

# 2

## RELAZIONI TECNICHE SPECIALISTICHE: RELAZIONE GEOGNOSTICA

# PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Bergamo, 12 dicembre 2018

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Arch. Federico Giuseppe Mele

**IL PROGETTISTA**

Geom. Paolo Previtali

**IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE**

Ing. Fabio Ghisalberti

**IL GRUPPO DI LAVORO**

Geom. Paolo Previtali

Ing. Fabio Ghisalberti

P.I. Leonello Pirola

Arch. Rossana Betelli

MANUTENZIONE STRAORDINARIA CON CONSOLIDAMENTO E RIFACIMENTO  
MURI DI SOSTEGNO SUI COLLI E IN CITTÀ ALTA - ANNO 2018  
via Sant'Alessandro



**EUROGEO s.n.c.**

Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: [bergamo@eurogeo.net](mailto:bergamo@eurogeo.net)  
Tel. +39 035 248689 – Fax +39 035 271216

REL.1-24/05/18

## **COMUNE DI BERGAMO**

*Piazza Matteotti, 27 - Bergamo 24100 (BG)*



### **LAVORI DI RIFACIMENTO DEL MURO DI SOSTEGNO TRA I CIVICI 130 E 134 DI VIA SANT'ALESSANDRO**

#### ***Relazione geologica***

Bergamo, 7 giugno 2018



## Sommario

<b>1. PREMESSA E INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI PRESENTI NELL'AREA DI STUDIO E LIMITAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO/VINCOLISTICO</b>	<b>4</b>
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROSPEZIONI GEOFISICHE</b>	<b>9</b>
3.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (S.C.P.T.)	9
3.2. Sondaggi a carotaggio continuo	11
3.3. Prove geotecniche di laboratorio	14
3.4. Prospezione geofisica con il metodo della sismica a rifrazione	14
<b>3.4.1. Sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (P)</b>	<b>14</b>
<b>3.4.2. Stratigrafia sismica</b>	<b>16</b>
3.5. Stratigrafia geotecnica	17
<b>4. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>	<b>19</b>
4.1. Vita Nominale e classi d'uso	19
4.2. Risposta sismica locale	21
<b>4.2.1. Effetti litologici</b>	<b>21</b>
<b>4.2.2. Effetti morfologici</b>	<b>27</b>
<b>5. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b>	<b>29</b>
5.1. Introduzione	29
5.2. Esclusione dalla verifica	30
<b>6. PARAMETRI SISMICI</b>	<b>31</b>
<b>7. CONSIDERAZIONI FINALI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>32</b>

## Allegati

1. Prove penetrometriche dinamiche continue;
2. Stratigrafie sondaggi geognostici;
3. Analisi di laboratorio;
4. Velocità delle onde S, prova MASW  $V_{seq}$ .



## 1. PREMESSA E INTRODUZIONE

Sono descritti i risultati delle indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione meccanica del sottosuolo nel tratto di strada compreso tra i numeri civici 130 e 134 di via Sant'Alessandro a Bergamo.

Il piano di indagine è stato articolato in due sondaggi geognostici a carotaggio continuo profondi 12 metri, sei prove penetrometriche dinamiche continue spinte fino a “rifiuto”, una prospezione sismica a rifrazione e una prova geofisica di tipo MASW per la caratterizzazione sismica del sottosuolo.

I risultati delle indagini sono stati correlati tra loro al fine di disporre di un quadro conoscitivo il più ampio possibile al quale i progettisti potranno riferire le soluzioni progettuali per il consolidamento/rifacimento del muro di sostegno della strada.





## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI PRESENTI NELL'AREA DI STUDIO E LIMITAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO/VINCOLISTICO**

L'area studiata ricade sulla propaggine meridionale del Colle di Bergamo, appena al di fuori dal complesso delle mura venete, su un tratto di versante esposto verso ovest sud-ovest. La pendenza calcolata dalla sommità della cresta al piede del versante è pari al 40%.

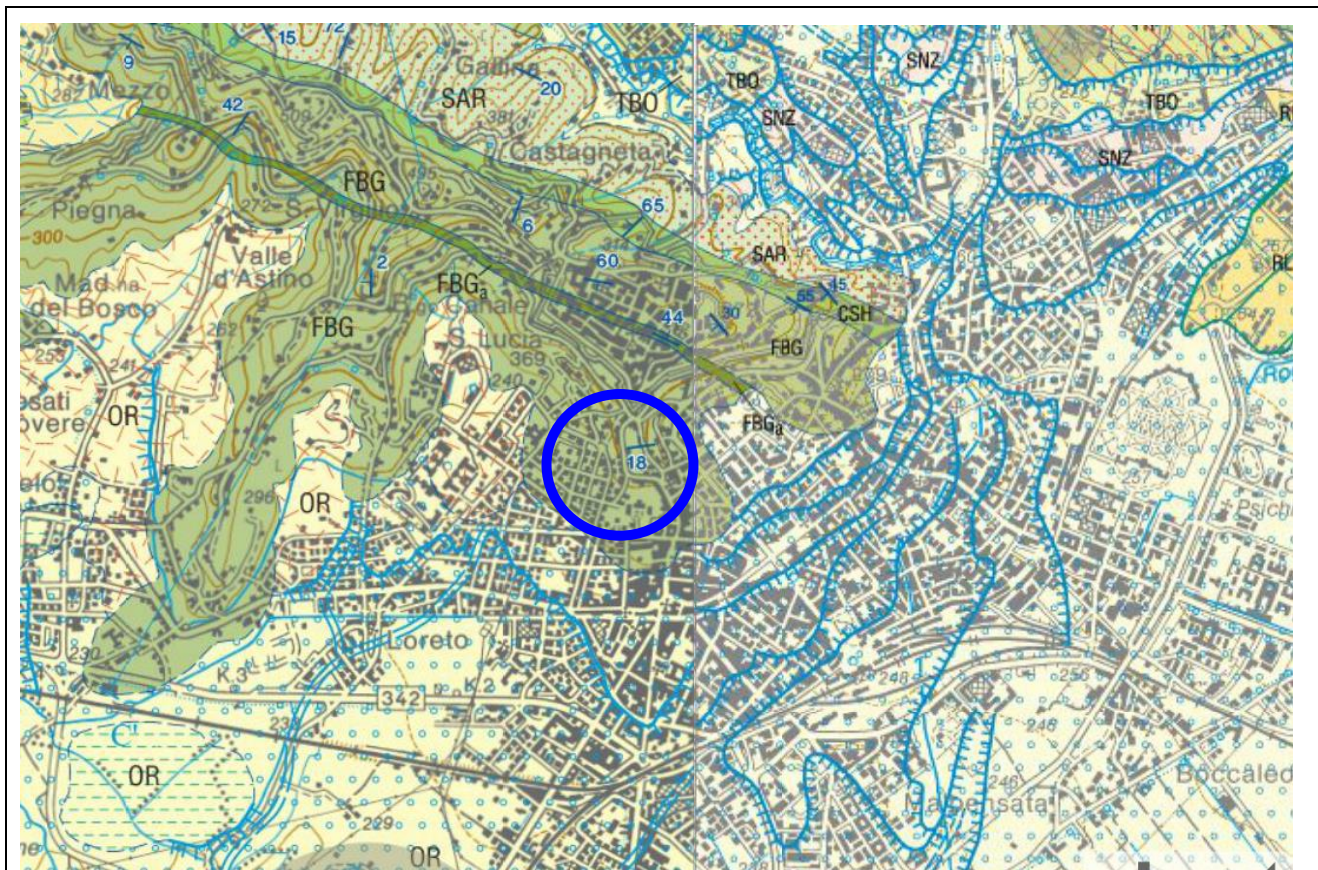
L'area ha subito l'intervento antropico da millenni e pertanto l'originario fianco della collina è stato completamente manomesso e adattato alle esigenze umane. La stessa sede stradale è stata ricavata sbancando a monte un tratto di pendio.

Il versante appare comunque in condizioni di equilibrio. Il dissesto che coinvolge la sede stradale appare più che altro dovuto ad una inadeguatezza del muro di sostegno alle sollecitazioni indotte dal traffico veicolare. Non si può escludere che le piante di alto fusto che insistono sulla sommità del muro possano aver contribuito con il loro peso e con l'azione meccanica dell'apparato radicale a comprometterne l'efficacia.

Come desumibile dalla carta geologica di Bergamo l'assetto strutturale dei colli è dominato da una coppia di pieghe sinclinale-anticlinale a scala chilometrica, seguite a sud da pieghe sinclinali ed anticlinali sud vergenti che coinvolgono in affioramento una successione di strati rocciosi di età cretacea (*Figura 1*). Le rocce sottostanti la copertura sono costituite esclusivamente dalla formazione del Flysch di Bergamo. Tale litotipo è formato da alternanze di peliti ed arenarie di colore da grigio chiaro a giallastro, in strati da sottili a spessi.

La formazione, apparentemente uniforme, in realtà presenta una notevole articolazione interna in termini di associazione litologica, di geometria e caratteri della stratificazione. Le associazioni di facies più tipiche e più frequenti sono di seguito descritte:

- alternanze di peliti ed arenarie fini e medie, in strati da sottili a spessi con superfici di stratificazione piano parallele. Gli strati arenacei risultano gradati e laminati (sequenze di Bouma Ta-e e Tb-e); con frequenti impronte e tracce di bioturbazione alla base; talora organizzati in intervalli in cui tendono ad ispessirsi verso l'alto;



### Legenda



OR

#### SUPERSISTEMA DELLA MORLA

Ghiaie a ciottoli arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e di poco subordinati silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali); argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.

*PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE (sino al XIV SECOLO)*



FBG<sub>1</sub>

FBG

FBG<sub>a</sub>

#### FLYSCH DI BERGAMO

Alternanze di arenarie torbiditiche fini e medie in strati da sottili a spessi, talora organizzati in cicli di ispessimento verso l'alto, associate a strati calcilitici a base arenitica, talora microconglomeratica. Sporadiche intercalazioni di intervalli conglomeratici ad assetto caotico. Si segnalano associazioni a Globotruncane. Si segnala anche una associazione a nanofossili riferibile alla zona ad *Aspidalitus parvus*. Spessore: fino a circa 700 m.

**Membro di Rogeno (FBG<sub>1</sub>):** alternanze ritmiche arenaceo-pelitiche con arenarie fini grigio-verdastre in strati fino a 7 cm laminati e peliti marnoso-argillose grigio-nocciola; saltuarie intercalazioni di calcilituti nocciola in straterelli centimetrici, orizzonti di paraconglomerati nella parte sommitale.

**Megastrato di Missaglia (FBG<sub>a</sub>):** megastrato costituito da un conglomerato basale, passante gradualmente a calcarenite-calcisiltite ed infine calcilitute che costituisce gran parte dello spessore; locale presenza, alla sua base, di paraconglomerato a matrice marnoso argillosa. Si intercala nella parte medio-bassa del Flysch di Bergamo. Spessore: fino a 30 m.

*CAMPANIANO*

Figura 1: Stralcio della Carta Geologica d'Italia (CarG) – Fogli Vimercate e Bergamo



- alternanze di arenarie in strati sottili e peliti. Le arenarie sono fini e molto fini e comunemente laminate; le peliti presentano frequentemente al loro interno concrezioni calcaree;
- arenarie medie e grossolane, massive o in strati spessi talora amalgamati con superfici ad andamento irregolare, con intercalati sottili livelli pelitici; costituiscono orizzonti che possono raggiungere i 40/ 50 m di spessore;
- calcari a tessitura fine, da giallastri a biancastri, in strati piano-paralleli da sottili a spessi a base calcarenitica talora microconglomeratica.

Si intercalano sporadicamente intervalli conglomeratici ad assetto caotico e soprattutto megastrati carbonatici tra cui il megastrato di Missaglia (**FBGa**) che ha ottenuto un riconoscimento formale.

Nell'area è presente un affioramento roccioso riconducibile alla facies arenacea dell'unità. Gli strati rocciosi immergono verso sud sud-ovest con inclinazioni dell'ordine di 30 gradi (*Foto 1*).

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, gli interventi antropici hanno fortemente alterato l'idrologia locale, si può comunque ritenere che l'infiltrazione potenziale di acqua nel terreno sia da ridotta a nulla in quanto il substrato roccioso è costituito da rocce ad alta componente argillitica e le coperture sono essenzialmente limoso/argillose.

I dati relativi alle classificazioni di seguito elencate fanno riferimento alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano del Governo del Territorio del Comune di Bergamo:

- Scenario di Pericolosità Sismica Locale: Z4b;
- Fattibilità Geologica: Classe 3b.

La fattibilità geologica assegnata all'area è espressione di criticità legate all'acclività del pendio e alla necessità di prevedere una analisi di stabilità del complesso operapendio qualora l'inserimento di una nuova struttura alteri la geometria e gli equilibri del sistema.

Nel caso specifico non si tratta di interventi che comportano un aumento del carico insediativo, ma di opere di consolidamento.



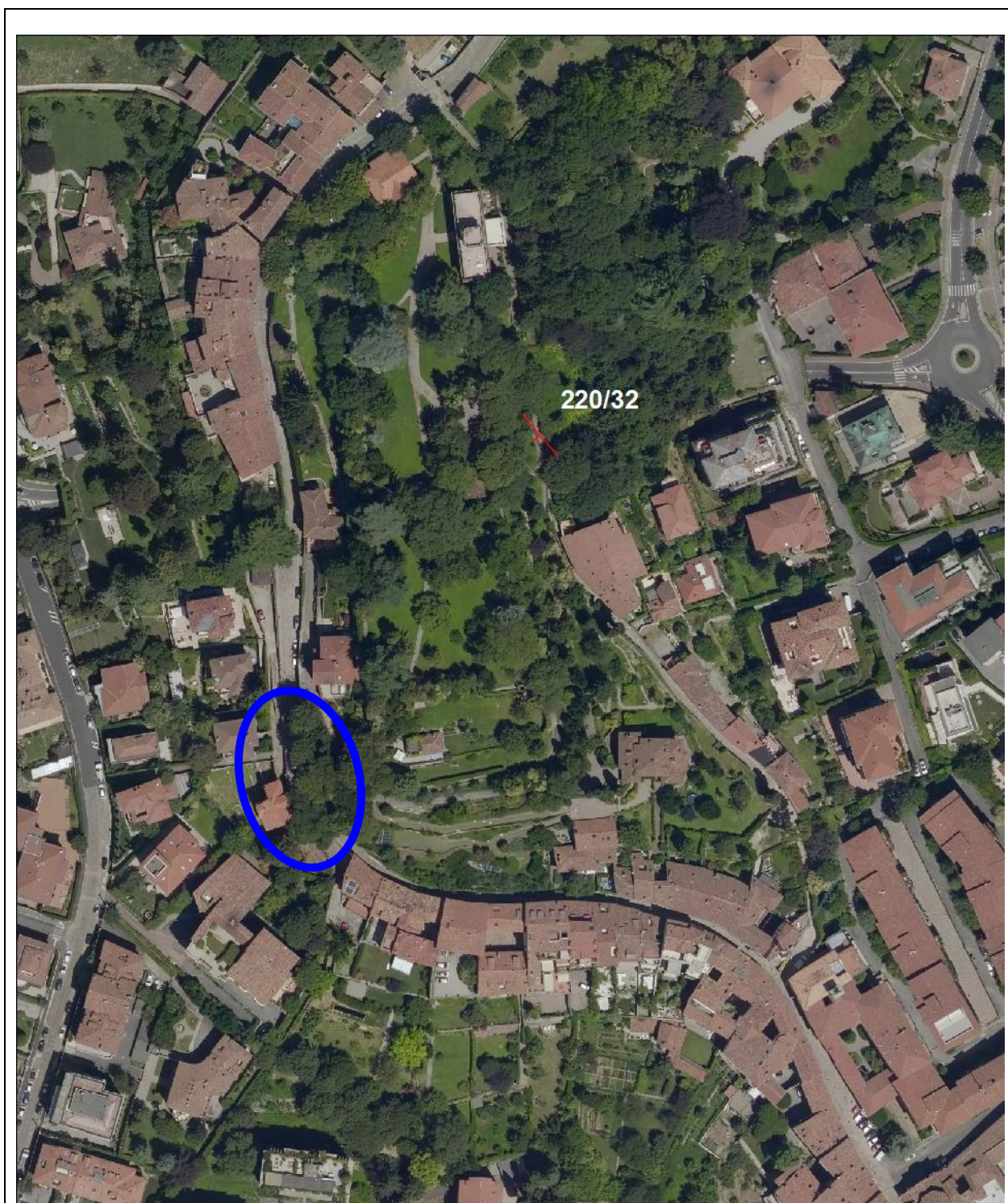
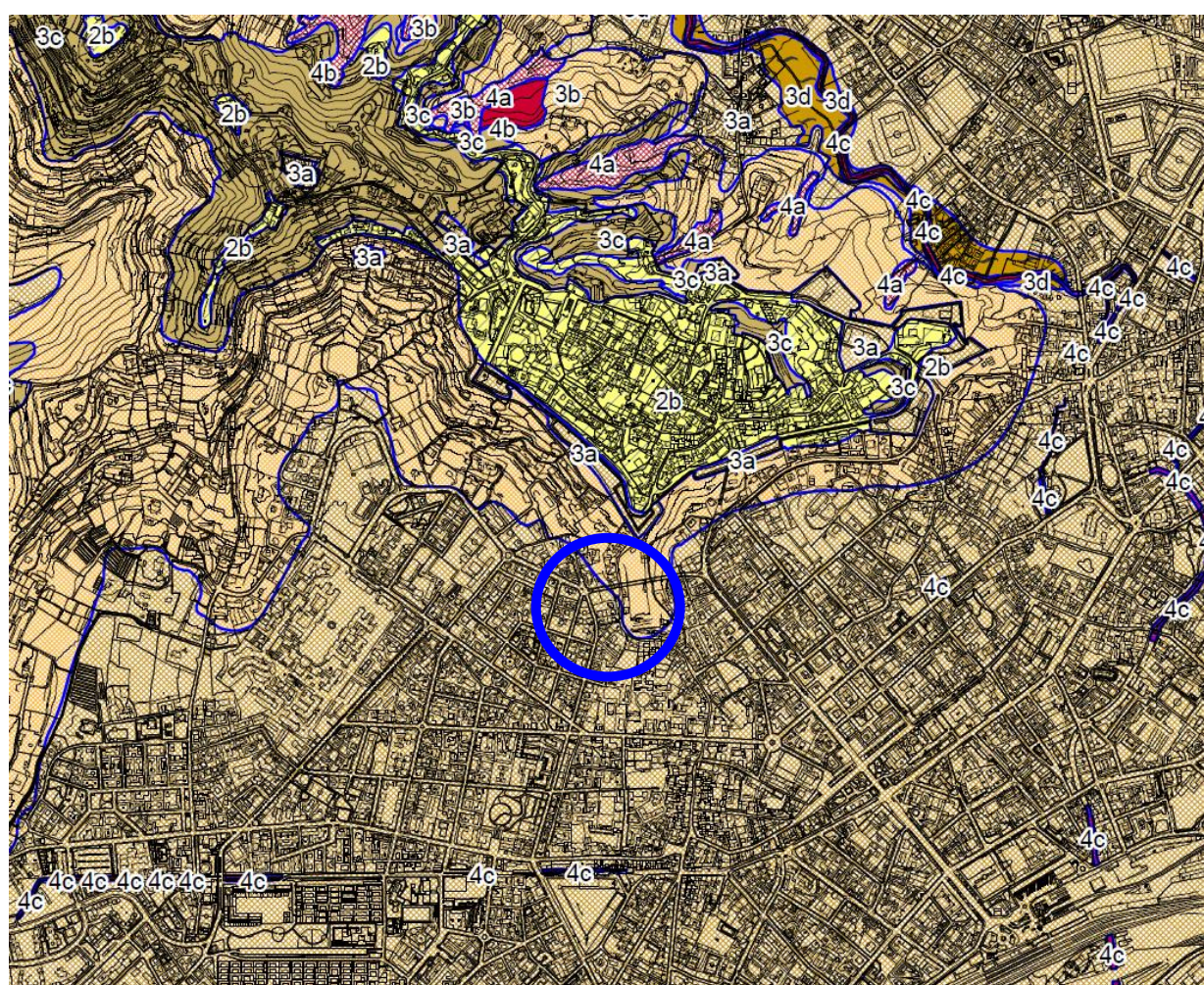


Foto 1: Affioramento di strati arenacei del Flysch di Bergamo e giacitura





### Legenda

	2a - Area con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono da accertare le proprietà geomeccaniche ed idrogeologiche del sottosuolo.		3c - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alla pendenza della superficie topografica. Si dovranno accertare le caratteristiche dell'ammasso roccioso subaffiorante, la presenza e la natura di una eventuale copertura detritica superficiale e la capacità drenante del primo sottosuolo al fine di procedere ad un'analisi del complesso pendio-opera.
	2b - Area con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono da accertare le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso, l'eventuale presenza e litologia dei depositi superficiali.		3d - Area a rischio di esondazione e ristagno delle acque superficiali. Oltre alle prescrizioni della sottoclasse 3a, qualsiasi richiesta di concessione edilizia dovrà comprendere una valutazione del rischio effettivo di alluvionamento/allagamento.
	3a - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali ed orizzontali (comprese le zone con materiale di riporto). Sono da accertare le caratteristiche geomeccaniche ed idrogeologiche del sottosuolo. In caso di possibile ristagno di acqua superficiale si dovrà effettuare un'analisi geomorfologica in un intorno significativo all'area di progetto.		3X - Area a rischio di esondazione e ristagno individuata nel PGRA per il reticolo secondario di pianura di competenza consortile. Oltre alle prescrizioni della sottoclasse 3a, qualsiasi richiesta di concessione edilizia dovrà comprendere una
	3b - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo ed all'attività dei pendii. Sono da accertare le caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche del terreno al fine di procedere ad una analisi di stabilità del complesso pendio-opera.		4a - Area di pertinenza torrentizia a forte rischio idrogeologico. Le problematiche sono connesse all'erosione accelerata lungo le aste torrentizie ed al pericolo di innesco di scivolamenti e franamenti lungo i versanti.
	3c - Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alla pendenza della superficie topografica. Si dovranno accertare le caratteristiche dell'ammasso roccioso subaffiorante, la presenza e la natura di una eventuale copertura detritica superficiale e la capacità drenante del primo sottosuolo al fine di procedere ad un'analisi del complesso pendio-opera.		4b - Area potenzialmente soggetta a crollo, transito ed accumulo di massi.
			4c - Area adiacente ai corsi d'acqua principali, da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di opere di difesa.

Figura 2: Stralcio della Carta della Fattibilità Geologica (Studio Associato EUROGEO, 2017)





### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROSPEZIONI GEOFISICHE

Il piano di indagine è stato articolato in 6 prove penetrometriche dinamiche continue e due sondaggi geognostici a carotaggio continuo (*Figura 3*).

Durante la perforazione sono state effettuate prove penetrometriche (S.P.T.) e prelevati campioni di terreno.

#### 3.1. Prove penetrometriche dinamiche continue (S.C.P.T.)

La prova penetrometrica permette di rilevare la resistenza alla penetrazione nel terreno di una punta d'acciaio energizzata dalla caduta di una massa. La strumentazione e le procedure seguono standard definiti proprie di ciascuna tipologia di penetrometro.

Le prove sono state realizzate con un penetrometro dinamico, superpesante, con maglio da 73 kg seguendo la metodologia AGI (Associazione Geotecnica Italiana) con rilevazione del numero di colpi per avanzamenti unitari delle aste di 30 cm.

Il risultato di ciascuna prova è rappresentato da un diagramma nel quale sono correlati il numero di colpi, rilevati per avanzamenti unitari e la profondità d'indagine e costituisce l'elaborato base dal quale sono estrapolate le proprietà fisiche del terreno attraversato.

Nelle tabelle allegate ai profili penetrometrici sono riportati (Allegato 1), accanto ai colpi rilevati in situ, i valori di resistenza dinamica per ogni tratto di avanzamento (rd), ottenuti applicando la formula degli Olandesi:

$$Rd = \frac{M^2 \cdot h}{A \cdot e(M + nP)}$$

dove:

**M** è il peso del maglio = 73 Kg;

**h** è l'altezza di caduta di M = 75 cm;

**A** è la sezione della punta conica = 20.43 cmq;

**e** è, con N corrispondente, il n. dei colpi per ogni approfondimento di 30 cm = 30/N;

**P** è il peso delle aste = 6,31 Kg/m;

**n** è il numero delle aste infisse.

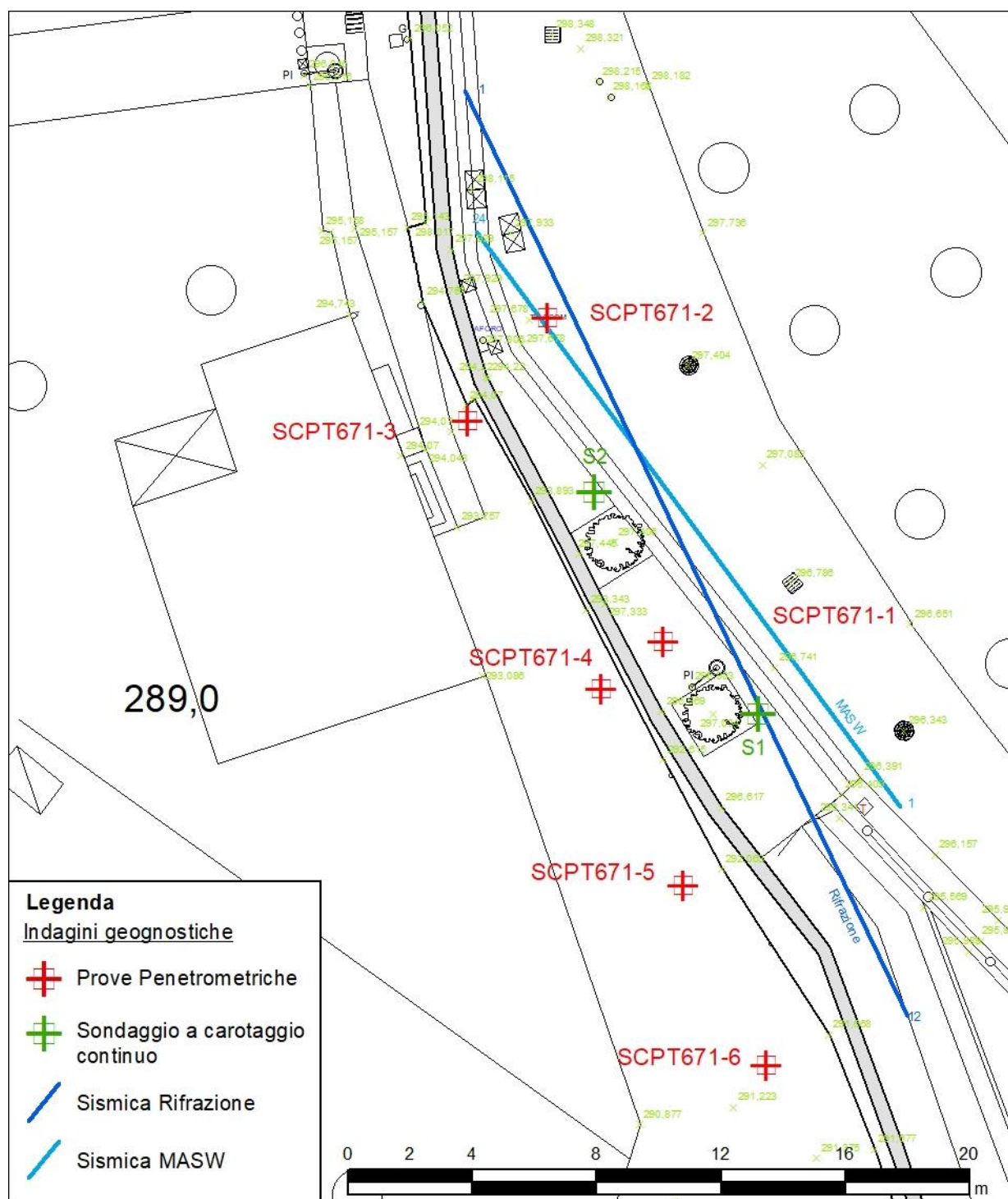


Figura 3: Ubicazione delle indagini geognostiche e delle prospezioni geofisiche



### **3.2. Sondaggi a carotaggio continuo**

Sono stati realizzati due sondaggi a carotaggio continuo profondi 12 metri cadauno.

#### **Attrezzatura utilizzata**

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda cingolata GEOMARC GM600.

La perforazione è stata effettuata a rotazione con l'impiego di un carotiere semplice avente diametro esterno di 101 mm e lunghezza di 3000 mm, equipaggiato con una corona a prismi in Widia serie H 1. Sono state utilizzate aste di perforazione con manicotto conico e diametro esterno 76 mm e lunghezza di 1500 mm.

#### **Metodologie di lavoro seguite**

Il sondaggio è stato realizzato utilizzando il sistema tradizionale ad aste ed avanzando a carotaggio continuo.

Ogni manovra di carotaggio è stata eseguita avanzando a secco o con acqua, cercando di mantenere costanti i parametri di perforazione in maniera da ridurre il disturbo meccanico dei terreni.

Le carote di terreno campionate nel corso della perforazione sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in legno, munite di scomparti della lunghezza di 1 m e coperchio. Ogni singola cassetta catalogatrice contenente 5 metri di terreno è stata descritta separatamente (Allegato 2).

#### **Criteri adottati nella descrizione stratigrafica**

I terreni presenti negli strati identificati sono stati descritti specificando nell'ordine:

- il materiale predominante;
- i materiali subordinati, aventi caratteristiche differenti (granulometria, natura o colore) rispetto a quelle del materiale predominante.



Foto 2: S1



Foto 3: S1



Foto 4: S2



Foto 5: S2

Nel materiale predominante sono stati descritti: natura del terreno, struttura se riconoscibile, alterazione, ossidazione ed eventuali presenze di strutture subordinate.

La natura del terreno è stata descritta con riferimento alle dimensioni dei granuli costituenti e alla percentuale dei materiali presenti, determinati visivamente, secondo lo schema e le definizioni delle raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana 1977), utilizzando i termini: fine, media, grossolana, medio fine, medio grossolana ed eterometrica.



## **Modalità di compilazione della stratigrafia**

La stratigrafia è presentata sotto forma di certificato così organizzato: nella parte superiore sono riportate le informazioni di riferimento del sondaggio e i dati caratteristici e relativi all'attività di cantiere. Sono indicate le profondità da piano campagna, la litologia ed in altre due colonne sono riportate le profondità con riferimento alla quota di boccaforo, la rappresentazione grafica dei terreni campionati con la descrizione stratigrafica (Allegato 2).

## **Stratigrafia**

Nella stratigrafia dei sondaggi si riconoscono:

- da piano campagna fino alla profondità di 2/3 metri, limo sabbioso sciolto di colore grigio marrone con inclusi lateritici e altro materiale di riporto;
- da 2/3 m fino a 5/6 metri, limi sabbiosi/sabbie limose di colore marrone ocraceo ghiaiose. Clasti di derivazione arenacea da poco a molto alterati, da subangolari a subarrotondati (eluvio);
- da 5/6 metri fino 7,5/9 metri, limo con ghiaia sabbioso argilloso, addensato. Il livello è attribuito alla fascia regolitica posta immediatamente a tetto dell'alternanza di peliti e arenarie da fini a medie, che contraddistingue gli ultimi metri di perforazione.

Da 7,5/9 metri a 12/12,5 metri, la percentuale di recupero del materiale è risultata assai scarsa (RQD 20%) a causa del dilavamento dei livelli pelitici con l'acqua di perforazione. Gli strati arenacei, al contrario, sono apparsi ben cementati.

Le prove SPT realizzate alle profondità di 6/9 metri nel sondaggio S1, 6 metri nel sondaggio S2, hanno trovato "rifiuto", ovvero si sono arrestate per l'eccessiva resistenza del materiale.

Durante la perforazione non è stato intercettato alcun livello acquifero.





### 3.3. Prove geotecniche di laboratorio

Durante l'avanzamento della perforazione sono stati prelevati campioni di terreno rimaneggiati per le determinazioni di seguito elencate: massa volumica, limiti di Atterberg, analisi granulometrica e prova di taglio diretto.

Nella tabella seguente sono riepilogate le analisi di laboratorio ed i campioni analizzati. I certificati di prova sono allegati (Allegato 3).

**TABELLA 1: PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO**

CAMPIONE	S1GR1	S1GR2	S2GR2
TIPO	rimaneggiato	rimaneggiato	rimaneggiato
PROFONDITA' (m)	4,5-5,0	8,10-8,60	6,50-6,70
DENOMINAZIONE	limo con sabbia ghiaioso debolmente argilloso	limo con ghiaia sabbioso debolmente argilloso	limo con ghiaia sabbioso argilloso
ATTRIBUZIONE	eluvio	regolite	regolite
PESO DI VOLUME (t/mc)	- -	- -	1,88
LIMITI DI ATTERBERG	Sì	Sì	Sì
TAGLIO DIRETTO	- -	- -	$\phi'$ 24° c' 12,2 KPa

### 3.4. Prospezione geofisica con il metodo della sismica a rifrazione

Ad integrazione del piano di indagine geognostico è stata ricavato il modello geofisico del sottosuolo mediante la tecnica della sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (P). Con tale metodologia è possibile ricavare la stratigrafia del terreno lungo sezioni 2D ed estendere l'interpretazione stratigrafia a profondità maggiori rispetto a quanto ottenuto con le prove penetrometriche.

#### 3.4.1. Sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (P)

La sismica a rifrazione consente di definire gli spessori dei litotipi presenti rilevando le differenti velocità di trasmissione di onde longitudinali generate artificialmente.



Data una sorgente di onde elastiche, lungo uno stendimento di geofoni (sensori) giungeranno in superficie onde dirette, onde riflesse ed onde birifratte. Le onde analizzate sono quelle birifratte. Sono le onde che raggiungono la superficie di separazione con un angolo di incidenza critico e si propagano parallelamente alla superficie rifrangente venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

I contrasti di proprietà tra due sismostrati possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. La profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di geofoni.

## **Acquisizione onde P**

L'acquisizione è stata realizzata mediante un allineamento sismico orientato nord nord-ovest/sud sud-est (*Figura 3*).

Sono stati posizionati 12 geofoni ad una distanza di 3 metri l'uno dall'altro per una lunghezza di 33 metri (la lunghezza di ogni profilo si misura tra i due shots estremi, adiacenti alla base sismica, escludendo quindi gli shots esterni ad essa).

L'energizzazione del terreno (shots) è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 8 Kg fatta collidere col suolo. Per avere un dettaglio ed una risoluzione quanto più possibile elevati, sono stati acquisiti i dati relativi a 7 shots regolarmente distribuiti lungo lo stendimento a partire dalle due estremità. Ad ognuno di questi punti di battuta corrisponde una dromocrona, ossia una curva tragitto-tempo.

Il sismografo utilizzato per l'acquisizione dei dati in campagna è il modello ECHO 24/2002 prodotto dalla ditta *Ambrogeo S.r.l.*

L'interpretazione dei dati è stata effettuata con il metodo tomografico che, tramite l'utilizzo di algoritmi tomografici complessi implementati all'interno del software utilizzato (Plotrefa della OYO Corporation), fornisce un modello 2D del sottosuolo nel quale le varie velocità di propagazione delle onde sismiche generate sono rappresentate tramite variazioni cromatiche (*Figura 4*).



### 3.4.2. Stratigrafia sismica

Tramite amplificazione ed equalizzazione delle tracce del sismogramma acquisito in campagna è stato estratto il sismogramma utilizzato per l'elaborazione del modello interpretativo.

La sezione geofisica interpretativa ottenuta scegliendo un modello a tre strati ha individuato, dall'alto verso il basso:

- un sismostrato caratterizzato da valori medi di  $V_p$  compresi tra 600 e 700 m/sec che forma una sorta di “sacca” nella parte centrale dello stendimento, di tonalità rosso gialla, che può essere accostato al materiale di riporto/eluvio;
- un secondo sismostrato caratterizzato da velocità comprese tra 700 e 750 m/sec, di tonalità giallo/verde chiaro, entro il quale hanno trovato “rifiuto” le prove penetrometriche (regolite);
- un terzo sismostrato che risale ai lati dello stendimento e caratterizzato da  $V_p$  maggiori di 750 m/sec, di colore verde scuro, rappresentato da litologie più compatte.

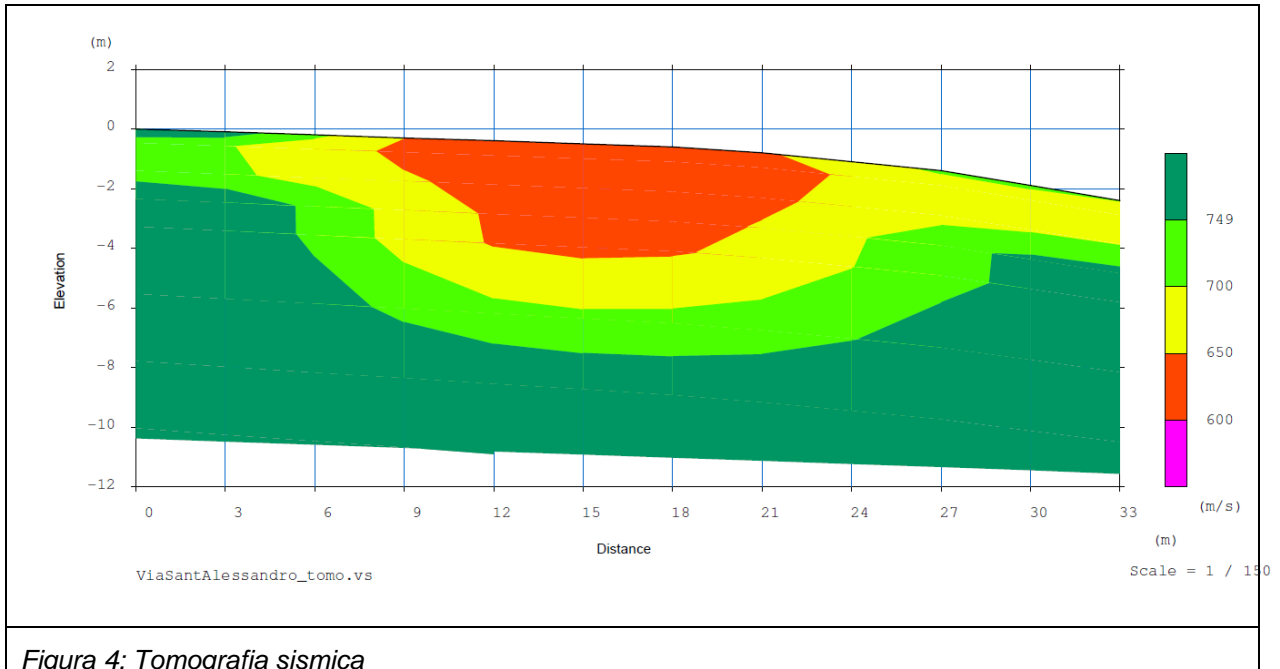


Figura 4: Tomografia sismica



### 3.5. Stratigrafia geotecnica

Le prove penetrometriche realizzate da piano strada, prove 1 e 2, si sono arrestate ad una profondità di 6/7 metri, mentre le prove realizzate alla base del muro di sostegno non sono andate oltre la profondità di 4 metri (prova 3).

Nel complesso i diagrammi colpi profondità sono risultati correlabili tra loro e con la stratigrafia sismica. Il risultato di tale correlazione è rappresentato dalla sezione litostratigrafica allegata (*Figura 5*).

La stratigrafia del primo sottosuolo può essere così schematizzata:

1. dal piano strada fino ad una profondità di c.ca 3 metri troviamo materiale di riporto di natura limoso sabbiosa, sciolto/poco addensato;
2. da 3 metri fino a 5,0/6,0 metri, limo con sabbia ghiaiosa debolmente argilloso moderatamente addensato di natura eluviale;
3. da 5,0/6,0 metri fino a 7,5/9 metri di profondità, c.ca, troviamo limo con ghiaia sabbioso argilloso/deb. argilloso, addensato. Il livello è attribuito alla fascia regolitica posta immediatamente a tetto dell'alternanza di peliti e arenarie da fini a medie che contraddistingue gli ultimi metri di perforazione (fino a 12/12,5 metri).

I livelli rappresentati sono stati caratterizzati dal punto di vista geomeccanico attraverso le prove di laboratorio e le correlazioni empiriche disponibili in letteratura.

**TABELLA 2: PARAMETRI GEOTECNICI**

	natura	$\gamma^*$ t/mc	$\phi$ °	C'/Cu kg/cmq	E'/Ed kg/cmq	Ks Kg/mc	profondità m
LIVELLO 1	granulare	1,73	21,7	0,00	40	0,20	vedi sezione
LIVELLO 2	granulare	1,88	27,2	0,12	120	0,80	vedi sezione
LIVELLO 3	regolite	2,1	30	0,50	500	2,50	vedi sezione

dove:

$\gamma^*$  = peso di volume naturale (terr. granulare Terzaghi-Peck 1948-1967), saturo (terr. coesivo);

$\phi$  = angolo di attrito interno da Shioi-Kukuni (1982);

C'/Cu = coesione drenata (terr. granulare), coesione non drenata (terr. coesivo);

E'/Ed = modulo di elasticità drenato (terr. granulare), modulo edometrico (terr. coesivo) Bowles;

Ks = coefficiente di sottofondo per una fondazione larga (B) 2 metri (Vesic).

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico si è optato per una stima ragionata e cautelativa del valore ottenuto dall'indagine.

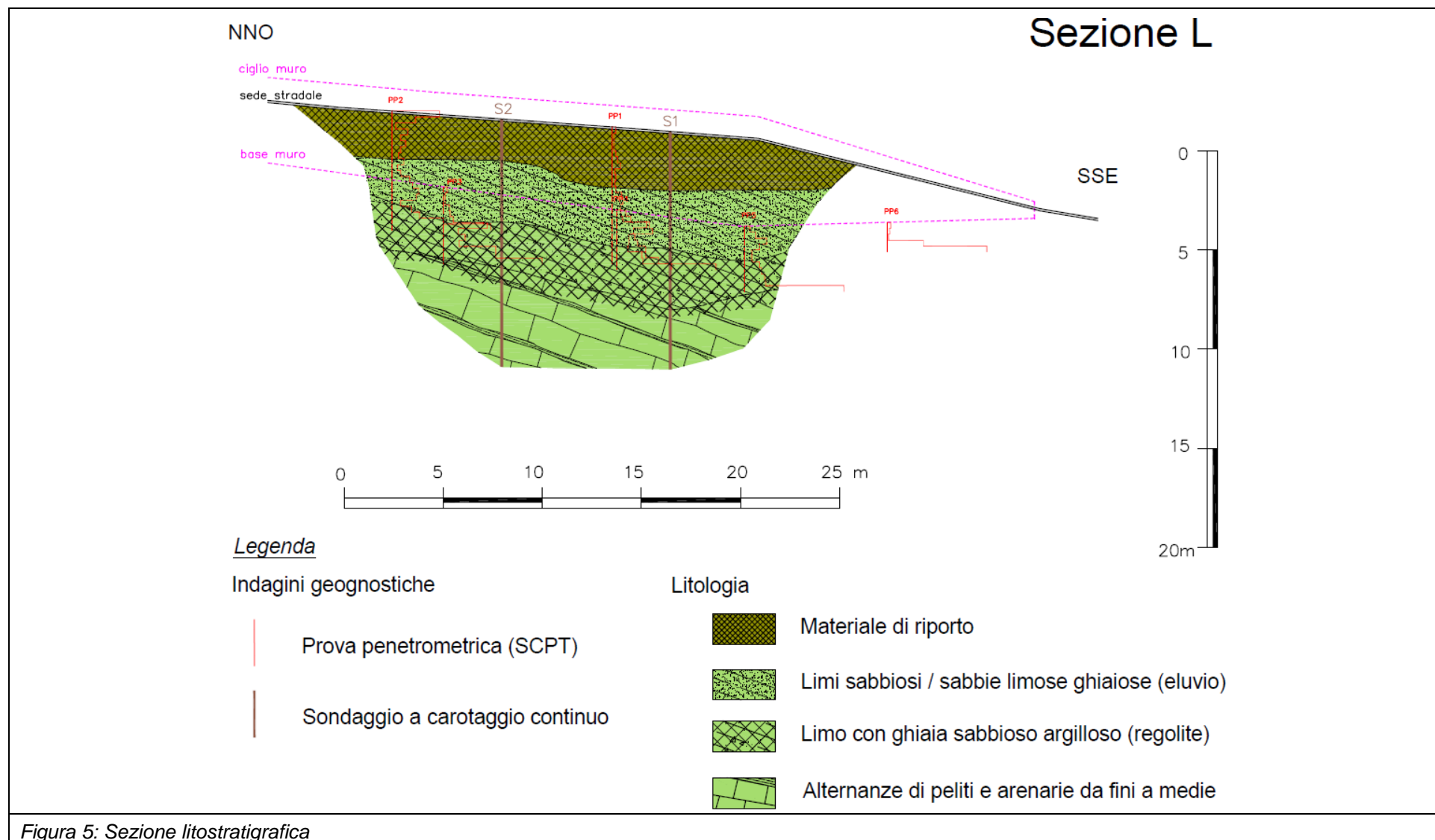


Figura 5: Sezione litostratigrafica





## 4. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni nel 2008, il territorio Italiano è stato suddiviso in aree omogenee da un punto di vista del rischio sismico. Il criterio adottato per tale suddivisione non è più legato a rigidi confini amministrativi come accadeva in passato, ma alla presenza di aree sismogenetiche attive.

Sono stati così individuati 10751 nodi di riferimento. Ad ogni nodo è associato un valore di accelerazione massima attesa al suolo per un determinato periodo di ritorno. Dalla posizione relativa del sito in esame rispetto ai nodi di riferimento si risale alla accelerazione massima attesa per il sito stesso effettuando una media pesata dei valori di  $a_g$  di ciascun nodo.

### 4.1. Vita Nominale e classi d'uso

Per la determinazione di tali parametri sismici è necessario stabilire la vita nominale dell'opera e la sua classe d'uso.

**TABELLA 3: VITA NOMINALE**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale VN (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

**TABELLA 4: CLASSI D'USO**

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.



La Vita di Riferimento della costruzione è:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

**TABELLA 5: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

**TABELLA 6: VITA DI RIFERIMENTO PER LE OPERE IN PROGETTO**

TIPO DI COSTRUZIONE	Vita di Riferimento VR (in anni)
Muro/opera di sostegno	50

Utilizzando il software degli spettri di risposta reso disponibile dal CSLLPP si ottengono valori di  $a_g$ , per un suolo di tipo A in condizioni di terreno libero e per i diversi stati limite considerati (Tabella 6).

**TABELLA 7: PARAMETRI SISMICI**

		$P_{VR}$ [adm]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g/10]	$F_0$ [adm]	$T_C^*$ [s]
SLE	SLO	81%	30	0,29	2,439	0,198
	SLD	63%	50	0,38	2,480	0,214
SLU	SLV	10%	475	1,09	2,418	0,271
	SLC	5%	975	1,43	2,461	0,276

dove :

$P_{VR}$  = periodo di riferimento;

$a_g$  = accelerazione al suolo;

$F_0$  = massimo fattore di amplificazione spettro orizzontale;

$T_C^*$  = periodo inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



## **4.2. Risposta sismica locale**

I valori di  $a_g$  ottenuti devono essere corretti con parametri che tengono conto delle condizioni particolari del sito esaminato, come la tipologia di suolo su cui insiste il fabbricato (suolo tipo A,B,C,D, E) e le condizioni morfologiche (suolo pianeggiante, pendio variamente inclinato, cresta).

Si chiama “risposta sismica locale” l’azione sismica quale emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Per individuare in modo univoco la risposta sismica si assume come “superficie” il “piano di riferimento” per le diverse tipologie strutturali:

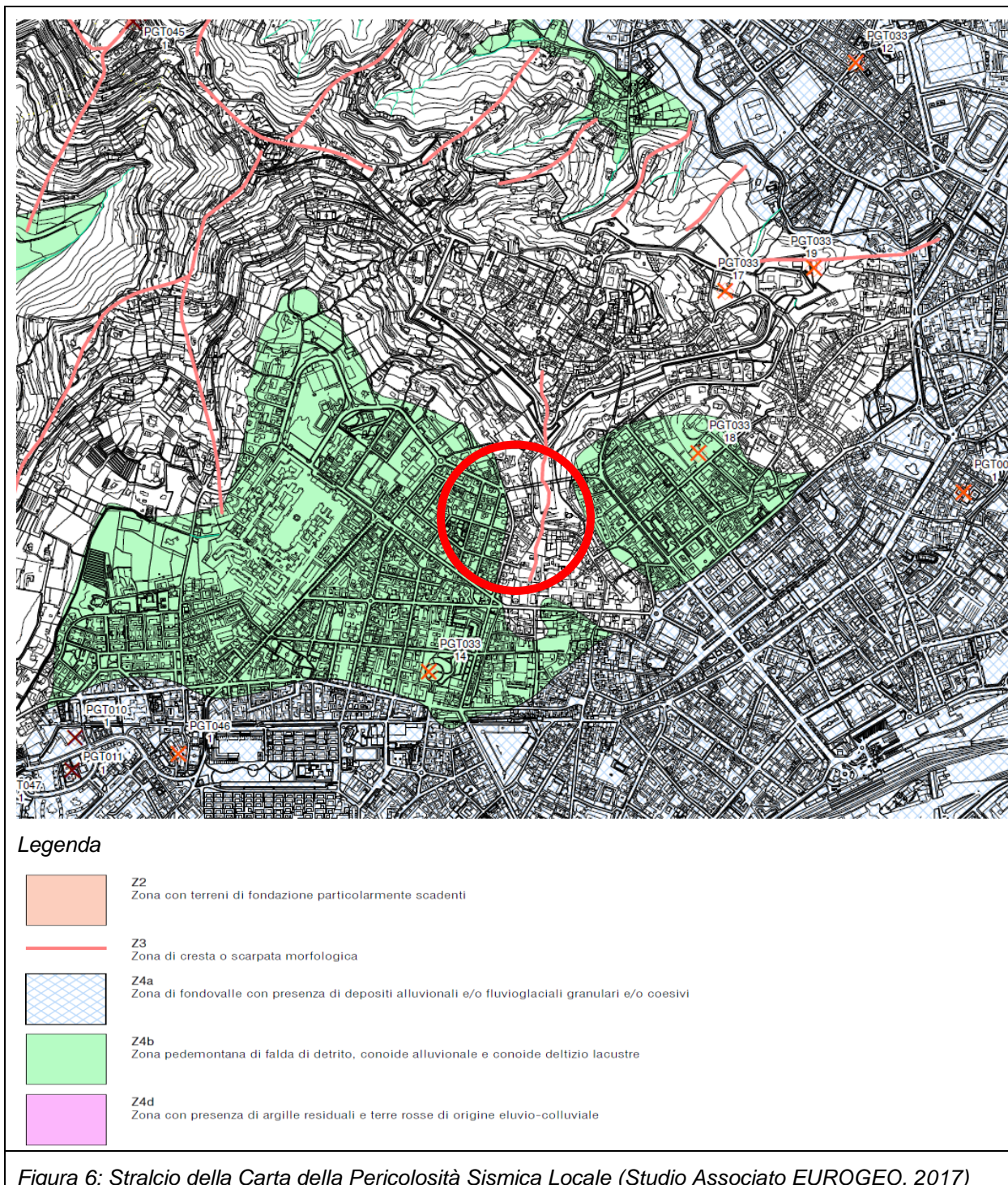
- per fondazioni superficiali questo coincide con il piano di imposta delle stesse;
- per fondazioni su pali e riferita alla testa dei pali;
- nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera;
- per muri di sostegno di terrapieni la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Le modifiche del moto sismico prodotte dalle condizioni locali sono complessivamente indicate come effetti di sito e sono definite negli scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati in fase di pianificazione territoriale (*Studio Associato EUROGEO* 2008/agg. 2017).

### **4.2.1. Effetti litologici**

Il D.M. 17 gennaio 2018, il D.M. 14 gennaio 2008, la normativa tecnica europea (Eurocodici EC 7 e EC 8) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  degli strati di terreno presenti nel sito, fino alla profondità di almeno 30 metri dal piano campagna, secondo quanto richiesto dalle sopracitate normative.



La classificazione del sottosuolo si realizza in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), che, per i depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m equivale alla  $V_{s30}$ .

Sulla base del profilo di velocità equivalente è possibile classificare il sito nelle categorie di tipo A, B, C, D, E come definite nelle NTC18.



#### 4.2.1.1. Indagine geofisica con il metodo delle onde di superficie

Per la ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo è stata eseguita un'indagine sismica superficiale con il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW.

Il metodo MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza dei geofoni posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante è dato dalle onde di Rayleigh che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione.

Il metodo MASW è di tipo attivo poiché le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo tramite mazza battente e misurate da uno stendimento lineare di sensori (geofoni).

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1-D) che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità.

La prospezione sismica è stata interpretata mediante il software SWAN (GeoStudi Aster SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri viene ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella teorica. Una volta trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle  $V_s$  con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.





## Acquisizione ed analisi onde superficiali (Rayleigh)

Il sismografo utilizzato per l'acquisizione dei dati in campagna è il modello ECHO 24/2002 prodotto dalla ditta Ambrogeo S.r.l.. Sono stati utilizzati 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 8 Kg.

L'acquisizione è stata realizzata tramite la stesa di un cavo sismico lungo 23 metri, posizionando i 24 geofoni ad una distanza di un metro l'uno dall'altro.

Durante la fase di acquisizione sono stati impostati diversi shots a diverse distanze dall'estremità dell'allineamento sismico per valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente (Allegato 4).

Sono state quindi calcolate le velocità di taglio ( $V_s$ ) del sottosuolo sintetizzando il modello del terreno in sette unità sismiche (TABELLA 8).

**Tabella 8: STRATIGRAFIA SISMICA – PROVA MASW**

	Thickness	Depth	$V_s$	$V_p$	Poisson	Density
Layer 1	1.43	0.00	244	488	0.333	1.800
Layer 2	2.09	1.43	213	426	0.333	1.800
Layer 3	2.27	3.52	306	612	0.333	1.800
Layer 4	4.29	5.79	400	799	0.333	1.800
Layer 5	1.74	10.08	501	1001	0.333	1.800
Layer 6	7.98	11.82	652	1303	0.333	1.800
Layer 7	INF	19.80	813	1625	0.333	1.800

La  $V_{s,eq}$  è data da:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove:

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s;

$h_i$  = spessore in metri dello strato  $i$ -esimo;

$V_i$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero strati.



#### 4.2.1.2. OPERE DI SOSTEGNO

Nel caso di opere di sostegno la profondità  $H$  del substrato è riferita alla testa dell'opera (= quota strada). La stratigrafia dalla quota della strada individua poco meno di 20 metri di materiale contraddistinto da una  $V_s$  inferiore a 800 m/s. A seguire il substrato compatto con  $V_s$  maggiore di 800 m/s.

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene una  $V_{seq}$  pari a 393 m/s che colloca il sottosuolo nella categoria B.

#### Analisi di secondo livello

La procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione ( $F_a$ ) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia in base alla categoria del sottosuolo (*scenario Z4b*).

Applicando le schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è stato calcolato il Fattore di amplificazione.

**Tabella 9: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE**

Categoria sottosuolo	B		C	
Periodo	0,1 - 0,5	0,5 - 1,5	0,1 - 0,5	0,5 - 1,5
Valore soglia	1,5	1,7	1,9	2,4
<b>Prova MASWI</b>	<b>1,8+0,1</b>	<b>1,2+0,1</b>	<b>1,8+0,1</b>	<b>1,2+0,1</b>



verificato



non verificato

Relativamente alle costruzioni con periodo di oscillazione 0,1s - 0,5s la normativa prevede che possa essere elusa l'applicazione del terzo livello di approfondimento utilizzando in sostituzione dello spettro per la classe sismica B, quello previsto per un suolo di classe C.

**TABELLA 10: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO X OPERE DI SOSTEGNO**

Categoria	Descrizione
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s</i>



#### 4.2.1.3. MURO DI SOSTEGNO

Nel caso di muri di sostegno la profondità  $H$  del substrato è riferita alla quota di imposta delle fondazioni, indicativamente -5,5 metri dal piano strada.

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene una  $V_{seq}$  pari a 504 m/s che colloca il sottosuolo nella categoria B.

#### Analisi di secondo livello

La procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione ( $F_a$ ) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia in base alla categoria del sottosuolo (*scenario Z4b*).

Applicando le schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è stato calcolato il Fattore di amplificazione.

**Tabella 11: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE**

Categoria sottosuolo	B	
Periodo	0,1 - 0,5	0,5 - 1,5
Valore soglia	1,5	1,7
Prova MASW	1,2+0,1	1,1+0,1



verificato



non verificato

Si conferma pertanto l'applicazione dei parametri sismici relativi a un sottosuolo di categoria **B**.

**TABELLA 12: CATEGORIE DI SOTTOSUOLO X MURI DI SOSTEGNO**

Categoria	Descrizione
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.



#### 4.2.2. Effetti morfologici

Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni sono prescritte specifiche analisi di risposta sismica locale nel caso di condizioni topografiche complesse.

Dal punto di vista morfologico l'area è compatibile con lo scenario di Pericolosità Sismica Locale Z3b che individua le zone di cresta.

Sono infatti da considerare creste quei rilievi che presentano un dislivello altimetrico minimo ( $h$ ) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo ( $H$ ), qualora il materiale costituente il rilievo topografico abbia una  $V_s$  maggiore o uguale ad 800 m/s (Figura 7).

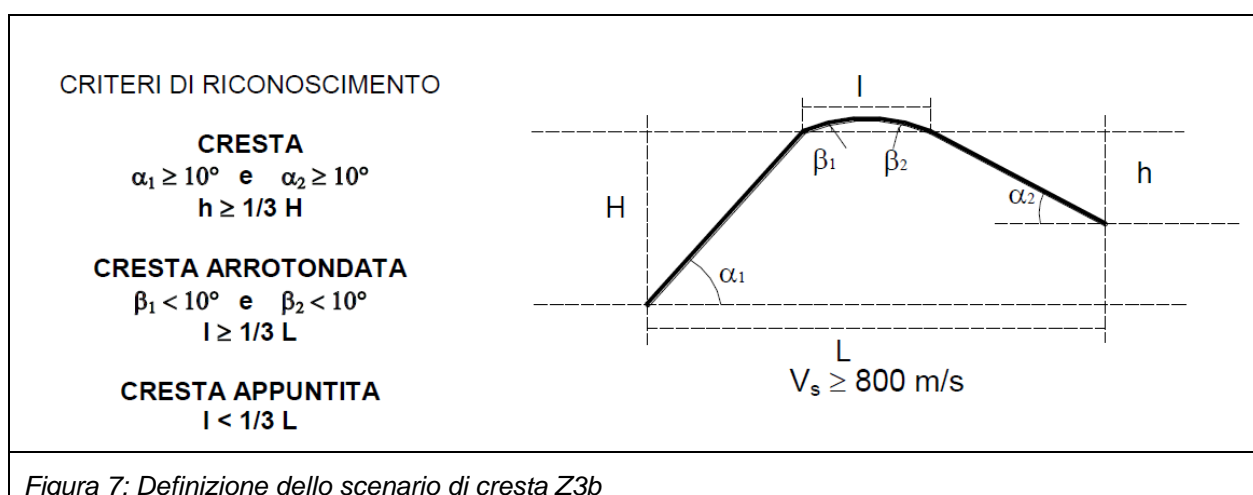


Figura 7: Definizione dello scenario di cresta Z3b

La prova MASW tuttavia ha individuato il substrato compatto ( $V_s \geq 800 \text{ m/sec}$ ) ad una profondità di c.ca 20 metri dal piano strada e pertanto, anche se il rilievo topografico dell'area è compatibile, l'ambito non ricade nello scenario di cresta e si adotta la classificazione semplificata prevista e tabellata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (

**Tabella 13).**

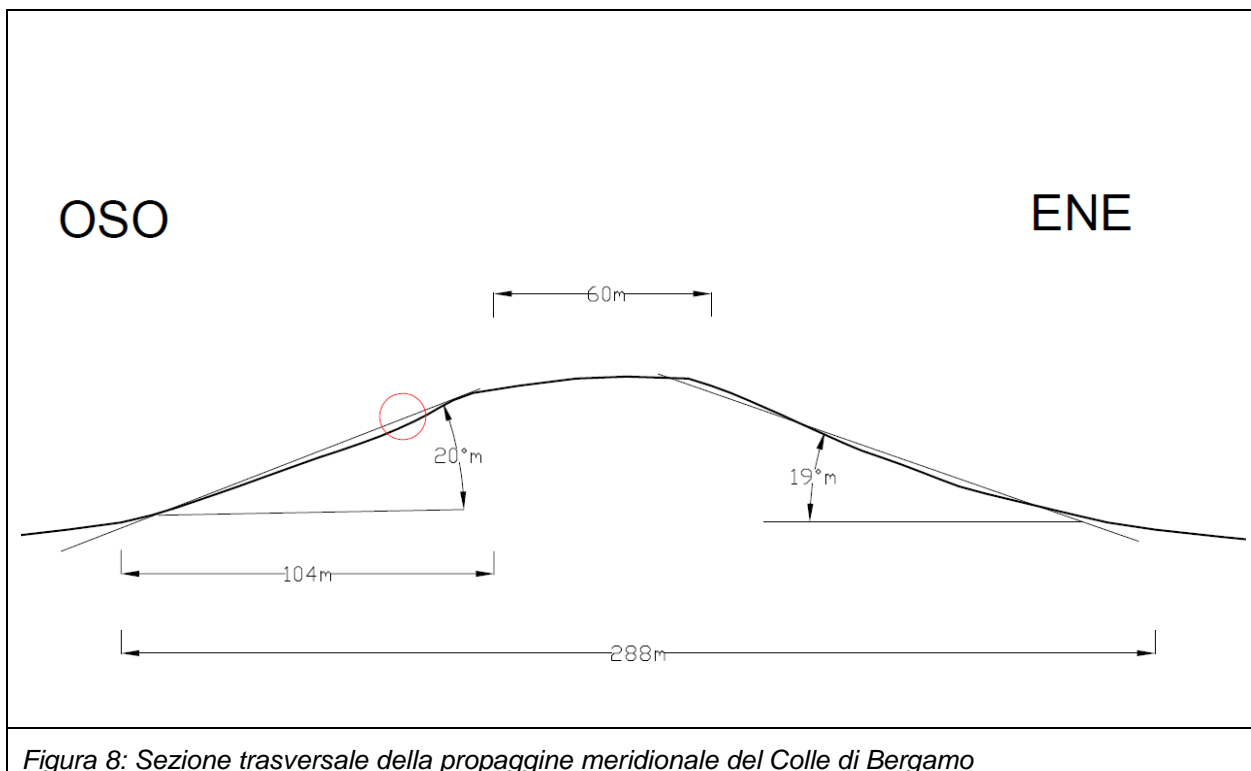


Figura 8: Sezione trasversale della propaggine meridionale del Colle di Bergamo

**Tabella 13: VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	St
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4



## 5. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

### 5.1. Introduzione

Il termine “liquefazione” esprime una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall’aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l’annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

La liquefazione include tre principali fenomeni. Il primo è la “fluidificazione” che avviene quando le tensioni tangenziali richieste per assicurare le condizioni di equilibrio statico sono maggiori della resistenza al taglio del terreno al termine del terremoto. Ne consegue che una volta avviate, le deformazioni prodotte dalla fluidificazione possono proseguire anche dopo il terremoto. Il secondo fenomeno è quello della “mobilità ciclica” che si verifica quando le tensioni di taglio necessarie all’equilibrio statico sono minori della resistenza del terreno al termine del terremoto; in tal caso le deformazioni si sviluppano in maniera incrementale durante il terremoto. Il terzo fenomeno, che rappresenta un caso particolare di mobilità ciclica, è quello della “liquefazione ciclica” che si verifica nelle condizioni di free-field e piano campagna orizzontale.

In linea di principio, l’analisi di suscettibilità alla liquefazione di un dato sito richiede:

1. la valutazione delle caratteristiche dell’evento sismico atteso (fattore scatenante)
2. la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo (fattore predisponente);
3. la stima degli effetti conseguenti alla liquefazione.

Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo argillosa.



Sulla base di un'analisi della sismicità del sito e delle caratteristiche geotecniche del deposito, si può ritenere che la probabilità che si verifichi la liquefazione sia estremamente bassa o nulla nel caso in cui si manifesti almeno una delle seguenti condizioni (art. 7.11.3.4.2 N.T.C. 2018):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  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 di instabilità (differenti grafici in funzione del coefficiente di uniformità  $U_c$ ).

## **5.2. Esclusione dalla verifica**

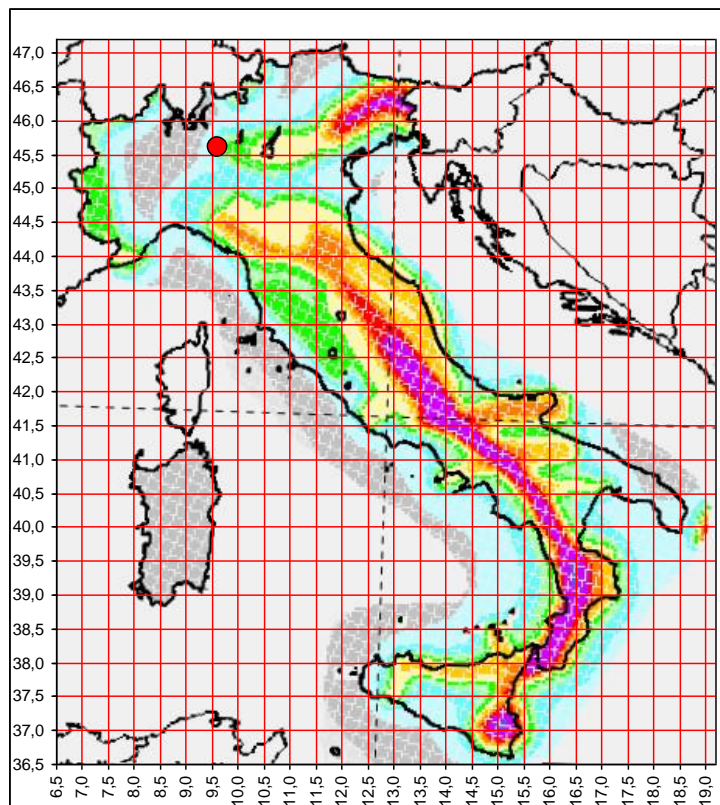
Il contesto litologico/geomorfologico e l'assenza di una circolazione idrica sotterranea di una qualche rilevanza consentono, con ragionevole certezza, di escludere l'ambito in oggetto dal pericolo di liquefazione.



## 6. PARAMETRI SISMICI

Sono riepilogati i dati di pericolosità sismica del sito.

**Tabella 14: INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**



Coordinate geografiche della località in esame (ED50)			
Località	LON [°]	LAT [°]	Zona sismica 3
Bergamo Via Sant'Alessandro	9,66292	45,69914	PSL: Z4b

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
Sito 1 ID: 11379	Lat: 45,6734	Lon: 9,6309	Distanza: 3787,800	
Sito 2 ID: 11380	Lat: 45,6757	Lon: 9,7023	Distanza: 4015,201	
Sito 3 ID: 11158	Lat: 45,7256	Lon: 9,6991	Distanza: 4072,140	
Sito 4 ID: 11157	Lat: 45,7234	Lon: 9,6277	Distanza: 3843,073	

Classe d'uso e condizioni topografiche					
Classe	C <sub>U</sub> [adm]	V <sub>R</sub> [anni]	Categoria sottosuolo	Cond. topograf.	S <sub>T</sub> [adm]
II	1,0	50	C/B	T2	1,2





## 7. CONSIDERAZIONI FINALI E RACCOMANDAZIONI

Su incarico del Comune di Bergamo è stato redatto il presente studio geologico a supporto dei lavori di consolidamento/rifacimento del muro di sostegno di via Sant'Alessandro tra i civici 130 e 134.

L'indagine ha permesso di definire le caratteristiche dei terreni mediante la caratterizzazione geologica e meccanica dei materiali.

I dati relativi alle classificazioni di seguito elencate fanno riferimento allo Studio Geologico Idrogeologico e Sismico del Piano del Governo del Territorio del Comune di Bergamo.

Pericolosità Sismica Locale: **Z4b**.

Fattibilità Geologica: **3b**.

Al fine di definire le caratteristiche stratigrafiche e meccaniche del sottosuolo il piano di indagini geognostiche è stato articolato in 6 prove penetrometriche dinamiche continue (S.C.P.T.), due sondaggi geognostici a carotaggio continuo profondi 12 metri, uno stendimento di sismica a rifrazione e una prova MASW.

La prova MASW e l'analisi di secondo livello hanno permesso di attribuire il sottosuolo alle seguenti categorie, C per opere di sostegno (paratia di micropali), B per i muri di sostegno.

Entro l'intervallo esplorato le indagini hanno rilevato la presenza di un orizzonte di materiale di riporto di natura limoso sabbiosa, sciolto, appoggiato su eluvio moderatamente addensato e su alternanze di peliti e arenarie del Flysch di Bergamo da alterate/disgregate a compatte.

Durante i lavori non ci sono state evidenze di una eventuale circolazione idrica sotterranea.

Per le successive verifiche di stabilità del sistema struttura-fondazione previste dalla vigente normativa, (per le quali è necessario conoscere gli effettivi valori dei carichi previsti, le dimensioni esecutive delle strutture e le sollecitazioni effettivamente trasmesse dalla struttura al terreno), ci si dovrà avvalere dei parametri geotecnici tabellati.

Dott. Geol. Massimo Elitropi



Dott. Geol. Renato Calderelli



## **ALLEGATI**

**PROVE PENETROMETRICHE  
DINAMICHE CONTINUE (S.C.P.T.)**

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO : TG 63-100 M-A.C

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

## CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 M-A.C

PESO MASSA BATTENTE	M = 73.00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0.75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 0.63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51.00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20.43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 0.90 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 6.31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0.30 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0.30$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 8.93 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1.141$ ( teoricamente : Nspt = $\beta_t$ N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  
1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	4	32.9	----	1	3.60 - 3.90	11	70.3	----	5
0.30 - 0.60	2	15.3	----	2	3.90 - 4.20	9	54.5	----	6
0.60 - 0.90	2	15.3	----	2	4.20 - 4.50	14	84.8	----	6
0.90 - 1.20	2	15.3	----	2	4.50 - 4.80	33	199.8	----	6
1.20 - 1.50	4	28.8	----	3	4.80 - 5.10	36	207.0	----	7
1.50 - 1.80	6	43.2	----	3	5.10 - 5.40	18	103.5	----	7
1.80 - 2.10	9	64.7	----	3	5.40 - 5.70	21	120.8	----	7
2.10 - 2.40	3	20.3	----	4	5.70 - 6.00	29	158.8	----	8
2.40 - 2.70	4	27.1	----	4	6.00 - 6.30	25	136.9	----	8
2.70 - 3.00	3	20.3	----	4	6.30 - 6.60	26	142.4	----	8
3.00 - 3.30	4	25.6	----	5	6.60 - 6.90	100	522.8	----	9
3.30 - 3.60	10	63.9	----	5					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	48	394.7	----	1	3.00 - 3.30	9	57.5	----	5
0.30 - 0.60	24	184.1	----	2	3.30 - 3.60	18	115.0	----	5
0.60 - 0.90	4	30.7	----	2	3.60 - 3.90	21	134.2	----	5
0.90 - 1.20	16	122.8	----	2	3.90 - 4.20	27	163.5	----	6
1.20 - 1.50	9	64.7	----	3	4.20 - 4.50	25	151.4	----	6
1.50 - 1.80	14	100.7	----	3	4.50 - 4.80	9	54.5	----	6
1.80 - 2.10	9	64.7	----	3	4.80 - 5.10	20	115.0	----	7
2.10 - 2.40	7	47.4	----	4	5.10 - 5.40	28	161.0	----	7
2.40 - 2.70	12	81.2	----	4	5.40 - 5.70	52	299.1	----	7
2.70 - 3.00	6	40.6	----	4	5.70 - 6.00	100	547.7	----	8

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	4	32.9	----	1	2.10 - 2.40	15	101.5	----	4
0.30 - 0.60	2	15.3	----	2	2.40 - 2.70	22	148.9	----	4
0.60 - 0.90	2	15.3	----	2	2.70 - 3.00	16	108.3	----	4
0.90 - 1.20	6	46.0	----	2	3.00 - 3.30	53	338.8	----	5
1.20 - 1.50	7	50.3	----	3	3.30 - 3.60	53	338.8	----	5
1.50 - 1.80	10	71.9	----	3	3.60 - 3.90	100	639.2	----	5
1.80 - 2.10	44	316.5	----	3					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

**DIN 4**

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	4	32.9	----	1	1.50 - 1.80	12	86.3	----	3
0.30 - 0.60	6	46.0	----	2	1.80 - 2.10	11	79.1	----	3
0.60 - 0.90	30	230.2	----	2	2.10 - 2.40	29	196.3	----	4
0.90 - 1.20	17	130.4	----	2	2.40 - 2.70	42	284.3	----	4
1.20 - 1.50	12	86.3	----	3	2.70 - 3.00	55	372.3	----	4

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 5

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	5	41.1	----	1	1.80 - 2.10	15	107.9	----	3
0.30 - 0.60	11	84.4	----	2	2.10 - 2.40	17	115.1	----	4
0.60 - 0.90	22	168.8	----	2	2.40 - 2.70	20	135.4	----	4
0.90 - 1.20	15	115.1	----	2	2.70 - 3.00	21	142.1	----	4
1.20 - 1.50	7	50.3	----	3	3.00 - 3.30	100	639.2	----	5
1.50 - 1.80	7	50.3	----	3					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 6

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0.00 - 0.30	3	24.7	----	1	0.90 - 1.20	36	276.2	----	2
0.30 - 0.60	2	15.3	----	2	1.20 - 1.50	100	719.2	----	3
0.60 - 0.90	1	7.7	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73.00** kg - H (altezza caduta)= **0.75** m

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [  $\delta$  = 30 cm ]

- A (area punta)= **20.43** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **51.00** mm

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

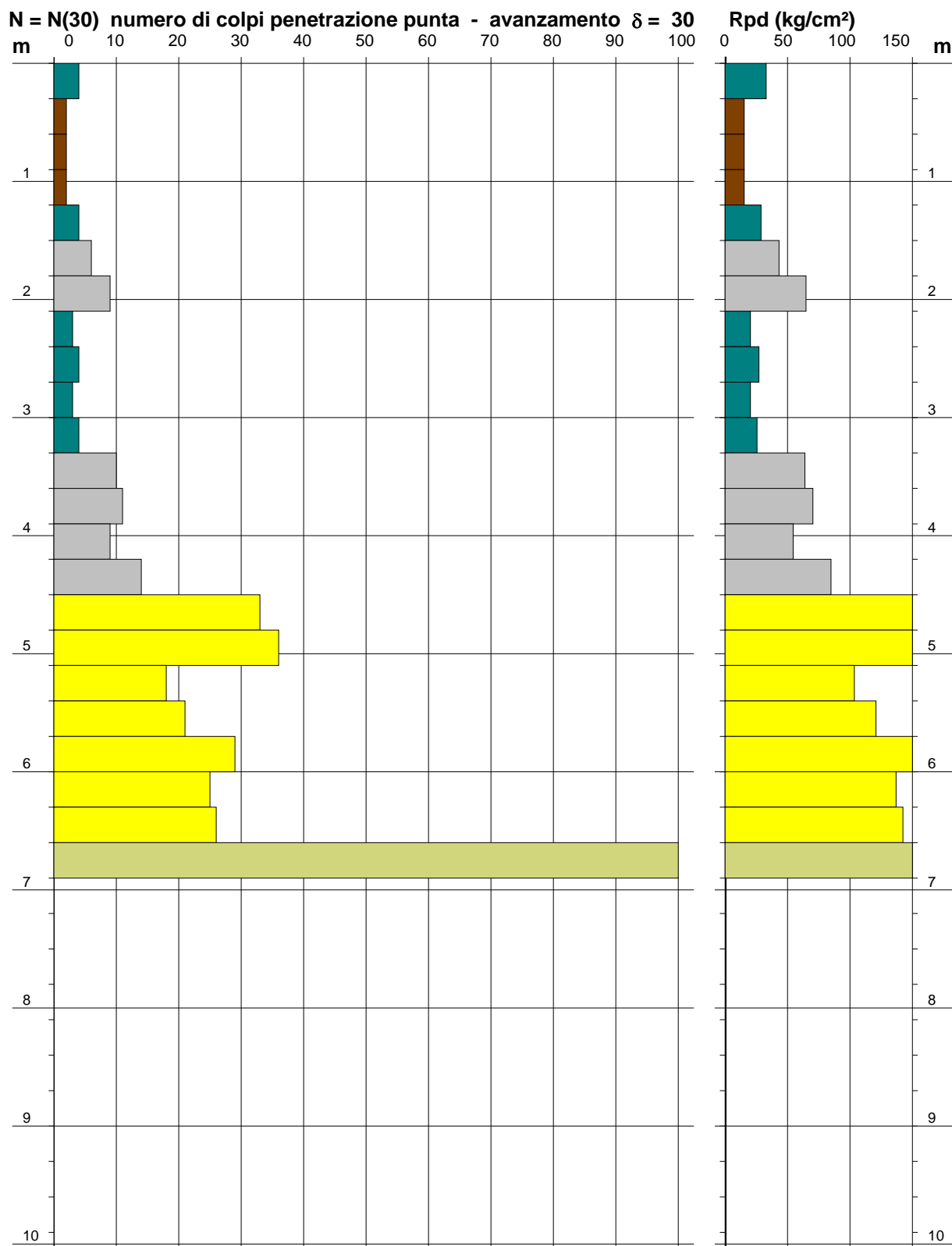
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



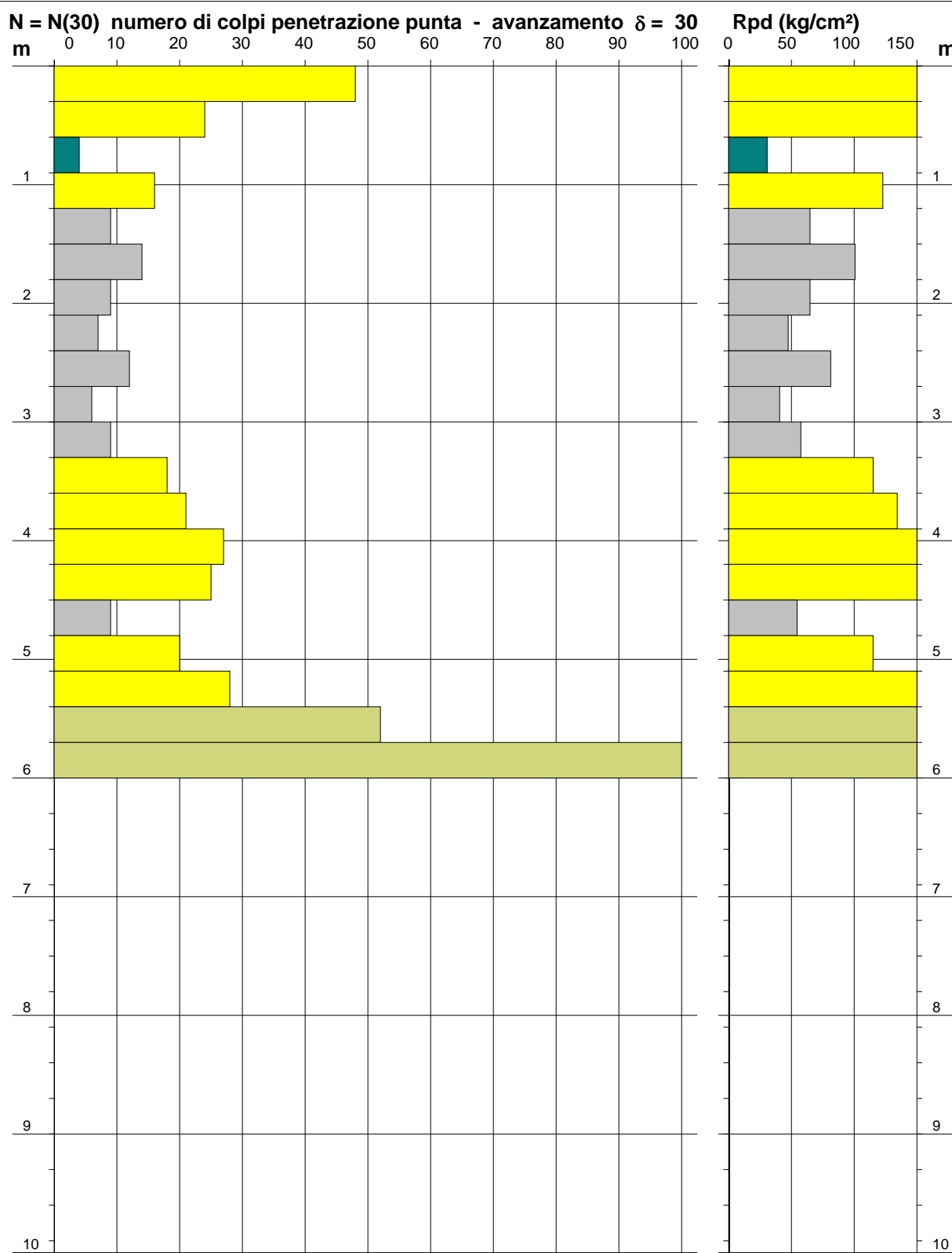
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1





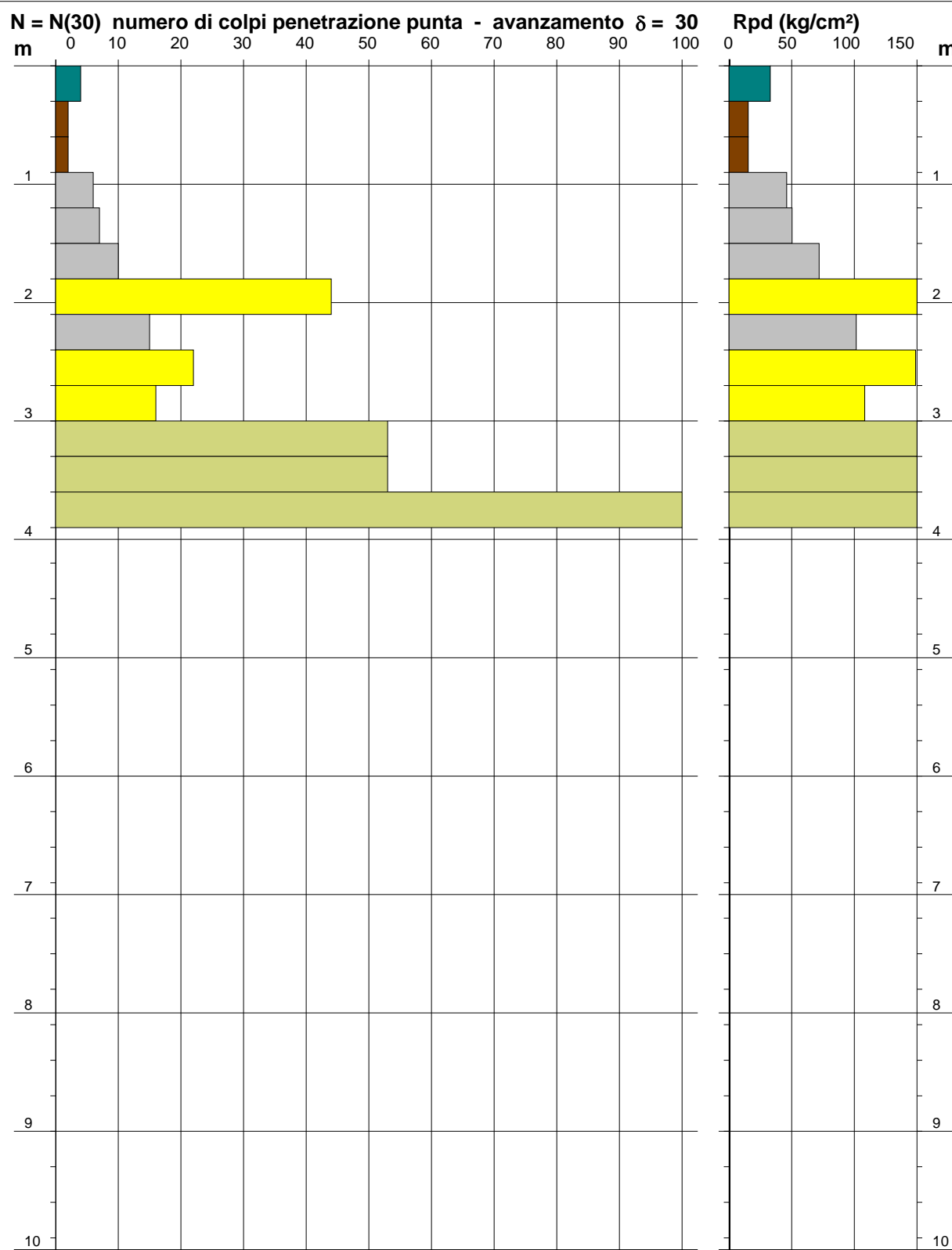
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



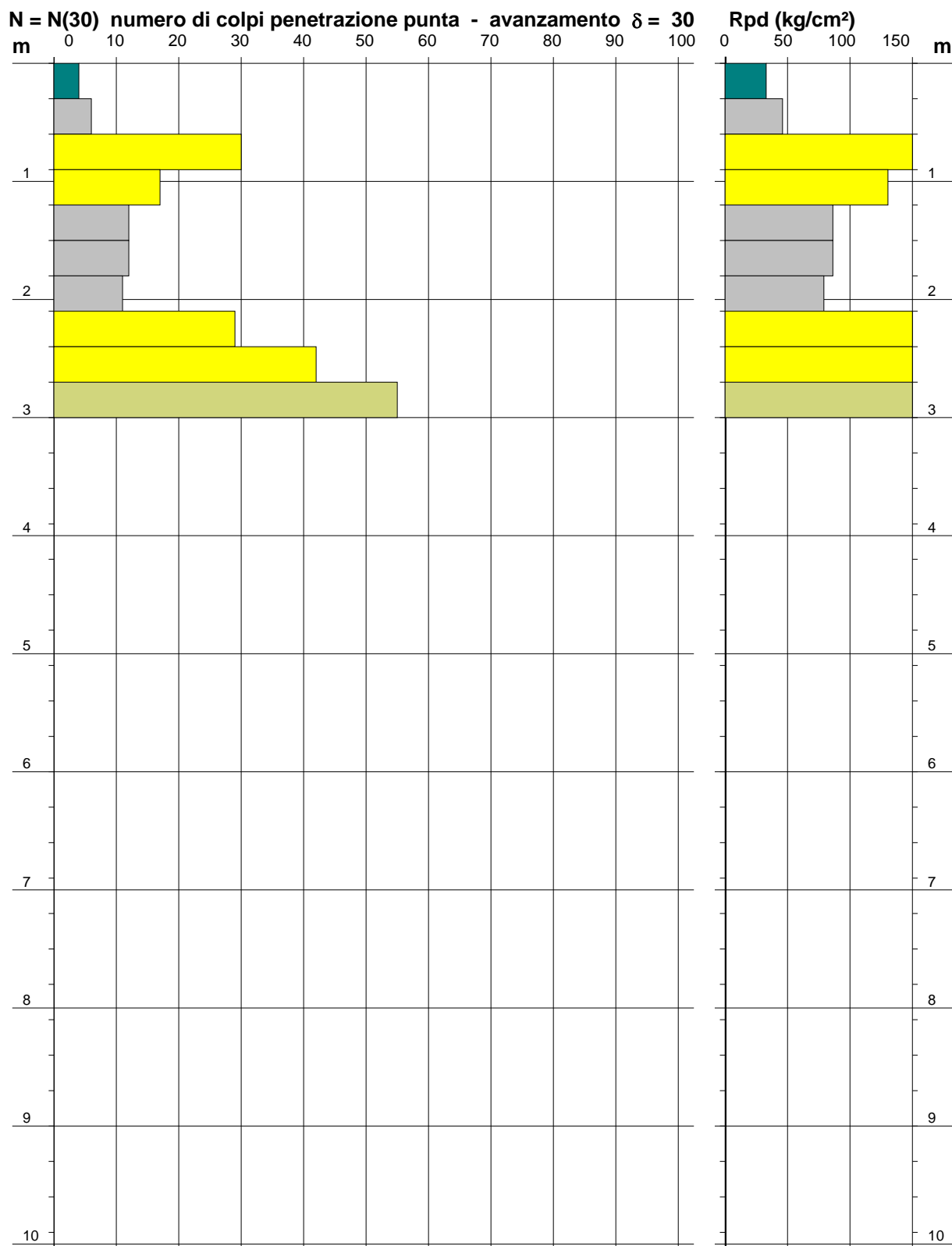
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 4

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 21/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



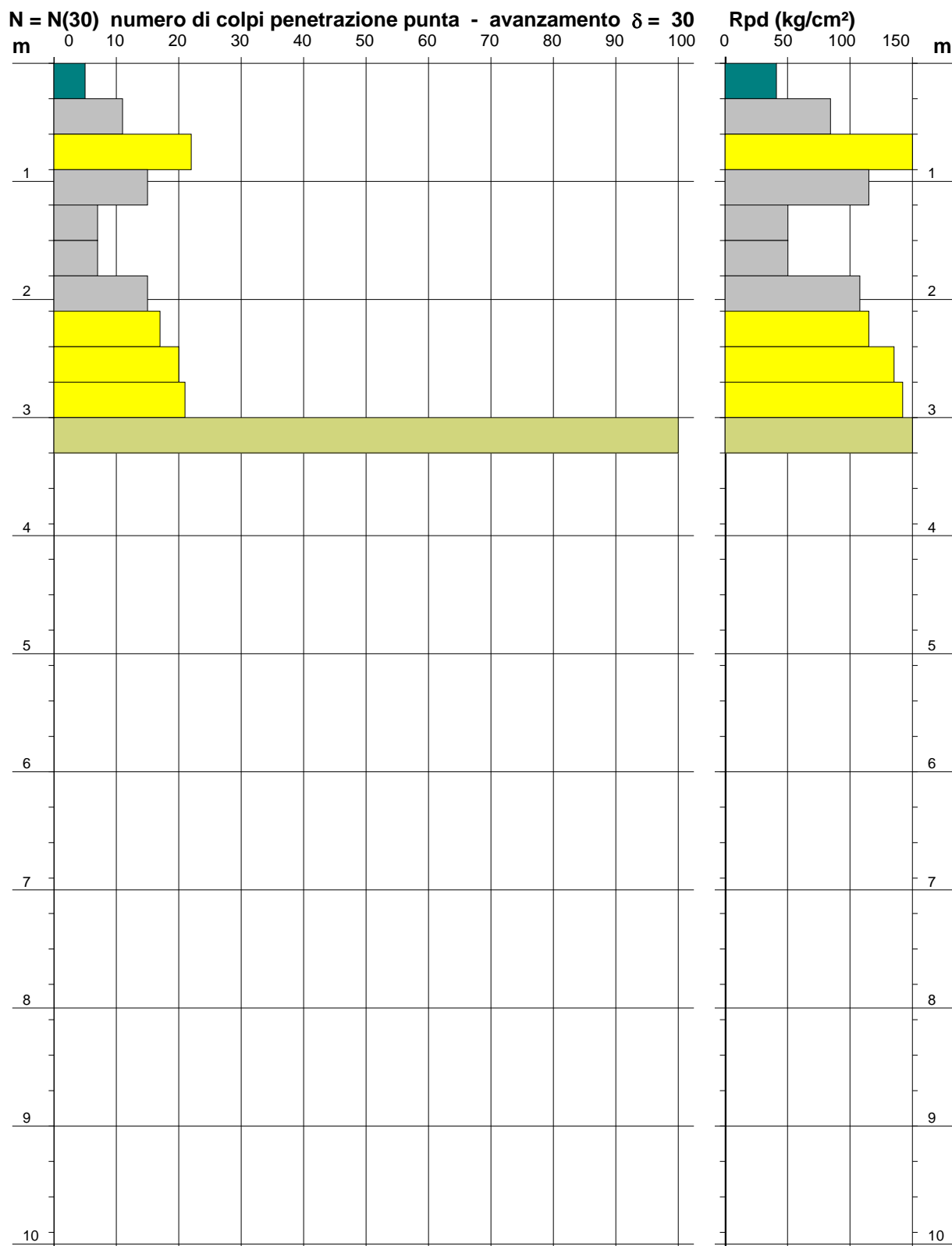
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 5

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



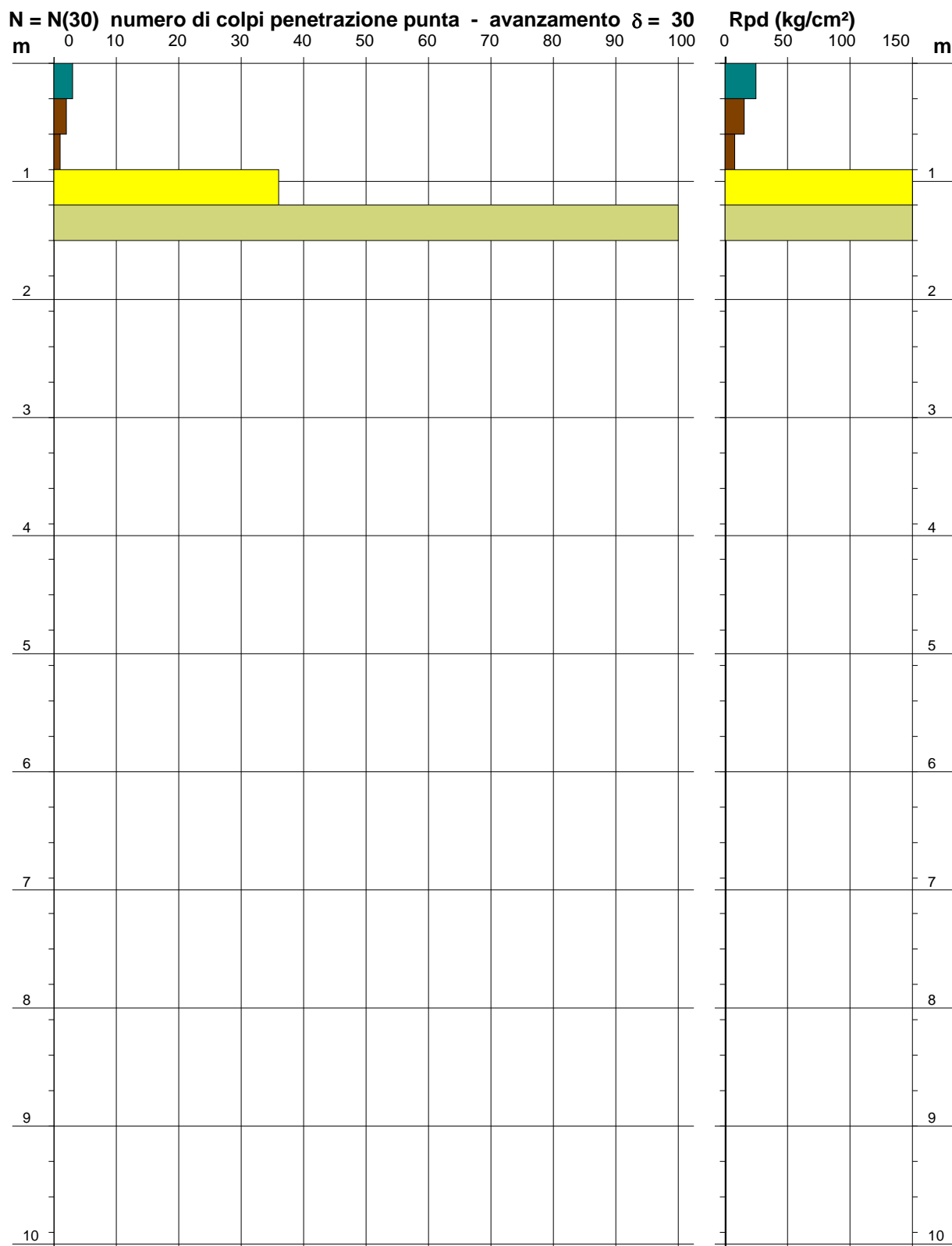
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 6

Scala 1: 50

- committente : COMUNE DI BERGAMO  
- lavoro :  
- località : BERGAMO VIA SANT'ALESSANDRO  
- note :

- data : 22/05/2018  
- quota inizio : PIANO CAMPAGNA  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



**STRATIGRAFIE SONDAGGI  
GEOGNOSTICI**



Committente: COMUNE DI BERGAMO	Sondaggio: S1
Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)	Data: 21/05/2018
Coordinate:	Quota: 297 M S.L.M.
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO 101-127 MM	

SCALA 1 : 75

## STRATIGRAFIA

---

Pagina 1/1

[illegible]

Committente: COMUNE DI BERGAMO

Sondaggio: S1

Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)

Data: 21/05/2018

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Sondaggio S1 da 0 a -5,00 m.



Sondaggio S1 da -5,00 a -10,00 m.



Committente: COMUNE DI BERGAMO

Sondaggio: S1

Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)

Data: 21/05/2018

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Sondaggio S1 da -10,00 a -12,00 m.

Committente: COMUNE DI BERGAMO	Sondaggio: S2
Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)	Data: 22/05/2018
Coordinate:	Quota: 297,5 M S.L.M.
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO 101-127 MM	

SCALA 1 : 70

# STRATIGRAFIA

---

Pagina 1/1

[illegible]



Committente: COMUNE DI BERGAMO

Sondaggio: S2

Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)

Data:

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Sondaggio S2 da 0 a -5,00 m.



Sondaggio S2 da -5,00 a -10,00 m.



Committente: COMUNE DI BERGAMO

Sondaggio: S2

Riferimento: VIA SANT'ALESSANDRO - BERGAMO (BG)

Data:

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Sondaggio S2 da -10,00 a -10,50 m.

**ANALISI DI LABORATORIO**



**GEODRILL S.r.l.** - Via F.lli Bandiera n° 2 -TREVIOLO (Bg) - Tel 035-6221296 - info@geodrill.it  
Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)  
Art.59 DPR n.380/2001 Circ. Min. n° 7618 STC Autorizzazione N° 276 del 5/11/2015 e successivi rinnovi



**CERTIFICATO DI PROVA N° 10/2018**  
**dal 10/01/2018 al 10/07/2018**

Data di emissione: 5/06/2018      Pagine totali compresa questa: 10      Verbale di accettazione n°: 48 del 25/05/2018

Commessa: 10/LAB/18 del 25/05/2018      Committente: Eurogeo s.n.c.  
N° totale campioni: 3      Località: Via S.Alessandro, Bergamo

Sondaggio n°	Campione Profondità	Descrizione: Tipologia campione	Prova Procedura	Data apertura	Data inizio	Data fine
1	GR1 4,5 - 5,0 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione Racc. AGI limiti di Atterberg ASTM D 2435 - racc AGI	28/05/2018	29/05/2018	31/05/2018
1	GR2 8,10 - 8,60 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione Racc. AGI limiti di Atterberg ASTM D 2435 - racc AGI	28/05/2018	29/05/2018	31/05/2018
2	GR2 6,5 - 6,7 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione Racc. AGI limiti di Atterberg ASTM D 2435 - racc AGI taglio diretto C.D ASTM D3080 - Racc. AGI	28/05/2018	28/05/2018	01/06/2018

LO SPERIMENTATORE

dott. Bertosa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dott. Belloni Marco





## ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

RACC. A.G.I.

CERTIFICATO N° 10/01/2018  
DEL 05/06/2018

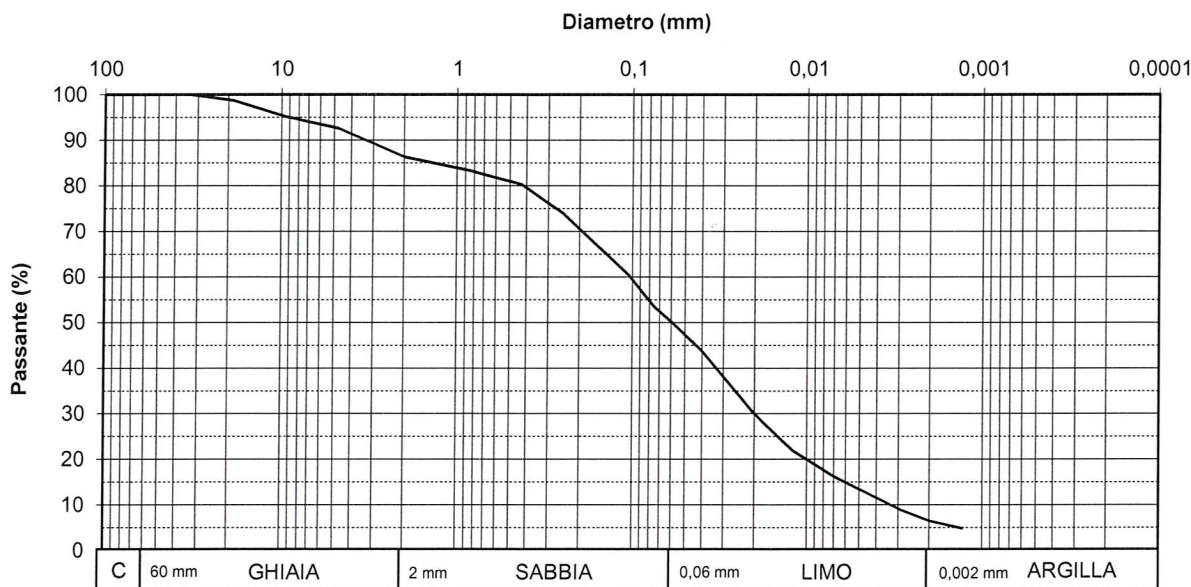
ACCETTAZIONE N° 48  
DEL 25/05/2018

COMMESSA N° 10/LAB/18  
DEL 25/05/2018

Committente: Eurogeo s.n.c.  
Località: Via S.Alessandro, Bergamo

Provenienza: sondaggio S1  
Campione n°: GR1 (rim)  
Profondità: 4,5 - 5,0 m

Data apertura: 28/05/2018  
Data inizio prova: 29/05/2018  
Data fine prova: 31/05/2018



SETACCIATURA			AEROMETRIA		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	50,20
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	43,73
19	1,27	98,73	1,27	0,03	38,06
9,52	4,87	95,13	3,60	0,02	29,96
4,75	7,37	92,63	2,50	0,012	21,86
2	13,64	86,36	6,27	0,007	16,19
0,85	16,68	83,32	3,04	0,0045	12,55
0,425	19,79	80,21	3,11	0,0029	8,91
0,25	26,01	73,99	6,22	0,002	6,48
0,105	39,59	60,41	13,58	0,0013	4,86
0,075	46,56	53,44	6,97		
< 0,075	100,00	0,00	53,44		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		33,3
Diametro passante 60% D <sub>60</sub>		0,1
Diametro passante 50% D <sub>50</sub>		0,059
Diametro passante 30% D <sub>30</sub>		0,02
Diametro passante 10% D <sub>10</sub>		0,0032
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D <sub>60</sub> / D <sub>10</sub>	U =	3,1E+01
CURVATURA D <sub>30</sub> <sup>2</sup> / D <sub>60</sub> *D <sub>10</sub>	C =	1,3E+00
PERMEAB. (cm/sec) D <sub>10</sub> <sup>2</sup>	K =	1,0E-05

A.G.I. CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	13,64
SABBIA :	36,15
LIMO :	43,73
ARGILLA :	6,48

DENOMINAZIONE A.G.I.:	
limo con sabbia ghiaioso debolmente argilloso	
CLASSIFICAZIONI	
CNR UNI 10006:	
HRB AASHTO:	

PARAMETRI DETERMINATI		
PESO DI VOL. γ nat (gr/cm <sup>3</sup> ) =		
PESO DI VOL. γ sec (gr/cm <sup>3</sup> ) =		
PESO DI VOL. γ sat (gr/cm <sup>3</sup> ) =		
SATURAZIONE % S <sub>o</sub> =		
INDICE DEI VUOTI e <sub>n</sub> =		
POROSITA' n =		
PESO SPEC.(valore assunto) Gs		
UMIDITA' CAMPIONE Wn %		8,04

NOTE:

LO SPERIMENTATORE  
dot. Bertasi Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dot. Belloli Marco



## LIMITI DI ATTERBERG

ASTM D 4318

CERTIFICATO N° 10/02/2017  
DEL 05/06/2018

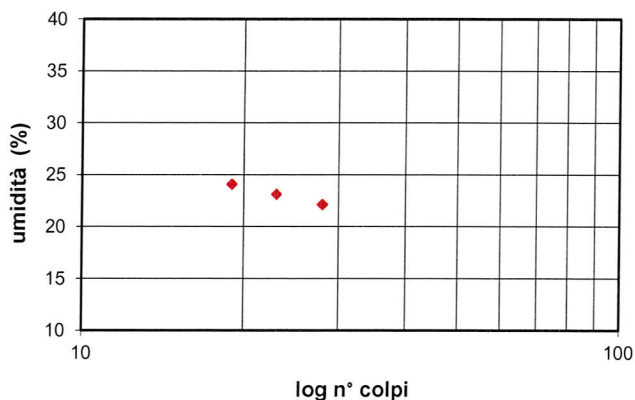
ACCETTAZIONE N° 48  
DEL 25/05/2018

COMMESSA N° 10/LAB/18  
DEL 25/05/2018

Committente: **Eurogeo s.n.c.**  
Località: **Via S.Alessandro, Bergamo**

Provenienza: **sondaggio S1**  
Campione n°: **GR1 (rim)**  
Profondità: **4,5 - 5,0 m**

Data apertura: **28/05/2018**  
Data inizio prova: **30/05/2018**  
Data fine prova: **01/06/2018**



Limite Liquido			
	provino 1	provino 2	provino 3
tara	1,0	0,98	1,02
in umido	35,09	35,05	35,01
fin secco	28,48	28,66	28,86
W%	24,05	23,09	22,09
N° colpi	19	23	28

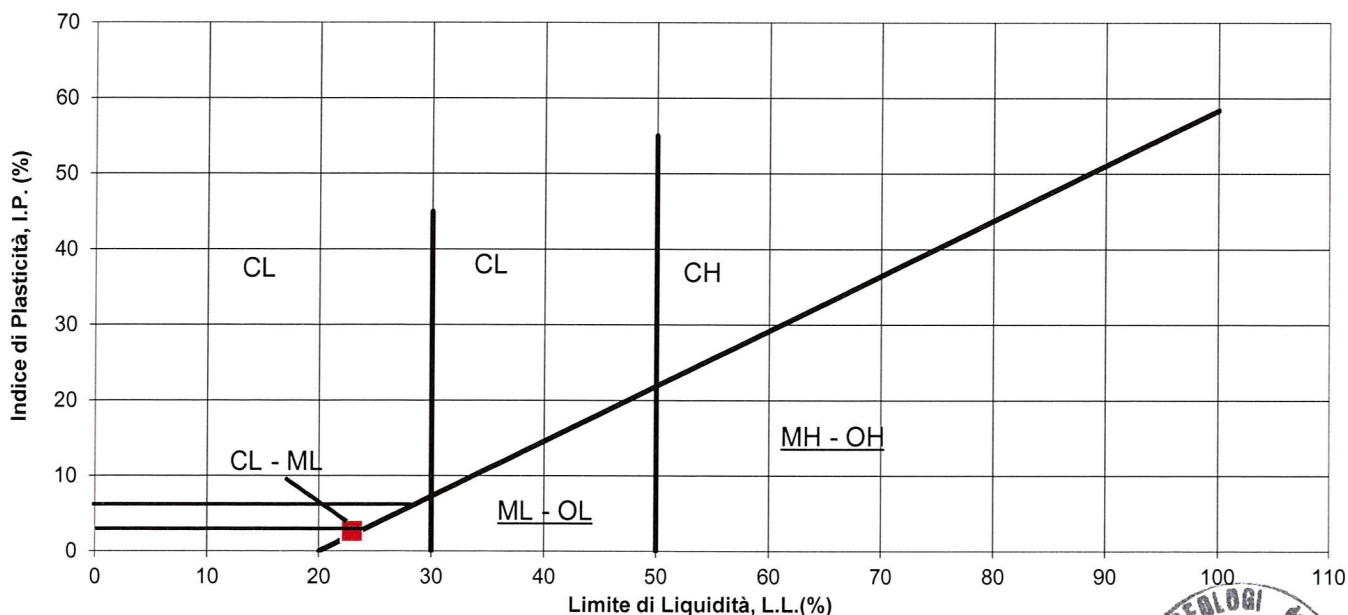
Limite Plastico		
	provino 1	provino 2
tara	0,97	0,96
in umido	20,11	19,78
fin secco	16,91	16,58
W%	20,08	20,49

### LEGENDA CARTA DI PLASTICITA'

- CAMPIONE ANALIZZATO = **ML**
- ML** Limi inorganici, limi argillosi, sabbie molto fini limose
- OL** Limi organici e argille-limi organici di bassa plasticità
- CL** Argille inorganiche di media bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose
- MH** Limi inorganici, limi argillosi,
- CH** Argille inorganiche di alta plasticità
- OH** Argille organiche e argille limose di media-alta plasticità

LIMITI DI ATTERBERG		
Limite Liquido	L.L. %	22,90
Limite Plastico	L.P. %	20,28
Indice di Plasticità	I.P. %	2,62
umidità campione	Wn %	8,04
Indice di Consistenza	I.C.	5,67

### CARTA DI PLASTICITA'



LO SPERIMENTATORE

dott. Bernasconi Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dott. Belloni Marco

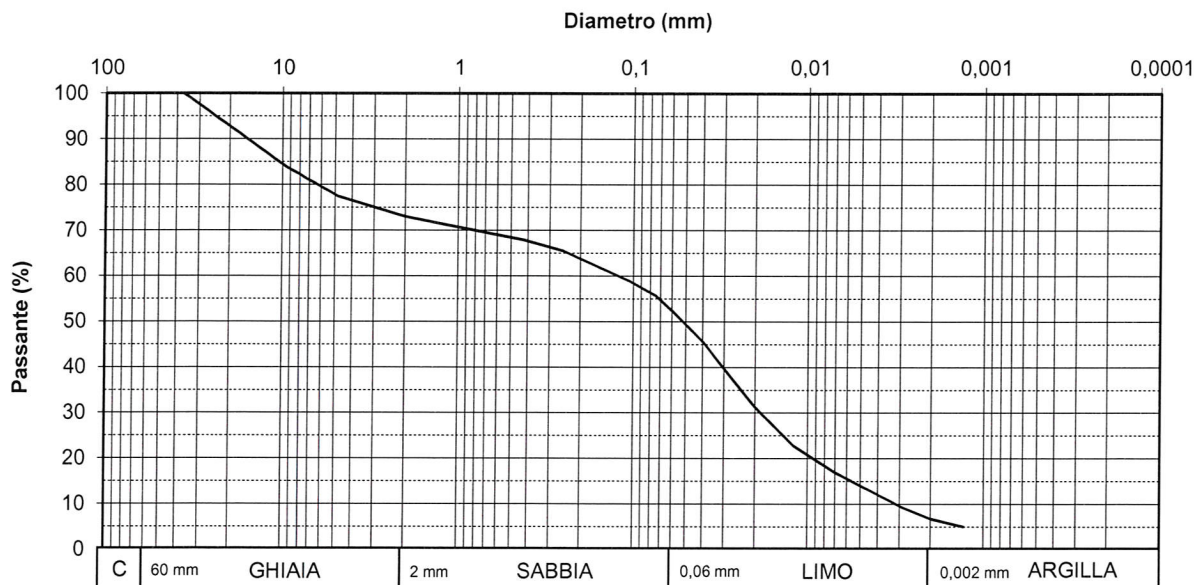


## ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

RACC. A.G.I.

<b>CERTIFICATO N°</b>	10/03/2018	<b>ACCETTAZIONE N°</b>	48	<b>COMMESSA N°</b>	10/LAB/18
<b>DEL</b>	05/06/2018	<b>DEL</b>	25/05/2018	<b>DEL</b>	25/05/2018

<b>Committente:</b>	Eurogeo s.n.c.	<b>Provenienza:</b>	sondaggio S1	<b>Data apertura:</b>	28/05/2018
<b>Località:</b>	Via S.Alessandro, Bergamo	<b>Campione n°:</b>	GR2 (rim)	<b>Data inizio prova:</b>	29/05/2018
		<b>Profondità:</b>	8,1 - 8,6 m	<b>Data fine prova:</b>	31/05/2018



SETACCIATURA			AEROMETRIA		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	52,39
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	45,63
19	7,81	92,19	7,81	0,03	39,71
9,52	16,13	83,87	8,33	0,02	31,26
4,75	22,66	77,34	6,52	0,012	22,81
2	27,03	72,97	4,37	0,007	16,90
0,85	29,84	70,16	2,82	0,0045	13,10
0,425	32,12	67,88	2,28	0,0029	9,29
0,25	34,62	65,38	2,50	0,002	6,76
0,105	41,16	58,84	6,54	0,0013	5,07
0,075	44,24	55,76	3,08		
< 0,075	100,00	0,00	55,76		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		37,1
Diametro passante 60% D <sub>60</sub>		0,12
Diametro passante 50% D <sub>50</sub>		0,051
Diametro passante 30% D <sub>30</sub>		0,018
Diametro passante 10% D <sub>10</sub>		0,0031
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D <sub>60</sub> / D <sub>10</sub>	U =	3,9E+01
CURVATURA D <sub>30</sub> <sup>2</sup> / D <sub>60</sub> * D <sub>10</sub>	C =	8,7E-01
PERMEAB. (cm/sec) D <sub>10</sub> <sup>2</sup>	K =	9,6E-06

A.G.I.	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	27,03
SABBIA :	20,59
LIMO :	45,63
ARGILLA :	6,76

DENOMINAZIONE A.G.I.:	
limo con ghiaia sabbioso debolmente argilloso	
CLASSIFICAZIONI	
CNR UNI 10006:	
HRB AASHTO:	

PARAMETRI DETERMINATI	
PESO DI VOL. $\gamma$ nat (gr/cm <sup>3</sup> ) =	
PESO DI VOL. $\gamma$ sec (gr/cm <sup>3</sup> ) =	
PESO DI VOL. $\gamma$ sat (gr/cm <sup>3</sup> ) =	
SATURAZIONE % S <sub>0</sub> =	
INDICE DEI VUOTI e <sub>n</sub> =	
POROSITA' n =	
PESO SPEC.(valore assunto) G <sub>s</sub>	
UMIDITA' CAMPIONE W <sub>n</sub> %	12,28

NOTE:

LO SPERIMENTATORE

dot. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dot. Belloli Marco







GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n°2 -TREVIOLO (Bg) -Tel 035-6221296 - info@geodrill.it  
Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture  
e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)  
Circ 7618/STC Art.59 DPR n.380/2001 Autorizzazione 276 del 05/11/2015 e successivi rinnovi



ASACERT  
150 ANNI 1863

dal 1984

A.L.G.I.

## LIMITI DI ATTERBERG

ASTM D 4318

CERTIFICATO N° 10/04/2017  
DEL 05/06/2018

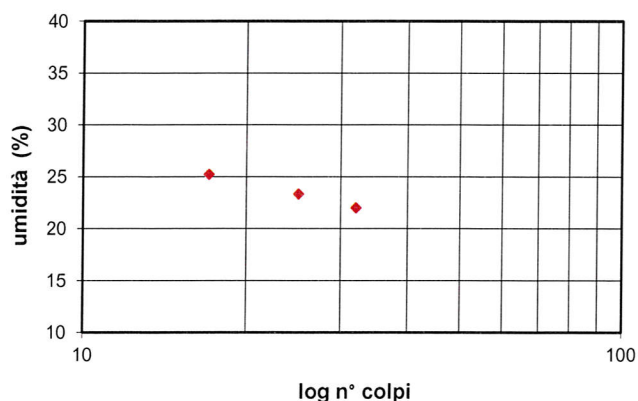
ACCETTAZIONE N° 48  
DEL 25/05/2018

COMMESSA N° 10/LAB/18  
DEL 25/05/2018

Committente: Eurogeo s.n.c.  
Località: Via S.Alessandro, Bergamo

Provenienza: sondaggio S1  
Campione n°: GR2 (rim)  
Profondità: 8,1 - 8,6 m

Data apertura: 28/05/2018  
Data inizio prova: 30/05/2018  
Data fine prova: 01/06/2018



Limite Liquido			
	provino 1	provino 2	provino 3
tara	1,0	1,07	1,03
in umido	35,02	35,04	35,01
fin secco	28,18	28,62	28,89
W%	25,18	23,30	21,97
N° colpi	17	25	32

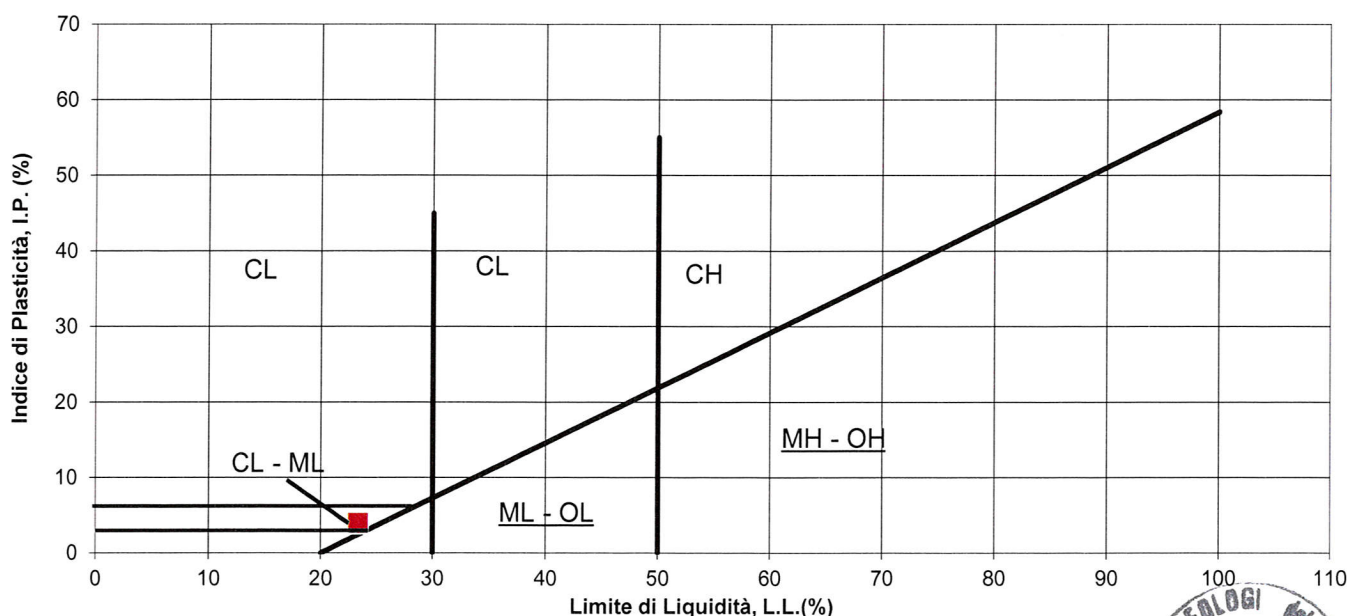
Limite Plastico		
	provino 1	provino 2
tara	1,11	1,07
in umido	21,64	20,51
fin secco	18,33	17,33
W%	19,22	19,56

### LEGENDA CARTA DI PLASTICITA'

- CAMPIONE ANALIZZATO = **CL - ML**
- ML** Limi inorganici, limi argillosi, sabbie molto fini limose
- OL** Limi organici e argille-limi organici di bassa plasticità
- CL** Argille inorganiche di media bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose
- MH** Limi inorganici, limi argillosi,
- CH** Argille inorganiche di alta plasticità
- OH** Argille organiche e argille limose di media-alta plasticità

LIMITI DI ATTERBERG		
Limite Liquido	L.L. %	23,30
Limite Plastico	L.P. %	19,39
Indice di Plasticità	I.P. %	3,91
umidità campione	Wn %	12,28
Indice di Consistenza	I.C.	2,82

### CARTA DI PLASTICITA'



LO SPERIMENTATORE

dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

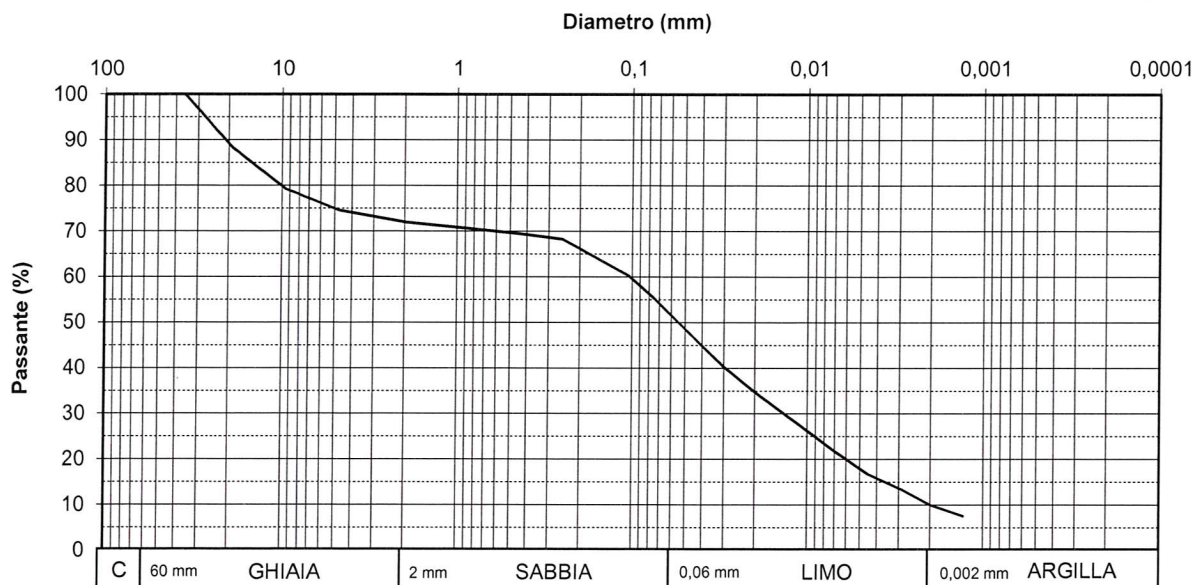
dott. Belloli Marco

## ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

RACC. A.G.I.

<b>CERTIFICATO N°</b>	10/05/2018	<b>ACCETTAZIONE N°</b>	48	<b>COMMESSA N°</b>	10/LAB/18
<b>DEL</b>	05/06/2018	<b>DEL</b>	25/05/2018	<b>DEL</b>	25/05/2018

<b>Committente:</b>	Eurogeo s.n.c.	<b>Provenienza:</b>	sondaggio S2	<b>Data apertura:</b>	28/05/2018
<b>Località:</b>	Via S.Alessandro, Bergamo	<b>Campione n°:</b>	GR2 (rim)	<b>Data inizio prova:</b>	29/05/2018
		<b>Profondità:</b>	6,5 - 6,7 m	<b>Data fine prova:</b>	31/05/2018



SETACCIATURA				AEROMETRIA	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	51,55
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	44,85
19	11,79	88,21	11,79	0,03	40,24
9,52	20,79	79,21	9,00	0,02	34,79
4,75	25,41	74,59	4,62	0,012	28,50
2	28,04	71,96	2,64	0,007	21,79
0,85	29,48	70,52	1,44	0,0045	16,77
0,425	30,64	69,36	1,16	0,0029	13,41
0,25	31,81	68,19	1,18	0,002	10,06
0,105	39,77	60,23	7,96	0,0013	7,54
0,075	44,68	55,32	4,90		
< 0,075	100,00	0,00	55,32		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		35,8
Diametro passante 60% D <sub>60</sub>		0,1
Diametro passante 50% D <sub>50</sub>		0,054
Diametro passante 30% D <sub>30</sub>		0,014
Diametro passante 10% D <sub>10</sub>		0,002
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D <sub>60</sub> / D <sub>10</sub>	U =	5,0E+01
CURVATURA D <sub>30</sub> <sup>2</sup> / D <sub>60</sub> * D <sub>10</sub>	C =	9,8E-01
PERMEAB. (cm/sec) D <sub>10</sub> <sup>2</sup>	K =	4,0E-06

A.G.I.	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	28,04
SABBIA :	20,40
LIMO :	41,49
ARGILLA :	10,06

DENOMINAZIONE A.G.I.:	
limo con ghiaia sabbioso argilloso	
CLASSIFICAZIONI	
CNR UNI 10006:	
HRB AASHTO:	

PARAMETRI DETERMINATI	
PESO DI VOL. γ nat (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,876
PESO DI VOL. γ sec (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,478
PESO DI VOL. γ sat (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,931
SATURAZIONE % S <sub>o</sub> =	87,89
INDICE DEI VUOTI e <sub>n</sub> =	0,826
POROSITA' n =	0,452
PESO SPEC.(valore assunto) G <sub>s</sub>	2,700
UMIDITA' CAMPIONE W <sub>n</sub> %	26,90

**NOTE:** Campione rimaneggiato, in sacchetto, sciolto. Classe Q3  
L'umidità e il peso di volume del campione calcolati in Laboratorio potrebbero non corrispondere a quelli naturali in sito

LO SPERIMENTATORE

dot. Bertasi Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dot. Belloli Marco



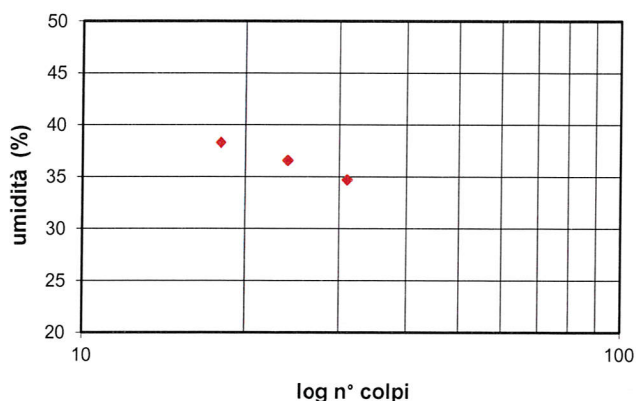


## LIMITI DI ATTERBERG

ASTM D 4318

CERTIFICATO N°	10/06/2017	ACCETTAZIONE N°	48	COMMESSA N°	10/LAB/18
DEL	05/06/2018	DEL	25/05/2018	DEL	25/05/2018

Committente: **Eurogeo s.n.c.** Provenienza: **sondaggio S2** Data apertura: **28/05/2018**  
Località: **Via S.Alessandro, Bergamo** Campione n°: **GR2 (rim)** Data inizio prova: **30/05/2018**  
Profondità: **6,5 - 6,7 m** Data fine prova: **01/06/2018**



Limite Liquido			
	provino 1	provino 2	provino 3
tara	1,0	0,97	1,02
in umido	35,04	35,03	35,03
fin secco	25,62	25,92	26,28
W%	38,25	36,51	34,64
N° colpi	18	24	31

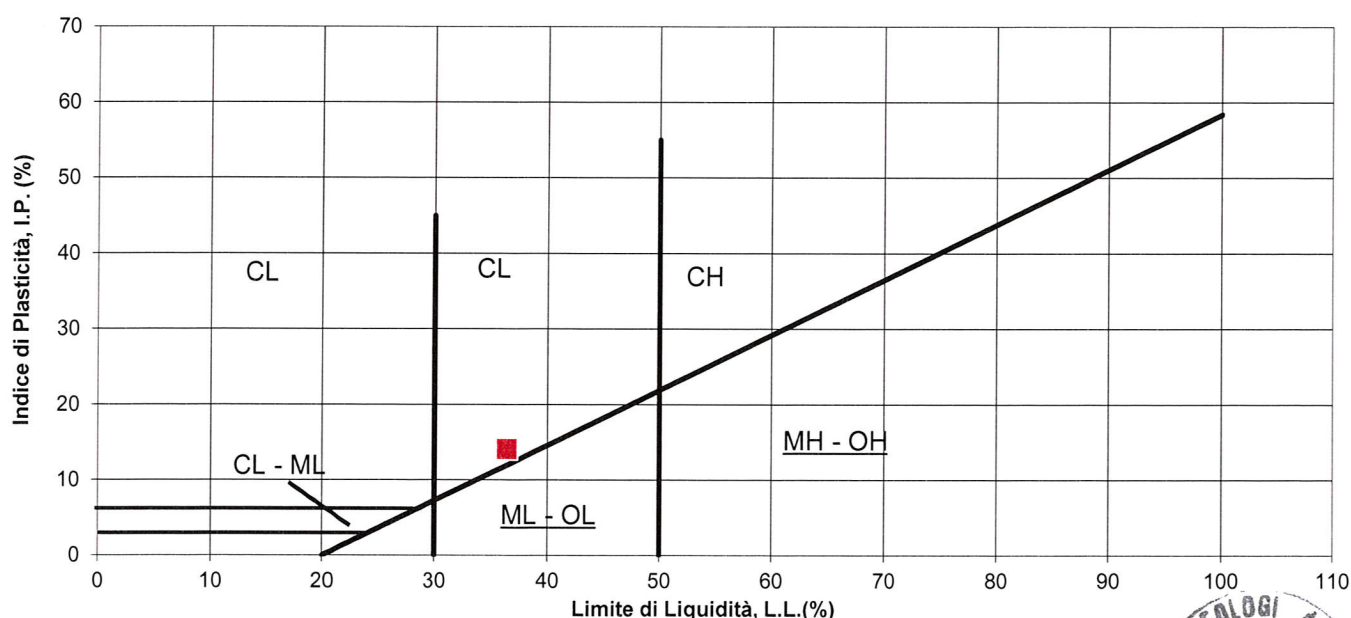
Limite Plastico		
	provino 1	provino 2
tara	1,17	1,14
in umido	20,37	20,11
fin secco	16,88	16,62
W%	22,22	22,55

### LEGENDA CARTA DI PLASTICITA'

- CAMPIONE ANALIZZATO = **CL**
- ML** Limi inorganici, limi argillosi, sabbie molto fini limose
- OL** Limi organici e argille-limi organici di bassa plasticità
- CL** Argille inorganiche di media bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose
- MH** Limi inorganici, limi argillosi,
- CH** Argille inorganiche di alta plasticità
- OH** Argille organiche e argille limose di media-alta plasticità

LIMITI DI ATTERBERG		
Limite Liquido	L.L. %	36,40
Limite Plastico	L.P. %	22,38
Indice di Plasticità	I.P. %	14,02
umidità campione	Wn %	26,90
Indice di Consistenza	I.C.	0,68

### CARTA DI PLASTICITA'



LO SPERIMENTATORE

dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dott. Belloli Marco



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

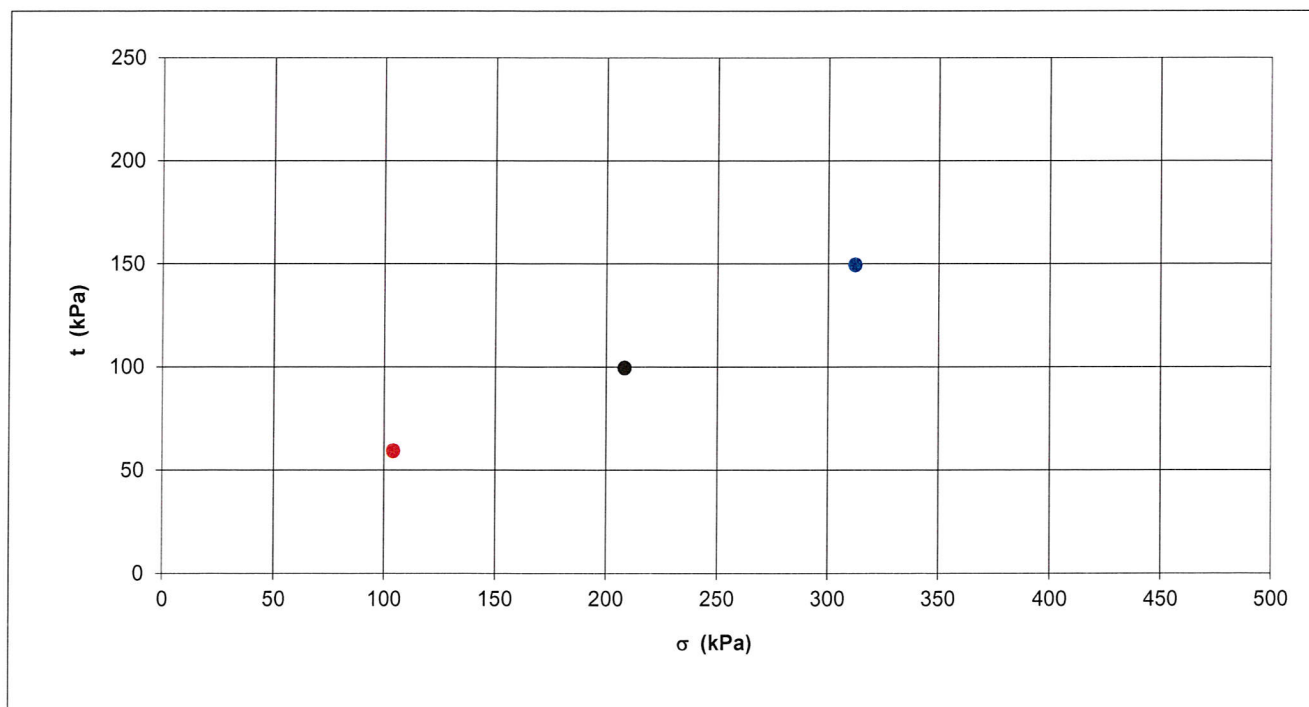
ASTM D 3080 - Racc. AGI

CERTIFICATO N°	10/07/2018	ACCETTAZIONE N°	48	COMMESSA N°	10/LAB/2018
DEL:	05/06/2018	DEL:	25/05/2018	DEL:	25/05/2018

Committente: Eurogeo s.n.c. Provenienza: sondaggio S2 Data apertura: 28/05/2018  
Località: Via S.Alessandro, Bergamo Campione n°: GR2 (rim) Data inizio prova: 28/05/2018  
Profondità: 6,5 - 6,7 m Data fine prova: 01/06/2018

CARATTERISTICHE DELLA PROVA			CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE		
Tipo di prova:	CONSOLIDATA DRENATA		Cella di carico 2kN - AEP TSTM n°225943:	(kN)	0,001
Numero di provini:	N°	3	trasduttore cedimenti verticali: ELE 215849	(mm)	0,001
Velocità della prova:	(mm/min)	0,004	trasduttore cedimenti orizzontali ELE 215843:	(mm)	0,001

Provino N	Dimensioni		Consolidamento			Fase di Rottura		
	H	D-L	$\sigma$	DH	T	$\sigma$	$\delta f$	$\tau$
	(mm)	(mm)	(KPa)	(mm)	(ore)	(KPa)	(mm)	(KPa)
1	20	60	104,06	1,078	24	104,06	6,17	59,03
2	20	60	208,11	1,644	24	208,11	5,55	99,48
3	20	60	312,17	2,135	24	312,17	5,87	149,15



### PARAMETRI DETERMINATI:

UMIDITA'	Wn =	26,90	(%)	VALORE MEDIO SUI 3 PROVINI RICOSTITUITI
PESO DI VOLUME MISURATO	$\gamma_n$ =	1,876	(t/m <sup>3</sup> )	
PESO DI VOLUME SECCO	$\gamma_d$ =	1,478	(t/m <sup>3</sup> )	
PESO DI VOLUME SATURO	$\gamma_{sat}$ =	1,931	(t/m <sup>3</sup> )	
SATURAZIONE	S <sub>0</sub> =	87,89	%	
INDICE DEI VUOTI	e <sub>0</sub> =	0,826		
POROSITA'	n =	0,452		
PESO SPECIFICO (valore assunto)	G <sub>s</sub> =	2,7	(gr/cm <sup>3</sup> )	

LO SPERIMENTATORE

dott. Bertasi Michele

*[Signature]*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dott. Bellotti Marco



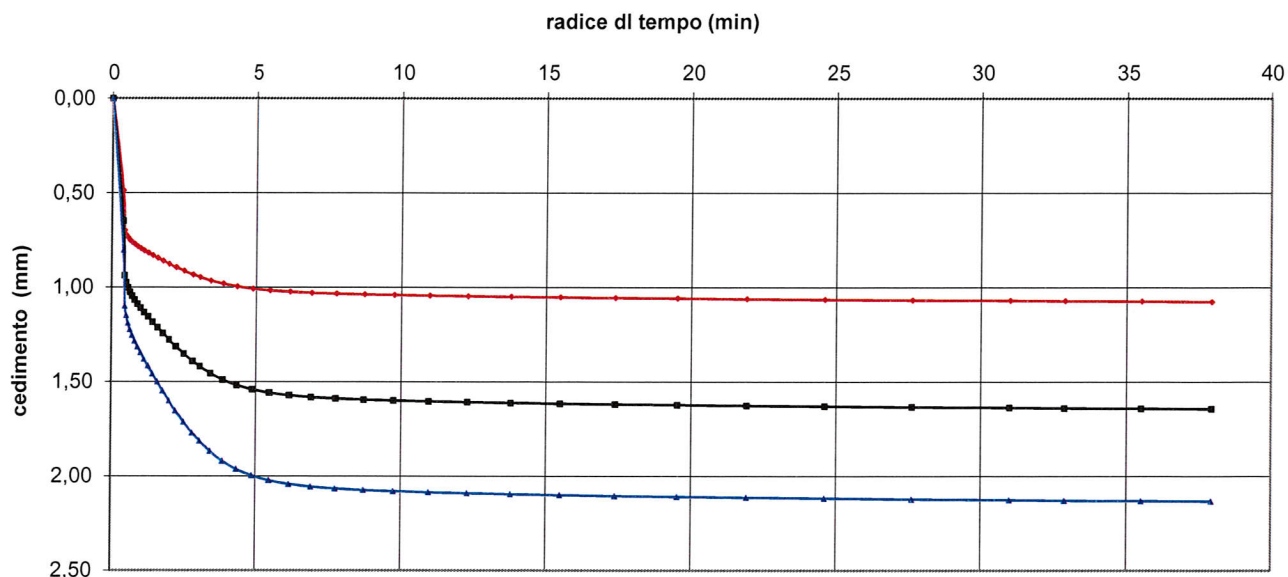
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - Racc. AGI

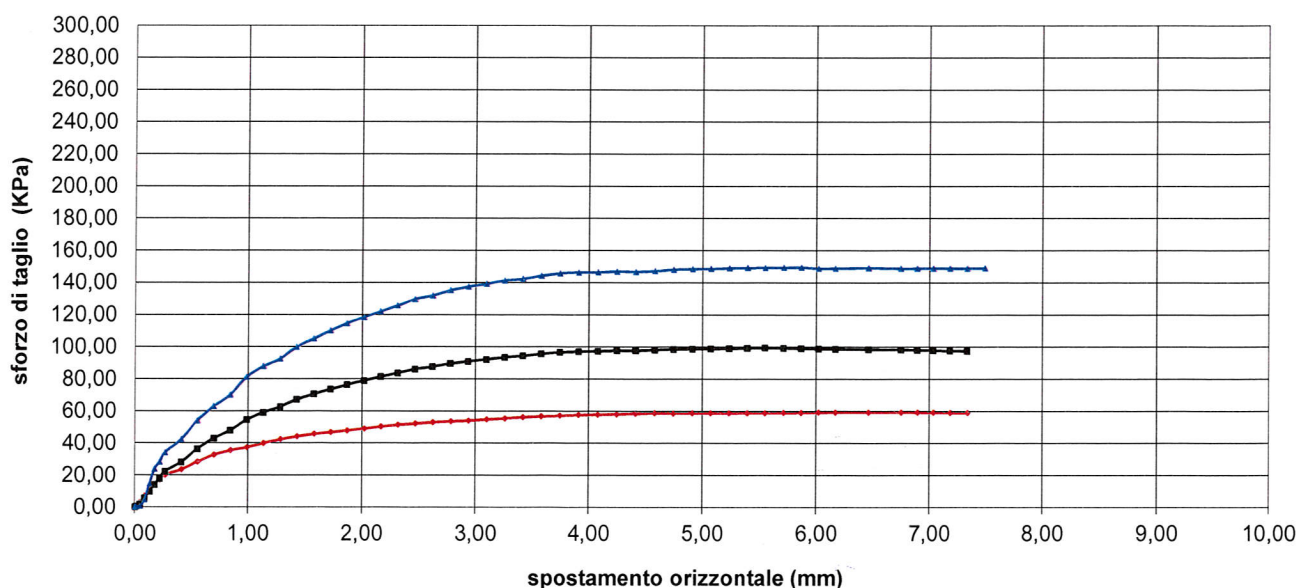
CERTIFICATO N°	10/07/2018	ACCETTAZIONE N°	48	COMMESSA N°	10/LAB/2018
DEL:	05/06/2018	DEL:	25/05/2018	DEL:	25/05/2018

Committente:	Eurogeo s.n.c.	Provenienza:	sondaggio S2	Data apertura:	28/05/2018
Località:	Via S.Alessandro, Bergamo	Campione n°:	GR2 (rim)	Data inizio prova:	28/05/2018
		Profondità:	6,5 - 6,7 m	Data fine prova:	01/06/2018

cedimento (mm) / radice del tempo (min)



sforzo di taglio / spostamento orizzontale





## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - Racc. AGI

CERTIFICATO N°	10/07/2018	ACCETTAZIONE N°	48	COMMESSA N°	10/LAB/2018
DEL:	05/06/2018	DEL:	25/05/2018	DEL:	25/05/2018

Committente: **Eurogeo s.n.c.**

Provenienza: **sondaggio S2**

Data apertura: **28/05/2018**

Località: **Via S.Alessandro, Bergamo**

Campione n°: **GR2 (rim)**

Data inizio prova: **28/05/2018**

Profondità: **6,5 - 6,7 m**

Data fine prova: **01/06/2018**

### FASE DI CONSOLIDAZIONE

tempo minuti	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
tempo minuti	cedimento mm	cedimento mm	cedimento mm
0,00	0,000	0,000	0,000
0,15	0,491	0,648	0,805
0,20	0,701	0,938	1,101
0,25	0,726	0,976	1,151
0,32	0,741	1,003	1,191
0,40	0,753	1,026	1,225
0,50	0,764	1,047	1,255
0,63	0,775	1,068	1,286
0,80	0,786	1,089	1,317
1,00	0,797	1,109	1,347
1,27	0,809	1,133	1,382
1,58	0,820	1,156	1,418
2,00	0,834	1,184	1,459
2,52	0,848	1,213	1,503
3,17	0,863	1,244	1,550
4,00	0,880	1,278	1,602
5,03	0,897	1,314	1,656
6,35	0,916	1,352	1,714
8,00	0,935	1,391	1,773
9,45	0,949	1,419	1,815
11,90	0,968	1,456	1,870
15,00	0,984	1,490	1,922
18,90	0,998	1,519	1,965
23,82	1,010	1,542	1,999
30,00	1,019	1,559	2,025
37,80	1,026	1,572	2,044
47,62	1,032	1,582	2,058
60,00	1,036	1,589	2,068
76,00	1,040	1,595	2,076
95,00	1,043	1,600	2,082
120,0	1,046	1,604	2,088
151,0	1,049	1,608	2,093
190,0	1,052	1,612	2,098
240,0	1,055	1,616	2,103
302,0	1,058	1,620	2,107
381,0	1,060	1,623	2,111
480,0	1,064	1,627	2,115
605,0	1,067	1,630	2,119
762,0	1,070	1,634	2,124
960,0	1,072	1,637	2,128
1080,0	1,074	1,640	2,131
1260,0	1,076	1,642	2,133
1440,0	1,078	1,644	2,135

### FASE DI TAGLIO

tempo minuti	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
spostam. orizzontale	Horiz. Stress	Horiz. Stress	Horiz. Stress
mm	kPa	kPa	kPa
0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,44	0,37	0,29
0,05	2,74	1,64	0,53
0,09	6,77	5,65	4,53
0,13	10,55	9,73	14,58
0,17	13,72	14,09	23,67
0,22	16,86	17,89	28,12
0,26	19,93	22,32	33,91
0,41	23,31	28,09	42,07
0,55	28,16	36,38	53,80
0,70	32,47	43,00	62,73
0,85	35,22	47,95	69,88
0,99	37,10	54,46	81,01
1,14	39,73	59,05	87,56
1,28	42,07	62,55	92,22
1,43	43,89	67,13	99,57
1,58	45,48	70,54	104,80
1,72	46,50	73,58	109,87
1,87	47,56	76,38	114,39
2,02	48,82	78,88	118,14
2,16	50,10	81,32	121,74
2,32	51,10	83,71	125,51
2,47	51,92	86,07	129,42
2,62	52,73	87,59	131,64
2,78	53,35	89,54	134,92
2,94	53,77	90,87	137,16
3,09	54,50	92,11	138,92
3,25	55,23	93,52	141,00
3,42	55,94	94,36	141,98
3,58	56,45	95,63	144,00
3,74	56,87	96,56	145,44
3,91	57,27	97,07	146,06
4,08	57,56	97,25	146,13
4,25	57,82	97,66	146,69
4,41	58,13	97,69	146,44
4,58	58,57	98,14	146,91
4,75	58,42	98,53	147,84
4,91	58,49	98,73	148,17
5,07	58,57	98,85	148,33
5,23	58,57	99,07	148,77
5,39	58,60	99,25	148,95
5,55	58,63	99,39	149,06
5,71	58,69	99,32	149,15
5,87	58,84	99,08	149,17
6,02	58,93	98,79	148,55
6,17	59,04	98,69	148,62
6,46	59,02	98,49	148,88
6,75	59,02	98,32	148,57
6,89	58,97	98,09	148,60
7,04	58,86	97,81	148,69
7,18	58,80	97,62	148,60
7,33	58,69	97,40	148,64
7,49	0,00	0,00	148,79

LO SPERIMENTATORE  
dott. Bertosa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Ballotti Marco

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - RACCOMANDAZIONI AGI

Committente: **Eurogeo s.n.c.**  
Località: **Via S.Alessandro, Bergamo**

Provenienza: **sondaggio S2**  
Campione n°: **GR2 (rim)**  
Profondità: **6,5 - 6,7 m**

Data apertura: **28/05/2018**  
Data inizio prova: **28/05/2018**  
Data fine prova: **01/06/2018**

CARATTERISTICHE DELLA PROVA			CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE		
Tipo di prova:	CONSOLIDATA DRENATA		Cella di carico 2kN - AEP TSTM n°225943:	(kN)	0,001
Numero di provini:	N°	3	trasduttore cedimenti verticali: ELE 215849	(mm)	0,001
Velocità della prova:	(mm/min)	0,004	trasduttore cedimenti orizzontali ELE 215843:	(mm)	0,001

Provino N	Dimensioni		Consolidamento			Fase di Rottura		
	H	D-L	$\sigma$	DH	T	$\sigma$	$\delta f$	$\tau$
	(mm)	(mm)	(KPa)	(mm)	(ore)	(KPa)	(mm)	(KPa)
1	20	60	104,06	1,078	24	104,06	6,17	59,0
2	20	60	208,11	1,644	24	208,11	5,55	99,5
3	20	60	312,17	2,135	24	312,17	5,87	149,1

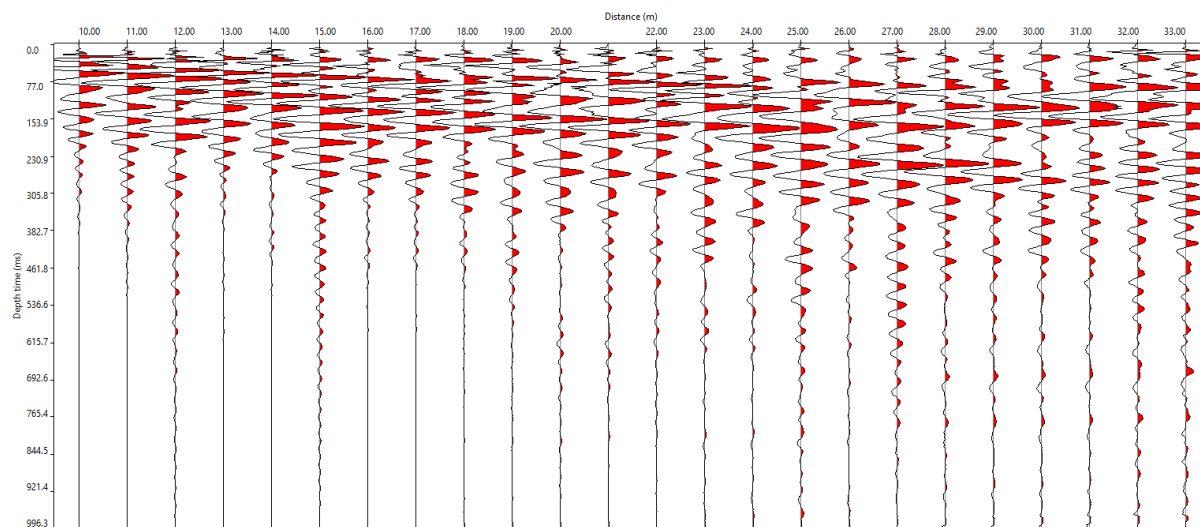
## RISULTATI VALORI DI PICCO

COESIONE  $C' = 12,2$  kPa  
ANGOLO DI ATTRITO  $\Phi' = 23,4$  gradi

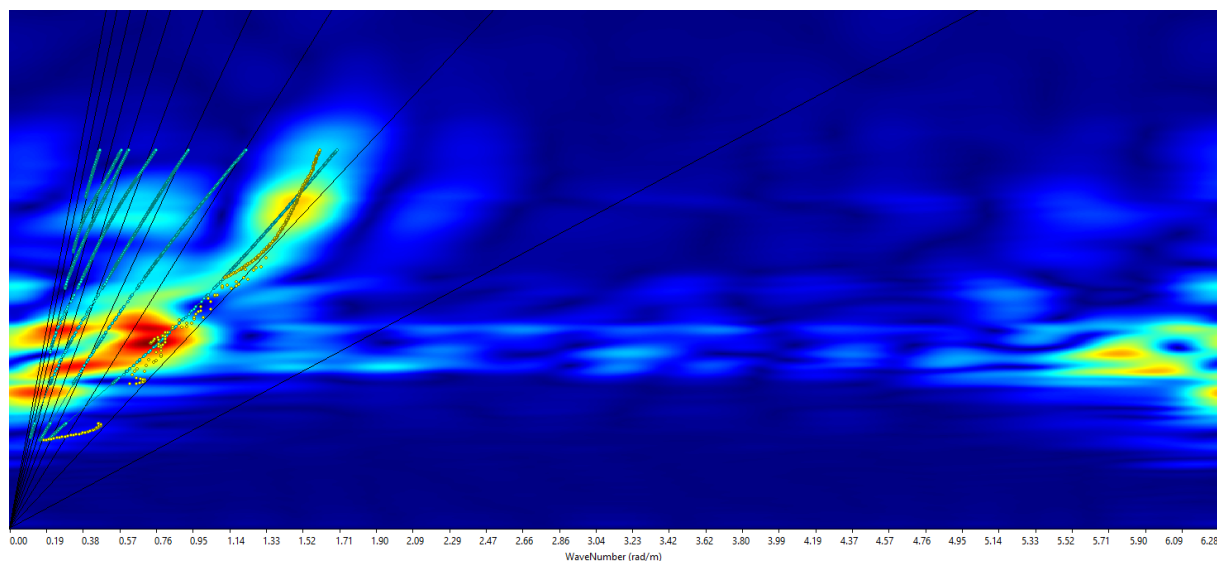


**VELOCITA' DELLE ONDE S**  
**PROVA MASW  $V_{Seq}$**

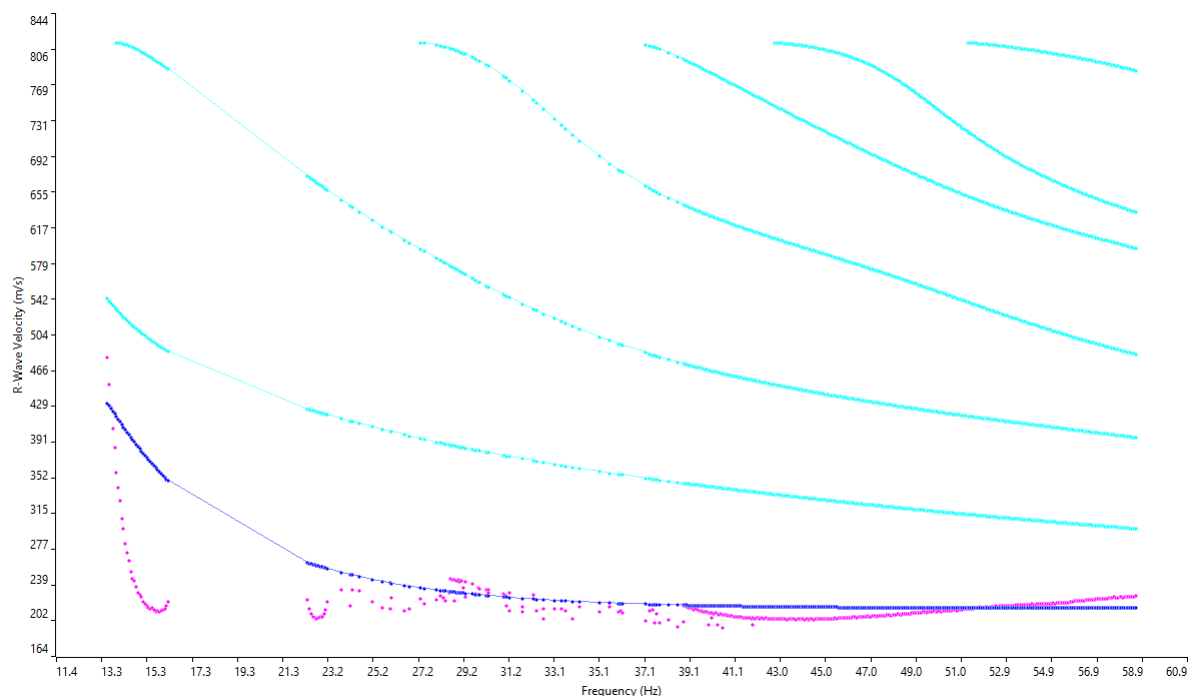
## SITO 1 (energizzazione 10 m)



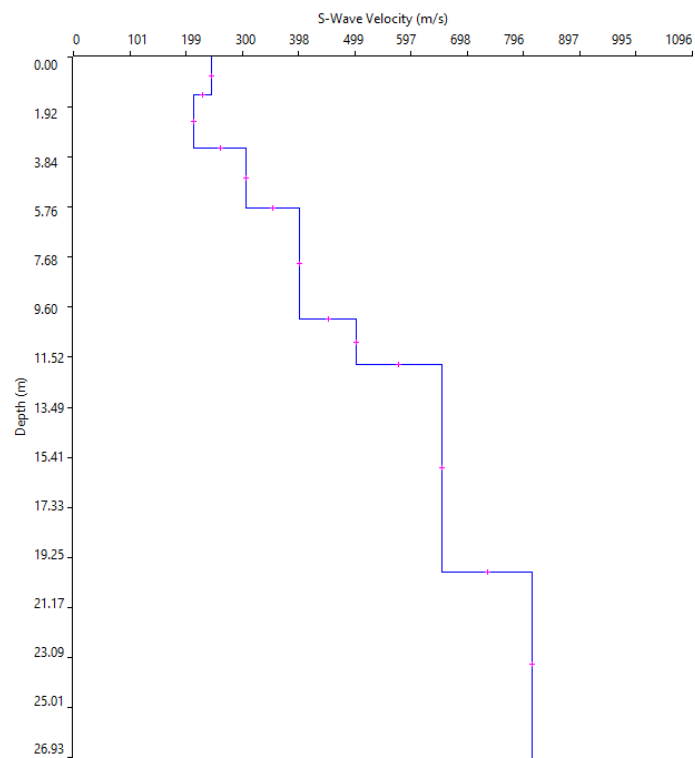
**Fig. 1: Sismogramma medio**



**Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità**



**Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)**



**Fig. 4: Distribuzione Vs**