



COMUNE DI VARESE  
Via Sacco, 5 - 21100 Varese (VA)

## OPERE DI SISTEMAZIONE VERSANTI PROSPICIENTI VIA PIANA DI LUCO

PROGETTO ESECUTIVO

DATA  
OTT 2024

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

CODICE  
PDL  
3.02

SCALA  
-  
REV.  
00

I progettisti

Ing. Alessandro Balbo  
Ordine Ingegneri Milano - N. A22903

Ing. Giacomo Galimberti  
Ordine Ingegneri Como - N. 2171A

Dott. Geol. Roberto Carimati  
Ordine Geologi Lombardia- n.344 AP

Dott. Geol. Giovanni Zaro  
Ordine Geologi Lombardia- n.427 AP

Gruppo di lavoro  
Arch. Domenico Avati  
Ing. Gea Bresciani  
Ing. Daniele Recalcati  
Ing. Roberta Romiti



REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
00	10/2024	PRIMA EMISSIONE

## INDICE

PREMESSA .....	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA .....	3
2. NORMATIVA E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	7
3.1 Geologia .....	7
3.2 Inquadramento geomorfologico .....	10
3.2.1 Rilievo geomorfologico di dettaglio .....	10
3.2.2 Tipologia dei dissesti .....	6
3.3 Inquadramento idrogeologico .....	9
3.4 Cenni di idrografia .....	12
4. VINCOLI, RISCHIO IDROGEOLOGICO, PIANIFICAZIONE COMUNALE .....	14
4.1 Vincoli .....	14
4.2.1 Vincoli da PGT .....	14
4.2.2 Vincolo idrogeologico .....	15
4.2 Rischio idrogeologico .....	16
4.3 Fattibilità geologica .....	16
4.4 Rischio sismico .....	22
5. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	25
5.1 Definizione della categoria di sottosuolo .....	26
5.1.1 Interpretazione dei dati e modello sismico del sottosuolo .....	26
5.1.2 Categoria di sottosuolo e periodo di riferimento al sito .....	27
5.2 Categoria topografica .....	28
5.3 Parametri sismici .....	28
5.4 Sicurezza nei confronti della liquefazione .....	29
6. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	31
6.1 Prove penetrometriche dinamiche (DPSH) e correlazione con standard penetration test (SPT) - note metodologiche .....	33
6.2 Sondaggi geognostici .....	36
6.2.1 Prove SPT in foro .....	38
6.2.2 Prove di permeabilità a carico variabile .....	38
7. DEFINIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPO DI VARIABILITÀ DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	43
8. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....	45
9. DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	49
9.1 Parametri geomeccanici .....	50
10. INTERVENTI IN PROGETTO .....	51
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	53

Appendice 1 – Prove penetrometriche dinamiche 2024; Restituzioni grafiche

Appendice 2 – Prove penetrometriche dinamiche 2021; Restituzioni grafiche

Appendice 3 – Sondaggio Geognostico S1; Stratigrafia; Documentazione fotografica

Appendice 4 – Sondaggio Geognostico S2; Stratigrafia; Documentazione fotografica

Appendice 5 – Sezioni geotecniche interpretative

## PREMESSA

La strada di via Piana di Luco percorre un tratto di valle con versanti instabili caratterizzati, in condizioni di piovosità intensa, da ruscellamenti concentrati provenienti dai pianalti sovrastanti. Questi episodi di ruscellamento concentrato portano sul sedime stradale notevoli quantità di materiali detritici, che rendono di fatto inagibile la strada.

Lo scenario con lieve intensità di precipitazione, non si attiva. Il rischio idrogeologico del comparto richiede quindi un intervento di messa in sicurezza attraverso la realizzazione di un fosso di guardia al termine dei pianalti, per condurre le acque a valle del tratto stradale e realizzando opere di presidio sul versante lungo le tracce di ruscellamento, ormai ben definite.

Le problematiche di stabilità investono anche le piante presenti sul versante che spesso cadono sulla strada, che è a rischio sia per il crollo di piante sia per il ruscellamento di acque e detriti sul sedime.

La presente relazione descrive la situazione idrogeologica ed in particolare il dissesto diffuso sul versante analizzando le problematiche emerse e fornisce un elaborato tecnico al Progettista incaricato per la realizzazione delle opere i necessari parametri, ai sensi della normativa vigente, attraverso la definizione del modello geologico del sottosuolo e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, considerando gli esiti delle indagini eseguite e dei calcoli geotecnici svolti.

2  
88

L'intervento verrà realizzato dal Comune di Varese con finanziamento del Ministero dell'Interno ai sensi della Legge n. 145 del 2018 art. 1, comma 139 e seg.

La componente geologica è stata redatta in conformità a:

1. D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (nel seguito "NTC") (paragrafo § 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito").
2. D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011.

La componente geotecnica è stata redatta in conformità a:

1. D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (nel seguito "NTC") (paragrafo § 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica").

# 1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA

L'area oggetto della presente indagine corrisponde al versante che borda in destra idrografica via Piana di Luco, strada di collegamento tra viale Borri e la rotatoria esistente in prossimità del confine con il comune di Gazzada Schianno.

In concomitanza con consistenti eventi meteorologici, il versante è interessato da fenomeni di erosione concentrata e diffusa con conseguente convogliamento di quantità ingenti di acqua e detriti sulla sede stradale, causandone l'interruzione.

L'area di studio è indicata in visione d'assieme in figura 1.1, e, in maggior dettaglio, in figura 1.2.

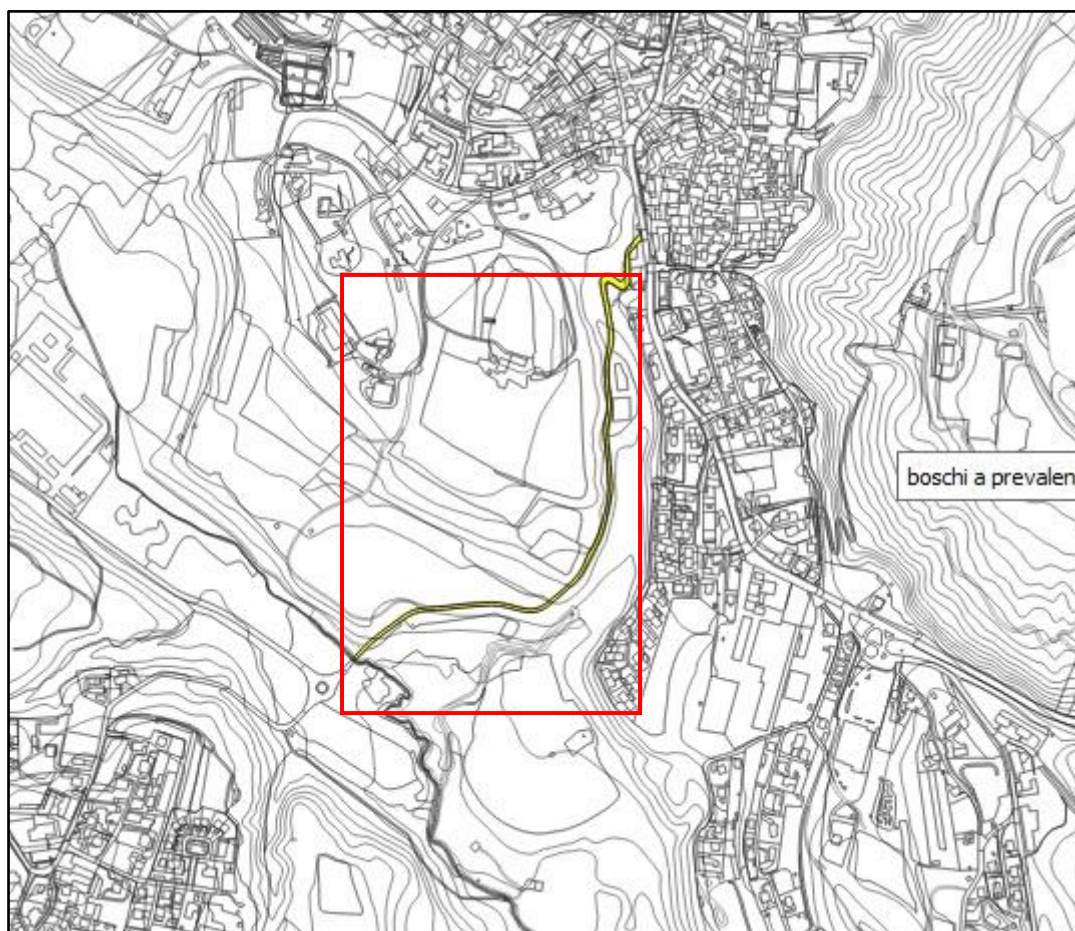


Figura 1.1 – vista d'assieme dell'area Riquadro rosso. In giallo è indicata la via Piana di Luco (estratto da DBGT regionale).

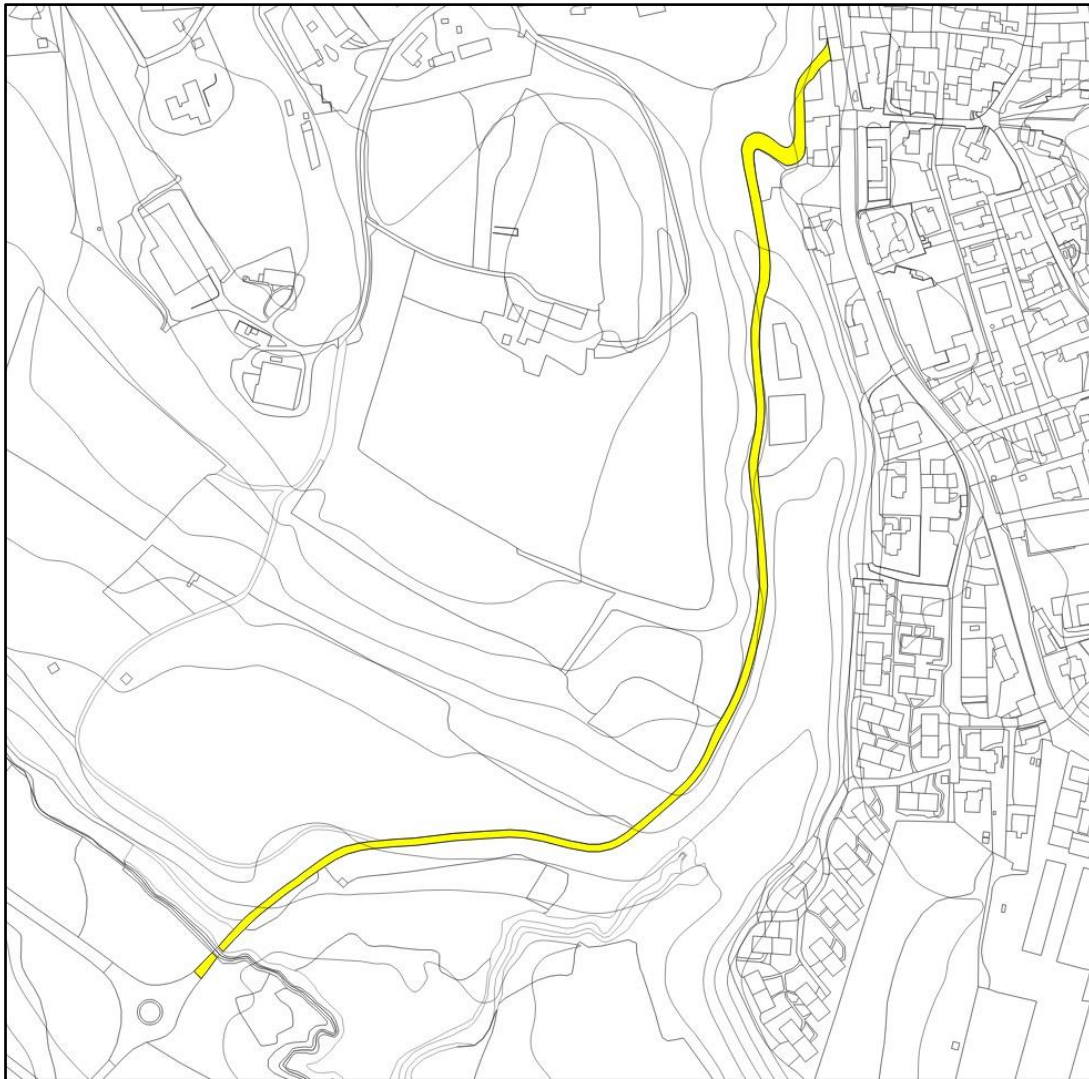


Figura 1.2 – dettaglio dell'area di intervento (estratto da DBGT regionale).

## 2. NORMATIVA E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- D.M.LL.PP. 11/03/1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circolare LL. PP. 24.09.1988 n. 30483 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”. Istruzioni per l'applicazione.
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali (UNI ENV 1997-1:1997).
- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 24 maggio 2001 G. U. n. 183 8 agosto 2001).
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 2: Progettazione assistita da prove di laboratorio (UNI ENV 1997-2:2002).
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita da prove in sito (UNI ENV 1997-3:2002).
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture-Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (EN 1998-5:2003).
- Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 ss.mm.ii. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 “Legge per il governo del territorio” (B.U.R.L. n. 11 del 16 marzo 2005, 1° S.O.) ss.mm.ii.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ordinanza n. 3519 del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Assemblea Generale - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Decreto Ministeriale 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - n. 8).
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare 08 settembre 2010, n. 7617 / STC “Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove sui materiali da costruzione di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001”.

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare 08 settembre 2010, n. 7618 / STC “Criteri per il rilascio dell’autorizzazione ai Laboratori per l’esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce di cui all’art. 59 del D.P.R. n. 380/2001”.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare 08 settembre 2010, n. 7619 / STC “Criteri per il rilascio dell’autorizzazione ai Laboratori per l’esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all’art. 59 del D.P.R. n. 380/2001”.
- Deliberazione Giunta Regionale 30 novembre 2011, n. 2616 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”.
- Deliberazione Giunta Regionale 11 luglio 2014, n. X/2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”.
- Deliberazione Giunta Regionale 10 ottobre 2014 - n. X/2489 “Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»”.
- Deliberazione Giunta Regionale 8 ottobre 2015 - n. X/4144 “Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»”.
- L.R. 12 ottobre 2015 n. 33 – “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche” (B.U.R.L. n. 42, Suppl. del 16 ottobre 2015).
- Deliberazione Giunta Regionale 30 marzo 2016 - n. X/5001 “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)” (B.U.R.L. n. 11 del 16 marzo 2005, 1° S.O.).
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale” (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006) e s.m.i
- Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101 Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom .... e riordino della normativa di settore... ; (GU n.201 del 12-08-2020 - Suppl. Ordinario n. 29)
- Deliberazione Giunta Regionale 15 dicembre 2022 – n. XI/7564 “Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12).

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area di indagine ricade nell'unità tettonica delle Alpi meridionali o Sudalpino, e più precisamente nel settore pedemontano delle Prealpi Lombarde Occidentali caratterizzato dalla prevalenza di terreni continentali quaternari del Pleistocene medio e superiore (Wurm e Riss p.p. Auct.) riferibili all'Allogruppo di Besnate, che si alternano in una articolata successione di facies glaciali s.l., glacio-lacustri, margino-glaciali e fluvioglaciali a costituire blandi rilievi collinari e terrazzi morfologici espressione di antichi livelli della pianura aggradati durante le glaciazioni del Pleistocene medio, variamente incisi dai corsi d'acqua attuali.

La serie medio-pleistocenica ricopre a sua volta una complessa successione glaciale e fluviale espressione di fasi glaciali plioceniche (serie pre-Ceppo) suturata da conglomerati fluviali (Ceppo dell'Oloni), o poggia direttamente sul substrato gonfolitico di età Oligo-Miocenica affiorante in corrispondenza degli alvei maggiormente incisi ed interessato da depressioni e valli sepolte ereditate dall'idrografia miocenica colmate da successioni marine e continentali di età pliocenica.

#### 3.1 GEOLOGIA

Dal punto di vista geologico nell'area di interesse e in un suo significativo intorno sono presenti le seguenti unità geologiche (figura 3.1):

- **Ceppo dell'Oloni (Pleistocene Inferiore)**

Il Ceppo dell'Oloni è una formazione costituita in prevalenza da conglomerati grossolani, a supporto clastico o di matrice sabbiosa e ghiaiosa fine, organizzati in grossi banchi di spessore variabile da 80 a 300 cm, con clasti subarrotondati, mal classati e dimensioni massime di 60 cm. La composizione petrografica è poligenica, dominata da rocce carbonatiche e rocce cristalline, con rocce vulcaniche minoritarie. In subordine sono presenti arenarie e sabbie grossolane a laminazione piano-parallela orizzontale o incrociata a piccola scala. La cementazione è variabile, da forte a scarsa/assente.

Il Ceppo struttura i pianalti di questo settore della città di Varese, affiorando diffusamente lungo i loro versanti, in corrispondenza della Valle dell'Oloni e della Valle della Bevera.

- **Allogruppo di Besnate (Pleistocene superiore)**

L'Allogruppo di Besnate è l'espressione sedimentaria delle fasi glaciali ed interglaciali

würmiane ed è costituito da depositi glaciali e fluvioglaciali.

In generale, presenta un profilo di alterazione mediamente evoluto (spessore massimo 2-2,5 m), caratterizzato, in media, da un 15-20% di clasti alterati; il colore della matrice è 10YR, con punte di 7.5YR. In genere è presente una copertura loessica a prevalenti sabbie limose e limi sabbiosi.

- depositi glaciali: sono costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice limosa o sabbioso limosa, più raramente debolmente argillosa, con clasti eterometrici, da subarrotondati a subspigolosi. Nelle porzioni basali sono comuni till d'alloggiamento sovraconsolidati.

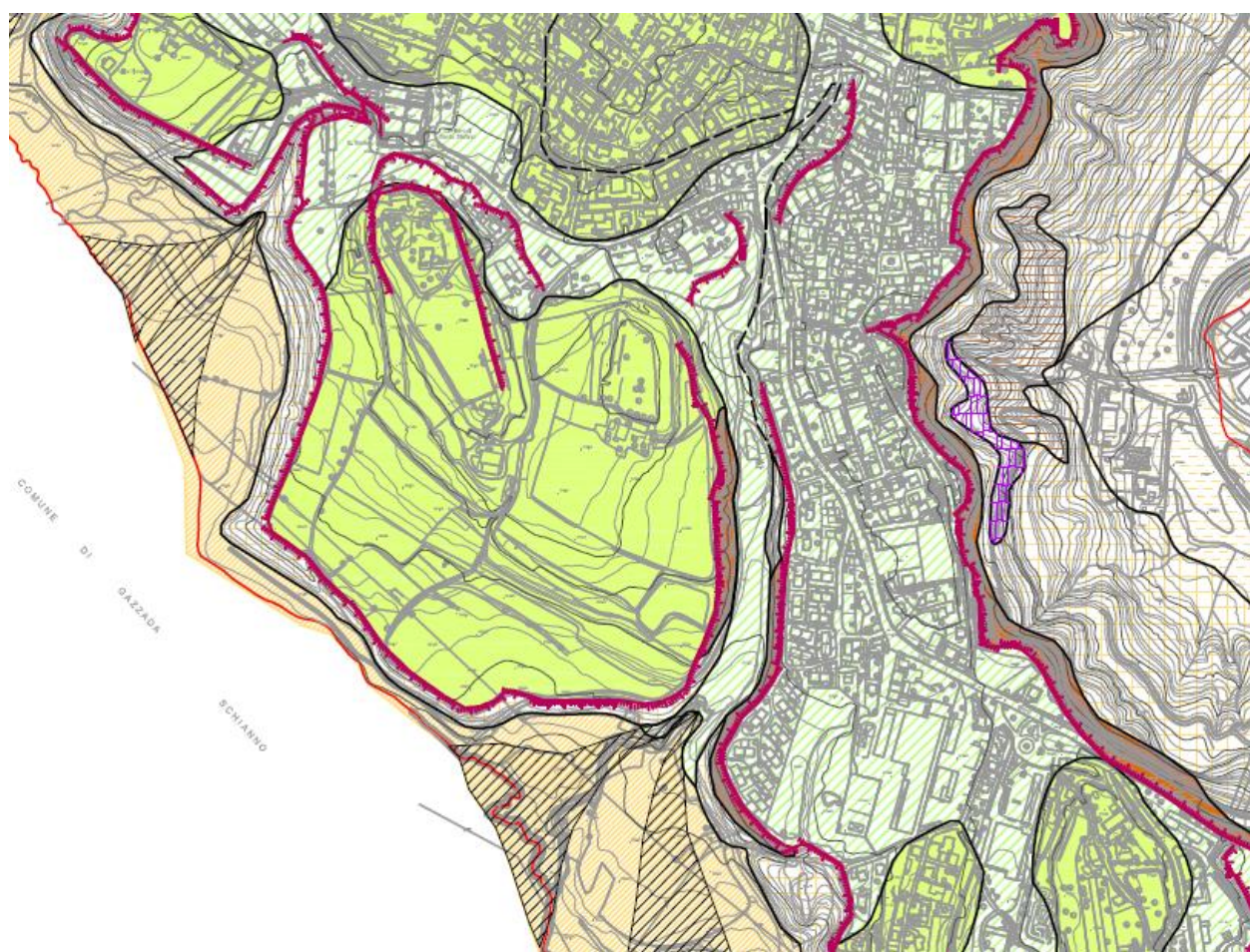
- depositi fluvioglaciali: sono costituiti da sabbie e ghiaie con componente limosa variabile sia a supporto clastico che di matrice sabbiosa medio-fine, spesso stratificate. I clasti sono ben selezionati e arrotondati, con dimensioni massime di circa 40 cm. Localmente i depositi fluvioglaciali possono essere costituiti da sabbia grossolana pulita a laminazione piano-parallela.

Da un punto di vista morfologico, l'Allogruppo di Besnate presenta delle forme ben conservate ed evidenti che formano una cerchia morenica con andamento prevalente NW-SE, a cui associano frequenti dossi, di minore estensione ed evidenza, ma di indubbia genesi glaciale.

#### • **Unità Postglaciale**

Nell'area d'interesse l'unità Postglaciale è rappresentata unicamente da depositi di versante. Dal punto di vista pedologico si caratterizzano per l'assenza di alterazione tra i clasti e una matrice non rubefatta (in prevalenza 2,5Y).

Litologicamente sono costituiti da sabbie limose o limi sabbiosi con diffusi clasti eterometrici, ad arrotondamento variabile (colluvi), associati a movimenti gravitativi lungo i versanti.



	<b>serie Pre-Ceppo</b>	Unità della Fornace	Sabbie limose da laminate a massive con orizzonti di ghiaia e limi
		Unità di Vinirolo	Alternanze di sabbie, limi e subordinate ghiaie; limi argillosi da laminati a massivi e diamictiti; arenarie e sabbie; diamictiti
		Unità del Boderi	Conglomerati a prevalente matrice arenacea-sabbiosa; grado di cementazione variabile
	<b>Ceppo</b>	Ceppo dell'Olon	Conglomerati grossolani a supporto clastico e di matrice
	<b>Alloformazione di Cantù</b>	Depositi glaciali	Depositi a litologia varia; superficie limite superiore con spessore dei suoli fino a 3 m; copertura loessica semplice, spesso assente.
		Depositi fluvio-glaciali grossolani e fini	
		Depositi di concolite	
	<b>Unità Postglaciale</b>	Depositi di concolite	Depositi a litologia varia; superficie limite superiore con suoli poco evoluti
		Depositi lacustri / fluvio-lacustri	
		Depositi palustri	
		Depositi di versante	
		Depositi fluviali	
		Depositi antropici	Depositi di copertura antropica di varia natura e origine

Figura 3.1 – Inquadramento geologico e geomorfologico (Stralcio Tav. 1 Foglio 2 - *Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica*; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014)

## 3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di intervento si colloca in un settore di territorio parte dell'estesa piana fluvioglaciale polifasica, interrotta da numerosi alti glaciali e cordoni morenici e terrazzata lungo il bordo.

Il pianalto ed i fondovali alluvionali sono connessi da una fascia di versante ad acclività medio elevata, caratterizzata, sovente, da fenomeni erosivi spinti e/o di potenziale dissesto, legati all'azione della gravità, alle scadenti caratteristiche geotecniche dei depositi ed all'azione delle acque di dilavamento superficiale.

### 3.2.1 Rilievo geomorfologico di dettaglio

Il rilievo ha interessato la scarpata che risale verso ovest dal tracciato di via Piana di Luco, soggetta a fenomeni di ruscellamento diffuso e concentrato con trasporto di materiale solido e accumulo lungo la sede stradale.

In particolare, con riferimento alla figura 3.2:

#### - Solchi di ruscellamento

Sono stati individuati 5 solchi di ruscellamento di cui 2 minori e tre principali, di seguito descritti:

**R1** solco di ridotta ampiezza con alta scarpata (2 m circa) al ciglio in marcata erosione;

**R2** solco di modesta ampiezza, di formazione recente

**R3** solco principale profondamente inciso nel versante con un'ampiezza media di 1,5-2 m. Nella parte centrale affiora un conglomerato con limite superiore ad organi geologici (pilastrici conglomeratici contigui a tasche di materiale alterato). Conglomerato poligenico a prevalente supporto clastico (clasti centimetrici e in subordine decimetrici) con matrice arenacea. Cementazione buona. Nella tasca sabbie limoso argillose a contenuto clastico variabile;

**R2 e R3** hanno origine da una ridotta superficie ribassata, sottostante lo spigolo della scarpata a direzione E-W tra la piana principale e il primo livello terrazzato. Il settore, per quanto di dimensioni ridotte, è molto dissestato sia per la presenza di un marcato solco di ruscellamento concentrato che per erosione laminare.

In corrispondenza del bordo della superficie ribassata il solco principale origina R3 sul versante, mentre un solco secondario, generato da una parziale occlusione del principale, innesca R2.

**R4-R4a** solco principale con formazione di un impluvio di ampiezza decametrica in testata. Nella parte centrale affioramento di un conglomerato a supporto clastico con scarsa matrice arenacea (clasti 1-3 centimetri prevalenti). Immediatamente il solco si biforca: ramo di sinistra attivo (R4) e in moderato approfondimento; ramo di destra debolmente attivo (R4a);

**R5** solco minore poco accennato;

**R6** solco principale di ridotte dimensioni (1-1,5 m) che si espande in prossimità del ciglio della scarpata con formazione di un impluvio. Scorrimento idrico attivo alimentato da un canale di *piping* (diametro 35 cm) che fuoriesce circa 4 m al di sotto dell'orlo da depositi massivi di sabbie limose

debolmente argillose/argillose con clasti sparsi. Sulla parete di destra innesco di piccolo scorrimento rotazionale con scarpata submetrica;

**R7** solco di ruscellamento inattivo (sezione subcircolare svasata, inerbito).



Figura 3.2 rilievo geomorfologico della scarpata (Rx=ID solchi di ruscellamento; marrone=affioramenti di conglomerato; verde=impluvio; giallo=via Piana di Luco). Base topografica derivata da aerofotogrammetria da drone

## - Settori del versante

Il versante può essere suddiviso in tre distinti settori (figura 3.3):

**Settore 1:** compreso tra il termine della scarpata principale (dislivello 10 m circa) e R4. Caratterizzato da: pendenze elevate, diffusa instabilità superficiale di bassissima magnitudo; creep molto accentuato; morfologia irregolare per emergenze del substrato conglomeratico.

**Settore 2:** compreso tra R4 e R5. Caratterizzato versante regolarizzato con vegetazione più rada e assenza (o comunque riduzione) di instabilità areale. Creep poco sviluppato.

**Settore 3:** compreso tra R5 e il termine nord dell'area di previsto intervento. Settore relativamente poco omogeneo, simile a 1, caratterizzato da moderata instabilità superficiale, creep accentuato, versante irregolare a media acclività con vegetazione densa.

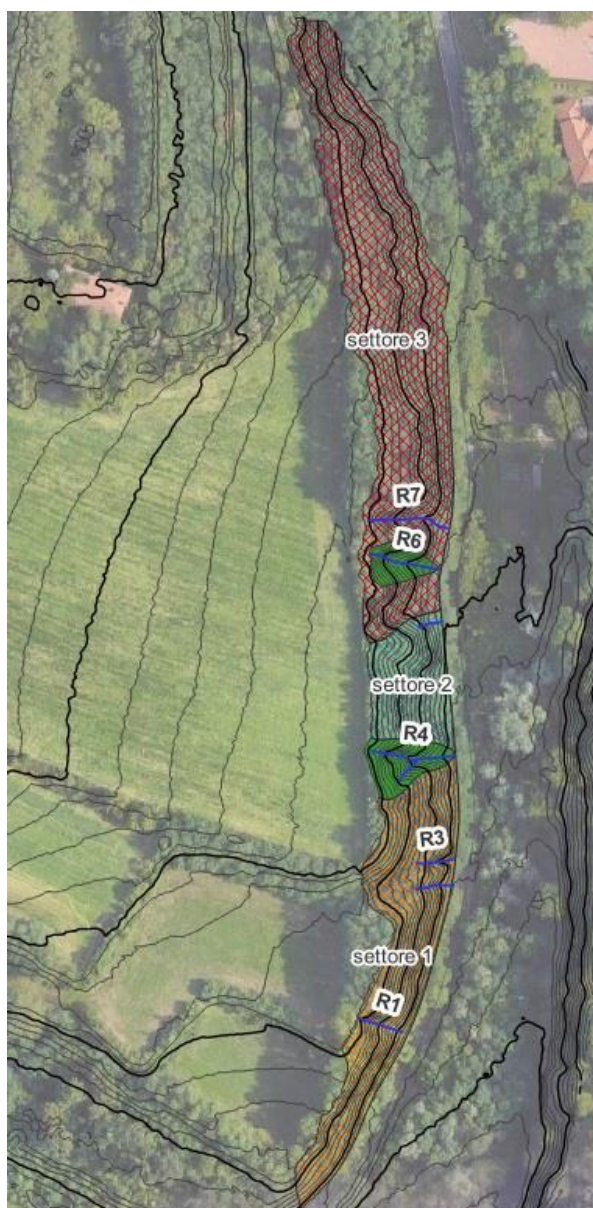


Figura 3.3 suddivisione indicativa in settori del versante

### - Caratterizzazione dei conglomerati

In corrispondenza di due affioramenti di conglomerati lungo i solchi di ruscellamento sono state effettuate alcune misure speditive con lo sclerometro (assumibili come proxy della resistenza alla compressione monoassiale della roccia):

- **RL1:** misure effettuate su superficie suborizzontale in corrispondenza della matrice arenacea in R2.  
Rn 18-26-24-22-26-20-16-18-26 **RL medio = 21,8**
- **RL2** misure su superficie subverticale irregolare di conglomerato a ciottoli centimetrici in R3  
Rn 20-15-12-14-26-12-20-12-14 **RL medio = 17,4**

### - Bacini

Il bacino principale è stato suddiviso in 5 sottobacini (figura 3.4) con le seguenti aree:

<b>SB1</b>	11.100 mq
<b>SB2</b>	31.790 mq
<b>SB3</b>	4.870 mq
<b>SB4</b>	9.240 mq
<b>SB5</b>	25.525 mq
<b>bacino totale</b>	82.530 mq

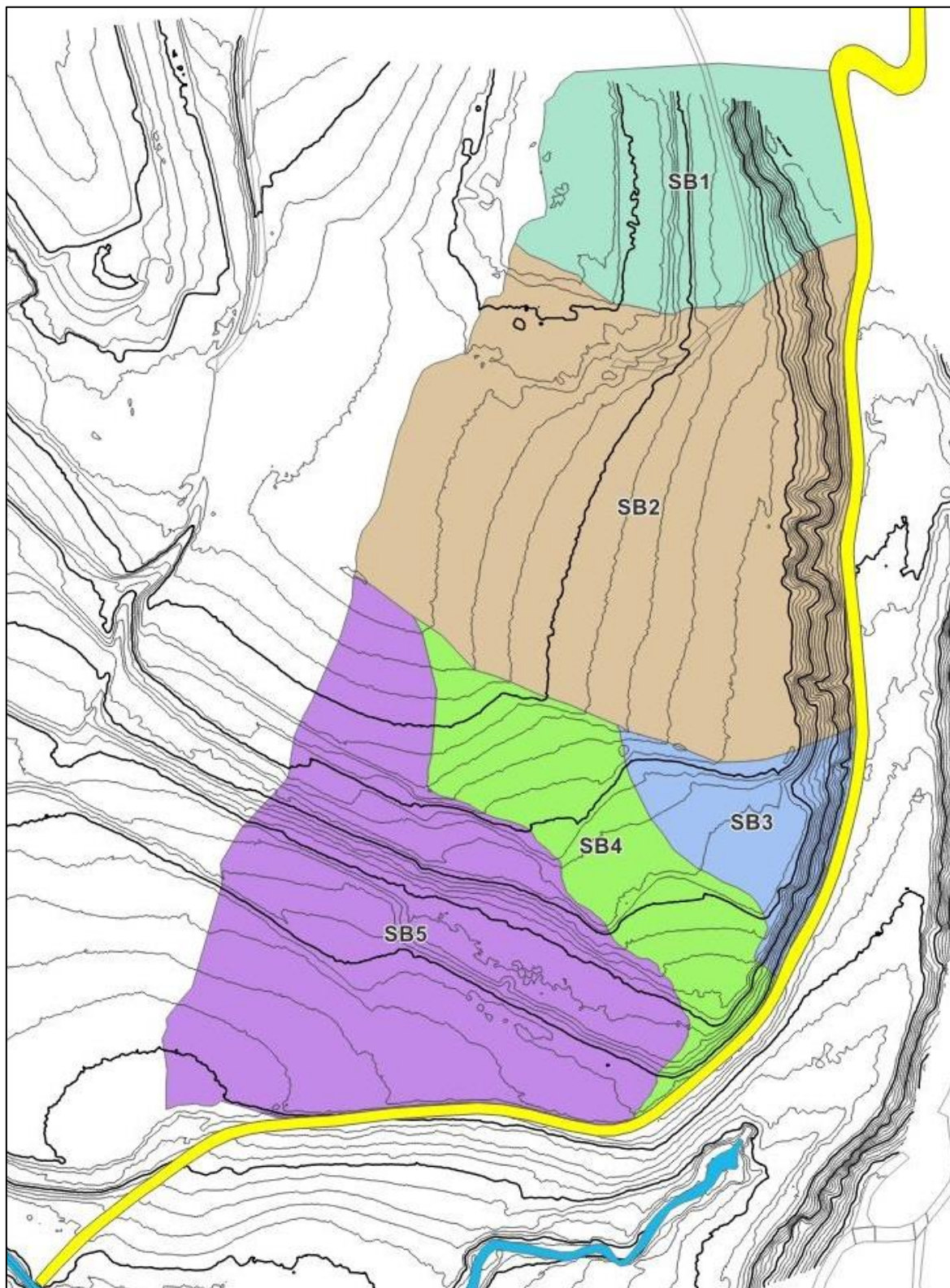


Figura 3.4 Divisione in sottobacini dell'area di intervento (giallo = via Piana di Luco). Base topografica: aerofotogrammetrico da drone



Figura 3.5      Panoramica dell'area sommitale (Sottobacino 2)



Figura 3.6      Limite piana sommitale-scarpata boscato (Sottobacino 2)

### 3.2.2 Tipologia dei dissesti

Le cause dei dissesti osservati lungo la valle sono da ricercarsi sostanzialmente in fattori topografici e fattori litologici

1) i fattori topografici possono essere individuati in:

- presenza di pianalti con inclinazione topografica verso la valle;
- scarpate acclivi di raccordo al fondovalle alluvionale

2) i fattori litologici consistono in:

- presenza di orizzonti subsuperficiali a bassa permeabilità, che rallentano la percolazione dell'acqua verso gli strati più profondi, determinando la formazione di deflusso superficiale e ristagni idrici;
- presenza di materiali erodibili (prodotti di alterazione dei conglomerati e litofacies fini di mediocri/scadenti caratteristiche tecniche) negli orizzonti superiori e in coperture colluviali sulle scarpate.

Il deflusso superficiale, generato dalla presenza di materiali a bassa permeabilità, viene convogliato a causa della pendenza del pianalto sommitale verso le scarpate dove innesca processi di erosione diffusa o concentrata su materiali di mediocre qualità geotecnica e facilmente erodibili.

Questi fenomeni determinano:

- la formazione di impluvi, con esposizione dei sedimenti erodibili, che evolvono per erosione progressiva o scivolamento superficiale (*soil slip*). Alla formazione di solchi di erosione può contribuire la formazione di condotti di *piping* con recapito in parete (es. R5);
- trasporto di materiale solido e accumulo lungo la sede stradale;
- allagamenti della sede stradale.



Figura 3.7 a) solco di ruscellamento (R3) nei depositi superficiali alterati (si noti il limite a organi geologici del Ceppo con tasche di materiale alterato che penetrano nel corpo del conglomerato), b) impluvio R4.



Figura 3.8 scivolamento superficiale con accumulo della colata fluidificata



Figura 3.9 condotta di piping alla sommità della scarpata (R6)

### 3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico l'area ricade nel settore pedemontano del comune di Varese, che si estende dalla base dei rilievi montuosi fino al lago di Varese e alla valle dell'Olona, in cui prevalgono le unità acquifere permeabili per porosità, coincidenti con i depositi continentali plio-pleistocenici.

Nello Studio Geologico di supporto al PGT, sono stati individuati i seguenti complessi idrogeologici (figura 3.10):

- **Complesso delle argille:** comprende una serie di unità plioceniche, prevalentemente a bassa permeabilità, in appoggio al substrato roccioso.

La successione comprende numerosi termini:

- Argille di Casanova Lanza: argille grigie e grigio-azzurre. spesso fossilifere, a permeabilità estremamente bassa; si rinvencono esclusivamente nelle stratigrafie dei pozzi;
- unità della Serie pre-Ceppo, costituite in prevalenza da diamicton glaciali e argille e limi glacio-lacustri.

Lo spessore del Complesso è assai variabile, in funzione prevalentemente della morfologia del substrato. I principali affioramenti sono distribuiti lungo i fiumi (T. Vellone, presso Vivirolo, F. Olona e T. Bevera presso Velmaio) e nelle valli della conca del Lago di Varese (Val Fornace, Valle Luna).

Il Complesso possiede in genere una bassa permeabilità; sono tuttavia presenti livelli di depositi grossolani che possono costituire acquiferi protetti di notevole interesse acquedottistico, captati dai pozzi della Bevera, e parzialmente dal Pozzo Tamagno.

- **Complesso Alluvionale:** è costituito da ghiaie e sabbie, spesso cementate (Ceppo dell'Olona) e possiede elevata permeabilità primaria e secondaria (quest'ultima nei settori con cementazione diffusa), che lo rende sede di risorse idriche sotterranee di importanza locale. Ricopre il Complesso delle argille e, a causa del contrasto di permeabilità, il contatto è spesso marcato da fronti sorgivi a soglia sottoposta, in genere non captati.

L'acquifero è sede di falde libere, in parte utilizzate per scopo idropotabile (pozzi ASPEM di Campi Lunghi, Tamagno e Valgella, Sorgenti di Velmaio, Sorgente Novellina, Sorgente Carnaga, Sorgente Ducati) e più diffusamente sfruttate per scopi industriali

I complessi descritti sono organizzati nell'Idrostruttura di Velmaio, delimitata dalla Valle Olona e dalla Val Bevera e suddivisa assialmente dalla Val Poscalla. L'idrostruttura è costituita dal Complesso alluvionale, localmente molto cementato, che poggia sul Complesso delle Argille, a bassa permeabilità. La falda è alimentata dall'infiltrazione diretta e, lateralmente, dal sistema della Valceresio.

I recapiti sono rappresentati dalle numerose sorgenti ai bordi dell'idrostruttura, captate attualmente o in passato per scopi industriali (Sorgente Galleria, Cartiera Sterzi, Sorgente "Ducati"), irrigui (Sorgenti del golf Belmonte) ed idropotabili (sorgenti ASPEM di Velmaio).

La vulnerabilità intrinseca nell'area di alimentazione è variabile da Alta a Media in funzione dello spessore dei depositi glaciali di copertura.

L'area di intervento ricade sul Complesso alluvionale, in cui non è stato possibile definire la superficie piezometrica, a causa dell'assenza di pozzi o piezometri. Non è pertanto definibile con precisione la circolazione idrica sotterranea; vista le similarità con il pianalto principale della città di Varese, si può ipotizzare una falda libera a soggiacenza molto elevata (plurimetrica), con la presenza di possibili falde sospese in corrispondenza degli orizzonti più permeabili dei depositi glaciali.

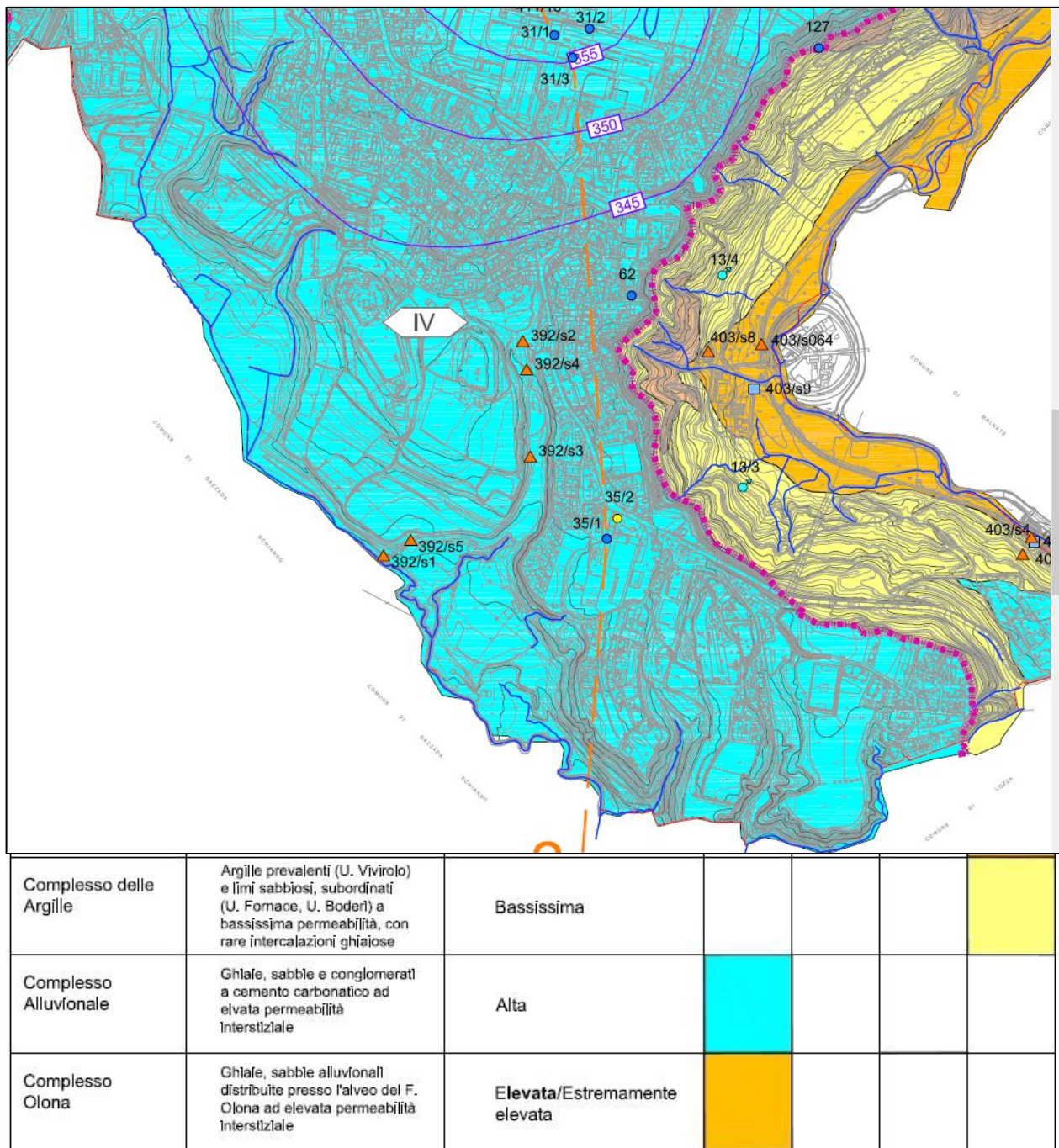


Figura 3.10 Inquadramento idrogeologico (Stralcio Tav. 2 Foglio 2 - *Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica*; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014).

### 3.4 CENNI DI IDROGRAFIA

Il reticolo idrico di interesse per l'area indagata comprende sia elementi del reticolo principale che elementi del reticolo minore (figura 3.11).

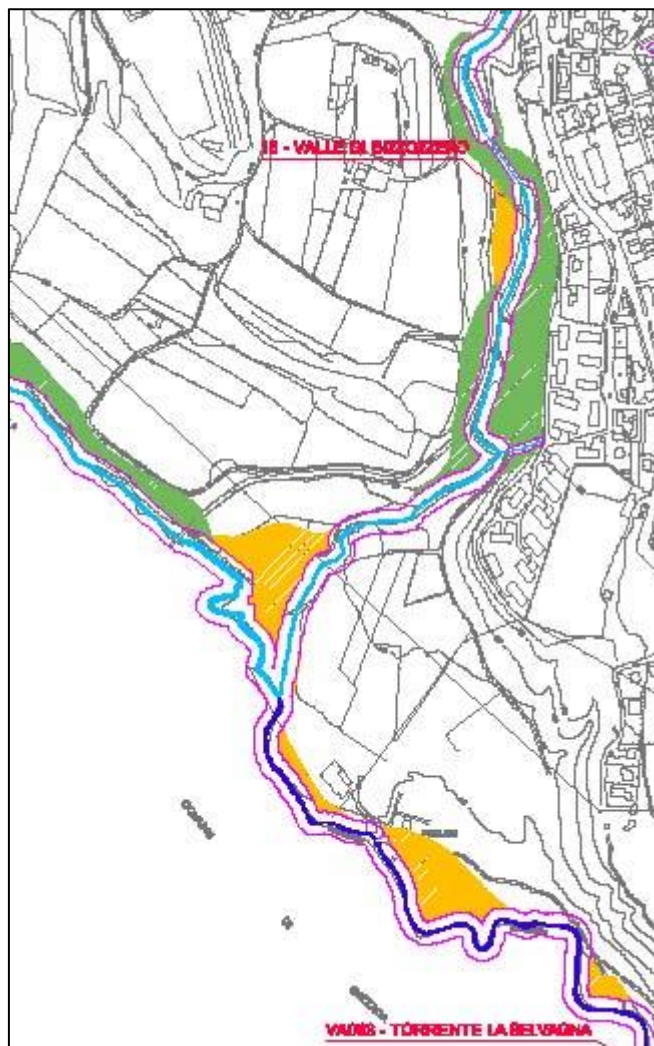


Figura 3.11 stralcio da "Individuazione del reticolo idrico principale e minore per il trasferimento delle funzioni di polizia idraulica" (Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. Parmigiani M., 2014). (azzurro= RIM; blu=RIP)

#### Reticolo idrico principale

Secondo l'Allegato A alla D.G.R. XII/1615 del 18/12/2023 appartiene al reticolo idrico principale il torrente la Salvagna:

N. progressivo	Denominazione	Tratto classificato come principale	N. iscr. El. AAPP
VA 063	Torrente la Salvagna	dallo sbocco del fiume Olona sino alla confluenza dei due rami in cui si divide a nord di Schianno	241/c

### **Reticolo idrico minore**

Sempre in riferimento all'area di interesse viene indicato come elemento del reticolo idrico minore il Torrente Valle di Bizzozero (n. progressivo 16).

Si sottolinea che nell'area d'interesse il Torrente la Selvagna viene classificato come pubblico solo a valle della confluenza con il Rio valle di Bizzozero.

## 4. VINCOLI, RISCHIO IDROGEOLOGICO, PIANIFICAZIONE COMUNALE.

### 4.1 VINCOLI

#### 4.2.1 Vincoli da PGT

Per quanto riguarda le limitazioni d'uso del territorio l'area di interesse vede la presenza di vincoli relativi alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua derivanti dalla presenza nell'asse vallivo di un corso d'acqua affluente del Torrente Selvagna identificato Valle di Bizzozzero da vincoli (figura 4.1 rif. Tav. 7 – Foglio 9 “Carta dei vincoli” alla scala 1:5.000 - *Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica*; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014).

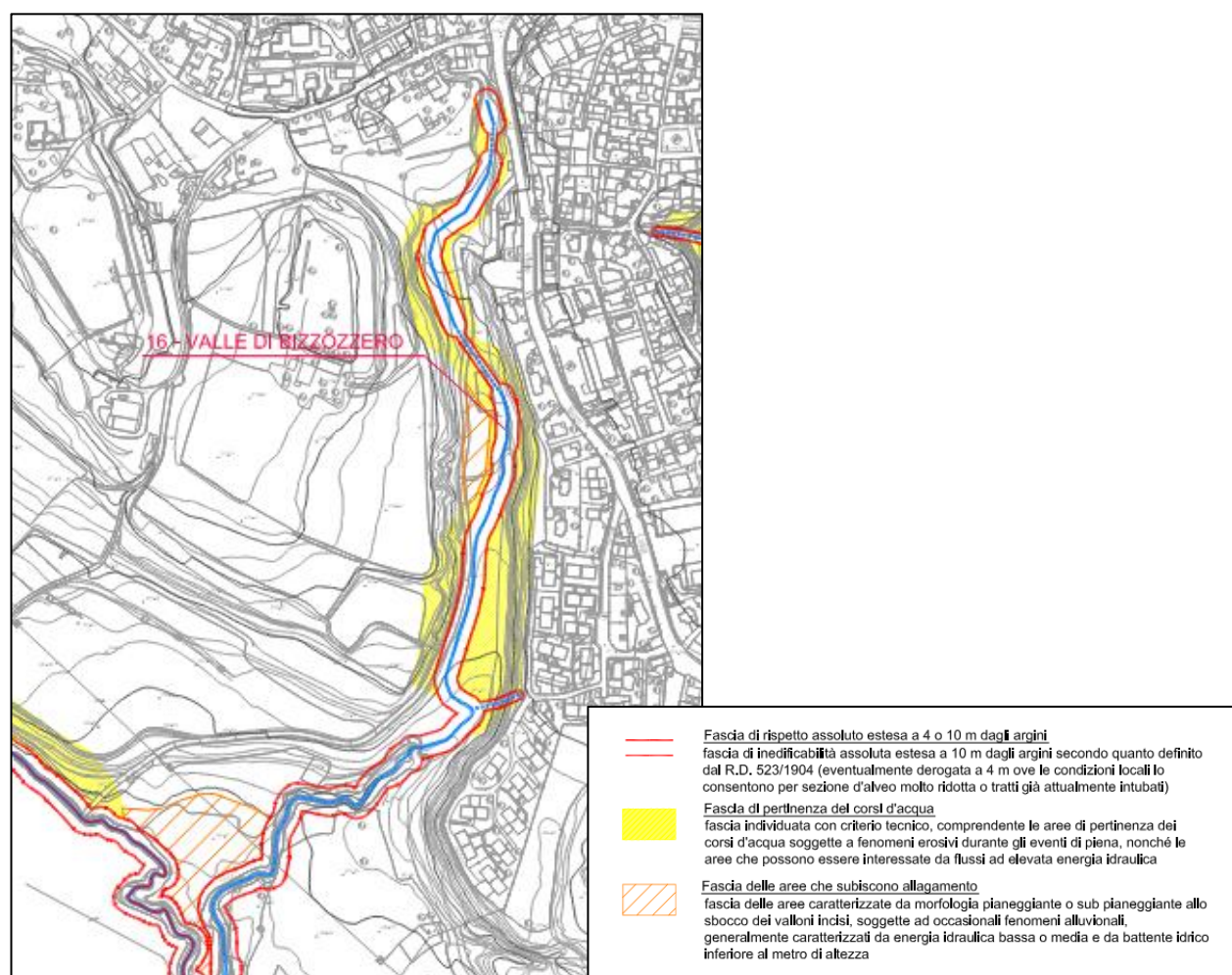


Figura 4.1 – vincoli (stralcio Tav. n.7 Foglio 9 “Carta dei vincoli” alla scala 1:4.000 - 2 - Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014)

#### 4.2.2 Vincolo idrogeologico

L'Art. 1 del Regio Decreto 30 dicembre 1923, n. 3267, introduce il vincolo idrogeologico per la protezione di terreni che “possono con danno pubblico subire denudazioni, perdere la stabilità o turbare il regime delle acque”.

L'area di interesse non è soggetta a tale vincolo, che si arresta in corrispondenza della valle del Rio di Bizzozzero (figura 4.2).

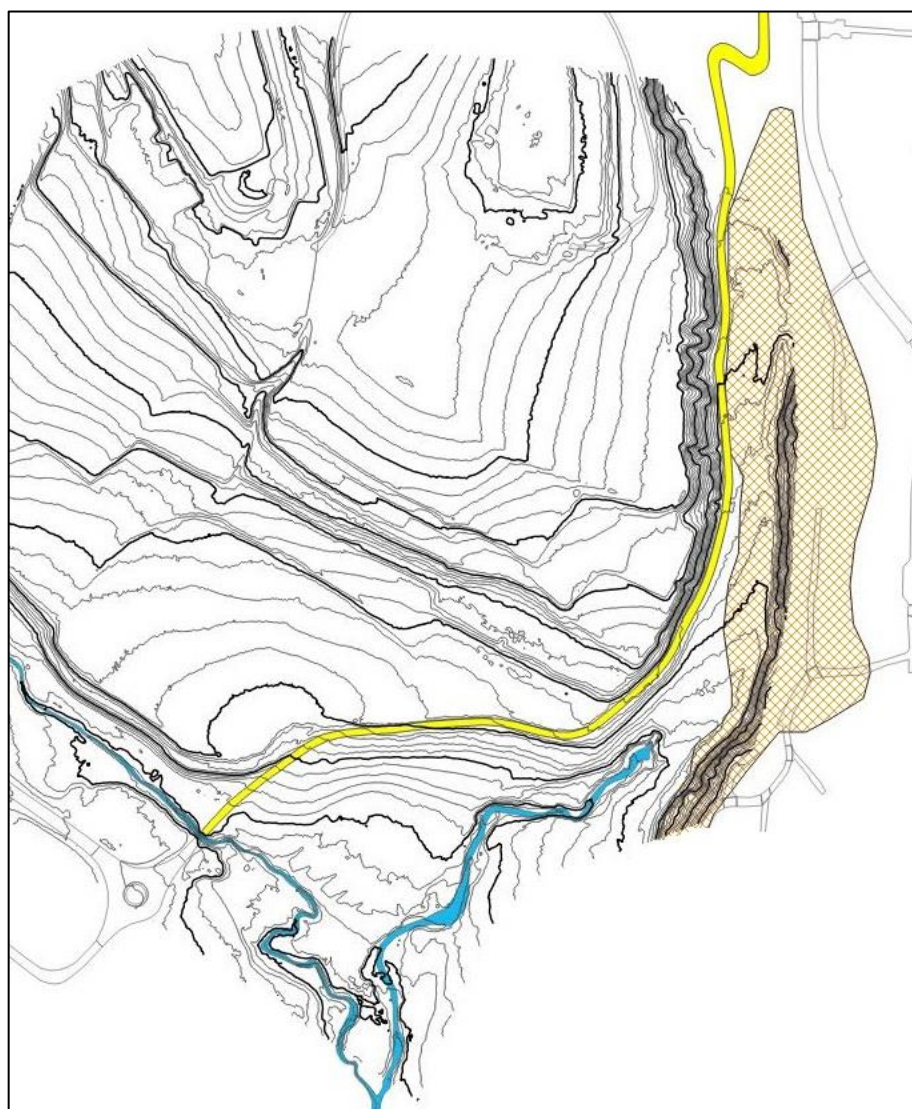


Figura 4.2 – vincolo idrogeologico (grigliato marrone)

## 4.2 RISCHIO IDROGEOLOGICO

L'area di interesse non risulta interessata dalle perimetrazioni del PAI e del PRGA.

Coerentemente la cartografia dello studio geologico comunale, presso l'area di interesse, non rileva alcuna perimetrazione del rischio.

## 4.3 FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Secondo quanto riportato nello studio geologico di supporto al PGT (figura 4.3), l'area di intervento si suddivide tra la classe di Fattibilità geologica **2GL** - depositi fluvioglaciali e fluviali (Fattibilità con modeste limitazioni), la Classe **2 Fgl** – depositi fluvioglaciali e fluviali – (fattibilità con modeste limitazioni), la classe di Fattibilità geologica **3AC** – aree ad acclività media, problematiche di radon (fattibilità con consistenti limitazioni) e la classe di fattibilità Classe **3 AL** allagamenti 9 (fattibilità con consistenti limitazioni).

Di seguito si riporta quanto indicato nelle NTA relativamente alle classi di fattibilità indicate.

### **Classe 2 GL – depositi glaciali (fattibilità con modeste limitazioni)**

Principali caratteristiche: Versanti debolmente acclivi ed aree a morfologia ondulata e/o subpianeggiante, in depositi glaciali indifferenziati, litologicamente costituiti da limi e argille massive inglobanti ciottoli e blocchi, da profondamente a poco alterati. Scadenti/discrete caratteristiche geotecniche entro i primi 10 m.

Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alla verifica delle caratteristiche portanti dei terreni e all'assetto geomorfologico ed idrogeologico dei terreni.

Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo (così come definiti dalla L.r. 12/05), nel rispetto delle normative vigenti.

Indagini di approfondimento necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT). Nel caso di opere che prevedano la realizzazione di vani interrati e l'effettuazione di scavi, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo (SV), al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere.

La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona D "produttiva" necessita la verifica dello stato di stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento d'Igiene Pubblica (ISS). Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs. 152/06 (Piano di Caratterizzazione/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di bonifica/POB).

Interventi da prevedere: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti per lo smaltimento delle acque meteoriche (RE) e quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE). Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario inoltre che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento in fognatura (CO) degli scarichi fognari e delle acque non smaltibili in loco. Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs. 152/06.

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nelle aree PSL (scenari Z3a, Z3b, Z4a, Z4c – aree retinate verdi), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), dovrà essere previsto il 2° livello di approfondimento in fase di pianificazione (Piano Attuativo) e il 3° livello di approfondimento in fase progettuale.

## **Classe 2 Fgl – depositi fluvioglaciali e fluviali – (fattibilità con modeste limitazioni)**

Principali caratteristiche: are a morfologia subpianeggiante o lievemente ondulate (settore del Pianalto di Varese e limitate porzioni di piana alluvionale dei corsi d'acqua minori), stabili, costituite da depositi fluvioglaciali e fluviali a ghiaie sabbiose e sabbioso-limose; presenza di limi in superficie.

Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alla verifica delle caratteristiche portanti dei terreni e alla salvaguardia dell'acquifero.

Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo (così come definiti dalla L.r. 12/05), nel rispetto delle normative vigenti.

Indagini di approfondimento necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT). Nel caso di opere che prevedano la realizzazione di vani interrati e l'effettuazione di scavi, dovrà essere valutata la stabilità dei fronti di scavo (SV), al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere.

La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona D “produttiva” necessita la verifica dello stato di stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento d'Igiene Pubblica (ISS). Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni, dovranno avviarsi le procedure previste dal

D.Lgs. 152/06 (Piano di Caratterizzazione/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di bonifica/POB).

Interventi da prevedere: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti per lo smaltimento delle acque meteoriche (RE) e quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE). Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario inoltre che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento in fognatura (CO) degli scarichi fognari e delle acque non smaltibili in loco. Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs. 152/06.

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nelle aree PSL (scenari Z3a, Z3b, Z4a, Z4b, Z4c – aree retinate verdi), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), dovrà essere previsto il 2° livello di approfondimento in fase di pianificazione (Piano Attuativo) e il 3° livello di approfondimento in fase progettuale.

### **Classe 3 AL - allagamenti (fattibilità con consistenti limitazioni)**

Principali caratteristiche: Aree pianeggianti o subpianeggianti, interessate da allagamenti in occasione di forti eventi meteorici connessi a insufficienze idrauliche degli alvei, rigurgiti in corrispondenza di tratti tombinati e/o attraversamenti, concentrazione di deflussi superficiali, rottura e/o riduzione di argini; energia idraulica bassa o media.

Parere sull'edificabilità: favorevole con consistenti limitazioni legate alla valutazione del rischio idraulico.

Tipo di intervento ammissibile: in quest'area sono ammesse opere edificatorie di tipo residenziale (edilizia uni-bifamiliare, plurifamiliare, edilizia pubblica) (opere tipo 1, 2), opere infrastrutturali (6). Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) e d) della l.r. 12/05 e s.m.i..

Indagini preventive necessarie: per le opere ammesse si rendono necessari studi di compatibilità idraulica locale (SCI) secondo l'Allegato 4 della D.G.R. 8/7374/2008 per le aree soggette a rischio idraulico, finalizzato alla verifica delle interferenze tra assetto idraulico ed intervento in progetto con individuazione delle opere di mitigazione del rischio sia in fase di cantiere che ad opere ultimate. Gli

studi idraulici forniranno le quote di allagamento locale al fine di definire le condizioni di progettazione delle opere.

Nel caso di interventi di demolizione con ristrutturazione senza aumento di volumetria, i vani abitati dovranno essere pertanto realizzati tenendo conto delle condizioni di rischio idraulico locale, ed in particolare dovranno essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- Realizzare le superfici abitabili e le aree sede dei processi industriali e degli impianti tecnologici a quote sopraelevate rispetto alla quota locale di allagamento.
- I nuovi piani seminterrati ed interrati o derivanti da modifiche di quelli già esistenti saranno costituiti unicamente da spazi di servizio senza locali con permanenza di persone (bagni, cucine, ecc...); inoltre dovranno essere previsti elementi strutturali permanenti di sbarramento idraulico continuo fino alla quota di allagamento locale.
- In caso di danni derivanti da fenomeni esondazione, il soggetto interessato deve rinunciare al risarcimento degli stessi nei confronti dell'organismo edilizio oggetto della pratica edilizia.

Sono comunque necessarie indagini geotecniche (IGT), con valutazione di stabilità dei fronti di scavo (SV) finalizzate alla progettazione delle opere e alla previsione delle opportune opere di protezione degli scavi o degli sbancamenti durante i lavori di cantiere. Interventi da prevedere: sono comunque da prevedere studi per il dimensionamento degli interventi di difesa del suolo (DS) e la loro realizzazione prima degli interventi edificatori, opere di regimazione idraulica (RE) per lo smaltimento delle acque superficiali e di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito. Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario che per ogni nuovo insediamento, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi fognari in fognatura e delle acque non smaltibili in loco (CO).

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo con all'Allegato A del decreto. Nelle aree PSL (scenari Z2b – aree retinate blu), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello. Nelle aree PSL (scenari Z4a, Z4c – aree retinate verdi), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), dovrà essere previsto il 2° livello di approfondimento in fase di pianificazione (Piano Attuativo) e il 3° livello di approfondimento in fase progettuale.

### **Classe 3 AC – 3AC’– aree ad acclività media, problematiche di radon (fattibilità con consistenti limitazioni)**

Principali caratteristiche: Aree di versante ad acclività media (da 15° a 25°) caratterizzate da substrato roccioso affiorante o ricoperte da depositi glaciale e/o colluviali, con possibile predisposizione a fenomeni di dissesto gravitativo ed erosione del suolo nelle aree a maggiore acclività. Problematiche di emissione naturale di radon nella classe 3AC’.

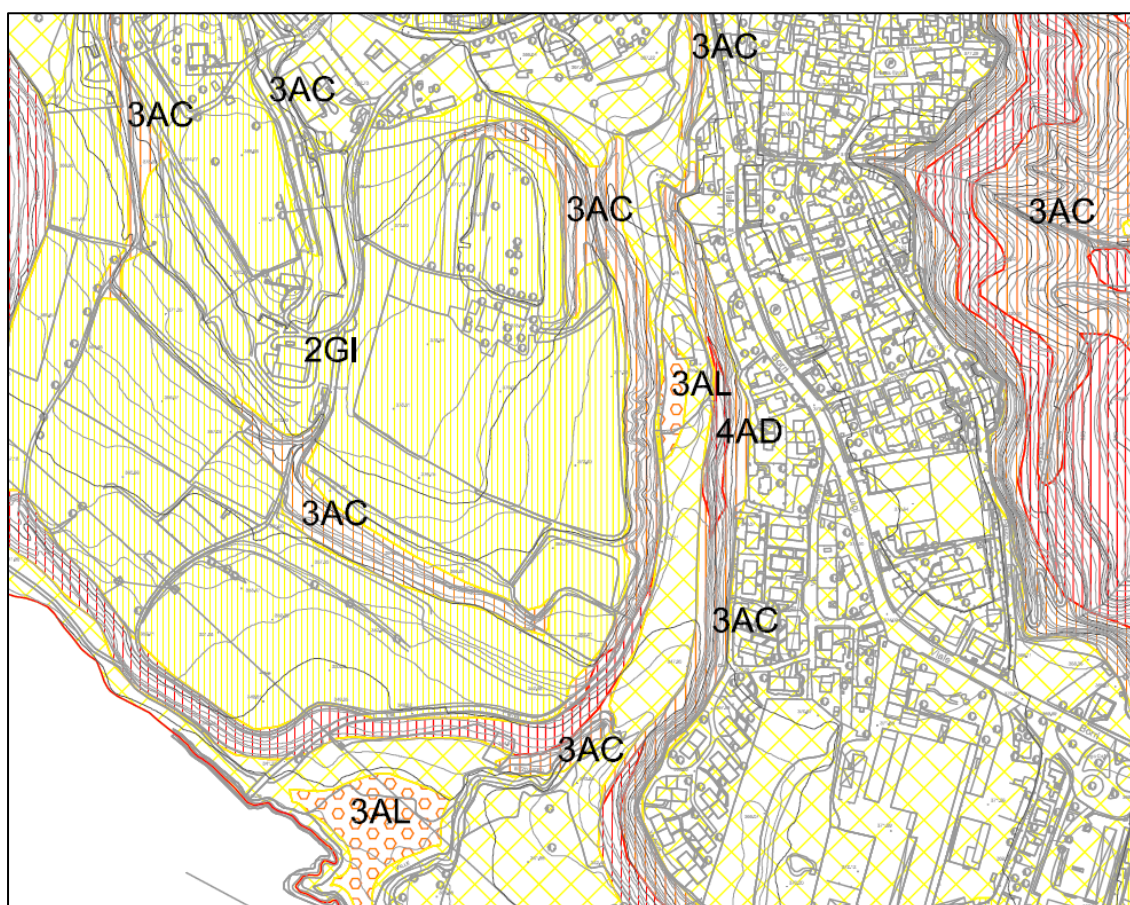
Parere sull’edificabilità: Favorevole con consistenti limitazioni legate alla dinamica gravitativa, al controllo e regimazione delle acque superficiali e al monitoraggio delle concentrazioni di radon nel sottosuolo (per la classe 3AC’).

Tipo di intervento ammissibile: in quest’area sono ammesse opere edificatorie di tipo residenziale (edilizia uni-bifamiliare, plurifamiliare, plurifamiliare di grande estensione, edilizia pubblica) (opere tipo 1, 2, 3), opere infrastrutturali (6). Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia come definiti dall’art. 27, comma 1, lettere a), b), c) e d) della l.r. 12/05 e s.m.i..

Indagini preventive necessarie: dovranno essere eseguiti rilievi geologici di dettaglio per la definizione dello spessore della copertura e delle condizioni geomeccaniche generali dell’ammasso roccioso (RGM), indagini geologico-tecnico dei terreni (IGT) ed analisi di stabilità dei versanti e dei fronti di scavo (SV), finalizzati alla valutazione della compatibilità dell’intervento con le condizioni di rischio ed al dimensionamento degli interventi di sistemazione e ripristino ambientale.

Interventi da prevedere: sono comunque da prevedere interventi di difesa del suolo (DS), opere di regimazione idraulica (RE) per lo smaltimento delle acque sotterranee e delle acque superficiali, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito, studi per il dimensionamento delle opere di difesa passiva e/o attiva e loro realizzazione prima degli interventi edificatori (DP) ammessi.

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell’allegato A del decreto. Nelle aree PSL (scenari Z1c – aree retinate blu), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello. Nelle aree PSL (scenari Z3a, Z3b, Z4a, Z4b, Z4c – aree retinate verdi), nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. 19904/03), dovrà essere previsto il 2° livello di approfondimento in fase di pianificazione (Piano Attuativo) e il 3° livello di approfondimento in fase progettuale.



<b>Classe 2 GI</b> (depositi glaciali) <b>FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI</b>	Versanti debolmente acclivi e aree a morfologia ondulata e/o subplaneggiante in depositi glaciali indifferenziati, litologicamente costituiti da limi e argille massive inglobanti ciottoli e blocchi, da profondamente a poco alterati. Scendenti/discreti caratteristiche geotecniche entro i primi 10 m. Possibile presenza di falde sospese. Locale predisposizione a fenomeni di dissesto superficiale nelle aree maggiormente acclivi e in presenza di ruscellamento diffuso o concentrato	Favorevole con modeste limitazioni legate alla verifica delle caratteristiche portanti dei terreni e all'assetto geomorfologico ed idrogeologico del territorio
<b>Classe 2 Fgl</b> (depositi fluvio-glaciali e fluviali) <b>FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI</b>	Aree a morfologia subplaneggiante o lievemente ondulata (Pianalto di Varese e limitate porzioni di piana alluvionale dei corsi d'acqua minori), stabili, costituite da depositi fluvio-glaciali e fluviali a ghiaie sabbiose e sabbioso-limose; presenza di limi in superficie.	Favorevole con modeste limitazioni legate alla valutazione puntuale delle caratteristiche portanti dei terreni e alla salvaguardia dell'acquifero.
<b>Classe 3 AL</b> (aree allagate) <b>FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI</b>	Aree pianeggianti o sub-pianeggianti interessate da allagamenti in occasione di forti eventi meteorici connessi a insufficienze idrauliche degli alvei, rigurgiti in corrispondenza di tratti tombinati e/o attraversamenti, concentrazione di deflussi, superficiali, rottura e/o riduzione di argini; energia idraulica bassa o media	Favorevole con consistenti limitazioni legate alla valutazione del rischio idraulico
<b>Classe 3 AC</b> (aree ad acclività media) <b>FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI</b> <b>Classe 3 AC'</b> (problematiche di radon)	Aree di versante ad acclività media (15°-25°) caratterizzate da substrato roccioso affiorante o ricoperte da depositi glaciali e/o colluviali, con possibile predisposizione a fenomeni di dissesto gravitativo ed erosione del suolo nelle aree a maggiore acclività. Problematiche di emissione naturale di radon nella classe 3AC'	Favorevole con consistenti limitazioni legate alla dinamica gravitativa, al controllo e regimazione delle acque superficiali e al monitoraggio delle concentrazioni di radon (per la classe 3AC')

Figura 4.3 – Fattibilità geologica (stralcio Tav. n.9 Foglio 9 “Carta della fattibilità geologica” alla scala 1:4.000 - 2 - Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014)

## 4.4 RISCHIO SISMICO

La “Carta della pericolosità sismica locale” (figura 4.4) individua le aree potenzialmente soggette ad amplificazione in relazione ad un evento sismico anche remoto.

La zonazione del territorio su base aerofotogrammetrica comunale è stata realizzata seguendo una suddivisione in situazioni tipo denominate “scenario di pericolosità sismica locale” di seguito riportati.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

L'area di interesse risulta compresa dai seguenti scenari:

**Z4a:** Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi; tale scenario prevede effetti di amplificazione litologici e geometrici.

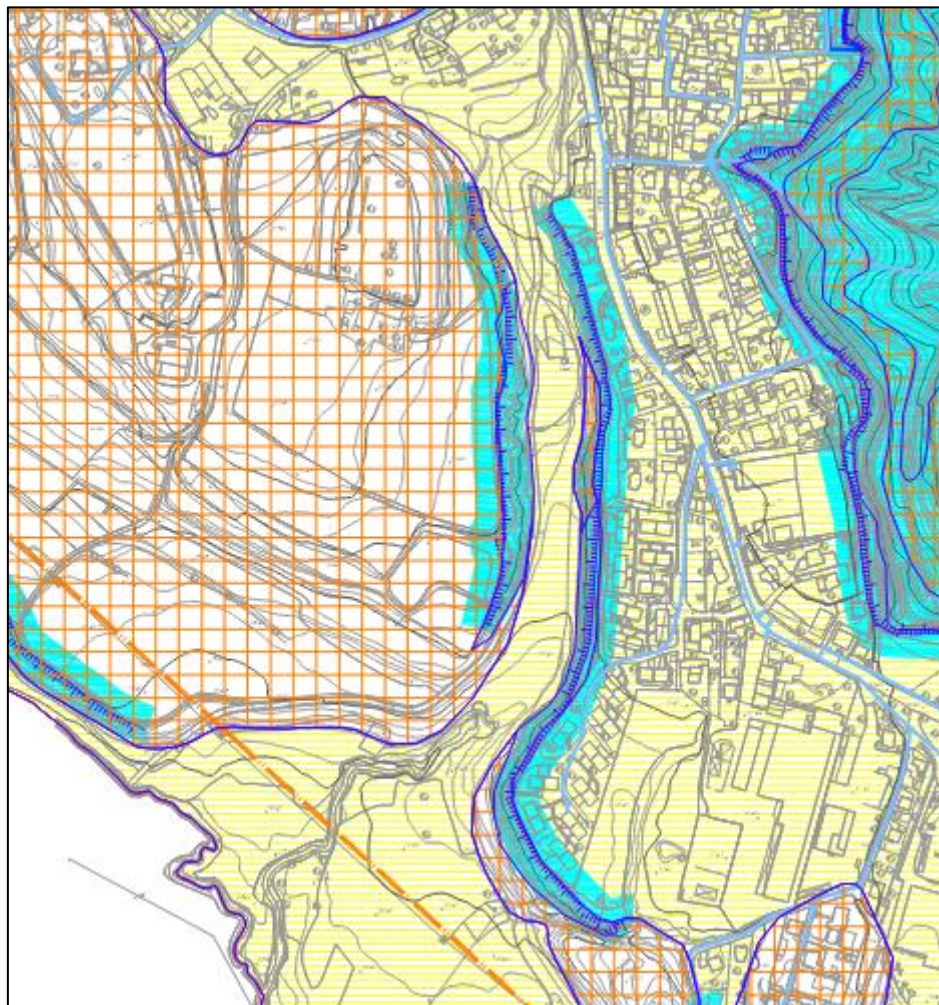
**Z4c:** Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi; tale scenario prevede effetti di amplificazione litologici e geometrici.

**Z3a:** Zona di ciglio  $H > 10$  m e pendio sottostante

**Z5:** Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse

Si evidenzia inoltre viene individuata anche l'Area di influenza del fattore di amplificazione sismica  $F_a$  per lo scenario Z3.

In presenza di questi scenari, fermo restando l'applicazione di quanto previsto al D.M. 17/01/2018, in fase progettuale è richiesto l'approfondimento di II° livello per edifici strategici e rilevanti di nuova realizzazione di cui all'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03 (o anche in caso di ampliamento di dette strutture se già esistenti) e l'approfondimento di III° livello nelle aree indagate con il II° livello qualora il fattore di amplificazione  $F_a$  calcolato risultasse superiore del valore soglia comunale.



SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	POSSIBILI EFFETTI INDOTTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA	LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m e pendio sottostante Ciglio di scarpata	Amplificazioni topografiche	H2	2
Z4.a	Zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.	Fenomeni di amplificazione del segnale sismico.	H2	2
Z4.c	Zone moreniche con presenza di depositi granulari	Fenomeni di amplificazione del segnale sismico.	H2	2
Z5	Contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche difformi	Cedimenti differenziali e distorsioni angolari	H2	3



Area di influenza del fattore di amplificazione sismica  $F_a$  per lo scenario Z3.a

Figura 4.4 - stralcio Tav. n.6 Foglio 9 "Carta della pericolosità sismica locale" alla scala 1:4.000 (Piano di Governo del Territorio-Componente Geologica, Idrogeologica, Sismica; Studio Idrogeotecnico & Dott. Geol. A. Uggeri, 2014)

La Regione Lombardia, con D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 (Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia, L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) ha approvato la nuova mappa della classificazione sismica dei comuni lombardi (Figura 4.5); in particolare il Comune di Varese ricade in Zona 4 con valori di accelerazione al suolo 0,038521 (rif. Allegato A alla D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129), da considerarsi come un valore medio valido ai soli fini pianificatori.

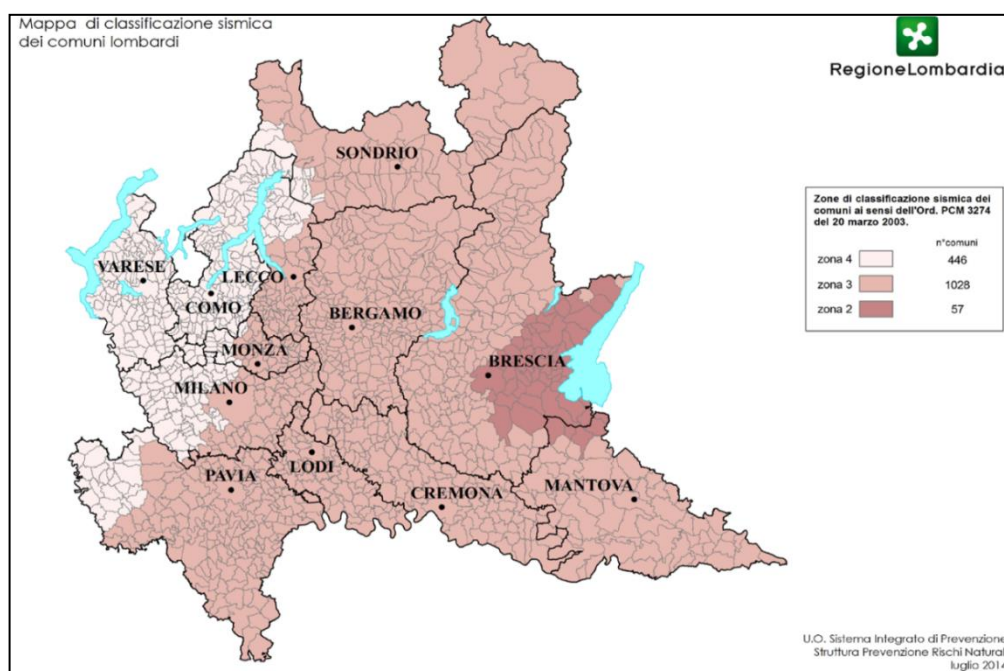


Figura 4.5 - Mappa della classificazione sismica dei comuni lombardi (D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129)

## 5. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A, rif. Tab. 3.2.II e 3.2.III NTC), con superficie topografica orizzontale (categoria T1, rif. Tab. 3.2.IV NTC);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*C$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il primo passo per la stima della pericolosità sismica consiste nella determinazione di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) partendo dalle coordinate geografiche decimali dell'opera da verificare:

latitudine ED50      45, 787864

longitudine ED50    8, 847224

I valori di riferimento del punto vengono determinati come media pesata dei valori nei vertici della maglia di riferimento (in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal Ministero) moltiplicati per le distanze dal punto.

L'opera di progetto è definita dalle seguenti caratteristiche ai fini della progettazione sismica (rif. § 3 NTC):

- tipo di costruzione - costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie
- vita nominale  $V_N \geq 50$  anni
- classe d'uso (in presenza di azioni sismiche): II
- coefficiente d'uso  $C_u = 1$

- periodo di riferimento della struttura per l'azione sismica ( $V_R = V_N \cdot C_u$ )  $V_R \geq 50$  anni.

Dai dati di input sopra elencati si ottengono per ogni stato limite tre valori ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $TC^*$ ) che definiscono le forme spettrali:

SL	$P_{VR}$	TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [--]	$TC^*$ [sec]
S.L.O.	81%	30	0,015	2,596	0,157
S.L.D.	63%	50	0,018	2,562	0,166
S.L.V.	10%	475	0,038	2,626	0,278
S.L.C.	5%	975	0,046	2,656	0,304

## 5.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (categorie A, B, C, D, ed E Tab. 3.2.II NTC e categorie S1 e S2 Tab. 3.2.III NTC).

L'assegnazione della categoria di suolo costituisce l'aspetto principale nella definizione dell'azione sismica in quanto definisce le condizioni litologiche e morfologiche proprie dell'area in esame, in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate dalla sorgente che si propagano verso la superficie (fattore di amplificazione litologico e/o morfologico).

Per la definizione della stratigrafia  $V_s$  da cui ricavare il parametro  $VS_{30}$  e determinare la categoria di suolo di fondazione sono state considerate le risultanze dell'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) eseguita in corrispondenza dell'area di intervento.

### 5.1.1 Interpretazione dei dati e modello sismico del sottosuolo

L'acquisizione dei dati è stata ottenuta mediante uno stendimento lineare con 24 geofoni a 4.5 Hz a passo 2 m; per l'energizzazione è stata impiegata una massa battente da 8 Kg su piattello metallico, mentre per la registrazione del segnale è stato utilizzato un sismografo a 24 canali.

Partendo dalle tracce acquisite in campo (sismogrammi) e dall'immagine di dispersione dell'energia sismica (diagramma frequenza-velocità di fase con appropriata scala cromatica dell'ampiezza) si è proceduto all'estrazione della curva di dispersione e quindi sull'inversione della curva di dispersione calcolata è stato ricavato il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1-D) che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità; al modello delle velocità 3 corrisponde una successione di strati a diversa velocità delle onde trasversali  $V_s$ , le cui caratteristiche sono sinteticamente riportate nella tabella seguente.

Prof. (m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (/m/s)
3,5	3,5	262
6,4	2,9	478
11,4	5	440
30	18,6	814

### 5.1.2 Categoria di sottosuolo e periodo di riferimento al sito

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente VS30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (che nel caso di fondazioni superficiali è riferita al piano di imposta delle stesse) definita secondo l'espressione di seguito proposta

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i} \quad [1]$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

27  
88

Similmente il periodo caratteristico del sito ( $T$ ), una volta noto il profilo sismo-stratigrafico locale, viene calcolato a partire dalla seguente relazione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} \quad [2]$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del profilo fino all'ipotetico raggiungimento del substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s).

Con riferimento agli esiti dell'indagine (HVSr), in base ai valori di  $V_{s30}$ , ai sensi dell'OPCM 3274/03 ed in base alla classificazione di cui al paragrafo § 3.2.2 delle NTC, il suolo di fondazione del sito in studio viene attribuito alla **Categoria B**, *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

## 5.2 CATEGORIA TOPOGRAFICA

In presenza di configurazioni topografiche semplici ai fini della definizione della categoria topografica si può adottare la classificazione riportata nella tab. 3.2.IV delle NTC.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></i>
<b>T2</b>	<i>Pendii con inclinazione media <math>i \geq 15^\circ</math></i>
<b>T3</b>	<i>Rilevi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>15^\circ \leq i \leq 30^\circ</math></i>
<b>T4</b>	<i>Rilevi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>i \geq 30^\circ</math></i>

La configurazione dell'area in esame, si divide tra un contesto sub pianeggiante immergente verso Sud (categoria topografica **T1**) ed una fascia di scarpata. (categoria topografica **T2**)

## 5.3 PARAMETRI SISMICI

Nel calcolo dell'azione sismica si è fatto riferimento ai contenuti delle NTC, in particolare ai capitoli § 2 e 3. Le ipotesi assunte nella definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione risultano:

- Vita nominale della struttura (VN) 50 anni
- Classe d'uso II
- Coefficiente d'uso (CU) 1
- Periodo di riferimento per l'azione sismica (VR)= 50 anni
- Categoria topografica: T1, T2
- Categoria di suolo di fondazione: B
- Valori di accelerazione massima orizzontale e dei parametri spettrali per i diversi stati limite (valori interpolati ottenuti dalla media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni che comprendono il sito in esame).

Sulla base dei dati di input sopra elencati si ottengono i valori dei coefficienti sismici elencati nella Tabella 1.

	Ss	CC	St	K <sub>h</sub>	K <sub>v</sub> [s]	A <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	β
SLO	1,2	1,59	1,0	0,003	0,002	0,171	0,2
SLD	1,2	1,57	1,0	0,004	0,002	0,214	0,2
SLV	1,2	1,42	1,0	0,009	0,005	0,450	0,2
SLC	1,2	1,40	1,0	0,011	0,006	0,542	0,2

Tabella 1– Valori dei coefficienti sismici (categoria topografica T1)

	Ss	CC	St	K <sub>h</sub>	K <sub>v</sub> [s]	A <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	β
SLO	1,2	1,59	1,2	0,004	0,002	0,206	0,2
SLD	1,2	1,57	1,2	0,005	0,006	0,214	0,2
SLV	1,2	1,42	1,2	0,011	0,006	0,540	0,2
SLC	1,2	1,40	1,2	0,013	0,007	0,651	0,2

Tabella 2– Valori dei coefficienti sismici (categoria topografica T2)

Nell'analisi pseudo-statica l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente sismico.

L'inerzia del terreno sarà quindi definita da una componente orizzontale (rif. § 7.11.3 NTC)

$$K_h = \beta_s \cdot a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

e da una componente verticale

$$K_v = 0.5 K_h.$$

Il termine  $\beta_s \cdot a_g \cdot S_s$  è il prodotto dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  attesa (funzione della classe sismica del sito) e di un fattore  $S_s$  legato alla stratigrafia del terreno di fondazione; ne consegue che il termine  $S_s \cdot a_g$  rappresenta il valore di accelerazione massima specifica per il terreno di fondazione in esame.

Il fattore  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito dipendente dalla categoria di suolo assegnata.

## 5.4 SICUREZZA NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Ai sensi del paragrafo § 7.11.3.4.2 NTC "Stabilità nei confronti della liquefazione" la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g (0,980 m/s<sup>2</sup>.; (agmax = ag.SS.ST free field);
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (misura riferita al valore medio stagionale; nell'EC 8, invece, si fa riferimento alle condizioni prevalenti durante il periodo di vita dell'opera);
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)<sub>60</sub> > 30 oppure qc<sub>1N</sub> > 180 dove (N1)<sub>60</sub> è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc<sub>1N</sub> 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 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità UC < 3,5 ed in figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità UC > 3,5 (UC rapporto D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>, dove D<sub>60</sub> e D<sub>10</sub> sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

La determinazione della liquefacibilità dei terreni, sia deterministica che probabilistica, attraverso le cosiddette “procedure semplificate” basate sui risultati acquisiti a mezzo di prove in sito è esplicitamente ammessa dalle NTC al paragrafo § 7.11.3.4.3“.

30  
88

Con specifico riferimento al caso in esame, in relazione alle litologie presenti in sito ed in relazione all'accelerazione massima attesa, inferiore a 0.1 g (=0,980 m/s<sup>2</sup>) si rientra nella condizione in cui è possibile omettere la verifica alla liquefazione.

## 6. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Al fine di ottenere un modello geotecnico rappresentativo della situazione locale, ovvero uno schema delle condizioni stratigrafiche e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni in corrispondenza dell'area di intervento è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche composta da:

- due sondaggi a carotaggio continuo (S1 e S2), con esecuzione in foro di cinque prove SPT in totale;
- una prova di permeabilità a carico variabile presso il sondaggio S1 ed una presso il sondaggio S2;
- cinque prove penetrometriche dinamiche continue (P1, P2, P3, P4, P5).

Sono inoltre stati considerati gli esiti di cinque indagini penetrometriche eseguite lungo via Piana di Luco nell'anno 2021 messe a disposizione dall'amministrazione comunale, in particolare per quanto di interesse è riportata l'ubicazione delle prove P2, P3, P4.

In figura 6.1 sono state ubicate le indagini eseguite a supporto della corrente progettazione (2024) e le indagini realizzate nel 2021.

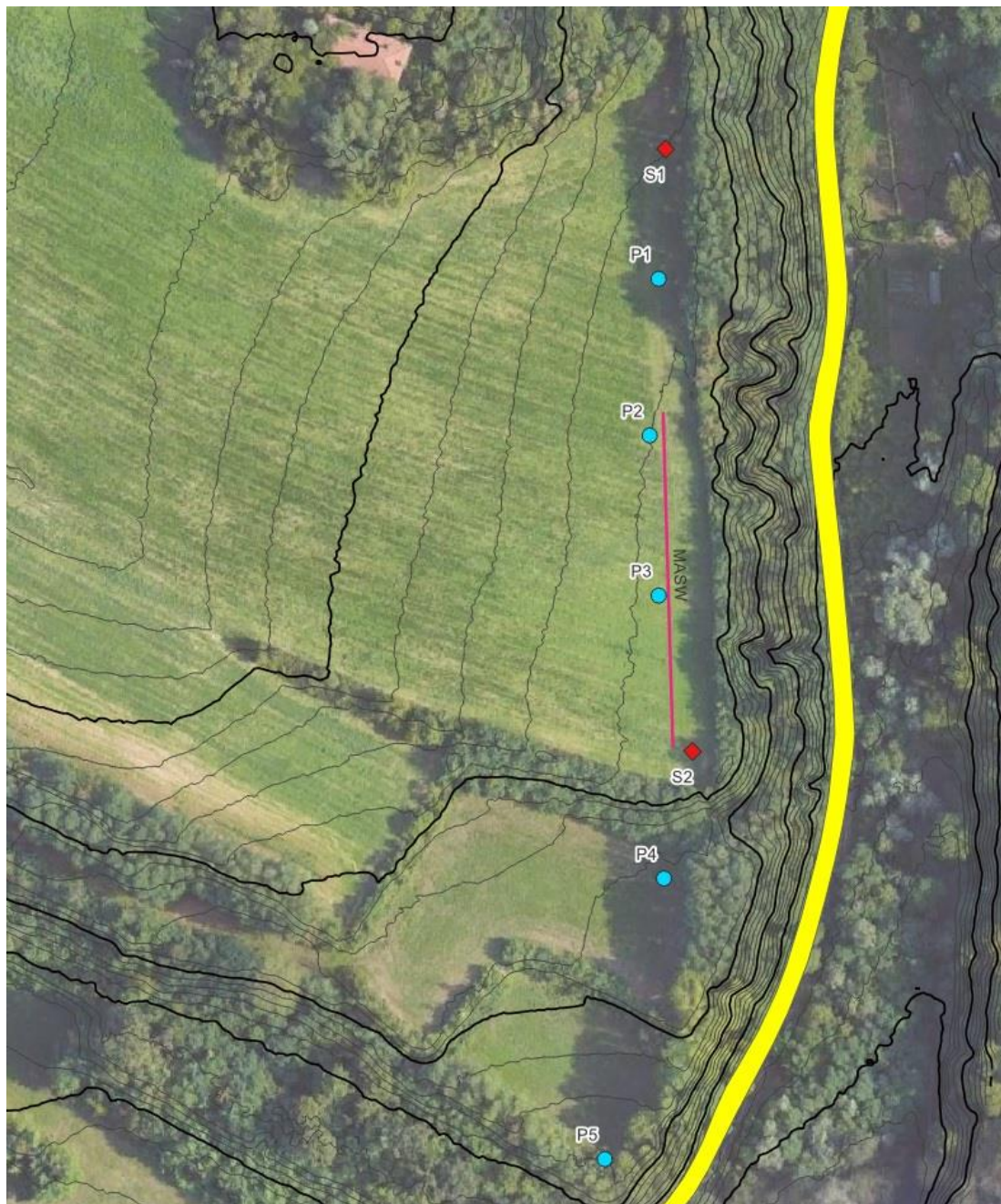


Figura 6.1: Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche (MASW)

## 6.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH) E CORRELAZIONE CON STANDARD PENETRATION TEST (SPT) - NOTE METODOLOGICHE

Le prove penetrometriche dinamiche (P1, P2, P3, P4, P5) sono state eseguite con penetrometro PAGANI TG-63 100, con le seguenti caratteristiche:

massa battente	63.5 Kg
diametro punta conica	51 mm
altezza di caduta	750 mm
Passo	20 cm

In tabella 6.1 sono visibili i dati relativi alle prove eseguite, mentre i profili di avanzamento relativi alle singole stazioni di prova sono raccolti in Appendice 1.

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi NSPT ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica ( $N_{20,DPM}$ ) con  $N_{SPT}$ .

Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta t N$$

In cui  $\beta t$  viene definito come rapporto fra l'energia specifica per colpo del penetrometro (Q) e l'energia specifica per colpo della prova standard SPT ( $Q_{SPT}$ ).

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

in cui

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

$\delta$  = passo di avanzamento.

Profondità	PROVAN.					Profondità
	1	2	3	4	5	
m da p.c.	Numero colpi					m da p.c.
0,20	3	2	1	1	2	0,20
0,40	2	3	2	1	1	0,40
0,60	2	2	2	2	1	0,60
0,80	2	3	1	4	2	0,80
1,00	2	2	1	2	1	1,00
1,20	1	2	2	8	1	1,20
1,40	1	1	1	1	1	1,40
1,60	1	1	2	1	1	1,60
1,80	2	1	1	6	4	1,80
2,00	2	2	1	7	5	2,00
2,20	1	2	2	6	7	2,20
2,40	1	1	1	6	8	2,40
2,60	1	1	4	6	8	2,60
2,80	1	1	4	7	7	2,80
3,00	1	2	4	8	6	3,00
3,20	4	2	3	8	8	3,20
3,40	2	2	4	7	9	3,40
3,60	3	2	4	9	9	3,60
3,80	4	2	3	15	10	3,80
4,00	6	2	3	11	16	4,00
4,20	6	3	3	12	10	4,20
4,40	6	5	4	21	11	4,40
4,60	5	4	4	24	15	4,60
4,80	7	4	10	27	16	4,80
5,00	9	5	8	33	16	5,00
5,20	9	3	9	RIFIUTO	21	5,20
5,40	11	4	8		26	5,40
5,60	8	7	11		32	5,60
5,80	9	5	9		RIFIUTO	5,80
6,00	11	6	7			6,00
6,20	12	6	9			6,20
6,40	11	9	9			6,40
6,60	10	9	12			6,60
6,80	17	13	11			6,80
7,00	26	12	9			7,00
7,20	13	23	8			7,20
7,40	11	16	11			7,40
7,60	8	17	4			7,60
7,80	11	11	3			7,80
8,00	15	15	4			8,00
8,20	19	12	5			8,20
8,40	16	13	8			8,40
8,60	12	12	4			8,60
8,80	14	16	4			8,80
9,00	10	11	5			9,00
9,20	25	8	6			9,20
9,40	23	9	5			9,40
9,60	13	7	6			9,60
9,80	12	10	3			9,80
10,00	14	12	4			10,00
10,20						10,20
10,40						10,40
10,60						10,60
10,80						10,80
11,00						11,00

Tabella 6.1

 falda  
 tracce di acqua\umidità  
 ciottoli\sottofondo

Di seguito si riportano i dati tabellari delle indagini eseguite nell'anno 2021 (tabella 6.2) mentre le restituzioni grafiche sono visibili in Appendice 2.

Profondità	PROVAN.					Profondità
	1	2	3	4	5	
m da p.c.	Numero colpi					m da p.c.
0,20	4	5	1	2	1	0,20
0,40	13	2	3	3	1	0,40
0,60	8	2	4	INTERROTTA	1	0,60
0,80	4	2	1		1	0,80
1,00	7	2	1		3	1,00
1,20	5	2	2		1	1,20
1,40	3	2	3		4	1,40
1,60	5	1	3		4	1,60
1,80	4	3	4		9	1,80
2,00	2	1	2		12	2,00
2,20	3	3	2		12	2,20
2,40	2	7	1		19	2,40
2,60	2	18	1		24	2,60
2,80	2	11	1		16	2,80
3,00	2	13	0		9	3,00
3,20	1	12	1		9	3,20
3,40	1	12	1		12	3,40
3,60	1	10	3		12	3,60
3,80	7	9	14		12	3,80
4,00	8	10	10		14	4,00
4,20	6	13	14		15	4,20
4,40	8	9	14		RIF	4,40
4,60	3	10	11			4,60
4,80	1	9	19			4,80
5,00	2	9	14			5,00
5,20	4	6	15			5,20
5,40	5	3	16			5,40
5,60	7	13	15			5,60
5,80	5	RIF	19			5,80
6,00	5		21			6,00
6,20	4		19			6,20
6,40	3		22			6,40
6,60	1		12			6,60
6,80	2		19			6,80
7,00	36		16			7,00
7,20	RIF		13			7,20
7,40			12			7,40
7,60			12			7,60
7,80			19			7,80
8,00			15			8,00
8,20			19			8,20
8,40			19			8,40
8,60			19			8,60
8,80			23			8,80
9,00			23			9,00
9,20			14			9,20
9,40			13			9,40
9,60			20			9,60
9,80			19			9,80
10,00			23			10,00
10,20			20			10,20
10,40						10,40
10,60						10,60
10,80						10,80
11,00						11,00

Tabella 6.2

 falda  
 tracce di acqua\umidità  
 ciottoli\sottofondo

## 6.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Il **sondaggio (S1)** è stato realizzato in data 31/05/2024, eseguito a carotaggio continuo; il materiale recuperato è stato riposto in cassette catalogatrici, quindi identificato e descritto dal punto vista litologico e granulometrico.

Nel corso della perforazione sono state seguite le seguenti prove:

- 2 prove SPT a profondità di 1.5 e 3 m da p.c.;
- 1 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile; profondità tra 2,0.-2.5 m (tasca a geometria cilindrica con diametro 101 mm);

Di seguito viene proposta la descrizione della successione stratigrafica indagata mentre in Appendice 3 è visibile la stratigrafia e la documentazione fotografica del sondaggio;

Profondità m da p.c.	Descrizione
0.00–1.45	Limi debolmente sabbiosi, limi sabbiosi; colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/3)
1.45–2.20	Limi argillosi, limi da debolmente argillosi a debolmente sabbiosi; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3)
2.20–5.50	Limi sabbioso argillosi, limi sabbiosi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi; colore bruno scuro (10 YR 5/3); clasti millimetrici prevalentemente molto alterati; verso il basso aumento clasti centimetrici e diminuzione del grado di alterazione
5.50–7.30	Limi sabbiosi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi; clasti da millimetrici a decimetrici
7.30–9.00	Sabbie con limo, sabbie limose ghiaiose debolmente argillose, clasti da millimetrici a centimetrici in parte alterati con esclusione delle litologie quarzose; colore bruno giallastro (10YR 5/4); livelli centimetrici grigiastri
9.00–10.00	Conglomerato poligenico (frantumato per uso carotiere semplice)
NOTE	Prova SPT con campionatore aperto a 1.5 m da p.c

Nel foro del sondaggio S1 non è stata osservata la presenza di acqua alla data di ultimazione dell'indagini (31/05/2024).

Il **sondaggio (S2)** è stato eseguito in data 01/06/2024; il materiale recuperato è stato riposto in cassette catalogatrici, quindi identificato e descritto dal punto vista litologico e granulometrico.

Nel corso della perforazione sono state seguite le seguenti prove:

- 3 prove SPT a profondità di 1,5, 3 e 6 m da p.c.;
- 1 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile; profondità 6-6,5 m (tasca a geometria cilindrica con diametro 1 mm);

Di seguito viene proposta la descrizione della successione stratigrafica indagata mentre in Appendice 4 è visibile la stratigrafia e la documentazione fotografica del sondaggio;

Profondità m da p.c.	Descrizione
0.00–0.10	Orizzonte A; colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2)
0.10–0.30	Limi di colore bruno giallastro scuro (10 YR 5/4)
0.30–1.50	Limi argillosi, limi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi di colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2)
1.50–2.65	Limi argillosi, limi con argilla; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3); rari clasti alterati
2.65–3.90	Limi con argilla debolmente ghiaiosa; clasti da millimetrici a centimetrici alterati; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3);
3.90–6.60	Limi argillosi e sabbie debolmente ghiaiose; di colore bruno giallastro (10YR 5/4); clasti debolmente alterati
6.60–9.20	Sabbie, da medie a grosse, limose debolmente ghiaiose; rari trovanti decimetrici
9.20–10.00	Conglomerato poligenico

Note	Prova SPT con campionatore aperto a 1.5 m da p.c.
------	---

Nel foro del sondaggio S2 non è stata osservata la presenza di acqua alla data di ultimazione dell'indagine (01/06/2024).

### 6.2.1 Prove SPT in foro

Nei fori dei sondaggi geognostici S1 e S2, per la valutazione dei parametri geotecnici sono state eseguite prove SPT.

Le prove SPT sono state eseguite misurando il numero di colpi richiesti per provocare l'avanzamento per battitura di un utensile a punta conica per tre tratti consecutivi di 15 cm ciascuno.

La resistenza dinamica puntuale ( $N_{SPT}$ ) si ottiene poi sommando il numero di colpi richiesto per l'avanzamento degli ultimi 30 cm.

Nella seguente tabella si riassumono i dati delle prove penetrometriche SPT in foro, riportate anche sulla stratigrafia dei sondaggi proposta in Appendice 3 e 4.

SONDAGGIO S1					
PROF. (m da p.c.)	PUNTA	N1	N2	N3	NSPT
1,5	aperta	4	6	7	13
3	chiusa	8	11	13	24
SONDAGGIO S2					
PROF. (m da p.c.)	PUNTA	N1	N2	N3	NSPT
1,5	aperta	4	6	8	14
3	chiusa	7	12	16	28
6	chiusa	6	10	18	28

### 6.2.2 Prove di permeabilità a carico variabile

Al fine di ottenere parametri utili alla verifica del grado di permeabilità dei terreni presenti sul pianalto soprastante la scarpata nei fori dei sondaggi S1 e S2 sono state eseguite prove di permeabilità di tipo Lefranc.

La prova di permeabilità è di tipo puntuale con cui si misura la conducibilità idraulica (permeabilità) del terreno nell'immediato intorno del foro.

In particolare la prova a carico variabile consiste nel misurare la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro (abbassamento o risalita) dopo averlo alterato mediante immissione o emungimento.

Nel caso specifico, le prove sono state effettuate immettendo acqua pulita nel foro ed innalzando il livello fino alla bocca della colonna di rivestimento; all'istante in cui si sospende l'immissione di acqua si misura l'altezza del livello ( $h_0$ ) e si fa partire il cronometro annotando ora e minuti di partenza ( $t_0$ ) ed eseguendo letture del livello ( $h$ ) a frequenti intervalli di tempo ( $t$ ), annotando sia il livello dell'acqua sia il relativo tempo di lettura.

Il valore del coefficiente di permeabilità  $K$  viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$K = A/(F \cdot T) \text{ (m/s)}$$

dove:

$A$ = Sezione trasversale del rivestimento in cui avvengono le misure del livello ( $m^2$ );

$F$ = fattore di forma (m);

$T$ = tempo di riequilibrio (sec)

Il fattore di forma  $F$  viene calcolato in base alla geometria del tratto di prova.

Nel **sondaggio S1** è stata eseguita una prova secondo le modalità descritte, in particolare: Prova S1P1 tra 2.00 e 2.50 m da p.c.;

I dati delle prove eseguite e i risultati sono riportati nelle seguenti tabelle:

**Sondaggio S1 Prova 1**  
**PROVA LEFRANC - tratto investigato 2-2,5 m da p.c.**

t (sec)	abbassamento (m)	h (m)
0	0,000	3,15
30	0,530	2,620
60	0,400	2,220
120	0,400	1,820
180	0,180	1,640
240	0,070	1,570
300	0,060	1,510
360	0,050	1,460
480	0,060	1,400
600	0,030	1,370
900	0,040	1,330
1200	0,020	1,310
1500	0,030	1,280
1800	0,020	1,260
2700	0,050	1,210
3600	0,040	1,170
<b><u>fattore di forma</u></b>		
D=	0,101	m
L=	0,5	m
F=	1,86	
<b><u>area sezione rivestimento</u></b>		
A=	0,0160	mq
K=	8,88E-06 m/sec	
	8,88E-04 cm/sec	

Nel **sondaggio S2** è stata eseguita una prova secondo le modalità descritte, in particolare:

Prova S2P1 tra 6.00 e 6.50 m da p.c..

Sondaggio S2 Prova 1		
PROVA LEFRANC - tratto investigato 6-6,5 m da p.c.		
t (sec)	abbassamento (m)	h (m)
0	0,000	6,65
30	0,530	6,180
60	0,410	5,770
120	0,390	5,380
180	0,270	5,110
240	0,360	4,750
300	0,260	4,490
360	0,240	4,250
480	0,370	3,880
600	0,230	3,650
900	0,400	3,250
1200	0,430	2,820
1500	0,260	2,560
1800	0,280	2,280
2700	0,540	1,740
3600	0,430	1,310
<b><u>fattore di forma</u></b>		
D=	0,101	m
L=	0,5	m
F=	1,86	
<b><u>area sezione rivestimento</u></b>		
A=	0,0160	mq
K=	6,03E-06 m/sec	
	6,03E-04 cm/sec	

In dettaglio, dall'interpretazione delle prove effettuate presso i sondaggi S1 e S2, si ottengono i seguenti valori di permeabilità (K):

Sondaggio S1	Profondità (m)	K (m/sec)
Prova 1 (S1P1)	2.0–2.50	8.88 E-06

Sondaggio s2	Profondità (m)	K (m/sec)
Prova 1 (S2P1)	6.0 – 6,560	6.03 E-6

Nel complesso si osservano valori di permeabilità dei livelli indagati bassi e corrispondenti a caratteristiche di drenaggio povere.

$K$ (m/sec)	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-12}$
$K$ (cm/sec)	10 <sup>2</sup>	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Tipo di drenaggio	Buono						Povero		Praticamente impermeabile			
Litologia	Ghiaia pulita		Sabbia pulita e miscele di ghiaia e sabbia pulita				Sabbia fine, limi organici ed inorganici, miscele di sabbia, limo ed argilla, depositi di argilla stratificati			Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici		
							Terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo					

Valori tipici di permeabilità e drenaggio di diverse tipologie di materiale (AAVV)

## 7. DEFINIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPO DI VARIABILITÀ DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Per la stima dei range di variabilità dei parametri geotecnici fondamentali quale passo necessario per la definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, si sono utilizzate le più note e diffuse correlazioni, basate sui dati SPT confrontati con le litologie in esame; ove possibile si sono utilizzati diversi approcci, confrontandone criticamente i risultati ottenuti.

Sono stati adottati i seguenti criteri generali:

- descrizione litologico-tecnica secondo le norme di classificazione della Associazione Geotecnica Italiana A.G.I. 1977;
- classificazione granulometrica secondo le norme tecniche del Sistema Unificato USCS (Unified Soil Classification System) adottato dal Corps of Engineers del Bureau of Reclamation degli U.S.A., basate sostanzialmente sulle norme ASTM (D2487-75, ecc.) che permettono di dare una precisa definizione tecnica dei terreni;
- indicazione sullo stato di consistenza o di addensamento: si sono utilizzate le correlazioni Terzaghi-Peck (1948) e Skempton (1986);
- indicazione della densità relativa basata su correlazione con i valori di resistenza normalizzati, (Gibbs ed Holtz, 1957 da USBR Earth Manual);
- indicazione stimata dell'angolo d'attrito, basata su valori tipici riportati in letteratura per terreni analoghi;
- suddivisione della successione litostratigrafica in unità geotecniche sovrapposte

43  
88

Per definire il valore del **grado di addensamento dei terreni** ( $D_r$ ) attraversati è stata utilizzata come riferimento di base la relazione proposta da Gibbs & Holtz (1957) espressa nella seguente formulazione

$$D_r = 21 \cdot \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma_v + 0.7}}$$

confrontato con la relazione proposta da Schultze & Menzenbach (1961)

$$\ln D_r = 0.478 \cdot \ln N_{SPT} - 0.262 \cdot \ln \sigma_v + 2.84$$

dove  $\sigma_v$  = pressione efficace in kg/cm<sup>2</sup> alla quota della prova SPT.

Per la determinazione del campo di variabilità dell'**angolo di resistenza al taglio** ( $\varphi'$ ) la relazione di riferimento utilizzata è quella di Mello (1971)

$$\varphi' = 19 - 0.38\sigma'_{vo} + 8.73\log(N_{spt})$$

confrontato con il metodo di Hatanaka et al. (1998):

$$\varphi' = 3.5\sqrt{N_{1.60}} + 22.3$$

e la formula del Road Bridge Specification (1982)

$$\varphi' = \sqrt{15N_{SPT}} + 15$$

Per la definizione del **modulo elastico** (E) la formula impiegata è quella di D'Appolonia et al. (1970)

$$E \text{ (MPa)} = 7.46 + 0.517 N_{SPT}$$

confrontata, per materiali granulari, con la formula di Berardi e Lancellotta secondo la seguente espressione:

$$E' = K_E \cdot p_a \cdot \left[ \frac{\sigma'_{vo}}{p_a} \right]^{0.5}$$

in cui

$K_E$  = numero del modulo, funzione della densità relativa,

$p_a$  = pressione di riferimento = 150 kPa

$\sigma'_{vo}$  = pressione efficace alla quota della prova.

## 8. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base di quanto esposto il volume significativo dell'area indagata può essere in via preliminare caratterizzato come di seguito descritto e rappresentato in Tabella 8.1 riferita alle indagini eseguite nel corrente anno ed in Tabella 8.2 relativa alle indagini eseguite nell'anno 2021.

### Unità A

**Descrizione:** Limo, limo sabbioso argilloso, limo argilloso; materiali sciolti o poco consistenti con comportamento da prevalentemente incoerente a coesivo.

**Resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$  medio):** 1.82-4

**Peso di volume naturale ( $\gamma$ ) (KN/mc):** 16.5–18.0

**Densità relativa (%):**

**Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) (°):** 24-26

**Coesione ( $C_u$ ) (KN/mq):** 13-15 (da riferire al materiale coesivo)

**Modulo elastico ( $E_y$ ) (MPa):** 2-4

### Unità B1

**Descrizione:** Limi sabbioso argillosi debolmente ghiaiose; materiali scarsamente addensati con comportamento prevalentemente incoerente a pseudocoesivo.

**Resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$  medio)** 8.9- 10.4

**Peso di volume naturale ( $\gamma$ ) (KN/mc):** 17.5–18.5

**Densità relativa (%):** 20-25

**Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) (°):** 28-30

**Coesione ( $C_u$ ) (KN/mq):** 25-30 (da riferire al materiale coesivo)

**Modulo elastico ( $E_y$ ) (MPa):** 15-16

### Unità B2

**Descrizione:** Sabbie ghiaioso limose, materiali con mediocri addensamento e comportamento incoerente

**Resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$  medio)** 14-16

**Peso di volume naturale ( $\gamma$ ) (KN/mc):** 18–19

**Densità relativa (%):** 30-35

**Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) (°):** 34-36

**Modulo elastico ( $E_y$ ) (MPa):** 20-25

### **Unità C**

**Descrizione:** Ghiaia con sabbia da debolmente limosa a limosa rari ciottoli, materiali mediamente addensati con comportamento incoerente;

**Resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$  medio) >20**

**Peso di volume naturale ( $\gamma$ ) (KN/mc): 19.0–20.0**

**Densità relativa (%): 40-50**

**Angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) (°):38-40**

**Modulo elastico ( $E_y$ ) (MPa): 30-35**

In Appendice 5 sono riportate sezioni geotecniche interpretative

Profondità	PROVA N.					
	1	2	3	4	5	
m da p.c.	Nspt					m da p.c.
0,20	4,37	2,91	1,46	1,46	2,91	0,20
0,40	2,91	4,37	2,91	1,46	1,46	0,40
0,60	2,91	2,91	2,91	2,91	1,46	0,60
0,80	2,91	4,37	1,46	5,82	2,91	0,80
1,00	2,91	2,91	1,46	2,91	1,46	1,00
1,20	1,46	2,93	2,93	11,71	1,46	1,20
1,40	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,40
1,60	1,46	1,46	2,93	1,46	1,46	1,60
1,80	2,93	1,46	1,46	8,78	5,86	1,80
2,00	2,93	2,93	1,46	10,25	7,32	2,00
2,20	1,47	2,94	2,94	8,83	10,30	2,20
2,40	1,47	1,47	1,47	8,83	11,77	2,40
2,60	1,47	1,47	5,88	8,83	11,77	2,60
2,80	1,47	1,47	5,88	10,30	10,30	2,80
3,00	1,47	2,94	5,88	11,77	8,83	3,00
3,20	5,91	2,96	4,43	11,82	11,82	3,20
3,40	2,96	2,96	5,91	10,35	13,30	3,40
3,60	4,43	2,96	5,91	13,30	13,30	3,60
3,80	5,91	2,96	4,43	7,39	14,78	3,80
4,00	8,87	2,96	4,43	16,26	23,65	4,00
4,20	8,90	4,45	4,45	17,80	14,83	4,20
4,40	8,90	7,42	5,93	31,14	16,31	4,40
4,60	7,42	5,93	7,40	35,59	22,25	4,60
4,80	10,38	5,93	14,83	40,04	23,73	4,80
5,00	13,35	7,42	11,86	48,94	23,73	5,00
5,20	13,39	4,46	13,39	RIFIUTO	31,25	5,20
5,40	16,37	5,95	11,90		38,69	5,40
5,60	11,90	10,42	16,37		47,62	5,60
5,80	13,39	7,44	13,39		RIFIUTO	5,80
6,00	16,37	8,93	10,42			6,00
6,20	17,90	8,95	13,43			6,20
6,40	16,41	13,43	13,43			6,40
6,60	14,92	13,43	17,90			6,60
6,80	25,36	19,40	16,41			6,80
7,00	38,79	17,90	13,43			7,00
7,20	19,44	34,39	11,96			7,20
7,40	16,45	23,92	16,45			7,40
7,60	11,96	25,42	5,98			7,60
7,80	16,45	16,45	4,49			7,80
8,00	22,43	22,43	5,98			8,00
8,20	28,48	17,99	7,50			8,20
8,40	23,98	19,49	11,99			8,40
8,60	17,99	17,99	6,00			8,60
8,80	20,99	23,98	6,00			8,80
9,00	14,99	16,49	7,50			9,00
9,20	37,55	12,02	9,01			9,20
9,40	34,55	13,52	7,51			9,40
9,60	19,53	10,51	9,01			9,60
9,80	18,02	15,02	4,51			9,80
10,00	21,03	18,02	6,01			10,00
10,20						10,20
10,40						10,40
10,60						10,60
10,80						10,80
11,00						11,00

Tabella 8.1

Profondità	PROVA N.					
	1	2	3	4	5	
m da p.c.	Nspt					m da p.c.
0,20	5,04	6,30	1,26	2,52	1,26	0,20
0,40	16,37	2,52	3,78	3,78	1,26	0,40
0,60	10,07	2,52	5,04	INTERROTTA	1,26	0,60
0,80	5,04	2,52	1,26		1,26	0,80
1,00	8,81	2,52	1,26		3,78	1,00
1,20	6,30	2,52	2,52		1,26	1,20
1,40	3,78	2,52	3,78		5,04	1,40
1,60	6,30	1,26	3,78		5,04	1,60
1,80	5,04	3,78	5,04		11,33	1,80
2,00	2,52	1,26	2,52		15,11	2,00
2,20	3,78	3,78	2,52		15,11	2,20
2,40	2,52	8,81	1,26		23,92	2,40
2,60	2,52	22,66	1,26		30,22	2,60
2,80	2,52	13,85	1,26		20,14	2,80
3,00	2,52	16,37	0,00		11,33	3,00
3,20	1,26	15,11	1,26		11,33	3,20
3,40	1,26	15,11	1,26		15,11	3,40
3,60	1,26	12,59	3,78		15,11	3,60
3,80	8,81	11,33	17,63		15,11	3,80
4,00	10,07	12,59	12,59		17,63	4,00
4,20	7,55	16,37	17,63		18,89	
4,40	10,07	11,33	17,63			4,40
4,60	3,78	12,59	13,85			4,60
4,80	1,26	11,33	23,92			4,80
5,00	2,52	11,33	17,63			5,00
5,20	5,04	7,55	18,89			5,20
5,40	6,30	3,78	20,14			5,40
5,60	8,81	16,37	18,89			5,60
5,80	6,30		23,92			5,80
6,00	6,30		26,44			6,00
6,20	5,04		23,92			6,20
6,40	3,78		27,70			6,40
6,60	1,26		15,11			6,60
6,80	2,52		23,92			6,80
7,00	45,32		20,14			7,00
7,20			16,37			7,20
7,40			15,11			7,40
7,60			15,11			7,60
7,80			23,92			7,80
8,00			18,89			8,00
8,20			23,92			8,20
8,40			23,92			8,40
8,60			23,92			8,60
8,80			28,96			8,80
9,00			28,96			9,00
9,20			17,63			9,20
9,40			16,37			9,40
9,60			25,18			9,60
9,80			23,92			9,80
10,00			28,96			10,00
10,20						10,20
10,40						10,40
10,60						10,60
10,80						10,80
11,00						11,00

Tabella 8.2

## 9. DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso della campagna di indagini geognostiche e di quanto esposto nei capitoli precedenti il volume significativo interessato dall'intervento in progetto, può essere schematizzato come di seguito proposto:

unità	N <sub>SPT</sub> medio	litologia presunta	Spessore medio (m)	$\gamma_d$ (KN/mc)	Dr (%)	$\phi'$ (°)	E <sub>y</sub> (MPa)	E <sub>d</sub> (MPa)	C <sub>u</sub> (KPa)
A	1.8-4	Limo, limo sabbioso argilloso, limo argilloso; materiali sciolti o poco consistenti con comportamento da prevalentemente incoerente a coesivo.	4	16.5-18.0		24-26	2-4	3-4	13-15(*)
B1	8.9-10.4	Limi sabbioso argillosi debolmente ghiaiose; materiali scarsamente addensati con comportamento prevalentemente incoerente a pseudocoesivo	2	17.5-18.5	20÷25	28÷30	15÷16	5-6	22-25(*)-
B2	13-16	Sabbie ghiaioso limose, materiali con mediocri addensamento e comportamento incoerente	3	18.0-19.0	30-35	34-36-	20-25		
C	>20	Ghiaia con sabbia da debolmente limosa a limosa rari ciottoli, materiali mediamente addensati con comportamento incoerente;	3	19.0-20.0	40-50	38-40	30-35		

(\*) riferita alla componente coesiva

Partendo dai range di variabilità dei parametri geotecnici delle “unità omogenee” come sopra definite si è proceduto alla definizione dei valori caratteristici  $X_k$  definiti secondo l'Eurocodice 7 e le NTC come una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite. Per le unità che definiscono il volume significativo vengono assunti i seguenti parametri caratteristici di riferimento:

Unità	$\phi$ caratteristico ( $\phi_k$ )	$c_u$ (KPa)
A	24	13-
B	28	22
C	30	--
D	38	--

## 9.1 PARAMETRI GEOMECCANICI

Si riportano i valori, puramente indicativi, di resistenza alla compressione monoassiale ( $S_u$ ) dei conglomerati, ricavati dai valori dell'indice di rimbalzo RL ottenuti con lo sclerometro (martello di Schmidt).

La relazione utilizzata per correlare  $R_n$  con  $S_u$  è quella di Irfan e Dearman (1978)

$$S_u = 0,775 R + 21,3.$$

tenendo anche conto della correzione geometrica per le misure RL1, ottenute su superficie orizzontale.

	valore RL	valore corretto	$S_u$ (MPa)
<b>RL1</b>	21,8	28	<b>42,2</b>
<b>RL2</b>	17,4	17,4	<b>34,8</b>

In base alla classificazione proposta da ISRM, tali valori indicano una roccia caratterizzata da *resistenza bassa* (classe D).

classe	descrizione	(MPa)
A	resistenza molto alta	>200
B	resistenza alta	100-200
C	resistenza media	50-100
D	resistenza bassa	25-50
E	resistenza molto bassa	<25

## 10. INTERVENTI IN PROGETTO

La presenza di un elevato apporto idrico verso il ciglio del versante determina la necessità di realizzare un canale di gronda per la regimazione delle acque da convogliarsi verso il sottostante torrente affluente del Selvagna. L'intervento consisterà nella realizzazione di un canale in terra con sponde e fondo rinverdite; nei punti di discesa in corrispondenza dei salti di fondo il canale verrà rivestito con pietrame onde evitare situazioni erosionali. Sul canale verranno realizzati dei passaggi con posizionamento di scatolari al fine di permettere l'accesso al bosco costituente la scarpata verso la strada sottostante. L'attraversamento stradale per raggiungere il corso d'acqua verrà realizzato con il posizionamento di uno scatolare. Anche nel corso d'acqua dove verranno recapitate le acque è previsto il posizionamento giustapposto di massi ciclopici a protezione del fondo e delle sponde.

Lungo il versante soprastante la strada è previsto un intervento di miglioramento forestale con l'eliminazione delle piante pericolanti, instabili, deperienti e quelle di diametro superiore ai 35 cm tale intervento si estende su una superficie complessiva di circa 1,6 ettari.

Nelle situazioni erosionali verificatisi a seguito dei vari fenomeni alluvionali passati e rilevati topograficamente durante la campagna di indagine geognostica verranno effettuati interventi di ricucitura con le metodiche dell'ingegneria naturalistica in particolare nei tratti a maggior pendenza ed in corrispondenza dei terreni granulari verranno effettuate le necessarie riprofilature e la messa in opera palificate doppie accompagnate dalla stabilizzazione del terreno con teli di cocco; al fine di favorire il recupero a verde delle aree interessate dagli interventi è previsto anche la messa in opera di palizzate basse.

In alcune sezioni la presenza di affioramenti di conglomerato preclude la possibilità di realizzare palificate doppie per cui verranno messe in opera contenimenti con gabbioni opportunamente rinverditi. Di seguito si riportano gli interventi previsti per singola sezione:

### SEZIONE R1

- 4 ordini di palificata doppia dimensioni L 6m, H3m, P1,8 m
- Riprofilatura versante e stabilizzazione con cocco, palizzata bassa e piantumazioni (sup. 102 mq);

### SEZIONE R2

- 2 ordini di palificata doppia dimensioni L 8m, H3m, P1,8 m
- Riprofilatura versante e stabilizzazione con cocco, palizzata bassa e piantumazioni (sup. 36 mq);

#### SEZIONE R3

- 2 ordini di palificata doppia dimensioni L 6m, H2m
- Riprofilatura versante e stabilizzazione con cocco, palizzata bassa e piantumazioni (sup. 120 mq);

#### SEZIONE R4

- 1 ordine di palificata doppia dimensioni L 6m, H1,5m, P1,8 m
- 2 ordini di gabbionate rinverdite dimensioni L4m H2m
- Riprofilatura versante e stabilizzazione con cocco, palizzata bassa e piantumazioni (sup. 60 mq);

#### SEZIONE R6

- 2 ordini di palificata doppia dimensioni L 6m, H3m, P1,8
- Riprofilatura versante e stabilizzazione con cocco, palizzata bassa e piantumazioni (sup. 100 mq.).

## 11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area in esame risulta interessata da una strada il cui versante sovrastante presenta significativi fenomeni di erosione lineare che durante intensi eventi piovosi hanno determinato un trasporto solido verso valle rendendo la strada inagibile; inoltre la presenza di un pianalto in pendenza verso la strada e caratterizzato da terreni a bassa permeabilità, determina un consistente apporto di acqua che, oltre a coinvolgere la scarpata, determina accumuli idrici lungo la strada nei punti a minor pendenza. Le indagini geognostiche hanno messo in evidenza, nel pianalto, terreni a scarsa portanza per i primi 7-8 metri cui seguono depositi conglomeratici dapprima alterati e poi via via più compatti. L'indagine sismica con metodologia MASW ha permesso di classificare i terreni in categoria B.

Gli interventi previsti riguardano la realizzazione di un fosso al ciglio della scarpata in modo da governare le acque provenienti dal pianalto che presenta una superficie di scolo di circa 8 ha, evitando il coinvolgimento della scarpata sottostante. Le acque andranno convogliate con opportune opere di regimazione nel corso d'acqua (Rio Valle di Bizzozero) sottostante la strada.

Lungo il versante interessato dai fenomeni erosivi descritti si prevede la sistemazione con opere di ingegneria naturalistica.

Inoltre la presenza di un bosco mal conservato richiede un intervento di sfoltimento e miglioramento delle essenze onde evitare la situazione attuale che vede piante spesso ricadenti sul sedime stradale con rischio per gli utenti che la percorrono.

## **Appendice 1**

### **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE RESTITUZIONI GRAFICHE 2024**

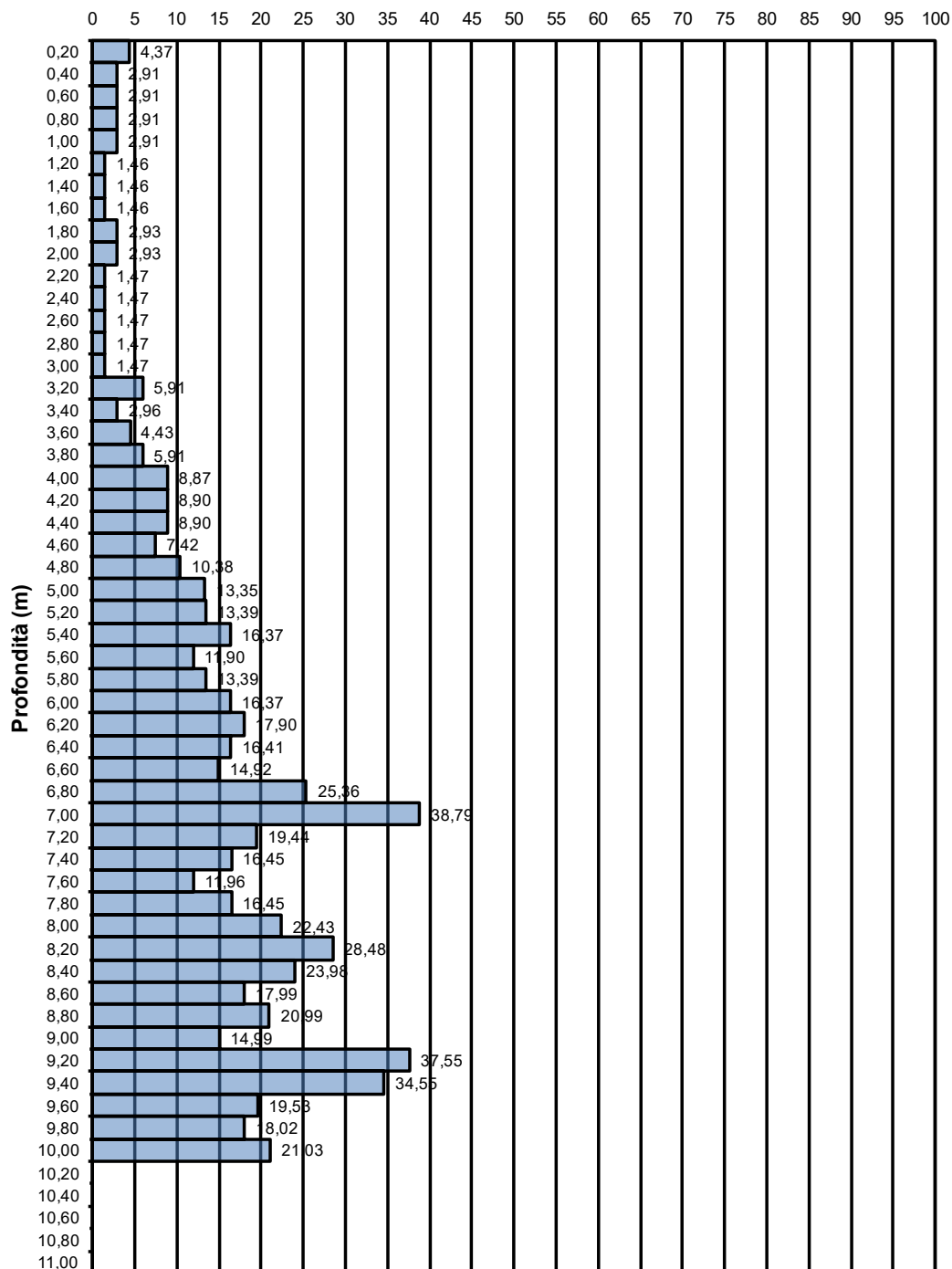
**54**

---

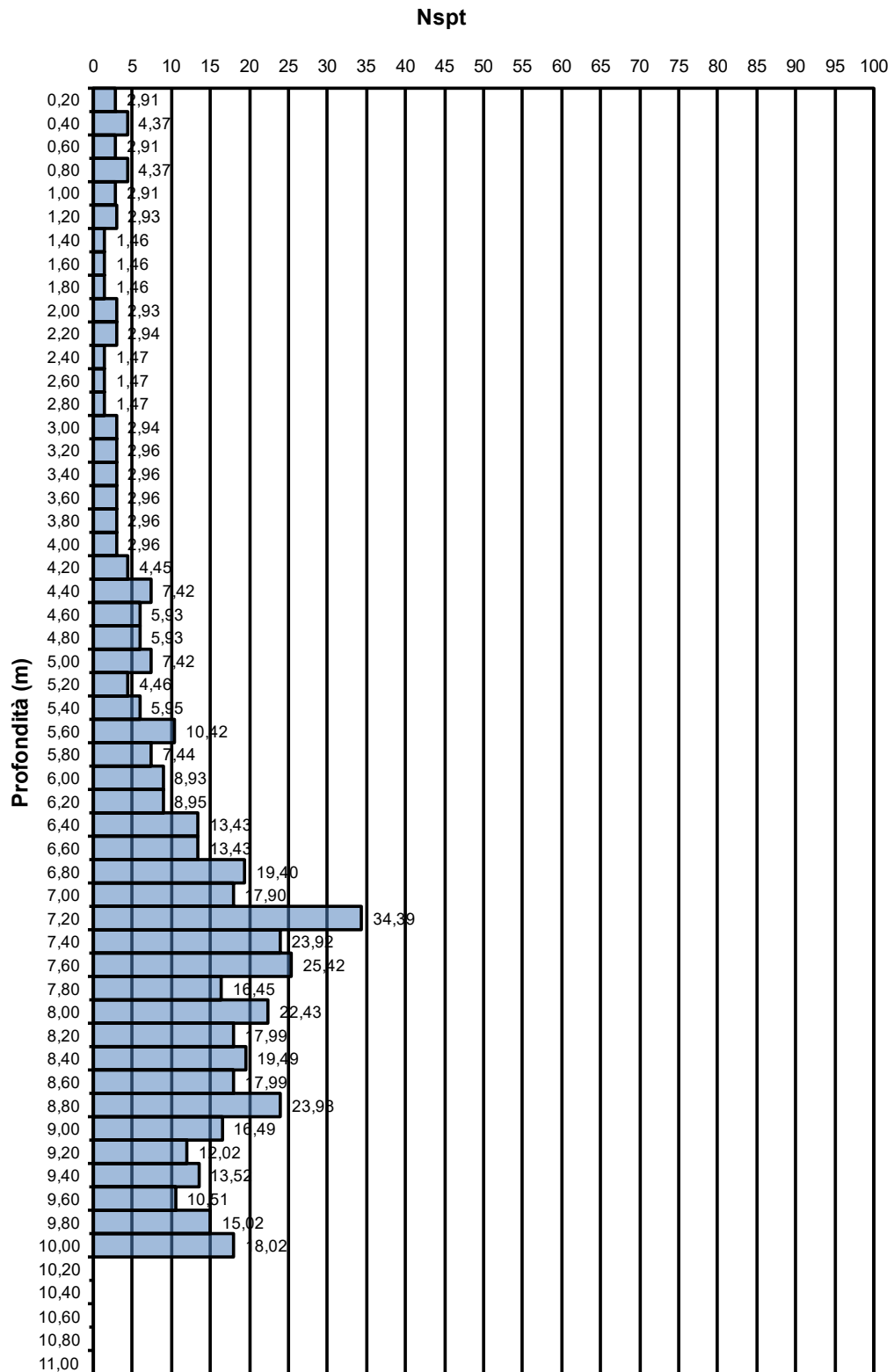
**88**

## PROVA PENETROMETRICA P1

Nspt

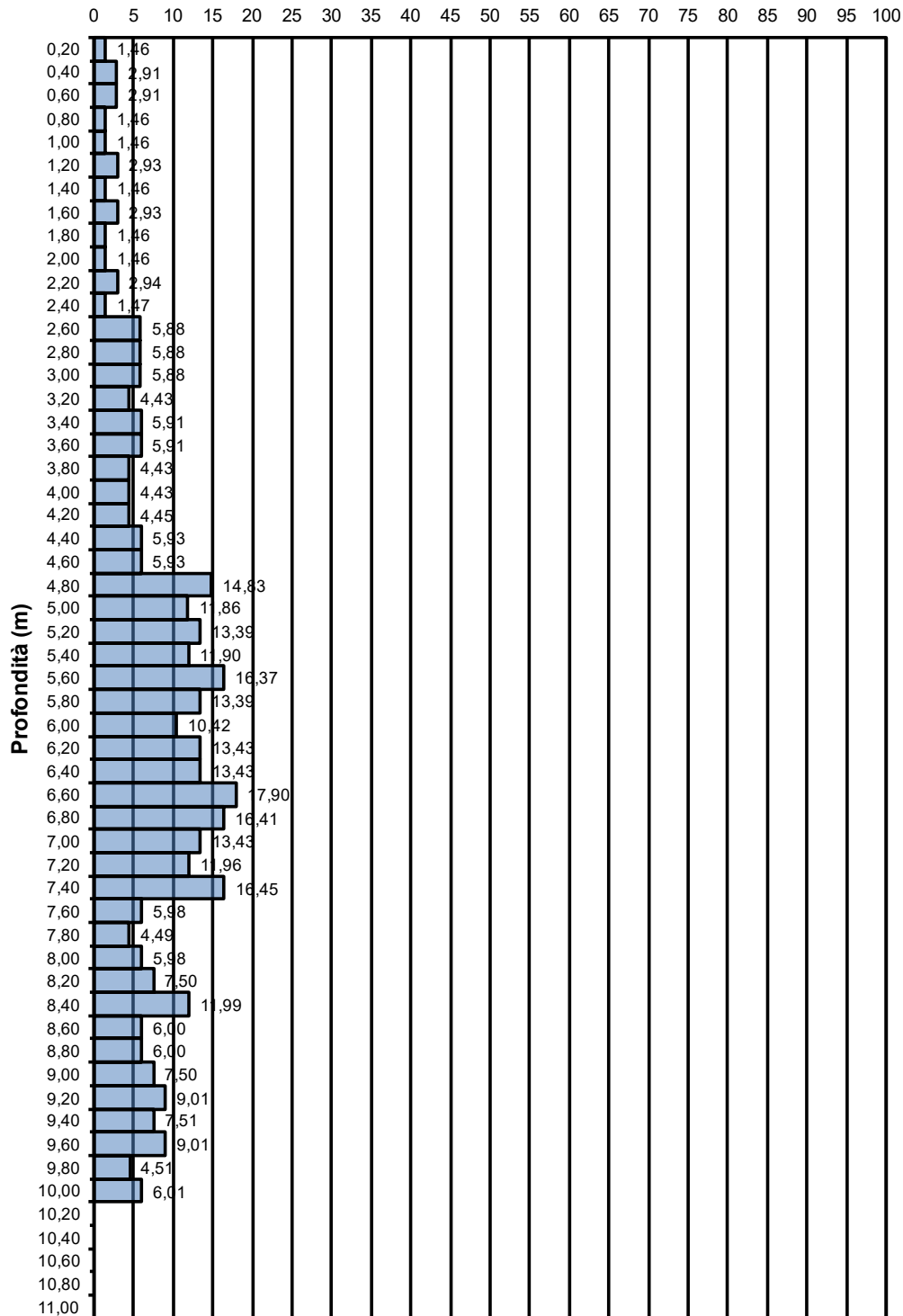


## PROVA PENETROMETRICA P2



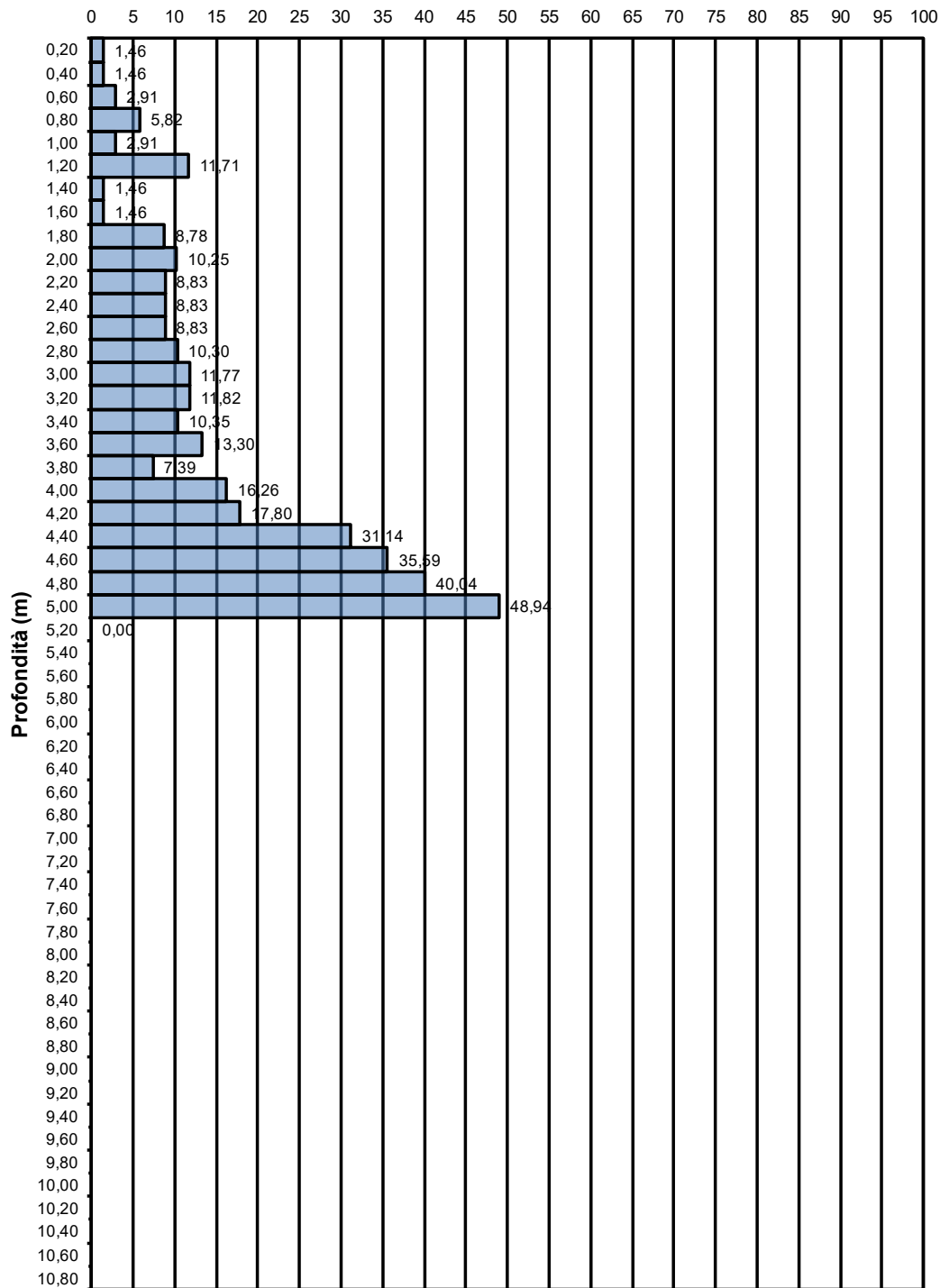
### PROVA PENETROMETRICA P3

Nspt



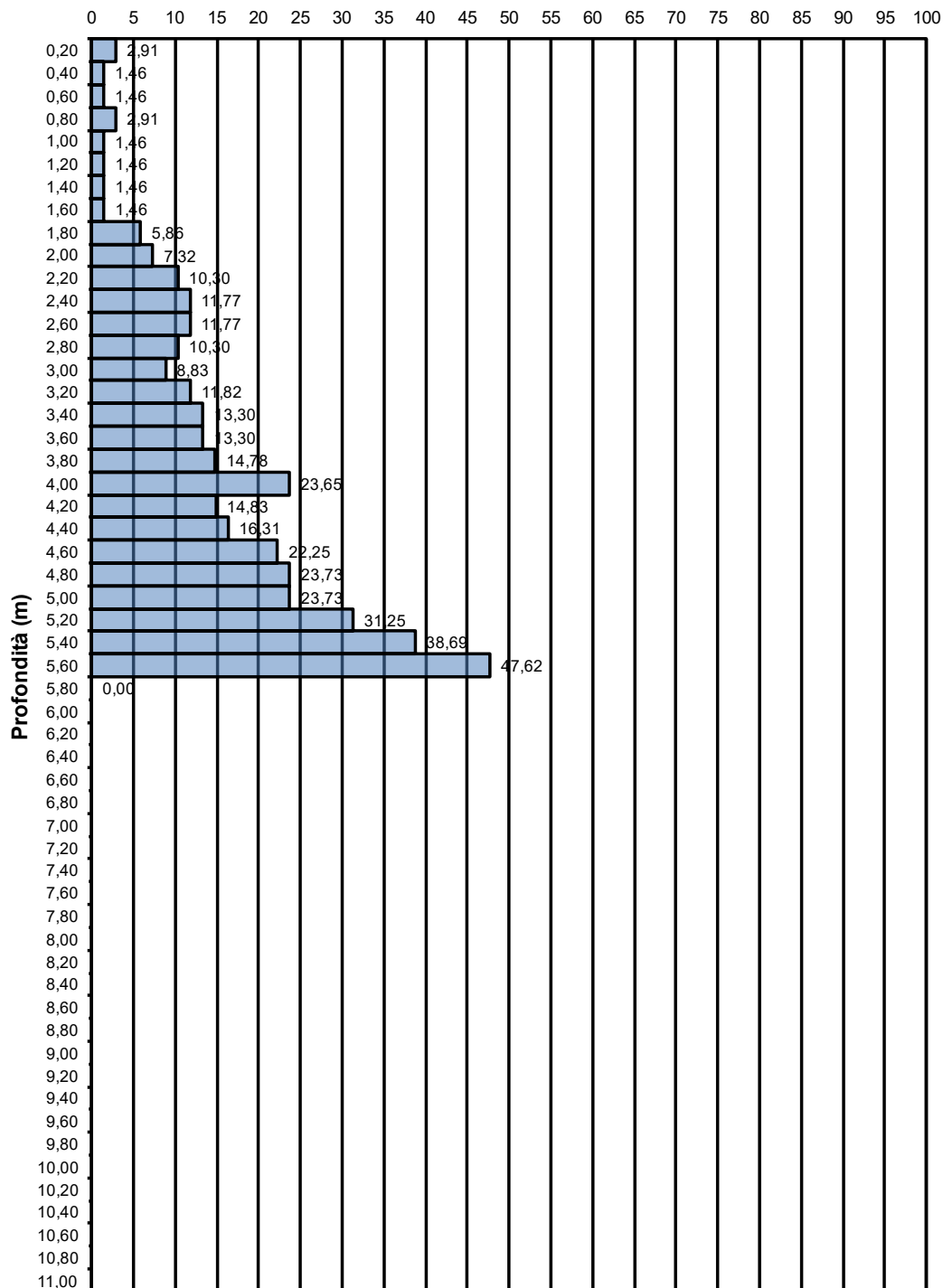
## PROVA PENETROMETRICA P4

Nspt



## PROVA PENETROMETRICA P5

Nspt



## **Appendice 2**

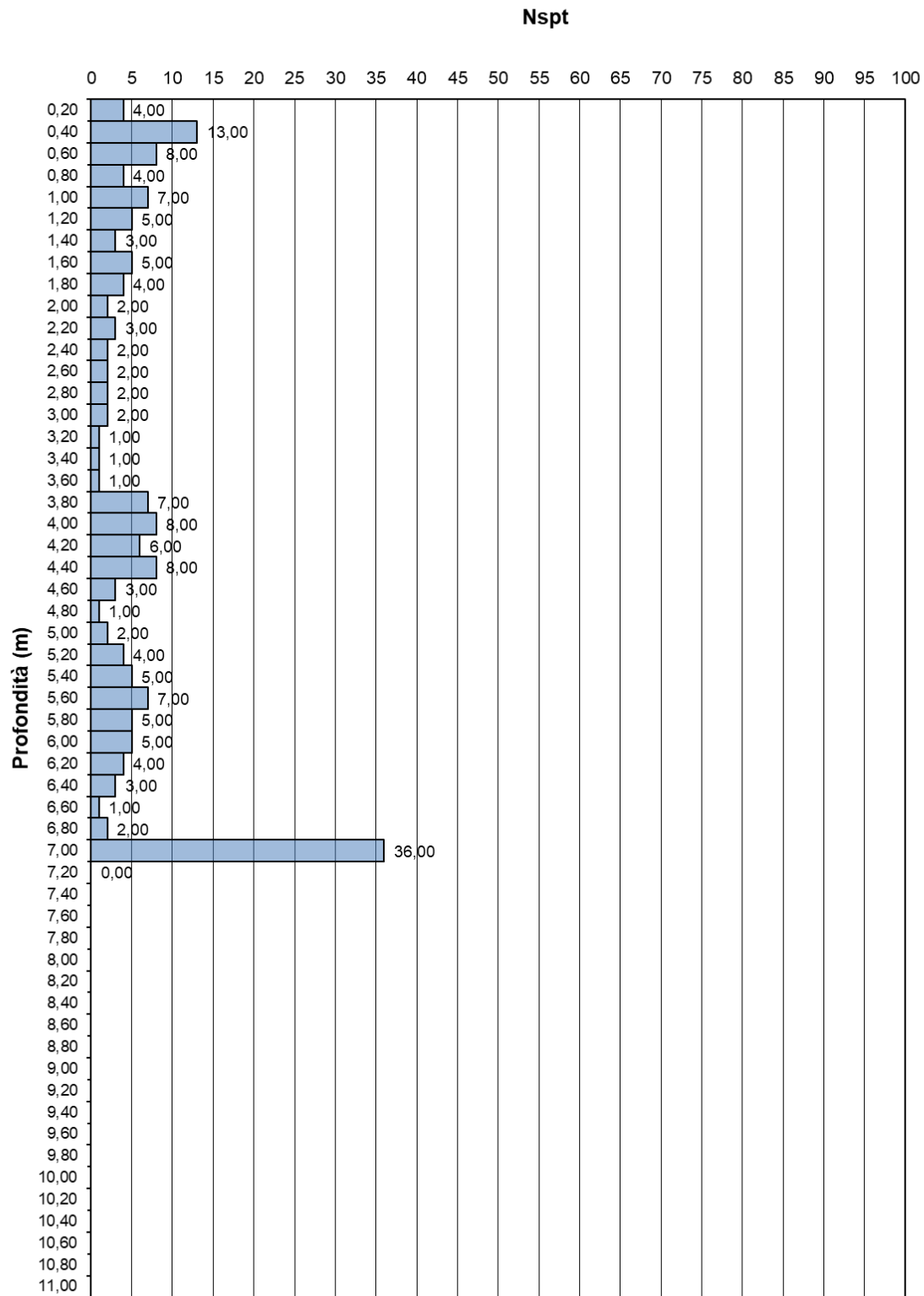
### **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE RESTITUZIONI GRAFICHE 2021**

**60**  

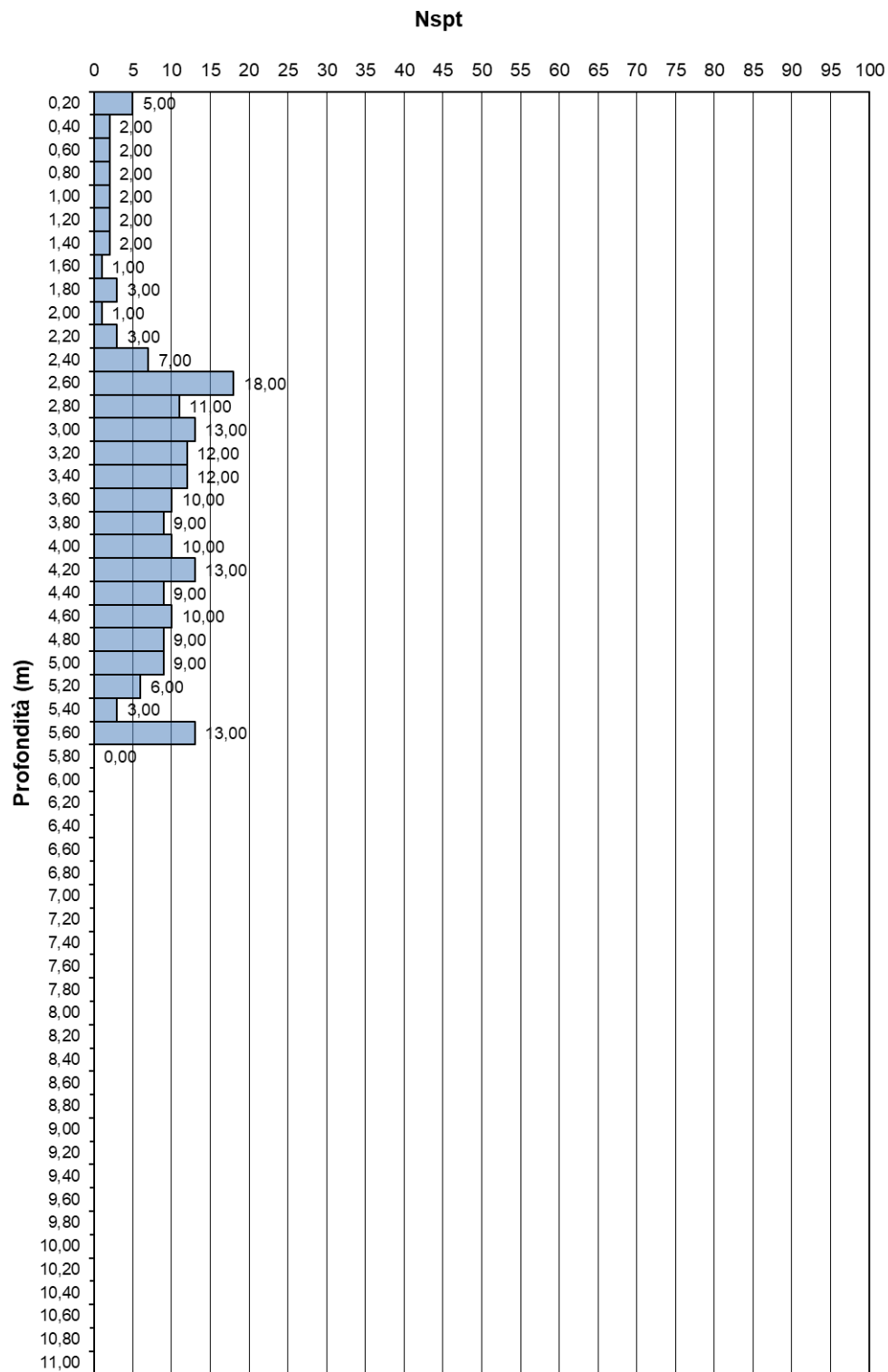
---

**88**

## PROVA PENETROMETRICA P1

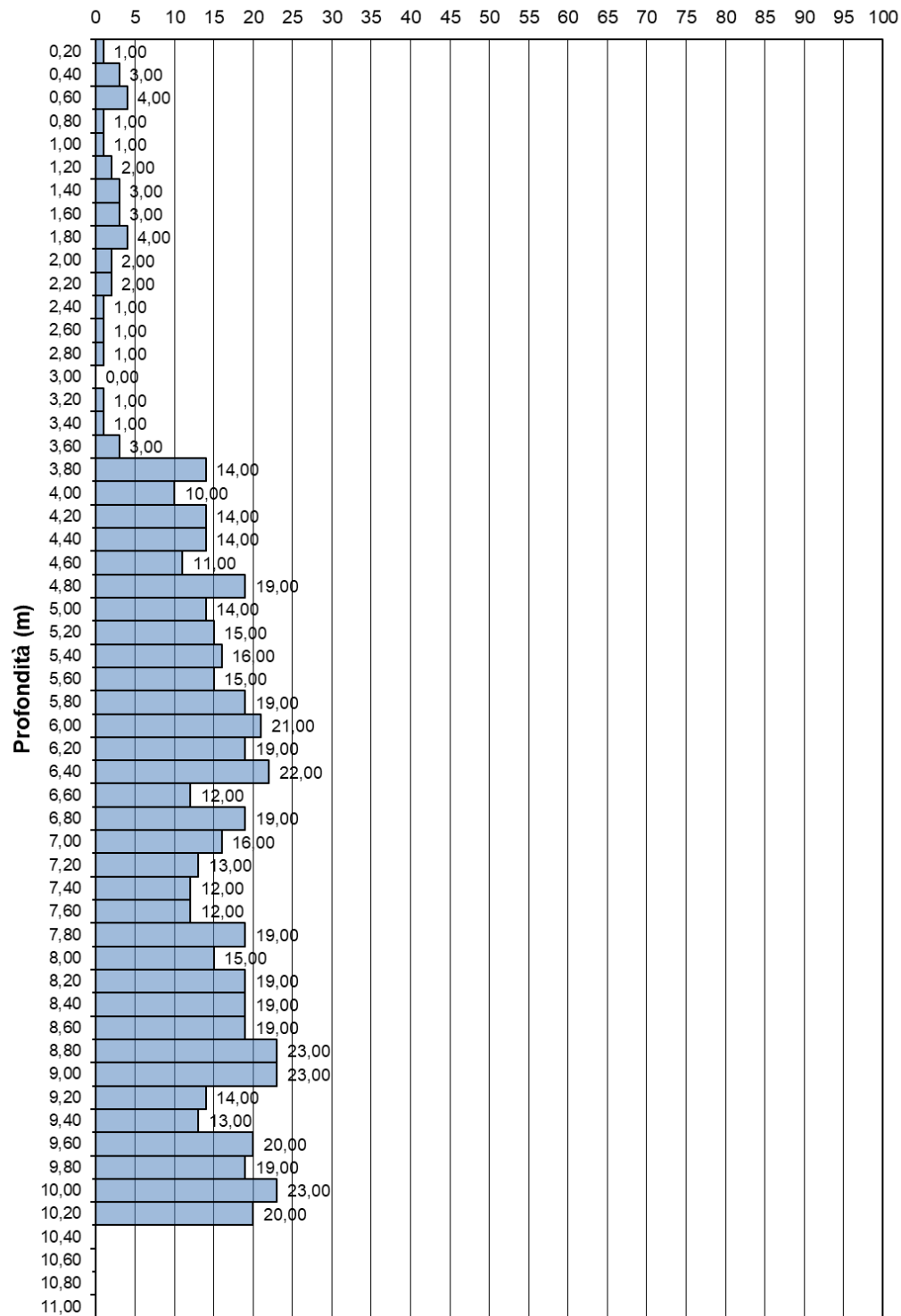


## PROVA PENETROMETRICA P2



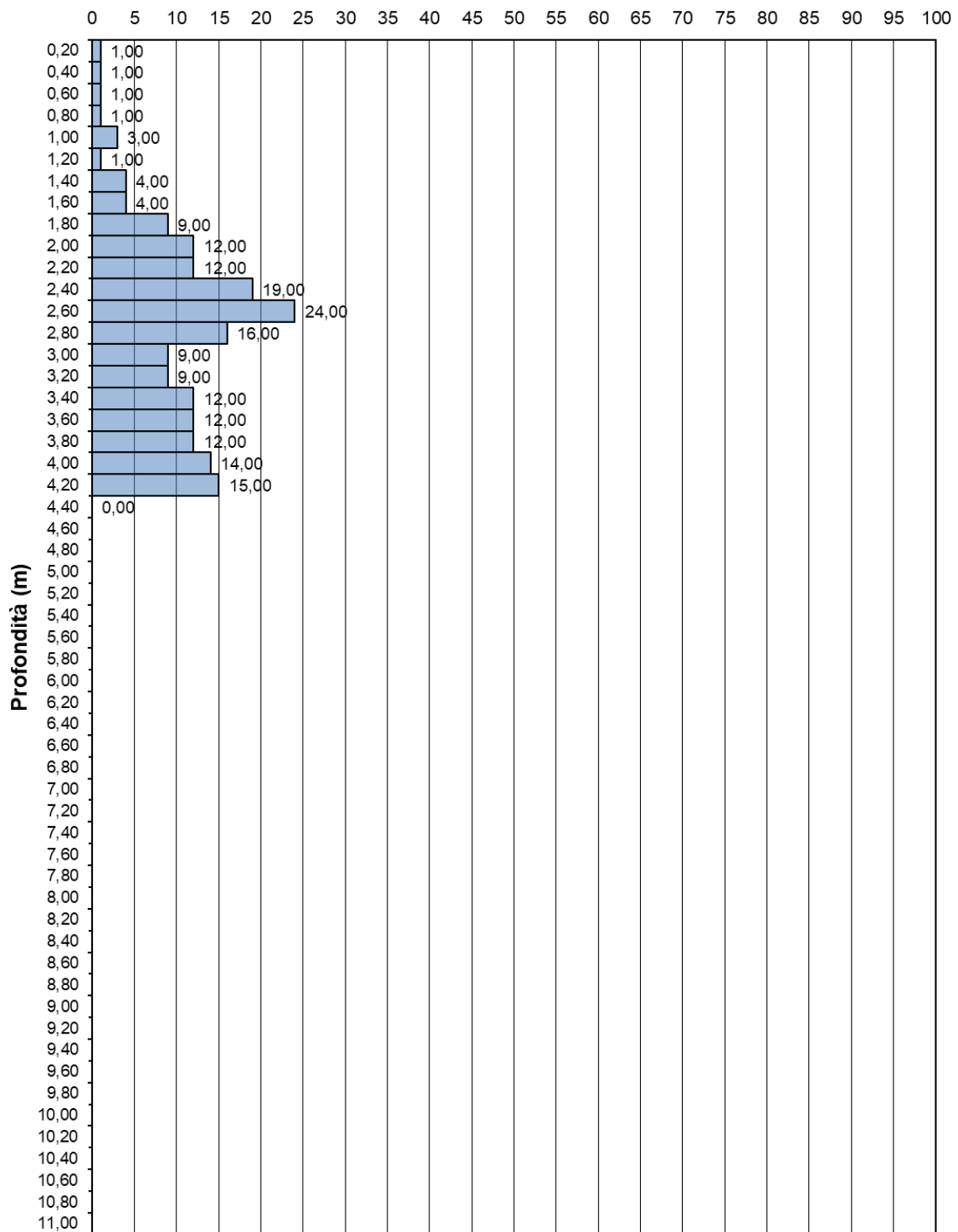
### PROVA PENETROMETRICA P3

Nspt



## PROVA PENETROMETRICA P5

Nspt



## **Appendice 3**

### **SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1**

#### **STRATIGRAFIA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

65

---

88

## SONDAGGIO S1

Scala 1:50	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	S.P.T.				LEFRANC E-6 m/sec
					10	20	30	40	
0.5		1.45		Limi debolmente sabbiosi, limi sabbiosi; colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/3)					
1.0									
1.5	1.45				1.50				
2.0		0.75		Limi argillosi, limi da debolmente argillosi a debolmente sabbiosi; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3)	1.95				
2.5	2.20								2.00
3.0				Limi sabbioso argillosi, limi sabbiosi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi; colore bruno scuro (10 YR 5/3); clasti millimetrici prevalentemente molto alterati; verso il basso aumento clasti centimetrici e diminuzione del grado di alterazione					8.8
3.5					3.00				
4.0		3.30			3.45				
4.5									
5.0									
5.5	5.50								
6.0				Limi sabbiosi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi; clasti da millimetrici a decimetrici					
6.5		1.80							
7.0									
7.5	7.30								
8.0				Sabbie con limo, sabbie limose ghiaiose debolmente argillose, clasti da millimetrici a centimetrici in parte alterati con esclusione delle litologie quarzose; colore bruno giallastro (10YR 5/4); livelli centimetrici grigiastri					
8.5		1.70							
9.0	9.00								
9.5									
10.0	10.00	1.00		Conglomerato poligenico (frantumato per uso carotiere semplice)					

SONDAGGIO S1		
0 m da pc		1m
1m		2m
2m		3m
3m		4m
4m		5m
5m		6m
6m		7m
7m		8m
8m		9m
9m		10m

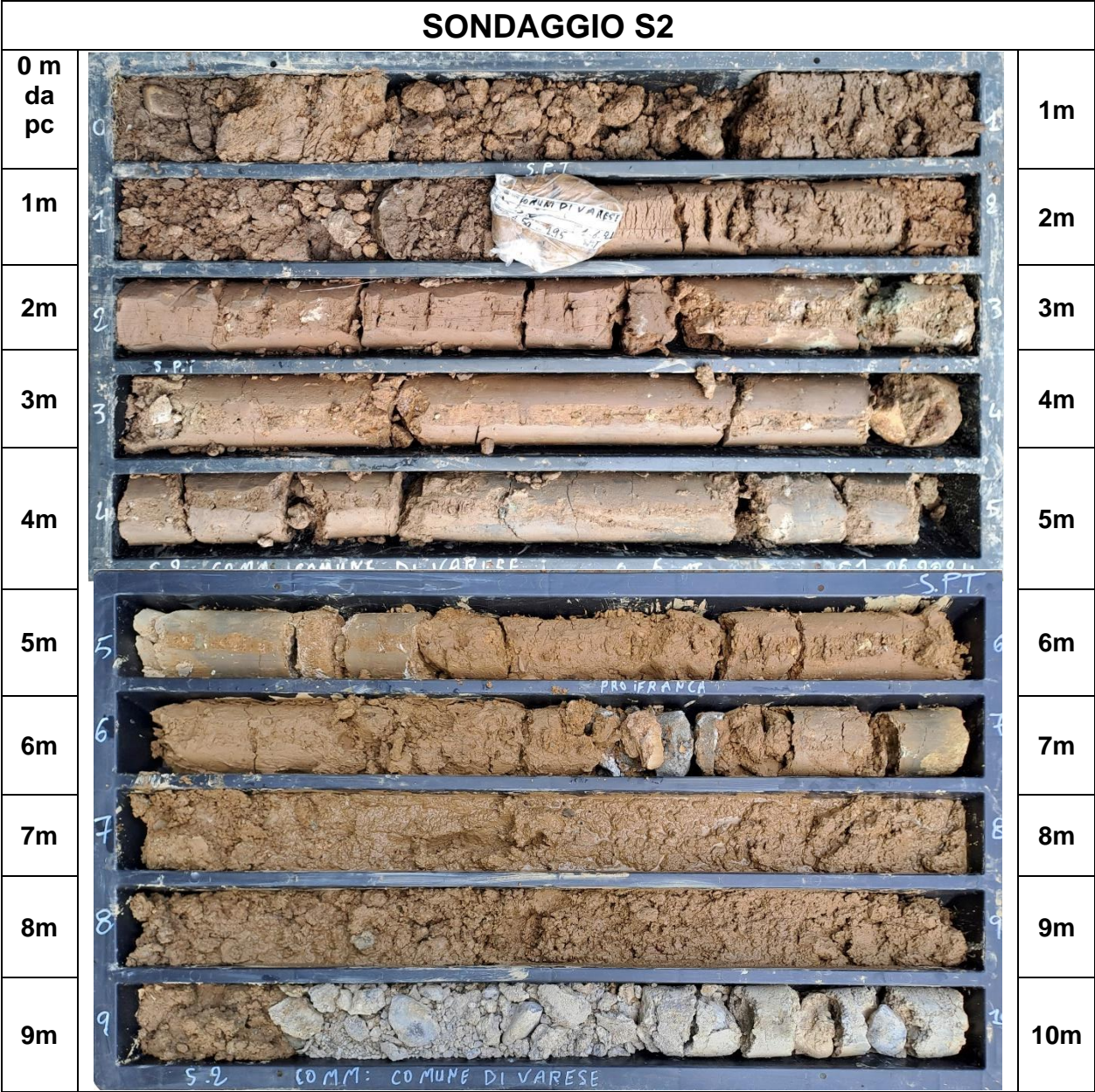
## **Appendice 4**

### **SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2**

#### **STRATIGRAFIA DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

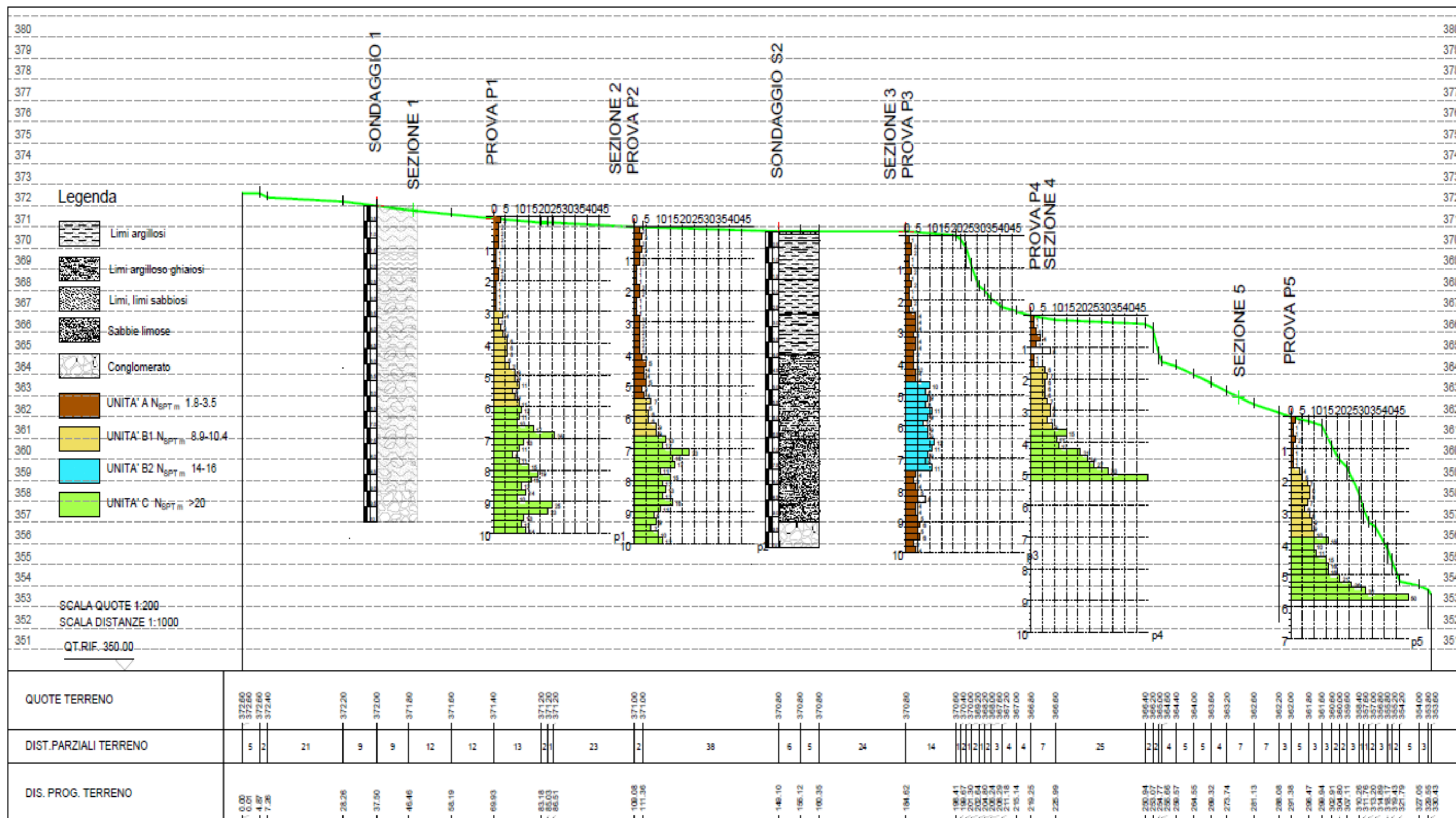
## SONDAGGIO S2

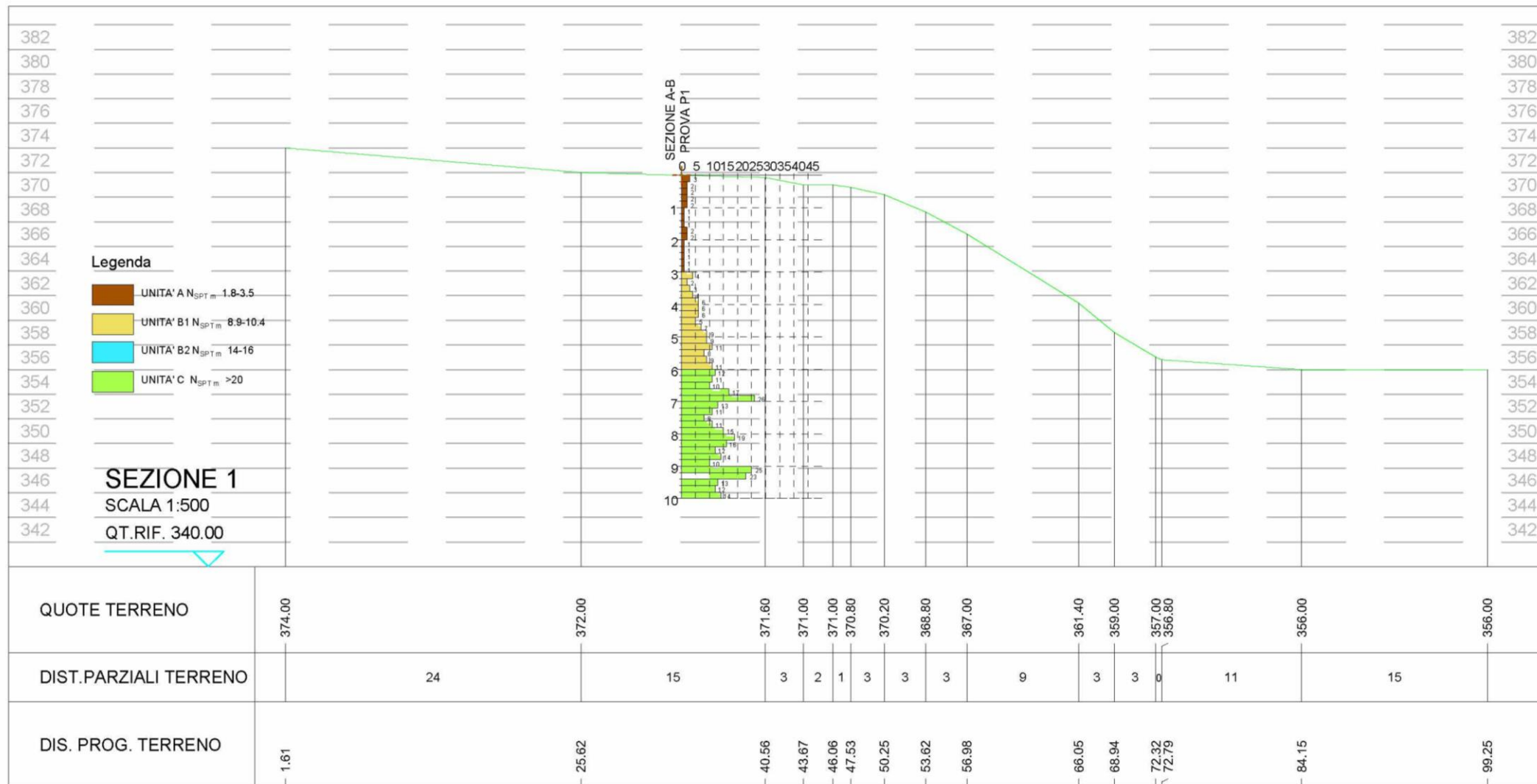
Scala 1:50	Profondità'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	S.P.T.				LEFRANC E-6 m/sec
					10	20	30	40	
0.10	0.10	0.10		Orizzonte A; colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2)					
0.5	0.30	0.20		Limi di colore bruno giallastro scuro (10 YR 5/4)					
1.0		1.20		Limi argillosi, limi debolmente argillosi e debolmente ghiaiosi di colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2)					
1.5	1.50				1.50				
2.0		1.10		Limi argillosi, limi con argilla; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3); rari clasti alterati	1.95				14
2.5	2.60								
3.0		1.30		Limi con argilla debolmente ghiaiosa; clasti da millimetrici a centimetrici alterati; colore bruno scuro (7.5 YR 4/3)	3.00				28
3.5					3.45				
4.0	3.90								
4.5		2.70		Limi argillosi e sabbie debolmente ghiaiose; di colore bruno giallastro (10YR 5/4); clasti debolmente alterati					
5.0									
5.5									
6.0					6.00				28
6.5	6.60				6.45				
7.0		2.60		Sabbie, da medie a grosse, limose debolmente ghiaiose; rari trovanti decimetrici					6.00
7.5									6.03
8.0									6.50
8.5									
9.0									
9.5	9.20								
10.0	10.00	0.80		Conglomerato poligenico					

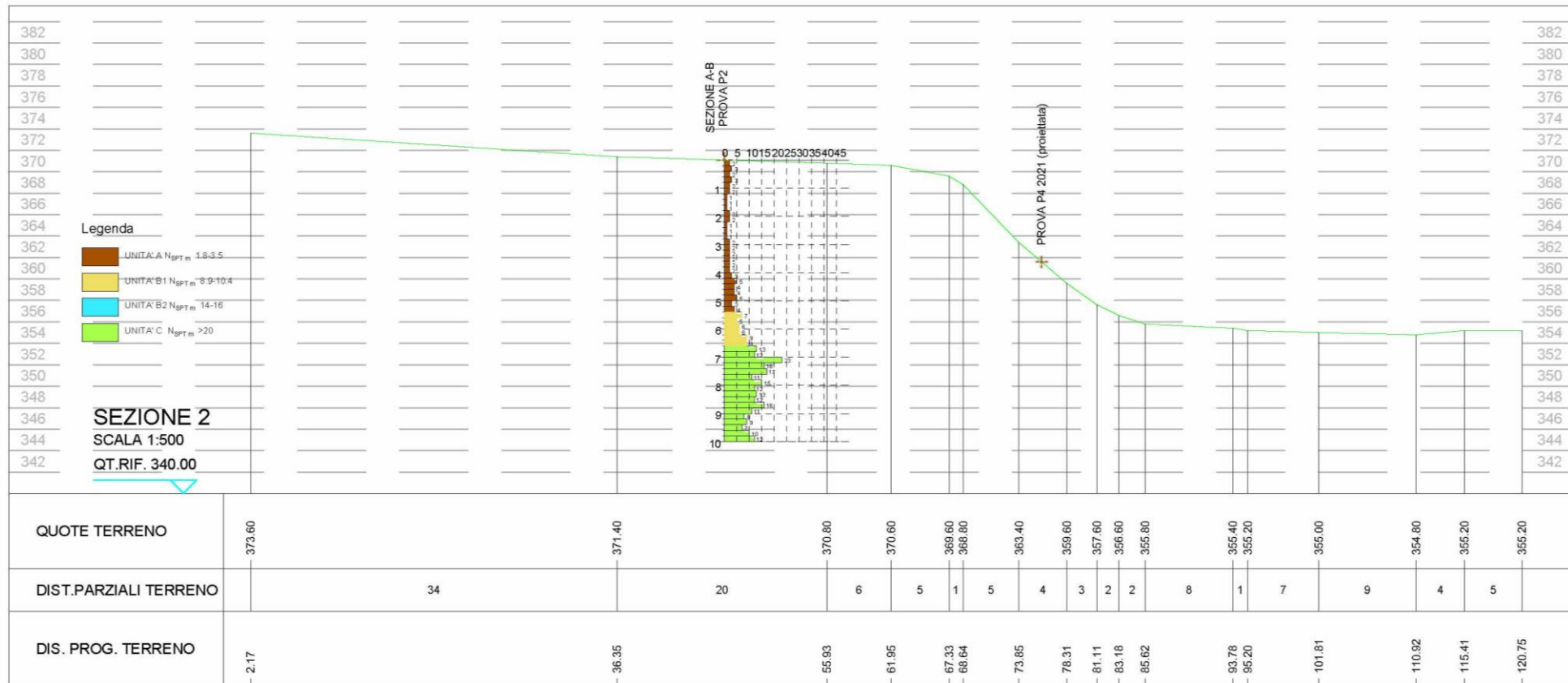


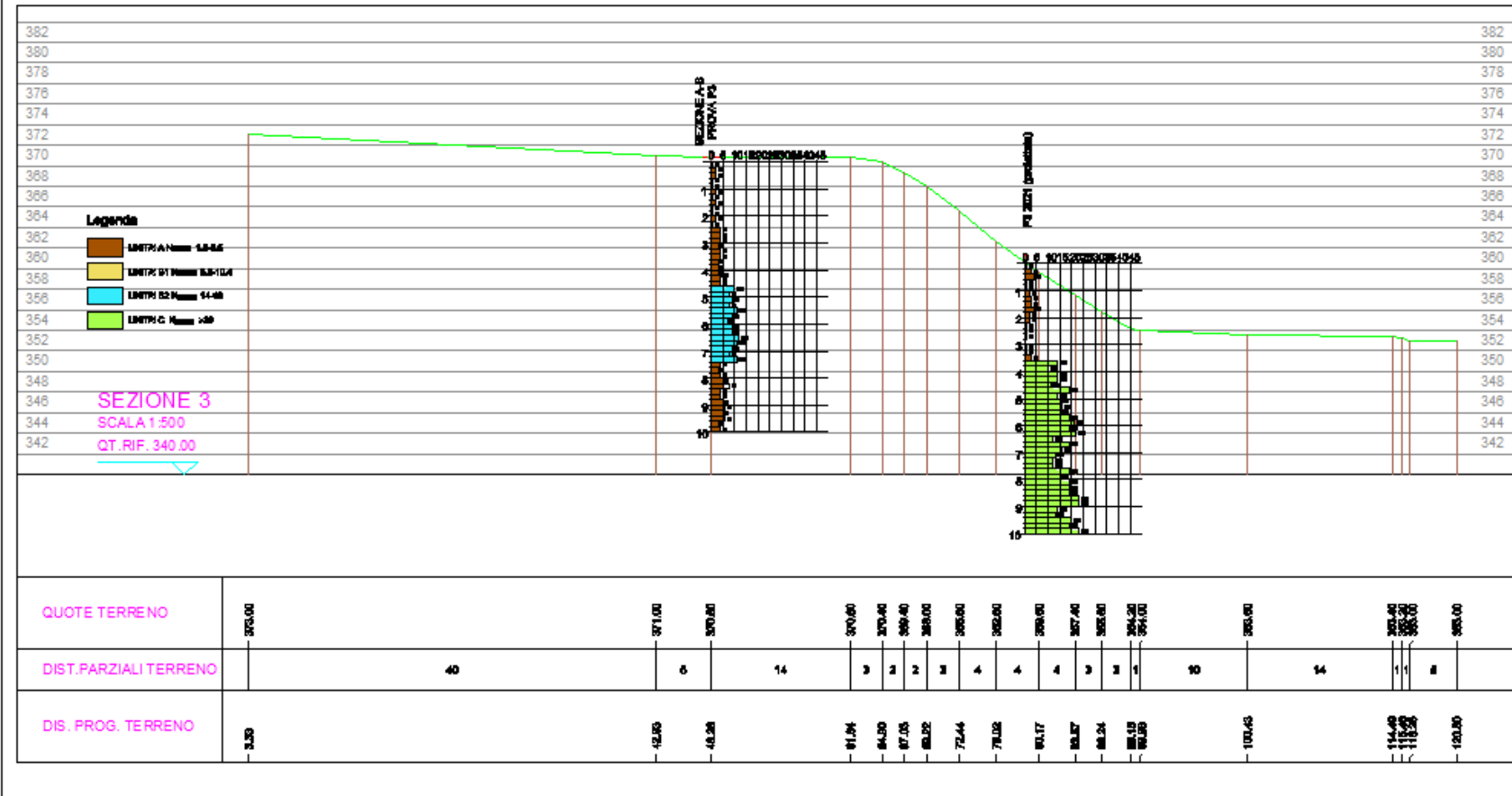
## **Appendice 5**

### **SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE**









PDL  
3.02

COMUNE DI VARESE  
Opere di sistemazione versanti prospicienti Via Piana di Luco  
PROGETTO ESECUTIVO  
Relazione geologica e geotecnica



