RELAZIONE GEOLOGICA
RELAZIONE GEOTECNICA

D.M.14.9.2005
D.M.11.3.1988
Ord. P.C.M. n.3274/2003

COMUNE DI ALASSIO (SV)

COSTRUZIONE PARCHEGGIO INTERRATO SOTTOSTANTE IL CAMPO SPORTIVO COMUNALE

Progettazione Definitiva

COMMITTENTE:
Besix s.a.

Febbraio 2008

geosilt www.geosilt.com E-mail: a.scarpati@geosilt.com
studio associato geologia Scarpati
pass.ta Cadorna 53 - 17021 ALASSIO (SV) - tel/fax 0182/645727 - cell.: 3356195399
via San Bernardo 21/1a - 16123 GENOVA

1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta, su incarico della Besix s.a., al fine di evidenziare le eventuali problematiche geologico-tecniche relative alla fase di progettazione esecutiva, per la realizzazione di una autorimessa interrata sottostante il Campo Sportivo Comunale di Alassio (SV).

L'intervento in progetto consiste nella riedificazione delle strutture dell'attuale Campo Sportivo in modo da ricavare nel sottosuolo dello stesso un autosilo ad uso parcheggio autovetture che sarà articolato su un piano interrato.

Per la redazione della presente relazione geologica e geotecnica sono state analizzate le indagini effettuate dallo scrivente, quali pozzetti esplorativi, sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove penetrometriche leggere e pesanti, analisi granulometriche, indagini geofisiche di tipo Noise Analysis of Surface Waves (NASW).

Nel lavoro che segue si potranno individuare tre parti ben distinte:

- il modello geologico: basato sui dati geomorfologici, litologici e idrogeologici, estrapolati dalle informazioni storiche a disposizione sull'area di intervento, analisi delle foto aeree, rilevamento della zona e dati ricavabili da indagini eseguite nel sottosuolo in zone limitrofe;
- il modello geotecnico: impostato grazie all'elaborazione delle prove geotecniche svolte in sito e in laboratorio;
- l'analisi dell'intervento: l'individuazione delle problematiche geologico-tecniche che possono sorgere in fase di esecuzione delle opere in progetto.

Per l'ubicazione topografica dell'area in oggetto, si rimanda allo stralcio della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 (all.1).

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 11/03/1988, a seguito dell'articolo 1 della Legge n. 64/74 ed in aggiornamento al D.M. 21/01/1981 "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", in applicazione alla legge del 02/02/1974 n. 64.
- Circolare LL.PP. 24/09/1988 n. 30483 "Norme tecniche per terreni e fondazioni, istruzioni applicative".
- D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni", viene preso in considerazione, in particolare, il capitolo 7 "Norme per le opere interagenti con i terreni e con le rocce, per gli interventi nei terreni e per la sicurezza dei pendii".
- A.G.I. 1977 "Raccomandazioni sulle programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- UNI ENV 1997 – 1, 03.1997 EUROCODICE 7 "Progettazione geotecnica".
- UNI ENV 1998 – 2, 28.02.1998, EUROCODICE 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica sulle strutture".
- Ordinanza del presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche.
- Normativa di Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico (ai sensi dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/1998, convertito in L. 267/1998) approvata con D.C.P. n° 47 del 25/11/2003 ed aggiornata con D.C.P. n° 17 del 29/03/2004 e relative Circolari esplicativa n° 1-2 e raccomandazioni n° 7-8.

3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA

3.1. Pericolosità idrogeologica

3.1.1 Conformita' con il piano di bacino sul rischio idrogeologico

A seguito di esame della cartografia del Piano di Bacino per la Tutela dal Rischio Idrogeologico nei bacini idrografici della Provincia di Savona scolanti nel Mar Tirreno, redatto ai sensi del comma 1, dell'art. 1, del D.L. 180/1998, ed approvato dalla Provincia di Savona con D.C.P. n° 47 del 25/11/2003 ed aggiornato con D.C.P. n 17 del 29/03/2004, si rileva quanto di seguito riportato.

Carta di Suscettività al Dissesto: l'area di progetto ricade principalmente nella categoria "area a suscettività molto bassa P_{g0}"; a sud-ovest, al piede della collina di San Nicola, è presente una porzione di territorio ricadente nelle categorie "area a suscettività bassa P_{g1}" ed "area a suscettività media P_{g2}". (all.2b).

Carta del Reticolo Idrografico: l'area non ricade nella fascia di rispetto di corsi d'acqua compresi nel reticolo idrografico principale (all.2b).

Carta degli Interventi: l'area non ricade in prossimità di interventi previsti o di monitoraggi a breve e/o lungo termine.

Carta delle Fasce di Inondabilità: l'area ricade principalmente nella "fascia C – pericolosità idraulica bassa (Pi_1)", ovvero aree perifluviali, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=500 anni (D.L. 180/98, Titolo 2 capo 2 art.12) (All.2a). In tale area è consentito ogni tipo di intervento purché realizzato con tipologie costruttive finalizzate alla riduzione della vulnerabilità delle opere e quindi del rischio per la pubblica incolumità.

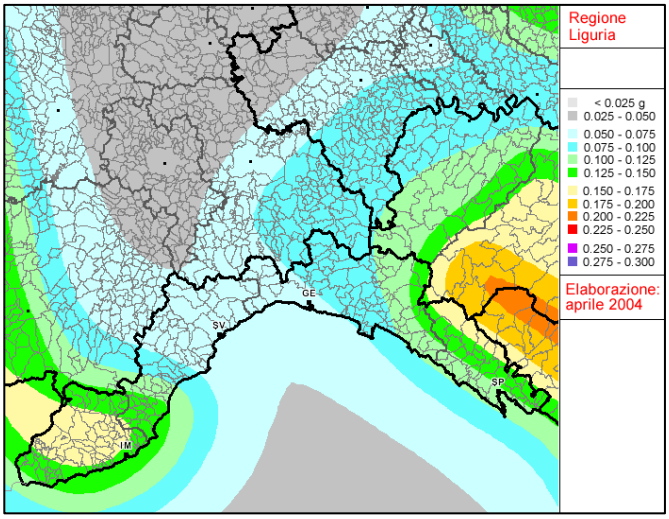
L'intervento in progetto risulta pertanto conforme alle previsioni del Piano di Bacino sul Rischio Idrogeologico; per quanto riguarda l'assunzione delle azioni e delle misure di protezione civile di cui al Piano di Bacino saranno attuate le procedure di emergenza previste dal Piano Comunale di Protezione Civile.

3.2 Pericolosità sismica

3.2.1 Zonazione sismogenetica

Per la valutazione del terremoto di progetto, cioè dell'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare il dimensionamento dell'opera, si può utilizzare come riferimento lo schema proposto dal G.N.D.T., considerando i terremoti che ricadono nella zona sismogenetica di competenza.

Le zone sismogenetiche si individuano sulla base dell'omogeneità delle caratteristiche geologiche, geofisiche e di sismicità storica.



Ciascuna zona è caratterizzata da un sistema di strutture sismogenetiche consistente in uno o più sistemi di faglie maggiori, responsabili degli eventi a più alta energia, e numerose faglie minori, resposabili degli eventi a più bassa energia.

Il principale terremoto storico verificatosi nel ponente ligure è rappresentato dall'evento del 23 Febbraio 1887 (Ms=6.4), la cui ubicazione dell'epicentro (provincia di Imperia) è ancora incerta. Un altro evento di notevole importanza risulta essere il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 (Ms=5.9), la cui posizione è controversa poiché non trova un chiaro riscontro in nessuna delle strutture "attive" presenti nell'area. Incertezze esistono anche per i terremoti verificasi in Mar Ligure nel 1963, di cui una delle due scosse principali ha avuto una magnitudo pari a Ms=5.9 (Eva et alii, 1999).

3.2.2 Mappa di pericolosità sismica

E' stata redatta la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale che lo ha classificato in base alla accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 50% in 10 anni.

In particolare il Comune di Alassio ricade in un intervallo di accelerazione massima del suolo compreso tra 0.125 e 0.150 g.

3.2.3 Classificazione sismica comunale

Il Comune di Alassio è stato classificato zona a grado 3 ai sensi dell'Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", aggiornata con Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n.3316/2003.

3.2.4 Valutazione dell'accelerazione di progetto

3.2.4.1 Risposta sismica del sito

La normativa italiana (D.M. 14/09/2005 - "Norme Tecniche per le Costruzioni") prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della stessa. Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30}, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (Nspt>50 o coesione non drenata >250 kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s (15<Nspt<50, 70<cu<250 kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di V_{s30}<180 m/s (Nsp<15, cu<70 kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di Vs30 simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con V_{s30}>800 m/s.

Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (IP>40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di V_{s30}<100 m/s (10<cu<20 kPa).
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non rientrante nelle classi precedenti.

A seguito delle indagini geologico-tecniche e della determinazione del V_{s30}, attraverso le analisi geofisiche tipo "NASW", eseguite nell'area di indagine, riportate nei paragrafi successivi e nell'allegato 10, è stato possibile classificare il sito nella Classe A, corrispondente ad un'accelerazione orizzontale max pari a 0,15 g.

		Zone sismiche			
		1	**2**	**3**	**4**
Categoria suolo	**S**	**Accelerazione orizzontale max =S*a_g**			
A	1,00	0,35 g	0,25 g	**0,15 g**	0,05 g
B	1,25	0,44 g	0,31 g	0,19 g	0,06 g
C	1,25	0,44 g	0,31 g	0,19 g	0,06 g
D	1,35	0,47 g	0,34 g	0,20 g	0,07 g
E	1,25	0,44 g	0,31 g	0,19 g	0,06 g

4. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

4.1 Geomorfologia

L'area di intervento, ubicata nel centro urbano del Comune di Alassio ad una quota di circa 9.5 metri s.l.m., si trova inserita nella stretta piana di fondovalle del rio Caudi a monte della confluenza con il rio Gonghe e prima dello sbocco vallivo sulla piana costiera di Alassio.

La morfologia del terreno risulta pianeggiante sui lati nord-ovest, nord-est e sud-est, mentre sul lato sud-ovest si sviluppa il versante della collina di San Nicola che risulta sistemato a terrazze con muretti in pietra a secco che trattengono la coltre detritica eluvio-colluviale prodottasi per alterazione chimico-fisica del substrato roccioso.

In direzione NW-SE il terreno risulta pianeggiante sia a monte sia a valle con pendenza media dell'ordine del 0,2%; in direzione SW-NE il terreno risulta pianeggiante a valle ed acclive a monte. Il versante della collina presenta un'acclività media pari al 46% (25°).

Il sito in progetto è contraddistinto dalla presenza del Campo Sportivo Comunale e risulta inserito in un ambito urbanizzato al cui intorno si sviluppano edifici adibiti ad abitazione, ad uso sportivo, ricreativo e di servizio ed infrastrutture relative alla viabilità comunale, ferroviaria ed ai vari servizi a rete; sono inoltre stati osservati antichi pozzi a noria.

Non sono stati rilevati fenomeni di dissesto in atto o potenziale, né fenomeni di erosione o di degrado idrogeologico tali da essere segnalati.

4.2 Geolitologia e caratteristiche strutturali

L'area interessata dall'intervento risulta caratterizzata in prevalenza da successioni di depositi detritici alluvionali a cui si interdigitano, con spessori crescenti verso sud-ovest, depositi di natura eluvio-colluviale, aventi uno spessore medio di circa 12-15 metri. I livelli più superficiali risultano costituiti da materiali a granulometria fina, tipo limi sabbiosi ed argillosi, mentre i depositi di ghiaie e ciottoli sono presenti in modo subordinato, nei livelli inferiori.

In corrispondenza della zona di intervento non si osservano affioramenti relativi al substrato roccioso il quale risulta ricoperto dai materiali detritici anzidetti. Procedendo verso SW, lungo il versante della collina di San Nicola è stato possibile rilevare i primi affioramenti rocciosi riferibili alla Formazione di Testico (Eocene [?] - Paleocene), costituiti da marne arenacee, calcari ed argille. Si tratta delle tipiche sequenze flyschioidi stratificate, superficialmente alterate e notevolmente fratturate.

In particolare la giacitura media degli strati risulta a reggipoggio rispetto al versante, con immersioni di circa 190°N ed inclinazioni di 40°; sono stati individuati inoltre numerosi piani di fessurazione, costituiti in particolare da due sistemi principali fortemente inclinati e con densità volumetrica variabile.

Nell'area di progetto sono stati eseguiti quattro sondaggi a rotazione a carotaggio continuo, la cui ubicazione è presente nella planimetria stato attuale (all.3).

Al fine di definire in modo dettagliato l'andamento dei rapporti reciproci fra i differenti litotipi, sulla base delle risultanze dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo, è stato possibile tracciare le sezioni stratigrafiche interpretative, la cui traccia risulta ubicata nella planimetria (all.3).

Sono state effettuate n.4 sezioni geologiche in scala 1:500 (all.4): la 1-1' e la 2-2' poste parallelamente a via Ignazio dell'Oro; la 3-3' e la 4-4' perpendicolari alle precedenti.

Questa ricostruzione ha permesso di individuare il modello geologico dell'area di indagine nonché di definire le principali variazioni litostratigrafiche presenti nel sottosuolo: in particolare si è rilevata la presenza dei seguenti livelli stratigrafici:

- terreno di riporto e/o rimaneggiato: costituito prevalentemente da sabbia ghiaiosa con una piccola percentuale di limo e argilla ed inclusi di dimensioni al massimo centimetriche;
- argilla limosa e/o limo argilloso: si tratta di diversi livelli stratigrafici, riscontrati a differenti profondità, costituiti dalla presenza di terreno di colore marrone rossiccio, compatto, con la presenza di ghiaia sia spigolosa sia arrotondata e minore percentuale di sabbia. Sono presenti, inoltre, livelli di terreno sabbioso-limoso con argilla ed inclusi di dimensioni da millimetriche a centimetriche;
- cappellaccio di alterazione: rilevato nel sondaggio S4, posto a SW rispetto al sito indagato, ai piedi della collina di San Nicola, costituita in prevalenza da terreno limoso-sabbioso sviluppato per alterazione chimico-fisica del substrato roccioso sottostante;

- substrato roccioso: costituito da strati calcareo marnosi di colore da grigio chiaro a nero, con elevata presenza di vene calcitizzate, notevolmente fratturato ed alterato in superficie.

4.3 Idrogeologia

I materiali detritici presentano mediamente una discreta permeabilità per porosità legata alla porosità efficace dell'accumulo detritico. Il sottostante substrato roccioso presenta invece caratteristiche di permeabilità legate alla densità volumetrica delle discontinuità della roccia per cui si ha mediamente una permeabilità per fratturazione molto ridotta e con andamento discontinuo.

La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da una falda freatica localizzata all'interno dei depositi detritici e collegata direttamente con le falde di subalveo dei vicini corsi dacqua.

Si tratta di una falda la cui direzione principale di flusso segue la direttrice NW-SE mentre i flussi secondari hanno direzione SW-NE.

La posa in opera di 4 piezometri all'interno dei fori di sondaggio permette di misurare il livello della falda freatica fino ad inizio lavori; è stata riscontrata che quest'ultima subisce sensibili oscillazioni in stretta correlazione sia al regime locale delle precipitazioni sia ai regimi idraulici dei corsi d'acqua alimentatori, distinguendo:

- **regime magra:** da -7 metri a -5 metri dal piano di campagna;
- **regime di piena:** -2,5/-3 metri dal piano di campagna;
- **regime eccezionale:** a seguito di piogge con T_{rit}>200 anni: fino a -1/-1.5 metri dal p.c..

Allo stato delle conoscenze non si esclude la possibile presenza di una circolazione idrica profonda all'interno delle discontinuità della roccia.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Per riuscire a definire sia la stratigrafia del sottosuolo sia le caratteristiche geotecniche dei diversi livelli sono state analizzate le indagini geognostiche e geotecniche effettuate in sito e in laboratorio, la cui ubicazione è presente nella planimetria (all.3). Di seguito verranno prese in considerazione le diverse tecniche adottate, definendone le principali caratteristiche.

√ **Sondaggio geognostico**, (stratigrafia riportata nell'allegato 6 e 7):

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, fino alla profondità di 10 m dal piano campagna, con carotiere avente diametro di 101 mm;
- prove SPT in foro, ogni 1,5 meri di profondità;
- posa in opera di piezometri, utilizzando un tubo in PVC microfessurato, all'interno dei fori di sondaggio;
- prove granulometriche, effettuate in laboratorio, su una parte dei campioni di terreno prelevati, alla profondità di -3 metri dal p.c. (all.11).

√ **Pozzetti geognostici**, (fotografie riportate all'allegato 7):

- n. 2 pozzetti esplorativi eseguiti con mezzi meccanici convenzionali, fino alla profondità di -3 metri dal piano di campagna. Tali indagini permettono l'osservazione diretta del terreno, il prelievo di campioni e l'esecuzione di prove in situ;
- prove scissometriche eseguite alla profondità di circa -3 m dal p.c., utilizzate per la determinazione della resistenza al taglio non drenata (cu) nei terreni coesivi teneri e saturi;
- prove granulometriche, effettuate in laboratorio, su una parte dei campioni di terreno prelevati, a diverse profondità (~1,5 e ~3 metri dal p.c.) (all.11).

√ **Indagini geofisiche NASW**, la cui descrizione è presente all'allegato 10:

- n. 2 stendimenti geofisici passivi, tipo "Noise Analisys Surface Waves Nasw", impiegate allo scopo di ottenere il profilo verticale delle onde S, utilizzando come sorgente d'onda superficiale il rumore sismico di fondo ("microtremore").
  Attraverso l'impiego di questa indagine è possibile individuare il valore di V_{s30} ed effettuare una valutazione sul tipo di terreno indagato, associandolo ad una determinata classe, in base al

D.M. 14/09/2005. L'analisi dei dati forniti da tale indagine geofisica permette di determinare diversi valori, utili per la caratterizzazione del sottosuolo.

√ **Prove penetrometriche dinamiche**, presenti nell'allegato 9:

- n. 3 prove penetrometriche dinaniche leggere, utilizzando il penetrometro medio Sunda DL030, con le seguenti caratteristiche tecniche:
  - Maglio a caduta libera 30 kg.
  - Altezza di caduta 20 cm.
  - Peso aste 2,4 Kg/ml, diametro 20 mm.
  - Punta conica a perdere, apertura 60°,sezione 10cmq.
  - Frequenza di caduta 55 colpi/minuto.
- n. 6 prove penetrometriche dinaniche pesanti (SCPT), utilizzando un penetrometro con le seguenti caratteristiche tecniche:
  - Maglio a caduta libera 73 kg.
  - Altezza di caduta 74 cm.
  - Frequenza di battuta 24 colpi/minuto.
  - Punta conica a perdere, apertura 60°, sezione 20.27 cmq.
  - Diametro 50.8 mm.

L'elaborazione dei dati penetrometrici, utilizzando rispettivamente il n.colpi/10 cm e il n.colpi/30 cm, ha consentito la definizione di ulteriori informazioni sulla consistenza del terreno.

Sono state, inoltre, effettuate osservazioni e misurazioni, attraverso il "martello di Schmidt" sugli affioramenti rocciosi rilevati nel versante della collina di San Nicola, e sulle carote dei sondaggi geognostici, al fine di individuarne le caratteristiche geomeccaniche.

6. ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE PROVE ESEGUITE

Dopo aver analizzato in modo dettagliato la successione litostratigrafica, identificativa del modello geologico, vengono elaborati i risultati delle prove eseguite in sito ed in laboratorio, allo scopo di fornire i parametri necessari alla determinazione della classificazione geotecnica dell'area indagata.

Attraverso l'interpolazione della stratigrafia e delle analisi granulometriche (all.6-11), effettuate sui campioni prelevati a diverse profondità, durante i sondaggi e i pozzetti geognostici, è stato possibile identificare i principali tipi di terreno presenti nel sottosuolo; sono stati individuati principalmente terreni argillo-limosi, con la presenza di ghiaia e sabbia, in percentuale minore, sovrastati da uno spessore di terreno di riporto. E' stata individuata, inoltre, la presenza di un substrato roccioso calcareo-marnoso, sovrastato da un cappellaccio di alterazione limoso-sabbioso.

Il valore della coesione non drenata dei terreni è stata fornita dall'elaborazione dei risultati delle prove scissometriche eseguite nei pozzetti esplorativi (all.7), alla profondità di -3 metri dal p.c. ($Cu \cong 0.3 – 0.4$ Kg/cmq).

Per definire al meglio le caratteristiche geotecniche del sottosuolo sono state utilizzate correlazioni empiriche, riferite alle prove SPT ("Standard Penetration Test"), ovvero con la determinazione del parametro Nspt; le prove SCPT ("Standard Cone Penetration Test"), che tendono a sovrastimare tali parametri, sono state effettuate esclusivamente per valutare eventuali eterogeneità laterali del terreno attraverso formule empiriche che correlano il valore N_{30}, ottenuto attraverso l'esecuzione della prova, ed Nspt. Nell'allegato 9 sono presenti le tabelle riassuntive di tali indici in base alla risultante delle prove SPT nei terreni incoerenti ed SCPT, questi ultimi sono stati ulteriormente elaborati sulla base delle conoscenze geolighe e geomorfologiche proprie sul sito di intervento, per arrivare a formulare un modello geotecnico univoco e chiaro.

L'elaborazione dei dati penetrometrici, utilizzando il n.colpi/10 cm, ha consentito di definire informazioni utili sulla consistenza del terreno e confrontarli con quelli ottenuti dall'analisi delle prove anzidette.

L'elaborazione delle misure effettuate sugli affioramenti e sulle carote hanno permesso, inoltre, di definire le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso.

I dati empirici ottenuti attraverso l'analisi e l'elaborazione delle diverse prove geotecniche eseguite nel sito di indagine, interpolati con le conoscenze forniteci da lavori eseguiti nei terreni

limitrofi, eventi caratteristiche similari, hanno permesso di formulare il modello geotecnico del sottosuolo, presente nelle pagine seguenti (all.5).

7. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico del sottosuolo, riassunto nella tabella presente all'allegato 5, è stato ricostruito evidenziando la presenza di livelli aventi caratteristiche simili, sia dal punto di vista litologico sia geotecnico.

Le informazioni necessarie per ipotizzare la stratigrafia tipo del sottosuolo sono state fornite dalle stratigrafia dei sondaggi e dei pozzetti geognostici eseguiti nell'area in questione; le caratteristiche geotecniche dei diversi livelli stratigrafici, invece, sono state dedotte dall'analisi delle prove geotecniche in situ e in laboratorio, come specificato in precedenza.

A tal proposito sono state riscontrate n.4 unità geotecniche, contraddistinte da differenti parametri; per ogni unità geotecnica sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche: peso di volume sia naturale sia saturo(γ_n, γ_{sat}); angolo di attrito (φ); coesione non drenata (Cu); modulo di Young (E); modulo di taglio (Go).

7.1 Caratteristiche dei depositi detritici

La coltre detritica di copertura presente nel sottosuolo del sito indagato risulta di natura argillo-limosa e/o limo-argillosa, con la presenza di ghiaia e sabbia in misura minore. Tali depositi hanno uno spessore progressivamente crescente da SW verso NE, mentre si mantiene sostanzialmente costante nella direzione opposta. Nelle porzioni inferiori sono presenti i materiali più grossolani costituiti essenzialmente da ghiaia e ciottoli in matrice fine.

Si tratta essenzialmente di depositi che per loro natura sono costituiti da elementi granulometrici eterogenei organizzati in lenti sia orizzontalmente sia verticalmente il cui stato di addensamento è ragionevolmente compreso tra sciolto e medio.

Al di sopra di tali depositi detritici è presente un'unità geotecnica caratterizzata da terreno di riporto superficiale, costituito da sabbia ghiaiosa con limo ed argilla. Tale materiale risulta derivante direttamente dall'alterazione del detrito sottostante.

I parametri geotecnici delle due unità appena descritte, ottenute dalla risultanza delle indagini eseguite in situ e in laboratorio e corrette con i valori noti in letteratura per terreni similari, sono riportati nella tabella dell'allegato 5.

7.2 Caratteristiche del substrato roccioso

L'analisi delle carote ottenute attraverso la realizzazione dei sondaggi geognostici ha permesso di individuare la presenza del substrato roccioso al di sotto della coltre detritica di copertura, evidenziando inoltre un rapido approfondimento di quest'ultimo in direzione SW-NE, fino all'asse del rio Caudi. Tale unità geotecnica risulta estremamente alterata e fratturata e sovrastata da un cappellaccio di alterazione limoso-sabbioso, le cui caratteristiche geotecniche sono presenti all'allegato 5.

Sulla base delle osservazioni e misurazioni eseguite sugli affioramenti rocciosi presenti sul versante collinare di San Nicola e sulle carote di sondaggio è stato possibile fornire una valutazione sulle caratteristiche dinamiche e geomeccaniche del substrato roccioso (all.5-8).

Mediante l'utilizzo del "martello di Schmidt" sulla superficie degli affioramenti rocciosi si sono ottenuti i seguenti valori medi di resistenza alla compressione uniassiale:

calcari arenacei **JCS: 400-600 kg/cmq**
marne e calcari marnosi **JCS: 300-500 kg/cmq**
interstrati argillitici **JCS: 0-100 kg/cmq**

Una valutazione del numero medio delle discontinuità per metro lineare di affioramento, ha fornito, in base alla formula di Priest & Hudson

RQD (%)=100*(1+0,1*n)*e^(-0,1*n) [con n=discontinuità per ml]

il seguente valore:

RQD: da < 25%

Per classificare l'ammasso roccioso si è utilizzato il metodo Rock Mass Rating di Bieniawski (all.8), che tiene conto dei seguenti parametri: resistenza alla compressione uniassiale, valore di

RQD, analisi dei giunti di discontinuità attraverso spaziatura, persistenza, apertura, alterazione ed eventuale riempimento dei medesimi, eventuale presenza di acqua.

Da tale classificazione si sono ricavati i parametri geomeccanici della roccia:

- **Indice BRMR= 25;**
- **Qualità dell'ammasso roccioso: SCADENTE (Classe IV);**
- **Coesione (di picco) da 1 a 1.5 kg/cmq; coesione residua nulla;**
- **Angolo di attrito (di picco) lungo i giunti: da 30 a 35 gradi.**

Inoltre, sulla base della classificazione mediante abachi di Hoek & Marinos (2000), è stato determinato il Geological Strenght Index (GSI), risultato pari a 20, in base al quale è stato determinato empiricamente il **modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso E=1.8 GPa** (All.8).

Infine, sulla base dei valori noti in letteratura per rocce similari e per analogia con terreni investigati ad altro titolo in siti geomorfologicamente simili, sono stati attribuiti empiricamente i seguenti ulteriori parametri:

- **Angolo di attrito residuo lungo i giunti: 25 gradi (lungo gli interstrati argillitici);**
- **Peso di volume dell'ammasso roccioso stimato: da 2.45 a 2.5 t/mc.**

Alassio, Febbraio 2008

geologo:

dott. Alessandro Scarpati

SOMMARIO

1. PREMESSA
2. RIFERIMENTI NORMATIVI
3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA
    3.1. Pericolosità idrogeologica
    3.2. Pericolosità sismica
        3.2.1 Zonazione sismogenetica
        3.2.2 Mappa di pericolosità sismica
        3.2.3 Classificazione sismica comunale
        3.2.4 Valutazione dell'accelerazione di progetto
            3.2.4.1 Risposta sismica del sito
4. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO
    4.1 Geomorfologia
    4.2 Geolitologia e caratteristiche strutturali
    4.3 Idrologia ed idrogeologia
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE
6. ELABORAZIONE DEI RISULTATI E DELLE PROVE ESEGUITE
7. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO
    5.1 Caratteristiche dei depositi detritici
    5.2 Caratteristiche del substrato roccioso

ELABORATI GRAFICI

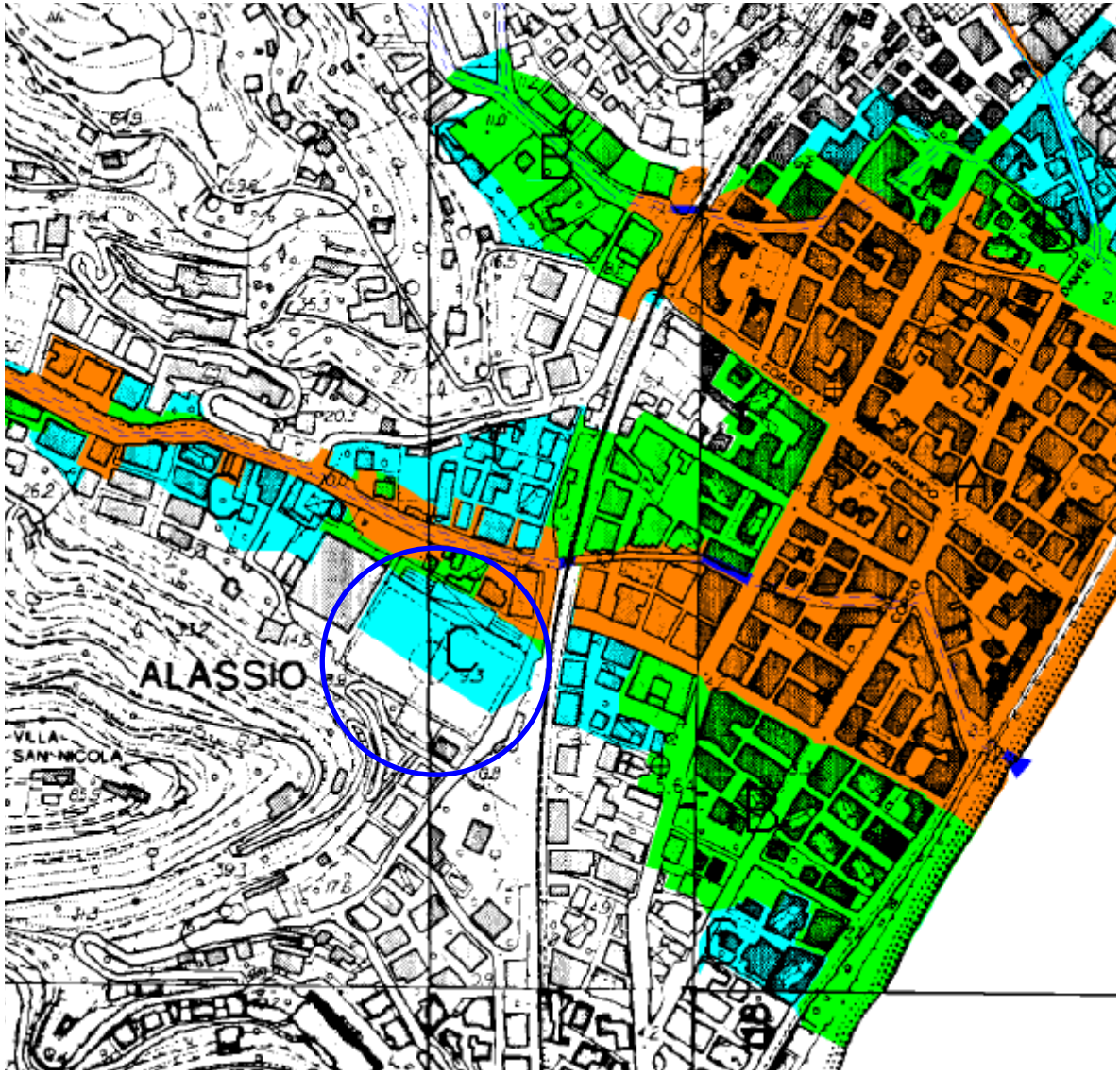
- STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE IN SCALA 1:5000 (ALL.1)
- STRALCIO CARTA DELLE FASCE DI INONDABILITA' (ALL.2a)
- STRALCIO CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO E STRALCIO CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE (ALL.2b)
- PLANIMETRIA STATO ATTUALE IN SCALA 1:500 (ALL.3)
- MODELLO GEOLOGICO IN SCALA 1:500 (ALL.4)
- MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO (ALL.5)
- STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO (ALL.6)
- FOTOGRAFIE CASSETTE SONDAGGI E POZZETTI ESPLORATIVI (ALL.7)
- CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO (ALL.8)
- PROVE PENETROMETRICHE: SPT, SCPT E PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE (ALL.9)
- INDAGINI GEOFISICHE TIPO NASW (ALL.10)
- ANALISI GRANULOMETRICHEPER SETACCIATURA (ALL.11)

Area di progetto



STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE

scala 1:5000



Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico di cui all'art.1, comma 1 del D.L. 11/06/1998 n.180, convertito in legge 03/08/1998 n.267 e s.m.

CARTA DELLE FASCE DI INONDABILITA'

Fascia A

Fascia B

Fascia C

Alveo attuale

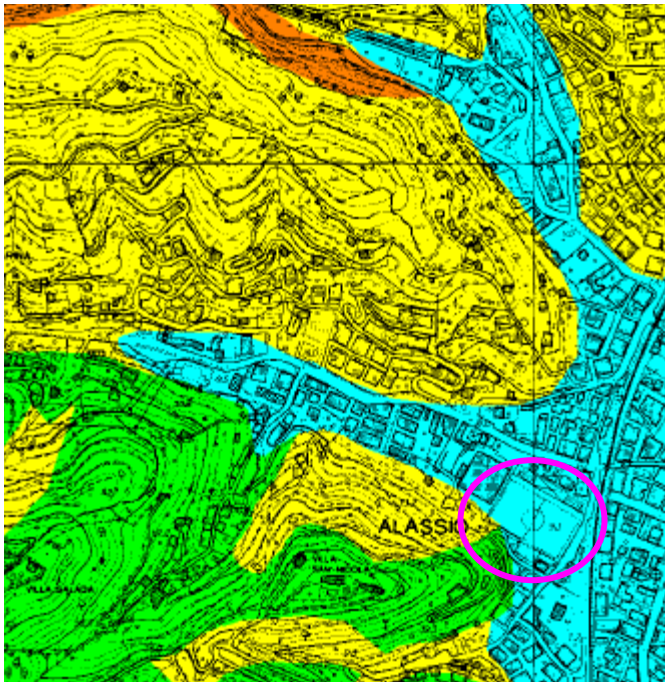
Scala 1:5.000

Area di progetto

All.2a

Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico
di cui all'art.1, comma 1 del D.L. 11/061998 n.180,
convertito in legge 03/081998 n.267 e s.m.

CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO DEI VERSANTI



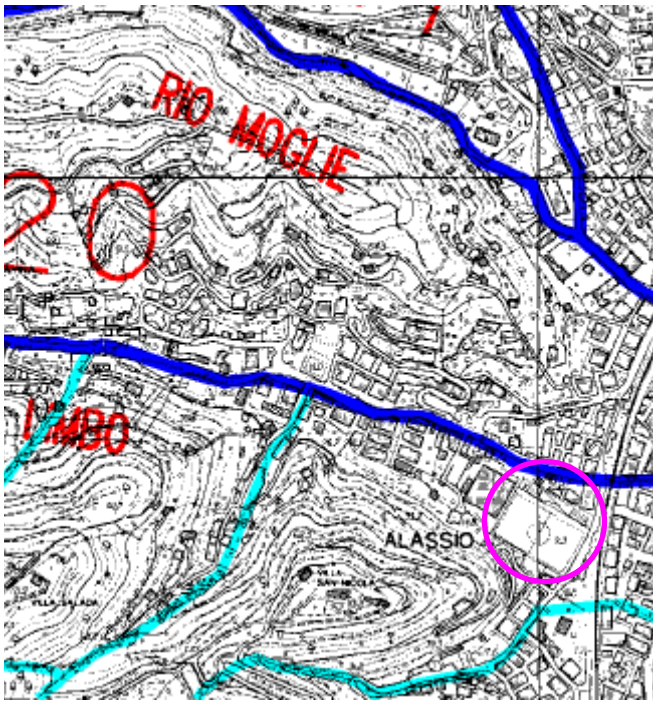
- Aree a suscettivita' MOLTO BASSA
- Aree a suscettivita' BASSA
- Aree a suscettivita' MEDIA
- Pg3A / Pg3B — Aree a suscettivita' ALTA
  (Pg3A frane quiescenti)
  (Pg3B aree non di frana quiescente)
- Aree a suscettivita' MOLTO ALTA,
  aree in frana attiva
- Discariche in esercizio

Area di progetto

Scala 1:10.000

Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico
di cui all'art.1, comma 1 del D.L. 11/061998 n.180,
convertito in legge 03/081998 n.267 e s.m.

RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE

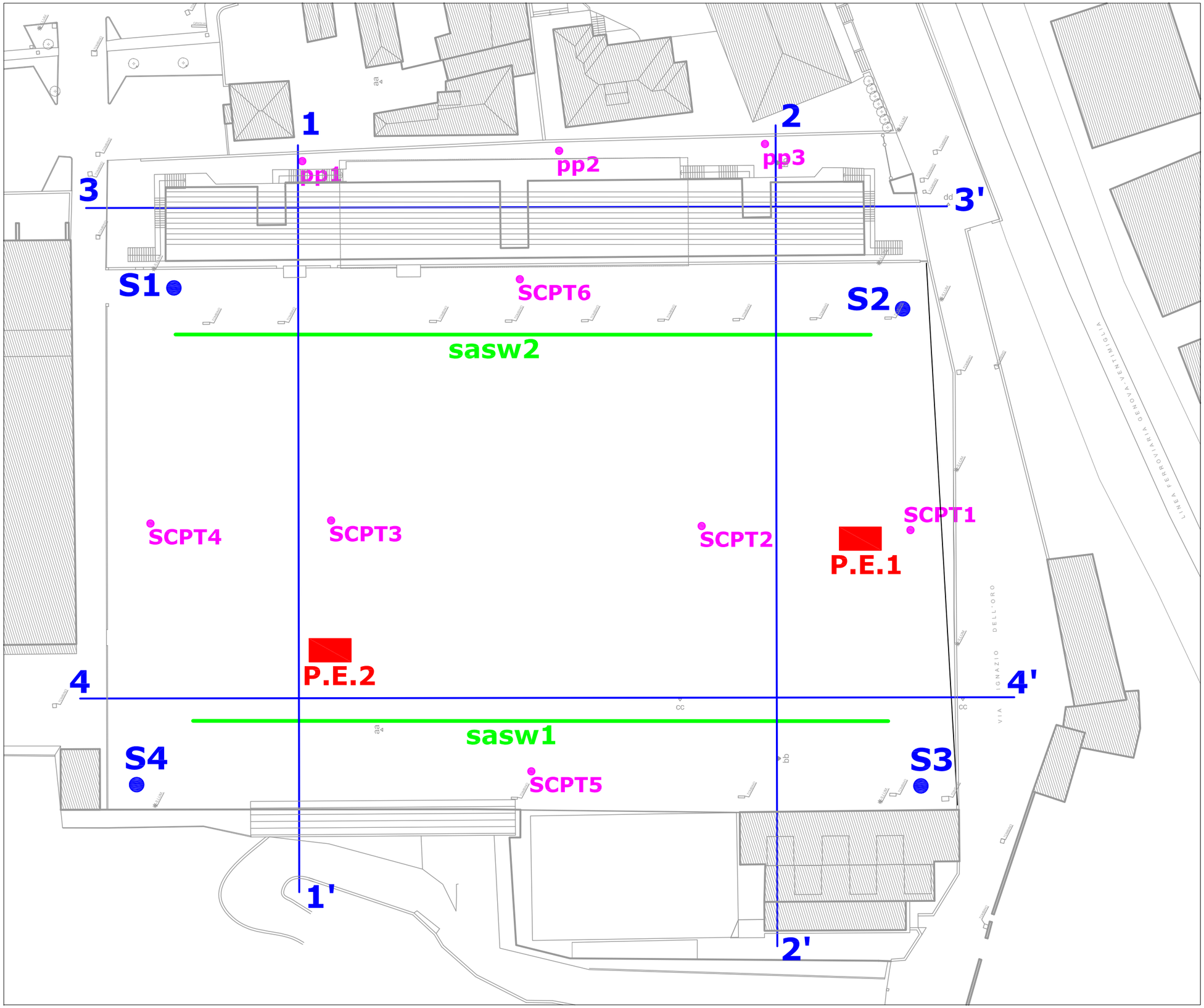


- Corso d'acqua iscritto nell'elenco delle acque pubbliche della Provincia di Savona (fonte: D.R. 11/07/1941 e D.P.R. 30/061954)
- 122 — Numerazione edenominazione corso d'acqua come da elenco del D.R. 11/07/1941 e del D.P.R. 30/061954

Il valore di ufficialita' puo' essere attribuito unicamente all'elenco delle acque pubbliche del territorio della Provincia di Savona pubblicato sulla G.U. n. 244 del 15/10/1941 ed integrato con D.P.R. del 30/061954

- Corsi d'acqua demaniali (fonte: Regione Liguria – Cartografia Catastale 1:5000)
- Perimetro dei laghi
- Limite di bacino

All.2b

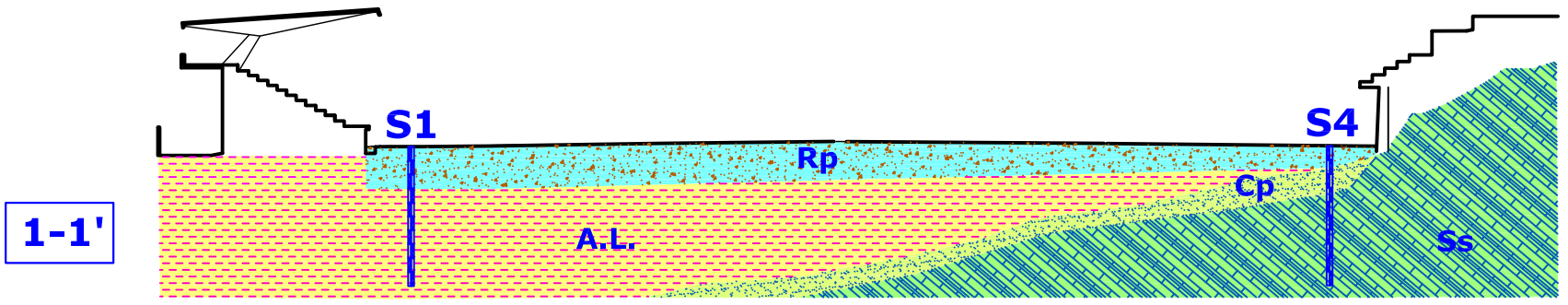


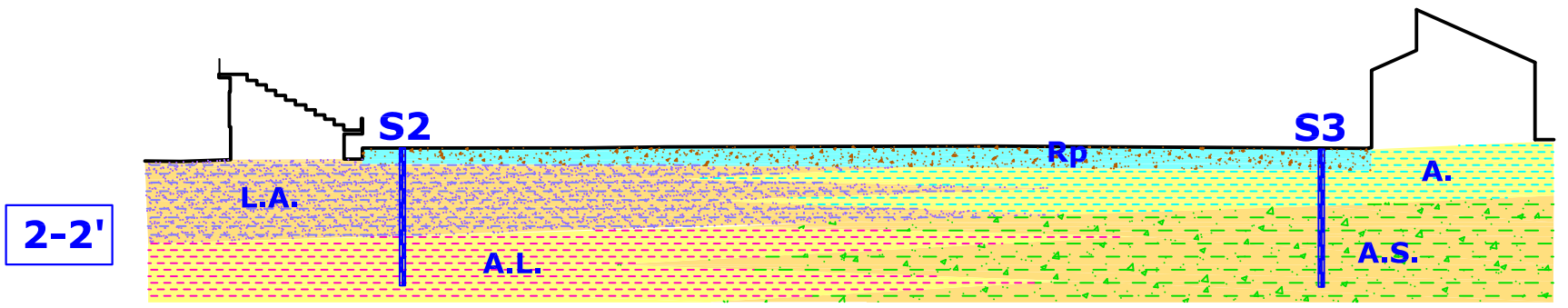
LEGENDA

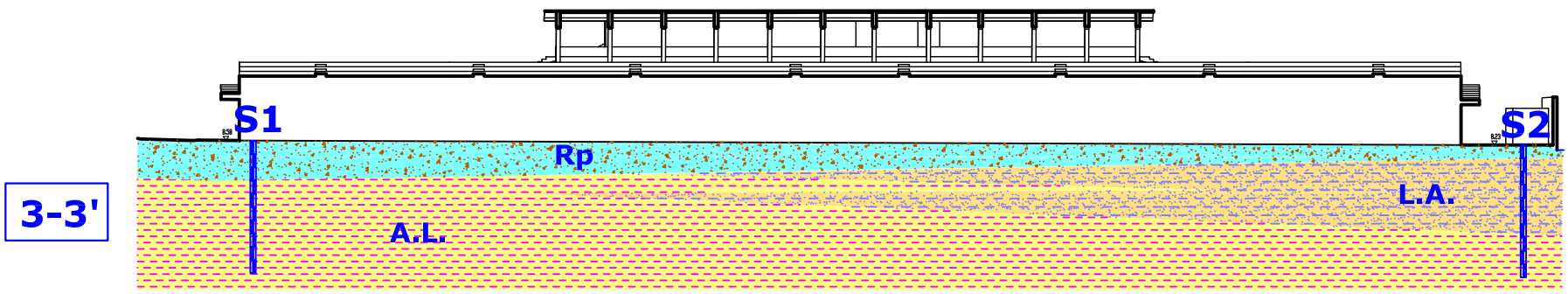
- S1 — Ubicazione sondaggi geognostici
- SCPT3 — Ubicazione prove penetrometriche pesanti
- pp3 — Ubicazione prove penetrometriche leggere
- P.E.2 — Ubicazione pozzetti esplorativi
- sasw2 — Ubicazione sondaggi sismici
- 4' — Traccia sezioni stratigrafiche

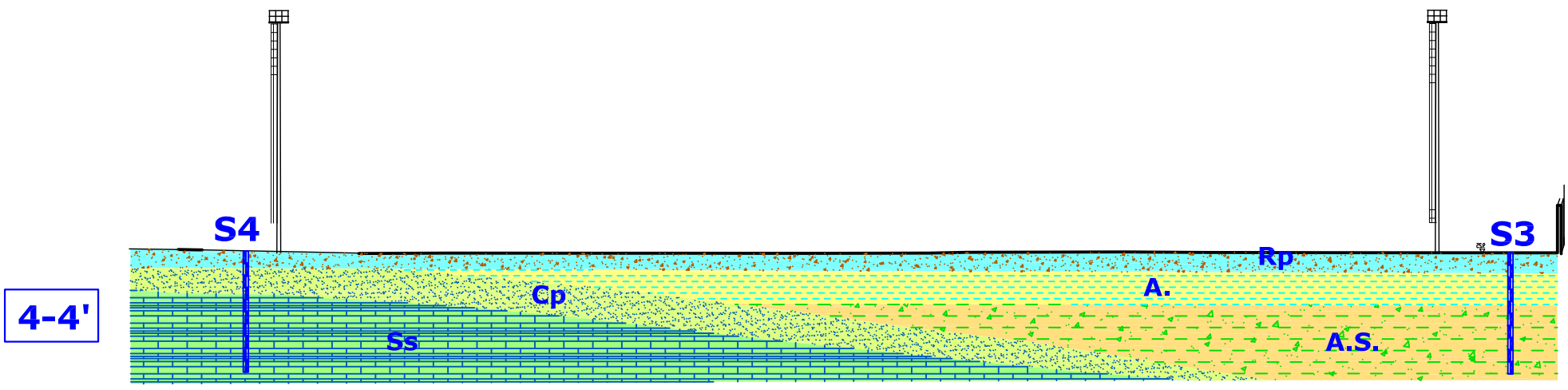
PLANIMETRIA STATO ATTUALE - scala 1:500

All.3









CAMPO SPORTIVO COMUNALE ALASSIO - MODELLO GEOLOGICO

Sezioni Geologiche Interpretative scala 1:500

Rp — Riporto costituito da sabbia ghiaiosa con limo ed argilla (Unità Geotecnica 1)

A.L. — Argilla limosa con ghiaia e sabbia (Unità Geotecnica 2a)

A. — Argilla (Unità Geotecnica 2b)

L.A. — Limo argilloso con ghiaia e sabbia (Unità Geotecnica 2c)

A.S. — Argilla con ghiaia e sabbia (Unità Geotecnica 2d)

Cp — Cappellaccio di alterazione limoso-sabbioso (Unità Geotecnica 3)

Ss — Substrato roccioso calcareo-marnoso (Unità Geotecnica 4)

QUOTE LIVELLO DI FALDA FREATICA

in relazione ai periodi piovosi ed ai regimi idraulici dei corsi d'acqua alimentatori:

regime di magra: ~-6.5 metri dal p.c.

regime di piena: ~-2.5 metri dal p.c.

regime eccezionale a seguito di piogge con T_{rit}>200 anni: fino a -1 metro dal p.c.

Le caratteristiche delle Unità Geotecniche sono riportate sul MODELLO GEOTECNICO all'allegato 5

All.4

CAMPO SPORTIVO COMUNALE DI ALASSIO
MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Unità Geotecnica	Peso di Volume γ_n (t/mc)	Peso di Volume γ_{sat} (t/mc)	Angolo di Attrito φ (°)	Coesione non drenata Cu (Kg/cmq)	Modulo di Young E (Kg/cmq)	Modulo di taglio Go (Kg/cmq)
Rp **Unità Geotecnica 1** terreno di riporto: sabbia ghiaiosa con limo ed argilla	1.8-1.85	1.9-1.95	28°-30°	~ 0.3-0.4	-	-
A.L. **Unità Geotecnica 2a** argilla limosa con ghiaia e sabbia	1.8-1.9	1.9-2.0	26°-28°	~ 0.4-0.5	220-280	380-560
A. **Unità Geotecnica 2b** argilla con sabbia						
L.A. **Unità Geotecnica 2c** limo argilloso con ghiaia e sabbia						
A.S. **Unità Geotecnica 2d** argilla con ghiaia e sabbia						
Cp **Unità Geotecnica 3** cappellaccio di alterazione limoso-sabbioso	1.9-2.1	-	30°-32°	~ 0.5-0.6	-	-
Ss **Unità Geotecnica 4** substrato roccioso calcareo-marnoso	2.4-2.45	-	30°-35°(*)	~ 1-1.5 (*)	~ 18.000 (**)	-

(*) parametri di ammasso roccioso
(**) modulo di deformabilità ammasso

SONDAGGI GEOGNOSTICI
A CAROTAGGIO CONTINUO

Stratigrafia Sondaggio S1

Stratigrafia Sondaggio S2

Stratigrafia Sondaggio S3

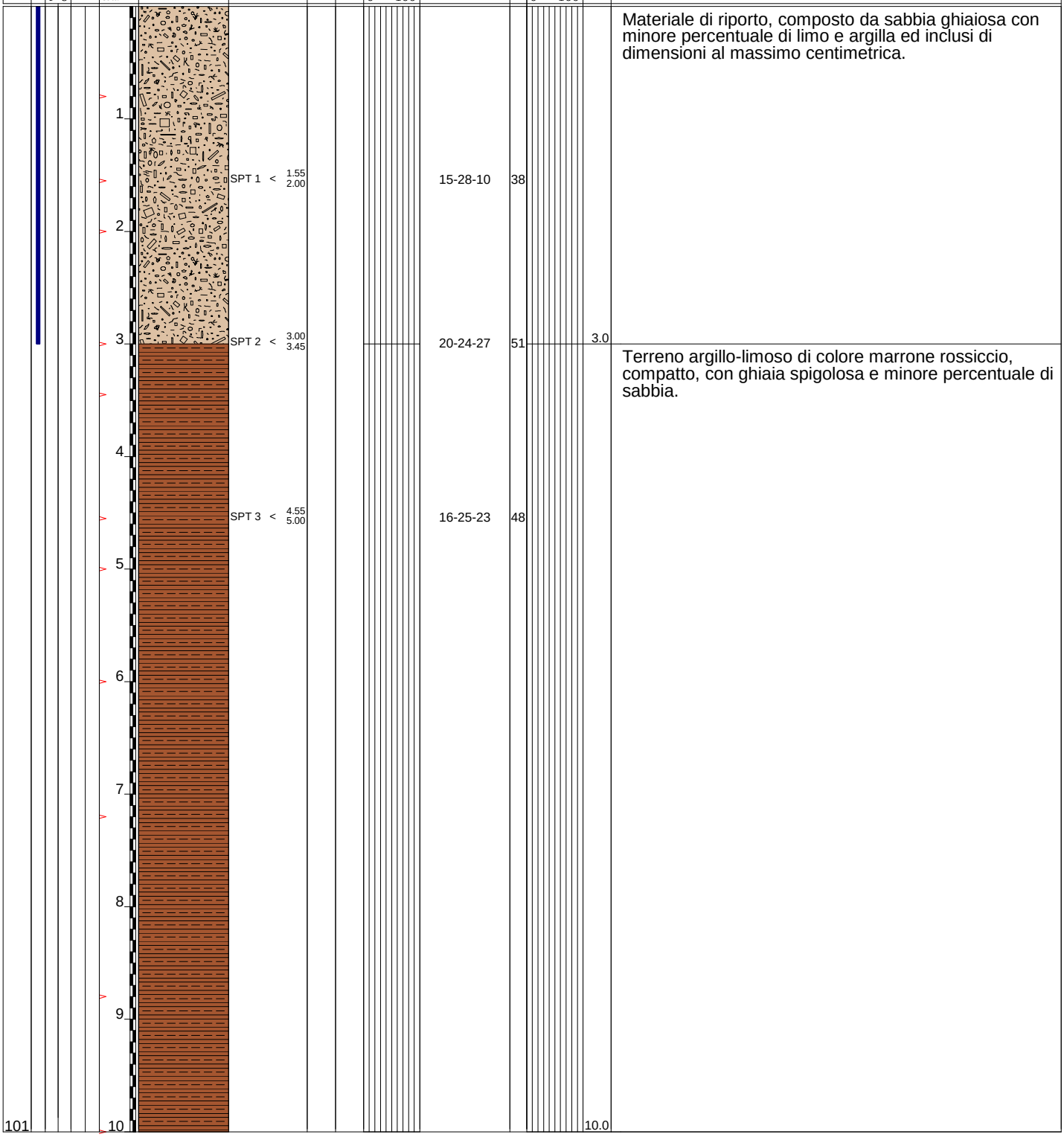
Stratigrafia Sondaggio S4

All.6

STRATIGRAFIA - S1

SCALA 1 : 50 Pagina 1/1

Riferimento:	Sondaggio: S1
Località: Alassio (SV), Campo sportivo	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente - via Delle Peschiere 4, Loano (SV)	Data: 25/07/2007
Coordinate:	Redattore: Geol Gian Filippo Sabbia
Perforazione: carotaggio continuo	



STRATIGRAFIA - S2

SCALA 1 : 50 Pagina 1/1

Riferimento:	Sondaggio: S2
Località: Alassio (SV), Campo sportivo	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente - via Delle Peschiere 4, Loano (SV)	Data: 20/07/2007
Coordinate:	Redattore: Geol Gian Filippo Sabbia
Perforazione: carotaggio continuo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														1.0	Materiale di riporto composto da limo, sabbia, cemento e ghiaia;
					1		SPT 1 < 1.55 2.00				10-6-6	12			Terreno limoso argilloso con presenza di ghiaia e sabbia.
					2										
					3		SPT 2 < 3.00 3.45				12-16-11	27			
					4										
							SPT 3 < 4.55 5.00				21-28-30	58			
					5										
					6									6.6	
							SPT 4 < 6.55 7.00				19-22-26	48			Terreno argillo-limoso di colore marrone rossiccio con ghiaia sia spigolosa che arrotondata.
					7										
					8										
					9										
101					10									10.0	

STRATIGRAFIA - S3

SCALA 1 : 50 Pagina 1/1

Riferimento:	Sondaggio: S3
Località: Alassio (SV), Campo sportivo	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente - via Delle Peschiere 4, Loano (SV)	Data: 23/07/2007
Coordinate:	Redattore: Geol Gian Filippo Sabbia
Perforazione: carotaggio continuo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
															1.5	Materiale di riporto colore marrone chiaro, incoerente: limo e argilla con ghiaia sia spigolosa che arrotondata.
					1		SPT 1 < 1.55 2.00					10-11-10	21			
					2											Terreno argilloso di colore marrone-rossiccio con inclusi calcarei nell' intervallo tra 2,50 e 3 metri.
					3		SPT 2 < 3.00 3.45					7-5-3	8			
					4										4.2	
							SPT 3 < 4.55 5.00					10-13-5	18		5.0	Trovante calcareo fratturato ed alterato reso incoerente dall'azione meccanica del carotiere.
					5										5.4	Terreno sabbioso-limoso con argilla ed inclusi di dimensioni da millimetriche a centimetriche.
					6											Terreno a matrice argillosa con presenza di sabbia; risulta compatto, con ghiaia sia spigolosa che arrotondata di natura calcarea di dimensioni centimetriche (max 3 cm); colore marrone rossiccio.
					7											
					8											
					9											
101					10										10.0	

STRATIGRAFIA - S4

SCALA 1 : 50 Pagina 1/1

Riferimento:	Sondaggio: S4
Località: Alassio (SV), Campo sportivo	Quota:
Impresa esecutrice: Geofisica e Ambiente - via Delle Peschiere 4, Loano (SV)	Data: 23/07/2007
Coordinate:	Redattore: Geol Gian Filippo Sabbia
Perforazione: carotaggio continuo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					1										1.5	Materiale di riporto colore marrone chiaro, incoerente: limo e argilla con sabbia e minore percentuale di ghiaia sia spigolosa che arrotondata di dimensioni anche centimetriche
					2		SPT 1 < 1.55 2.00					20-24-30	54		3.5	Terreno limo-sabbioso colore grigio chiaro, incoerente con ghiaia di dimensioni da millimetriche a centimetriche.
					3										4.3	Calcari marnosi alterati e fratturati.
					4										10.0	Calcare marnoso di colore da grigio chiaro a scuro/nero. Elevata presenza di vene calcitizzate.
101					5											
					6											
					7											
					8											
					9											
					10											

FOTOGRAFIE

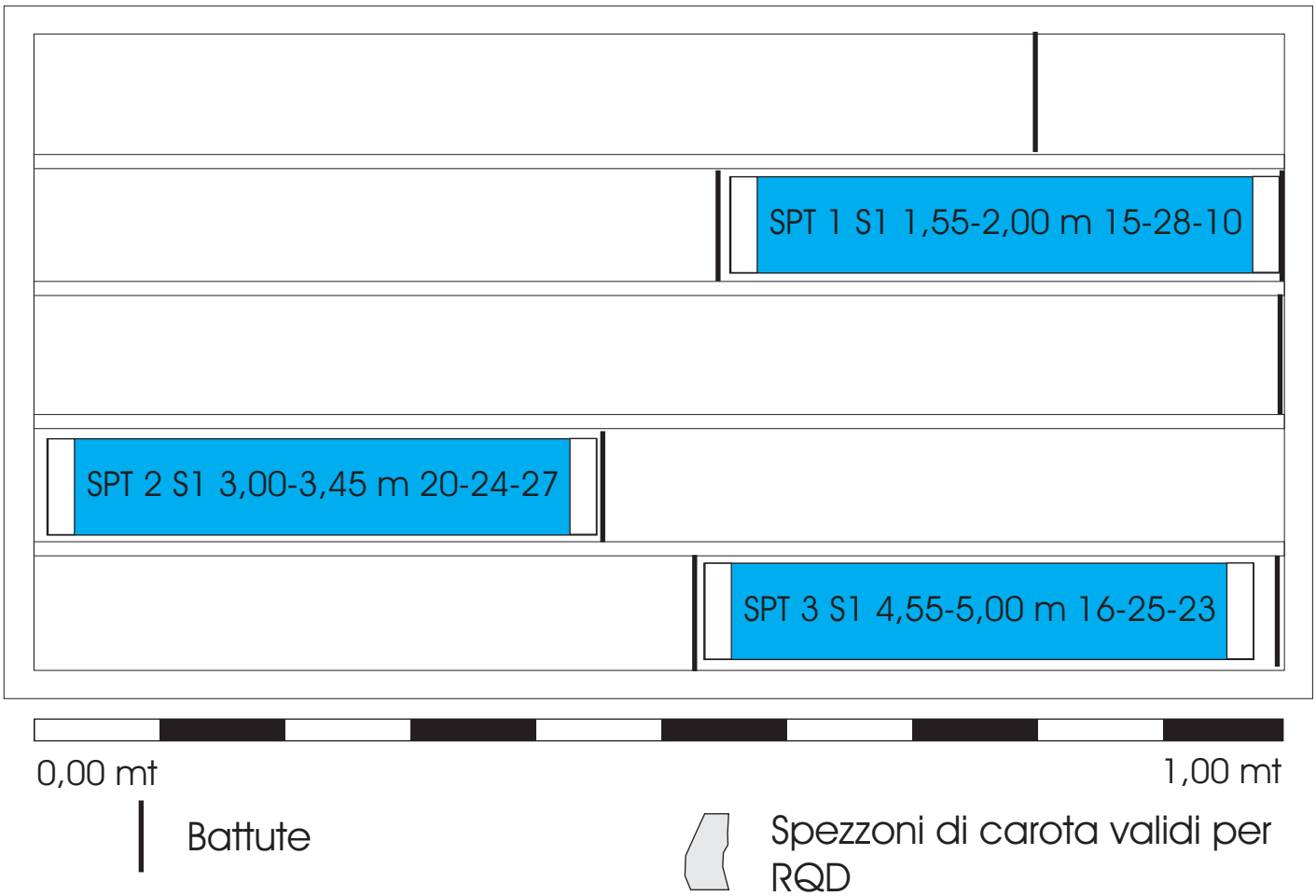
CASSETTE SONDAGGI
POZZETTI ESPLORATIVI

Sondaggio S1 Cassetta 1
Sondaggio S1 Cassetta 2
Sondaggio S2 Cassetta 1
Sondaggio S2 Cassetta 2
Sondaggio S3 Cassetta 1
Sondaggio S3 Cassetta 2
Sondaggio S4 Cassetta 1
Sondaggio S4 Cassetta 2

Pozzetto esplorativo P.E.1 – Foto n.1-2
Pozzetto esplorativo P.E.2 – Foto n.3-4



Sondaggio S1 cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri





Sondaggio S1 cassetta C2 da 5,00 a 10,00 metri



0,00 mt

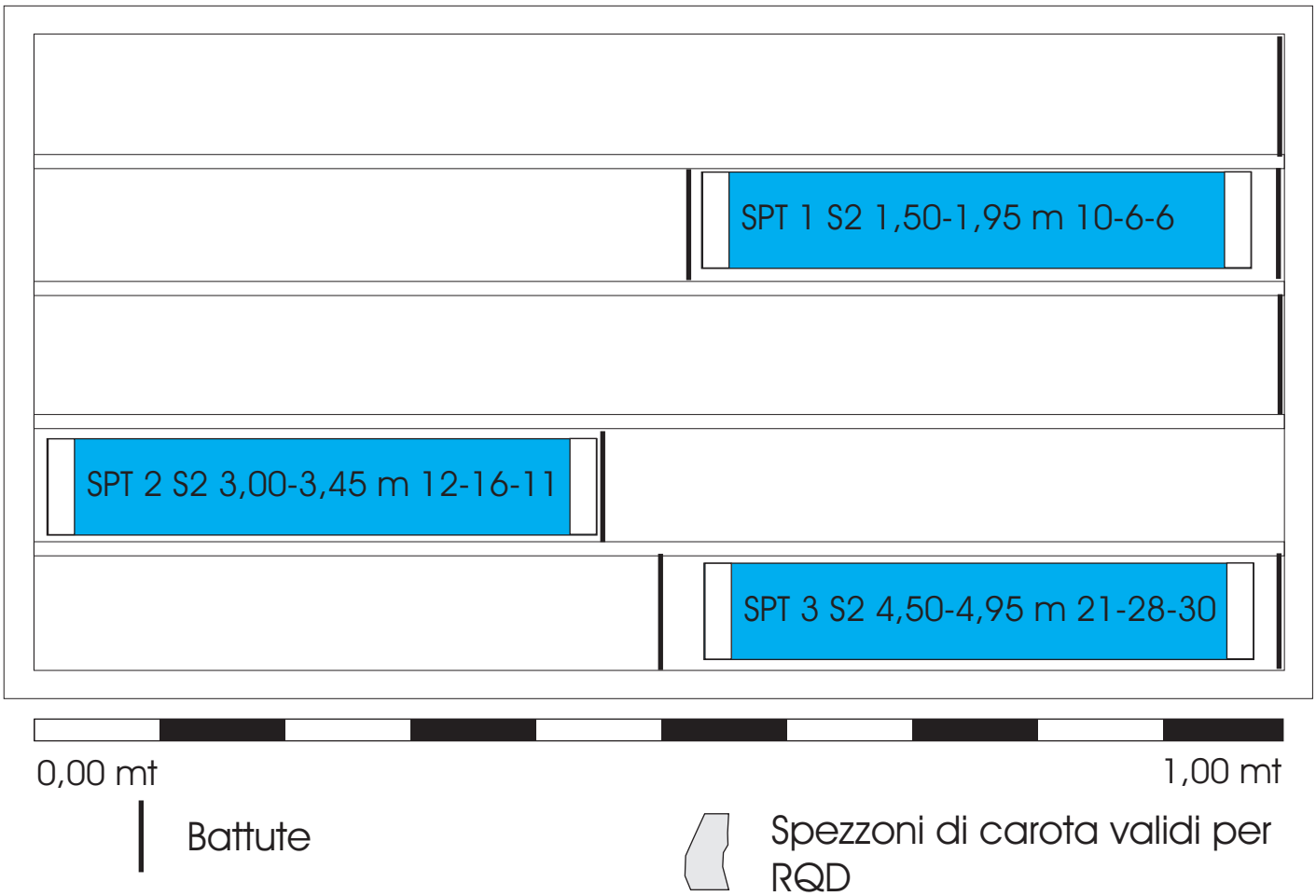
1,00 mt

Battute

Spezzoni di carota validi per RQD

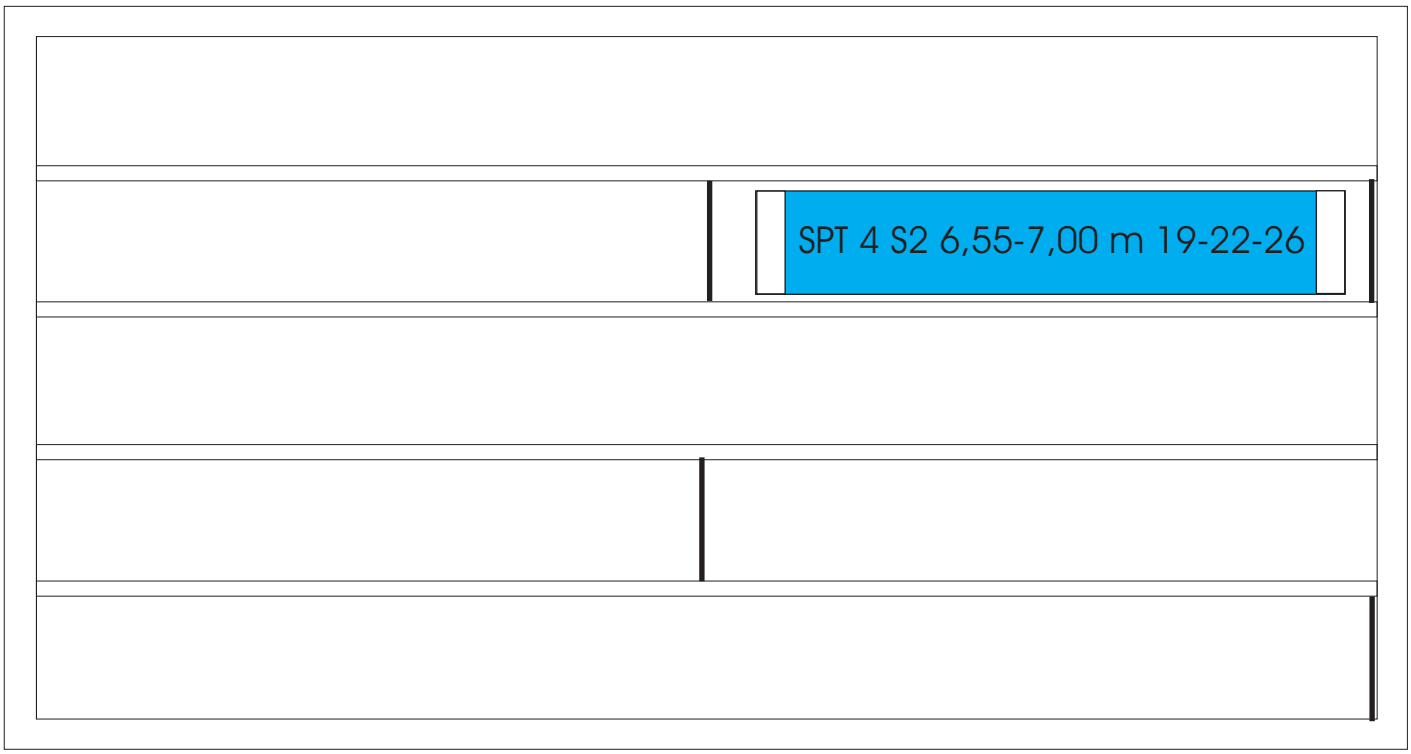


Sondaggio S2 cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri





Sondaggio S2 cassetta C1 da 5 ,00 a 10 ,00 metri



0,00 mt

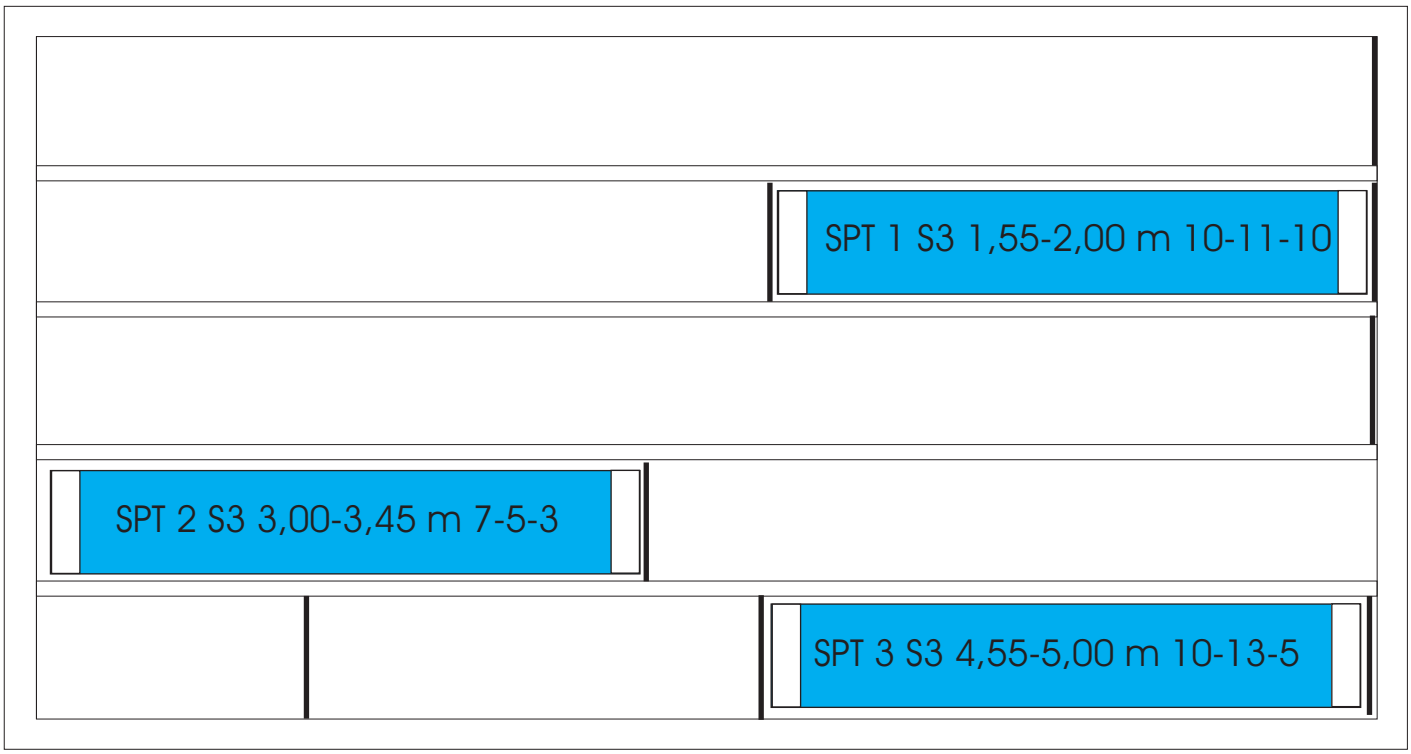
1,00 mt

Battute

Spezzoni di carota validi per RQD

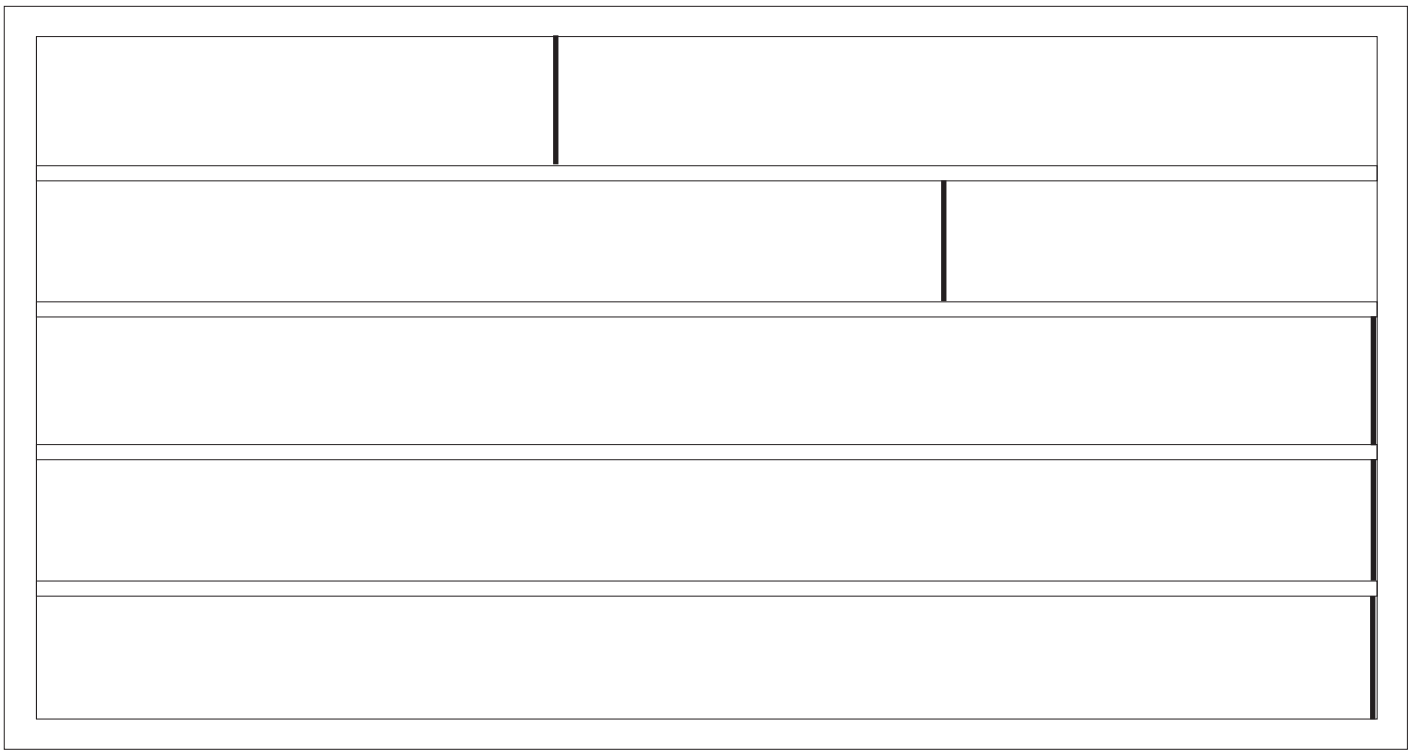


Sondaggio S3 cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri





Sondaggio S3 cassetta C2 da 5,00 a 10,00 metri



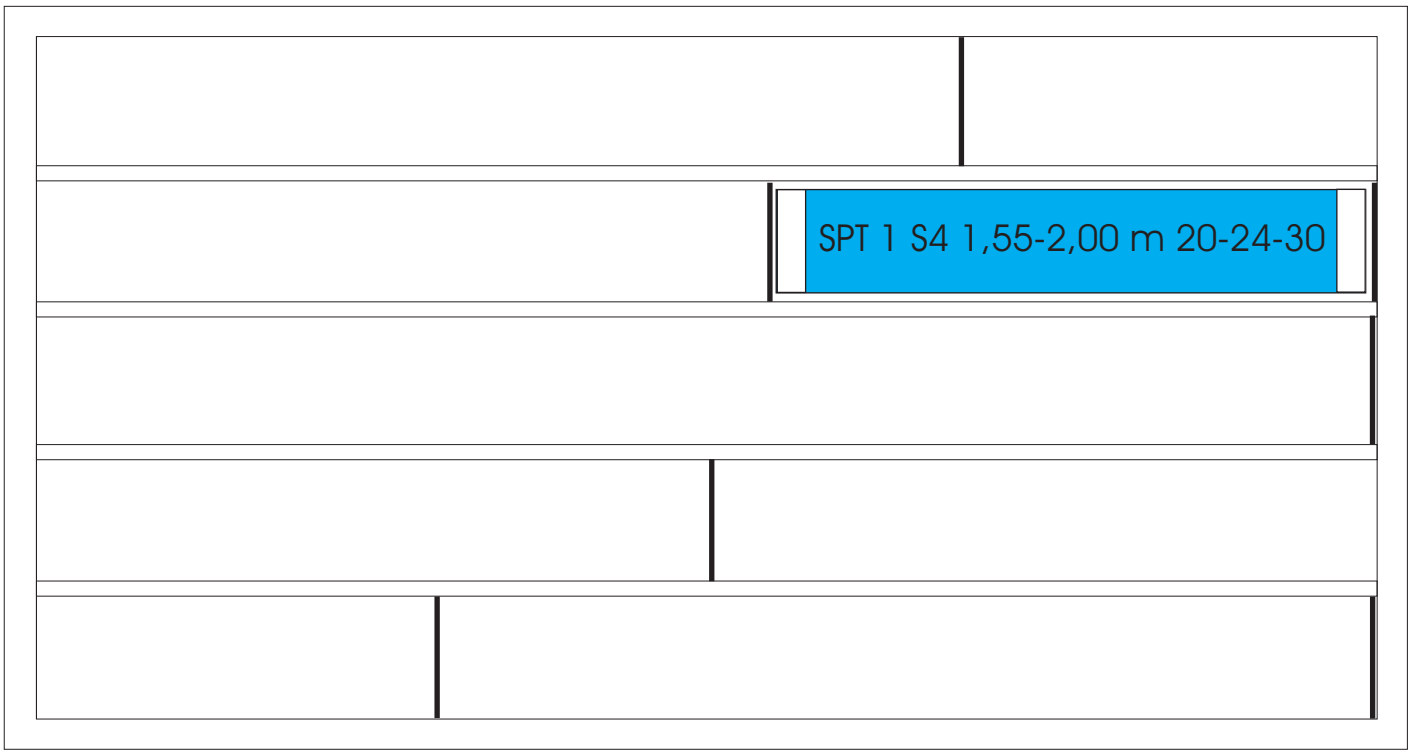
0,00 mt 1,00 mt

Battute

Spezzoni di carota validi per RQD



Sondaggio S4 cassetta C1 da 0,00 a 5,00 metri



0,00 mt

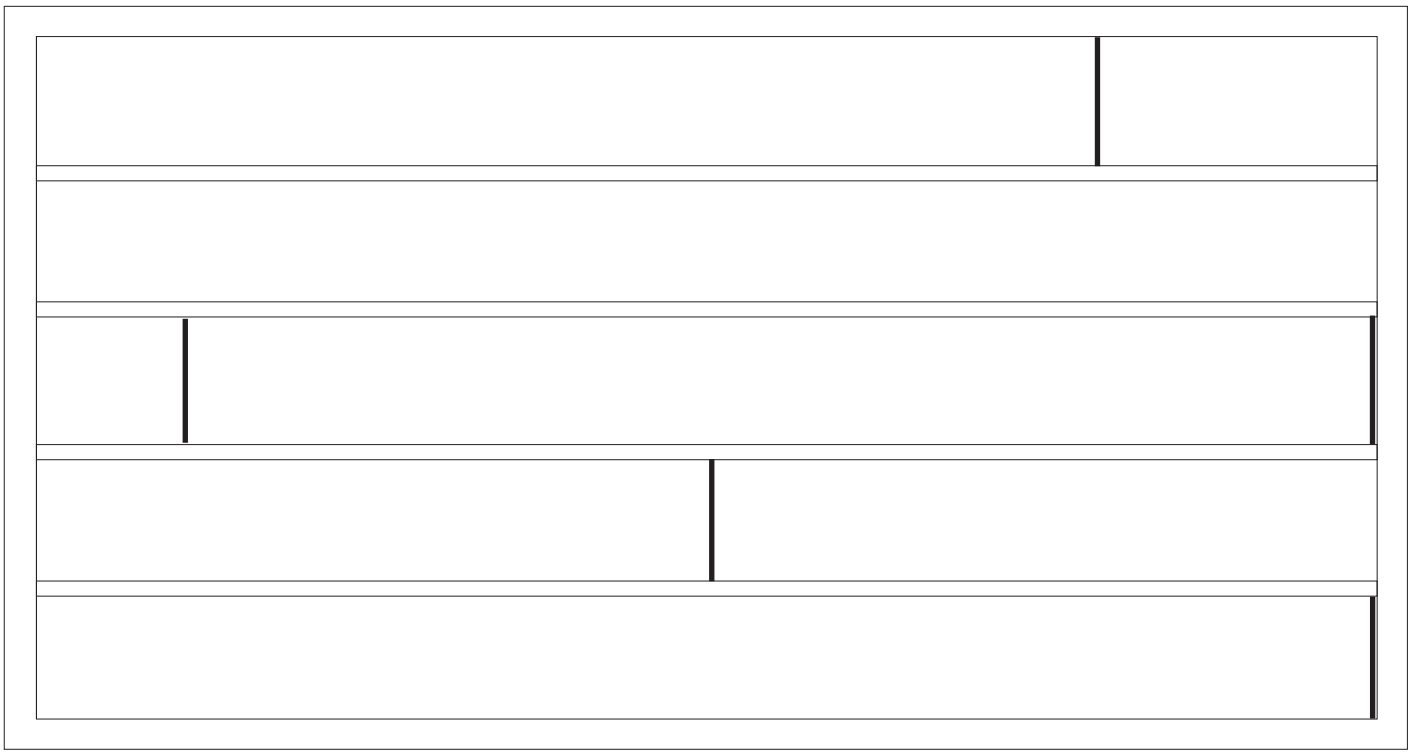
1,00 mt

Battute

Spezzoni di carota validi per RQD



Sondaggio S4 cassetta C2 da 5,00 a 10,00 metri



0,00 mt 1,00 mt

Battute

Spezzoni di carota validi per RQD



POZZETTO ESPLORATIVO P.E.1 - Foto n.1



POZZETTO ESPLORATIVO P.E.1 - Foto n.2



POZZETTO ESPLORATIVO P.E.2 - Foto n.3



POZZETTO ESPLORATIVO P.E.2 - Foto n.4

INDAGINI GEOMECCANICHE SULL'AMMASSO ROCCIOSO

Committente: BESIX s.a.
Comune: Alassio
Località: Campo Sportivo Comunale

Formazione: Formazione di Testico
Litotipo: Calcari marnosi, arenarie ed argilliti
Giacitura strati: Reggipoggio rispetto al versante - 190°N/40°

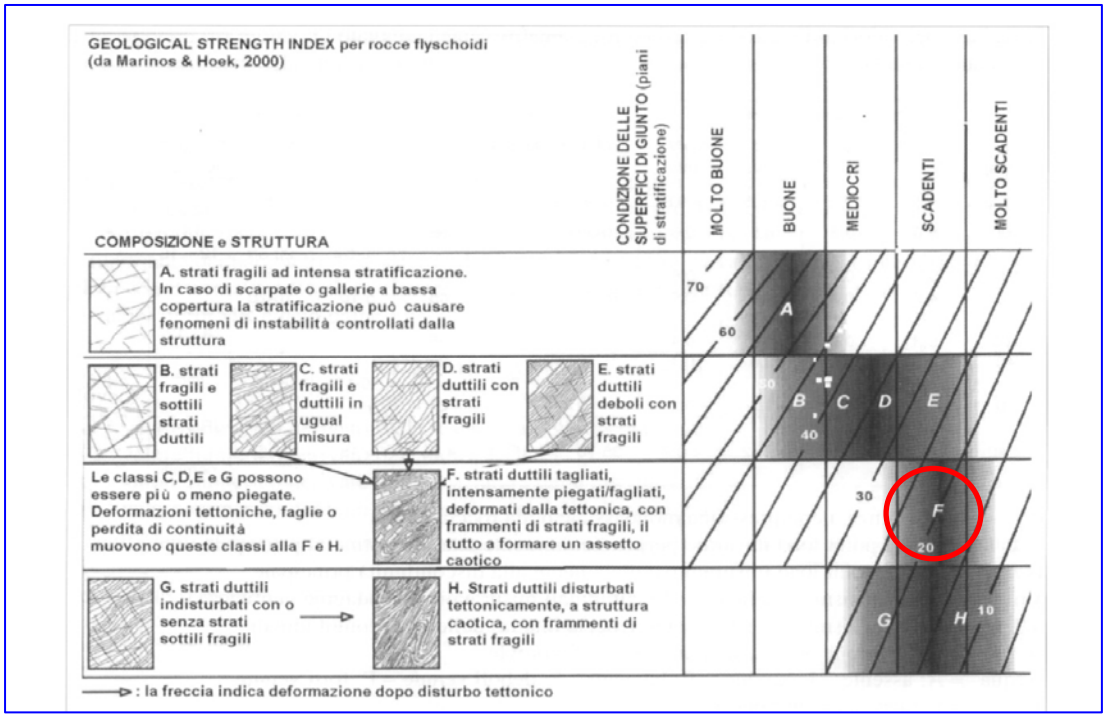
CLASSIFICAZIONE ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI,1989)

Resist. compressione monoassiale (kg/cmq) (roccia intatta)	**> 2500** *15*	**1000-2500** *12*	**500-1000** *7*	**250-500** *4*	**50-250** *2*	**10-50** *1*	**< 10** *0*
RQD (%)	**90-100** *20*	**75-90** *17*	**50-75** *13*	**25-50** *8*	**< 25** *3*		
Spaziatura discontinuità	**> 2 m.** *20*	**0.6-2 m.** *15*	**0.2-0.6 m.** *10*	**6-20 cm.** *8*	**< 6 cm.** *5*		
Condizioni discontinuità	Superfici molto scabre, non continue. Discontinuità serrate. Pareti inalterate. *25*	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti poco alterate. *20*	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti molto alterate. *12*	Superfici lisce o riempimento < 5 mm. o apertura 1-5 mm. Giunti continui. *6*	Riempimento tenero di spessore > 5 mm. o apertura > 5 mm. Giunti continui. *0*		
Condizioni idrauliche	Assenza di acqua *15*	Umidità *10*	Infiltrazioni *7*	Deboli venute d'acqua *4*	Problematiche idrauliche elevate *0*		

BRMR= 25 RMR Basic

BRMR	**0-25**	**25-50**	**50-70**	**70-90**	**90-100**
Classe	**V**	**IV**	**III**	**II**	**I**
Qualità ammasso rocc.	**molto scadente**	**scadente**	**discreta**	**buona**	**ottima**
Coesione ammasso (di picco)	**<1 kg/cmq**	**1-1.5 kg/cmq**	**1.5-2 kg/cmq**	**2-3 kg/cmq**	**>3 kg/cmq**
Phi ammasso (di picco)	**< 30°**	**30°-35°**	**35°-40°**	**40°-45°**	**> 45°**

GEOLOGICAL STRENGHT INDEX (GSI) per rocce flyscioidi (Marinos & Hoek, 2000)



GSI= 20 Indice GSI

Modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso:
(relazione di Serafim-Pereira, 1983)

$$E_m = 10^{\frac{GSI-10}{40}} = 1{,}8 \text{ Gpa}$$

Peso di volume stimato dell'ammasso roccioso: G_{amm}: 2.4-2.45 t/mc

Parametri stimati lungo le discontinuità: Coesione nulla
Phi= 25 gradi

PROVE PENETROMETRICHE

Prove SPT (Standard Penetration Test)

Prove SCPT (Standard Cone Penetration Test)
(SCPT1-SCPT2-SCPT3-SCPT4-SCPT5-SCPT6)

Prove Penetrometriche Dinamiche Leggere
(PP1-PP2-PP3)

All.9

DETERMINAZIONE EMPIRICA DEI PARAMETRI GEOTECNICI IN BASE ALLE RISULTANZE DELLE PROVE SPT IN TERRENI INCOERENTI

Campo Sportivo Comunale Alassio - Sondaggi geognostici S1-S2-S3-S4

Falda	6,5
γ_n	19,0
Pressione atmosferica	
Kpa	98,00
Rendim. Normalizzato	
ER/60	1,08
parametri ϕ'	
34,5	0,1

Sond.	Prof.	Nspt	correzione Terzaghi-Peck (1948)	Nspt corretto	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ' (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs (m/s)
						2			60		NC	0,35			55
S1	1,55	38	☑ correzione	27	29	1,30	29	37	79	35	NC	36	29	93	219
S1	3,00	51	☑ correzione	33	57	1,16	36	41	83	37	NC	40	31	130	259
S1	4,55	48	☑ correzione	32	86	1,04	34	35	77	37	NC	39	28	141	270
S2	1,55	12	☑ correzione	14	29	1,30	15	19	56	29	NC	26	16	52	164
S2	3,00	27	☑ correzione	21	57	1,16	23	26	66	33	NC	32	22	94	221
S2	4,55	58	☑ correzione	37	86	1,04	39	41	83	38	NC	43	31	156	283
S2	6,55	48	☑ correzione	32	124	0,92	34	31	72	37	NC	39	25	157	284
S3	1,55	21	☑ correzione	18	29	1,30	19	25	65	31	NC	29	21	69	189
S3	3,00	8	☑ correzione	12	57	1,16	12	14	49	28	NC	25	13	51	163
S3	4,55	18	☑ correzione	17	86	1,04	18	19	56	31	NC	28	16	87	212
S4	1,55	54	☑ correzione	54	29	1,30	58	76	100	43	NC	55	53	111	239

LEGENDA:

Nspt: numero colpi/30 cm.

Dr(%): densità relativa (secondo Terzaghi e Peck 1948, Skempton 1986)

Φ (°): angolo di attrito interno (secondo Road Bridge Specification)

Cu: coesione non drenata (secondo Nav Fac Design Manual, 1982)

E: modulo di elasticità (relazione di D'Apollonia, 1970)

Go: modulo di taglio (relazione di Ohsaki e Iwasaki) $Go=1400*N_{spt}^{0,78}$

Vs: velocità onde S in m/sec (relazione di Yoshida, 1988)

PROVA SCPT N.1

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	1	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	59	98,5	23	1,34	106,4	143,0	100	45	0	133	250	140	268
		1,5	30	50,1	29	1,31	54,1	70,9	100	36	0	87	124	106	234
γ_n	19,0	1,8	29	48,4	34	1,28	52,3	66,8	100	36	0	85	117	110	238
		2,1	40	66,8	40	1,25	72,1	89,9	100	39	0	103	157	134	263
Pressione atmosferica		2,4	40	66,8	46	1,22	72,1	87,8	100	39	0	103	154	140	268
Kpa	98,00	2,7	41	68,5	51	1,19	73,9	87,9	100	40	0	104	154	146	275
		3,0	36	60,1	57	1,16	64,9	75,5	100	38	0	96	132	141	270
Rendim. Normalizzato		3,3	41	68,5	63	1,14	73,9	84,0	100	40	0	104	147	154	282
ER/60	1,08	3,6	34	56,8	68	1,11	61,3	68,2	100	38	0	93	119	144	273
		3,9	39	65,1	74	1,09	70,3	76,6	100	39	0	101	134	158	285
coeff trasf. Nspt		4,2	50	83,5	80	1,07	90,2	96,1	100	42	0	119	168	182	307
	1,67	4,5	28	46,8	86	1,04	50,5	52,7	94	35	0	84	104	139	268
		4,8	27	45,1	91	1,02	48,7	49,9	91	35	0	82	103	139	268
parametri ϕ'		5,1	38	63,5	97	1,00	68,5	68,8	100	39	0	100	120	168	294
31,5	0,115	5,4	39	65,1	103	0,98	70,3	69,3	100	39	0	101	121	173	299

PROVA SCPT N.2

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	6	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	22	36,7	23	1,34	39,7	53,3	94	33	0	74	104	85	210
		1,5	17	28,4	29	1,31	30,7	40,2	82	31	0	66	96	80	203
γ_n	19,0	1,8	14	23,4	34	1,28	25,3	32,2	73	29	0	61	87	76	198
		2,1	12	20,0	40	1,25	21,6	27,0	67	28	0	58	78	74	195
Pressione atmosferica		2,4	16	26,7	46	1,22	28,9	35,1	77	30	0	64	90	88	213
Kpa	98,00	2,7	21	35,1	51	1,19	37,9	45,0	87	33	0	72	100	104	232
		3,0	31	51,8	57	1,16	55,9	65,0	100	37	0	88	114	131	260
Rendim. Normalizzato		3,3	31	51,8	63	1,14	55,9	63,5	100	37	0	88	111	134	263
ER/60	1,08	3,6	39	65,1	68	1,11	70,3	78,2	100	39	0	101	137	154	282
		3,9	44	73,5	74	1,09	79,4	86,4	100	41	0	109	151	168	294
coeff trasf. Nspt		4,2	45	75,2	80	1,07	81,2	86,5	100	41	0	111	151	173	299
	1,67	4,5	41	68,5	86	1,04	73,9	77,2	100	40	0	104	135	168	295
		4,8	48	80,2	91	1,02	86,6	88,6	100	42	0	116	155	186	310

parametri ϕ'	
31,5	0,115

PROVA SCPT N.3

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	6	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	26	43,4	23	1,34	46,9	63,0	100	35	0	80	110	93	219
		1,5	26	43,4	29	1,31	46,9	61,4	100	35	0	80	107	99	226
γ_n	19,0	1,8	30	50,1	34	1,28	54,1	69,1	100	36	0	87	121	111	240
		2,1	20	33,4	40	1,25	36,1	45,0	87	32	0	71	100	95	222
Pressione atmosferica		2,4	21	35,1	46	1,22	37,9	46,1	88	33	0	72	101	101	228
Kpa	98,00	2,7	29	48,4	51	1,19	52,3	62,2	100	36	0	85	109	123	252
		3,0	30	50,1	57	1,16	54,1	62,9	100	36	0	87	110	129	258
Rendim. Normalizzato		3,3	34	56,8	63	1,14	61,3	69,7	100	38	0	93	122	141	269
ER/60	1,08	3,6	29	48,4	68	1,11	52,3	58,2	98	36	0	85	105	133	262
		3,9	33	55,1	74	1,09	59,5	64,8	100	37	0	92	113	145	274
coeff trasf. Nspt		4,2	55	91,9	80	1,07	99,2	105,7	100	44	0	127	185	191	314
	1,67														

parametri ϕ'	
31,5	0,115

PROVA SCPT N.4

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	6	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	25	41,8	23	1,34	45,1	60,6	100	34	0	79	106	91	217
		1,5	28	46,8	29	1,31	50,5	66,1	100	35	0	84	116	102	230
γ_n	19,0	1,8	28	46,8	34	1,28	50,5	64,5	100	35	0	84	113	108	236
		2,1	32	53,4	40	1,25	57,7	71,9	100	37	0	90	126	120	249
Pressione atmosferica		2,4	27	45,1	46	1,22	48,7	59,3	99	35	0	82	105	115	243
Kpa	98,00	2,7	26	43,4	51	1,19	46,9	55,7	96	35	0	80	105	116	245
		3,0	28	46,8	57	1,16	50,5	58,7	99	35	0	84	105	124	253
Rendim. Normalizzato		3,3	31	51,8	63	1,14	55,9	63,5	100	37	0	88	111	134	263
ER/60	1,08	3,6	36	60,1	68	1,11	64,9	72,2	100	38	0	96	126	148	277
		3,9	37	61,8	74	1,09	66,7	72,6	100	39	0	98	127	154	282
coeff trasf. Nspt		4,2	41	68,5	80	1,07	73,9	78,8	100	40	0	104	138	165	292
	1,67	4,5	51	85,2	86	1,04	92,0	96,1	100	43	0	120	168	188	311
		4,8	50	83,5	91	1,02	90,2	92,3	100	42	0	119	162	189	313
parametri ϕ'		5,1	54	90,2	97	1,00	97,4	97,8	100	43	0	125	171	200	322
31,5	0,115														

PROVA SCPT N.5

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	6	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	19	31,7	23	1,34	34,3	46,0	88	32	0	69	101	79	202
		1,5	23	38,4	29	1,31	41,5	54,3	95	34	0	75	104	93	219
γ_n	19,0	1,8	21	35,1	34	1,28	37,9	48,4	90	33	0	72	102	93	219
		2,1	30	50,1	40	1,25	54,1	67,4	100	36	0	87	118	116	245
Pressione atmosferica		2,4	28	46,8	46	1,22	50,5	61,5	100	35	0	84	108	117	246
Kpa	98,00	2,7	31	51,8	51	1,19	55,9	66,5	100	37	0	88	116	127	256
		3,0	39	65,1	57	1,16	70,3	81,7	100	39	0	101	143	147	275
Rendim. Normalizzato		3,3	42	70,1	63	1,14	75,8	86,1	100	40	0	106	151	156	284
ER/60	1,08	3,6	44	73,5	68	1,11	79,4	88,2	100	41	0	109	154	164	291
		3,9	53	88,5	74	1,09	95,6	104,0	100	43	0	124	182	184	308
coeff trasf. Nspt		4,2	50	83,5	80	1,07	90,2	96,1	100	42	0	119	168	182	307
	1,67	4,5	54	90,2	86	1,04	97,4	101,7	100	43	0	125	178	193	316

parametri ϕ'	
31,5	0,115

PROVA SCPT N.6

		Prof.	N(30)	Nspt	$\sigma'v_0$ (kPa)	Cn (kPa)	N_{60}	N'_{60}	Dr (%)	ϕ'_{picco} (°)	OCR (NC/OC)	E (Mpa)	E'_{25} (Mpa)	Go (MPa)	Vs
Prova	6	0				2			60		NC	0,3			55
		0,3													
passo	0,3	0,6													
		0,9													
Falda	6,5	1,2	29	48,4	23	1,34	52,3	70,3	100	36	0	85	123	98	225
		1,5	27	45,1	29	1,31	48,7	63,8	100	35	0	82	112	101	228
γ_n	19,0	1,8	26	43,4	34	1,28	46,9	59,9	100	35	0	80	105	104	231
		2,1	28	46,8	40	1,25	50,5	62,9	100	35	0	84	110	112	241
Pressione atmosferica		2,4	29	48,4	46	1,22	52,3	63,6	100	36	0	85	111	119	248
Kpa	98,00	2,7	30	50,1	51	1,19	54,1	64,3	100	36	0	87	113	125	254
		3,0	29	48,4	57	1,16	52,3	60,8	100	36	0	85	106	126	256
Rendim. Normalizzato		3,3	38	63,5	63	1,14	68,5	77,9	100	39	0	100	136	149	277
ER/60	1,08	3,6	31	51,8	68	1,11	55,9	62,2	100	37	0	88	109	138	267
		3,9	32	53,4	74	1,09	57,7	62,8	100	37	0	90	110	143	272
coeff trasf. Nspt		4,2	34	56,8	80	1,07	61,3	65,4	100	38	0	93	114	150	279
	1,67	4,5	40	66,8	86	1,04	72,1	75,3	100	39	0	103	132	166	293
		4,8	41	68,5	91	1,02	73,9	75,7	100	40	0	104	132	172	298
parametri ϕ'		5,1	43	71,8	97	1,00	77,6	77,8	100	40	0	108	136	179	304
31,5	0,115	5,4	35	58,5	103	0,98	63,1	62,2	100	38	0	95	109	164	291
		5,7	38	63,5	108	0,97	68,5	66,2	100	39	0	100	116	173	299
		6,0	39	65,1	114	0,95	70,3	66,7	100	39	0	101	117	178	303
		6,3	40	66,8	120	0,93	72,1	67,2	100	39	0	103	118	183	307
		6,6	40	66,8	124	0,92	72,1	66,2	100	39	0	103	116	185	309
		6,9	42	70,1	127	0,91	75,8	68,9	100	40	0	106	121	191	314
		7,2	44	73,5	130	0,90	79,4	71,6	100	41	0	109	125	196	318
		7,5	47	78,5	133	0,89	84,8	75,8	100	42	0	114	133	204	325
		7,8	48	80,2	135	0,89	86,6	76,8	100	42	0	116	134	207	327

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE

ATTREZZATURA:

M=	*30*	*kg*	*peso del maglio*
h=	*20*	*cm*	*altezza di caduta*
A=	*10*	*cmq*	*sezione della punta*
P=	*2,40*	*kg/m*	*peso aste*
m=	*15,00*	*kg*	*peso attrezzatura*

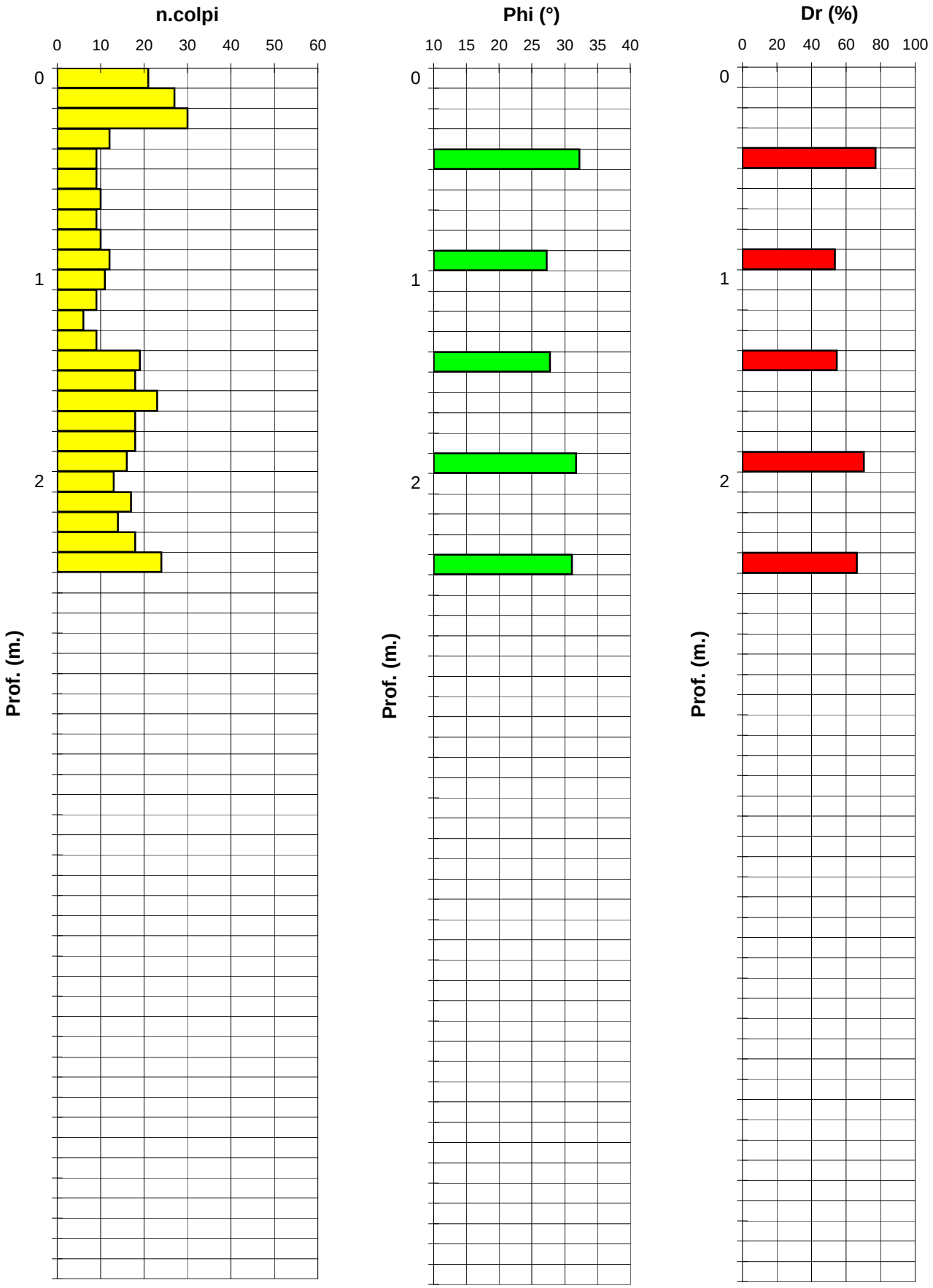
z	*profondità dal piano campagna (m)*
γ_n	*peso di volume naturale (kN/mc)*
γ_n'	*peso di volume efficace (kN/mc)*
σ_{vo}	*pressione geostatica verticale totale alla profondità z (kPa)*
σ'_{vo}	*pressione geostatica verticale efficace alla profondità z (kPa)*
μ	*modulo di Poisson*
N_{colpi}	*numero colpi/10 cm*
C_N	*correzione pressione litostatica efficace (Kayen et alii, 1992)*
$(N_1)_{60}$	*resistenza penetrometrica standard equivalente*
Dr	*densità relativa(%) (Terzaghi e Peck, 1948)*
Cu	*coesione non drenata (Design Manual for Soil Mechanics)*
E	*modulo di elasticità o di Young (D'Apollonia, 1970)*
Vs	*velocità onde S (Yoshida, 1978)*
G_0	*modulo dinamico di taglio (Ohta e Goto, 1978)*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.1

z	N_{colpi}	γ_n	γ_n'	σ_{vo}	σ'_{vo}	μ	C_N	$(N_1)_{60}$	Dr	Phi	Cu	E	V_s	G_0
0,1	21	19,0	10,0	1,9	1,0	0,3	1,82	38,2						
0,2	27	19,0	10,0	3,8	2,0	0,3	1,80	48,7						
0,3	30	19,0	10,0	5,7	3,0	0,3	1,79	53,7						
0,4	12	19,0	10,0	7,6	4,0	0,3	1,77	21,3						
0,5	9	19,0	10,0	9,5	5,0	0,3	1,76	15,8	77	32	0,75	224	135	3550
0,6	9	19,0	10,0	11,4	6,0	0,3	1,75	15,7						
0,7	10	19,0	10,0	13,3	7,0	0,3	1,73	17,3						
0,8	9	19,0	10,0	15,2	8,0	0,3	1,72	15,5						
0,9	10	19,0	10,0	17,1	9,0	0,3	1,71	17,1						
1	12	19,0	10,0	19,0	10,0	0,3	1,69	20,3	54	27	0,38	155	131	3320
1,1	11	19,0	10,0	20,9	11,0	0,3	1,68	18,5						
1,2	9	19,0	10,0	22,8	12,0	0,3	1,67	15,0						
1,3	6	19,0	10,0	24,7	13,0	0,3	1,65	9,9						
1,4	9	19,0	10,0	26,6	14,0	0,3	1,64	14,8						
1,5	19	19,0	10,0	28,5	15,0	0,3	1,63	31,0	55	28	0,41	158	143	3952
1,6	18	19,0	10,0	30,4	16,0	0,3	1,62	29,1						
1,7	23	19,0	10,0	32,3	17,0	0,3	1,61	36,9						
1,8	18	19,0	10,0	34,2	18,0	0,3	1,59	28,7						
1,9	18	19,0	10,0	36,1	19,0	0,3	1,58	28,5						
2	16	19,0	10,0	38,0	20,0	0,3	1,57	25,1	70	32	0,71	202	171	5682
2,1	13	19,0	10,0	39,9	21,0	0,3	1,56	20,3						
2,2	17	19,0	10,0	41,8	22,0	0,3	1,55	26,3						
2,3	14	19,0	10,0	43,7	23,0	0,3	1,54	21,5						
2,4	18	19,0	10,0	45,6	24,0	0,3	1,53	27,5						
2,5	24	19,0	10,0	47,5	25,0	0,3	1,52	36,4	66	31	0,65	190	174	5852

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.1

N. colpi/10 cm. | **Angolo di attrito** | **Densità relativa**

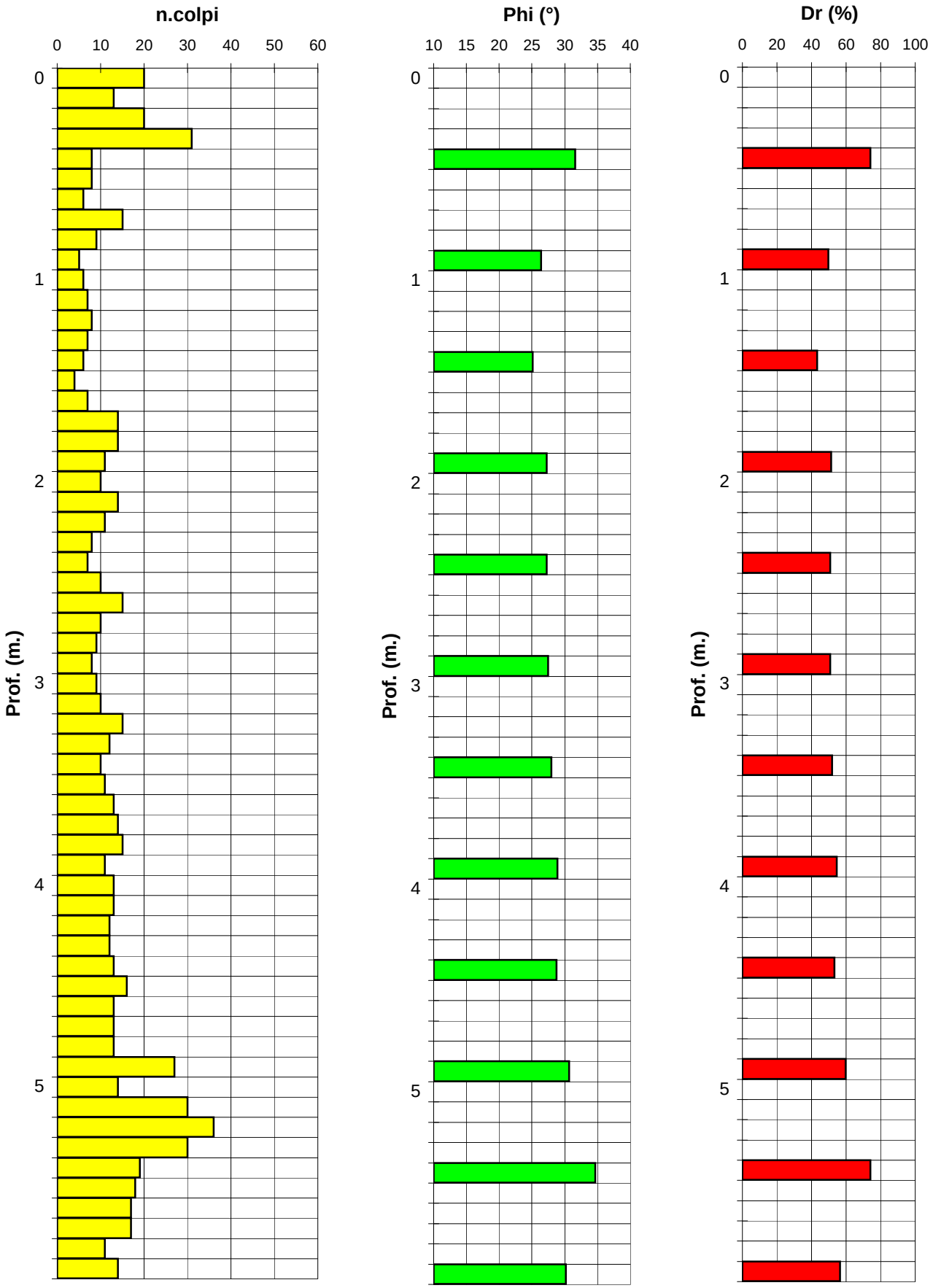


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.2

z	N_{colpi}	γ_n	γ_n'	σ_{vo}	σ'_{vo}	μ	C_N	$(N_1)_{60}$	Dr	Phi	Cu	E	V_s	G_0
0,1	20	19,0	10,0	1,9	1,0	0,3	1,82	36,4						
0,2	13	19,0	10,0	3,8	2,0	0,3	1,80	23,4						
0,3	20	19,0	10,0	5,7	3,0	0,3	1,79	35,8						
0,4	31	19,0	10,0	7,6	4,0	0,3	1,77	55,0						
0,5	8	19,0	10,0	9,5	5,0	0,3	1,76	14,1	74	32	0,70	214	133	3422
0,6	8	19,0	10,0	11,4	6,0	0,3	1,75	14,0						
0,7	6	19,0	10,0	13,3	7,0	0,3	1,73	10,4						
0,8	15	19,0	10,0	15,2	8,0	0,3	1,72	25,8						
0,9	9	19,0	10,0	17,1	9,0	0,3	1,71	15,3						
1	5	19,0	10,0	19,0	10,0	0,3	1,69	8,5	50	26	0,33	146	126	3079
1,1	6	19,0	10,0	20,9	11,0	0,3	1,68	10,1						
1,2	7	19,0	10,0	22,8	12,0	0,3	1,67	11,7						
1,3	8	19,0	10,0	24,7	13,0	0,3	1,65	13,2						
1,4	7	19,0	10,0	26,6	14,0	0,3	1,64	11,5						
1,5	6	19,0	10,0	28,5	15,0	0,3	1,63	9,8	43	25	0,26	133	127	3136
1,6	4	19,0	10,0	30,4	16,0	0,3	1,62	6,5						
1,7	7	19,0	10,0	32,3	17,0	0,3	1,61	11,2						
1,8	14	19,0	10,0	34,2	18,0	0,3	1,59	22,3						
1,9	14	19,0	10,0	36,1	19,0	0,3	1,58	22,2						
2	11	19,0	10,0	38,0	20,0	0,3	1,57	17,3	51	27	0,38	151	147	4166
2,1	10	19,0	10,0	39,9	21,0	0,3	1,56	15,6						
2,2	14	19,0	10,0	41,8	22,0	0,3	1,55	21,7						
2,3	11	19,0	10,0	43,7	23,0	0,3	1,54	16,9						
2,4	8	19,0	10,0	45,6	24,0	0,3	1,53	12,2						
2,5	7	19,0	10,0	47,5	25,0	0,3	1,52	10,6	51	27	0,38	149	152	4462
2,6	10	19,0	10,0	49,4	26,0	0,3	1,51	15,1						
2,7	15	19,0	10,0	51,3	27,0	0,3	1,50	22,4						
2,8	10	19,0	10,0	53,2	28,0	0,3	1,49	14,9						
2,9	9	19,0	10,0	55,1	29,0	0,3	1,48	13,3						
3	8	19,0	10,0	57,0	30,0	0,3	1,47	11,7	51	27	0,40	149	157	4808
3,1	9	19,0	10,0	58,9	31,0	0,3	1,46	13,1						
3,2	10	19,0	10,0	60,8	32,0	0,3	1,45	14,5						
3,3	15	19,0	10,0	62,7	33,0	0,3	1,44	21,6						
3,4	12	19,0	10,0	64,6	34,0	0,3	1,43	17,1						
3,5	10	19,0	10,0	66,5	35,0	0,3	1,42	14,2	52	28	0,43	151	164	5225
3,6	11	19,0	10,0	68,4	36,0	0,3	1,41	15,5						
3,7	13	19,0	10,0	70,3	37,0	0,3	1,40	18,2						
3,8	14	19,0	10,0	72,2	38,0	0,3	1,39	19,5						
3,9	15	19,0	10,0	74,1	39,0	0,3	1,38	20,8						
4	11	19,0	10,0	76,0	40,0	0,3	1,38	15,1	54	29	0,49	158	173	5810
4,1	13	19,0	10,0	77,9	41,0	0,3	1,37	17,8						
4,2	13	19,0	10,0	79,8	42,0	0,3	1,36	17,7						
4,3	12	19,0	10,0	81,7	43,0	0,3	1,35	16,2						
4,4	12	19,0	10,0	83,6	44,0	0,3	1,34	16,1						
4,5	13	19,0	10,0	85,5	45,0	0,3	1,33	17,3	53	29	0,48	155	175	5968
4,6	16	19,0	10,0	87,4	46,0	0,3	1,33	21,2						
4,7	13	19,0	10,0	89,3	47,0	0,3	1,32	17,1						
4,8	13	19,0	10,0	91,2	48,0	0,3	1,31	17,0						
4,9	13	19,0	10,0	93,1	49,0	0,3	1,30	16,9						
5	27	19,0	10,0	95,0	50,0	0,3	1,29	34,9	60	31	0,62	171	190	7021
5,1	14	19,0	10,0	96,9	51,0	0,3	1,29	18,0						
5,2	30	19,0	10,0	98,8	52,0	0,3	1,28	38,4						
5,3	36	19,0	10,0	100,7	53,0	0,3	1,27	45,8						
5,4	30	19,0	10,0	102,6	54,0	0,3	1,26	37,9						
5,5	19	19,0	10,0	104,5	55,0	0,3	1,26	23,9	74	35	0,98	214	216	9054
5,6	18	19,0	10,0	106,4	56,0	0,3	1,25	22,5						
5,7	17	19,0	10,0	108,3	57,0	0,3	1,24	21,1						
5,8	17	19,0	10,0	110,2	58,0	0,3	1,24	21,0						
5,9	11	19,0	10,0	112,1	59,0	0,3	1,23	13,5						
6	14	19,0	10,0	114,0	60,0	0,3	1,22	17,1	56	30	0,59	162	192	7174
6,1	100	19,0	10,0	115,9	61,0	0,3	1,22	121,5	90	37	1,21	237	185	6630

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.2

N. colpi/10 cm. | **Angolo di attrito** | **Densità relativa**

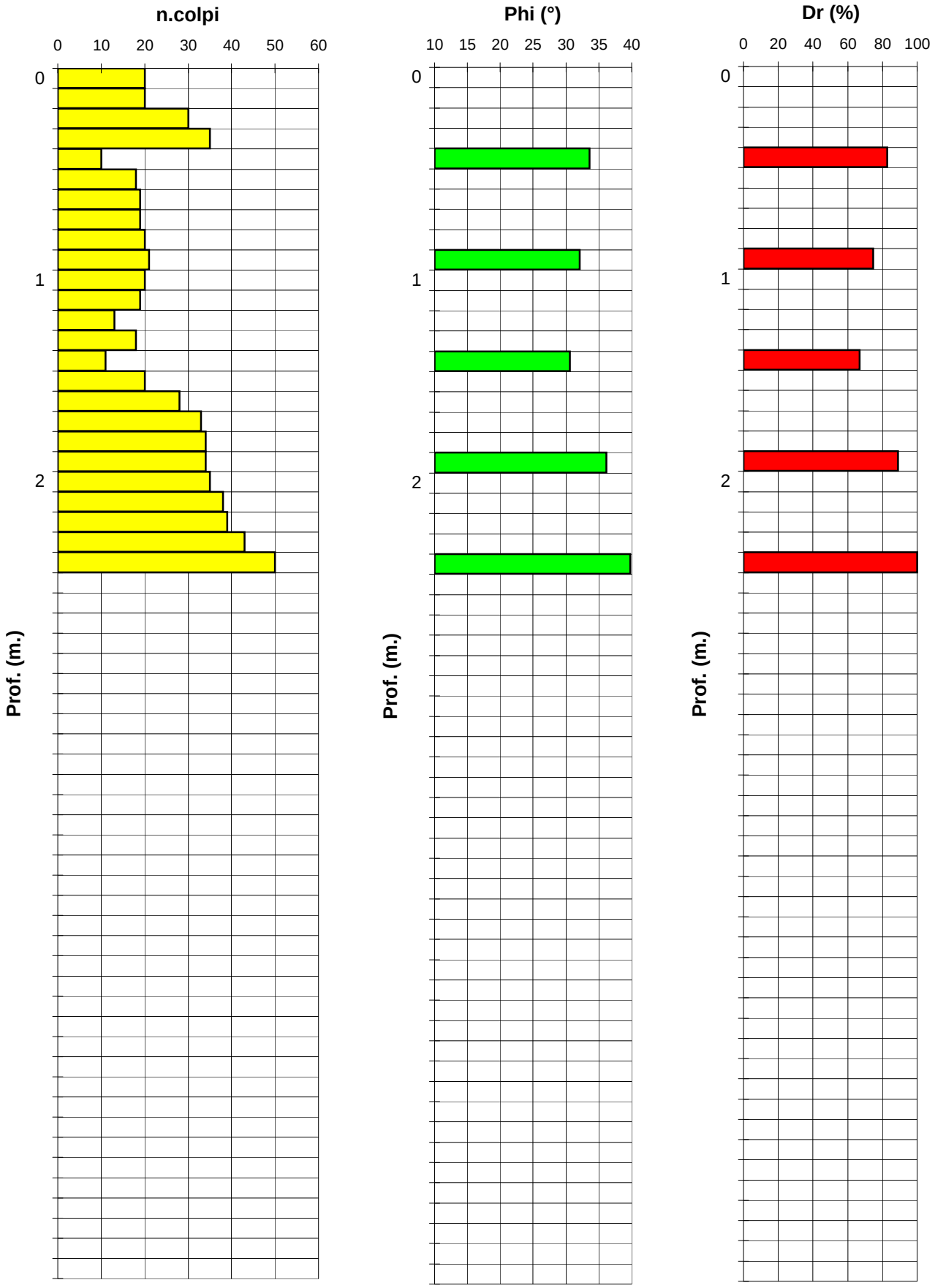


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.3

z	N_{colpi}	γ_n	γ_n'	σ_{vo}	σ'_{vo}	μ	C_N	$(N_1)_{60}$	Dr	Phi	Cu	E	V_s	G_0
0,1	20	19,0	10,0	1,9	1,0	0,3	1,82	36,4						
0,2	20	19,0	10,0	3,8	2,0	0,3	1,80	36,1						
0,3	30	19,0	10,0	5,7	3,0	0,3	1,79	53,7						
0,4	35	19,0	10,0	7,6	4,0	0,3	1,77	62,1						
0,5	10	19,0	10,0	9,5	5,0	0,3	1,76	17,6	83	34	0,87	245	140	3826
0,6	18	19,0	10,0	11,4	6,0	0,3	1,75	31,4						
0,7	19	19,0	10,0	13,3	7,0	0,3	1,73	32,9						
0,8	19	19,0	10,0	15,2	8,0	0,3	1,72	32,7						
0,9	20	19,0	10,0	17,1	9,0	0,3	1,71	34,1						
1	21	19,0	10,0	19,0	10,0	0,3	1,69	35,5	75	32	0,74	216	154	4624
1,1	20	19,0	10,0	20,9	11,0	0,3	1,68	33,6						
1,2	19	19,0	10,0	22,8	12,0	0,3	1,67	31,7						
1,3	13	19,0	10,0	24,7	13,0	0,3	1,65	21,5						
1,4	18	19,0	10,0	26,6	14,0	0,3	1,64	29,6						
1,5	11	19,0	10,0	28,5	15,0	0,3	1,63	17,9	67	31	0,62	192	158	4841
1,6	20	19,0	10,0	30,4	16,0	0,3	1,62	32,4						
1,7	28	19,0	10,0	32,3	17,0	0,3	1,61	45,0						
1,8	33	19,0	10,0	34,2	18,0	0,3	1,59	52,6						
1,9	34	19,0	10,0	36,1	19,0	0,3	1,58	53,8						
2	34	19,0	10,0	38,0	20,0	0,3	1,57	53,4	89	36	1,13	269	193	7192
2,1	35	19,0	10,0	39,9	21,0	0,3	1,56	54,6						
2,2	38	19,0	10,0	41,8	22,0	0,3	1,55	58,9						
2,3	39	19,0	10,0	43,7	23,0	0,3	1,54	60,0						
2,4	43	19,0	10,0	45,6	24,0	0,3	1,53	65,7						
2,5	50	19,0	10,0	47,5	25,0	0,3	1,52	75,9	100	40	1,56	327	216	9035

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.3

N. colpi/10 cm. | **Angolo di attrito** | **Densità relativa**



Geofisica e Ambiente sas
di G. Baudoino & C.
INDAGINI GEOGNOSTICHE • INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO NOISE ANALYSIS SURFACE WAVES (NASW) ESEGUITE AL CAMPO SPORTIVO DEL COMUNE ALASSIO.

Genova, 30/07/2007

All.10

Indice

1. Premessa **pag. 2**

2. Descrizione del metodo NASW **pag. 2**

3. Acquisizione ed Elaborazione del Noise sismico **pag. 3**

3.1 Strumentazione **pag. 3**

4. Risultati **pag. 5**

Allegati: spettro di frequenza ALL1 e ALL2

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

1. Premessa

In data 30/07/2007 sono state eseguite all'interno del Campo Sportivo del Comune di Alassio provincia di Savona, due indagini sismiche di tipo Noise Analysis Surface Waves (NASW).

2. Descrizione del metodo NASW

Il metodo d'indagine sismica passiva denominato NASW (Noise Analysis of Surface Waves), si basa sulle particolari leggi fisico-matematiche, che governano la propagazione delle onde sismiche superficiali, in mezzi stratificati (monodimensionali o 1-D). In tali condizioni, sia le onde di Love sia le onde di Rayleigh, hanno carattere dispersivo: si ha una forte dipendenza della velocità di propagazione (V_R per le onde di Rayleigh e V_R per le onde di Love) dalla frequenza del moto sismico. In ipotesi di mezzo stratificato, le caratteristiche della "curva di dispersione" $V_R = V_R (f)$ sono strettamente collegate alle caratteristiche stratigrafiche dell'area indagata: la struttura della curva di dispersione dipende quasi esclusivamente dal profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs = Vs (z). Ad esempio, nel caso di un aumento di velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità, la curva di dispersione assume un andamento caratteristico, evidenziando bassi valori di velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in corrispondenza di alte frequenze ed alti valori di tale velocità in corrispondenza di basse frequenze. La totalità dei metodi d'indagine sismologica basati sull'analisi delle onde superficiali, sia essi passivi sia attivi, prevedono specifiche tecniche di acquisizione dei segnali sismici, identificazione delle onde superficiali, stima della curva di dispersione ed inversione o modeling di questa ultima, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs .

La peculiare caratteristica che differenzia in modo sostanziale il metodo NASW dai metodi d'indagine attivi, basati su un'artificiale energizzazione sismica del terreno (SASW Nazarena and Stokoe 1984; MASW Park et al., 1999), risiede nell'utilizzo del rumore sismico di fondo ("noise sismico" o "microtremore") come sorgente d'onde superficiali. L'analisi sperimentale dei microtremori ha, infatti, evidenziato che il noise sismico possiede, in genere, caratteristiche spettrali particolarmente adatte all'esplorazione del primo sottosuolo (significativa densità di energia nella banda 2 – 25 Hz). L'utilizzo di sorgenti sismiche "naturali" rende il metodo NASW

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

particolarmente idoneo per indagini in contesti urbani rumorosi, dove l'utilizzo di efficaci sorgenti sismiche comporterebbe, un proibitivo aumento dei costi dell'indagine geofisica.

Per una dettagliata ed esaustiva descrizione delle tecniche di misura e delle metodologie d'analisi del noise sismico si rimanda a:

- NaKamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics extimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Raylw Tech. Res.Inst., 30, 25-33.
- Nazarian S. e Stokoe K. H. 1984. In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the world Conference on Earthquake Engineering, Vol. 8, San Francisco, 21-28.
- Louie J. N. 2001 "shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arreys" Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2 347-364 pp.
- Okada 2004, Saito M. 1979 "Computation of reflectivity and surface wave dispersion curves for layered media" Butsuri-Tanko 32, n° 5 15-26pp

3. Acquisizione ed elaborazione del "Noise" sismico

3.1 Strumentazione

- sismometro Abem Terraloc Mark 6 - 24 canali, le cui specifiche tecniche sono riportate in Appendice.
- 24 geofoni, di frequenza caratteristica pari a 4.5 Hz.
- 2 cavi geofonici da 12 prese.

Le traccia sismica è stata acquisita lungo due profili secondo la geometria riportata di seguito:

- **Profilo1** interdistanza geofonica 4 m lunghezza totale dello stendimento 92 m;

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

- **Profilo2** interdistanza geofonica 4 m lunghezza totale dello stendimento 92 m;

Il segnale sismico è stato acquisito con passo di campionamento di 2 ms e con numero di campioni di 16384, tali parametri hanno consentito di registrare segnali sismici di lunghezza pari a 32768 ms. Sono state registrate per ogni sezione 10 "finestre" di rumore sismico.

Senza entrare nei dettagli operativi relativi all'elaborazione del noise le principali fasi di "processing" possono essere riassunti nei seguenti punti:

1. Pre-processing dei records di noise sismico (analisi delle caratteristiche medie del "noise", per verificarne la qualità sia in termini di stazionarietà spazio-temporale e sia in termini di coerenza spettrale) che consente di individuare il range di frequenze ottimale (3.0 – 24 Hz) da utilizzare nelle fasi successive di elaborazione.
2. Trasformazione dei records di noise sismico secondo due passaggi successivi. In primo luogo è stata operata la trasformazione dal dominio T-X (tempo – distanza) al dominio tau-p (tempo intercetta -"slowness" o reciproco della velocità apparente) e successivamente dal dominio tau-p al dominio f-p (frequenza - "slowness") "p-f Image" (un'elaborazione statistica di tutti i records di tipo p-f ed una procedura di normalizzazione hanno consentito di ottenere il diagramma indicato come "p-f image").
3. "picking" della curva di dispersione, (è associato ad un certo numero di punti una o più "slowness" 1/V per alcune frequenze.

Nell'immagine "slowness-frequency" (p-f) (spettro di potenza normalizzato in funzione della frequenza f e del parametro p), sono messi in evidenza gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle associabili ad altri tipi di onde (onde di Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

La curva di dispersione $V_R = V_R(f)$ è stata in seguito utilizzata per stimare il profilo

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio, adottando una metodologia di modeling diretto (Saito 1984), che consente di ottenere, attraverso approssimazioni successive ("trial and error"), una funzione Vs = Vs (z), tale da minimizzare il misfit tra la curva di dispersione teorica e curva di dispersione osservata.

4. Risultati

Per ogni indagine di tipo NASW verranno di seguito riportati:

a) Rappresentazione in scala cromatica dello spettro di potenza "p-f Image" utilizzato per fare il "picking" della curva di dispersione sperimentale.

ALL1 e ALL2

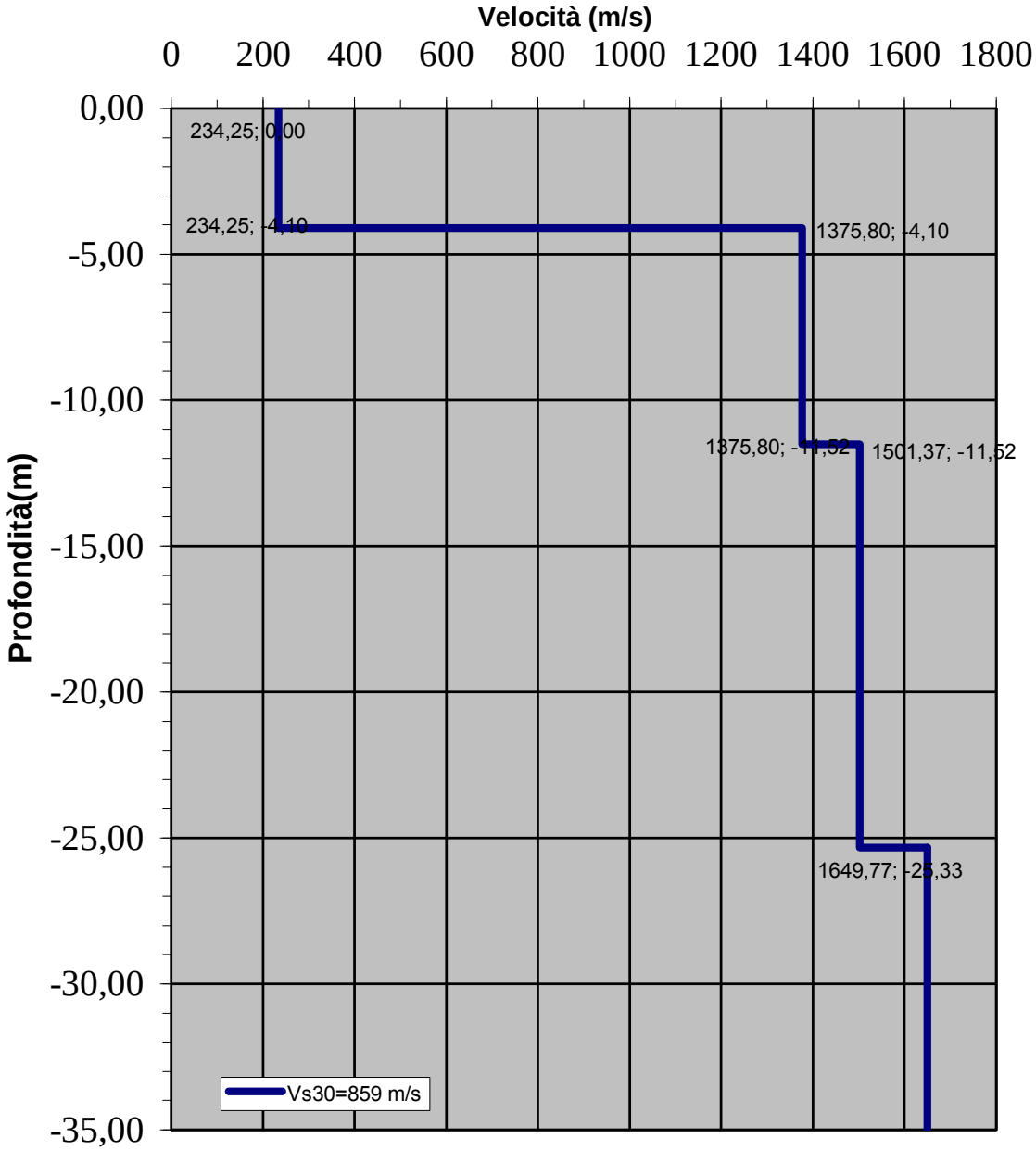
b) Profili verticali della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs = Vs (z).

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Profilo - NASW

Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)

Profilo1

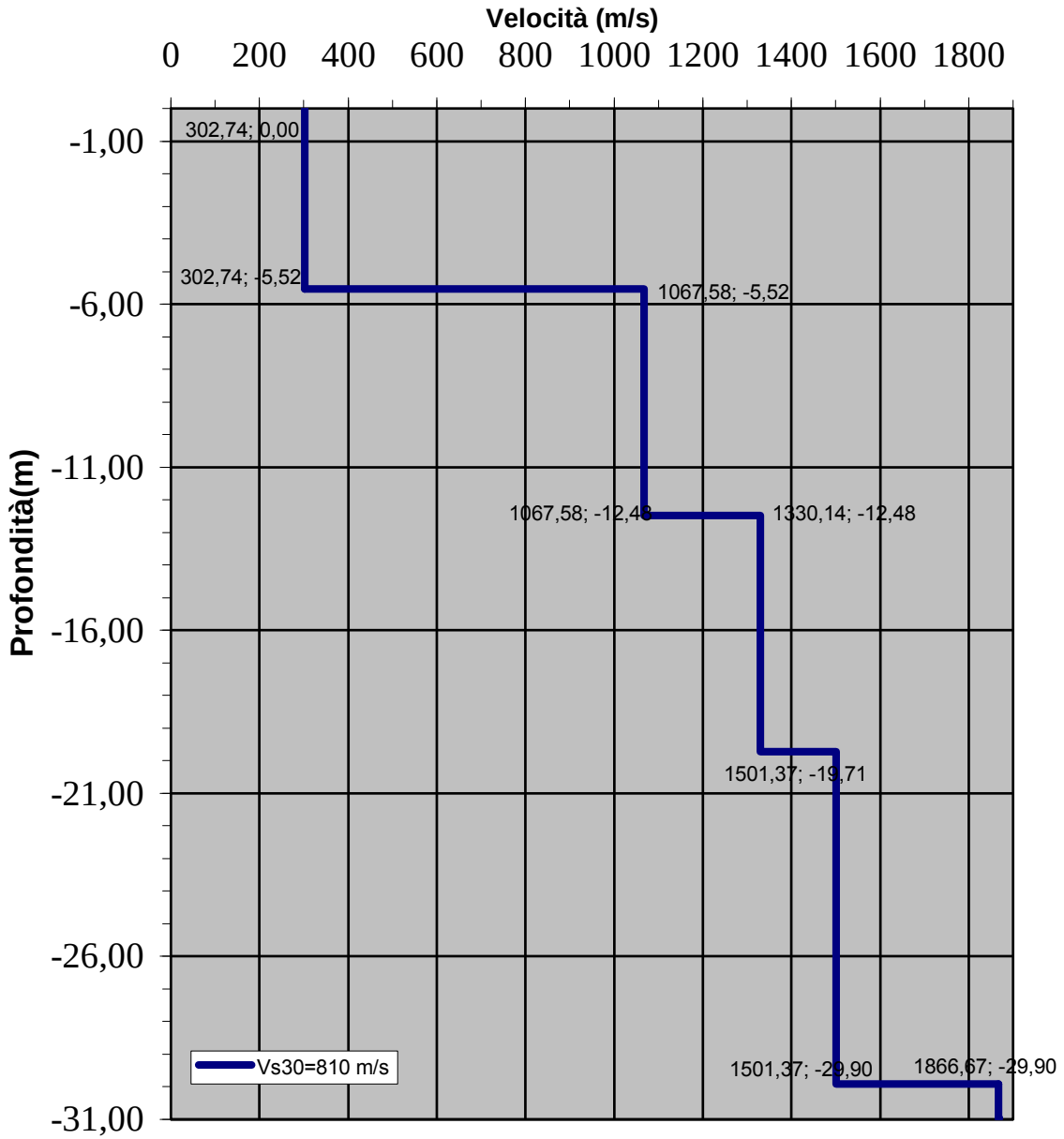


Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Profilo - NASW

Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)

Profilo2



Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Classificazione del sito ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/03, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche” e del Testo Unico, “Norme Tecniche per le Costruzioni” del 30/03/2005

Secondo quanto riportato nell’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/03, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche”, viene proposta una nuova classificazione dei comuni, cui si applica la normativa, relativa alle costruzioni in zona sismica.

La normativa tecnica ai fini del calcolo dell’azione sismica, tiene conto del tipo di categoria (4 categorie), e per la verifica degli elementi strutturali, anche dei possibili effetti di amplificazione locale in base alle caratteristiche del suolo di fondazione.

A tal scopo sono distinti terreni di tipo:

A formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da Vs30> di 800 m/s;

B depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (Nspt >50, o coesione non drenata c_u>250 Kpa;

C depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori da decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (15<Nspt<50, o coesione non drenata 70< c_u >250Kpa);

D depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 <180 m/s (Nspt<15, o c_u <70Kpa);

E terreni alluvionali, caratterizzati da valori di Vs30 simili a quelli di tipo C o D e spessore compreso tra 5 m e 20 m, al di sotto del quale si trova un substrato rigido con Vs30 >800 m/s.

Ed Inoltre le categorie S1 e S2 per il quale sono richiesti studi speciali per la definizione dell’azione sismica:

S1 depositi costituiti da strati di almeno 10 m di argille o limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI>40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di Vs30 <100 m/s (10< c_u <20 Kpa)

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

S2 depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi tipo di terreno non rientrante nei tipi precedenti.

A corredo dei risultati ottenuti dalla campagna d'indagine forniamo di seguito la classificazione dei terreni in base alle Vs30 secondo quanto riportato nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/03, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche".

V_s30 =859.0 m/s Terreno Tipo A

$V_2$30 = 810.0 m/s Terreno Tipo A

Al fine di fornire un'ulteriore informazione, circa i campi di valori indicativi della velocità delle onde di taglio riferiti ai diversi tipi di terreno, viene di seguito riportata una classificazione dei sottosuoli secondo Eurocodice 8.

DESCRIZIONE	PROFONDITA	Vs(m/s)
Roccia lapidea	Qualsiasi	≥ 800
Terreni addensati (a grana fine o grossa) spessi decine di metri e con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità		≥ 400
Depositi profondi mediamente densi/consistenti con spessori da decine a centinaia di metri	10 50	≥ 200 ≥ 350
Terreni a grana grossa sciolti con eventuali intercalazioni fini	< 20	< 200
Depositi a grana fine di consistenza medio bassa	< 20	< 200

Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

La velocità delle onde S (Vs) permette, inoltre, di risalire al modulo di deformazione a taglio dei terreni attraversati ed al Modulo di Compressibilità volumetrica Eb, edometrica Eed e di Young E, nel caso in cui si dispone anche della velocità delle onde di compressione Vp

$$G = \rho V_s^2$$ ρ = densità del mezzo

$$E_B = \rho(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$$

$$E_{ed} = \rho V_p^2$$

$$\upsilon = \left[0.5\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1\right] / \left[\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2 - 1\right]$$ υ = coefficiente di Poisson

$$E = 2\rho V_s^2(1+\upsilon)$$

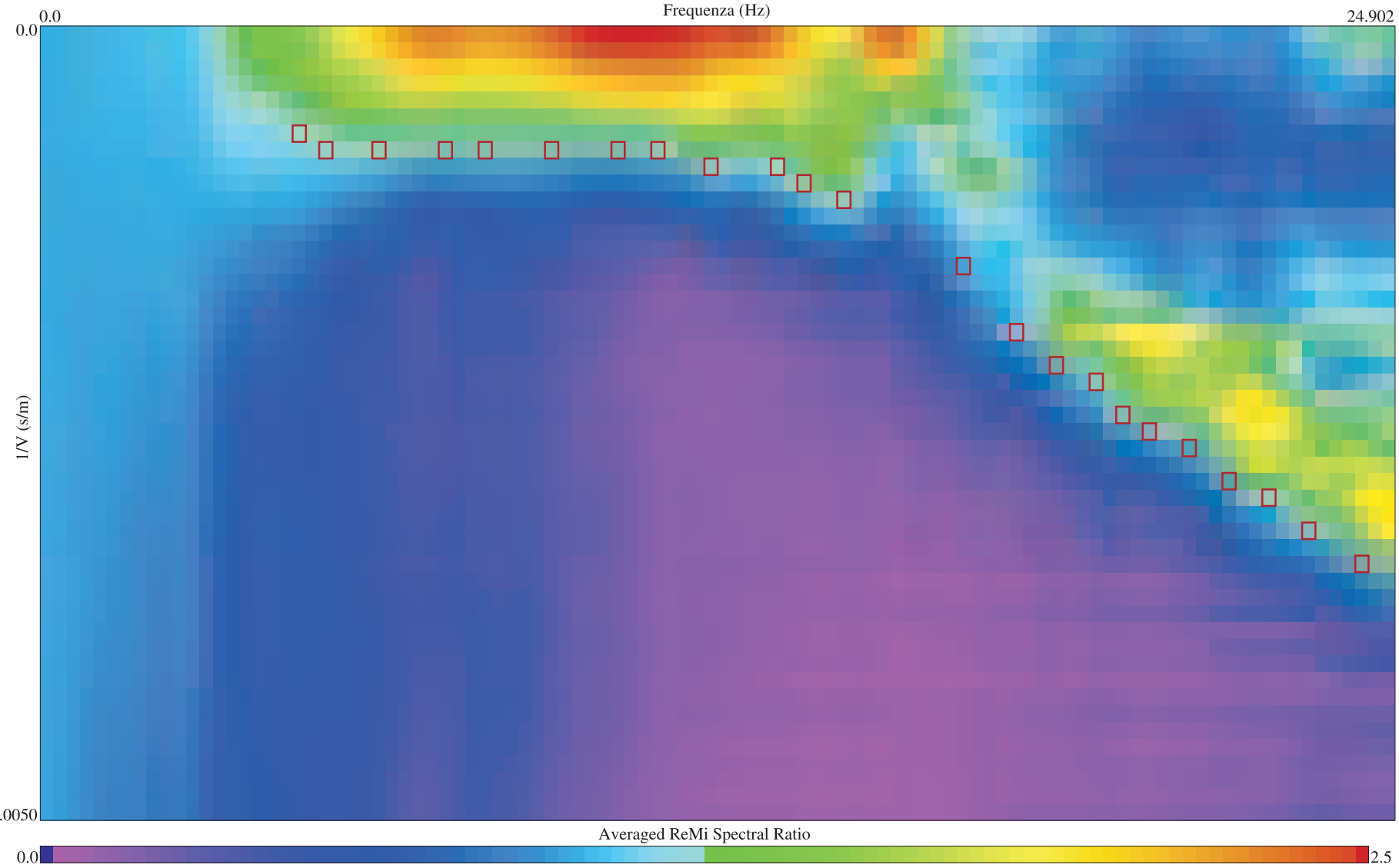
Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

ABEM TERRALOC MARK 6 - Specifiche Tecniche

Numero di canali	24
Canale di riferimento	12 o 24 rindirizzabile su apposito connettore
Passo di campionamento	(25, 50, 100, 200, 500) □s (1, 2) ms
Numero di campioni registrabili	Selezionabili tra 3.2 ms e 32.7 s; equivalenti a 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384 campioni
Numero massimo di stacks	999
Registrazione pre-trigger	Selezionabile tra 0-100 % della lunghezza della traccia
Delay time	In relazione al passo di campionamento
Tipo di trigger	Interruttore(aperto/chiuso), analogico o TTL
Risoluzione del convertitore A/D	18 bits + 3 bit IFP
Dinamica	126 dB (teorica)
Minimo segnale in ingresso	+/- 0.24 □V
Massimo segnale in ingresso	+/- 250 mV
Banda di frequenza	(2-4000) Hz
Filtri analogici passa alto	Selezionabili, 12 dB/ottava (12-192)Hz in 16 passi o 24 dB/ottava (15-240) Hz in 16 passi
Notch filtro	50 Hz
Anti-aliasing	Automaticamente impostato in funzione della frequenza di campionamento

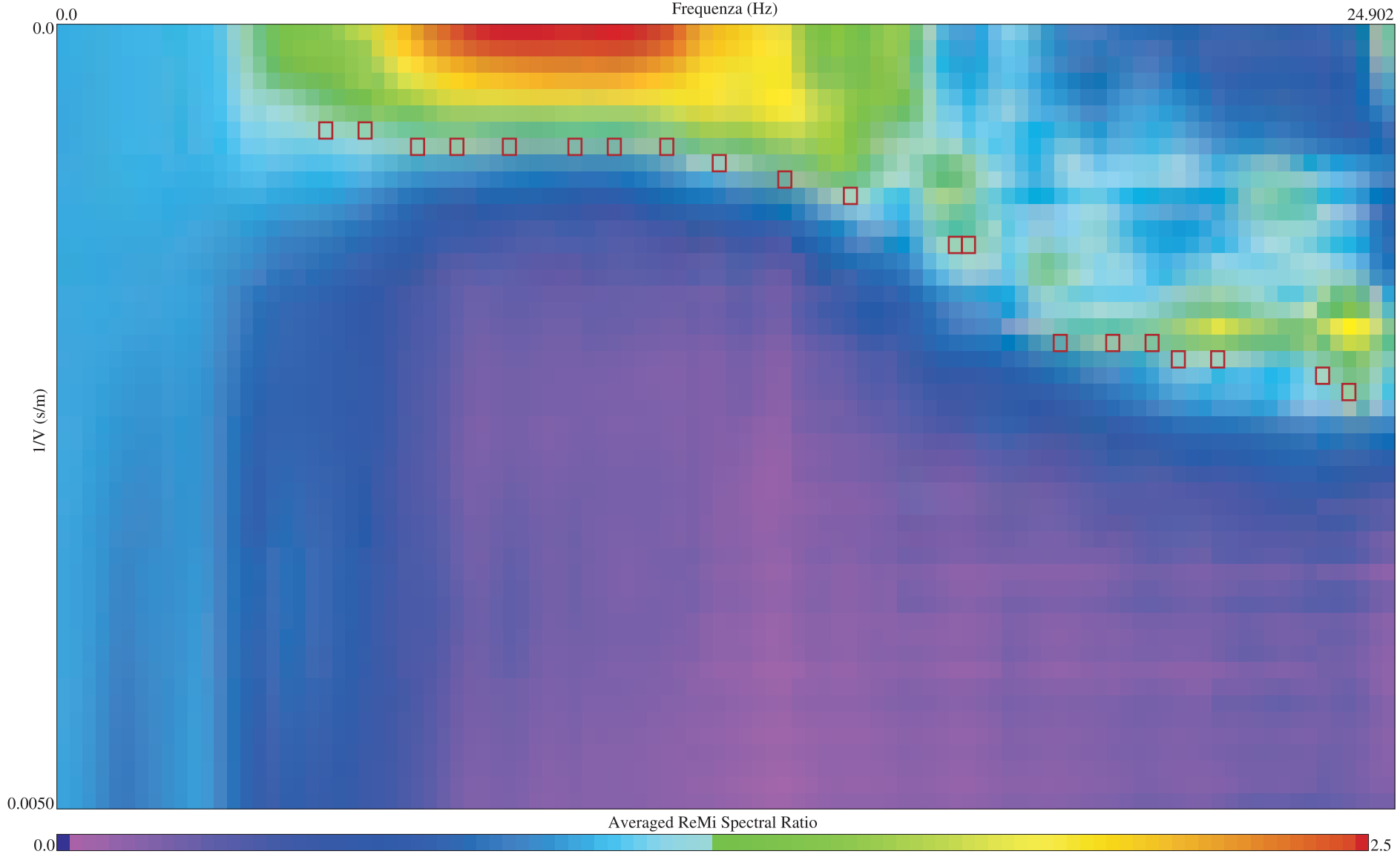
Geofisica e Ambiente sas
sede legale: Via delle Peschiere, 4 • 17025 Loano (SV) • fax 019 667424 • *uff.*: Via Nino Franchi, 4 R • 16148 Genova • tel./fax 010 3990226
P.Iva 03852810104 • iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. n° 131468

Spettro di Potenza “Lentezza - Frequenza” p-f
Profilo1



Geofisica e Ambiente sas
sede legale:via Delle Peschiere, 4 - 17025 Loano (SV) - Tel/Fax 0194508117- Uff:Via Nino Franchi 4r - 16148 Genova
Tel 0103990226 - Fax 0108631917 - P.I.03852810104 - Iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. N° 131468

Spettro di Potenza “Lentezza - Frequenza” p-f
Profilo2



Geofisica e Ambiente sas
sede legale:via Delle Peschiere, 4 - 17025 Loano (SV) - Tel/Fax 0194508117- Uff:Via Nino Franchi 4r - 16148 Genova
Tel 0103990226 - Fax 0108631917 - P.I.03852810104 - Iscr. C.C.I.A.A. di Savona R.E.A. N° 131468

ANALISI GRANULOMETRICHE

Sondaggio S1 Campione a -3 metri dal p.c.
Sondaggio S2 Campione a -3 metri dal p.c.
Sondaggio S3 Campione a -3 metri dal p.c.
Sondaggio S4 Campione a -3 metri dal p.c.

Pozzetto Esplorativo P.E.1 Campione a -1.5 metri dal p.c.
Pozzetto Esplorativo P.E.1 Campione a -3 metri dal p.c.

All.11

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

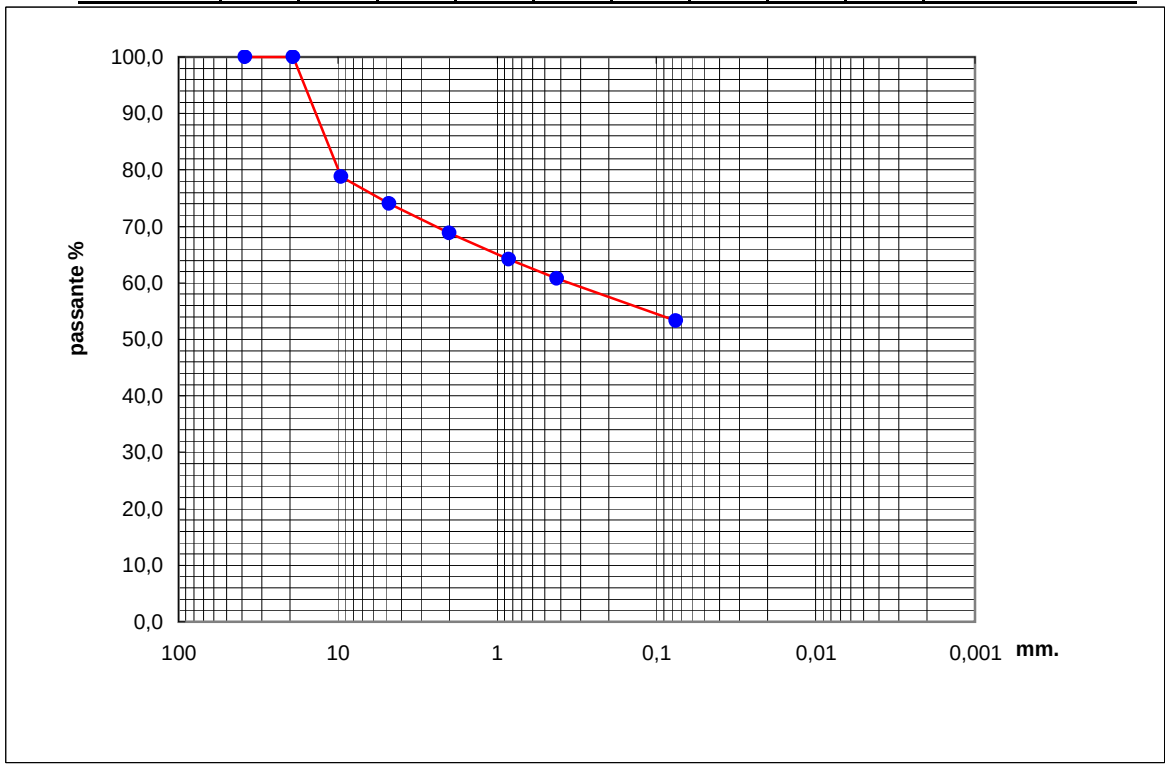
Sondaggio S1

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 3 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 400 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	85	21,3	21,3	78,8
4	4,76	19	4,8	26,0	74,0
10	2	20,5	5,1	31,1	68,9
20	0,841	19	4,8	35,9	64,1
40	0,42	13,5	3,4	39,3	60,8
200	0,075	30	7,5	46,8	53,3
fondo		213	53,3	100,0	0,0
		400	100,0		



% ghiaia: 31,1
% sabbia: 15,6
% limo ed argilla: 53,3

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

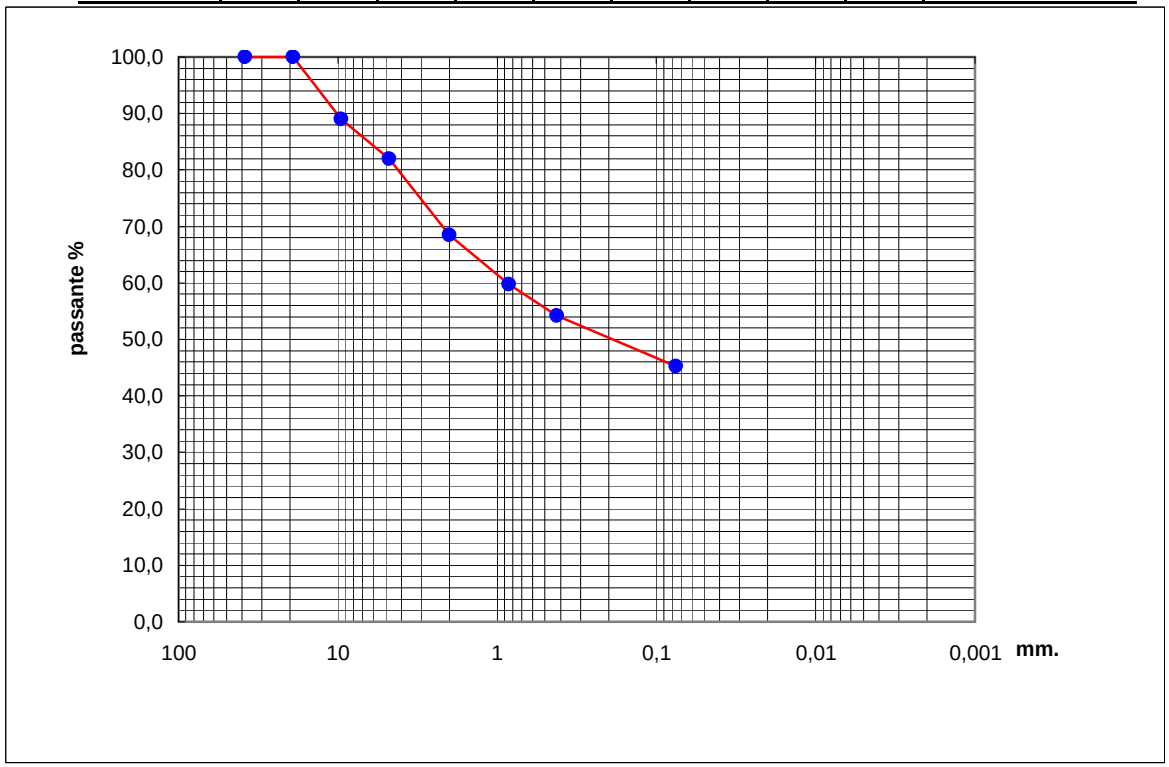
Sondaggio S2

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 3 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 400 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	44	11,0	11,0	89,0
4	4,76	28	7,0	18,0	82,0
10	2	54	13,5	31,5	68,5
20	0,841	35	8,8	40,3	59,8
40	0,42	22	5,5	45,8	54,3
200	0,075	36	9,0	54,8	45,3
fondo		181	45,3	100,0	0,0
		400	100,0		



% ghiaia: 31,5
% sabbia: 23,3
% limo ed argilla: 45,3

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

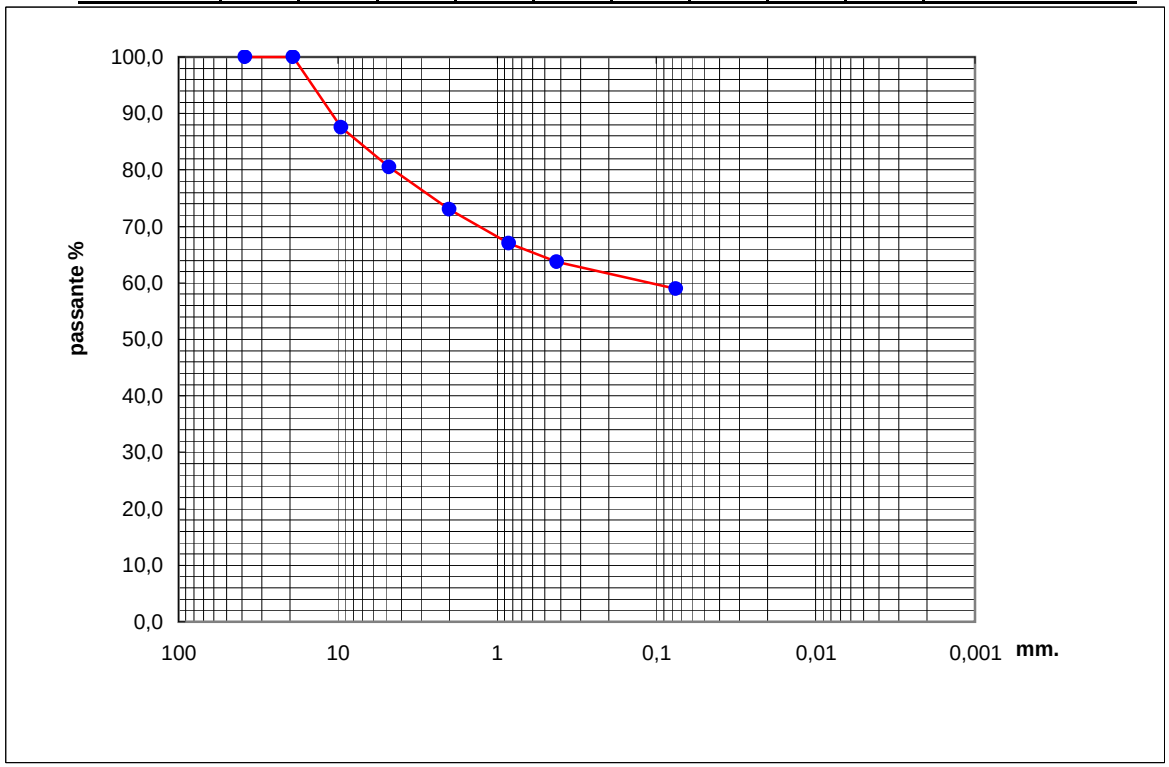
Sondaggio S3

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 3 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 400 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	50	12,5	12,5	87,5
4	4,76	28	7,0	19,5	80,5
10	2	30	7,5	27,0	73,0
20	0,841	24	6,0	33,0	67,0
40	0,42	13	3,3	36,3	63,8
200	0,075	19	4,8	41,0	59,0
fondo		236	59,0	100,0	0,0
		400	100,0		



% ghiaia: 27,0
% sabbia: 14,0
% limo ed argilla: 59,0

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

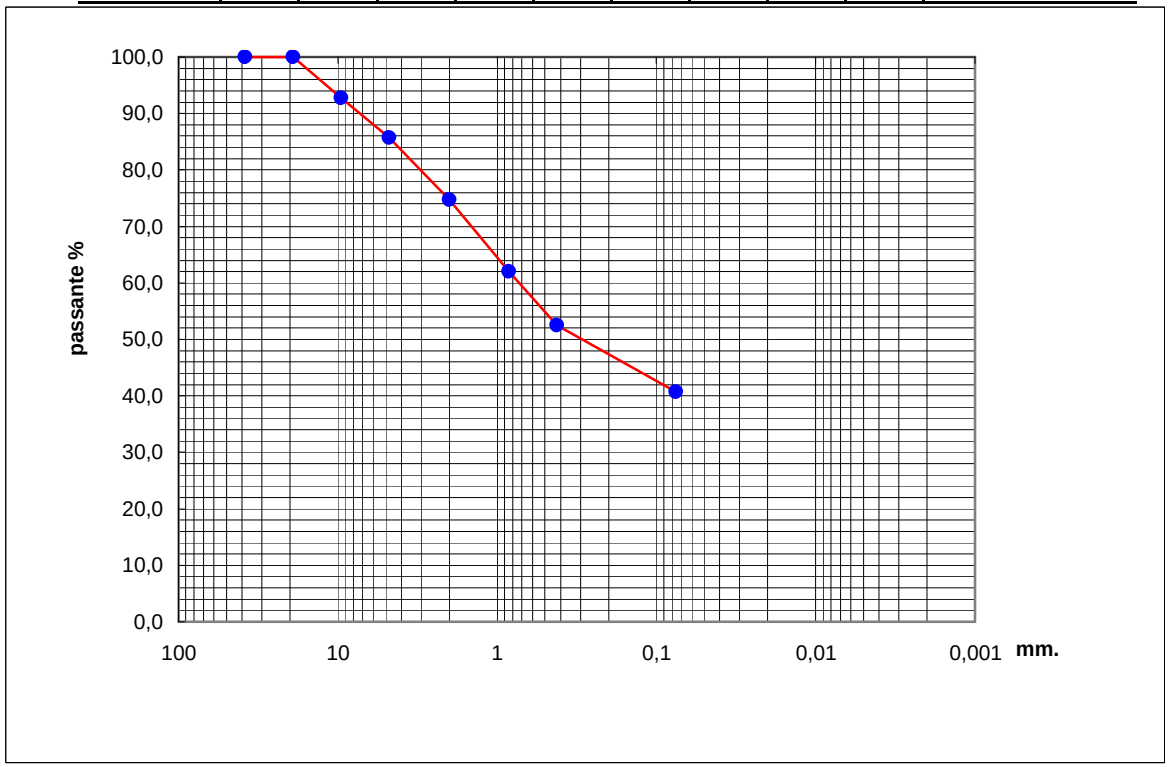
Sondaggio S4

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 3 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 400 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	29	7,3	7,3	92,8
4	4,76	28	7,0	14,3	85,8
10	2	44	11,0	25,3	74,8
20	0,841	51	12,8	38,0	62,0
40	0,42	38	9,5	47,5	52,5
200	0,075	47	11,8	59,3	40,8
fondo		163	40,8	100,0	0,0
		400	100,0		



% ghiaia: 25,3
% sabbia: 34,0
% limo ed argilla: 40,8

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

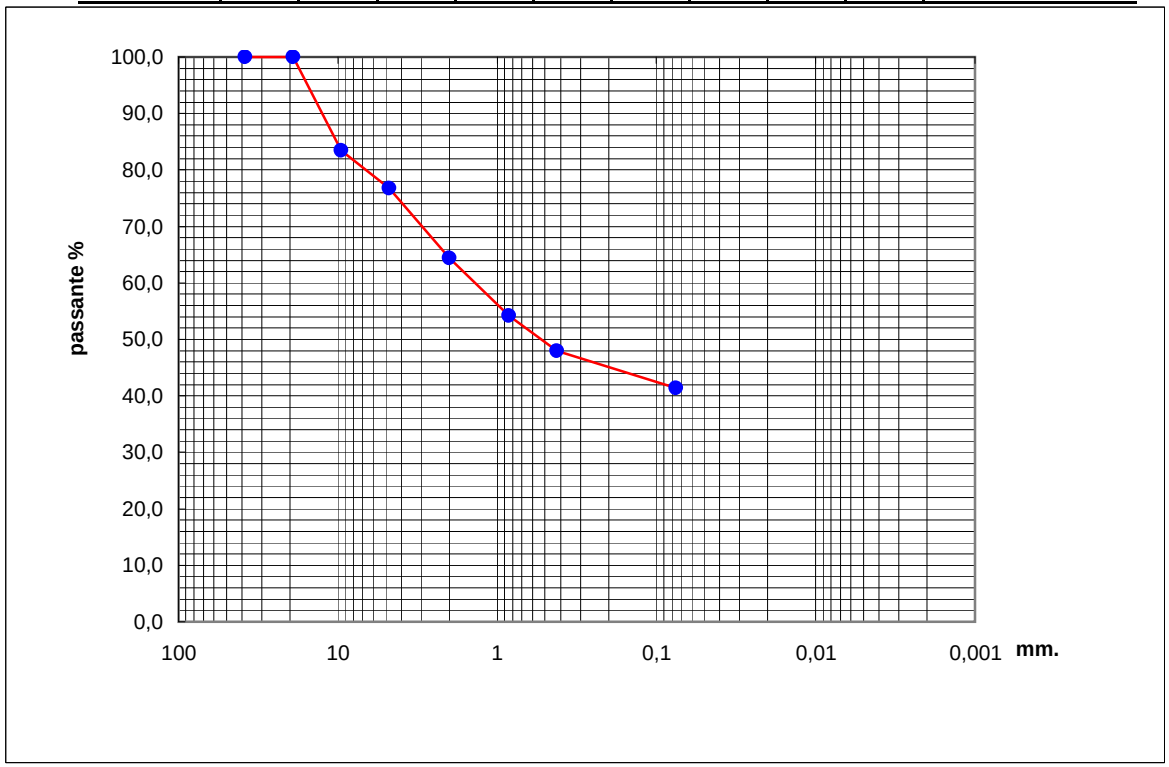
Pozzetto Esplorativo P.E.1

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 1.5 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 500 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	83	16,6	16,6	83,4
4	4,76	33	6,6	23,2	76,8
10	2	62	12,4	35,6	64,4
20	0,841	51	10,2	45,8	54,2
40	0,42	31	6,2	52,0	48,0
200	0,075	33	6,6	58,6	41,4
fondo		207	41,4	100,0	0,0
		500	100,0		



% ghiaia: 35,6
% sabbia: 23,0
% limo ed argilla: 41,4

ANALISI GRANULOMETRICA
PER SETACCIATURA

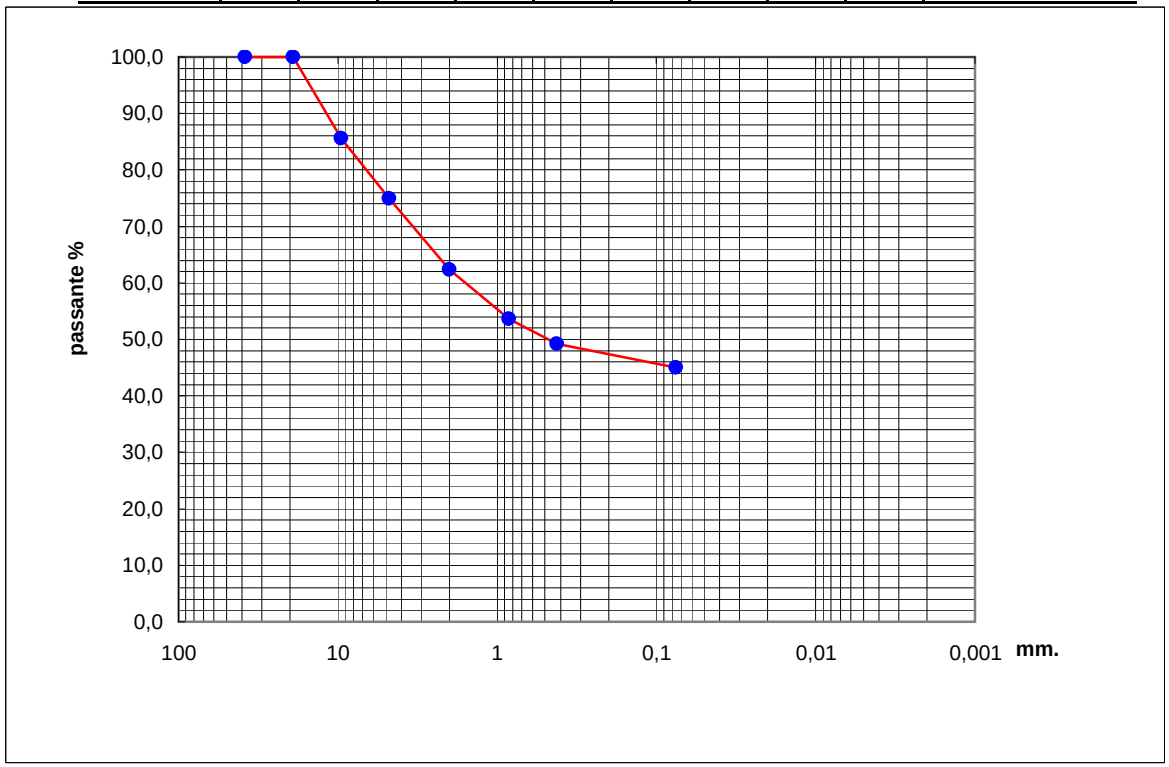
Pozzetto Esplorativo P.E.1

COMMITTENTE: BESIX s.a.
LOC. PRELIEVO: Campo Sportivo di Alassio (SV)
PROFONDITA': - 3 metri dal piano campagna

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	

Peso secco campione: 500 gr.

N. setac.	A (mm.)	Tratt. (gr.)	Tratt. (%)	Cum. (%)	Pass. (%)
1	38,1	0	0,0	0,0	100,0
2	19	0	0,0	0,0	100,0
3	9,51	72	14,4	14,4	85,6
4	4,76	53	10,6	25,0	75,0
10	2	63	12,6	37,6	62,4
20	0,841	44	8,8	46,4	53,6
40	0,42	22	4,4	50,8	49,2
200	0,075	21	4,2	55,0	45,0
fondo		225	45,0	100,0	0,0
		500	100,0		



% ghiaia: 37,6
% sabbia: 17,4
% limo ed argilla: 45,0