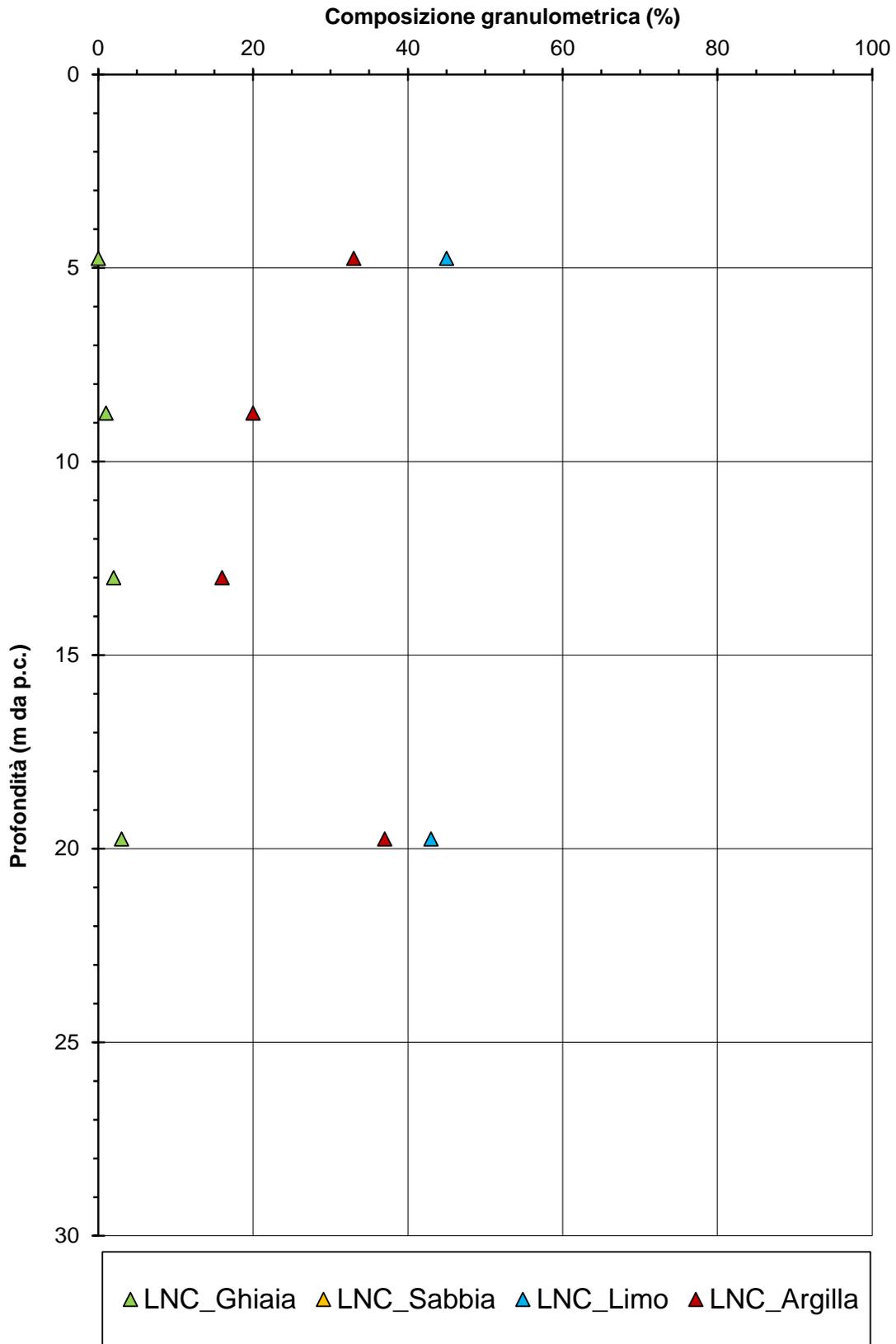


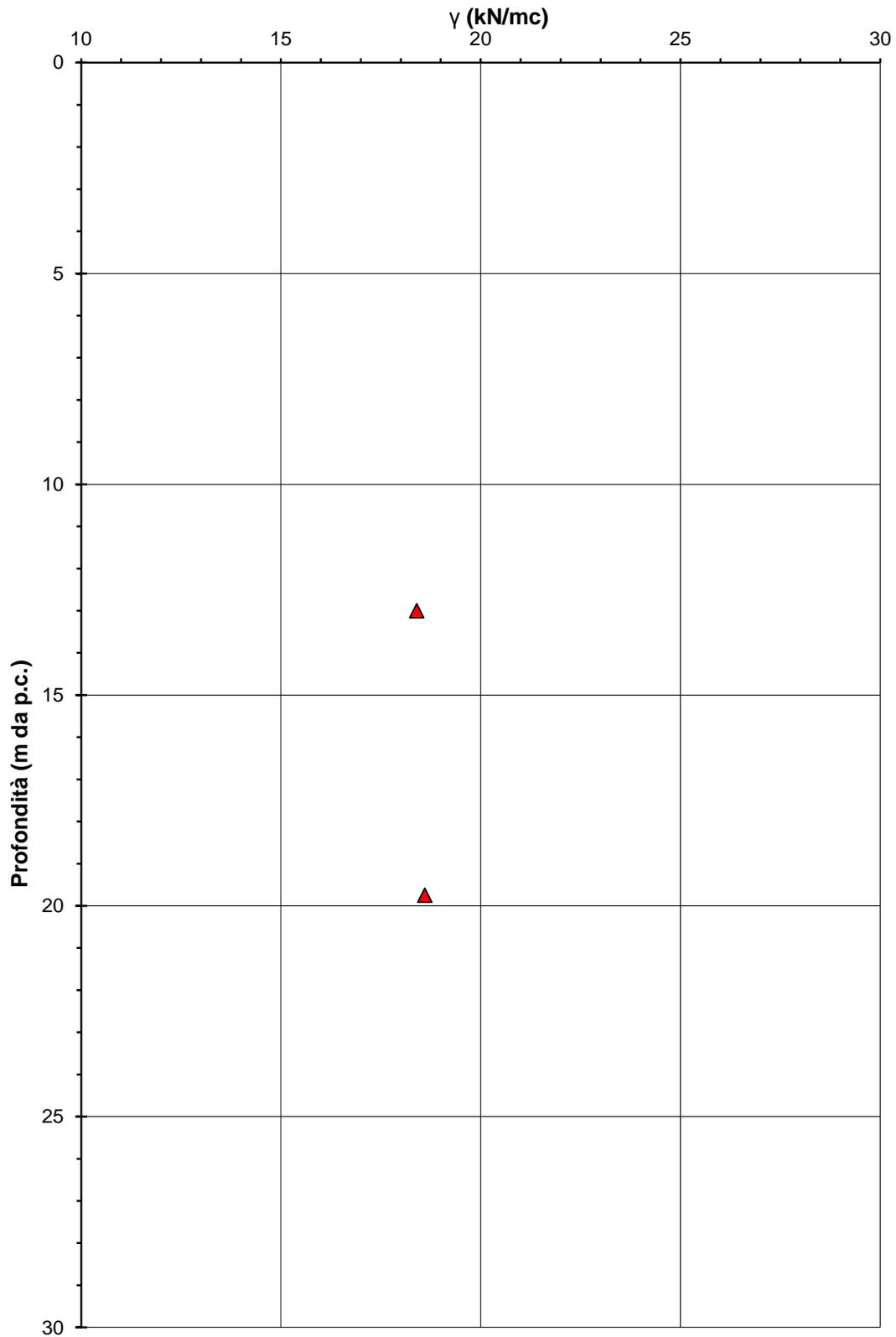
## 6.5 Unità LNC

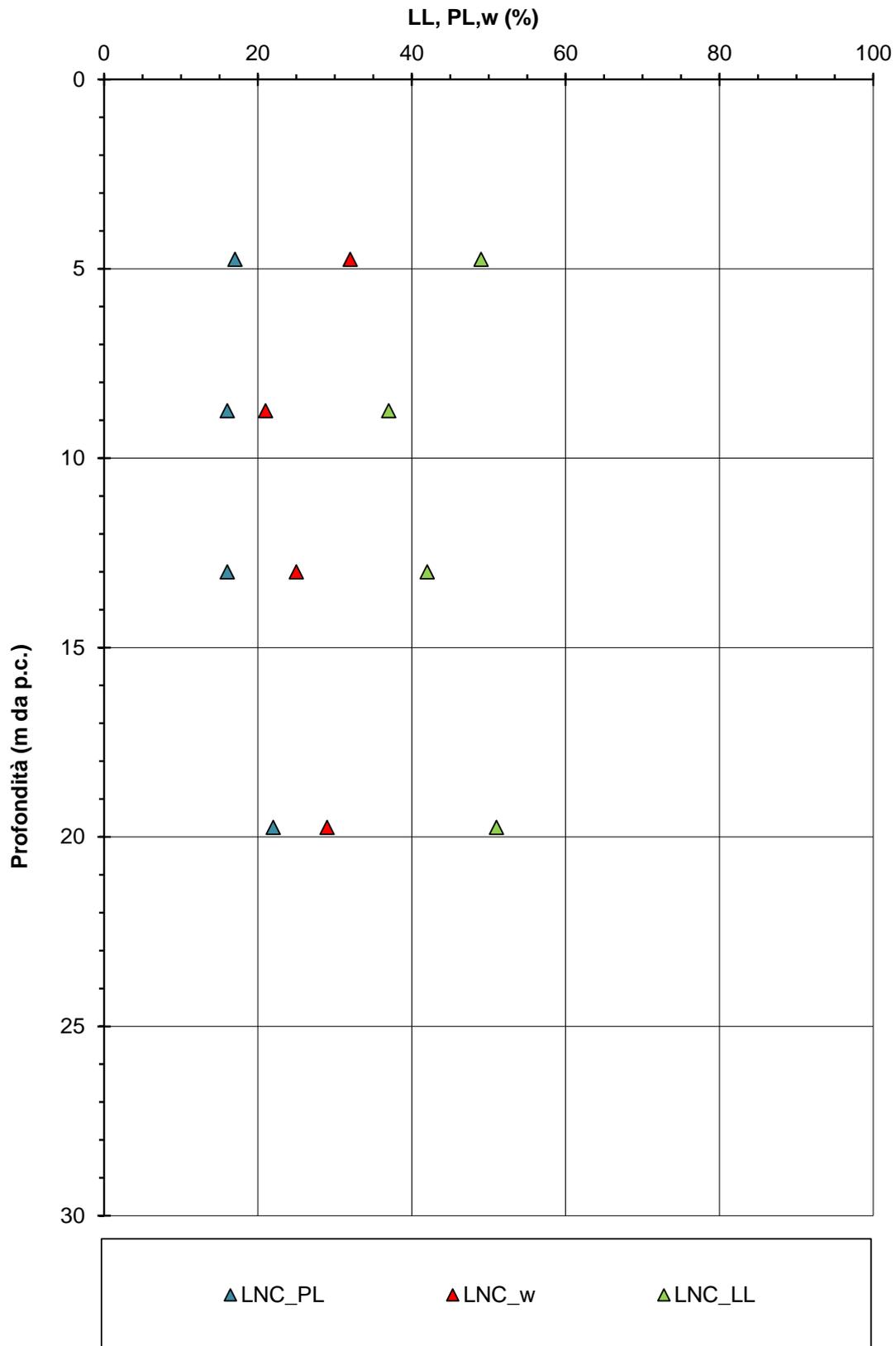
L'Unità LNC è prevalentemente costituita da limo argilloso all'argilla sabbiosa, con intercalazioni di sabbia fine limosa. Si stima un contenuto di fini compreso tra 70% e 80% ed i limiti di Atterberg e il contenuto naturale di acqua misurati (LL=35-50%, LP=15-22% e w=21-32%) descrivono un materiale con plasticità medio alta e consistenza plastica.

Sulla base delle informazioni disponibili, è possibile concludere che il materiale sia normalconsolidato o debolmente sovraconsolidato, caratterizzato da coesioni non drenate di 50-70kPa.

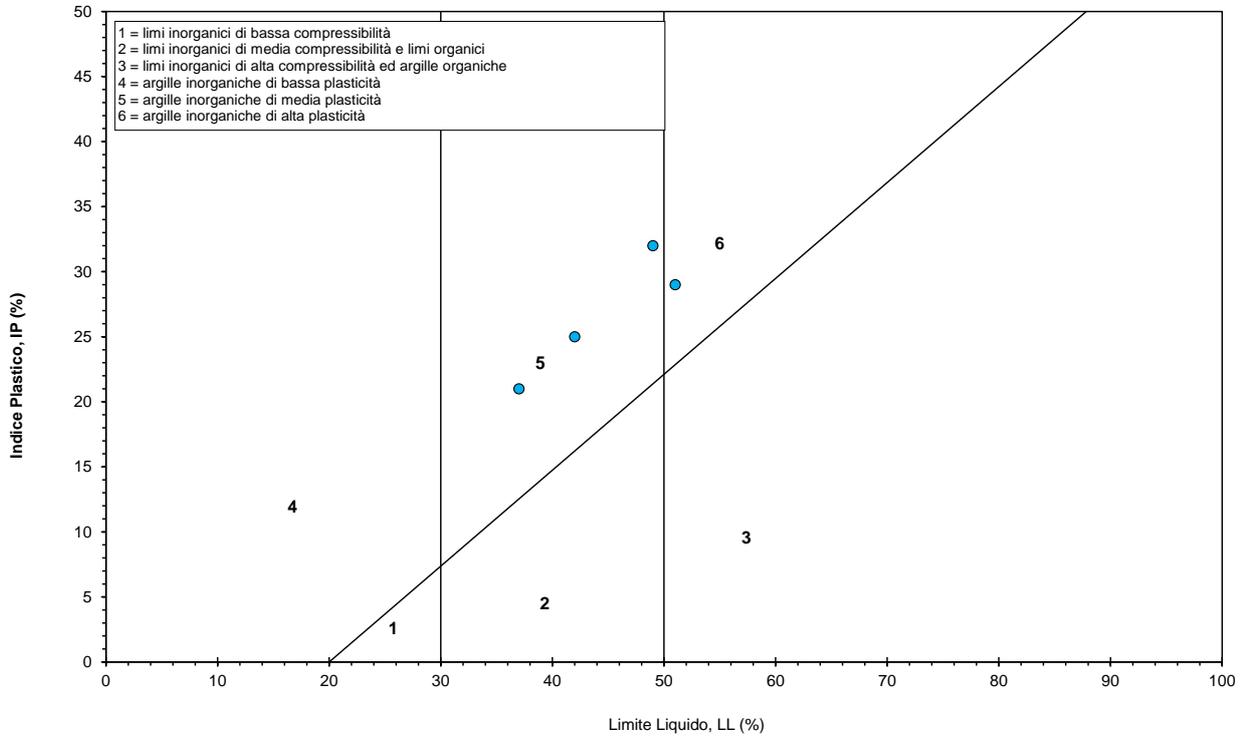
La resistenza drenata si stima che possa essere definita da angoli di attrito compresi tra 24-26° e coesioni drenate di 15-20kPa. Le rigidezze stimate sono relativamente basse, in linea con lo stato di consolidazione e le resistenze riscontrati, e pari a 9-17MPa.

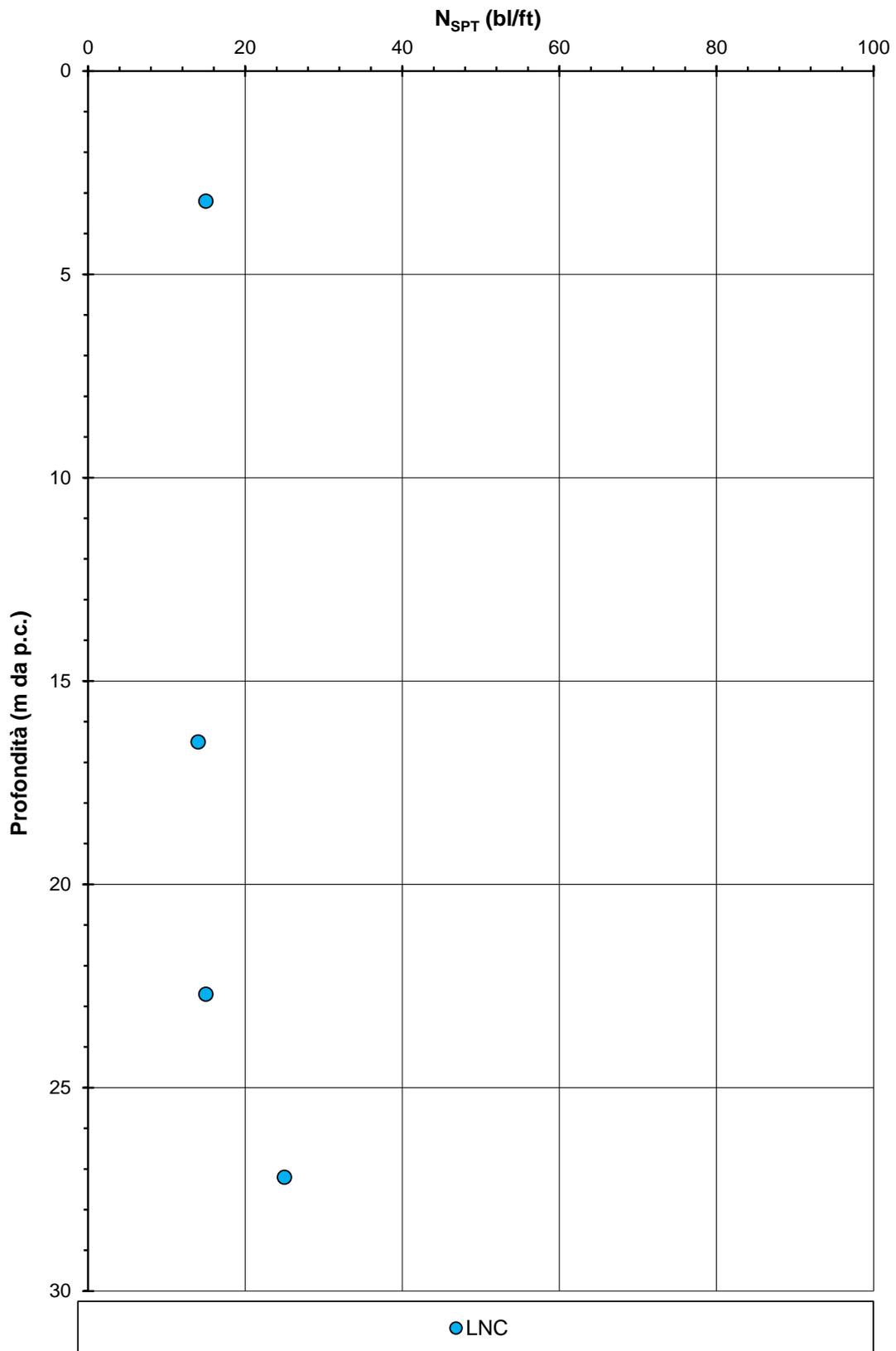


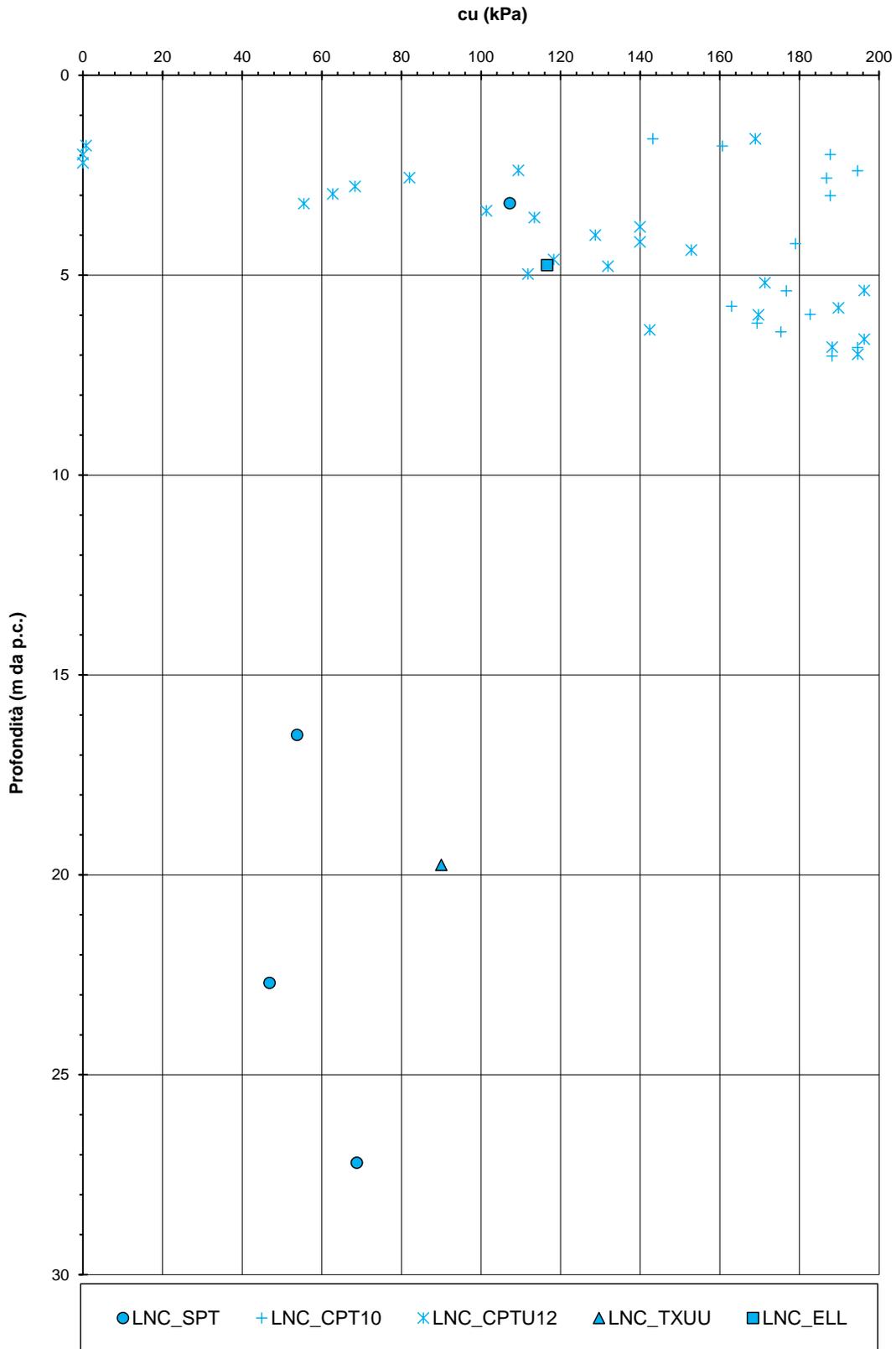


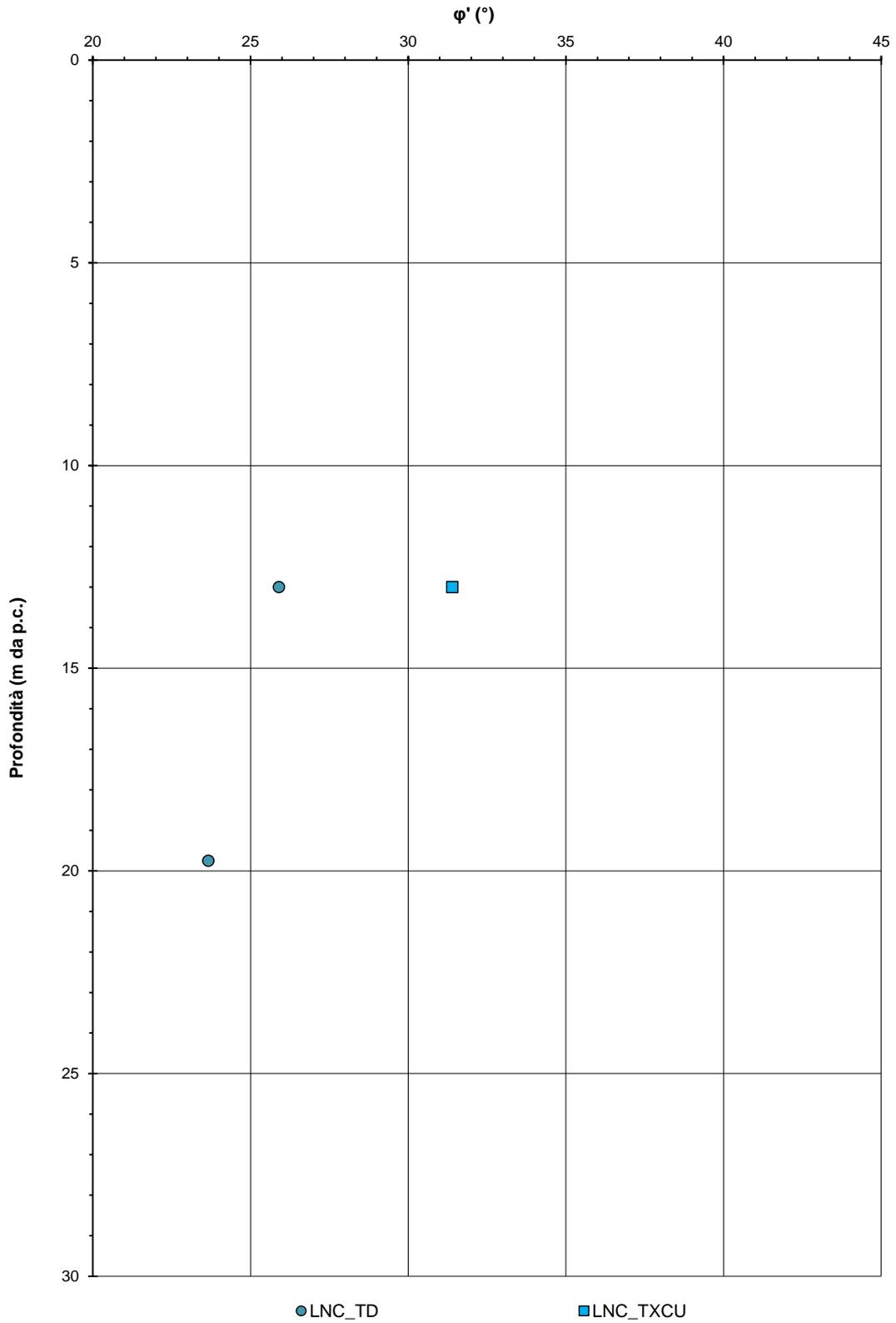


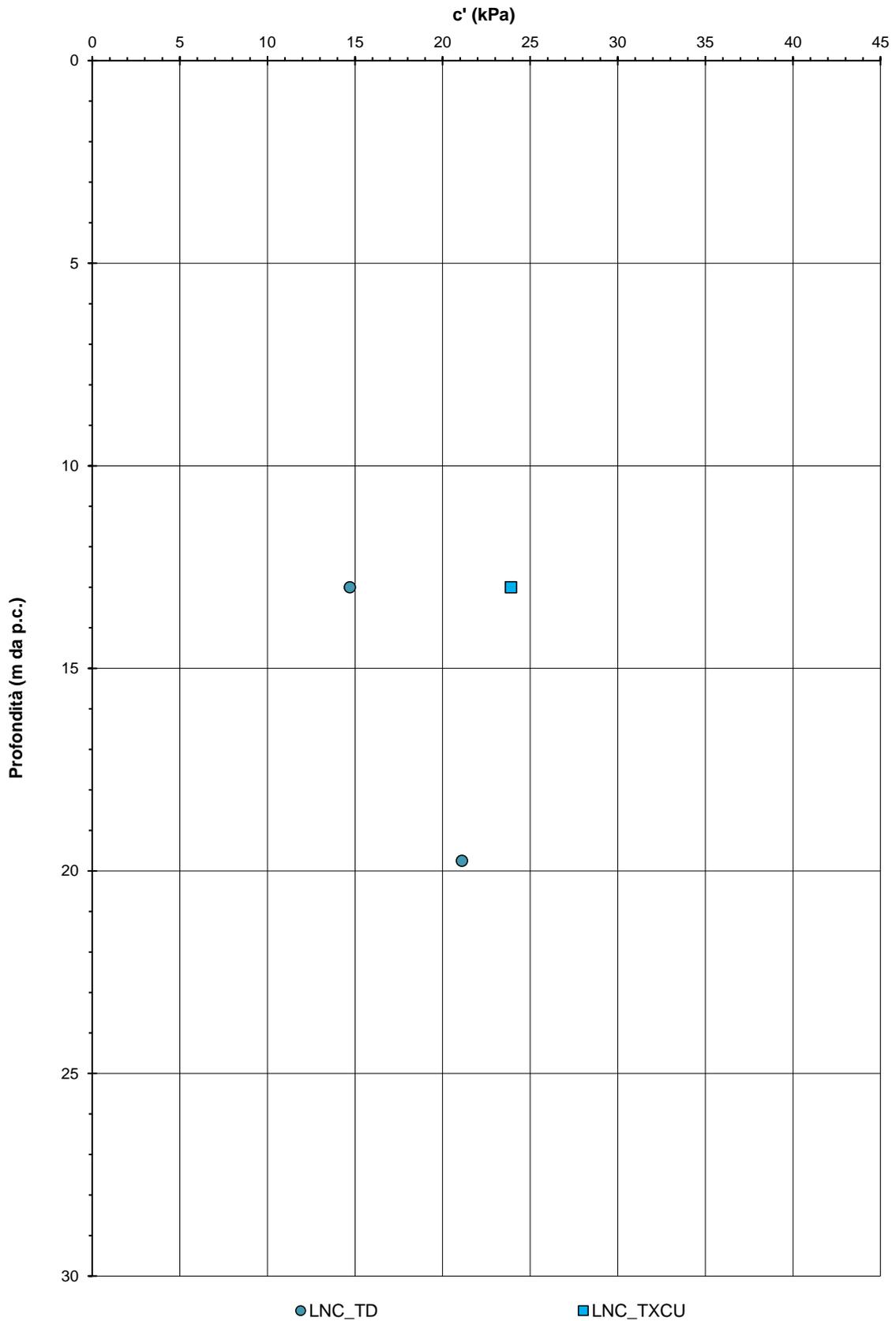
**Carta di Casagrande**

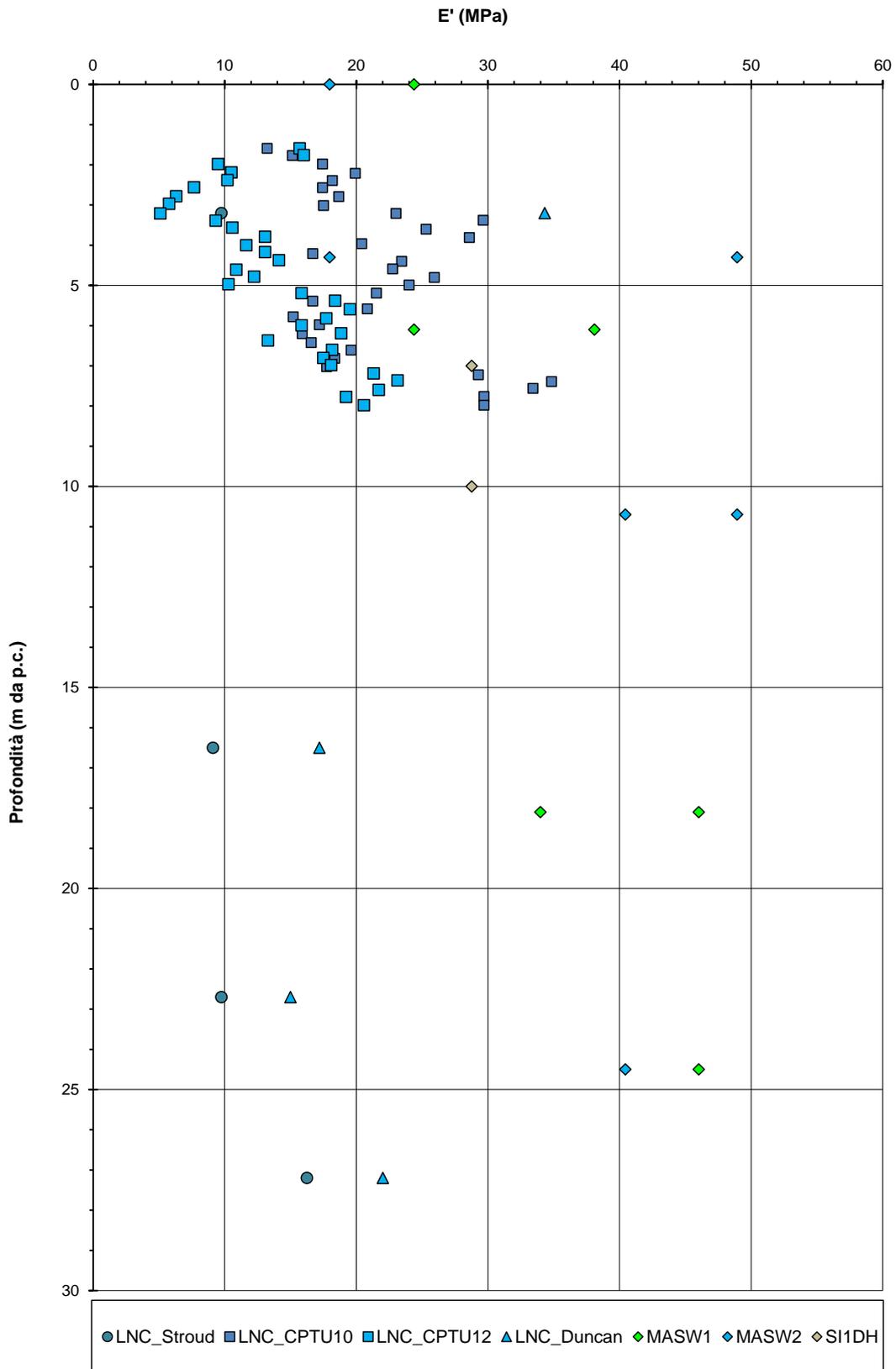












## 6.6 Criticità dovute a meccanismi franosi

Come discusso nel capitolo 3.4 e più ampiamente nella Relazione Geologica (Doc. rif. [3]), nel settore nord-occidentale del tracciato si riscontra la presenza di fenomeni franosi censiti dal PAI (Doc. rif. [8]) e che appaiono caratterizzati da una cinematica lenta ed intermittente. Sulla base delle informazioni rese disponibili nell'ambito del progetto del Megalotto1 e delle misure inclinometriche disponibili, si stima che i meccanismi franosi interessino i terreni nei primi 7-8m di profondità da piano campagna (Doc. rif. [3]). Non vi sono, tuttavia, evidenze riscontrate nel corso delle indagini geognostiche che consentano una definizione di dettaglio del materiale interessato, illustrato nelle sezioni trasversali (Doc. rif. [8]). I sondaggi ricadenti nella zona in oggetto sono AS12 e SI3incl, attrezzato a inclinometro; il sondaggio SI4PZ è stato eseguito a distruzione di nucleo ed attrezzato a piezometro.

Il sondaggio SI3incl descrive la presenza di argilla limosa da poco a mediamente consistente con intercalazioni di sabbia fine limosa fino a 8.3m pc, seguita da uno strato di sabbia fine limosa mediamente addensata dello spessore di circa 1.1m e, più in profondità, da argilla limosa mediamente consistente e sabbia fine limosa densa. Si dispone di un solo campione di terreno rimaneggiato fino a 8m pc e le relative analisi di laboratorio indicano un contenuto di fini del 78%, un limite liquido di 49% ed un limite plastico di 17%. Le prove meccaniche di laboratorio confermano gli elevati valori di resistenza non drenata ottenuti per mezzo di penetrometro tascabile (Doc. rif. [12]) e quelli stimabili dai risultati delle prove penetrometriche disponibili. Il sondaggio AS12, più a valle, è caratterizzato dalla presenza di uno strato di terreno vegetale, al di sotto del quale è stata rinvenuta sabbia debolmente limosa poco addensata e priva di plasticità e, più in profondità, sabbia ghiaiosa e ghiaia con ciottoli. Le prove penetrometriche a disposizione indicano resistenze estremamente elevate fin da 1.5m pc.

Sulla base delle informazioni disponibili, si ipotizza che la frana possa essersi originata lungo piani di scivolamento preferenziali ed in occasione di fenomeni meteorici intensi o eventi sismici, che hanno portato alla generazione di sovrappressioni interstiziali rilevanti. Per via del cinematiso lento ed intermittente, nei momenti di quiete gli strati responsabili del movimento possono aver recuperato parte della loro resistenza al taglio, sebbene la riorganizzazione e l'orientazione delle particelle costituenti porti a definire valori prossimi a quelli residui. Lungo tali strati, in occasione di eventi meteorici intensi, l'innalzamento del livello di falda può riattivare i movimenti lungo le superfici di scorrimento.

Al fine di fornire un'interpretazione del fenomeno in atto, si è provveduto ad eseguire delle back-analysis sulla base delle informazioni a disposizione. Come prescritto nel piano di monitoraggio, nell'ambito del progetto esecutivo si provvederà a raccogliere ulteriori dati geognostici per mezzo di indagini integrative e attività di monitoraggio (Doc. rif. [14]), al fine di confermare le assunzioni fatte e descrivere il fenomeno con un maggior livello di dettaglio.

Le procedure di back analysis, atte alla determinazione delle caratteristiche di resistenza residua da associare al materiale presente lungo la potenziale superficie di scorrimento del corpo in frana, sono state eseguite mediante l'utilizzo del programma di calcolo SLOPE/W della Geostudio impiegando modelli realizzati considerando l'andamento topografico del pendio in esame lungo la sezione orientata nella direzione di scorrimento della massa instabile individuata dalla letture inclinometriche (Doc. rif. [3]) e rappresentata nella seguente figura e raffigurata nell'elaborato grafico di riferimento (Doc. rif. [8]).

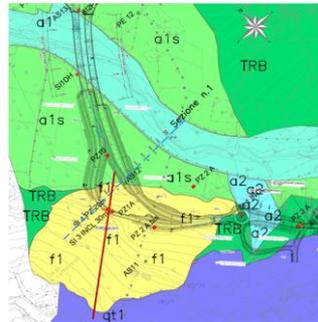


Figura 16. Sezione pendio considerata per back analysis (in rosso)

Considerata la ridotta disponibilità di informazioni nella zona a monte dell'infrastruttura, le analisi di stabilità sono state eseguite considerando due diverse condizioni al contorno relative al fenomeno di instabilità:

- caso a) pendio stratificato in cui è stata imposta la presenza di un piano di scorrimento localizzato a circa 8m pc, alla base dei depositi superficiali ed all'interfaccia con l'unità consistente AL (Doc. rif. [8]);
- caso b) stratigrafia omogenea e valutazione delle condizioni di stabilità del pendio imponendo le condizioni al contorno relative alla geometria della frana dedotte dagli elaborati di Geologia (Doc. rif. [3], [4], [9] e [14]) ed in particolare: ubicazione nicchia di distacco e piede della frana e profondità della frana in corrispondenza del sondaggio SI3incl.

In entrambi i casi è stato assunto un livello di falda a pc e le condizioni di incipiente movimento, corrispondenti ad un fattore di sicurezza unitario, sono state raggiunte attribuendo all'unità SL costituente la shear band a circa 7.5m pc (caso a) o al materiale caratterizzante l'intero volume significativo (caso b) un angolo di attrito pari a 20-21° e coesione drenata nulla. Nel caso in cui si esamini il verificarsi di un meccanismo franoso assumendo una soggiacenza di falda maggiore di 10m pc (coerentemente alle misure eseguite nel corso delle indagini), per via delle condizioni al contorno più favorevoli, si dovrebbe accettare la presenza di materiali caratterizzati da angoli di attrito pari a circa la metà di quanto indicato sopra.

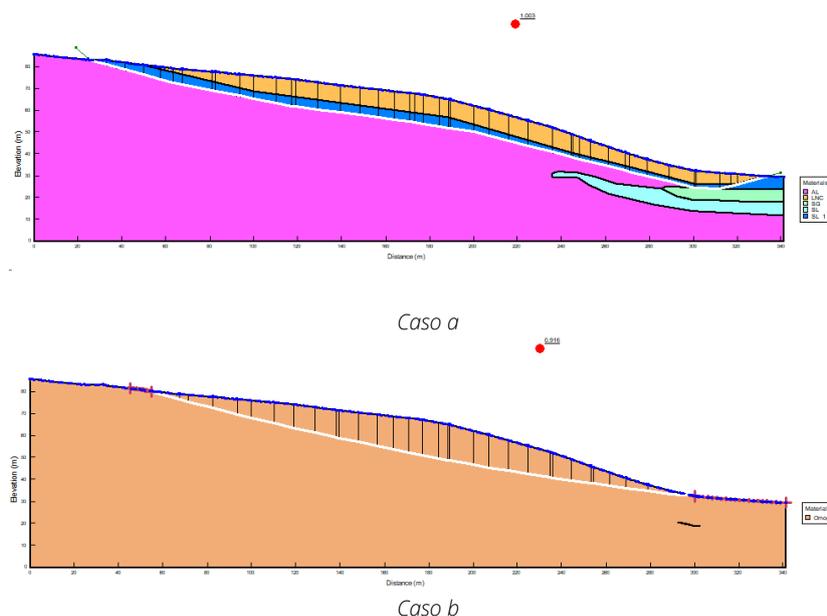


Figura 17. Superfici di scivolamento individuate per mezzo delle back analysis

## 6.7 Parametrizzazione geotecnica

Coerentemente a quanto discusso nei paragrafi precedenti, nella tabella che segue si riassumono i parametri geotecnici caratterizzanti le unità identificate lungo il Lotto 4.

Si rimanda al profilo geotecnico (Doc. rif. [1]) per l'individuazione delle singole unità lungo il tracciato.

*Tabella 12. Parametri geotecnici*

Unità	SG	SL	CON	AL	LNC
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.5-20	18.5-20	19-21	19-19.5	18-19
$D_r$ (%)	55-75	40-50	30-55	-	-
$c'$ (kPa)	0	0	0	15-30	15-25
$\phi'$ (°)	35-39	32-33	35-37	24-27	24-26
$c_u$ (kPa)	-	-	-	60-100 per $z < 5$ m pc 100-200 per $z > 5$ m pc	50-90
$E'_{op}$ (MPa)	40-75	40-70	60-120	10-15 per $z < 5$ m pc 15-50 per $z > 5$ m pc	9-20
$\nu'$ (-)	0.30-0.35	0.30-0.35	0.30-0.35	0.20-0.30	0.20-0.30
$\sigma'_p$ (kPa)	-	-	-	>500	-
$k$ (m/s)	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	$10^{-7}$ - $10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$ - $5 \times 10^{-5}$	$10^{-10}$ - $10^{-9}$	$10^{-8}$ - $10^{-7}$

## 7 VERIFICA DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno al verificarsi del quale alcuni terreni, sollecitati ciclicamente, possono subire la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche. Tale eventualità dipende dalle caratteristiche della sollecitazione e dei mezzi in cui essa si propaga. In particolare, si verifica in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi e poco addensati, a causa di azioni cicliche e dinamiche ed in condizioni non drenate. Il fenomeno è legato allo sviluppo nel terreno di sovrappressioni interstiziali che causano una diminuzione della tensione media efficace e, conseguentemente, della resistenza al taglio.

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 18 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Per gli strati in cui nessuna delle suddette condizioni risulta verificata è stato valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione attraverso metodi semplificati.

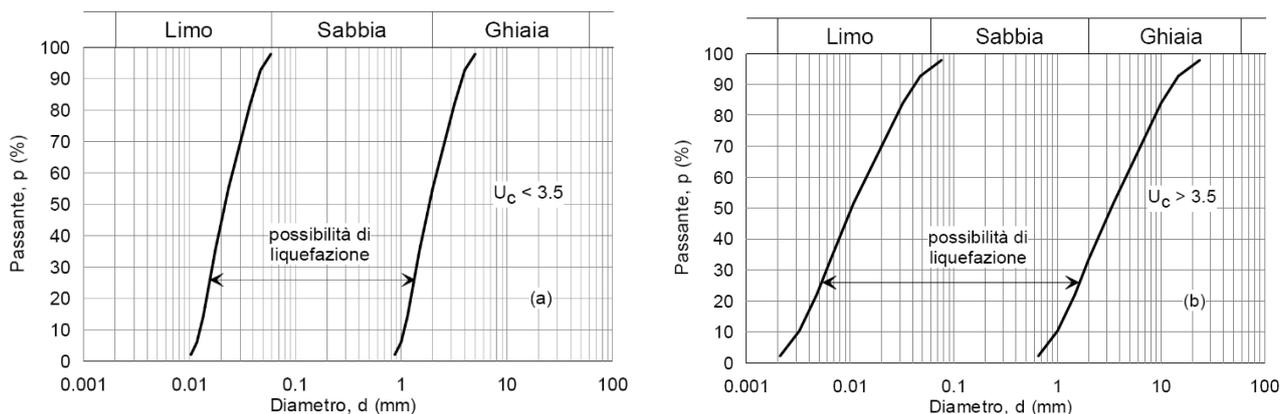


Figura 18. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3,5$  e per  $U_c > 3,5$ .

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, a partire dai risultati delle indagini in sito sono state effettuate le verifiche riassunte di seguito.

## 7.1 Metodologia di analisi

Al fine di valutare la suscettibilità alla liquefazione o il potenziale di liquefazione di un deposito granulare attraverso metodi semplificati occorre stimare gli sforzi di taglio indotti dal terremoto atteso CSR (rapporto di tensione ciclica) e la resistenza ciclica non drenata del terreno CRR (rapporto di resistenza ciclica).

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è definito dalla seguente relazione:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF$$

Con MSF (Magnitude Scaling Factor) fattore di scala necessario quando il terremoto atteso nell'area di interesse è caratterizzato da una magnitudo diversa da quella di riferimento (pari a 7,5). È possibile determinare MSF tramite la seguente relazione (Idriss, 1990):

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$$

Il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata è definito dalla seguente relazione:

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

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

$$CSR = \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

dove:

- $a_{max,s}$  accelerazione orizzontale di picco a piano campagna del terremoto atteso;
- $g$  accelerazione di gravità;
- $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;
- $r_d$  coefficiente riduttivo degli sforzi di taglio in funzione di  $z$  (m) (Youd e Idriss 2001):
 
$$r_d = 1 - 0,00765z \quad \text{per } z \leq 9,15 \text{ m}$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{per } 9,15 < z \leq 23 \text{ m}$$

L'indice per valutare il potenziale di liquefazione entro i primi 20 m da p.c.,  $I_L$  (Iwasaki et al., 1982), è definito come:

$$I_L = \int_0^{20 \text{ m}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Dove  $z$  è la profondità espressa in m,  $w(z)$  e  $F(z)$  sono determinabili dalle seguenti equazioni:

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

$$F(z) = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - FS \\ 0 \end{array} \right.$$

Iwasaki et al. (1982) propone la seguente classificazione del rischio di liquefazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_L = 0 \rightarrow \text{molto basso} \\ I_L \leq 5 \rightarrow \text{basso} \\ 5 < I_L \leq 15 \rightarrow \text{alto} \\ I_L > 15 \rightarrow \text{molto alto} \end{array} \right.$$

La procedura di calcolo sulla base dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche è illustrata di seguito.

Il numero di colpi  $N_{SPT}$  è stato ricondotto ad un valore normalizzato e corretto  $(N_1)_{60}$  mediante la seguente relazione:

$$(N_1)_{60} = \frac{N_{SPT}}{\sigma_v^{0,56}}$$

Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60}$  è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la relazione:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

con:

$$\alpha = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{per } FC \leq 5\% \\ \exp \left[ 1,76 - \left( \frac{190}{FC^2} \right) \right] \rightarrow 5\% < FC \leq 35\% \\ 0 \rightarrow FC \geq 35\% \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{per } FC \leq 5\% \\ \left[ 0,99 + \left( \frac{FC^{1,5}}{1000} \right) \right] \rightarrow 5\% < FC \leq 35\% \\ 1,2 \rightarrow FC \geq 35\% \end{cases}$$

dove FC è la frazione di fine espressa in percentuale.

Dal valore di  $(N_1)_{60cs}$  può essere ricavato il valore di resistenza alla liquefazione  $CRR_{7,5}$  tramite la seguente relazione:

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

## 7.2 Risultati

Per via della diffusa presenza di materiali coesivi e degli elevati valori di resistenza alla penetrazione riscontrati nei depositi incoerenti, i fattori di sicurezza minimi calcolati sono maggiori di 1.25 (valore minimo ammissibile con riferimento alle prescrizioni dell'EC8). I risultati dell'analisi sono riassunti nella tabella che segue.

ID BH	Z <sub>w</sub> [m]	Z [m]	N <sub>SPR</sub>	Unità	FC (%)	Y [kN/m <sup>3</sup> ]	w <sub>n</sub> [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	σ <sub>v</sub> [kPa]	σ <sub>v</sub> [kPa]	a	b	N1 <sub>60cs</sub>	CSR	CRR <sub>7,5</sub>	MSF	CRR <sub>m</sub>	Note
SI1DH	5,0	3,20	74	SG	22,5	19	-	-	-	-	61	61	3,99	1,10	100	-	-	2,018	-	FS≥1,25
SI1DH	5,0	6,20	42	SG	22,5	19	-	-	-	-	118	106	3,99	1,10	49	0,237	-	2,018	-	FS≥1,25
SI1DH	5,0	8,20	27	AL	86	19	28	47	26	21	156	124	5,00	1,20	34	-	-	2,018	-	-
SI1DH	5,0	12,20	22	CON	23	20	-	-	-	-	244	172	4,06	1,10	22	0,268	0,241	2,018	0,486	FS≥1,25
SI1DH	5,0	15,20	24	CON	23	20	-	-	-	-	304	202	4,06	1,10	22	0,252	0,240	2,018	0,485	FS≥1,25
SI1DH	5,0	18,20	41	CON	23	20	-	-	-	-	364	232	4,06	1,10	32	0,231	-	2,018	-	FS≥1,25
SI1DH	5,0	23,20	12	SL	31	19	-	-	-	-	441	259	4,77	1,16	13	0,213	0,140	2,018	0,283	FS≥1,25
SI1DH	5,0	23,20	50	CON	23	20	-	-	-	-	464	282	4,06	1,10	35	0,206	-	2,018	-	FS≥1,25
S2PZ	2,5	3,00	74	SG	22,5	19	-	-	-	-	57	52	3,99	1,10	100	0,239	-	2,018	-	FS≥1,25
S2PZ	2,5	6,20	21	SG	22,5	19	-	-	-	-	118	81	3,99	1,10	30	0,310	0,464	2,018	0,936	FS≥1,25
S2PZ	2,5	9,20	47	SG	22,5	19	-	-	-	-	175	108	3,99	1,10	53	0,332	-	2,018	-	FS≥1,25
S2PZ	2,5	16,50	14	LNC	75	18,5	28	45	18	27	305	165	5,00	1,20	18	0,292	-	2,018	-	FS≥1,25
S2PZ	2,5	22,70	15	LNC	75	18,5	28	45	18	27	420	218	5,00	1,20	17	0,244	-	2,018	-	FS≥1,25
S2PZ	2,5	27,20	25	LNC	75	18,5	28	45	18	27	503	256	5,00	1,20	23	0,228	-	2,018	-	FS≥1,25
SI3INCL	12,0	3,20	15	LNC	75	18,5	28	45	18	27	59	59	5,00	1,20	29	-	-	2,018	-	FS≥1,25
SI3INCL	12,0	5,70	20	AL	86	19	28	47	26	21	108	108	5,00	1,20	28	-	-	2,018	-	-
SI3INCL	12,0	9,20	12	SL	31	19	-	-	-	-	175	175	4,77	1,16	15	-	0,160	2,018	0,323	FS≥1,25
SI3INCL	12,0	11,20	27	AL	86	19	28	47	26	21	213	213	5,00	1,20	26	-	-	2,018	-	-
SI5DH	6,0	8,20	28	AL	86	19	28	47	26	21	156	134	5,00	1,20	34	-	-	2,018	-	-
SI5DH	6,0	11,20	40	AL	86	19	28	47	26	21	213	161	5,00	1,20	42	-	-	2,018	-	-
SI5DH	6,0	17,20	40	AL	86	19	28	47	26	21	327	215	5,00	1,20	36	-	-	2,018	-	-
SI5DH	6,0	22,00	47	AL	86	19	28	47	26	21	418	258	5,00	1,20	38	-	-	2,018	-	-
SI5DH	6,0	26,20	64	SL	31	19	-	-	-	-	498	296	4,77	1,16	45	0,198	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	1,50	45	SL	31	19	-	-	-	-	29	29	4,77	1,16	100	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	3,00	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	57	57	3,99	1,10	100	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	4,50	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	86	86	3,99	1,10	100	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	6,00	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	114	114	3,99	1,10	100	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	7,50	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	143	143	3,99	1,10	94	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	9,00	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	171	171	3,99	1,10	85	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS12	12,5	11,30	36	AL	86	19	28	47	26	21	215	215	5,00	1,20	33	-	-	2,018	-	-
AS13	13,0	1,50	22	SL	31	19	-	-	-	-	29	29	4,77	1,16	56	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS13	13,0	2,50	27	SG	22,5	19	-	-	-	-	48	48	3,99	1,10	49	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS13	13,0	4,00	30	SG	22,5	19	-	-	-	-	76	76	3,99	1,10	42	-	-	2,018	-	FS≥1,25
AS13	13,0	5,50	21	SG	22,5	19	-	-	-	-	105	105	3,99	1,10	26	-	0,324	2,018	0,654	FS≥1,25
AS13	13,0	7,00	18	SG	22,5	19	-	-	-	-	133	133	3,99	1,10	21	-	0,226	2,018	0,456	FS≥1,25
AS13	13,0	8,50	16	SL	31	19	-	-	-	-	162	162	4,77	1,16	19	-	0,203	2,018	0,410	FS≥1,25
AS13	13,0	10,00	20	SL	31	19	-	-	-	-	190	190	4,77	1,16	21	-	0,228	2,018	0,461	FS≥1,25
AS13	13,0	11,50	20	SL	31	19	-	-	-	-	219	219	4,77	1,16	20	-	0,213	2,018	0,429	FS≥1,25
AS13	13,0	13,00	24	SL	31	19	-	-	-	-	247	247	4,77	1,16	22	-	0,236	2,018	0,477	FS≥1,25
AS13	13,0	14,50	22	SL	31	19	-	-	-	-	276	261	4,77	1,16	20	0,183	0,212	2,018	0,428	FS≥1,25
SI1	13,0	5,50	25	AL	86	19	28	47	26	21	105	105	5,00	1,20	34	-	-	2,018	-	-
SI1	13,0	11,00	13	SL	31	19	-	-	-	-	209	209	4,77	1,16	15	-	0,158	2,018	0,318	FS≥1,25
SI1	13,0	17,90	60	SL	31	19	-	-	-	-	340	291	4,77	1,16	43	0,174	-	2,018	-	FS≥1,25
SI1	13,0	21,70	64	SL	31	19	-	-	-	-	412	325	4,77	1,16	43	0,165	-	2,018	-	FS≥1,25
SP2	5,0	6,10	100	SG	22,5	19	-	-	-	-	116	105	3,99	1,10	100	0,235	-	2,018	-	FS≥1,25
SP2	5,0	14,70	46	AL	86	19	28	47	26	21	279	182	5,00	1,20	44	-	-	2,018	-	-
SP2	5,0	18,20	54	AL	86	19	28	47	26	21	346	214	5,00	1,20	47	-	-	2,018	-	-
SP2	5,0	22,20	40	AL	86	19	28	47	26	21	422	250	5,00	1,20	34	-	-	2,018	-	-
SP3	2,0	5,00	29	SG	22,5	19	-	-	-	-	95	65	3,99	1,10	44	0,314	-	2,018	-	FS≥1,25
SP3	2,0	10,00	44	SG	22,5	19	-	-	-	-	190	110	3,99	1,10	50	0,348	-	2,018	-	FS≥1,25
SP3	2,0	15,00	39	SG	22,5	19	-	-	-	-	285	155	3,99	1,10	37	0,311	-	2,018	-	FS≥1,25
SP3	2,0	21,00	59	SG	22,5	19	-	-	-	-	399	209	3,99	1,10	47	0,254	-	2,018	-	FS≥1,25

## 8 RILEVATI

Lungo il tracciato, si realizzeranno rilevati di altezze variabili ed anche superiori a 8m. Come è possibile osservare dal Profilo longitudinale e dalle Sezioni trasversali (Doc. rif. [14] e [16]), i rilevati di altezza maggiore sono localizzati nella zona compresa tra il viadotto e l'inizio dell'asse principale.

Coerentemente a quanto evidenziato nei capitoli 3.4 e 6, i terreni di fondazione sono stati caratterizzati sulla base dei risultati delle indagini geognostiche eseguite nelle aree d'interesse. Nell'ambito del progetto esecutivo si provvederà a raccogliere maggiori dati geognostici, con indagini integrative e grazie alle attività di monitoraggio descritte nell'elaborato appositamente predisposto (Doc. rif. [14]), al fine di evidenziare la presenza di fenomeni franosi e, laddove ritenuto necessario, affinare la parametrizzazione geotecnica e valutare la necessità di ulteriori opere di presidio.

### 8.1 Criteri di verifica e di calcolo

Per le opere in esame, la normativa vigente richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3 delle NTC2018):

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove:

$E_d$  valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$  tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni.

Per ogni Stato Limite d'Esercizio (SLE) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 delle NTC2018})$$

dove:

$E_d$  valore di progetto dell'effetto dell'azione;

$C_d$  valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione  $E_d \leq C_d$  deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

In base a quanto indicato dalle NTC 2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

### 8.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{1-R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 delle NTC2018), calcolata sulla base del-

$$R = R \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$$

le azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Facendo riferimento a quanto richiesto dalle NTC, per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

**Tabella 13 – Coefficienti parziali sulle azioni**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_i$ (o $\gamma_{iR}$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

**Tabella 14 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, NTC2018)**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{sk}$	$\gamma_{cs}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 15 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale in condizioni statiche**

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

Ai fini della verifica in condizioni statiche, i coefficienti parziali relativi alle azioni ed ai parametri geotecnici sono posti pari all'unità, mentre le resistenze di progetto sono calcolate impiegando un coefficiente parziale  $\gamma_R=1.2$ .

### 8.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 delle NTC2018), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, risulteranno d'interesse anche i cedimenti immediati e che si esauriranno nel corso della costruzione.

## 8.2 Azioni di progetto

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nelle NTC2018 e sono di seguito descritte.

### 8.2.1 Azioni permanenti

In funzione della configurazione esaminata e della presenza o meno di elementi strutturali, i carichi permanenti sono stati calcolati assumendo:

Peso rilevato 19 kN/m<sup>3</sup>

Peso eventuali elementi in cls 25 kN/m<sup>3</sup>

### 8.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dal traffico dei mezzi di cantiere o da quello automobilistico. Quest'ultimo, di entità maggiore, è stato posto pari a 20kPa e modellato come un carico distribuito agente sul pacchetto stradale.

### 8.2.3 Azione sismica

L'azione sismica di progetto è stata definita sulla base della pericolosità sismica di base ed in considerazione di quanto discusso nel capitolo 3.5 e nella Relazione Sismica (Doc. rif. [8]). Nelle analisi essa è stata definita adottando un'azione statica equivalente definita dal prodotto tra il peso W del volume di terreno potenzialmente instabile ed i coefficienti sismici orizzontale ( $k_h$ ) e verticale ( $k_v$ ):

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

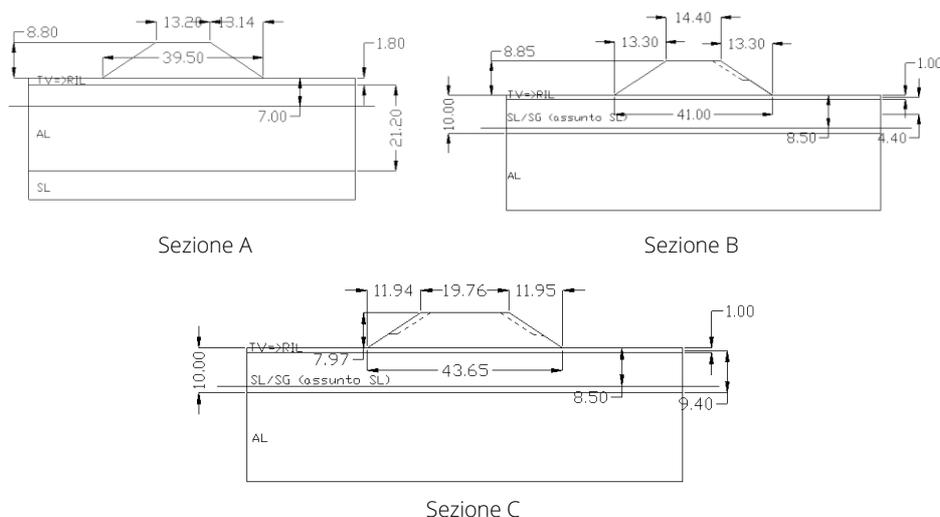
$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove



Non risultano di particolare interesse i rilevati posizionati nella seconda metà dell'asse principale, di altezza minore e caratterizzati da terreni di fondazione interamente composti da materiali grossolani e con buone proprietà geotecniche.

Con riferimento ai profili geotecnici (Doc. rif. [1]) ed alle proprietà meccaniche dei terreni sintetizzate nel capitolo 6, si riporta di seguito una sintesi dei modelli geotecnici di riferimento per le tre sezioni identificate. Lungo le rampe, sebbene i sondaggi più a valle (zona caratterizzata dalle maggiori altezze dei rilevati) indichino la presenza di materiali incoerenti fino a profondità di circa 15m pc, ai fini del calcolo si assumerà cautelativamente la presenza di terreni a comportamento non drenato già a partire da 10m pc.



**Figura 20 – Schematizzazione dei modelli geotecnici di riferimento**

Trattasi di tre rilevati nuovi, la cui geometria è stata semplificata trascurando la presenza delle banche ed aumentando, cautelativamente, il volume di materiale che si prevede di posare.

Come è possibile notare, le sezioni sono descritte dalla presenza di materiali coesivi (principalmente unità AL), aventi rigidzze relativamente basse se comparate a quelle che caratterizzano le altre unità incoerenti ed in grado di dare luogo a cedimenti differiti nel tempo, di particolare importanza per la verifica dei rilevati agli Stati Limite di Esercizio.

Per quanto riguarda il materiale da rilevato, la resistenza è descrivibile in termini drenati con un angolo di attrito di  $35^\circ$  e coesione nulla.

In fine, i livelli di falda illustrati nelle figure soprastanti sono stati desunti dal Profilo Geologico (Doc. rif. [7]), sulla base delle misure eseguite nel corso della campagna di indagini ed assumendo un franco compreso tra 0.5m e 1m, per tenere conto delle eventuali oscillazioni stagionali.

## 8.4 Risultati e verifiche

Il problema dei cedimenti richiede uno studio dei diversi contributi attesi nel corso della costruzione e della vita dell'opera d'arte: cedimento immediato e cedimento di consolidazione. La consolidazione primaria è associata ai processi di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali. Il calcolo, eseguito con metodi analitici, si basa sulla definizione degli incrementi tensionali indotti dalla posa del materiale di rilevato, determinati alle diverse profondità. I cedimenti unitari derivanti sono stimati secondo la teoria dell'elasticità sulla base delle proprietà meccaniche dei terreni di fondazione ed il cedimento totale è ottenuto con il metodo della sovrapposizione degli effetti. La stima dei cedimenti nel tempo è esegui-

ta sulla base dei coefficienti di compressibilità e delle permeabilità desunti dalle prove edometriche eseguite, che indicano valori cautelativi del coefficiente di consolidazione primaria dell'ordine di  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s per l'unità LA e secondo la seguente formulazione (v. Lancellotta, 1987):

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0.5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2.8})^{0.179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5.6})^{0.357})$$

$$Tv = cv^*t/h^2$$

$$U_m = \delta_f / \delta_{tmax}$$

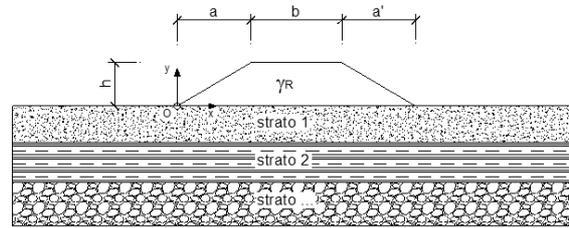
Per la sezione A, descritta dalla diffusa presenza di materiali coesivi fino ad oltre 20m pc, a favore di sicurezza si è assunto che la totalità dei cedimenti (anche quelli relativi all'unità SL, in profondità ed a comportamento drenato) si verifichi successivamente alla costruzione del rilevato – metodologia che porta a massimizzare i tempi di consolidazione. Per le sezioni B e C, per via della presenza di materiale sabbioso nei primi 10-15m pc, i cedimenti di consolidazione (ed i relativi tempi) sono stati stimati sottraendo ai cedimenti totali (istantanei e di consolidazione) il contributo riguardante i cedimenti di breve termine, che avranno luogo nelle unità sabbiose. Considerata la diffusa presenza di materiali incoerenti anche ad elevate profondità e l'eterogeneità del profilo stratigrafico del dominio tridimensionale in esame, laddove lo strato argilloso è stato rinvenuto alle massime profondità indagate, per quest'ultimo si è assunto uno spessore di 20m.

Le analisi di stabilità globale per la verifica agli SLU e SLV è stata effettuata facendo ricorso ai metodi dell'equilibrio limite e con l'ausilio del software Slope/W (Geoslope).

Si riassumono di seguito i risultati delle analisi condotte per le Sezioni A, B e C.

Sezione A

LAVORO: Gerace\_Asse principale\_pk 0+100



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	8,80	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	13,15	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	13,15	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	13,20	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(KN/m <sup>3</sup> )

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	4	(-)
$\Delta\sigma_{zi}/\sigma_{mo}$ :	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	7,00	(m)

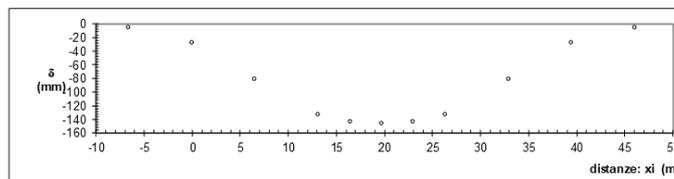
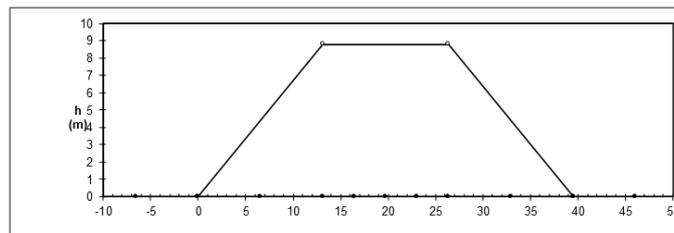
Strato (n)	z <sub>iniziale</sub> (m)	z <sub>finale</sub> (m)	Spessore (m)	$\Delta z_i$ (m)	E (Mpa)	v (-)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	terreno
1	0,00	1,80	1,80	0,5	30,0	0,33	35,0	19,00	TV=>RIL
2	1,80	5,00	3,20	0,5	10,0	0,25	26,0	19,50	AL_sup
3	5,00	23,00	18,00	0,5	25,0	0,25	26,0	19,50	AL_inf
4	23,00	35,00	12,00	0,5	40,0	0,33	33,0	19,00	SL
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,58	0,00	6,58	13,15	16,45	19,75	23,05	26,35	32,93	39,50	46,08

(automatico)  
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



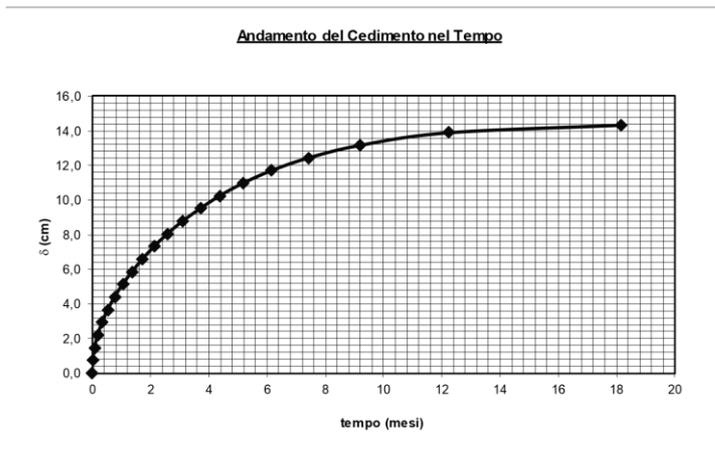
ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,58	0,00	6,58	13,15	16,45	19,75	23,05	26,35	32,93	39,50	46,08

CEDIMENTI

s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-0,63	-2,78	-8,15	-13,35	-14,37	-14,64	-14,37	-13,35	-8,15	-2,78	-0,63

$\delta_{\text{max}} = 14,64$  (cm) (Cedimento massimo)  
 $h = 10,60$  (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)  
 $cv = 4,00 \cdot E-06$  ( $\text{m}^2/\text{sec}$ ) (Coeff. di Consolidazione)



$t = 4$  (mesi)     $U_m = 67,2$  (%)     $\delta_t = 9,83$  (cm)  
 $\delta_t = 9,6$  (cm)     $U_m = 65,8$  (%)     $t = 3,83$  (mesi)  
 $U_m = 65$  (%)     $t = 3,72$  (mesi)     $\delta_t = 9,51$  (cm)

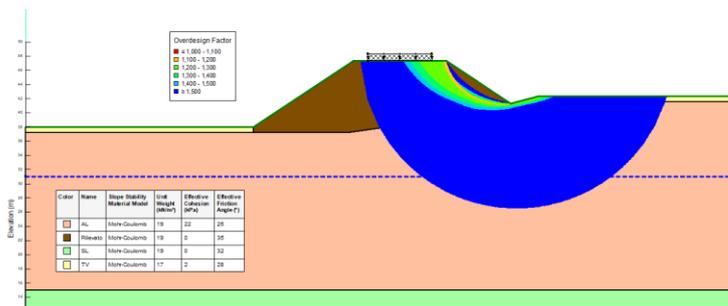


Figura 21 – Sezione A: analisi di stabilità globale in condizioni statiche

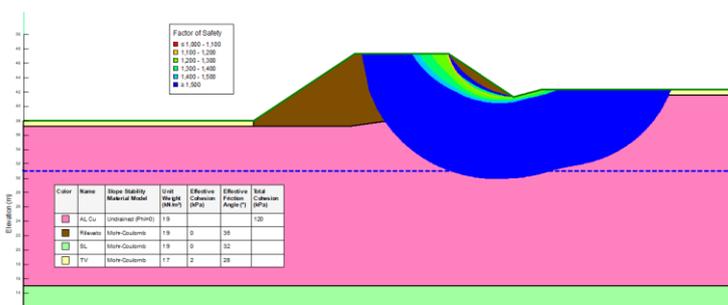


Figura 22 – Sezione A: analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

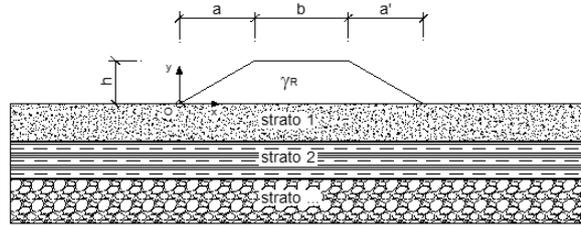
Sulla base delle assunzioni cautelative menzionate nel capitolo 8.1.2, si stima un cedimento totale di circa 15cm. Una parte di questo si verificherà in corso di costruzione (come cedimento immediato e di

consolidazione) e, pur assumendo che anche questo contributo abbia luogo al termine della costruzione, dopo circa 3-4 mesi dalla realizzazione dell'opera il cedimento residuo sarà inferiore a 5cm. Pertanto, si ritiene che la verifica sia ampiamente soddisfatta.

Per quel che riguarda la stabilità globale, ad esclusione di eventuali superfici corticali confinate nel corpo del rilevato, il fattore di sicurezza in condizioni statiche è maggiore di 1.1, mentre in condizioni sismiche è maggiore di 1.2. Pertanto, le verifiche agli stati limite ultimo e di vita risultano soddisfatte.

Sezione B

LAVORO: Asse principale\_pk 0+100\_cedimenti totali (immediati+consolidazione)



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	8,85	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	13,30	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	13,30	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	14,40	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(KN/m <sup>3</sup> )

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_{m,0}$ :	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	8,50	(m)

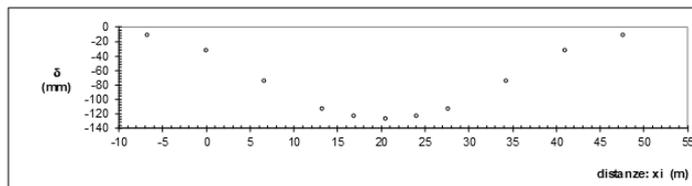
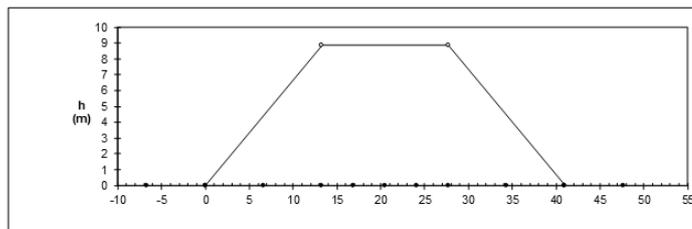
Strato (n)	Z <sub>iniziale</sub> (m)	Z <sub>finale</sub> (m)	Spessore (m)	$\Delta\sigma$ (m)	E (Mpa)	v (-)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	terreno
1	0,00	1,00	1,00	0,5	30,0	0,33	35,0	19,00	TV=>RIL
2	1,00	10,00	9,00	0,5	40,0	0,30	35,0	19,00	SL+SG
3	10,00	30,00	20,00	0,5	20,0	0,25	26,0	19,50	AL
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,65	0,00	6,65	13,30	16,90	20,50	24,10	27,70	34,35	41,00	47,65

(automatico)  
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



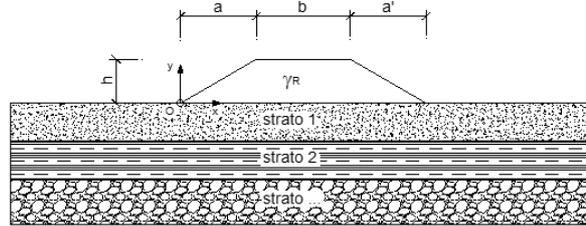
ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,65	0,00	6,65	13,30	16,90	20,50	24,10	27,70	34,35	41,00	47,65

CEDIMENTI

$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$	$\delta_9$	$\delta_{10}$	$\delta_{11}$
(cm)	(cm)									
-1,21	-3,26	-7,51	-11,44	-12,46	-12,77	-12,46	-11,44	-7,51	-3,26	-1,21

**LAVORO:** Asse principale\_pk 0+100\_cedimenti imputabili alla risposta drenata dei materiali incoerenti



**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO**

h (altezza del rilevato):	8,85	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	13,30	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	13,30	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	14,40	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(kN/m <sup>3</sup> )

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO**

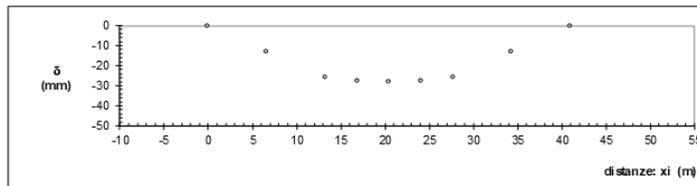
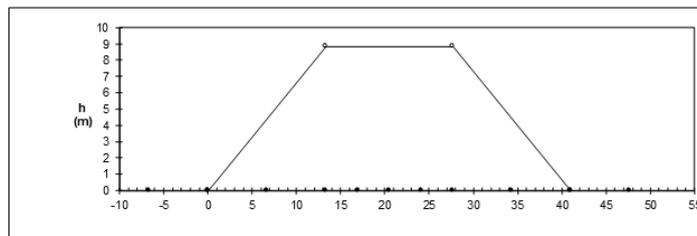
n (numero degli strati) (max 5):	2	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ :	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	8,50	(m)

Strato	Z <sub>iniziale</sub>	Z <sub>finale</sub>	Spessore	$\Delta\sigma$	E	v	$\phi'$	$\gamma$	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m <sup>3</sup> )	
1	0,00	1,00	1,00	0,5	30,0	0,33	35,0	19,00	TV==>RIL
2	1,00	10,00	9,00	0,5	40,0	0,30	35,0	19,00	SL+SG
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,65	0,00	6,65	13,30	16,90	20,50	24,10	27,70	34,35	41,00	47,65	(automatico)
											(manuale)

**RISULTATI DELLE ANALISI**



**ASCISSE DI CALCOLO**

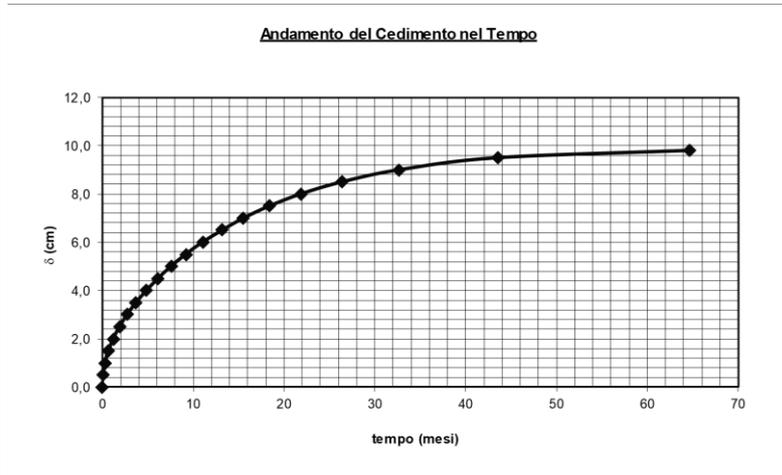
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-6,65	0,00	6,65	13,30	16,90	20,50	24,10	27,70	34,35	41,00	47,65

**CEDIMENTI**

$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$	$\delta_9$	$\delta_{10}$	$\delta_{11}$
(cm)	(cm)									
0,15	-0,04	-1,31	-2,59	-2,78	-2,81	-2,78	-2,59	-1,31	-0,04	0,15

Cedimento di consolidazione = cedimento totale (12,8cm) – cedimento istantaneo (2,8cm) = 10cm

$\delta_{tmax} = 10,00$  (cm) (Cedimento massimo)  
 $h = 20,00$  (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)  
 $cv = 4,00,E-06$  (m<sup>2</sup>/sec) (Coeff. di Consolidazione)



$t = 8,00$  (mesi)     $U_m = 51,2$  (%)     $\delta_t = 5,12$  (cm)  
 $\delta_t = 5,0$  (cm)     $U_m = 50,0$  (%)     $t = 7,63$  (mesi)  
 $U_m = 50$  (%)     $t = 7,63$  (mesi)     $\delta_t = 5,00$  (cm)

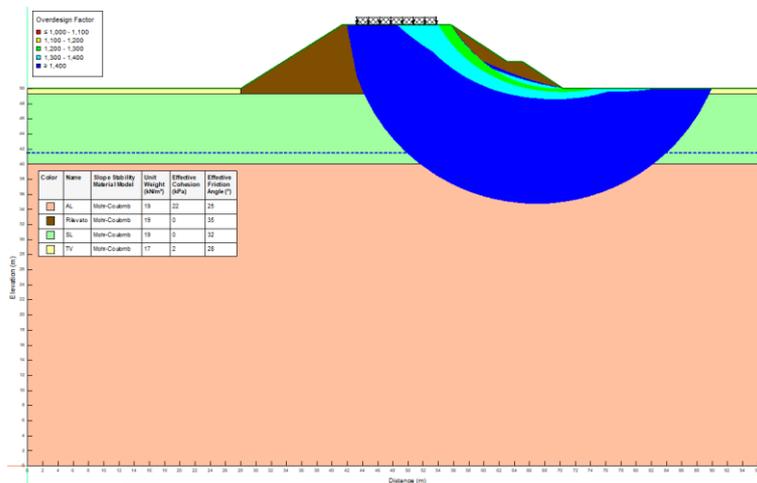


Figura 23 – Sezione B: analisi di stabilità globale in condizioni statiche

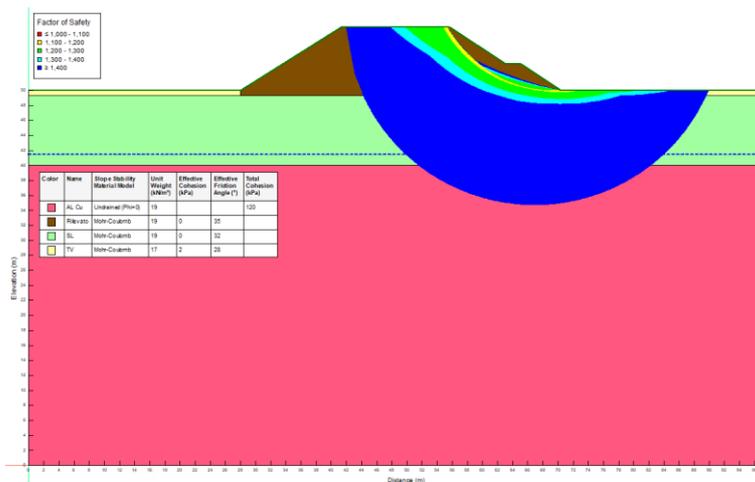


Figura 24 – Sezione B: analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Si stima un cedimento totale di circa 13cm. Passati circa 8mesi il cedimento residuo sarà di circa 5cm e, pertanto, la verifica risulta essere soddisfatta.

Inoltre, per le motivazioni riassunte nei paragrafi precedenti, si osserva che tale stima è da ritenersi cautelativa per i seguenti motivi:

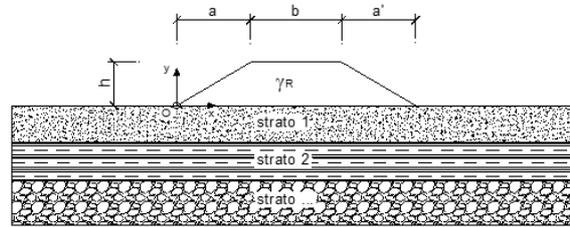
- geometria della sezione semplificata a favore di sicurezza;
- geometria bidimensionale dell'opera e stima dei tempi di consolidazione eseguita con riferimento al cedimento massimo calcolato lungo la sezione;
- assenza di fenomeni di filtrazione in direzione orizzontale;
- materiale assunto come normalconsolidato;
- una quota parte dei cedimenti è da definirsi come immediati ed un'altra porzione consiste nei cedimenti di consolidazione che avranno luogo durante la costruzione;
- presenza di lenti sabbiose trascurata.

Per quel che riguarda la stabilità globale, escludendo eventuali superfici corticali limitate nel corpo del rilevato, il relativo fattore di sicurezza in condizioni statiche è maggiore di 1.1, mentre in condizioni sismiche è maggiore di 1.2. Pertanto, le verifiche agli stati limite ultimo e di vita risultano soddisfatte.

Sezione C

**CEDIMENTI INDOTTI DA UN RILEVATO**

LAVORO: Rampa C\_pk 0+280\_cedimenti totali (immediati+consolidazione)



**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO**

h (altezza del rilevato):	8,00	(m)
a (larghezza a scarpata sinistra):	11,90	(m)
a' (larghezza a scarpata destra):	11,90	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	20,00	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(kN/m <sup>3</sup> )

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO**

n (numero degli strati) (max 5):	3	(-)
$\Delta\sigma_{mi}/\sigma_{mi0}$ :	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	8,50	(m)

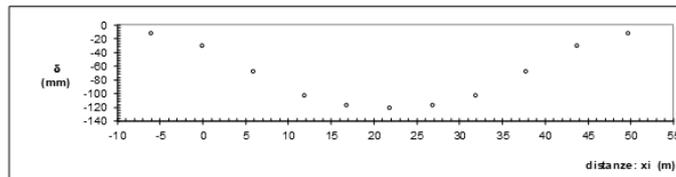
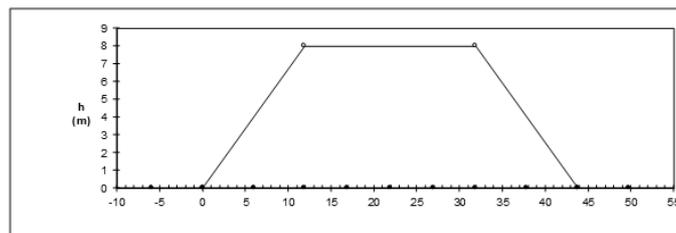
Strato (n)	Z <sub>iniziale</sub> (m)	Z <sub>finale</sub> (m)	Spessore (m)	$\Delta z_i$ (m)	E (Mpa)	v (-)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	terreno
1	0,00	1,00	1,00	0,5	30,0	0,33	35,0	19,00	TV==>RIL
2	1,00	10,00	9,00	0,5	40,0	0,30	35,0	19,00	SL
3	10,00	30,00	20,00	0,5	20,0	0,25	25,0	19,00	AL
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5,95	0,00	5,95	11,90	16,90	21,90	26,90	31,90	37,85	43,80	49,75

(automatico)  
(manuale)

**RISULTATI DELLE ANALISI**



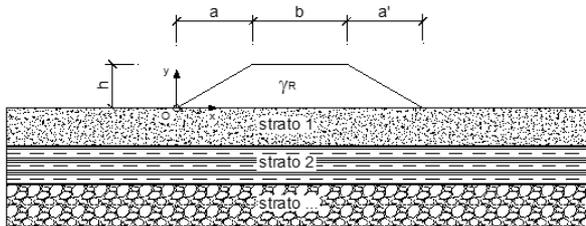
**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5,95	0,00	5,95	11,90	16,90	21,90	26,90	31,90	37,85	43,80	49,75

**CEDIMENTI**

s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-1,30	-3,16	-6,84	-10,33	-11,78	-12,20	-11,78	-10,33	-6,84	-3,16	-1,30

**LAVORO:** Rampa C\_pk 0+280\_cedimenti attribuibili alla risposta drenata degli incoerenti



**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO**

h (altezza del rilevato):	8,00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	11,90	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	11,90	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	20,00	(m)
$\gamma_R$ (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(kN/m <sup>3</sup> )

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO**

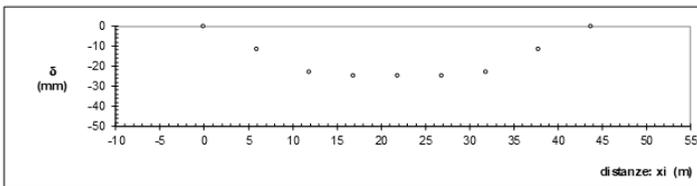
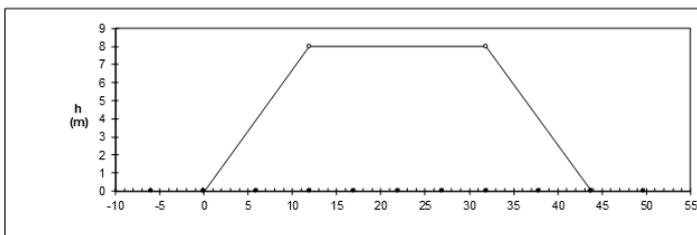
n (numero degli strati) (max 5):	2	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$ :	10	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	8,50	(m)

Strato	Z <sub>iniziale</sub>	Z <sub>finale</sub>	Spessore	$\Delta\sigma$	E	v	$\phi'$	$\gamma$	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m <sup>3</sup> )	
1	0,00	1,00	1,00	0,5	30,0	0,33	35,0	19,00	TV==>RIL
2	1,00	10,00	9,00	0,5	40,0	0,30	35,0	19,00	SL
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**ASCISSE DI CALCOLO**

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
-5,95	0,00	5,95	11,90	16,90	21,90	26,90	31,90	37,85	43,80	49,75	(automatico)
											(manuale)

**RISULTATI DELLE ANALISI**



**ASCISSE DI CALCOLO**

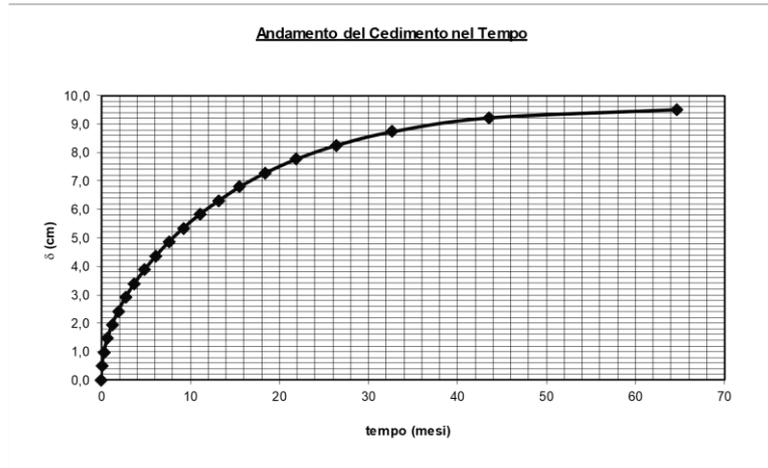
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-5,95	0,00	5,95	11,90	16,90	21,90	26,90	31,90	37,85	43,80	49,75

**CEDIMENTI**

$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$	$\delta_9$	$\delta_{10}$	$\delta_{11}$
(cm)	(cm)									
0,14	-0,05	-1,17	-2,29	-2,50	-2,51	-2,50	-2,29	-1,17	-0,05	0,14

Cedimento di consolidazione = cedimento totale (12.2cm) – cedimento istantaneo (2.5cm) = 9.7cm

$\delta_{max} = 9,70$  (cm) (Cedimento massimo)  
 $h = 20,00$  (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)  
 $cv = 4,00 \cdot E-06$  (m<sup>2</sup>/sec) (Coeff. di Consolidazione)



$t = 8,00$ (mesi)	$U_m = 51,2$ (%)	$\delta_t = 4,96$ (cm)
$\delta_t = 4,7$ (cm)	$U_m = 48,5$ (%)	$t = 7,16$ (mesi)
$U_m = 50$ (%)	$t = 7,63$ (mesi)	$\delta_t = 4,85$ (cm)

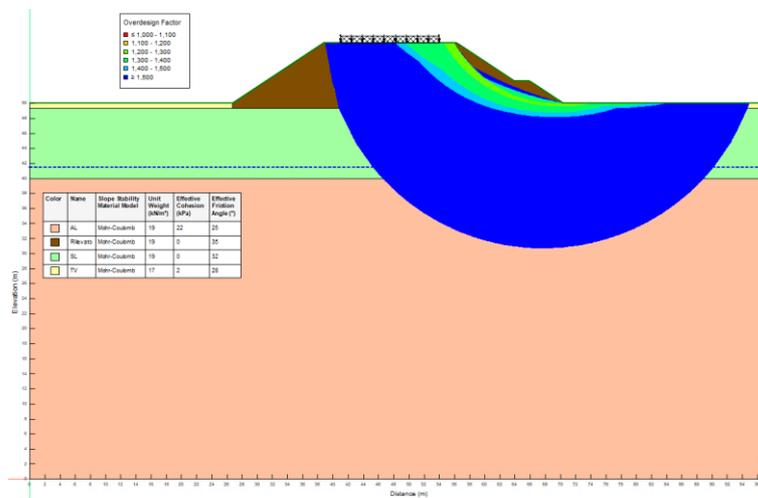


Figura 25 – Sezione C: analisi di stabilità globale in condizioni statiche

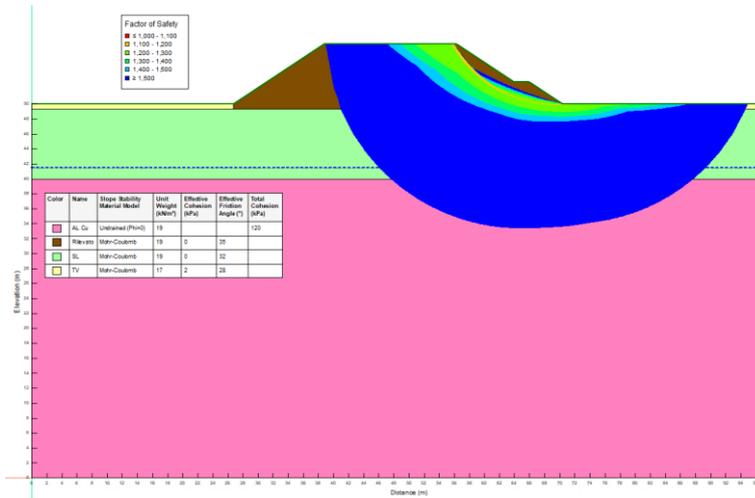


Figura 26 – Sezione C: analisi di stabilità globale in condizioni sismiche

Si stima un cedimento totale di circa 12cm. Passati circa 8mesi il cedimento residuo sarà di circa 5cm e, pertanto, la verifica risulta essere soddisfatta; valgono le medesime considerazioni fatte per la Sezione B.

Per quel che riguarda la stabilità globale, il relativo fattore di sicurezza in condizioni statiche è maggiore di 1.1, mentre in condizioni sismiche è maggiore di 1.2. Pertanto, le verifiche agli stati limite ultimo e di vita risultano soddisfatte.

## 9 TERRENI DI POSA E SOTTOFONDO

In assenza di particolari criticità o configurazioni geometriche, il piano di posa dei rilevati o della sovrastruttura può intendersi coincidente con quello di scotico, generalmente posto alla profondità di 20 cm dal piano campagna locale. Al fine di verificarne le prestazioni è d'interesse lo studio dei risultati delle prove di carico su piastra eseguite nei pozzetti e dei test di laboratorio (analisi granulometriche e limiti di Atterberg) eseguiti sui campioni prelevati nel corso delle campagne d'indagine.

### 9.1 Prove in sito

I moduli di deformazione  $M_d$  sono stati definiti a partire dall'esito delle prove di carico su piastra e rappresentano la misura convenzionale della capacità portante dei terreni di posa dei rilevati e dei sottofondi stradali. Tale valore è definito dalla relazione:

$$M_d = \Delta p / \Delta s * D$$

dove:

$\Delta p$  incremento della pressione trasmessa da una piastra circolare rigida di diametro  $D=300$  mm, espresso in  $N/mm^2$ ;

$\Delta s$  corrispondente incremento di cedimento della superficie caricata, espresso in mm.

Se la prova è eseguita con doppio ciclo di carico, dal secondo ciclo si stima il modulo  $M'_d$ , che consente di valutare il grado di costipamento dello strato in esame in termini di rapporto  $M_d / M'_d$ . Tale rapporto è  $< 1$  e tanto più è prossimo ad 1, tanto migliore è la qualità del costipamento.

I moduli di deformazione si determinano per intervalli  $\Delta p$  e  $\Delta p'$  fissati in funzione del tipo di strato su cui è eseguita la prova.

Secondo quanto prescritto da "Norme tecniche di tipo prestazionale per capitolati speciali: art 1 formazione del corpo stradale", il modulo di deformazione  $M_d$  determinato sul piano di posa (naturale o bonificato), secondo la norma CNR 146/92, al primo ciclo di carico, nell'intervallo compreso tra  $0,05 \div 0,15 N/mm^2$ , deve risultare non inferiore a:

15 $N/mm^2$	(valore minimo per consentire il corretto costipamento degli strati soprastanti), quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2,00 m;
20 $N/mm^2$	quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 1,00 e 2,00 m
30 $N/mm^2$	quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 0.50 e 1,00 m.

Per distanze inferiori a 0.50 m si applicano i requisiti richiesti ai sottofondi, ossia  $M_d > 50 N/mm^2$ .

Inoltre, il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo dovrà essere non inferiore a 0.60.

I risultati delle prove eseguite sono riportati nella seguente tabella. I risultati in rosso si riferiscono alle prove di carico che non rispettano i requisiti prestazionali sopradetti.

**Tabella 16. Prove di carico su piastra**

Pozzetti	Quota prova [m pc]	Md [N/mm <sup>2</sup> ]
PE11	1,4	16
PE12	1,5	17,8
PE13	1,5	13
PZ01A	0,3	4
PZ02A	0,3	4
PZ02Abis	0,3	5
PZ03A	0,3	5
PZ04Abis	0,3	4
PZ04A	0,3	4
PZ05A	0,3	5
PZ06A	0,3	5
PZ06Abis	0,3	3
PZ07A	0,3	9
PZ08A	0,3	11
PZ09A	0,3	6
PZ10A	0,3	7

## 9.2 Prove di laboratorio

I campioni di terreno prelevati in sito sono stati classificati in base alla norma CNR UNI 10006 e, in particolare, in considerazione della composizione granulometrica e dei limiti di Atterberg misurati. Ciò ha consentito di determinare la sensibilità dei terreni all'azione dell'acqua e del gelo, definendo qualitativamente i livelli di plasticità e compressibilità dei terreni.

Si riportano di seguito la descrizione delle classi in cui è suddiviso il terreno e la classificazione dei campioni prelevati secondo la normativa di riferimento e quanto indicato nei certificati di laboratorio (Doc. rif. [12]).

**Tabella 17. Classificazione delle terre (CNR-UNI 10006).**

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 >35%					Torbe e terre organiche palustri
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica Frazione passante allo staccio													
2 UNI 2332 %	≤50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 UNI 2332 %	≤30	≤50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 UNI 2332 %	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	>35	>35	>35	>35	>35	>35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	-	-	-	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	>40	>40
Indice di plasticità	≤6	N.P.		≤10	≤10 max.	>10	>10	≤10	≤10	>10	(IP ≤ LL - 30)	(IP > LL - 30)	(IP > LL - 30)
Indice di gruppo	0		0	0		≤4		≤8	≤12	≤16	≤20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compres- sibili	Limi fortemente compres- sibili	Argille poco compres- sibili	Argille forte- mente com- pressibili mediamente plastiche	Argille forte- mente com- pressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota forma- zione, detriti orga- nici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo		
Azione del gelo sulla qualità portante del ter- reno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Moito elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa					Scarsa o nulla				

**Tabella 18. Classificazione campioni prelevati dai pozzetti.**

Pozzetto	ID campione	Profondità (m pc)	Classificazione CNR UNI 10006
PZ01A	CR1	0.40	A7-6
	CR2	0.80	A7-6
PZ02A	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ02A bis	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ03A	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ04A	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A4
PZ04A bis	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ05A	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ06A	CR1	0.40	A2-4
	CR2	0.80	A2-4
PZ06A bis	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A6
PZ07A	CR1	0.40	A4

Pozzetto	ID campione	Profondità (m pc)	Classificazione CNR UNI 10006
PZ08A	CR2	0.80	A4
	CR1	0.40	A6
	CR2	0.80	A4
PZ09	CR1	0.40	A1-b
	CR2	0.80	A4
PZ10	CR1	0.40	A1-b
	CR2	0.80	A6

Per i piani di posa dei rilevati e per i sottofondi stradali è richiesto l'impiego di terreni classificati come A1, A3, A2-4 e A2-5. Quando la natura e lo stato dei terreni non garantiscono il raggiungimento delle caratteristiche fisiche richieste si procede con interventi di bonifica, scavando ulteriormente rispetto al piano di scotico, sostituendo il materiale esistente con materiali idonei.

### 9.3 Bonifica dei piani di posa dei rilevati e dei sottofondi

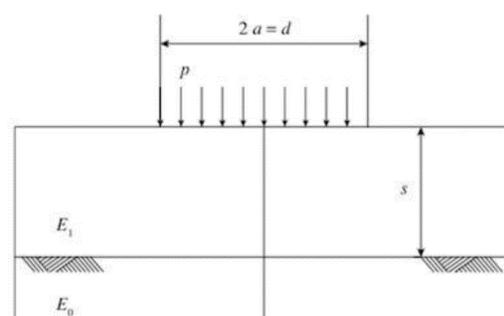
In base ai risultati ottenuti dalle prove in sito e di laboratorio e per garantire i requisiti prestazionali menzionati nei capitoli precedenti, in alcune zone si prescrive la bonifica del piano di posa dei rilevati e dei sottofondi e la sostituzione con materiale arido granulare.

Il calcolo dello spessore di bonifica è stato eseguito con riferimento al criterio dei due strati di Burmister (1943), basato sull'equilibrio di due solidi elastici di diversa natura sovrapposti:

Strato 1: spessore finito  $s$ , modulo di elasticità  $E_1$  (strato superficiale);

Strato 2: semi-infinito con modulo elastico  $E_0$  (terreno di sottofondo).

Il metodo correla i risultati in termini di modulo di deformazione di una prova di carico su piastra con le caratteristiche di deformazione dello strato di bonifica e del sottofondo.



**Figura 27. Schema metodo Burmister (1943).**

Il carico uniforme  $p$  esercitato dalla piastra si considera superficiale e distribuito su un'area circolare di raggio  $a$ , il cedimento al centro della piastra considerata rigida, da utilizzarsi per la definizione del modulo di deformazione teorica, risulta dalla relazione

$$f = 1.18 \cdot \frac{p \cdot a}{E_0} \cdot F_1$$

Essendo  $F_1$  una funzione dei due rapporti  $E_1/E_0$  e  $s/a$ , il cui valore può ottenersi dalla seguente formula ottenuta analiticamente da N. Odemark:

$$F_1 = \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.9 \cdot \frac{s}{a}\right)^2}} \right] \cdot \frac{E_0}{E_1} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.9 \cdot \frac{s}{a} \cdot \sqrt{\frac{E_1}{E_0}}\right)^2}}$$

Fissati  $s$ ,  $E_1$  e  $E_0$  si può stimare il cedimento per un dato carico e quindi si può mettere in relazione il modulo su piastra  $M_d$  con lo spessore e le caratteristiche dello strato di bonifica e del sottosuolo, passando attraverso il calcolo del cedimento per un carico pari a  $p=100$  kPa agente su una piastra di raggio  $a=15$  cm.

Per quanto riguarda le caratteristiche del materiale usato per lo strato di bonifica vengono ipotizzati valori del modulo elastico pari a  $E_1=30$  MPa. Per la determinazione del modulo elastico  $E_0$  attribuito al terreno di sottofondo si è fatto riferimento ai risultati delle prove di carico su piastra utilizzando la seguente relazione, in cui si è assunto  $\nu=0.5$ :

$$E_{PLT} = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (1 - \nu^2) = M_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1 - \nu^2)$$

**Tabella 19. Verifica spessori di bonifica**

Pozzetti	Scavo [m pc]	a [m]	p [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_{d\_iniz}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$F_1$ -	f [mm]	$M_{d\_fin}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica -
PE11	0,8	0,15	0,1	16,0	9,42	30	0,390	0,73	40,93	$M_d > M_{dmin}$
PE12	0,8	0,15	0,1	17,8	10,49	30	0,423	0,71	41,97	$M_d > M_{dmin}$
PE13	0,8	0,15	0,1	13,0	7,66	30	0,334	0,77	38,83	$M_d > M_{dmin}$
PZ01A	0,4	0,15	0,1	4,0	2,36	30	0,224	1,68	17,83	$M_d > M_{dmin}$
PZ02A	0,4	0,15	0,1	4,0	2,36	30	0,224	1,68	17,83	$M_d > M_{dmin}$
PZ02Abis	0,3	0,15	0,1	5,0	2,95	30	0,299	1,80	16,71	$M_d > M_{dmin}$
PZ03A	0,3	0,15	0,1	5,0	2,95	30	0,299	1,80	16,71	$M_d > M_{dmin}$
PZ04Abis	0,5	0,15	0,1	4,0	2,36	30	0,195	1,47	20,48	$M_d > M_{dmin}$
PZ04A	0,5	0,15	0,1	4,0	2,36	30	0,195	1,47	20,48	$M_d > M_{dmin}$
PZ05A	0,3	0,15	0,1	5,0	2,95	30	0,299	1,80	16,71	$M_d > M_{dmin}$
PZ06A	0,9	0,15	0,1	5,0	2,95	30	0,165	0,99	30,18	$M_d > M_{dmin}$
PZ06Abis	0,4	0,15	0,1	3,0	1,77	30	0,196	1,97	15,26	$M_d > M_{dmin}$
PZ07A	0,3	0,15	0,1	9,0	5,30	30	0,389	1,30	23,13	$M_d > M_{dmin}$
PZ08A	0,3	0,15	0,1	11,0	6,48	30	0,427	1,17	25,70	$M_d > M_{dmin}$
PZ09A	0,3	0,15	0,1	6,0	3,53	30	0,323	1,62	18,52	$M_d > M_{dmin}$
PZ10A	0,3	0,15	0,1	7,0	4,12	30	0,346	1,49	20,18	$M_d > M_{dmin}$

Lungo il tracciato, la preparazione del piano di posa richiederà l'esecuzione di uno scotico di 20cm e di bonifiche fino a profondità minime variabili tra 0.3 m pc e 0.9 m pc (v. Tabella 20).

*Tabella 20. Profondità di scavo (scotico e bonifica)*

Pk riferimento	Pozzetto riferimento	Scavo [m pc]
Asse pr 0+000-0+560	PZ03A	0,3
Asse pr 0+560-1+280	PZ04A	0,5
Asse pr 1+280-1+460	PZ05A	0,3
Asse pr 1+460-1+720	PZ06A	0,9
Asse pr 1+720-1+844	PZ06A	0,4

In fine, considerata la profondità della falda (v. capitolo 4.1), non risulta necessario l'impiego di uno strato anticapillare (v. capitolato Anas).

## ALLEGATI

## ALLEGATO 1 – TABULATI DI CALCOLO GEOSLOPE

---

# Sezione A - Sismica

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sisma kv+

Kind: SLOPE/W

Analysis Type: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Staged Pseudo Static Analysis Option: Effective Stress Strengths

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack Option: (none) Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20  
Max Absolute Lambda: 2

## Materials

### Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa Effective Friction Angle: 35 ° Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa Effective Friction Angle: 32 ° Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### AL Cu

Slope Stability Material Model: Undrained (Phi=0) Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Total Cohesion: 120 kPa  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 2 kPa Effective Friction Angle: 28 ° Phi-B: 0 °  
Cohesion R: 0 kPa  
Phi R: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Le Type: Range  
Le -Zone Le Coordinate: (47; 47,3) m Le -Zone Right Coordinate: (59; 47,3) m Le -Zone Increment: 50  
Right Type: Range  
Right-Zone Le Coordinate: (68,3; 41,375) m Right-Zone Right Coordinate: (90,01898; 42,3) m Right-Zone Increment: 50  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Le Coordinate: (0; 38) m  
Right Coordinate: (100; 42,3) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

#### Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	31 m
Coordinate 2	100 m	31 m

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,11  
Vert Seismic Coef.: 0,055

## Geometry

Name: Default Geometry

### Settings

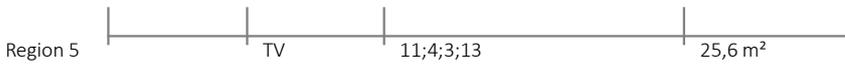
View: 2D  
Element Thickness: 1 m

### Points

	X	Y
Point 1	0 m	15 m
Point 2	100 m	0 m
Point 3	0 m	38 m
Point 4	32 m	38 m
Point 5	46 m	47,3 m
Point 6	59 m	47,3 m
Point 7	45 m	38 m
Point 8	0 m	0 m
Point 9	100 m	15 m
Point 10	100 m	42,3 m
Point 11	32 m	37,2 m
Point 12	45 m	37,2 m
Point 13	0 m	37,2 m
Point 14	68 m	41,3 m
Point 15	68 m	40,5 m
Point 16	100 m	41,5 m
Point 17	72 m	42,3 m
Point 18	72 m	41,5 m

### Regions

	Material	Points	Area
Region 1	SL	8;2;9;1	1.500 m <sup>2</sup>
Region 2	AL Cu	1;9;16;18;15;12;11;13	2.393,6 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	4;5;6;14;15;12;11	233,55 m <sup>2</sup>
Region 4	TV	16;10;17;14;15;18	25,6 m <sup>2</sup>



# Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 7966 of 13005 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 12.774

Factor of Safety: 1,187

Volume: 15,17676 m<sup>3</sup>

Weight: 288,15413 kN

Resisting Moment: 1.612,0572 kN·m Activating Moment: 1.358,1638 kN·m Resisting Force: 166,52048 kN

Activating Force: 140,30876 kN

Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces Exit: (69,994478; 41,79862) m Entry: (59; 47,3) m

Radius: 8,2383885 m

Center: (66,951679; 49,454494) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	59,18 m	46,777446 m	-154,72941 kPa	2,459768 kPa	0 kPa	2,0915071 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 2	59,54 m	45,881506 m	-145,94293 kPa	7,7824677 kPa	0 kPa	6,2227407 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	59,9 m	45,209135 m	-139,34899 kPa	11,870823 kPa	0 kPa	9,2928185 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	60,26 m	44,658977 m	-133,95358 kPa	15,131858 kPa	0 kPa	11,718941 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	60,62 m	44,191264 m	-129,36672 kPa	17,859387 kPa	0 kPa	13,73011 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	60,98 m	43,785125 m	-125,38372 kPa	20,248645 kPa	0 kPa	15,465913 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	61,34 m	43,427919 m	-121,8806 kPa	22,431782 kPa	0 kPa	17,015826 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	61,7 m	43,111285 m	-118,77537 kPa	24,498879 kPa	0 kPa	18,437787 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	62,06 m	42,829356 m	-116,01049 kPa	26,509238 kPa	0 kPa	19,767647 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	62,42 m	42,577834 m	-113,54382 kPa	28,496838 kPa	0 kPa	21,023973 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	62,78 m	42,353469 m	-111,34347 kPa	30,472132 kPa	0 kPa	22,210202 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	63,14 m	42,153747 m	-109,38479 kPa	32,421412 kPa	0 kPa	23,31519 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	63,5 m	41,976684 m	-107,64834 kPa	34,304593 kPa	0 kPa	24,312796 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	63,86 m	41,820698 m	-106,11858 kPa	36,052136 kPa	0 kPa	25,161018 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	64,22 m	41,684516 m	-104,78304 kPa	37,562067 kPa	0 kPa	25,801251 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 16	64,58 m	41,567109 m	-103,63163 kPa	38,6984 kPa	0 kPa	26,158381 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	64,94 m	41,467647 m	-102,65621 kPa	39,292794 kPa	0 kPa	26,142583 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	65,3 m	41,385464 m	-101,85025 kPa	39,151715 kPa	0 kPa	25,653873 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	65,66 m	41,320037 m	-101,2086 kPa	38,071401 kPa	0 kPa	24,590378 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	66,02 m	41,270962 m	-100,72733 kPa	35,862095 kPa	0 kPa	22,860809 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	66,38 m	41,237946 m	-100,40353 kPa	32,380814 kPa	0 kPa	20,400497 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	66,74 m	41,220794 m	-100,23533 kPa	27,568323 kPa	0 kPa	17,188732 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	67,1 m	41,219409 m	-100,22174 kPa	21,481803 kPa	0 kPa	13,263411 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 24	67,46 m	41,233781 m	-100,36269 kPa	14,311916 kPa	0 kPa	8,7280654 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 25	67,82 m	41,263994 m	-100,65899 kPa	6,3739592 kPa	0 kPa	3,7470621 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	68,199448 m	41,313646 m	-101,14593 kPa	3,5443268 kPa	0 kPa	3,42158 kPa	0 kPa	TV
Slice 27	68,598343 m	41,384915 m	-101,84486 kPa	3,861375 kPa	0 kPa	3,628179 kPa	0 kPa	TV
Slice 28	68,997239 m	41,476754 m	-102,74553 kPa	3,5705972 kPa	0 kPa	3,5506749 kPa	0 kPa	TV
Slice 29	69,396135 m	41,589886 m	-103,85502 kPa	2,7442805 kPa	0 kPa	3,2147393 kPa	0 kPa	TV
Slice 30	69,79503 m	41,725249 m	-105,18252 kPa	1,4875634 kPa	0 kPa	2,6601592 kPa	0 kPa	TV

# Sezione A - Statica

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### A2+M2+R2

Description: Fattori parziali per le azioni A=1 in quanto carichi definiti tengono già in conto dei coeff:  $q=26\text{kPa}$  (SLU) e  $q=4\text{kPa}$  (SLV) Kind: SLOPE/W

Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: A2(1)+M2

Unit Weight of Water:  $9,807\text{ kN/m}^3$

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack Option: (none) Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

## Materials

### Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 0 kPa Effective Friction Angle: 35 ° Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

### SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 0 kPa Effective Friction Angle: 32 ° Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

### AL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 22 kPa Effective Friction Angle: 25 ° Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

### TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 2 kPa Effective Friction Angle: 28 ° Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (47; 47,3) m Left-Zone Right Coordinate: (59; 47,3) m Left-Zone Increment: 50

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (68,3; 41,375) m Right-Zone Right Coordinate: (90,00782; 42,3) m Right-Zone Increment: 50

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 38) m

Right Coordinate: (100; 42,3) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

#### Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	31 m
Coordinate 2	100 m	31 m

## Surcharge Loads

### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

Mode: Variable

#### Coordinates

	X	Y
	48 m	47,3 m
	48 m	48,3 m
	57 m	48,3 m

## Design Factor Set: A2(1)+M2

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1,25

Effective Coefficient of Friction: 1,25

Undrained Strength: 1,4

Shear Strength (Other Models): 1,25

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## Geometry

Name: Default Geometry

### Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

### Points



	X	Y
Point 1	0 m	15 m
Point 2	100 m	0 m
Point 3	0 m	38 m
Point 4	32 m	38 m
Point 5	46 m	47,3 m
Point 6	59 m	47,3 m
Point 7	45 m	38 m
Point 8	0 m	0 m
Point 9	100 m	15 m
Point 10	100 m	42,3 m
Point 11	32 m	37,2 m
Point 12	45 m	37,2 m
Point 13	0 m	37,2 m
Point 14	68 m	41,3 m
Point 15	68 m	40,5 m
Point 16	100 m	41,5 m
Point 17	72 m	42,3 m
Point 18	72 m	41,5 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	SL	8;2;9;1	1.500 m <sup>2</sup>
Region 2	AL	1;9;16;18;15;12;11;13	2.393,6 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	4;5;6;14;15;12;11	233,55 m <sup>2</sup>
Region 4	TV	16;10;17;14;15;18	25,6 m <sup>2</sup>
Region 5	TV	11;4;3;13	25,6 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 8450 of 13005 converged

### Current Slip Surface

Slip Surface: 12.774

Overdesign Factor: 1,160

Degree of Utilization: 0,862

Volume: 15,176421 m<sup>3</sup>

Weight: 288,14808 kN

Resisting Moment: 1.289,5753 kN-m Activating Moment: 1.111,2481 kN-m Resisting Force: 133,17748 kN

Activating Force: 114,84663 kN

Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces Exit: (69,993612; 41,798403) m Entry: (59; 47,3) m

Radius: 8,2382243 m

Center: (66,951537; 49,454389) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice	59,18 m	46,777437	-154,72932	2,9871286	1,6732879	0 kPa	0 kPa	Rilevato

1		m	kPa	kPa	kPa			
Slice 2	59,54 m	45,881486 m	-145,94274 kPa	8,8879076 kPa	4,9787039 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	59,9 m	45,209113 m	-139,34877 kPa	13,273374 kPa	7,4352934 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	60,26 m	44,658956 m	-133,95338 kPa	16,739144 kPa	9,3766997 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	60,62 m	44,191245 m	-129,36654 kPa	19,612184 kPa	10,986079 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	60,98 m	43,785109 m	-125,38357 kPa	22,091816 kPa	12,375085 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	61,34 m	43,427906 m	-121,88048 kPa	24,305802 kPa	13,615285 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	61,7 m	43,111276 m	-118,77528 kPa	26,336872 kPa	14,753021 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	62,06 m	42,82935 m	-116,01044 kPa	28,23621 kPa	15,816966 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	62,42 m	42,577832 m	-113,5438 kPa	30,030314 kPa	16,821962 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	62,78 m	42,353471 m	-111,34349 kPa	31,724071 kPa	17,770747 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	63,14 m	42,153753 m	-109,38485 kPa	33,301546 kPa	18,654395 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	63,5 m	41,976694 m	-107,64844 kPa	34,72539 kPa	19,451984 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	63,86 m	41,820712 m	-106,11872 kPa	35,93561 kPa	20,129908 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	64,22 m	41,684535 m	-104,78323 kPa	36,848524 kPa	20,641292 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 16	64,58 m	41,567132 m	-103,63187 kPa	37,356897 kPa	20,926065 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	64,94 m	41,467675 m	-102,65649 kPa	37,332523 kPa	20,912411 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	65,3 m	41,385498 m	-101,85058 kPa	36,632731 kPa	20,520412 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	65,66 m	41,320076 m	-101,20898 kPa	35,112198 kPa	19,668661 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	66,02 m	41,271006 m	-100,72776 kPa	32,640743 kPa	18,284235 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	66,38 m	41,237995 m	-100,40402 kPa	29,126205 kPa	16,31551 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	66,74 m	41,22085 m	-100,23587 kPa	24,53916 kPa	13,746004 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	67,1 m	41,21947 m	-100,22234 kPa	18,933793 kPa	10,606068 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 24	67,46 m	41,233849 m	-100,36336 kPa	12,457889 kPa	6,9784861 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 25	67,82 m	41,264069 m	-100,65972 kPa	5,3459746 kPa	2,9946334 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	68,199361 m	41,313714 m	-101,14659 kPa	2,6689047 kPa	1,1352655 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV
Slice 27	68,598084 m	41,384951 m	-101,84522 kPa	3,0575505 kPa	1,3005827 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV
Slice 28	68,996806 m	41,476742 m	-102,7454 kPa	2,9125637 kPa	1,2389101 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV
Slice	69,395528	41,589806	-103,85423	2,282055	0,97071212	1,6 kPa	0 kPa	TV

29	m	m	kPa	kPa	kPa			
Siice 30	69,794251 m	41,725081 m	-105,18087 kPa	1,2406199 kPa	0,52771945 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV

# Sezione B - Statica

Report generated using GeoStudio 2021.4. Copyright © 1991-2022 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.03  
Created By: Miriam Di Minico  
Last Edited By: kronos  
Revision Number: 135  
Date: 07/07/2022  
Time: 15:15:05  
Tool Version: 11.3.1.23726  
File Name: Sez2-rampa B.gsz  
Directory: C:\Users\Kronos\Documents\AM\  
Last Solved Date: 07/07/2022  
Last Solved Time: 15:15:41

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

### A2+M2+R2

Description: Fattori parziali per le azioni A=1 in quanto carichi definiti tengono già in conto dei coeff: q=26kPa (SLU) e q=4kPa (SLV)

Kind: SLOPE/W

Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: A2(1)+M2

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20  
Max Absolute Lambda: 2

# Materials

## Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 35 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## AL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 22 kPa  
Effective Friction Angle: 25 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 2 kPa  
Effective Friction Angle: 28 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (42; 58,4) m  
Left-Zone Right Coordinate: (55,7; 58,4) m  
Left-Zone Increment: 50  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (70,5; 50) m  
Right-Zone Right Coordinate: (90; 50) m

Right-Zone Increment: 50  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 50) m  
Right Coordinate: (97; 50) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

### Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	41,5 m
Coordinate 2	97 m	41,5 m

## Surcharge Loads

### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m<sup>3</sup>  
Direction: Vertical  
Mode: Variable

### Coordinates

	X	Y
	43,3 m	58,4 m
	43,3 m	59,4 m
	53,7 m	59,4 m

## Design Factor Set: **A2(1)+M2**

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1  
Effective Cohesion: 1,25  
Effective Coefficient of Friction: 1,25  
Undrained Strength: 1,4  
Shear Strength (Other Models): 1,25  
Pullout Resistance: 1  
Shear Force: 1  
Tensile Strength: 1  
Compressive Strength: 1  
Seismic Coefficients: 1  
Earth Resistance: 1

# Geometry

Name: Default Geometry

## Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

## Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	97 m	0 m
Point 3	0 m	46,7 m
Point 4	97 m	46,7 m
Point 5	0 m	49,3 m
Point 6	97 m	49,3 m
Point 7	0 m	50 m
Point 8	97 m	50 m
Point 9	28 m	50 m
Point 10	70,4 m	50 m
Point 11	41,3 m	58,4 m
Point 12	55,7 m	60 m
Point 13	70,4 m	49,3 m
Point 14	28 m	49,3 m
Point 15	0 m	40 m
Point 16	97 m	40 m
Point 17	0 m	30 m
Point 18	97 m	30 m
Point 19	65,1 m	53,5 m
Point 20	63,1 m	53,5 m
Point 21	55,7 m	58,4 m
Point 22	68,644012 m	48,053556 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	TV	6;8;10;13	18,62 m <sup>2</sup>
Region 2	TV	14;9;7;5	19,6 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	10;19;20;21;11;9;14;13	266,81 m <sup>2</sup>
Region 4	SL	15;16;4;3	649,9 m <sup>2</sup>

Region 5	SL	4;6;13;14;5;3	252,2 m <sup>2</sup>
Region 6	AL	1;2;18;17	2.910 m <sup>2</sup>
Region 7	AL	17;18;16;15	970 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 9374 of 13005 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 12.753

Overdesign Factor: 1,238

Degree of Utilization: 0,808

Volume: 26,68135 m<sup>3</sup>

Weight: 506,94519 kN

Resisting Moment: 4.237,8981 kN·m

Activating Moment: 3.422,306 kN·m

Resisting Force: 235,88457 kN

Activating Force: 190,48025 kN

Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces

Exit: (70,5; 50) m

Entry: (55,7; 58,4) m

Radius: 15,851727 m

Center: (69,701727; 65,831614) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	55,946667 m	57,968502 m	-161,5066 kPa	2,7147775 kPa	1,5207262 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 2	56,44 m	57,15978 m	-153,57547 kPa	7,6503896 kPa	4,2854884 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	56,933333 m	56,446951 m	-146,58475 kPa	11,625158 kPa	6,5120184 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	57,426667 m	55,809238 m	-140,3307 kPa	14,907128 kPa	8,3504664 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	57,92 m	55,232929 m	-134,67884 kPa	17,680475 kPa	9,9040016 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	58,413333 m	54,708399 m	-129,53477 kPa	20,074499 kPa	11,245052 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	58,906667 m	54,22858 m	-124,82918 kPa	22,180629 kPa	12,424835 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	59,4 m	53,788097 m	-120,50937 kPa	24,062606 kPa	13,479055 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	59,893333 m	53,382757 m	-116,5342 kPa	25,762563 kPa	14,431312 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	60,386667 m	53,009214 m	-112,87086 kPa	27,304601 kPa	15,29511 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 11	60,88 m	52,664753 m	-109,49274 kPa	28,696829 kPa	16,074989 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	61,373333 m	52,34714 m	-106,3779 kPa	29,932445 kPa	16,767139 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	61,866667 m	52,054512 m	-103,5081 kPa	30,99031 kPa	17,359719 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	62,36 m	51,785304 m	-100,86798 kPa	31,835362 kPa	17,833088 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	62,853333 m	51,538191 m	-98,444541 kPa	32,419279 kPa	18,160179 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 16	63,35 m	51,310652 m	-96,213061 kPa	35,327531 kPa	19,789283 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	63,85 m	51,101978 m	-94,166601 kPa	40,780223 kPa	22,843696 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	64,35 m	50,912977 m	-92,31307 kPa	46,137889 kPa	25,844878 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	64,85 m	50,742909 m	-90,645206 kPa	51,28459 kPa	28,727885 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	65,340909 m	50,593579 m	-89,180727 kPa	53,089949 kPa	29,739186 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	65,822727 m	50,463827 m	-87,908254 kPa	51,205212 kPa	28,683421 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	66,304545 m	50,350155 m	-86,793472 kPa	48,502161 kPa	27,169263 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	66,786364 m	50,25221 m	-85,832924 kPa	44,95909 kPa	25,184555 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 24	67,268182 m	50,169696 m	-85,023713 kPa	40,597775 kPa	22,741494 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 25	67,75 m	50,102371 m	-84,363456 kPa	35,486263 kPa	19,878199 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	68,231818 m	50,05004 m	-83,850245 kPa	29,735701 kPa	16,656929 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 27	68,713636 m	50,012554 m	-83,482618 kPa	23,491037 kPa	13,158881 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 28	69,195455 m	49,989807 m	-83,259542 kPa	16,91683 kPa	9,4762334 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 29	69,677273 m	49,981737 m	-83,180393 kPa	10,180538 kPa	5,7027914 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 30	70,159091 m	49,98832 m	-83,244951 kPa	3,4362066 kPa	1,9248462 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 31	70,45 m	49,997637 m	-83,336327 kPa	0,12115097 kPa	0,051533692 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV

# Sezione B – Sismica

## File Information

File Version: 11.03  
Created By: Miriam Di Minico  
Last Edited By: kronos  
Revision Number: 135  
Date: 07/07/2022  
Time: 15:15:05  
Tool Version: 11.3.1.23726  
File Name: Sez2-rampa B.gsz  
Directory: C:\Users\Kronos\Documents\AM\  
Last Solved Date: 07/07/2022  
Last Solved Time: 15:15:19

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sisma kv+

Kind: SLOPE/W  
Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings  
Side Function  
Interslice force function option: Half-Sine  
PWP Conditions from: Piezometric Line  
Apply Phreatic Correction: No  
Use Staged Rapid Drawdown: No  
Staged Pseudo Static Analysis Option: Effective Stress Strengths  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>

Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack Option: (none)

Distribution  
F of S Calculation Option: Constant

Advanced  
Geometry Settings  
Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m  
Number of Slices: 30  
Factor of Safety Convergence Settings  
Maximum Number of Iterations: 100  
Tolerable difference in F of S: 0,001

Solution Settings  
Search Method: Root Finder  
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3  
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20  
Max Absolute Lambda: 2

# Materials

## Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 35 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## AL Cu

Slope Stability Material Model: Undrained (Phi=0)  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Total Cohesion: 120 kPa  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 2 kPa  
Effective Friction Angle: 28 °  
Phi-B: 0 °  
Cohesion R: 0 kPa  
Phi R: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (42; 58,4) m  
Left-Zone Right Coordinate: (55,4; 58,4) m  
Left-Zone Increment: 50  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (70,5; 50) m  
Right-Zone Right Coordinate: (90; 50) m  
Right-Zone Increment: 50  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 50) m

Right Coordinate: (97; 50) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

## Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	41,5 m
Coordinate 2	97 m	41,5 m

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,13

Vert Seismic Coef.: 0,065

## Geometry

Name: Default Geometry

## Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

## Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	97 m	0 m
Point 3	0 m	46,7 m
Point 4	97 m	46,7 m
Point 5	0 m	49,3 m
Point 6	97 m	49,3 m
Point 7	0 m	50 m
Point 8	97 m	50 m
Point 9	28 m	50 m
Point 10	70,4 m	50 m
Point 11	41,3 m	58,4 m
Point 12	55,7 m	60 m
Point 13	70,4 m	49,3 m
Point 14	28 m	49,3 m
Point 15	0 m	40 m

Point 16	97 m	40 m
Point 17	0 m	30 m
Point 18	97 m	30 m
Point 19	65,1 m	53,5 m
Point 20	63,1 m	53,5 m
Point 21	55,7 m	58,4 m
Point 22	68,644012 m	48,053556 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	TV	6;8;10;13	18,62 m <sup>2</sup>
Region 2	TV	14;9;7;5	19,6 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	10;19;20;21;11;9;14;13	266,81 m <sup>2</sup>
Region 4	SL	15;16;4;3	649,9 m <sup>2</sup>
Region 5	SL	4;6;13;14;5;3	252,2 m <sup>2</sup>
Region 6	AL Cu	1;2;18;17	2.910 m <sup>2</sup>
Region 7	AL Cu	17;18;16;15	970 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 9242 of 13005 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 12.753

Factor of Safety: 1,185

Volume: 29,129151 m<sup>3</sup>

Weight: 553,45326 kN

Resisting Moment: 5.835,9928 kN·m

Activating Moment: 4.925,8484 kN·m

Resisting Force: 322,07305 kN

Activating Force: 271,779 kN

Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces

Exit: (70,5; 50) m

Entry: (55,4; 58,4) m

Radius: 15,962627 m

Center: (69,475127; 65,929692) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	55,55 m	58,132126 m	-163,11126 kPa	2,3659146 kPa	0 kPa	1,9170114 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice	55,946667	57,469799	-156,61582	6,8555815	0 kPa	5,4859651	0 kPa	Rilevato

2	m	m	kPa	kPa		kPa		
Slice 3	56,44 m	56,725995 m	-149,32134 kPa	10,675352 kPa	0 kPa	8,4695137 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	56,933333 m	56,063096 m	-142,82028 kPa	13,835804 kPa	0 kPa	10,919605 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	57,426667 m	55,465536 m	-136,96001 kPa	16,517066 kPa	0 kPa	12,981432 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	57,92 m	54,922576 m	-131,6352 kPa	18,856443 kPa	0 kPa	14,756495 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	58,413333 m	54,426428 m	-126,76948 kPa	20,956584 kPa	0 kPa	16,316771 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	58,906667 m	53,971233 m	-122,30538 kPa	22,89281 kPa	0 kPa	17,713141 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	59,4 m	53,55245 m	-118,19838 kPa	24,718463 kPa	0 kPa	18,980453 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	59,893333 m	53,166481 m	-114,41318 kPa	26,468543 kPa	0 kPa	20,140514 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	60,386667 m	52,81042 m	-110,92129 kPa	28,161708 kPa	0 kPa	21,203813 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	60,88 m	52,481884 m	-107,69933 kPa	29,800671 kPa	0 kPa	22,170452 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	61,373333 m	52,178894 m	-104,72792 kPa	31,371457 kPa	0 kPa	23,030583 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	61,866667 m	51,899794 m	-101,99078 kPa	32,842224 kPa	0 kPa	23,764626 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	62,36 m	51,643178 m	-99,474144 kPa	34,162296 kPa	0 kPa	24,34349 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 16	62,853333 m	51,407853 m	-97,166313 kPa	35,26194 kPa	0 kPa	24,729062 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	63,35 m	51,191477 m	-95,044315 kPa	38,783674 kPa	0 kPa	26,764636 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	63,85 m	50,993426 m	-93,10203 kPa	45,007511 kPa	0 kPa	30,600138 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	64,35 m	50,814506 m	-91,347361 kPa	51,201376 kPa	0 kPa	34,344087 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	64,85 m	50,654044 m	-89,773708 kPa	57,197804 kPa	0 kPa	37,909555 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	65,340909 m	50,513743 m	-88,397776 kPa	59,5913 kPa	0 kPa	39,06918 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	65,822727 m	50,392505 m	-87,208794 kPa	57,897908 kPa	0 kPa	37,585466 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	66,304545 m	50,287044 m	-86,174537 kPa	55,148501 kPa	0 kPa	35,508608 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice	66,786364	50,197042	-85,291891	51,30814 kPa	0 kPa	32,829513	0 kPa	Rilevato

24	m	m	kPa			kPa		
Slice 25	67,268182 m	50,122236 m	-84,558264 kPa	46,407834 kPa	0 kPa	29,570439 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	67,75 m	50,062409 m	-83,971546 kPa	40,548732 kPa	0 kPa	25,786142 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 27	68,231818 m	50,017393 m	-83,530077 kPa	33,896423 kPa	0 kPa	21,560832 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 28	68,713636 m	49,987063 m	-83,232628 kPa	26,665108 kPa	0 kPa	17,001021 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 29	69,195455 m	49,971334 m	-83,078375 kPa	19,093892 kPa	0 kPa	12,225232 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 30	69,677273 m	49,970164 m	-83,066896 kPa	11,419503 kPa	0 kPa	7,3522968 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 31	70,159091 m	49,983548 m	-83,198157 kPa	3,8506888 kPa	0 kPa	2,4902223 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 32	70,45 m	49,996941 m	-83,329497 kPa	0,19246205 kPa	0 kPa	2,0807697 kPa	0 kPa	TV

# Sezione C – Statica

## File Information

File Version: 11.03  
Created By: Miriam Di Minico  
Last Edited By: kronos  
Revision Number: 127  
Date: 07/07/2022  
Time: 15:27:49  
Tool Version: 11.3.1.23726  
File Name: Sez3- rampa c.gsz  
Directory: C:\Users\Kronos\Documents\AM\  
Last Solved Date: 07/07/2022  
Last Solved Time: 15:28:37

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### A2+M2+R2

Description: Fattori parziali per le azioni A=1 in quanto carichi definiti tengono già in conto dei coeff: q=26kPa (SLU) e q=4kPa (SLV)

Kind: SLOPE/W

Analysis Type: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: A2(1)+M2

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

## Materials

### Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 35 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### AL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 22 kPa  
Effective Friction Angle: 25 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 2 kPa  
Effective Friction Angle: 28 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (39; 58) m  
Left-Zone Right Coordinate: (56; 58) m  
Left-Zone Increment: 50  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (71; 50) m  
Right-Zone Right Coordinate: (95; 50) m  
Right-Zone Increment: 50  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 50) m

Right Coordinate: (97; 50) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

#### Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	41,5 m
Coordinate 2	97 m	41,5 m

## Surcharge Loads

### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

Mode: Variable

#### Coordinates

	X	Y
	41 m	58 m
	41 m	59 m
	54 m	59 m

## Design Factor Set: **A2(1)+M2**

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1,25

Effective Coefficient of Friction: 1,25

Undrained Strength: 1,4

Shear Strength (Other Models): 1,25

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

## Geometry

Name: Default Geometry

# Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

## Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	97 m	0 m
Point 3	0 m	40 m
Point 4	97 m	40 m
Point 5	0 m	49,3 m
Point 6	97 m	49,3 m
Point 7	0 m	50 m
Point 8	97 m	50 m
Point 9	26,7 m	50 m
Point 10	70,4 m	50 m
Point 11	38,7 m	58 m
Point 12	58,4 m	58 m
Point 13	70,4 m	49,3 m
Point 14	26,7 m	49,3 m
Point 15	0 m	30 m
Point 16	97 m	30 m
Point 17	66 m	53 m
Point 18	64 m	53 m
Point 19	56,4 m	58 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	TV	6;8;10;13	18,62 m <sup>2</sup>
Region 2	TV	14;9;7;5	18,69 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	10;17;18;19;11;9;14;13	274,59 m <sup>2</sup>
Region 4	SL	4;6;13;14;5;3	902,1 m <sup>2</sup>
Region 5	AL	15;1;2;16;4;3	3.880 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 9721 of 13005 converged

# Current Slip Surface

Slip Surface: 12.753  
 Overdesign Factor: 1,242  
 Degree of Utilization: 0,805  
 Volume: 26,974237 m<sup>3</sup>  
 Weight: 512,484 kN  
 Resisting Moment: 4.199,0568 kN·m  
 Activating Moment: 3.381,1797 kN·m  
 Resisting Force: 239,3432 kN  
 Activating Force: 192,71282 kN  
 Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces  
 Exit: (71; 50) m  
 Entry: (56; 58) m  
 Radius: 15,441667 m  
 Center: (69,566667; 65,375) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	56,2 m	57,653769 m	-158,42001 kPa	3,5611785 kPa	1,9948512 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 2	56,653333 m	56,920594 m	-151,22976 kPa	9,4250925 kPa	5,2796167 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	57,16 m	56,191407 m	-144,07863 kPa	13,532424 kPa	7,5804043 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	57,666667 m	55,54256 m	-137,71538 kPa	16,905261 kPa	9,4697531 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	58,173333 m	54,958856 m	-131,991 kPa	19,744912 kPa	11,060429 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 6	58,68 m	54,429778 m	-126,80233 kPa	22,190868 kPa	12,430571 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	59,186667 m	53,947685 m	-122,07444 kPa	24,340502 kPa	13,634722 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	59,693333 m	53,506817 m	-117,75086 kPa	26,260604 kPa	14,710298 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	60,2 m	53,102712 m	-113,78779 kPa	27,994154 kPa	15,681374 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	60,706667 m	52,731829 m	-110,15055 kPa	29,564226 kPa	16,560875 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	61,213333 m	52,391312 m	-106,8111 kPa	30,97613 kPa	17,351776 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	61,72 m	52,078822 m	-103,7465 kPa	32,218503 kPa	18,047711 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	62,226667 m	51,792417 m	-100,93774 kPa	33,263832 kPa	18,633269 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	62,733333 m	51,530477 m	-98,36889 kPa	34,068865 kPa	19,084221 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 15	63,24 m	51,291633 m	-96,026544 kPa	34,575397 kPa	19,367963 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 16	63,746667 m	51,074725 m	-93,899329 kPa	34,711944 kPa	19,444452 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	64,25 m	50,879924 m	-91,988919 kPa	37,206445 kPa	20,841787 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	64,75 m	50,706137 m	-90,284582 kPa	42,279591 kPa	23,683591 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	65,25 m	50,551247 m	-88,765578 kPa	47,113706 kPa	26,391498 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	65,75 m	50,414667 m	-87,426141 kPa	51,570334 kPa	28,887949 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	66,244444 m	50,297027 m	-86,272449 kPa	52,238089 kPa	29,262003 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	66,733333 m	50,197535 m	-85,296722 kPa	48,794526 kPa	27,333036 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	67,222222 m	50,114348 m	-84,480915 kPa	44,43734 kPa	24,892288 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 24	67,711111 m	50,047203 m	-83,822422 kPa	39,210213 kPa	21,964229 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 25	68,2 m	49,995889 m	-83,31918 kPa	33,209127 kPa	18,602625 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	68,688889 m	49,960246 m	-82,969636 kPa	26,576455 kPa	14,887227 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 27	69,177778 m	49,940168 m	-82,772726 kPa	19,48809 kPa	10,916566 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 28	69,666667 m	49,935592 m	-82,727853 kPa	12,135528 kPa	6,7979103 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 29	70,155556 m	49,946506 m	-82,834881 kPa	4,7060158 kPa	2,6361502 kPa	0 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 30	70,7 m	49,977918 m	-83,142941 kPa	0,60545792 kPa	0,25754215 kPa	1,6 kPa	0 kPa	TV

# Sezione C – Sismica

## File Information

File Version: 11.03  
Created By: Miriam Di Minico  
Last Edited By: kronos  
Revision Number: 127  
Date: 07/07/2022  
Time: 15:27:49  
Tool Version: 11.3.1.23726  
File Name: Sez3- rampa c.gsz  
Directory: C:\Users\Kronos\Documents\AM\  
Last Solved Date: 07/07/2022  
Last Solved Time: 15:28:31

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sisma kv+

Kind: SLOPE/W  
Analysis Type: Morgenstern-Price  
Settings  
Side Function  
Interslice force function option: Half-Sine  
PWP Conditions from: Piezometric Line  
Apply Phreatic Correction: No  
Use Staged Rapid Drawdown: No  
Staged Pseudo Static Analysis Option: Effective Stress Strengths  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>

Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack Option: (none)

Distribution  
F of S Calculation Option: Constant

Advanced  
Geometry Settings  
Minimum Slip Surface Depth: 0,5 m  
Number of Slices: 30  
Factor of Safety Convergence Settings  
Maximum Number of Iterations: 100  
Tolerable difference in F of S: 0,001

Solution Settings  
Search Method: Root Finder  
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3  
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20  
Max Absolute Lambda: 2

# Materials

## Rilevato

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 35 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SL

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 0 kPa  
Effective Friction Angle: 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## AL Cu

Slope Stability Material Model: Undrained (Phi=0)  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Total Cohesion: 120 kPa  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## TV

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
Effective Cohesion: 2 kPa  
Effective Friction Angle: 28 °  
Phi-B: 0 °  
Cohesion R: 0 kPa  
Phi R: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (39; 58) m  
Left-Zone Right Coordinate: (56; 58) m  
Left-Zone Increment: 50  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (71; 50) m  
Right-Zone Right Coordinate: (95; 50) m  
Right-Zone Increment: 50  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 50) m

Right Coordinate: (97; 50) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

## Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0 m	41,5 m
Coordinate 2	97 m	41,5 m

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,13

Vert Seismic Coef.: 0,065

## Geometry

Name: Default Geometry

## Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

## Points

	X	Y
Point 1	0 m	0 m
Point 2	97 m	0 m
Point 3	0 m	40 m
Point 4	97 m	40 m
Point 5	0 m	49,3 m
Point 6	97 m	49,3 m
Point 7	0 m	50 m
Point 8	97 m	50 m
Point 9	26,7 m	50 m
Point 10	70,4 m	50 m
Point 11	38,7 m	58 m
Point 12	58,4 m	58 m
Point 13	70,4 m	49,3 m
Point 14	26,7 m	49,3 m
Point 15	0 m	30 m

Point 16	97 m	30 m
Point 17	66 m	53 m
Point 18	64 m	53 m
Point 19	56,4 m	58 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	TV	6;8;10;13	18,62 m <sup>2</sup>
Region 2	TV	14;9;7;5	18,69 m <sup>2</sup>
Region 3	Rilevato	10;17;18;19;11;9;14;13	274,59 m <sup>2</sup>
Region 4	SL	4;6;13;14;5;3	902,1 m <sup>2</sup>
Region 5	AL Cu	15;1;2;16;4;3	3.880 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 9529 of 13005 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 12.753

Factor of Safety: 1,187

Volume: 26,974237 m<sup>3</sup>

Weight: 512,484 kN

Resisting Moment: 5.248,7962 kN·m

Activating Moment: 4.422,4137 kN·m

Resisting Force: 299,19595 kN

Activating Force: 252,15002 kN

Slip Rank: 1 of 13.005 slip surfaces

Exit: (71; 50) m

Entry: (56; 58) m

Radius: 15,441667 m

Center: (69,566667; 65,375) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	56,2 m	57,653769 m	-158,42001 kPa	3,1008005 kPa	0 kPa	2,4930815 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 2	56,653333 m	56,920594 m	-151,22976 kPa	8,3287838 kPa	0 kPa	6,5965997 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 3	57,16 m	56,191407 m	-144,07863 kPa	12,061719 kPa	0 kPa	9,4691102 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 4	57,666667 m	55,54256 m	-137,71538 kPa	15,151312 kPa	0 kPa	11,827261 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 5	58,173333 m	54,958856 m	-131,991 kPa	17,77781 kPa	0 kPa	13,812413 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 6	58,68 m	54,429778 m	-126,80233 kPa	20,076457 kPa	0 kPa	15,522456 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 7	59,186667 m	53,947685 m	-122,07444 kPa	22,146452 kPa	0 kPa	17,025691 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 8	59,693333 m	53,506817 m	-117,75086 kPa	24,058427 kPa	0 kPa	18,368966 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 9	60,2 m	53,102712 m	-113,78779 kPa	25,859789 kPa	0 kPa	19,582433 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 10	60,706667 m	52,731829 m	-110,15055 kPa	27,577996 kPa	0 kPa	20,682288 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 11	61,213333 m	52,391312 m	-106,8111 kPa	29,221786 kPa	0 kPa	21,672276 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 12	61,72 m	52,078822 m	-103,7465 kPa	30,7808 kPa	0 kPa	22,544444 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 13	62,226667 m	51,792417 m	-100,93774 kPa	32,22442 kPa	0 kPa	23,279499 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 14	62,733333 m	51,530477 m	-98,36889 kPa	33,50065 kPa	0 kPa	23,847082 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 15	63,24 m	51,291633 m	-96,026544 kPa	34,535759 kPa	0 kPa	24,206308 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 16	63,746667 m	51,074725 m	-93,899329 kPa	35,23531 kPa	0 kPa	24,306923 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 17	64,25 m	50,879924 m	-91,988919 kPa	38,358317 kPa	0 kPa	26,058975 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 18	64,75 m	50,706137 m	-90,284582 kPa	44,187557 kPa	0 kPa	29,617325 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 19	65,25 m	50,551247 m	-88,765578 kPa	49,837191 kPa	0 kPa	33,008618 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 20	65,75 m	50,414667 m	-87,426141 kPa	55,116782 kPa	0 kPa	36,135335 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 21	66,244444 m	50,297027 m	-86,272449 kPa	56,34731 kPa	0 kPa	36,606966 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 22	66,733333 m	50,197535 m	-85,296722 kPa	53,067734 kPa	0 kPa	34,196735 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 23	67,222222 m	50,114348 m	-84,480915 kPa	48,636156 kPa	0 kPa	31,144602 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 24	67,711111 m	50,047203 m	-83,822422 kPa	43,099619 kPa	0 kPa	27,481304 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 25	68,2 m	49,995889 m	-83,31918 kPa	36,583084 kPa	0 kPa	23,274493 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 26	68,688889 m	49,960246 m	-82,969636 kPa	29,281146 kPa	0 kPa	18,624552 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 27	69,177778 m	49,940168 m	-82,772726 kPa	21,438022 kPa	0 kPa	13,655491 kPa	0 kPa	Rilevato

Slice 28	69,666667 m	49,935592 m	-82,727853 kPa	13,318937 kPa	0 kPa	8,5022624 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 29	70,155556 m	49,946506 m	-82,834881 kPa	5,1784867 kPa	0 kPa	3,2967348 kPa	0 kPa	Rilevato
Slice 30	70,7 m	49,977918 m	-83,142941 kPa	0,7354691 kPa	0 kPa	2,3222329 kPa	0 kPa	TV

# Sezione frana – Caso a

## File Information

File Version: 9.01  
Last Edited By: Valentina Tuccio  
Revision Number: 122  
Date: 06/07/2022  
Time: 10:46:03  
Tool Version: 9.1.1.16749  
File Name: Gerace-Analisi\_Frana\_rev01.gsz  
Directory: C:\Users\valen\Desktop\Analisi\_rev01\  
Last Solved Date: 06/07/2022  
Last Solved Time: 10:46:08

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Caso a

Kind: SLOPE/W  
Method: Bishop  
Settings  
    PWP Conditions from: Piezometric Line  
    Apply Phreatic Correction: No  
    Use Staged Rapid Drawdown: No  
    Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>  
Slip Surface  
    Direction of movement: Left to Right  
    Use Passive Mode: No  
    Slip Surface Option: Fully-Specified  
    Critical slip surfaces saved: 1  
    Optimize Critical Slip Surface Location: No  
    Tension Crack Option: (none)  
Distribution  
    F of S Calculation Option: Constant  
Advanced  
    Geometry Settings  
        Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m  
        Number of Slices: 30  
    Factor of Safety Convergence Settings  
        Maximum Number of Iterations: 100  
        Tolerable difference in F of S: 0.001

## Materials

### LNC

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 18.5 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 15 kPa  
Phi': 24 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SL

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 0 kPa  
Phi': 32 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## AL

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 15 kPa  
Phi': 24 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SL\_1

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 0 kPa  
Phi': 21 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## SG

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 0 kPa  
Phi': 35 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Fully Specified Slip Surfaces

### Fully Specified Slip Surface 1

	X	Y
	19.2728 m	88.503741 m
	24.78688 m	83.287928 m

	63.38273 m	72.496771 m
	117.19595 m	61.963537 m
	170.94643 m	54.772854 m
	184.50753 m	52.483461 m
	200.15168 m	50.158004 m
	245.33587 m	38.273597 m
	248.24618 m	37.544209 m
	300.33587 m	24.489394 m
	312.31169 m	24.083871 m
	339.8429 m	31.193226 m

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0.15317; 85.467172) m

Right Coordinate: (341.33587; 29.227357) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

## Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0.15317 m	85.467172 m
Coordinate 2	24.78688 m	83.144877 m
Coordinate 3	33.0723 m	83.191158 m
Coordinate 4	49.79656 m	80.74738 m
Coordinate 5	57.49598 m	79.626927 m
Coordinate 6	67.52199 m	78.799285 m
Coordinate 7	81.10162 m	77.647491 m
Coordinate 8	82.55721 m	77.524032 m
Coordinate 9	93.67665 m	76.54051 m
Coordinate 10	109.99436 m	75 m
Coordinate 11	118.9413 m	73.80643 m
Coordinate 12	139.55006 m	71.30643 m
Coordinate 13	156.90153 m	69.382428 m
Coordinate 14	177.13561 m	66.965375 m
Coordinate 15	189.5377 m	65 m
Coordinate 16	207.16229 m	60.083685 m

Coordinate 17	224.78688 m	55.16737 m
Coordinate 18	235.76001 m	52 m
Coordinate 19	253.18055 m	46.063991 m
Coordinate 20	269.17679 m	40.645742 m
Coordinate 21	279.08104 m	37.598227 m
Coordinate 22	288.98529 m	34.550711 m
Coordinate 23	301.29774 m	32.02686 m
Coordinate 24	316.97215 m	30.684635 m
Coordinate 25	332.44263 m	29.63371 m
Coordinate 26	341.33587 m	29.227357 m

## Points

	X	Y
Point 1	49.79656 m	80.74738 m
Point 2	57.49598 m	79.626927 m
Point 3	67.52199 m	78.799285 m
Point 4	82.55721 m	77.524032 m
Point 5	93.67665 m	76.54051 m
Point 6	109.99436 m	75 m
Point 7	118.9413 m	73.80643 m
Point 8	139.55006 m	71.30643 m
Point 9	156.90153 m	69.382428 m
Point 10	177.13561 m	66.965375 m
Point 11	189.5377 m	65 m
Point 12	207.16229 m	60.083685 m
Point 13	224.78688 m	55.16737 m
Point 14	235.76001 m	52 m
Point 15	253.18055 m	46.063991 m
Point 16	269.17679 m	40.645742 m
Point 17	279.08104 m	37.598227 m
Point 18	288.98529 m	34.550711 m
Point 19	301.29774 m	32.02686 m
Point 20	316.97215 m	30.684635 m
Point 21	332.44263 m	29.63371 m
Point 22	320.13924 m	26.548844 m
Point 23	301.50353 m	25.79673 m

Point 24	252.74148 m	38.478206 m
Point 25	244.41759 m	40.407765 m
Point 26	188.85124 m	56.721247 m
Point 27	99.76351 m	68.546086 m
Point 28	341.33587 m	29.227357 m
Point 29	341.33587 m	23.390662 m
Point 30	312.31169 m	23.94082 m
Point 31	300.33587 m	24.346343 m
Point 32	245.33587 m	38.130546 m
Point 33	184.50753 m	52.38653 m
Point 34	117.19595 m	61.820486 m
Point 35	63.38273 m	72.35372 m
Point 36	24.78688 m	83.144877 m
Point 37	33.0723 m	83.191158 m
Point 38	270.73999 m	33.944631 m
Point 39	341.33587 m	18.063189 m
Point 40	329.50466 m	17.915687 m
Point 41	320.77877 m	18.218582 m
Point 42	312.05288 m	18.521477 m
Point 43	307.19438 m	18.557949 m
Point 44	302.33587 m	18.594421 m
Point 45	300.33587 m	18.595767 m
Point 46	296.35943 m	19.519652 m
Point 47	292.37719 m	20.444883 m
Point 48	288.86732 m	22.262491 m
Point 49	285.35746 m	24.0801 m
Point 50	287.73915 m	25.145595 m
Point 51	294.03751 m	24.745969 m
Point 52	264.89337 m	26.337536 m
Point 53	255.27039 m	29.268672 m
Point 54	247.33587 m	31.295605 m
Point 55	245.33587 m	31.29561 m
Point 56	243.82491 m	31.404595 m
Point 57	241.44469 m	31.579864 m
Point 58	237.77397 m	31.85016 m
Point 59	235.84324 m	30.902323 m

Point 60	235.87528 m	29.599265 m
Point 61	245.33587 m	28.926557 m
Point 62	247.33587 m	28.926557 m
Point 63	252.687 m	25.380116 m
Point 64	261.37748 m	21.518021 m
Point 65	281.95074 m	16.817141 m
Point 66	300.33587 m	13.350661 m
Point 67	302.36682 m	13.350661 m
Point 68	341.33587 m	11.458937 m
Point 69	300.34166 m	18.594421 m
Point 70	170.94638 m	54.794432 m
Point 71	200.10787 m	50.026476 m
Point 72	200.15168 m	50.014953 m
Point 73	248.24618 m	37.401158 m
Point 74	341.33587 m	-0.137043 m
Point 75	0.15317 m	-0.137043 m
Point 76	0.15317 m	85.467172 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	SG	29;30;31;51;50;49;47;46;45;44;43;42;41;40;39	286.42 m <sup>2</sup>
Region 2	SL	39;40;41;42;43;44;69;47;49;52;53;54;55;56;57;58;59;60;61;62;63;64;65;66;67;68	578.62 m <sup>2</sup>
Region 3	LNC	1;27;26;25;38;23;22;21;20;19;18;17;16;15;14;13;12;11;10;9;8;7;6;5;4;3;2	1,886.1 m <sup>2</sup>
Region 4	SL_1	36;35;34;70;33;71;72;32;73;31;30;29;28;21;22;23;38;25;26;27;1;37	1,102.5 m <sup>2</sup>
Region 5	AL	68;67;66;65;64;63;62;61;60;59;58;57;56;55;54;53;52;49;50;51;31;73;32;72;71;33;70;34;35;36;76;75;74	17,217 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1 of 1 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 1  
 Factor of Safety: 1.003  
 Volume: 2,841.9994 m<sup>3</sup>  
 Weight: 53,054.954 kN  
 Resisting Moment: 440,680.42 kN·m  
 Activating Moment: 439,351.56 kN·m  
 Slip Rank: 1 of 1 slip surfaces  
 Exit: (333.59901; 29.580872) m  
 Entry: (25.288497; 83.147679) m  
 Radius: 122.38106 m  
 Center: (186.4239; 96.539381) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	29.180399 m	82.059528 m	10.884698 kPa	20.102441 kPa	3.5383603 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 2	37.253365 m	79.802377 m	27.242241 kPa	50.312426 kPa	8.8558144 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 3	45.615495 m	77.464378 m	38.187931 kPa	70.527512 kPa	12.414002 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 4	53.64627 m	75.219024 m	48.722446 kPa	89.811647 kPa	15.772667 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 5	60.439355 m	73.31972 m	59.471931 kPa	109.2779 kPa	19.118719 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 6	65.45236 m	72.091668 m	67.457095 kPa	125.33596 kPa	22.217614 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 7	74.311805 m	70.357548 m	77.140298 kPa	142.80507 kPa	25.206343 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 8	81.829415 m	68.886074 m	85.317839 kPa	157.55705 kPa	27.730037 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 9	88.11693 m	67.655375 m	91.959221 kPa	169.53376 kPa	29.778075 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 10	96.72008 m	65.971421 m	100.83329 kPa	185.53223 kPa	32.512875 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 11	104.87893 m	64.374432 m	108.94107 kPa	200.4077 kPa	35.110746 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 12	113.59516 m	62.668346 m	116.22559 kPa	213.95509 kPa	37.51484 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 13	118.06862 m	61.846791 m	118.4299 kPa	220.32927 kPa	39.115501 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 14	124.09349 m	61.040791 m	119.06324 kPa	221.49968 kPa	39.321666 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 15	134.39787 m	59.662282 m	120.32353 kPa	223.82787 kPa	39.731592 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 16	143.88793 m	58.392712 m	121.92766 kPa	226.78943 kPa	40.252663 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1

Slice 17	152.56366 m	57.232081 m	123.87562 kPa	230.38437 kPa	40.884878 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 18	160.40236 m	56.183429 m	125.3414 kPa	233.09009 kPa	41.360849 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 19	167.42481 m	55.243973 m	126.32791 kPa	232.1868 kPa	47.131415 kPa	15 kPa	0 kPa	AL
Slice 20	172.18061 m	54.564499 m	127.42013 kPa	232.18446 kPa	46.644087 kPa	15 kPa	0 kPa	AL
Slice 21	175.2752 m	54.042068 m	128.91832 kPa	238.36772 kPa	42.013686 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 22	180.82157 m	53.105727 m	130.19312 kPa	240.79799 kPa	42.457232 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 23	186.67938 m	52.160621 m	130.35798 kPa	241.98772 kPa	42.850644 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 24	189.19447 m	51.786761 m	130.11566 kPa	241.53498 kPa	42.76987 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 25	194.84469 m	50.946872 m	123.30108 kPa	228.61733 kPa	40.427123 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 26	203.65698 m	49.236034 m	115.97212 kPa	210.80243 kPa	36.401944 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 27	211.56844 m	47.155153 m	114.73654 kPa	208.46185 kPa	35.977775 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 28	220.38073 m	44.837331 m	113.36027 kPa	205.85475 kPa	35.505308 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 29	230.27345 m	42.235336 m	111.29325 kPa	201.9856 kPa	34.813528 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 30	240.0888 m	39.653688 m	106.6147 kPa	193.40263 kPa	33.314763 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 31	244.87673 m	38.394361 m	102.96505 kPa	186.75706 kPa	32.16474 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 32	246.79102 m	37.908903 m	101.32891 kPa	184.16703 kPa	31.798578 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 33	250.71337 m	36.925879 m	97.862093 kPa	177.90506 kPa	30.725616 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 34	257.17961 m	35.305296 m	92.226328 kPa	167.72559 kPa	28.98145 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 35	265.17773 m	33.300792 m	85.316112 kPa	155.24433 kPa	26.842926 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 36	269.95839 m	32.102655 m	81.423509 kPa	148.21413 kPa	25.638516 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 37	274.91051 m	30.861544 m	78.651593 kPa	143.17477 kPa	24.768125 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 38	284.03316 m	28.575208 m	73.54525 kPa	133.87871 kPa	23.159845 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1

Slice 39	294.66058 m	25.911746 m	73.31344 kPa	133.39037 kPa	23.061373 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 40	300.8168 m	24.473109 m	75.046451 kPa	141.46101 kPa	25.49416 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 41	306.80471 m	24.270347 m	71.443423 kPa	134.82302 kPa	24.329147 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 42	314.64192 m	24.685604 m	60.789401 kPa	121.48775 kPa	23.299912 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 43	318.5557 m	25.696254 m	47.866098 kPa	95.381027 kPa	18.239272 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 44	326.29093 m	27.693717 m	23.12377 kPa	46.087077 kPa	8.8147876 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1
Slice 45	333.02082 m	29.431567 m	1.7233244 kPa	3.5157409 kPa	0.68804422 kPa	0 kPa	0 kPa	SL_1

# Sezione frana – caso b

## File Information

File Version: 9.01  
Last Edited By: Valentina Tuccio  
Revision Number: 122  
Date: 06/07/2022  
Time: 10:46:03  
Tool Version: 9.1.1.16749  
File Name: Gerace-Analisi\_Frana\_rev01.gsz  
Directory: C:\Users\valen\Desktop\Analisi\_rev01\  
Last Solved Date: 06/07/2022  
Last Solved Time: 10:46:08

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Caso b

Kind: SLOPE/W

Method: Bishop

#### Settings

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

#### Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack Option: (none)

#### Distribution

F of S Calculation Option: Constant

#### Advanced

##### Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Number of Slices: 30

##### Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

## Materials

### Omog

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion': 0 kPa

Phi': 21 °

Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (45; 81.448262) m  
Left-Zone Right Coordinate: (55; 79.990153) m  
Left-Zone Increment: 20  
Right Type: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (300; 32.292875) m  
Right-Zone Right Coordinate: (341.15591; 29.23558) m  
Right-Zone Increment: 20  
Radius Increments: 10

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0.15317; 85.467172) m  
Right Coordinate: (341.33587; 29.227357) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

## Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	0.13259 m	85.464998 m
Coordinate 2	24.78688 m	83.144877 m
Coordinate 3	33.0723 m	83.191158 m
Coordinate 4	49.79656 m	80.74738 m
Coordinate 5	57.49598 m	79.626927 m
Coordinate 6	67.52199 m	78.799285 m
Coordinate 7	82.55721 m	77.524032 m
Coordinate 8	93.67665 m	76.54051 m
Coordinate 9	109.99436 m	75 m
Coordinate 10	118.9413 m	73.80643 m
Coordinate 11	139.55006 m	71.30643 m
Coordinate 12	156.90153 m	69.382428 m
Coordinate 13	177.13561 m	66.965375 m
Coordinate 14	189.5377 m	65 m
Coordinate 15	207.16229 m	60.083685 m
Coordinate 16	224.78688 m	55.16737 m
Coordinate 17	235.76001 m	52 m

Coordinate 18	253.18055 m	46.063991 m
Coordinate 19	269.17679 m	40.645742 m
Coordinate 20	279.08104 m	37.598227 m
Coordinate 21	288.98529 m	34.550711 m
Coordinate 22	299.78688 m	32.333131 m
Coordinate 23	301.29774 m	32.02686 m
Coordinate 24	316.97215 m	30.684635 m
Coordinate 25	332.44263 m	29.63371 m
Coordinate 26	341.33587 m	29.227357 m

## Points

	X	Y
Point 1	49.79656 m	80.74738 m
Point 2	57.49598 m	79.626927 m
Point 3	67.52199 m	78.799285 m
Point 4	82.55721 m	77.524032 m
Point 5	93.67665 m	76.54051 m
Point 6	109.99436 m	75 m
Point 7	118.9413 m	73.80643 m
Point 8	139.55006 m	71.30643 m
Point 9	156.90153 m	69.382428 m
Point 10	177.13561 m	66.965375 m
Point 11	189.5377 m	65 m
Point 12	207.16229 m	60.083685 m
Point 13	224.78688 m	55.16737 m
Point 14	235.76001 m	52 m
Point 15	253.18055 m	46.063991 m
Point 16	269.17679 m	40.645742 m
Point 17	279.08104 m	37.598227 m
Point 18	288.98529 m	34.550711 m
Point 19	301.29774 m	32.02686 m
Point 20	316.97215 m	30.684635 m
Point 21	332.44263 m	29.63371 m
Point 22	320.13924 m	26.548844 m
Point 23	301.50353 m	25.79673 m
Point 24	252.74148 m	38.478206 m

Point 25	244.41759 m	40.407765 m
Point 26	188.85124 m	56.721247 m
Point 27	99.76351 m	68.546086 m
Point 28	341.33587 m	29.227357 m
Point 29	341.33587 m	23.390662 m
Point 30	312.31169 m	23.94082 m
Point 31	300.33587 m	24.346343 m
Point 32	245.33587 m	38.130546 m
Point 33	184.50753 m	52.38653 m
Point 34	117.19595 m	61.820486 m
Point 35	63.38273 m	72.35372 m
Point 36	24.78688 m	83.144877 m
Point 37	33.0723 m	83.191158 m
Point 38	270.73999 m	33.944631 m
Point 39	341.33587 m	18.063189 m
Point 40	329.50466 m	17.915687 m
Point 41	320.77877 m	18.218582 m
Point 42	312.05288 m	18.521477 m
Point 43	307.19438 m	18.557949 m
Point 44	302.33587 m	18.594421 m
Point 45	300.33587 m	18.595767 m
Point 46	296.35943 m	19.519652 m
Point 47	292.37719 m	20.444883 m
Point 48	288.86732 m	22.262491 m
Point 49	285.35746 m	24.0801 m
Point 50	287.73915 m	25.145595 m
Point 51	294.03751 m	24.745969 m
Point 52	264.89337 m	26.337536 m
Point 53	255.27039 m	29.268672 m
Point 54	247.33587 m	31.295605 m
Point 55	245.33587 m	31.29561 m
Point 56	243.82491 m	31.404595 m
Point 57	241.44469 m	31.579864 m
Point 58	237.77397 m	31.85016 m
Point 59	235.84324 m	30.902323 m
Point 60	235.87528 m	29.599265 m

Point 61	245.33587 m	28.926557 m
Point 62	247.33587 m	28.926557 m
Point 63	252.687 m	25.380116 m
Point 64	261.37748 m	21.518021 m
Point 65	281.95074 m	16.817141 m
Point 66	300.33587 m	13.350661 m
Point 67	302.36682 m	13.350661 m
Point 68	341.33587 m	11.458937 m
Point 69	300.34166 m	18.594421 m
Point 70	170.94638 m	54.794432 m
Point 71	200.10787 m	50.026476 m
Point 72	200.15168 m	50.014953 m
Point 73	248.24618 m	37.401158 m
Point 74	341.33587 m	-0.137043 m
Point 75	0.15317 m	-0.137043 m
Point 76	0.15317 m	85.467172 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	Omog	29;30;31;51;50;49;47;46;45;44;43;42;41;40;39	286.42 m <sup>2</sup>
Region 2	Omog	39;40;41;42;43;44;69;47;49;52;53;54;55;56;57;58;59;60;61;62;63;64;65;66;67;68	578.62 m <sup>2</sup>
Region 3	Omog	1;27;26;25;38;23;22;21;20;19;18;17;16;15;14;13;12;11;10;9;8;7;6;5;4;3;2	1,886.1 m <sup>2</sup>
Region 4	Omog	36;35;34;70;33;71;72;32;73;31;30;29;28;21;22;23;38;25;26;27;1;37	1,102.5 m <sup>2</sup>
Region 5	Omog	68;67;66;65;64;63;62;61;60;59;58;57;56;55;54;53;52;49;50;51;31;73;32;72;71;33;70;34;35;36;76;75;74	17,217 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 4333 of 4851 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 1

Factor of Safety: 0.935  
 Volume: 2,439.7119 m<sup>3</sup>  
 Weight: 46,354.525 kN  
 Resisting Moment: 12,812,117 kN·m  
 Activating Moment: 13,707,857 kN·m  
 Slip Rank: 321 of 4,851 slip surfaces  
 Exit: (300; 32.292875) m  
 Entry: (45; 81.448262) m  
 Radius: 1,575.3594 m  
 Center: (469.67185; 1,598.4884) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	47.39828 m	80.780985 m	3.1072056 kPa	5.7213902 kPa	1.0034915 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 2	53.64627 m	79.059643 m	11.057493 kPa	20.375685 kPa	3.5769191 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 3	62.508985 m	76.664352 m	24.995631 kPa	46.108266 kPa	8.1043812 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 4	71.280795 m	74.340627 m	40.599458 kPa	74.970242 kPa	13.193708 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 5	78.798405 m	72.395397 m	53.42313 kPa	98.738534 kPa	17.394954 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 6	88.11693 m	70.044758 m	68.52654 kPa	126.79363 kPa	22.366642 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 7	96.72008 m	67.915264 m	81.770024 kPa	151.45266 kPa	26.748659 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 8	104.87893 m	65.956038 m	93.430256 kPa	173.21723 kPa	30.62735 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 9	114.46783 m	63.703079 m	104.93623 kPa	194.77057 kPa	34.484171 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 10	124.67827 m	61.380134 m	115.03961 kPa	213.78207 kPa	37.903677 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 11	134.98265 m	59.099478 m	125.14726 kPa	232.84982 kPa	41.343138 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 12	143.88793 m	57.189552 m	133.72705 kPa	249.07623 kPa	44.278402 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 13	152.56366 m	55.381228 m	142.02694 kPa	264.80754 kPa	47.131054 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 14	160.41274 m	53.78683 m	148.83268 kPa	277.75502 kPa	49.488651 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 15	167.43517 m	52.397475 m	154.23137 kPa	288.06984 kPa	51.375777 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 16	174.041 m	51.11985 m	159.02238 kPa	297.25104 kPa	53.061011 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog

Slice 17	180.82157 m	49.841114 m	162.20917 kPa	303.45173 kPa	54.217938 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 18	186.67938 m	48.75702 m	163.73709 kPa	306.52291 kPa	54.81034 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 19	189.19447 m	48.298322 m	164.32677 kPa	307.7186 kPa	55.042964 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 20	194.82279 m	47.299778 m	159.12806 kPa	298.1824 kPa	53.37796 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 21	203.63508 m	45.759 m	150.13131 kPa	281.61816 kPa	50.473069 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 22	211.56844 m	44.422881 m	141.53193 kPa	265.73745 kPa	47.678031 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 23	220.38073 m	42.98495 m	131.52657 kPa	247.2102 kPa	44.406786 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 24	230.27344 m	41.435238 m	119.13982 kPa	224.19218 kPa	40.325825 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 25	236.01446 m	40.553511 m	111.40541 kPa	209.78115 kPa	37.762908 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 26	240.34325 m	39.91585 m	103.19338 kPa	194.41765 kPa	35.017718 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 27	248.79907 m	38.695917 m	86.900352 kPa	163.88633 kPa	29.552147 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 28	254.02197 m	37.959206 m	76.688571 kPa	144.71789 kPa	26.114008 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 29	258.44174 m	37.358757 m	67.895444 kPa	128.19204 kPa	23.145696 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 30	265.59844 m	36.407103 m	53.454995 kPa	101.01355 kPa	18.256021 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 31	274.12892 m	35.320139 m	37.284696 kPa	70.528482 kPa	12.761094 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 32	284.03316 m	34.113008 m	19.23605 kPa	36.430439 kPa	6.6003077 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 33	294.38608 m	32.920668 m	5.1119301 kPa	9.7244709 kPa	1.7705885 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 34	299.87783 m	32.306118 m	0.08410856 kPa	0.21824153 kPa	0.051488822 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog
Slice 35	299.98439 m	32.294567 m	- 0.014449083 kPa	0.027446768 kPa	0.010535827 kPa	0 kPa	0 kPa	Omog