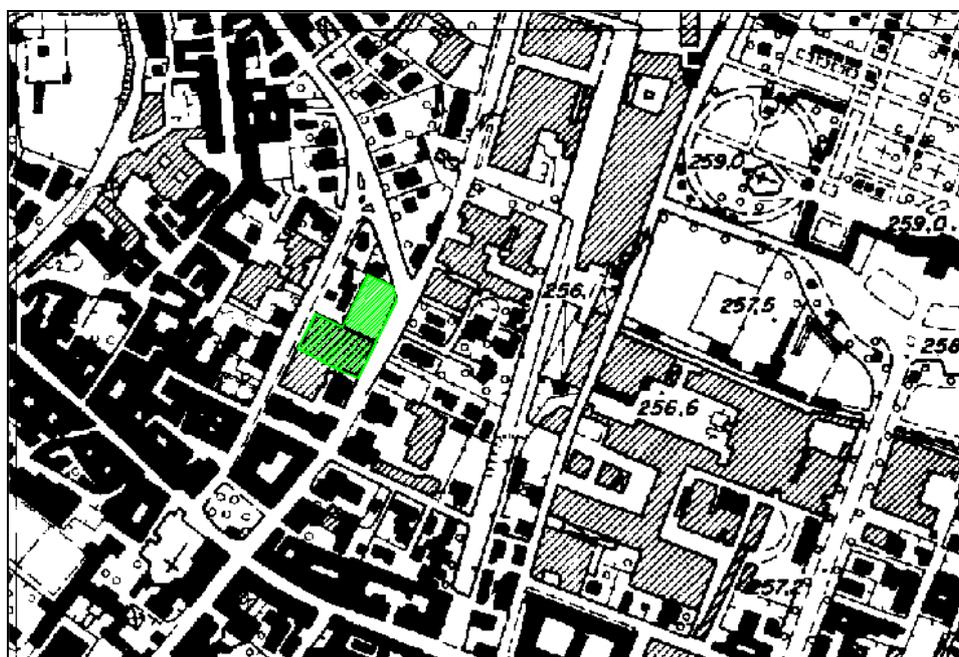


Operazione immobiliare Ne8 via Ghislandi, Bergamo

MAMMOLEGGIE MACCARINI S.R.L..

REALIZZAZIONE NUOVO COMPLESSO EDILIZIO A DESTINAZIONE RESIDENZIALE

TRA LE VIE V. GHISLANDI – A. NOLI – A. DA CALEPIO A BERGAMO



RELAZIONE GEOLOGICA – GEOFISICA

Gruppo di progettazione CityIn:

*Arch. Lucio Agazzi (Progettista Architettonico e D.L.);
Ing. Davide Arrigoni (Prog. e D.L. strutture);
Ing. Roberto Faletti (Prog. e D.L. impianti);
Ing. Lorenzo Signori (Coadiuvatore D.L. generale).*

Data:

Bergamo, 18-07-2016

Il professionista:

Dott. Geol. Pedrali Carlo
Via Crescenzi 65/L, 24123 Bergamo
Tel. 035-235559, Cell. 340-2392258
O.G.L. n.860

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. Vincoli e limitazioni di natura geologica dell'area	5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	6
3.1. Inquadramento geomorfologico - geologico	7
3.2. Inquadramento idrologico - idrogeologico	7
4. INQUADRAMENTO SISMICO	11
4.1. Definizione dell'azione sismica secondo le NTC 2008	11
5. INDAGINI IN SITO	13
5.1. Indagine sismica	14
5.1.1. Cenni teorici sulle metodologie impiegate	14
5.1.2. Modalità esecutiva	15
5.1.3. Risultati ottenuti	16
5.1.4. Pericolosità sismica locale	17
5.2. Sondaggi	28
5.2.1. Modalità esecutive perforazione a carotaggio continuo	28
5.2.2. Sintesi dei risultati emersi	28
5.2.3. Modalità realizzative piezometri di controllo falda	30
5.2.4. Indagini in foro	31
5.3. Indagini di laboratorio	34
5.4. Prove penetrometriche dinamiche (DSPH)	35
5.4.1. Modalità effettuazione prova	35
5.4.2. Elaborazione prove penetrometriche dinamiche	36
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	38
6.1. Correlazione tra i risultati ottenuti con le prove in sito	38
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	42
7.1. Pericolosità sismica locale	42
7.2. Caratteristiche dei terreni presenti	43
7.3. Falda acquifera	44
7.4. Parametri di resistenza meccanica dei terreni	44

La presente relazione è composta da 42 pagine di testo e da 5 allegati.

Bergamo 18/07/2016

Dott. Geol. Pedrali Carlo, O.G.L. 860



1. PREMESSA

La relazione espone i risultati dell'indagine geologica - geofisica effettuata, per conto della società Mammoleggi e Maccarini S.r.l., in merito alla realizzazione di un nuovo complesso edilizio ad uso residenziale in sostituzione di un edificato storico con un ingombro in pianta di 1.567,55 mq su un lotto di circa 3.707,76 mq di estensione. L'area di proprietà si estende tra le vie Vittore Ghislandi – Alessandro Noli – Ambrogio da Calepio.

La soluzione progettuale ha una consistenza di circa 4.948 mq di superficie commerciale lorda di pavimento che potrà ospitare, appartamenti e uffici e che prevede, **due piani interrati** occupanti l'intera superficie di proprietà, con parcheggio ceduto al Comune, box privati, magazzini, cantine, locali di servizio e tecnici.

Saranno realizzati 3 corpi di fabbrica di 5 piani fuori terra per un altezza complessiva di 16-17 metri. La profondità del pavimento del secondo piano interrato è prevista alla profondità di circa 6,5-6 metri rispetto al piano campagna attuale. Il piano di fondazione è previsto alla profondità di circa 7 metri.

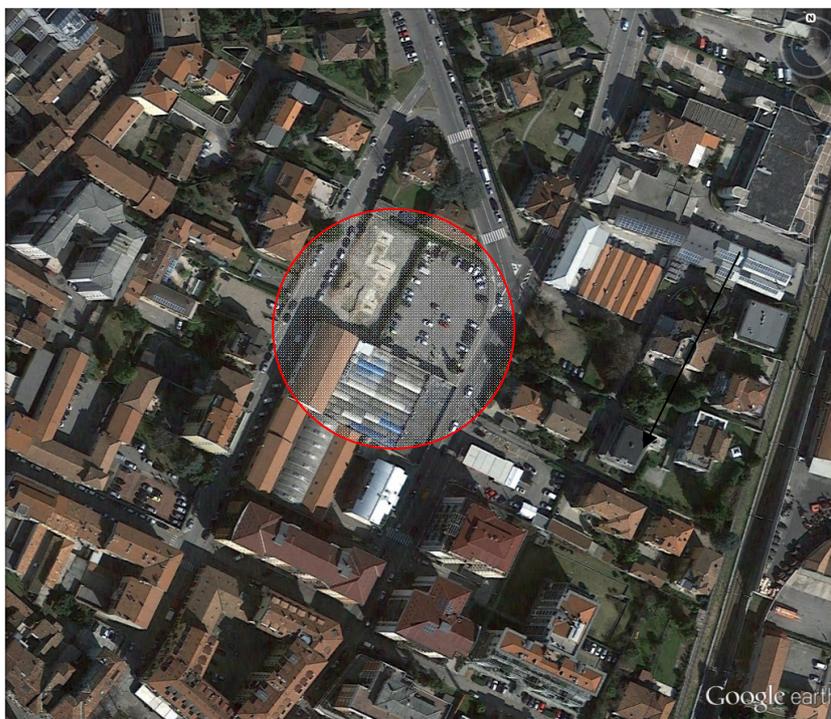


Figura n.1 Ubicazione dell'area da Google Earth.

1.1. Vincoli e limitazioni di natura geologica dell'area

Per quanto riguarda la compatibilità dell'intervento edificatorio in questione, ai sensi della D.G.R. n.2616 del 30/11/2011, si è fatto riferimento allo “**Studio geologico e Idrogeologico**” comunale redatto dalla società EUROGEO S.R.L nel dicembre 2008.

Di seguito si riporta quanto tratto dalla relazione geologica generale o riportato sulla cartografia allegata allo studio relativamente alle problematiche di natura geologico-ambientale.

Vincoli vigenti sull'area di natura ambientale (Carta dei vincoli, tavola SG12)

Sulla cartografia in questione, nell'area d'intervento, non sono indicati vincoli di natura ambientale o limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati.

Sintesi delle problematiche presenti sul territorio (Carta di Sintesi, tavola SG13a, SG13b Foglio A)

Sulla cartografia in questione, nell'area d'intervento, non sono indicate problematiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e idrauliche.

Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano, SG14b Foglio A)

L'area d'intervento è classificata in classe 3, sottoclasse “**Classe 3a** Area con consistenti limitazioni d'uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali e 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”.

“Alla sottoclasse 3a appartengono, i terreni dell'alta pianura, sulla quale insiste la maggior parte dell'area urbanizzata della città bassa, e della fascia pedecollinare, formati da depositi caratterizzati da consistenti disomogeneità tessiturali laterali e verticali, da scarsa capacità di drenaggio e da una circolazione idrica sub-superficiale, nonché gli accumuli di materiale riportato”.

“L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale”.

Pericolosità sismica locale (Carta di pericolosità sismica locale, SG9)

La zona appartiene allo **scenario Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi**.

Sulla carta SG14bis, l'area viene classificata con scenario "Z4a L2-3 - aree soggette ad amplificazione litologica in cui è necessario valutare puntualmente, in fase di progetto, il fattore di amplificazione tipico del sito in esame. Nel caso in cui tale valore fosse superiore ai limiti di soglia propri per il tipo di suolo si dovrà applicare il 3° livello di approfondimento sismico".

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la stesura della presente relazione si fa riferimento alla normativa nazionale e in particolare alle:

- Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14/01/2008);
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare del Consiglio Superiore Lavori Pubblici del 02/02/2008;
- **D.G.R.** n. 8/7374 del 28 maggio 2008 "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'Art.57 comma 1 della l.r. 11 marzo 2005, n.12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566.";
- **D.G.R.** n. X/2129 11 luglio 2014 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La quota del piano campagna naturale dell'area d'intervento è di circa 254 m s.l.m. (da aereofotogrammetrico comunale).

3.1. Inquadramento geomorfologico - geologico

L'area è pianeggiante o debolmente inclinata verso sudovest, non sono presenti fenomeni gravitativi di nessun tipo. La zona appartiene al Livello Fondamentale della Pianura ed è posta circa a 255 metri a sudest del torrente Morla.

Per quanto riguarda le caratteristiche geologiche, la cartografia geologica ufficiale (CARG – Foglio 098 Bergamo – 2012) attribuisce la genesi dei terreni più superficiali presenti nell'area, all'attività postglaciale di erosione e di rideposizione, in ambiente alluvionale, del torrente Morla e li colloca nel "Supersintema della Morla (OR Pleistocene medio – XIV Secolo)". Tali depositi troncano e suturano i depositi fluvioglaciali preesistenti appartenenti al "Supersintema di Gorle"; "Sintema di Scanzorosciate" e Sintema di Torre Boldone".

Si tratta di depositi alluvionali costituiti, secondo quanto riportato, prevalentemente da ghiaie con ciottoli da smussati ad arrotondati spesso alterati, attribuibili dal punto di vista litologico alle successioni cretache calcareo-marnose e silicoclastiche locali oltre che dalle litologie riprese in carico dai depositi preesistenti (basamento orobico e calcari triassici); alle litologie principali si intercalano sottili livelli sabbiosi. Sono presenti inoltre strati di argille, limi e sabbie di origine lacustre.

Da quanto emerso nelle indagini, alla sommità è presente un orizzonte metrico pedogenizzato di limo argilloso omogeneo.

Precedentemente la cartografia geologica della Provincia di Bergamo (2000) aveva attribuito questi terreni all'Unità di Torre Boldone (depositi fluvioglaciali alterati del Pleistocene Medio).

3.2. Inquadramento idrologico - idrogeologico

Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, una quarantina di metri a NNE del limite settentrionale dell'area d'intervento è presente la roggia Guidana (roggia per lo più coperta).

Per la ricostruzione della successione stratigrafica locale si è fatto riferimento alla stratigrafia dei tre pozzi più vicini, che risultano posti più ad est dell'area in questione e più precisamente quelli di:

- Loma s.r.l;
- Ire Omba;
- ex-Cisalpinia.

Pertanto la successione stratigrafica di riferimento è la seguente, procedendo dall'alto in profondità:

- da 0 fino a 6-7 metri limi con ghiaie argillosi;
- da 6-7 fino a 9-10 metri ghiaie e sabbie localmente cementate;
- da 9-10 fino a 14-15 metri limo con argilla e poca ghiaia;

- da 14-15 fino a 39-52 metri ghiaia con sabbia con livelli intercalati cementati (acquifero freatico regionale). Partendo da nordest si assiste all'ispessimento verso sud dell'acquifero (39 metri Loma, 52 metri Cesalpinia);
- da 39-52 a 67-70-87 metri, spessore in aumento verso sud, argille alla base dell'acquifero freatico regionale;
- locale orizzonte metrico ghiaioso di base;
- il substrato roccioso è presente ad una profondità di circa 70 metri, in aumento man mano ci si allontana dai rilievi collinari, quindi verso SE.

Correlando lateralmente i dati stratigrafici a disposizione si è ricostruito la seguente sezione idrogeologica.

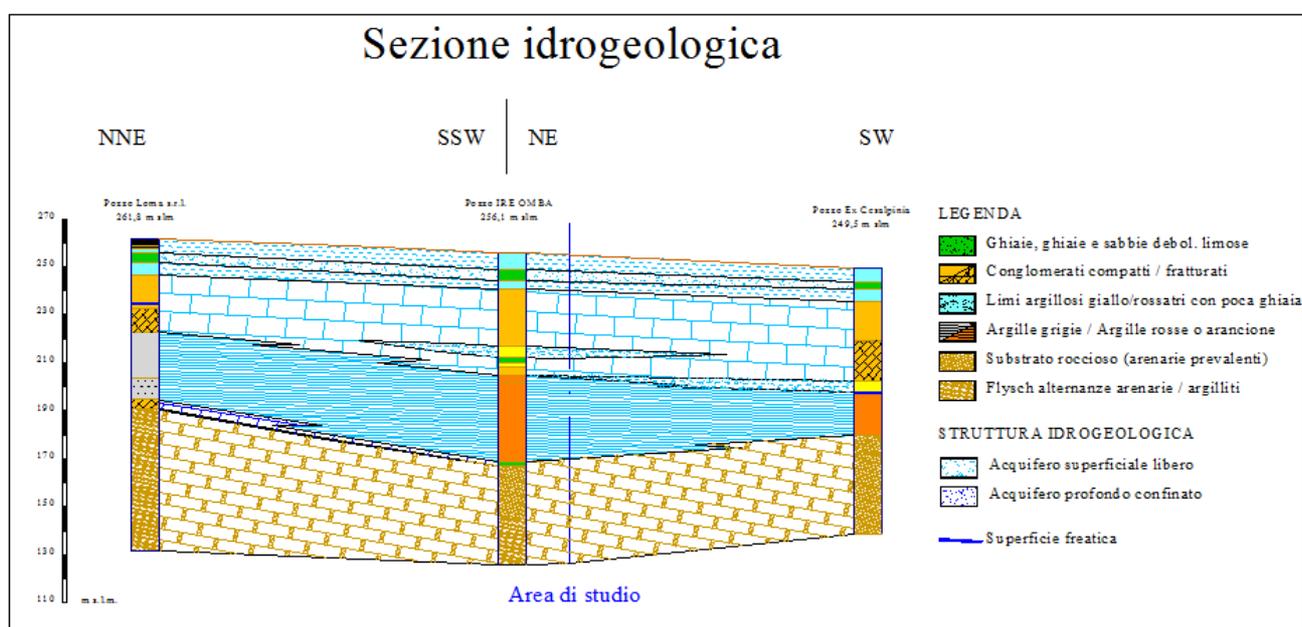


Figura n. 2 Sezione idrogeologica diretta NE-SW

Per quanto riguarda invece la circolazione idrica sotterranea, si fa riferimento alla documentazione bibliografica disponibile.

Secondo quanto riportato sulla carta idrogeologica (tavola SG 5, EUROGEO 2008) della componente geologica comunale, la direzione del flusso idrico sotterraneo è NNE-SSW, la superficie freatica relativa alla falda regionale è situata ad una ventina di metri di profondità dal piano campagna (circa 234 m s.l.m.). Il gradiente idraulico è di circa l'1,8 %.

Lo studio geologico attribuisce ai terreni superficiali presenti nell'area d'indagine una "Permeabilità medio alta (10^{-4} m/s – 10^{-6} m/s)" e per quanto riguarda la vulnerabilità all'inquinamento, come "Classe 4 Vulnerabilità alta".

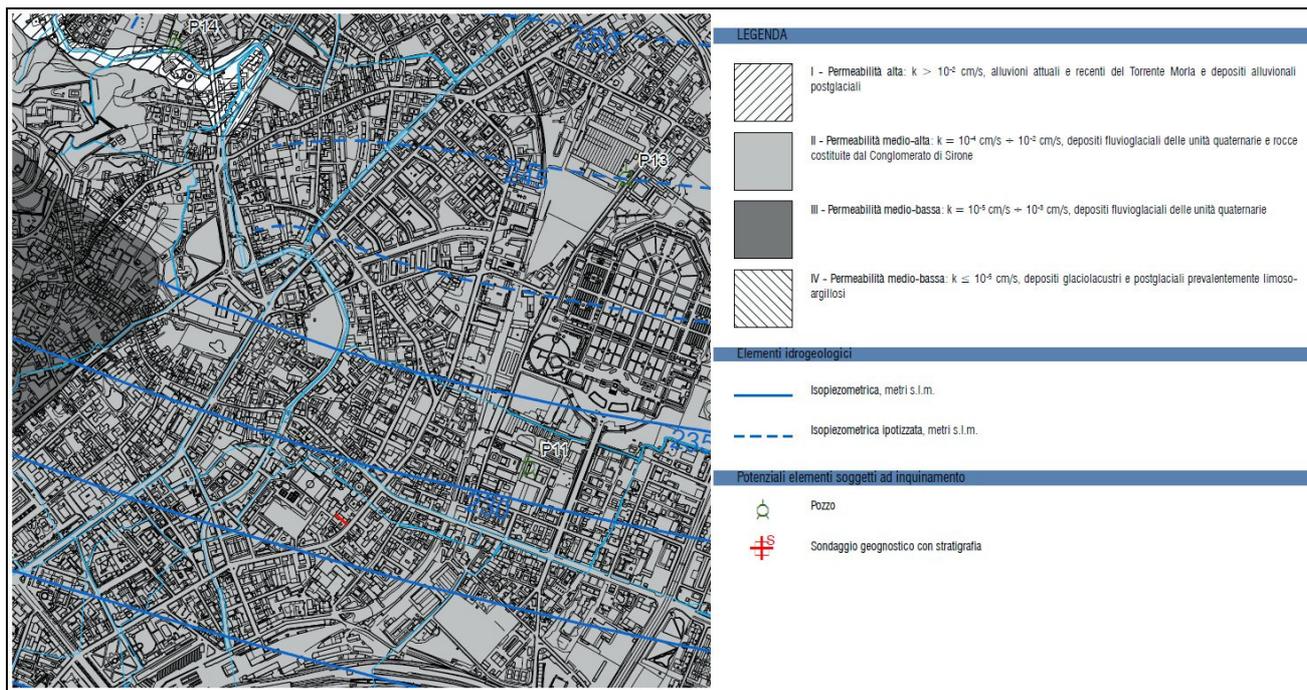


Figura n. 3 Stralcio carta idrogeologica componente geologica comunale (EUROGEO, 2008)

Per la zona d'interesse non sono disponibili dati freaticimetrici, oltre a quelli sotto riportati, presso gli enti consultati (Provincia, ARPA e C.B.M.P.B.).

In corrispondenza del pozzo ex-O.T.E., posto all'ingresso di via Serassi, nel gennaio 1986 il livello freatico era situato a -18,5 da p.c. e nel luglio del 1986 a -22,5 m da p.c.

Per la verifica della posizione attuale del livello freatico è stato possibile effettuare, in data 29/06/2016, la misurazione presso il pozzo del Convento Frati Cappuccini Minori di via Cappuccini (posto 400 metri circa a SW dell'area in questione). Il livello statico è risultato situato a 42 metri di profondità da p.c..

Interpolando linearmente i due livelli: ex-OTE e Frati Cappuccini, si può stimare per l'area d'interesse, un livello freatico posto ad una profondità approssimativa di circa -35 metri. Tale valore risulta molto superiore a quanto indicato sulla componente geologica comunale.

Per quanto riguarda l'oscillazione del livello freatico in relazione all'andamento delle precipitazioni meteoriche, si riporta il grafico sottostante dove si può constatare, anche se il pozzo in oggetto è situato più a sud dell'area in questione, un'oscillazione plurimetrica di quota della superficie freatica (4-5 metri).

BERGAMO

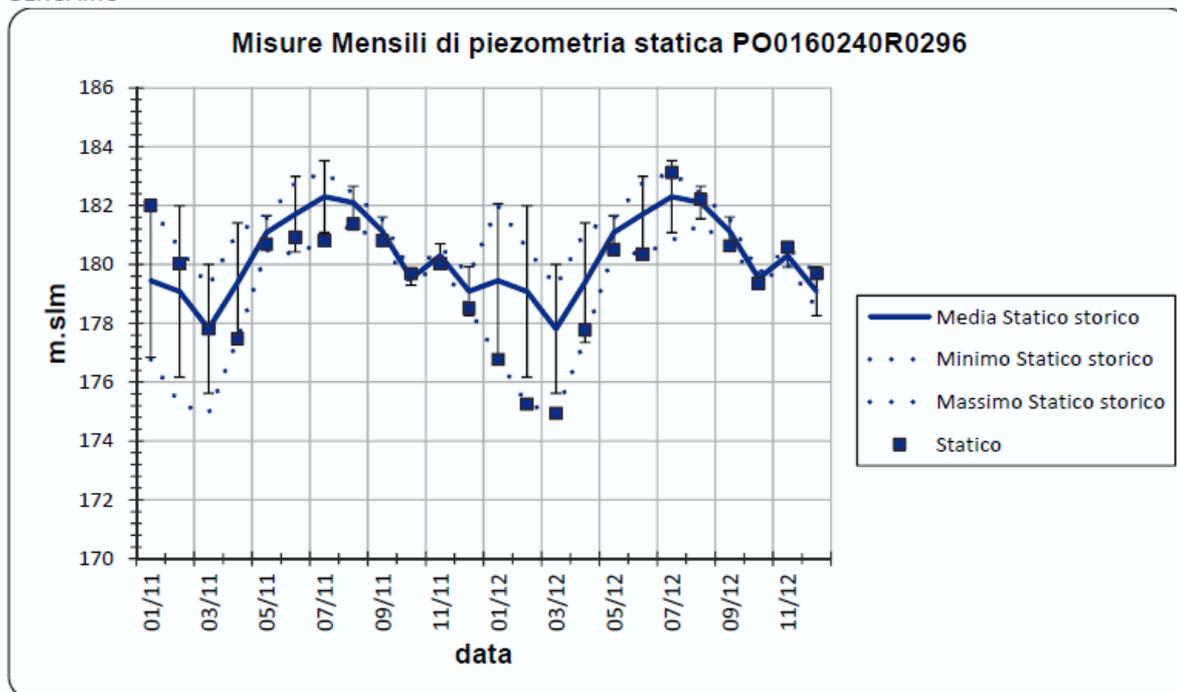


Figura n. 4 grafico tratto da “Stato delle acque sotterranee della Provincia di Bergamo, rapporto annuale 2012 ARPA Lombardia - Dipartimento di Bergamo (settembre 2013).

Per quanto riguarda il valore di permeabilità dei terreni in questione si faccia riferimento a quanto riportato sulla “Relazione idrogeologica” redatta dallo scrivente per l’area di studio.

4. INQUADRAMENTO SISMICO

4.1. Definizione dell'azione sismica secondo le NTC 2008

La normativa tecnica nazionale per le costruzioni considera come rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica, lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ sec ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

Le Norme Tecniche Costruzioni D.M. 14/01/2008 (cfr. tabella n.1 normativa) forniscono i parametri per la definizione dello spettro di risposta elastico relativo ad ogni località del territorio italiano.

Per la definizione dell'azione sismica da considerare per l'area d'interesse, occorre definire: vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento degli edifici in progetto. Nel caso specifico, secondo quanto confermato dal progettista, sono stati decisi i seguenti parametri:

- ZONA SISMICA

Secondo la classificazione sismica regionale (D.G.R. n.X/2129 del 11/07/2014) l'area è classificata in **Zona Sismica 3**

- TIPO COSTRUZIONE (tabella n.2.4.I, Cap. 2.4.1.delle NTC)

Tipo di costruzione: **2**

- VITA NOMINALE (V_N)

Tipo 2 "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale". Vita Nominale $V_N \geq 50$ anni;

- CLASSE D'USO (Cap. 2.4.2 e Cap. 2.4.3 delle NTC)

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". Coefficiente d'uso $C_u = 1.0$.

- PERIODO DI RIFERIMENTO ($V_R = V_n * C_u$)

Il periodo di riferimento per considerare le azioni sismiche sulla struttura è pertanto di **$V_R = 50 * 1,0 = 50$ anni.**

Pertanto, in relazione a quanto stabilito dalla normativa, si riportano i parametri sito-specifici determinati attraverso l'impiego del software predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Spettri - versione 1.0.3".

**Comune di Bergamo
Da Spettri - NTC (vers. 1.0.3)
Consiglio Superiore Lavori Pubblici
per opera in Classe II con $V_n = 50$ anni e $C_u = 1,0$**

	Coordinate ED50			
	latit.	45,69906	long.	9,685232
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0,030	2,437	0,197
Danno (SLD)	50	0,039	2,478	0,215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,111	2,417	0,271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,145	2,462	0,276

Tabella n.1 Parametri di spettro (NTC-2008). Con T_r = tempo di ritorno; a_g =accelerazione orizzontale massima in condizioni di campo libero su substrato di riferimento rigido orizzontale; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* = periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. .

In merito alla valutazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale, dello spettro di risposta elastico e di quello di progetto da adottare, visto che l'area d'intervento è pianeggiante, dovrà essere considerato possibile, esclusivamente il fenomeno di amplificazione legato all'eventuale presenza di contrasti d'impedenza tra i vari strati di terreno presenti nel sottosuolo.

5. INDAGINI IN SITO

Nell'area di studio, in accordo con il committente e il progettista, si deciso di effettuare le seguenti indagini la cui ubicazione è riportata nella sottostante figura:

- indagine geofisica tramite stendimento sismico di 24 geofoni per l'analisi delle onde sismiche di superficie mediante metodologia attiva (MASW) e passiva (Remi);
- 3 sondaggi a carotaggio continuo, a secco, di 15 metri attrezzati con altrettanti piezometri da 3" pollici di 15; 9,5 e 15 metri;
- 10 prove penetrometriche continue ubicate in corrispondenza delle aree accessibili del fabbricato e del piazzale ad uso parcheggio;
- per poter effettuare le indagini penetrometriche sono stati realizzati altrettanti prefori nella pavimentazione interna e del piazzale che hanno posto in evidenza gli spessori e le caratteristiche dei riporti.

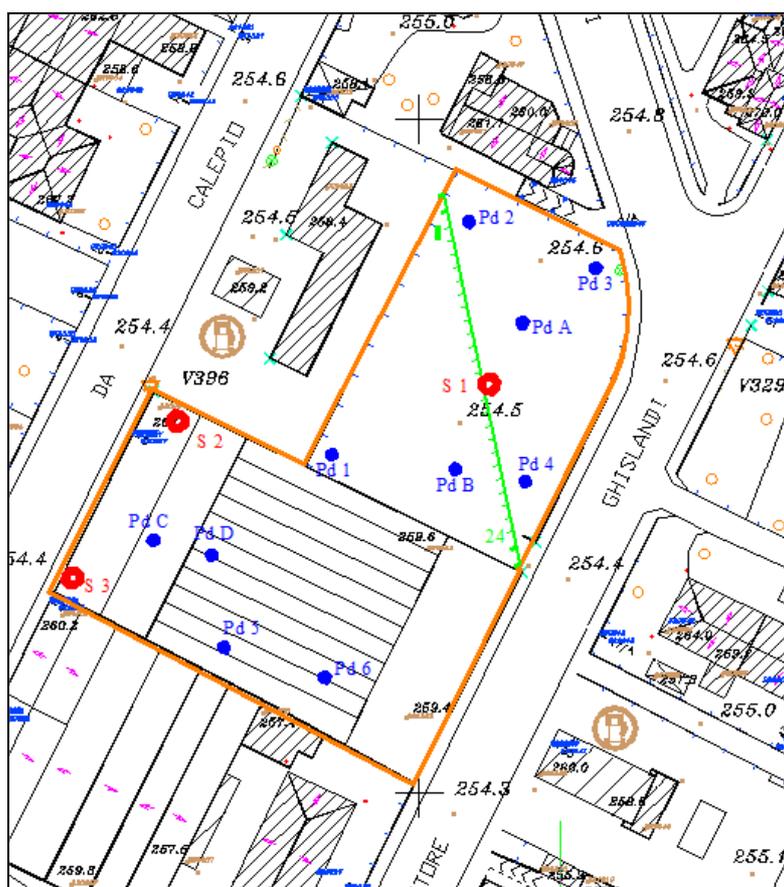


Figura n.5 Ubicazione delle indagini effettuate. I **punti blu** rappresentano le prove penetrometriche dinamiche effettuate (Pd), **in rosso** i 3 sondaggi a c.c. (S), la **linea verde** l'indagine sismica.

5.1. Indagine sismica

L'indagine sismica è stata effettuata allo scopo di valutare il valore di velocità delle onde di taglio (V_{S30}) nei primi 30 metri a partire dalla superficie e poter attribuire la categoria di sottosuolo ai terreni del sito d'indagine, così come stabilito dalla normativa nazionale in materia di costruzioni. Per tale valutazione è stata effettuata un'indagine costituita da una linea sismica diretta all'incirca N-S ed ubicata in [figura n.5](#).

Sono state impiegate metodologie d'indagine sismica superficiale di tipo indiretto: di tipo attivo come la tecnica MASW e i tipo passivo come la tecnica dei Microtremori.

5.1.1. Cenni teorici sulle metodologie impiegate

La metodologia di analisi dei dati utilizzata, prevede l'impiego congiunto dei risultati ottenuti sia con il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) che di quelli ottenuti con la tecnica dei Microtremori (Refraction Microtremor). Se applicati congiuntamente, i due metodi, incrementano l'affidabilità del modello geofisico interpretativo del sottosuolo.

Le due tecniche d'indagine impiegate si differenziano tra loro per la tipologia della sorgente del segnale registrato: il metodo MASW sfrutta una sorgente artificiale dei segnali "**sorgente attiva**" rappresentata generalmente da una massa battente sul terreno, mentre il metodo dei Microtremori registra il rumore "**sorgente passiva**" naturalmente già presente nel terreno.

I due metodi si basano sulla registrazione e sull'analisi delle onde di superficie (onde di Rayleigh) che si propagano in un semispazio elastico avente rigidità variabile con la profondità. La velocità di propagazione delle onde superficiali varia al variare della frequenza con le quali le onde si propagano nel mezzo dispersivo.

L'indagine prevede l'acquisizione in sito di numerosi registrazioni dei segnali e la successiva elaborazione dei dati.

La registrazione in campo dei segnali in arrivo ai geofoni, consente di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ($V(\text{fase})/\text{frequenza}$), successivamente, attraverso un'elaborazione per fasi (processo di inversione della curva di dispersione sperimentale,) si ricava l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie (modello geofisico preliminare del sottosuolo).

Il modello d'interpretazione del sottosuolo si basa sul presupposto teorico ideale dell'esistenza di strati/orizzonti sovrapposti, disposti orizzontalmente, e di spessore costante.

Il risultato alla quale si giunge è un profilo verticale **1D** che rappresenta l'andamento del valore medio della velocità delle onde di taglio in corrispondenza della zona centrale della linea sismica.

Il **modello teorico preliminare** che si ottiene non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologico - stratigrafiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) per poter passare all'identificazione di un **modello reale definitivo**.

5.1.2. Modalità esecutiva

La registrazione delle onde di superficie avviene con l'impiego di un sismografo ad elevata dinamica, con 24 geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz) .

Nel caso specifico è stato utilizzato un sismografo Geode (Geometrics) a 24 bits e 24 canali. Per quanto riguarda la registrazione dei Microtremori sono state effettuate oltre 40 registrazioni di 30 secondi ciascuna, mentre per il metodo attivo MASW sono state effettuate 4 registrazioni di 3 secondi ciascuna per ogni punto di scoppio posto esternamente alla linea sismica.

La configurazione dello stendimento sismico compatibilmente con lo spazio a disposizione è stata la seguente:

- lunghezza 46 metri, linea costituita da 24 geofoni da 4,5 Hz spazati di 2 metri, punti di scoppio esterni posizionati ad entrambi gli estremi della linea, a $\pm 2,5$ e ± 5 metri.

5.1.3. Risultati ottenuti

I risultati sperimentali ottenuti nel sito d'indagine costituiscono l'**Allegato n. 1**. Più precisamente sono riportate le immagini relative alle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e il modello interpretativo (V_s/z) che deriva dall'inversione dei risultati. Viene fornita inoltre una tabella con l'indicazione del valore della velocità delle onde di taglio per ogni intervallo di spessore che il modello interpretativo ha considerato.

Il profilo di velocità ottenuto è stato confrontato e correlato con la stratigrafia ricostruita nella sezione idrogeologica di [figura n. 2](#).

Per il calcolo della V_{s30} è stato utilizzata la seguente formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{s_i}}$$

dove:

h_i = spessore del singolo strato che costituisce la successione di N strati;

V_{s_i} = velocità delle onde di taglio in corrispondenza dello strato i esimo;

Il valore di V_{s30} ottenuto è di circa **503 m/s** ed è riferito al piano campagna attuale. Pertanto il sottosuolo è attribuibile alla **Categoria B**. Se si fa riferimento all'ipotesi del piano di fondazione a -7 metri, il valore di V_{s30} sale a **685 m/s**.

Il valore del periodo fondamentale di vibrazione del terreno (T_0), alla velocità di 800 m/s delle onde di taglio, è di **0,16 sec** se riferito al piano campagna attuale o di **0,09 sec** se riferito alla profondità fondazioni di -7,0 metri.

Per il calcolo del periodo fondamentale di vibrazione del terreno (T_0) si è considerato tutto lo spessore di depositi sino alla velocità di 800 m/s delle onde di taglio, utilizzando la seguente formula:

$$T_0 = \frac{4 * \sum_{(i=1, N)} h_i}{\sum_{(i=1, N)} (V_{s_i} * h_i) / (\sum_{(i=1, N)} h_i)}$$

Il valore di T_0 ottenuto è di **0,16 sec** se riferito al piano campagna attuale o di **0,09 sec** se riferito alla profondità fondazioni di -7,0 metri.

5.1.4. Pericolosità sismica locale

Il comune di Bergamo ricade in **zona sismica 3** (D.G.R. n.X/2129 il 14 luglio 2014), l'area d'indagine è pianeggiante, pertanto la zona non è soggetta ad amplificazione sismica di tipo topografico (Categoria: T1) ma solo ad eventuali amplificazioni di tipo litologico dovute a possibili contrasti d'impedenza sismica presenti nel sottosuolo.

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, l'indagine sismica effettuata ha attribuito i terreni alla "Categoria di sottosuolo B".

“**Categoria B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 e 800 m/s”;

Per valutare i possibili fenomeni di amplificazione sismica locale di **tipo litologico** si è proceduto ad effettuare verifiche di **2.0 e 3.0 livello** secondo quanto indicato dalla normativa regionale D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e s.m.i..

5.1.4.1. Verifica di secondo livello

La verifica di secondo livello è stata effettuata seguendo la procedura descritta nell’Allegato 5 della normativa regionale.

Tale procedura consente, in relazione alle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche dei terreni presenti, una valutazione di tipo semiquantitativo degli effetti di amplificazione sismica attesi nel sito di studio.

Nel caso specifico, visto che l’area d’intervento è pianeggiante, è stato considerato esclusivamente il fattore di amplificazione (F_a) relativo all’**effetto litologico**, che è stato determinato attraverso l’impiego delle **Schede - Litologia** opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano, per conto della Regione Lombardia.

Il valore del fattore di amplificazione (F_a), determinato mediante l’uso delle schede litologia sopracitate (**a meno** dell’approssimazione alla prima cifra decimale), viene utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto con l’applicazione dei parametri della normativa vigente per la categoria di sottosuolo di appartenenza.

La valutazione del grado di protezione è effettuata in termini di contenuto energetico, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede regionali di valutazione, con il parametro di analogo significato definito come “**Valore di Soglia**”, valutato rispetto allo spettro di normativa fornito per ciascun comune della Lombardia e per ogni categoria di sottosuolo, dal Politecnico di Milano p.c. della Regione Lombardia.

Tale valore è stato valutato (con $T=475$ anni), relativamente a due range di periodi fondamentali di oscillazione tipici delle tipologie edilizie più frequenti in Lombardia (**$0,1 \leq T \leq 0,5$ sec e $0,5 \leq T \leq 1,5$ sec**).

Tali valori sono contenuti nel file “**soglie_lomb.xls**” disponibile nella banca dati regionale; di seguito si riporta quanto estratto per il comune di Bergamo.

COMUNE	Intervallo di periodo T (sec)	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
BERGAMO	0.1 - 0.5	1,5	1,9	2,3	2,0

COMUNE	Intervallo di periodo T (sec)	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
BERGAMO	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,3	3,1

Tabella n.2. Valori di soglia (S) forniti dalla Regione Lombardia.

Tale **valore di soglia (S)** rappresenta quindi il numero limite superato il quale, lo spettro proposto di normativa risulterà non sufficientemente cautelativo nei riguardi dell'amplificazione sismica realmente presente nel sito di studio.

Si possono presentare due situazioni:

- laddove il valore di F_a determinato tramite scheda, risulta **inferiore** al valore di soglia corrispondente, la spettro di normativa è da considerarsi sufficientemente cautelativo e tale da poter comprendere gli effetti di amplificazione sismica locale.
Si applica quindi lo spettro previsto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni per la categoria di sottosuolo individuato;
- laddove il valore di F_a determinato risulta **superiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale. Quindi in fase di progettazione edilizia è necessario effettuare o analisi più approfondite di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro della norma (normativa nazionale) caratteristico della categoria di sottosuolo più scadente.
Lo spettro di norma più scadente da attribuire, deve essere individuato scegliendo tra le diverse possibilità di seguito elencate:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente rispetto al fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nel caso in questione, la variabilità litologica caratterizza la successione stratigrafica locale sino alla profondità di $V_s \geq 800$ m/s (bedrock sismico). Si alternano verticalmente, secondo quanto riportato sulle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzi della zona: ghiaie con limi e sabbie debol. argillose, limi con ghiaie argillosi, con clasti spesso alterati in sabbia, ghiaie e sabbie limose loc. cementate. Complessivamente, sino alla profondità indagata (15 metri), risultano prevalenti granulometrie grossolane (ghiaie) in matrice limoso argillosa, tuttavia cautelativamente, vista la generale variabilità sia laterale che verticale sono state utilizzate per la verifica di secondo livello le schede effetti litologici:

- Scheda litologia ghiaiosa;
- Scheda litologia sabbiosa;
- Scheda litologia limoso – argillosa;

L'andamento del profilo di Vs in profondità (a partire dal piano campagna) permane completamente nel campo di validità di tutte le curve sperimentali (fino a 800 m/s) riportate sulle schede utilizzate che pertanto risultano tutte applicabili.

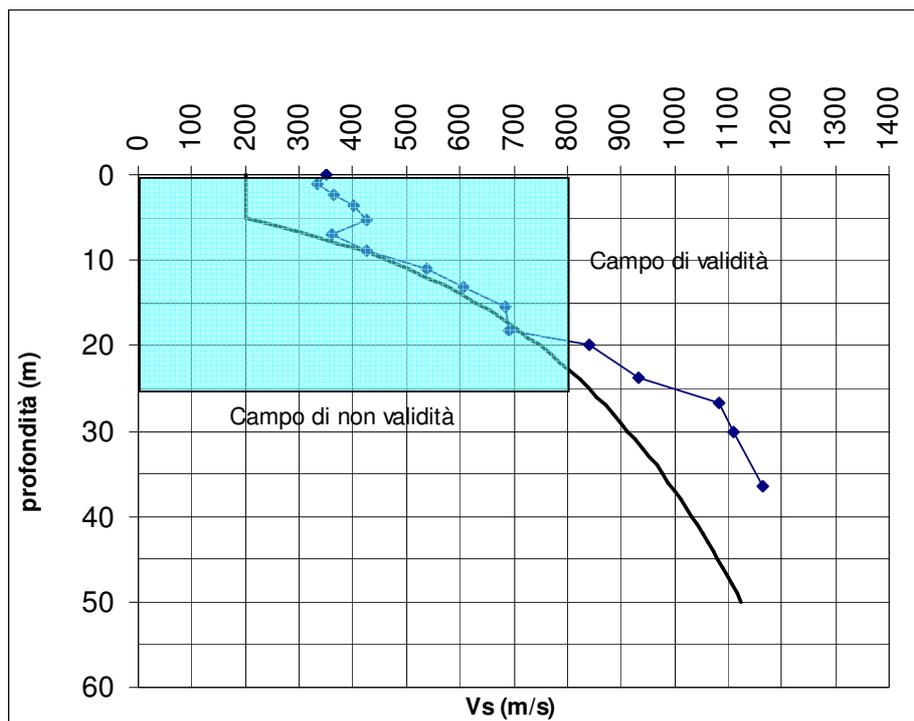


Figura n.6 Andamento della velocità (Vs) con la profondità, riferite alla curva tipo della scheda litologie ghiaiose.

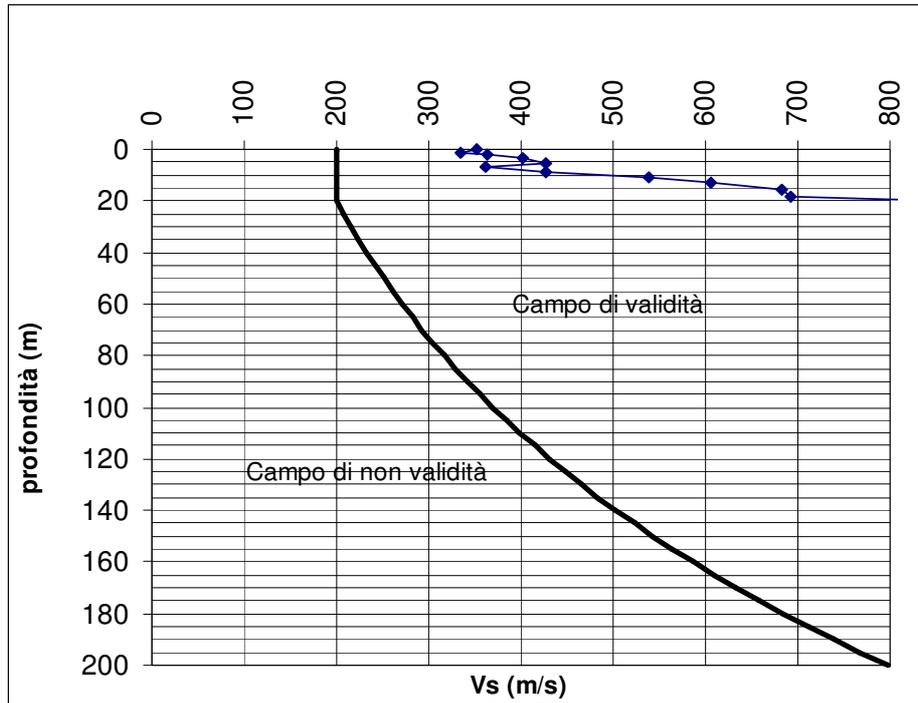


Figura n.7 Andamento della velocità (Vs) con la profondità, riferite alla curva tipo scheda sabbie.

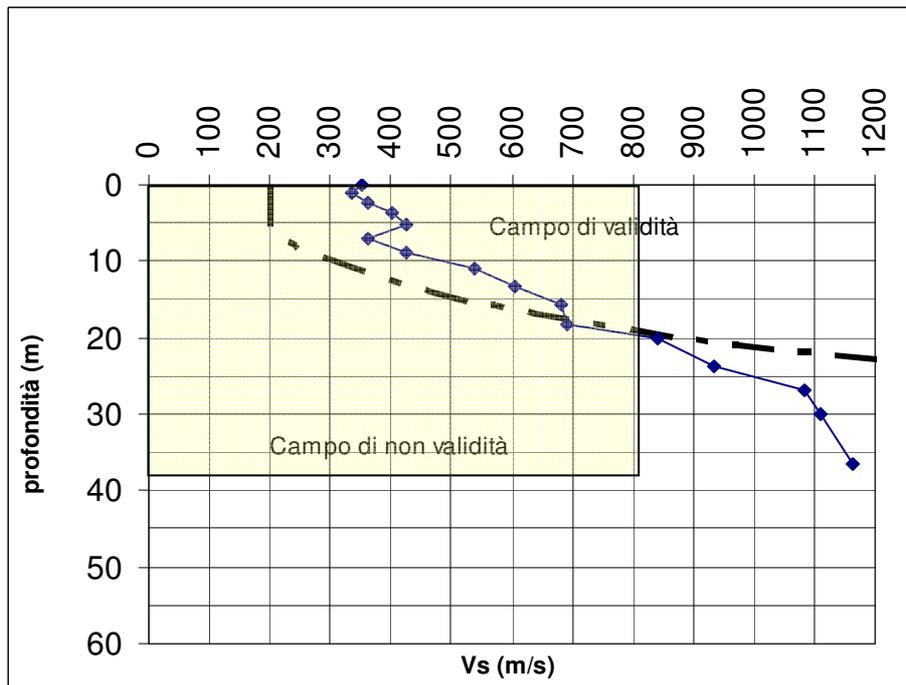


Figura n.8 Andamento della velocità (Vs) con la profondità, riferite alla curva tipo scheda limoso-argillosa (tipo 1).

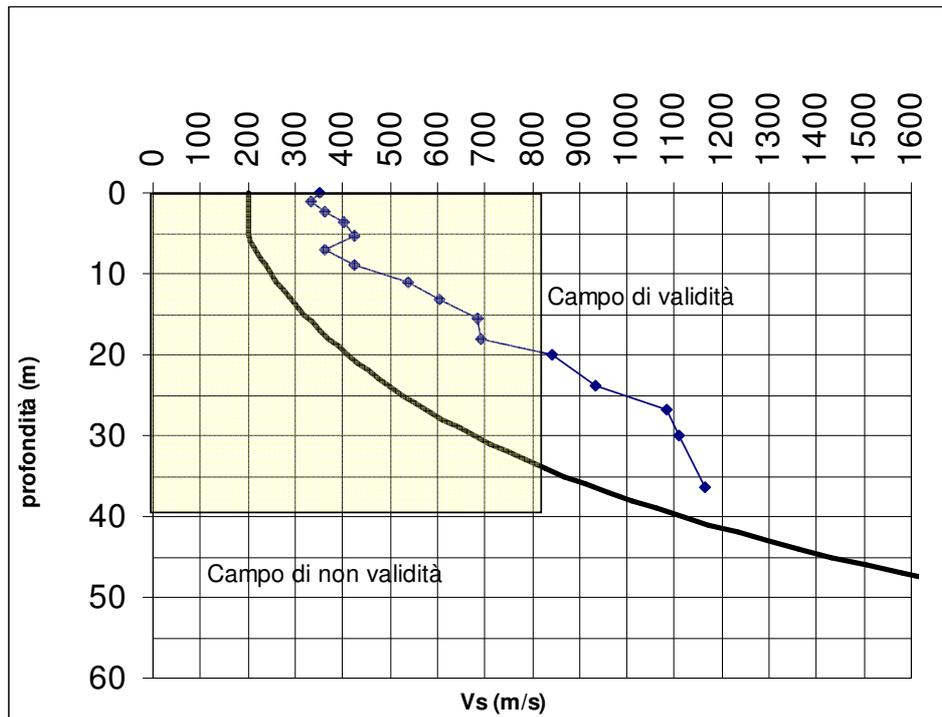


Figura n.9 Andamento della velocità (Vs) con la profondità, riferite alla curva tipo scheda limoso-argillosa (tipo 2).

L'analisi di secondo livello, adottando la procedura regionale ed utilizzando le formule riportate sulle schede sopracitate, ha portato alla stima dei seguenti valori di fattore di amplificazione:

Test di verifica	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo B	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo B
Scheda ghiaie	1,28+0,1	1,5	1,06+0,1	1,7
Scheda sabbie	1,49+0,1	1,5	1,13+0,1	1,7
Scheda limo-argillosa (tipo 1)	1,34+0,1	1,5	1,07+0,1	1,7
Scheda limo-argillosa (tipo 2)	1,41+0,1	1,5	1,14+0,1	1,7

Tabella n.3. In rosso i superiori del valore di F.a. rispetto al valore di soglia (S) riferito alla categoria di sottosuolo della zona. In arancione i valori al limite di accettabilità ed in verde i valori congrui.

Il valore di F.a. ottenuto, supera il valore di soglia per la categoria di sottosuolo B, per le sole schede sabbie e scheda limo argillosa (tipo 2), relativamente al periodo di oscillazione compreso tra 0,1-0,5 sec. e pertanto per edifici con fondazioni superficiali e con periodo di oscillazione compreso in tale intervallo, si consiglia l'adozione dei parametri di normativa relativi alla categoria

qualitativamente inferiore, la **categoria di sottosuolo C**.

Tali valori sono stati ottenuti considerando il **profilo Vs/z a partire dal piano campagna**.

E' stata ripetuta la stessa operazione a partire del piano di fondazione, a -7,0 metri da p.c. (secondo piano interrato), e come si può constatare la situazione migliora nettamente.

	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo B	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo B
Scheda ghiaie	1,16+0,1	1,5	1,01+0,1	1,7
Scheda sabbie	1,22+0,1	1,5	1,02+0,1	1,7
Scheda limo-argillosa (tipo 1)	1,16+0,1	1,5	1,02+0,1	1,7
Scheda limo-argillosa (tipo 2)	1,08+0,1	1,5	1,03+0,1	1,7

Tabella n.4. In rosso **i superi del valore di F.a.** rispetto al valore di soglia (S) riferito alla categoria di sottosuolo della zona. In arancione i valori al limite di accettabilità ed in verde i valori congrui. **In questo caso non si ha superi con nessuna scheda pertanto i parametri sismici da adottare sono quelli della categoria di sottosuolo B.**

5.1.4.2. Verifica di terzo livello

La verifica di terzo livello è stata condotta con il codice di calcolo Shake 91 che utilizza un modello monodimensionale a strati continui e considera un comportamento sismico del terreno di tipo visco-elastico-lineare.

I modelli sismici locali adottati per tale verifica nei due casi di fondazione a piano campagna e di fondazione posta a -7 metri sono i seguenti:

sismostrato n.	profondità base strato da quota p.c. attuale m	natura terreno	densità t/mc	Vs m/s
1	0,8 - 1,1	pavimentazione + terreni di riporto	1,8	350
2	1,2 - 1,5	limo argilloso consistente	1,9 - 2,0	330
3	7,0 - 8,0	alternanze ghiaie con limo argillosi consistenti con ghiaie e/con limo sabbiose debil. argillosi molli	1,9	380
4	10 - 11	ghiaie con sabbie limose loc. cementate	2,0	430
5	15 - 16	alternanze ghiaie con limo argillosi consistenti con ghiaie e/con limo sabbiose debil. argillosi molli	2,0	570
7	19 - 20 ?	ghiaie con sabbie limose	2,0	740
8	>20	ghiaie con sabbie limose freq. cementate (conglomerati)	2,0 - 2,2	>800

sismostrato n.	profondità base strato da quota -7,0 m m	natura terreno	densità t/mc	Vs m/s
1	0 - 1	alternanze ghiaie con limo argillosi consistenti con ghiaie e/con limo sabbiose debil. argillosi molli	1,9	380
2	3 - 4	ghiaie con sabbie limose loc. cementate	2,0	430
3	8 - 9	alternanze ghiaie con limo argillosi consistenti con ghiaie e/con limo sabbiose debil. argillosi molli	2,0	570
4	12 - 13 ?	ghiaie con sabbie limose	2,0	740
5	>13	ghiaie con sabbie limose freq. cementate (conglomerati)	2,0 - 2,2	>800

Tabella n.5. Modello sismico locale.

La verifica con Shake 91, è stata ottenuta introducendo il modello sismico locale riferito sia a partire dal piano campagna, sia dal piano fondazioni (-7 metri dal piano campagna attuale).

Test di verifica a piano campagna	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo (B)	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo (B)
Shake 91' (modello monodimensionale)	Val. max.= 1,46 Val. med.= 1,35	1,5	Val. max.= 1,13 Val. med.= 1,07	1,7

Tabella n.6. In **rosso** gli eventuali superiori del valore di F.a. rispetto al valore di soglia (S) riferito alla categoria di sottosuolo della zona. In **arancione** i valori al limite di accettabilità ed in **verde** i valori congrui.

Ipotizzando il piano di posa delle fondazioni a - 7 metri da p.c., la situazione migliora ulteriormente.

Test di verifica a quota fondazione (-7 metri)	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo (B)	Fa da scheda	Valore di Soglia (f) categoria di sottosuolo (B)
Shake 91' (modello monodimensionale)	Val. max.= 1,10 Val. med.= 1,08	1,5	Val. max.= 1,03 Val. med.= 1,02	1,7

Tabella n.7. In **rosso** gli eventuali superiori del valore di F.a. rispetto al valore di soglia (S) riferito alla categoria di sottosuolo della zona. In **arancione** i valori al limite di accettabilità ed in **verde** i valori congrui.

L'analisi di terzo livello, conferma l'adeguatezza dei parametri di spettro relativi alla categoria di sottosuolo B già a partire dal piano campagna sia per edifici con periodo di oscillazione compreso tra 0,1-0,5 sec che soprattutto per edifici con periodo di vibrazione superiore (0,5-1,5 sec) come ne caso in questione, se si considera l'edificio isolato perimetralmente dal terreno circostante a partire dal 2.° piano interrato.

Pertanto si allegano i parametri sito specifici da adottare per la progettazione dell'opera in questione.

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 45,69906

longitudine: 9,685232

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 11379 Lat: 45,6734; Lon: 9,6309 Distanza: 5091,990

Sito 2 ID: 11380 Lat: 45,6757; Lon: 9,7023 Distanza: 2918,078

Sito 3 ID: 11158 Lat: 45,7256; Lon: 9,6991 Distanza: 3144,167

Sito 4 ID: 11157 Lat: 45,7234; Lon: 9,6277 Distanza: 5221,660

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,030 g
Fo: 2,437
Tc*: 0,197 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,039 g
Fo: 2,478
Tc*: 0,215 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,111 g
Fo: 2,417
Tc*: 0,271 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,145 g
Fo: 2,462
Tc*: 0,276 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,520
St: 1,000
Kh: 0,007
Kv: 0,004
Amax: 0,351
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,500
St: 1,000
Kh: 0,009

Kv: 0,005
Amax: 0,454
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,430
St: 1,000
Kh: 0,032
Kv: 0,016
Amax: 1,305
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,042
Kv: 0,021
Amax: 1,709
Beta: 0,240

(Le coordinate espresse in questo file sono in ED50; tratto da Geostru software - www.geostru.com)

5.2. Sondaggi

Sono stati effettuati tre sondaggi a carotaggio continuo, per individuare le caratteristiche granulometriche e qualitative dei terreni presenti sino alla profondità di 15 metri da piano campagna.

Le descrizioni stratigrafiche e le relative riprese fotografiche dei terreni carotati sono riportati sulle **tavole n. 1, 2 e 3** fuori testo e allegati alla presente.

5.2.1. Modalità esecutive perforazione a carotaggio continuo

Visto lo scopo sia geotecnico che ambientale dei sondaggi, si è proceduto avanzando lentamente a secco per non riscaldare i terreni campionati e non alterare l'eventuale contenuto inquinante, rivestendo dopo ogni manovra di approfondimento le pareti del foro e pulendo il carotiere con pulivapor prima di procedere con la successiva manovra di approfondimento. E' stata utilizzata esclusivamente acqua potabile per la calata dei rivestimenti nei soli tratti granulari grossolani e/o cementati (da 7-8 metri sino a 11 metri da p.c.). Durante l'effettuazione dei sondaggi sono state effettuate prove SPT e prove di permeabilità a carico costante nei soli intervalli permeabili.

5.2.2. Sintesi dei risultati emersi

5.2.2.1. Sondaggio S 1

Il sondaggio S 1 è stato ubicato all'incirca al centro dell'attuale parcheggio interno TRONY (foto n. 5 e tavola n.1).

La sintetica descrizione della successione stratigrafica incontrata è la seguente:

- da 0,00 a 0,26 metri pavimentazione in asfalto poggiata su un orizzonte di inerte granulare di riporto addensato;
- da 0,26 a 0,85 metri suolo costituito da limo argilloso di colore nocciola;
- da 0,85 a 6,50 metri alternanza di ghiaie con limo debil. argillose con livelli di ghiaie limoso sabbiose di colore nocciola;
- da 6,50 a 10,52 metri ghiaia e sabbia ciottoloso limosa con orizzonti cementati decimetrici colore panna chiaro;
- da 10,52 a 15,00 metri alternanza di ghiaie con limo sabbiose debil. argillose con livelli di ghiaie limoso sabbiose di colore nocciola.

5.2.2.2. Sondaggio S 2

Il sondaggio S 2 è stato ubicato all'interno dell'edificio industriale, nell'angolo NW, subito a valle del limite di proprietà confinante con l'adiacente area ex-distributore, in linea con gli scavi effettuati per la rimozione dei serbatoi interrati ancora visibili ma ricoperti qualche giorno dopo (foto n. 6 e 7, tavola n.2).

La sintetica descrizione della successione stratigrafica incontrata è la seguente:

- da 0,00 a 0,70 metri pavimentazione in piastrelle bianche su piastrelle rosse tipo "GRES", 2 getti in cls poggiati su un orizzonte di inerte granulare di riporto addensato;
- da 0,70 a 0,90 metri suolo costituito da limo argilloso di colore nocciola misto a residui di carbone nero lucente;
- da 0,90 a 1,48 metri suolo costituito da limo argilloso di colore nocciola;
- da 1,48 a 7,70 metri alternanza di ghiaie con limo debil. argillosi con livelli di ghiaie limoso sabbiose di colore nocciola;
- da 7,70 a 9,80 metri ghiaia e sabbia ciottoloso limosa con orizzonti cementati decimetrici colore panna chiaro;
- da 9,80 a 15,00 metri alternanza di ghiaie con limo debil. argillose con livelli di ghiaie limoso sabbiose di colore nocciola.

5.2.2.3. Sondaggio S 3

Il sondaggio S 3 è stato ubicato una trentina di metri a SSW del sondaggio S 2 all'interno dell'edificio industriale, nell'angolo a SW, (foto n. 8, tavola n.3).

La sintetica descrizione della successione stratigrafica incontrata è la seguente:

- da 0,00 a 0,67 metri pavimentazione in piastrelle bianche su getto in cls poggiato su un orizzonte di inerte granulare di riporto addensato;
- da 0,67 a 0,74 metri suolo costituito da limo argilloso di colore nocciola misto a residui di carbone nero lucente;
- da 0,74 a 1,50 metri suolo costituito da limo argilloso di colore nocciola;
- da 1,50 a 7,40 metri alternanza di alternanza di ghiaie con limo debil. argillose con livelli di ghiaie limoso sabbiose di colore nocciola;
- da 7,40 a 11,10 metri ghiaia e sabbia limosa con orizzonti cementati decimetrici colore panna chiaro;
- da 11,10 a 15,00 metri alternanza di ghiaie con limo debil. argillose con livelli di ghiaie con sabbia limose di colore nocciola chiaro.

5.2.3. Modalità realizzative piezometri di controllo falda

Allo scopo di individuare la presenza di eventuali falde di tipo sospeso, individuate in altri settori della città, si è deciso di realizzare in corrispondenza dei 3 fori di sondaggio altrettanti piezometri in PVC da 3”.

La realizzazione dei piezometri ha seguito la seguente procedura:

- raggiunta la profondità massima d’indagine con il rivestimento delle pareti del foro, realizzazione del tappo in bentonite di fondo per isolare il soprastante tratto finestrato dai terreni sottostanti;
- successivamente viene calata nel foro la tubazione, assemblando gli spezzoni di tubo a partire dal fondello e del tratto filtrante, fino a raggiungere il piano campagna;
- realizzazione del dreno attorno al tratto filtrante con ghiaietto siliceo di 2.0 mm di diametro. Durante la realizzazione del dreno, l’operatore si assicura costantemente che il dreno riempia completamente l’intercapedine tra pareti del foro e piezometro per evitare assestamenti successivi che potrebbero interrompere la continuità e l’efficacia del dreno stesso;
- raggiunta la quota sommitale del tratto filtrante con il dreno, si è provveduto alla realizzazione del tappo di bentonite sommitale allo scopo di isolare il tratto filtrato da eventuali infiltrazioni provenienti dal tratto di foro soprastante.
- alla sommità il piezometro, realizzato a filo pavimentazione industriale, è stato sigillato ancora con bentonite e fornito di tappo di chiusura filettato (piezometri interni) oppure di tappo e di chiusino carrale a p.c., per il piezometro situato in corrispondenza del parcheggio interno.

5.2.3.1. Piezometro S 1

Il piezometro in corrispondenza del foro di sondaggio S 1 ha una lunghezza complessiva di 15 metri ed è filtrato negli ultimi 1,5 metri. Le fenestrature sono radiali e di 0,5 mm di larghezza.

Lettura di livello: il 27/06/2016, 08/07/2016 e il 16/07/1016 il piezometro risulta asciutto.

5.2.3.2. Piezometro S 2

Il piezometro in corrispondenza del foro di sondaggio S 2 ha una lunghezza complessiva di 9,5 metri ed è filtrato negli ultimi 1,5 metri. Le fenestrature sono radiali e di 0,5 mm di larghezza.

Lettura di livello: il 27/06/2016, 08/07/2016 e il 16/07/1016 il piezometro risulta asciutto.

5.2.3.3. Piezometro S 3

Il piezometro in corrispondenza del foro di sondaggio S 3 ha una lunghezza complessiva di 15 metri ed è filtrato negli ultimi 3,0 metri. Le fenestrature sono radiali e di 0,5 mm di larghezza.

Lettura di livello: il 27/06/2016, 08/07/2016 e il 16/07/1016 il piezometro mostrava circa 25 centimetri di acqua al fondo.

5.2.4. Indagini in foro

5.2.4.1. Prove di permeabilità speditive

Per stimare il grado di permeabilità degli orizzonti permeabili incontrati durante l'effettuazione dei sondaggi, si è proceduto ad effettuare due prove speditive di assorbimento immettendo acqua nel foro rivestito sino ad una certa profondità ed il tratto terminale del foro a parete non rivestita:

- la prima prova è stata effettuata nel sondaggio S1 tra i 6,0 e i 7,5 metri di profondità (tratto della parete di foro di sondaggio non rivestita: 1,5 metri). Il livello dell'acqua lungo il foro non è rimasto stabile, con una portata media assorbita di 2,4 l/s. La permeabilità calcolata (K sperim.) risulta superiore a $5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s;
- la seconda prova è stata effettuata nel sondaggio S2 tra i 7,5 e gli 8,4 metri di profondità (tratto della parete di foro di sondaggio a parete non rivestita: 0,9 metri). Il livello dell'acqua oscilla a circa 25 centimetri sotto la sommità dei tubi di rivestimento, la portata media assorbita è 2,7 l/s, pertanto la permeabilità risultante è di $9,2 \cdot 10^{-3}$ m/s.

5.2.4.2. Prove SPT

Nel corso della perforazione del sondaggio S1 e del sondaggio S3 sono state effettuate complessivamente 10 prove SPT (Standard Penetration Test). Nel foro di sondaggio S2 non è stato possibile effettuare prove SPT per la ridotta altezza a cui era posto il soffitto.

La prova SPT viene effettuata calando sul fondo del foro di sondaggio un campionatore (nel caso specifico, in relazione alla presenza di materiali ghiaiosi è stata utilizzata la punta conica chiusa). Una volta osservata l'infissione iniziale dovuta al peso proprio del sistema costituito da punta-aste-dispositivo d'infissione, si solleva il maglio di 63,5 kg e, attraverso un sistema di sganciamento automatico, lo si lascia cadere da un'altezza di 0,76 metri; ciò provoca l'infissione della punta conica (diametro 51mm, angolo 60°). Si effettua così un'infissione primaria di 150 mm registrando il numero di colpi (N1) necessari per tale avanzamento, quindi si procede con l'infissione vera e propria di 150 mm + 150 mm e si registra il numero di colpi complessivo N_{spt} dato dalla somma del numero di colpi N2 e N3 relativi al secondo e terzo approfondimento.

I risultati ottenuti dalle prove SPT sono riassunti nella sottostante tabella, ad essi sono stati affiancati i valori dei principali parametri geotecnici ottenuti attraverso l'impiego delle relazioni sperimentali riportate nel paragrafo successivo.

Profondità della prova	N1 – N2 – N3 (numero colpi ogni 15cm)	N_{spt} numero colpi/30 cm)	N1(60)	Dr (%)	φ' (°)	E' (MPa)	E_{ed} (MPa)
-3,00 / 3,45	5 – 7 – 5	12	16	42	31	15	7,2
-6,00 / 6,45	2 – 3 – 3	6	6	26	27	10	3,6
-9,00 / 9,45	7 – 14 – 14	28	20	53	35	36	16,8
-11,50 / 11,95	20 – 55 – 25	80*	-	-	-	-	-
-15,00 / 15,45	4 – 3 – 12	15	8	35	31	13	9,0

Tabella n.8 risultati prove SPT nel sondaggio S 1. La prova SPT a -11,50m ha incontrato un orizzonte decimetrico cementato intermedio, pertanto il dato non è significativo.

Profondità della prova	N1 – N2 – N3 (numero colpi ogni 15cm)	N_{spt} numero colpi/30 cm)	N1(60)	Dr (%)	φ' (°)	E' (MPa)	E_{ed} (MPa)
-3,00 / 3,45	8 – 19 – 11	30	40	67	36	26	18
-6,00 / 6,45	3 – 2 – 2	4	4	21	26	9	2,4
-7,50 / 7,95	50 colpi x 4 cm	Rifiuto	-	-	-	-	-
-11,50 / 11,95	14 – 18 – 13	31	20	53	36	19	18,6
-15,00 / 15,45	3 – 5 – 7	12	7	31	30	12	7,2

Tabella n.9 risultati prove SPT nel sondaggio S 3

5.3. Indagini di laboratorio

Dalle cassette catalogatrici dei tre sondaggi sono stati prelevati oltre ai campioni per le analisi ambientali, 5 campioni per analisi di laboratorio geotecnico.

I campioni di terreno sono stati sottoposti a prove di classificazione granulometrica e alla determinazione dei limiti di Atterberg. I risultati delle indagini di laboratorio sono riportate nell'[Allegato n.3](#).

Sondaggio geognostico	Profondità prelievo campione
S 1 - C1	14,65 – 14,90
S 2 – C1	11,53 – 11,65
S 3 – C1	2,70 – 2,90
S 3 – C2	9,60 – 9,75
S 3 – C3	14,35 – 14,50

Tabella n.10 Campioni laboratorio geotecnico

5.4. Prove penetrometriche dinamiche (DSPH)

Secondo quanto concordato con i Progettisti sono state effettuate 10 prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) la cui ubicazione è riportata in **figura n.5**.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state effettuate:

- **6 prove penetrometriche dinamiche SCPT** in corrispondenza del parcheggio ad uso interno,
- **4 prove penetrometriche dinamiche SCPT** all'interno dell'edificio industriale, per la cui ubicazione si è dovuto tenere in considerazione l'attività ancora in essere.

Le prove penetrometriche dinamiche hanno raggiunto le seguenti profondità massime:

- Prova Pd A ha raggiunto la profondità di 8,4 metri (a rifiuto);
- Prova Pd B ha raggiunto la profondità di 10,8 metri (a rifiuto);
- Prova Pd C ha raggiunto la profondità di 7,5 metri (a rifiuto);
- Prova Pd D ha raggiunto la profondità di 11,1 metri;
- Prova Pd 1 ha raggiunto la profondità di 8,1 metri (a rifiuto);
- Prova Pd 2 ha raggiunto la profondità di 7,2 metri (a rifiuto);
- Prova Pd 3 ha raggiunto la profondità di 13,5 metri (a rifiuto);
- Prova Pd 4 ha raggiunto la profondità di 8,1 metri (a rifiuto);
- Prova Pd 5 ha raggiunto la profondità di 11,1 metri;
- Prova Pd 6 ha raggiunto la profondità di 9,6 metri (a rifiuto).

Per l'individuazione di un'eventuale falda di tipo sospeso, è stato installato un micropiezometro a tubo aperto (diametro 3/4"), filtrato negli ultimi 2,0 metri, in corrispondenza della verticale d'indagine: Pd 6. La misurazione del livello freatico al suo interno ha accertato costantemente l'**assenza di una falda di tipo sospeso**.

5.4.1. Modalità effettuazione prova

Le prove penetrometriche dinamiche sono state eseguite con un penetrometro di tipo idraulico montato su un mezzo semovente cingolato. La prova consiste nell'infissione verticale di una punta conica (diametro 51 mm e conicità 60°) montata all'estremità inferiore di aste di 32 mm di diametro protette da un rivestimento esterno di 48 mm di diametro; l'infissione avviene attraverso un sistema

di battitura costituito da un maglio del peso di 73,5 kg, che viene sganciato automaticamente da un'altezza di 75 centimetri.

Durante la prova viene rilevato il numero di colpi necessari per la penetrazione nel terreno di 300 mm della punta. Il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta viene assunto come indice della resistenza alla penetrazione (N_{spt}).

L'indice di resistenza alla penetrazione del terreno "N" viene rilevato in continuo lungo tutta la verticale di prova.

Il numero massimo di colpi N deve essere inferiore o al massimo uguale a 100 per l'avanzamento di 30 centimetri della punta, in caso contrario la prova è da considerarsi conclusa e detta "a rifiuto".

Le prove penetrometriche sono state condotte secondo gli standard consigliati dall'Associazione Geotecnica Italiana ("Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" giugno 1977), a cui si rimanda per una descrizione più dettagliata delle modalità esecutive delle prove.

5.4.2. Elaborazione prove penetrometriche dinamiche

In allegato alla relazione ([Allegato 4](#)) sono forniti, di ogni verticale d'indagine, i diagrammi del numero di colpi N_{dp}/profondità e i diagrammi dell'andamento dei valori di resistenza dinamica alla punta (R_d) calcolati con la nota formula degli Olandesi:

$$R_d = \frac{M^2 * H}{A * e * (M+m)} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

dove:

M = peso del maglio;

H = volata del maglio;

A = area di base della punta conica;

e = 30/N_{dp} è avanzamento in relazione al passo d'infissione;

m = peso complessivo dell'incudine e delle aste alla profondità di prova.

I valori di numero di colpi/piede (N_{30spt}) ottenuti dalle prove in sito vengono convertiti nel valore di N_{spt} attraverso la correzione **N_{spt}=N_{dp}*β_t** dove: β_t è il coefficiente teorico di energia (β_t=Q/Q_{spt}~1,15) che tiene conto del tipo di strumentazione impiegata nelle prove.

Utilizzando le correlazioni sperimentali fornite in bibliografia tra N_{spt} e i parametri geotecnici, possono essere ricavati indirettamente, per i vari tipi di terreno presenti a partire da piano campagna:

- il valore del grado di addensamento dei terreni incoerenti espresso come densità relativa (D_r %);
- il valore dell'angolo di attrito efficace (ϕ');
- il valore di coesione non drenata (C_u);
- il valore del modulo elastico drenato (E').
- il valore del modulo edometrico (E_{ed}).

Per quanto riguarda il peso di volume naturale è stato considerato un valore di 1,8-1,9 Kg/dmc per i terreni di riporto poco addensati più superficiali e i terreni poco consistenti/sciolti profondi, mentre un valore di 1,9-2,0 Kg/dmc è stato attribuito ai terreni ghiaiosi addensati/ ghiaiosi con limo argillosi consistenti.

Il valore della densità relativa è stato determinato con la formula di Peck e Bazaraa (1967):

$$(1) \quad D_R = [N / (20 * (1 + 4,1 * \sigma'_{vo}))]^{0.5} * 100 \quad \text{per } \sigma'_{vo} \leq 0,732 \text{ in Kg/cm}^2,$$

$$(2) \quad D_R = [N / (20 * (3,24 + 1,024 * \sigma'_{vo}))]^{0.5} * 100 \quad \text{per } \sigma'_{vo} > 0,732 \text{ in Kg/cm}^2,$$

Per gli strati limoso-argillosi superficiali (strato 2) è stata adottata la formulazione di Jiro Fukini (1982):

$$(3) \quad (15 * N_{spt})^{0.5} + 15;$$

valida per sabbie fini o limose

Per le ghiaie con limo sabbiose debol. argillose poco consistenti (strato 4), il valore dell'angolo di attrito è stato valutato con la relazione di Meyerhof (1965):

$$(4) \quad 23,7 + 0,57 * N_{spt} - 0,006 * (N_{spt})^2 \quad \text{per percentuali della frazione limosa } > 5\%;$$

valida per sabbie in genere

Per i terreni ghiaioso limosi debol argillosi da mod. consistenti a consistenti (strato 3) e le ghiaie con sabbie limose da addensate a molto addensate (strato 5) il valore dell'angolo di attrito è stato valutato con la relazione di Shioi, (1982):

$$(5) \quad 0,3 * N_{spt} + 27;$$

valida per sabbie medie sino a ghiaiose

Il valore della coesione non drenata per gli strati 2, 3 e 4 è calcolato con la formula del Design manual for soil Mechanics (1982):

$$(6) \quad (N_{spt} / 1,34) / 10;$$

valida per argille di media plasticità e limi argillosi

Il valore del modulo elastico drenato è stato determinato con la formula di Denver (1982):

$$(7) \quad E = S_1 * N_{spt} + S_2;$$

Strato 2: $S_1=0,316$ ed $S_2=1,58$ validi per sabbie argillose, Webb (1970);

Strato 3 e Strato 4: $S_1=0,517$ ed $S_2=7,46$ validi per sabbie;

Strato 5: $S_1=0,756$ ed $S_2=18,75$ validi per miscele di sabbie + ghiaie N.C., D'Apollonia (1970).

Il valore del modulo edometrico è stato determinato con la formula di Sanglerat (1972):

$$(8) \quad E_{ed} = N_{spt} * 10^{(1,163 - 0,029 * N_{spt})}$$

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

6.1. Correlazione tra i risultati ottenuti con le prove in sito

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche effettuate, correlati tra loro e confrontati con la situazione stratigrafica locale, hanno consentito di trarre le seguenti considerazioni:

- i terreni presenti nell'area d'indagine risultano disomogenei sia verticalmente che lateralmente, le prove che hanno ottenuto i migliori risultati sono dislocate sul perimetro dell'area, mentre le mediocri risultano essere le prove interne all'area (Pd A; Pd B; Pd D; Pd 5 e Pd 6). La variazione laterale è rapida come nel caso del sondaggio S 1 e della prova subito a sud, la Pd B;
- lo strato n. 1 corrisponde allo strato di riporto sotto la pavimentazione industriale o l'asfalto del parcheggio ed è costituito da ghiaie e sabbie miste a frammenti di inerti da demolizione;
- lo strato n. 2 corrisponde presumibilmente all'originario orizzonte superficiale pedogenetico limo argilloso che si è conservato sotto il limitato spessore di terreni di riporto granulari;
- i terreni presenti nel sito d'indagine (strato 2; strato 3 e strato 4) presentano un'abbondante matrice limo argillosa che determina un certo grado di coesione, tuttavia la struttura della maggior parte dei depositi è granulare. La frazione sabbiosa presente deriva essenzialmente

dall'alterazione dei clasti di ghiaia imballata nei depositi. Il grado di coesione è estremamente variabile in quanto strettamente legato alla percentuale della frazione argillosa;

- gli orizzonti prevalentemente ghiaioso limosi (strato 4) compaiono frequentemente da umidi a molto umidi e pressoché incoerenti sciolti;
- lo strato 5 è granulare ed incoerente, costituito da ghiaie con sabbie limose da addensate a molto addensate. Sono presenti anche orizzonti decimetrici cementati (10-20 cm). Il conglomerato presenta matrice arenacea e cemento carbonatico;
- il confronto tra i profili penetrometrici ha consentito la ricostruzione del modello geotecnico di seguito riportato.

prof. tà	Maccarini & Mammoleggi, via Ghislandi 10, Bergamo										Nspt			prof. tà
	N ₃₀										S1	S2	S3	
	Pd A	Pd B	Pd C	Pd D	Pd 1	Pd 2	Pd 3	Pd 4	Pd 5	Pd 6*				
0,3														0,3
0,6			1						2	3				0,6
0,9	3	5	2	2	2	3	2	3	2	2				0,9
1,2	4	4	3	2	5	4	3	4	3	2				1,2
1,5	7	11	2	3	4	3	7	6	3	2				1,5
1,8	6	7	4	8	8	6	8	6	5	3				1,8
2,1	4	7	7	5	5	4	12	7	10	7				2,1
2,4	6	5	7	4	4	5	9	7	12	9				2,4
2,7	8	5	9	7	4	5	7	5	7	5				2,7
3	4	5	6	5	4	5	6	9	5	4				3
3,3	7	4	4	6	4	4	6	8	5	4				3,3
3,6	7	3	4	6	3	5	5	7	5	6	12		30	3,6
3,9	8	4	2	4	6	4	6	9	6	7				3,9
4,2	10	6	3	5	8	3	3	8	7	11				4,2
4,5	6	10	2	3	7	2	4	15	9	9				4,5
4,8	6	6	3	3	4	2	3	9	5	5				4,8
5,1	6	7	3	2	4	4	3	9	11	6				5,1
5,4	8	6	3	3	6	3	2	9	12	5				5,4
5,7	7	8	3	4	7	3	2	12	8	4				5,7
6	4	5	2	7	4	37	1	9	9	3				6
6,3	5	4	4	7	5	59	4	7	6	3	6			6,3
6,6	6	3	2	9	16	39	6	7	6	2	6		4	6,6
6,9	9	2	4	11	11	44	9	7	7	2				6,9
7,2	11	2	3	6	58	100	8	20	7	3				7,2
7,5	6	2	100	7	17		10	21	6	6				7,5
7,8	6	5		7	51		11	53	5	3				7,8
8,1	10	3		6	100		6	100	6	3			R	8,1
8,4	100	4		5			8		5	4				8,4
8,7		8		6			8		4	3				8,7
9		7		15			5		4	3				9
9,3		6		7			5		3	3				9,3
9,6		6		5			4		3	100	28			9,6
9,9		11		7			4		3					9,9
10,2		39		20			9		3					10,2
10,5		57		31			11		7					10,5
10,8		100		8			13		7					10,8
11,1				7			14		18					11,1
11,4							8							11,4
11,7							6						31	11,7
12							11							12
12,3							13				80			12,3
12,6							15							12,6
12,9							27							12,9
13,2							39							13,2
13,5							100							13,5
13,8														13,8
14,1														14,1
14,4														14,4
14,7														14,7
15														15
15,3														15,3
15,6														15,6

H2O	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
LEGENDA	strato 1 prefiori in terreno di riporto strato 2 limo argilloso strato 3 ghiaia con limo sabbioso argillosa strato 4 ghiaia e/con limo sabbiosa debil .argillosa strato 5 ghiaie con sabbie limose localmente cementate livello acqua di falda (assente) ipotesi quota imposta fondazioni									
										Pd 6* prova peggiore

Tabella n.10 Confronto risultati N₃₀ sulle verticali d'indagine.

- l'elaborazione dei dati ottenuti dalla prove penetrometriche ha fornito i seguenti risultati:

Dati elaborati dalle prove penetrometriche											
strati	profondità base strato (m)	litologia prevalente	Valori medi parametri geotecnici								
			N _{spt} (medi)	γ (kg/dmc)	Dr (%)	ψ _m (°)	Cu _m (kg/cmq)	c' _m (kg/cmq)	E' _m (MPa)	Eed _m (MPa)	μ (-)
strato 1	0,6-0,9	prefori in terreno di riporto	"non caratterizzato"								
strato 2	1,5-1,8	limo argilloso	3 - 5	1,7 - 1,9	26 - 38	21 - 24	0,16 - 0,30	-	3,5 - 5,5	3,0 - 5,3	0,34 - 0,35
strato 3	6,3-8,4 + livelli più profondi	ghiaia con limo sabbioso argillosa	5 - 8	1,9 - 2,0	29 - 35	28 - 30	0,40 - 0,65	-	10,0 - 13,0	5,0 - 7,0	0,33 - 0,34
strato 4	intercalato a diversa prof. tà	ghiaia e/con limo sabbiosa debil .argillosa	3 - 4	1,8 - 1,9	19 - 20	24 - 27	0,24 - 0,30	-	9,0 - 9,2	3,5 - 4,3	0,34
strato 5	6,0-11,0 + livelli più profondi	ghiaie con sabbie limose localmente cementate	12 - 100	1,9 - 2,2	35 - 80	30 - 45	0,00	-	25 - 50	0,0	0,20 - 0,30

Tabella n.11 Valori medi dei parametri geotecnici.

Per la valutazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici a partire dai valori medi, si è adottato il metodo statistico indicato dall'Eurocodice 7. Il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto il quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di dati; si determina con la seguente relazione:

$$(9) \quad f_k = f_m(1 + X * V_f);$$

dove:

f_k= valore caratteristico;

f_m= valore medio;

X= parametro dipendente dalla distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata;

V_f= coefficiente di variazione del valore, definito come il rapporto tra lo scarto quadratico medio e il valore medio del parametro

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione dei dati di tipo gaussiana, un valore di X uguale a -1,645 quindi la relazione sopra diventa:

$$(10) \quad f_k = f_m(1 - 1,645 * V_f);$$

strati	profondità base strato (m)	litologia prevalente	Valori caratteristici parametri geotecnici				
			ψ _k (°)	Cu _k (kg/cmq)	c' _k (kg/cmq)	E' _k (MPa)	Eed _k (MPa)
strato 2	1,5-1,8	limo argilloso	21	0,15	-	3,2	2,7
strato 3	6,3-8,4 + livelli più profondi	ghiaia con limo sabbioso argillosa	28	0,32	-	9,5	4,9
strato 4	intercalato a diversa prof. tà	ghiaia e/con limo sabbiosa debil .argillosa	25	0,16	-	8,4	2,7
strato 5	6,0-11,0 + livelli più profondi	ghiaie con sabbie limose localmente cementate	32	-	-	31,5	-

Tabella n.12 Valori caratteristici dei parametri geotecnici.

strati	profondità base strato (m)	litologia prevalente	Valori di progetto parametri geotecnici				
			ψ _d (°)	Cu _d (kg/cmq)	c' _d (kg/cmq)	E' _d = E' _k (MPa)	Eed _d = Eed _k (MPa)
strato 2	1,5-1,8	limo argilloso	17	0,11	-	3,2	2,7
strato 3	6,3-8,4 + livelli più profondi	ghiaia con limo sabbioso argillosa	23	0,23	-	9,5	4,9
strato 4	intercalato a diversa prof. tà	ghiaia e/con limo sabbiosa debil .argillosa	20	0,12	-	8,4	2,7
strato 5	6,0-11,0 + livelli più profondi	ghiaie con sabbie limose localmente cementate	27	-	-	31,5	-

Tabella n.13 Valori di progetto dei parametri geotecnici, ottenuti applicando i coefficienti riduttivi della normativa relativi ai parametri di resistenza del terreno.

- per quanto riguarda la verifica rispetto a possibili fenomeni di liquefazione nel sito in questione, la superficie freatica è collocata ad una profondità superiore ai 15-20 metri,

profondità limite entro la quale si possono innescare tali fenomeni. Inoltre non è stata individuata neppure una falda di tipo sospeso, pertanto la verifica non è richiesta.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

7.1. Pericolosità sismica locale

Per quanto riguarda il sottosuolo dal punto di vista sismico, il comune di Bergamo risulta in zona sismica 3, l'indagine sismica ha consentito di attribuire ai terreni della zona, la categoria di sottosuolo B, con una V_{S30} di circa 503 m/s se riferita al piano campagna attuale ed una V_{S30} di 685 m/s ricalcolata alla profondità di -7,0 metri del piano d'imposta delle fondazioni.

Il valore del periodo fondamentale di vibrazione del terreno (T_0) ottenuto è di 0,16 sec se riferito al piano campagna attuale o di 0,09 sec se riferito alla profondità fondazioni di -7,0 metri.

La normativa regionale, in zona sismica 3, chiede la verifica di secondo livello per la valutazione del grado di protezione nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale, ottenuto adottando i parametri di normativa riferiti alla categoria di sottosuolo presente.

Nel caso il valore del fattore di amplificazione superi il valore di soglia per il comune in questione e la categoria di sottosuolo in esame (tabella n.2), viene richiesta l'effettuazione anche del 3° livello di approfondimento sismico a conferma o meno del dato ottenuto con la procedura regionale semplificata.

Nel caso in questione essendo la superficie topografica suborizzontale, la sola amplificazione sismica possibile è quella di tipo litologico e le verifiche di 2° e di 3° livello effettuate hanno ottenuto i risultati riportati rispettivamente sulle **tabelle n. 3 e 4 e sulle tabelle 6 e 7**.

I risultati sono stati riportati sia per il piano campagna attuale che per la quota ipotizzata delle fondazioni (-7 metri).

7.2. Caratteristiche dei terreni presenti

Nella zona d'intervento, la successione stratigrafica appare disomogenea, con variazioni laterali e verticali repentine dei parametri di resistenza meccanica. Nello specifico si fa riferimento allo strato 4 che risulta presente sia sopra che sotto la quota prevista per il piano di fondazione.

La risposta quindi ad un sovraccarico artificiale di questo terreno è chiaramente diversa rispetto a quella che è in grado di fornire il livello di ghiaie con sabbie limose molto addensate e localmente cementate che possono trovarsi alla stessa quota ed a breve distanza.

Tale problematica veniva già del resto evidenziata nella componente geologica comunale del 2008 che classifica con la Sottoclasse 3a i terreni presenti: “**Classe 3a** Area con consistenti limitazioni d’uso connesse alle modeste caratteristiche geotecniche del sottosuolo oppure con consistenti eterogeneità verticali e orizzontali (comprese le zone con materiale di riporto).....”.

Alla luce delle indagini effettuate la successione stratigrafica si può così riassumere a partire dalla superficie:

- Strato 1: da 0,0 a 0,6/0,9 metri, pavimentazione e strato di riporto sottostante ghiaioso, sabbioso, ciottoloso (massicciata) di spessore variabile;
- Strato 2: da 0,6/0,9 a 1,5/1,8 metri, orizzonte pedogenetico costituito da un limo argilloso consistente, colore bruno nocciola;
- Strato 3: da 1,5/1,8 a 6,3/8,4 metri, ghiaia con limo sabbioso argillosa, limo e ghiaia argillosa colore bruno nocciola o rosso mattone;
- Strato 4: a diverse profondità, ghiaia e/con limo sabbiosa non/debol. argillosa, da umida a molto umida di colore nocciola chiaro;
- Strato 5: da 6,0/8,4 a 11,0 metri **o assente**, si tratta di un livello (spessore medio 2-3 metri) ben addensato e localmente cementato di ghiaie con sabbie limose. Tale strato rappresenta un orizzonte permeabile che si incontra nella successione stratigrafica indagata;
- più in profondità e sino alla profondità massima indagata (15 m) si ripresentano orizzonti tipo strato 3, strato 4 e strato 5;
- oltre i 15 metri le stratigrafie dei pozzi della zona identificano un orizzonte spesso di ghiaie e sabbie localmente cementate (conglomerati) che si estendono sino alla profondità di 40-50 metri);
- segue un importante spessore (15 – 30 metri) di “argille” che ricoprono il substrato roccioso.

7.3. Falda acquifera

Nell’area d’indagine, allo scopo di individuare l’eventuale presenza di una falda di tipo sospeso o della falda freatica regionale, sono stati installati nei 3 fori di sondaggio altrettanti piezometri di lunghezza diversa con lo scopo di individuarne la presenza. Nella prova penetrometrica Pd 6 è stato installato un micro piezometro di 9,6 metri di lunghezza.

Alla luce dei controlli effettuati sinora, seguiti ad un periodo piovoso, si può affermare l’assenza di una falda di tipo sospeso nel primo orizzonte permeabile e sino alla profondità massima di 14,75 metri dal piano campagna attuale. E’ stata riscontrata la costante presenza di acqua sul fondo (25

centimetri) del piezometro S 3, foro che potrebbe essere imputabile non necessariamente alla presenza di una falda di tipo sospeso ma bensì alla ridotta permeabilità dei terreni circostanti che impediscono il drenaggio dell'acqua utilizzata per la calata dei rivestimenti.

Per la verifica della posizione attuale del livello freatico regionale, in data 29/06/2016, è stata effettuata una misura di livello statico in corrispondenza del pozzo del Convento Frati Cappuccini Minori in via dei Cappuccini (posto 400 metri circa a SW dell'area in questione). Il livello statico è risultato situato a 42 metri di profondità da p.c..

Interpolando gli unici dati di livello disponibili monte/valle, anche se rilevati in date diverse, si può stimare per l'area d'interesse, un livello freatico posto ad una profondità approssimativa di circa -35 metri. Tale valore risulta molto superiore a quanto indicato sulla componente geologica comunale (circa 20 metri). L'escursione del livello freatico nella zona risulta essere plurimetrico (4-5 metri).

7.4. Parametri di resistenza meccanica dei terreni

Per poter valutare la capacità portante dei terreni presenti nell'area in esame e per la progettazione del diaframma perimetrale che consentirà di rendere stabili i fronti di scavo sino a raggiungere la profondità prevista per la posa delle fondazioni, si deve fare riferimento alle **tabelle n.10, 11, 12 e 13**.

Vista l'ipotesi del piano di fondazione situato alla profondità di circa -7,0 metri da p.c., si consiglia l'adozione cautelativa dei parametri di resistenza relativi allo **strato 4** incontrato a tale profondità e oltre in corrispondenza delle verticali d'indagine: **Pd B; Pd 6 (prova peggiore) e S 3**.

Bergamo, 18/07/2016

Dott. Geol. Pedrali Carlo
(O.G.L. n.860)



ALLEGATO 1

RISULTATI INDAGINE SISMICA

(effettuata il 13/06/2016)

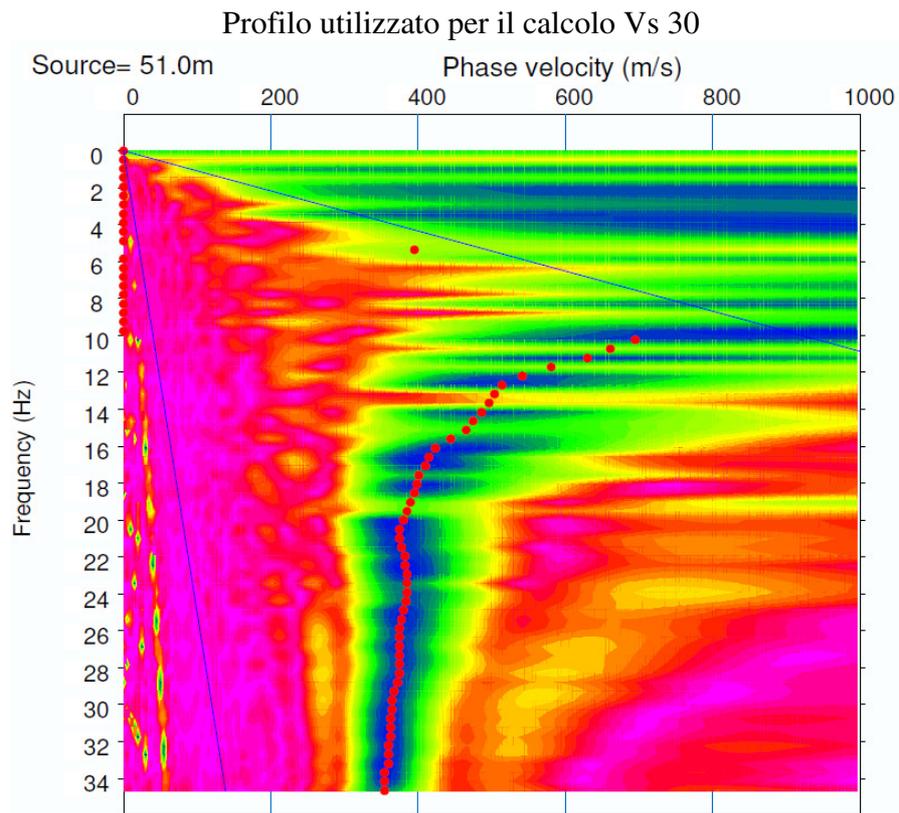


Figura n.1 Curva di dispersione MASW

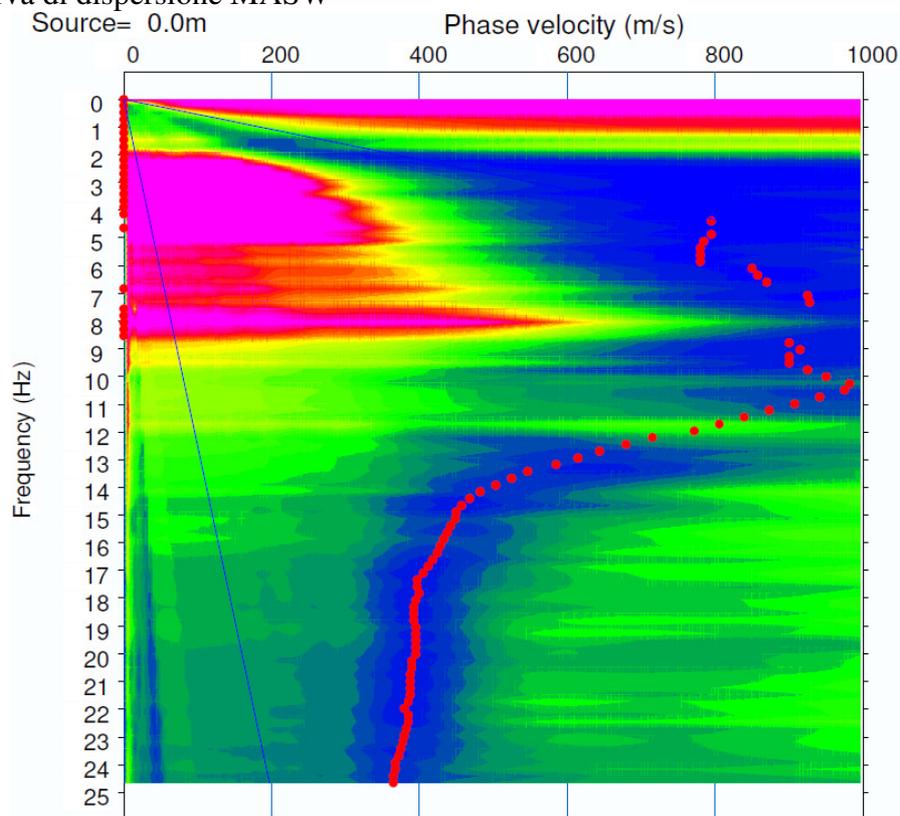


Figura n.2 Curva di dispersione Microtremori

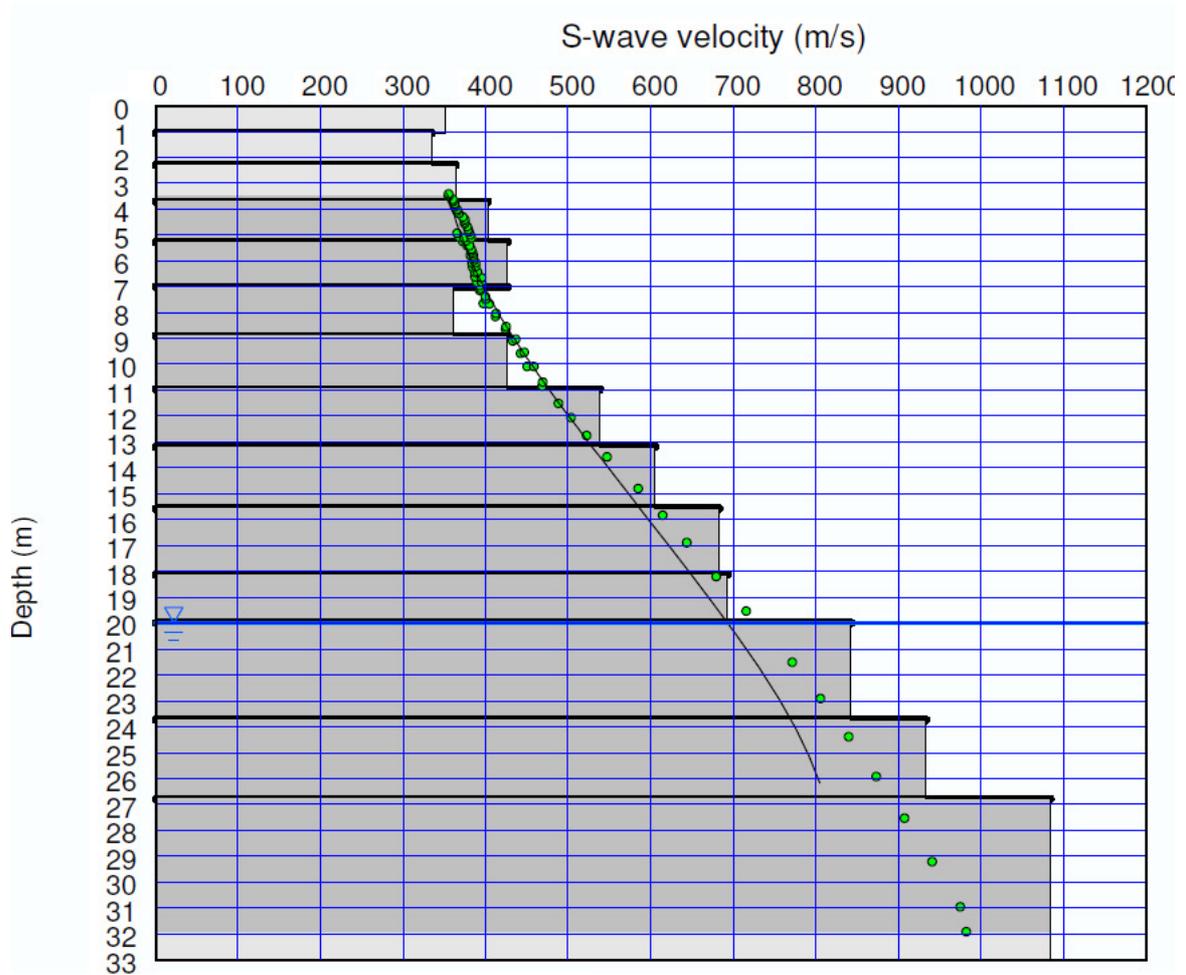


Figura n.3 Modello interpretativo MASW+Microtremori

Profondità z (m)	Velocità Vs (m/s)
0,0	352
1,1	334
2,3	364
3,7	403
5,3	426
7,0	362
8,9	426
11,0	538
13,2	605
15,6	683
18,1	693
20,0	842
23,7	934
26,8	1084
36,4	1164

Tabella n.1 profondità della sommità dello strato / valore della velocità delle onde di taglio.

ALLEGATO 2

STRATIGRAFIE SONDAGGI

Tavole n. 1, 2 e 3

(effettuati tra il 20-23/06/2016)

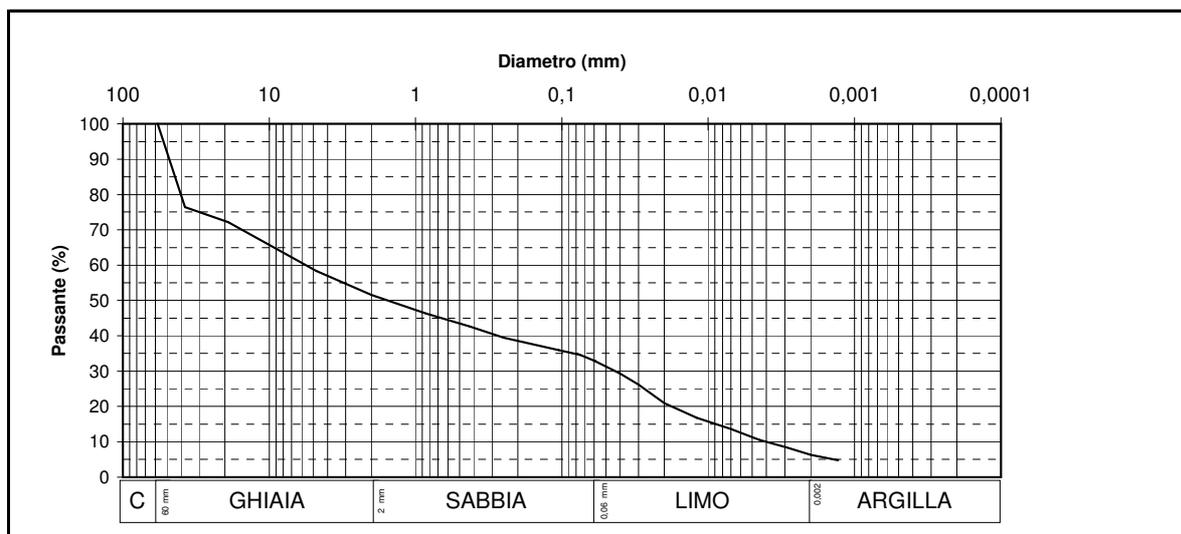
ALLEGATO 3

INDAGINI DI LABORATORIO

ANALISI GRANULOMETRICA

Raccomandazioni A.G.I.

Committente: **Maccarini** Località: **Via Ghislandi, Bergamo** Data emissione: **08/07/16**
Provenienza: **Sondaggio S1** Campione n°: **C1** Profondità: **14,65 - 14,90 m**

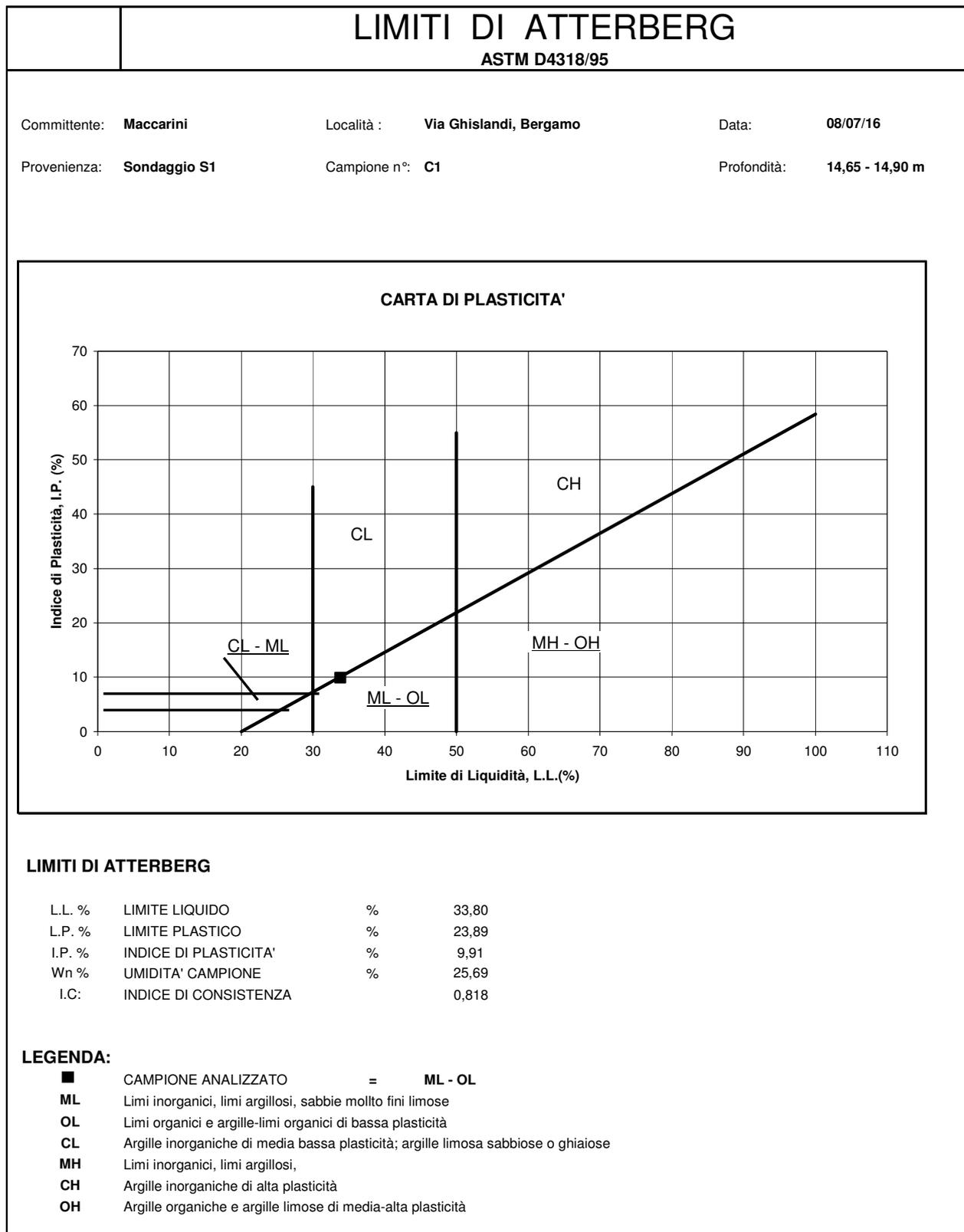


SETACCIATURA				AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318		
75	0,00	100,00	0,00	0,060	32,97	L.L. %	33,80	Limite Liquido
37,5	23,61	76,39	23,61	0,040	29,30	L.P. %	23,89	Limite Plastico
19,0	27,81	72,19	4,19	0,030	26,16	I.P. %	9,91	Indice di plasticità
4,75	41,62	58,38	13,82	0,020	20,93	Wn %	25,69	umidità camp.
2,00	48,39	51,61	6,77	0,012	16,74	I.C:	0,818	Indice di Consist.
0,85	53,64	46,36	5,25	0,007	13,60			
0,425	57,36	42,64	3,72	0,0045	10,47			
0,25	60,56	39,44	3,20	0,0029	8,37			
0,105	64,05	35,95	3,49	0,0020	6,28			
0,075	65,46	34,54	1,41	0,0013	4,71			
< 0,075	100,00	0,00	34,54					

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	1,34E+03	PESO DI VOL. γ nat (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S _o =
COEFF. CURVATURA C =	7,82E-02	PESO DI VOL. γ sec (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e _n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	1,68E-05	PESO DI VOL. γ sat (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

CLASSE GRANULOMETRICA %	DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:	ϕ max	57,7
GHIAIA :	D ₆₀	5,5
SABBIA :	D ₅₀	1,5
LIMO :	D ₃₀	0,042
ARGILLA :	D ₁₀	0,0041

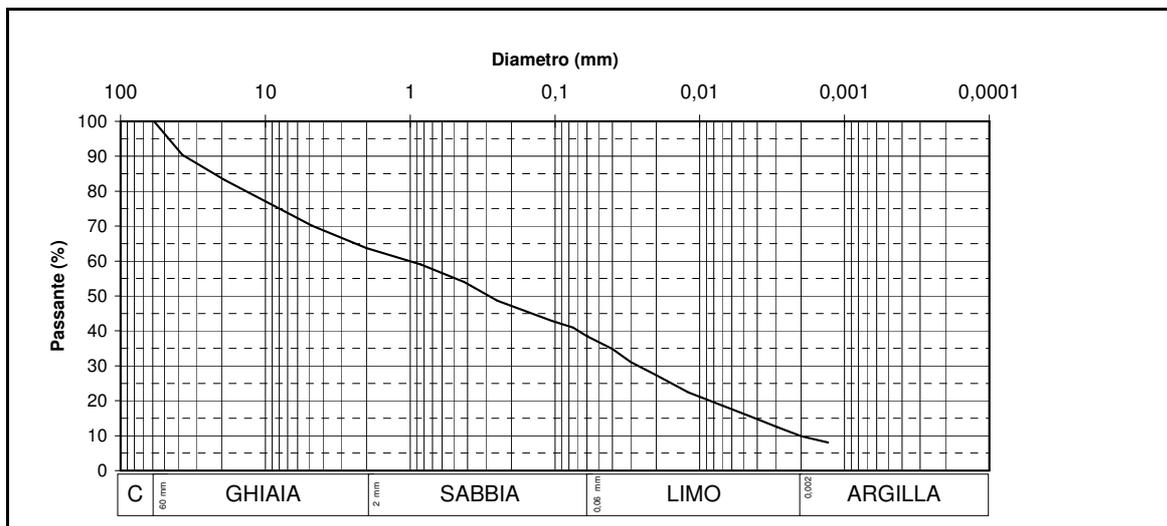
DENOMINAZIONE : **ghiaia con limo sabbiosa debolmente argillosa**
CLASSIFICAZIONE



ANALISI GRANULOMETRICA

Raccomandazioni A.G.I.

Committente: **Maccarini** Località: **via Ghislandi, Bergamo** Data emissione: **08/07/16**
Provenienza: **Sondaggio S2** Campione n°: **C1** Profondità: **11,53 - 11,65**

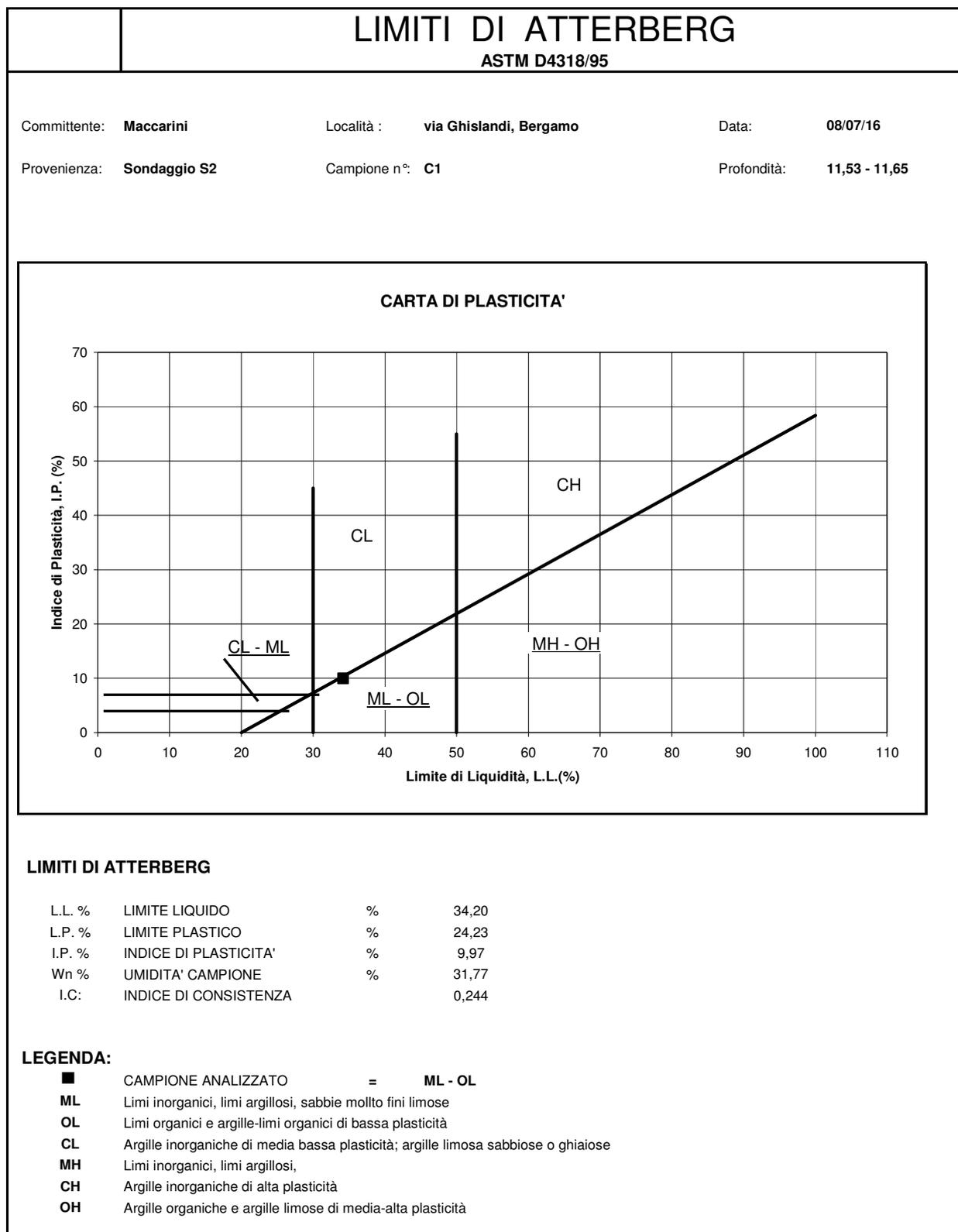


SETACCIATURA			AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG			
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318		
75	0,00	100,00	0,00	0,060	38,48	L.L. %	34,20	Limite Liquido
37,5	9,56	90,44	9,56	0,040	34,75	L.P. %	24,23	Limite Plastico
19,0	16,81	83,19	7,25	0,030	31,03	I.P. %	9,97	Indice di plasticità
4,75	29,88	70,12	13,08	0,020	27,31	Wn %	31,77	umidità camp.
2,00	36,27	63,73	6,39	0,012	22,34	I.C:	0,244	Indice di Consist.
0,85	40,97	59,03	4,69	0,007	18,62			
0,425	45,96	54,04	4,99	0,0045	15,52			
0,25	51,37	48,63	5,41	0,0029	12,41			
0,105	57,17	42,83	5,80	0,0020	9,93			
0,075	59,04	40,96	1,87	0,0013	8,07			
< 0,075	100,00	0,00	40,96					

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	4,76E+02	PESO DI VOL. γ nat (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S _o =
COEFF. CURVATURA C =	3,22E-01	PESO DI VOL. γ sec (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e _n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	4,41E-06	PESO DI VOL. γ sat (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

CLASSE GRANULOMETRICA %	DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:	ϕ max	58,8
GHIAIA :	D ₆₀	1
SABBIA :	D ₅₀	0,27
LIMO :	D ₃₀	0,026
ARGILLA :	D ₁₀	0,0021

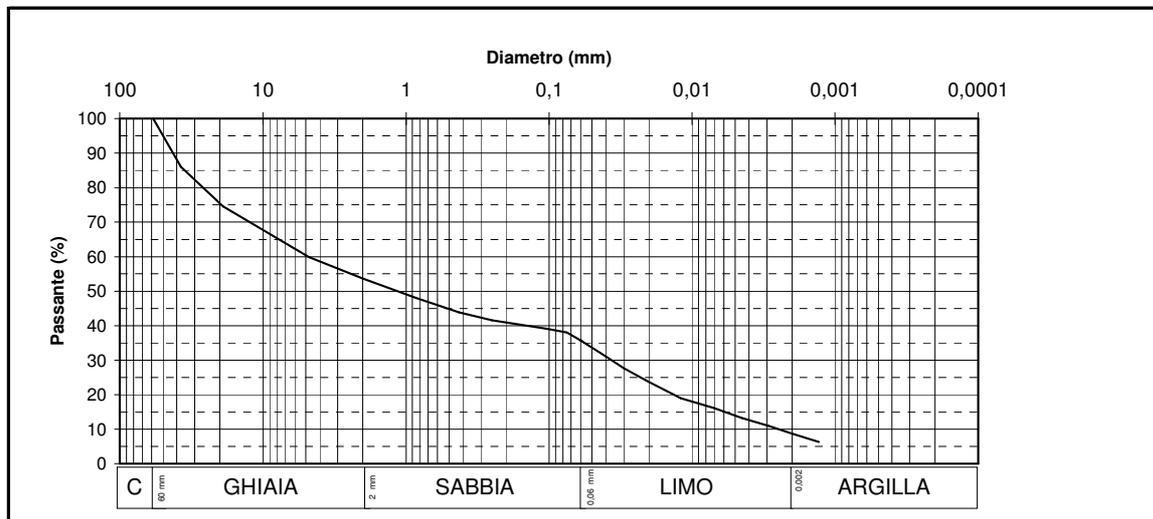
DENOMINAZIONE : **ghiaia con limo e sabbia debolmente argillosa**
CLASSIFICAZIONE



ANALISI GRANULOMETRICA

Raccomandazioni A.G.I.

Committente: **Maccarini** Località: **Via Ghislandi, Bergamo** Data emissione: **08/07/16**
Provenienza: **Sondaggio S3** Campione n°: **C1** Profondità: **2,7 - 2,9 m**

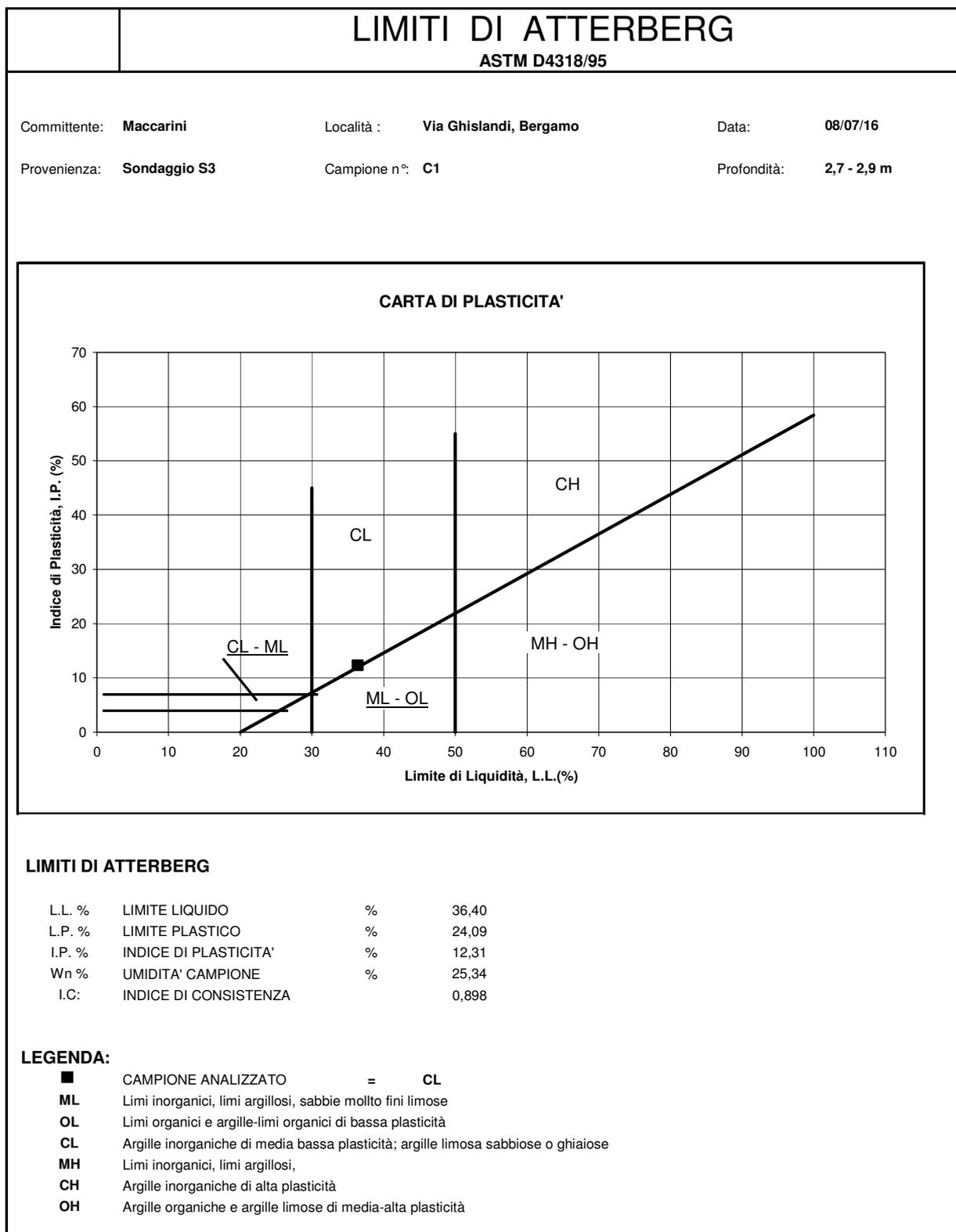


SETACCIATURA				AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318		
75	0,00	100,00	0,00	0,060	35,76	L.L. %	36,40	Limite Liquido
37,5	13,93	86,07	13,93	0,040	31,14	L.P. %	24,09	Limite Plastico
19,0	25,45	74,55	11,53	0,030	27,68	I.P. %	12,31	Indice di plasticità
4,75	40,07	59,93	14,62	0,020	23,65	Wn %	25,34	umidità camp.
2,00	46,33	53,67	6,26	0,012	19,03	I.C:	0,898	Indice di Consist.
0,85	51,97	48,03	5,64	0,007	16,15			
0,425	56,18	43,82	4,21	0,0045	13,27			
0,25	58,46	41,54	2,28	0,0029	10,96			
0,105	60,81	39,19	2,35	0,0020	8,65			
0,075	61,93	38,07	1,13	0,0013	6,34			
< 0,075	100,00	0,00	38,07					

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	1,96E+03	PESO DI VOL. γ_{nat} (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S_o =
COEFF. CURVATURA C =	1,15E+01	PESO DI VOL. γ_{sec} (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e_n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	5,76E-06	PESO DI VOL. γ_{sat} (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

CLASSE GRANULOMETRICA %	DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:	ϕ max	58,5
GHIAIA :	D ₆₀	4,7
SABBIA :	D ₅₀	1,1
LIMO :	D ₃₀	0,36
ARGILLA :	D ₁₀	0,0024

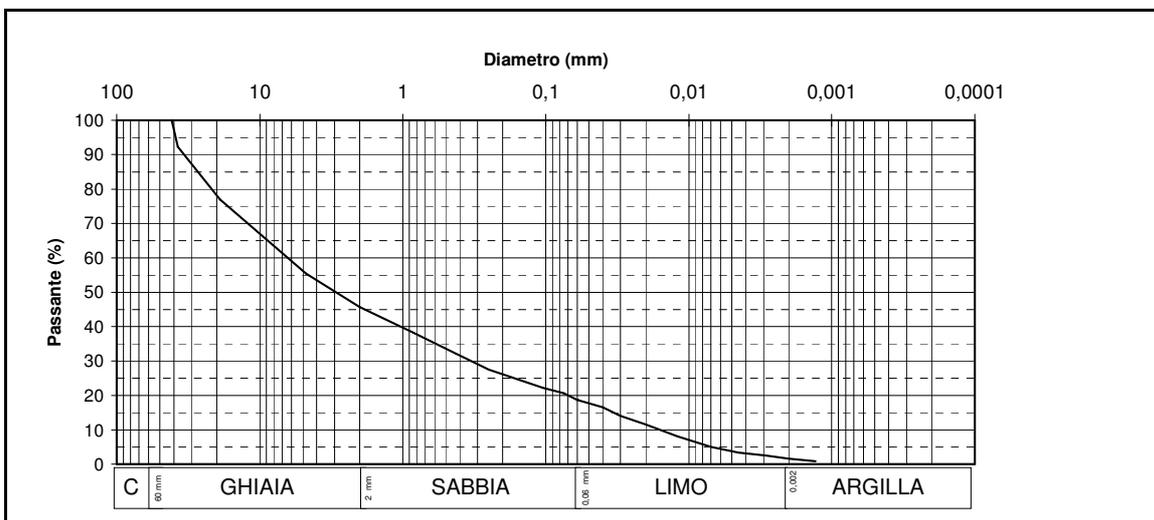
DENOMINAZIONE : **ghiaia con limo sabbiosa debolmente argillosa**
CLASSIFICAZIONE



ANALISI GRANULOMETRICA

Raccomandazioni A.G.I.

Committente: **Maccarini** Località: **Via Ghislandi, Bergamo** Data emissione: **08/07/16**
Provenienza: **Sondaggio S3** Campione n°: **C2** Profondità: **9,6 - 9,75 m**



SETACCIATURA			AEROMETRIA			LIMITI DI ATTERBERG		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318		
75	0,00	100,00	0,00	0,060	18,72	L.L. %		Limite Liquido
37,5	7,66	92,34	7,66	0,040	16,54	L.P. %		Limite Plastico
19,0	23,06	76,94	15,40	0,030	14,04	I.P. %		Indice di plasticità
4,75	44,50	55,50	21,44	0,020	11,55	Wn %	11,55	umidità camp.
2,00	54,37	45,63	9,87	0,012	8,11	I.C:		Indice di Consist.
0,85	61,73	38,27	7,36	0,007	4,99			
0,425	67,80	32,20	6,07	0,0045	3,43			
0,25	72,48	27,52	4,68	0,0029	2,50			
0,105	77,79	22,21	5,31	0,0020	1,56			
0,075	79,41	20,59	1,62	0,0013	0,94			
< 0,075	100,00	0,00	20,59					

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	3,88E+02	PESO DI VOL. γ nat (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S ₀ =
COEFF. CURVATURA C =	9,69E-01	PESO DI VOL. γ sec (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI ϵ_n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	2,56E-04	PESO DI VOL. γ sat (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

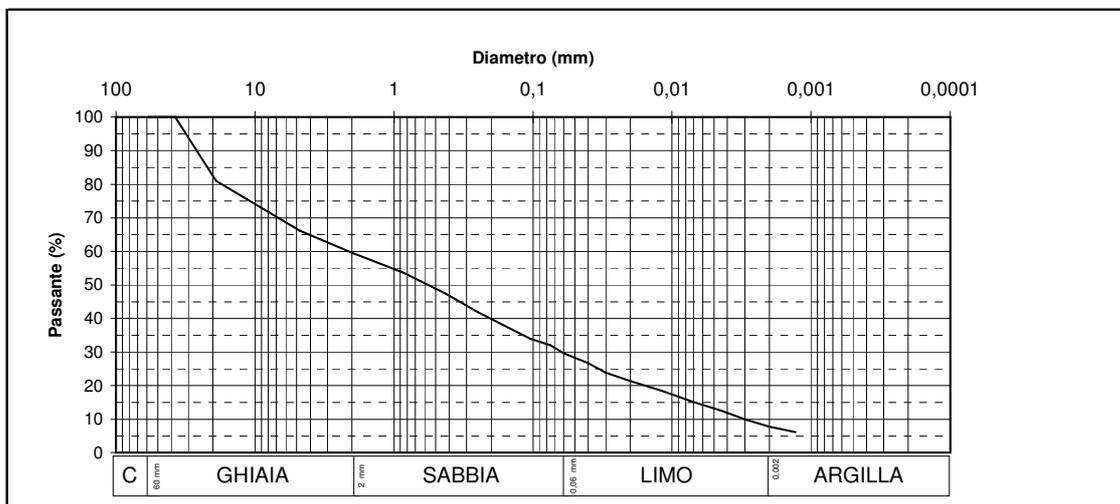
CLASSE GRANULOMETRICA %	DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:	Φ max	41,3
GHIAIA :	D ₆₀	6,2
SABBIA :	D ₅₀	2,9
LIMO :	D ₃₀	0,31
ARGILLA :	D ₁₀	0,016

DENOMINAZIONE : **ghiaia con sabbia limosa**
CLASSIFICAZIONE

ANALISI GRANULOMETRICA

Raccomandazioni A.G.I.

Committente: **Maccarini** Località: **Via Ghislandi, Bergamo** Data emissione: **08/07/16**
Provenienza: **Sondaggio S3** Campione n°: **C3** Profondità: **14,35 - 14,5 m**



SETACCIATURA			AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318	
75	0,00	100,00	0,00	0,060	29,64	L.L. %	Limite Liquido
37,5	0,00	100,00	0,00	0,040	26,73	L.P. %	Limite Plastico
19,0	19,04	80,96	19,04	0,030	23,81	I.P. %	Indice di plasticità
4,75	33,79	66,21	14,75	0,020	21,38	Wn %	26,82 umidità camp.
2,00	40,39	59,61	6,60	0,012	18,47	I.C.:	Indice di Consist.
0,85	46,37	53,63	5,99	0,007	15,06		
0,425	52,61	47,39	6,24	0,0045	12,63		
0,25	58,09	41,91	5,48	0,0029	9,72		
0,105	65,99	34,01	7,90	0,0020	7,77		
0,075	67,93	32,07	1,94	0,0013	6,07		
< 0,075	100,00	0,00	32,07				

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	6,77E+02	PESO DI VOL. γ_{nat} (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S_o =
COEFF. CURVATURA C =	5,72E-01	PESO DI VOL. γ_{sec} (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e_n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	9,61E-06	PESO DI VOL. γ_{sat} (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

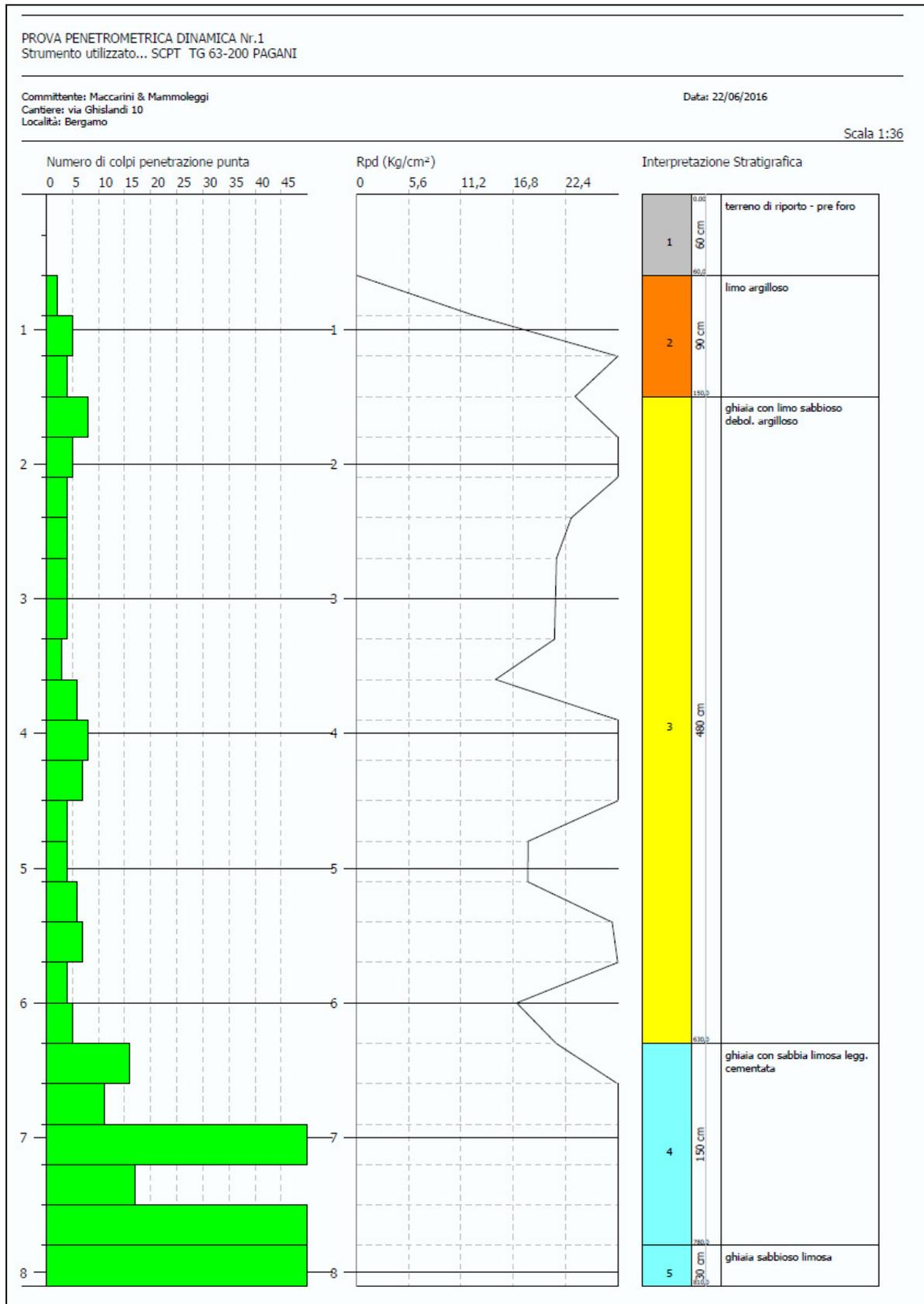
CLASSE GRANULOMETRICA %	DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:	ϕ max	37,3
GHIAIA :	D ₆₀	2,1
SABBIA :	D ₅₀	0,57
LIMO :	D ₃₀	0,061
ARGILLA :	D ₁₀	0,0031

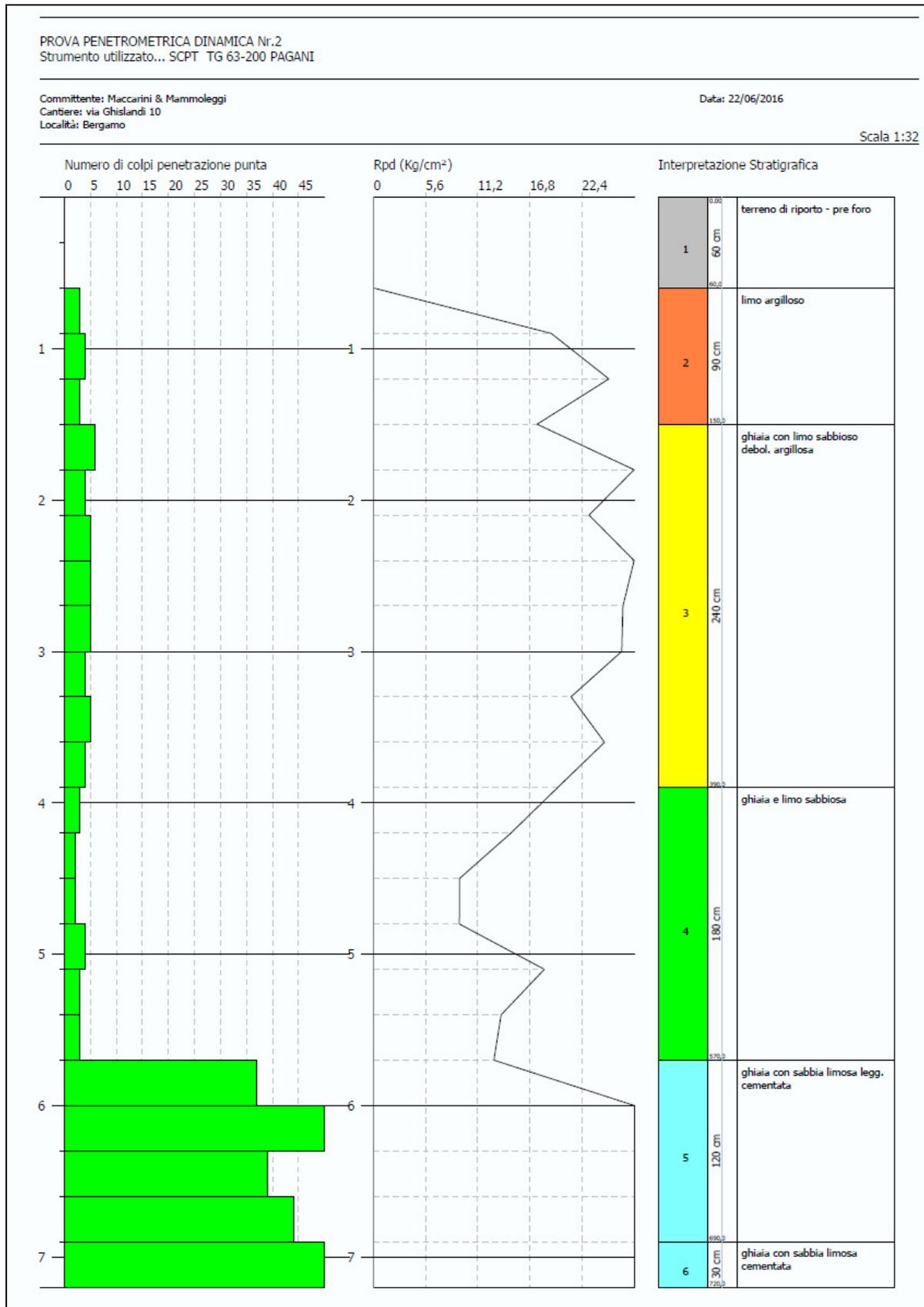
DENOMINAZIONE : **ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa**
CLASSIFICAZIONE

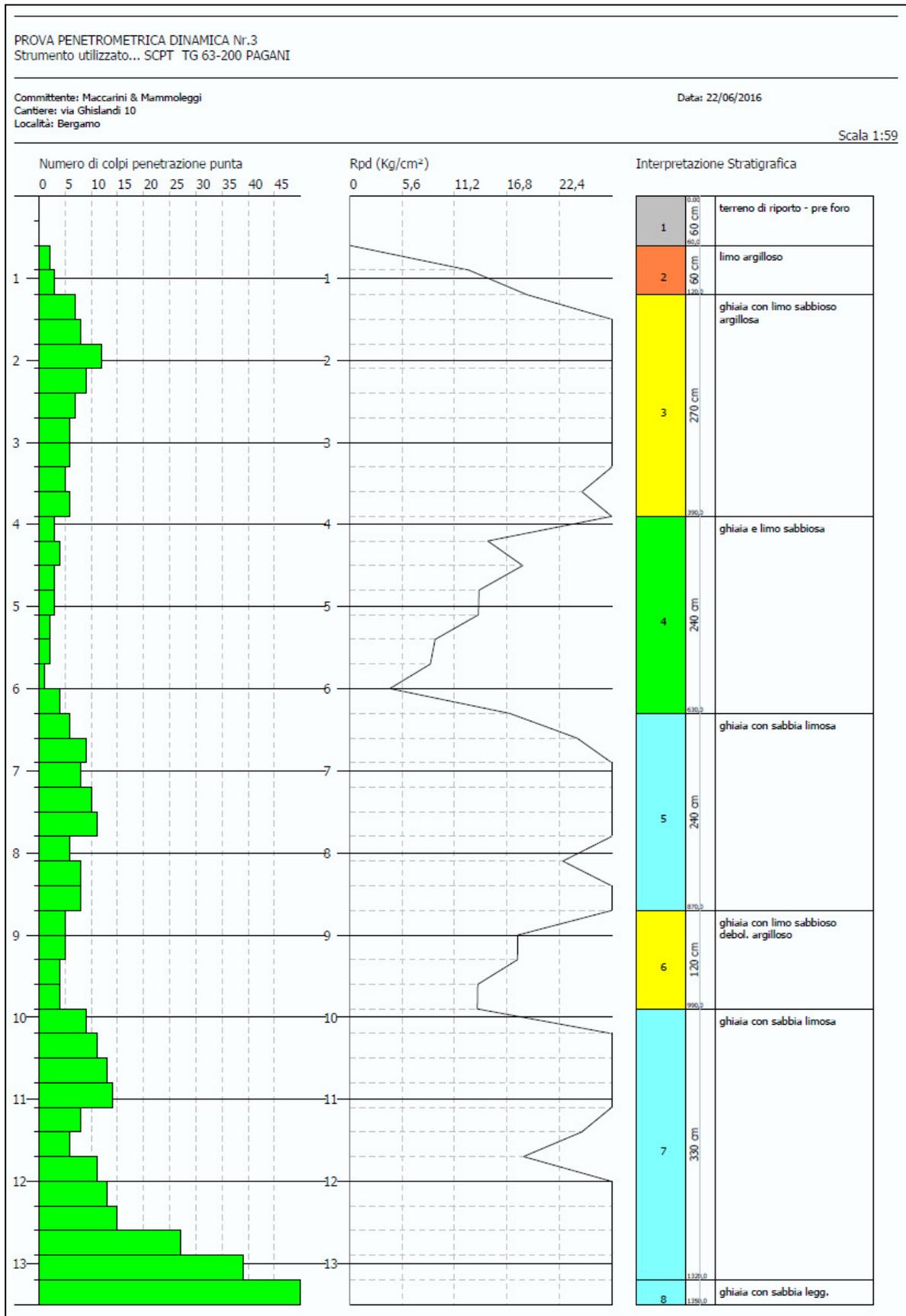
ALLEGATO 4

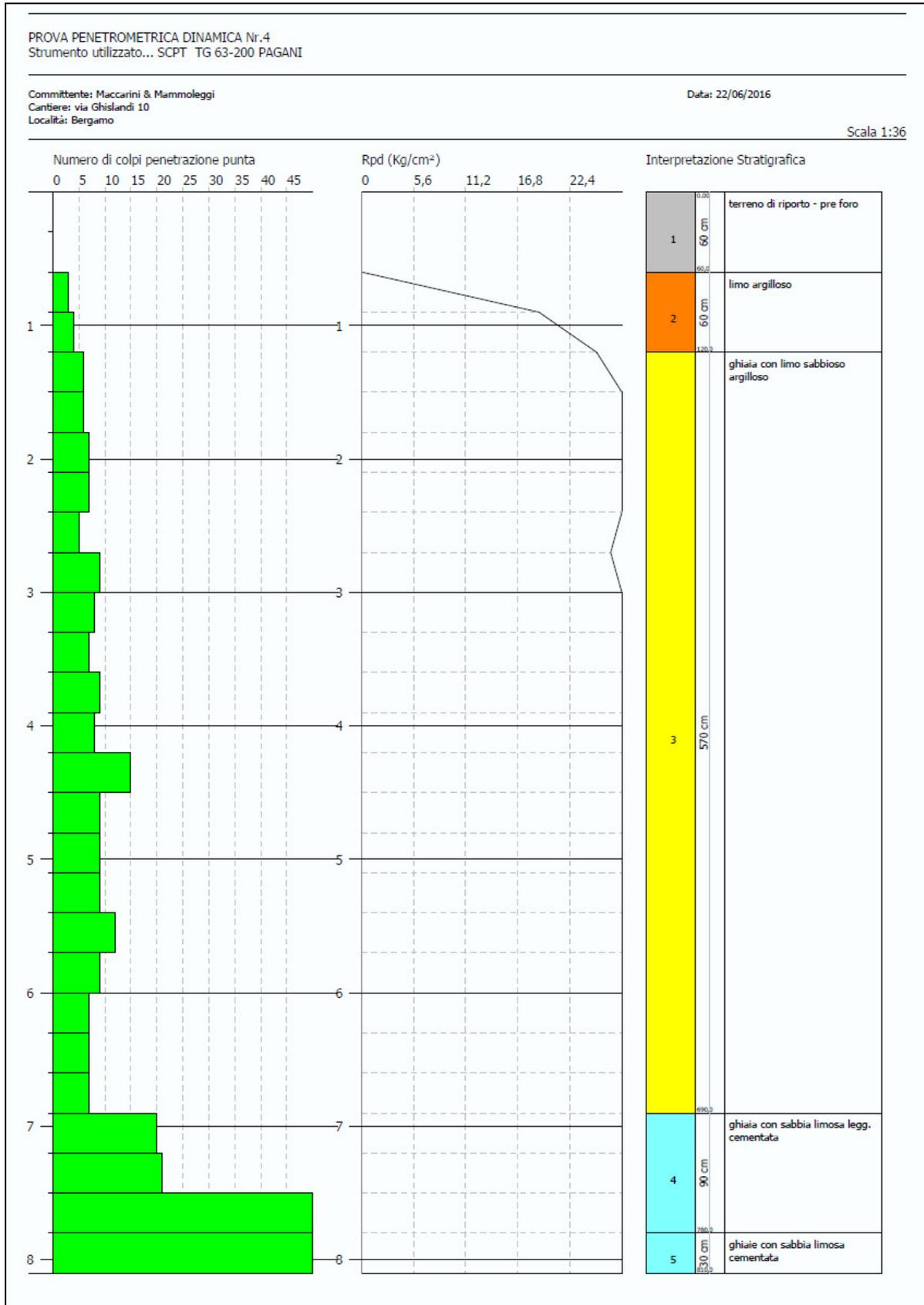
ELABORATI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

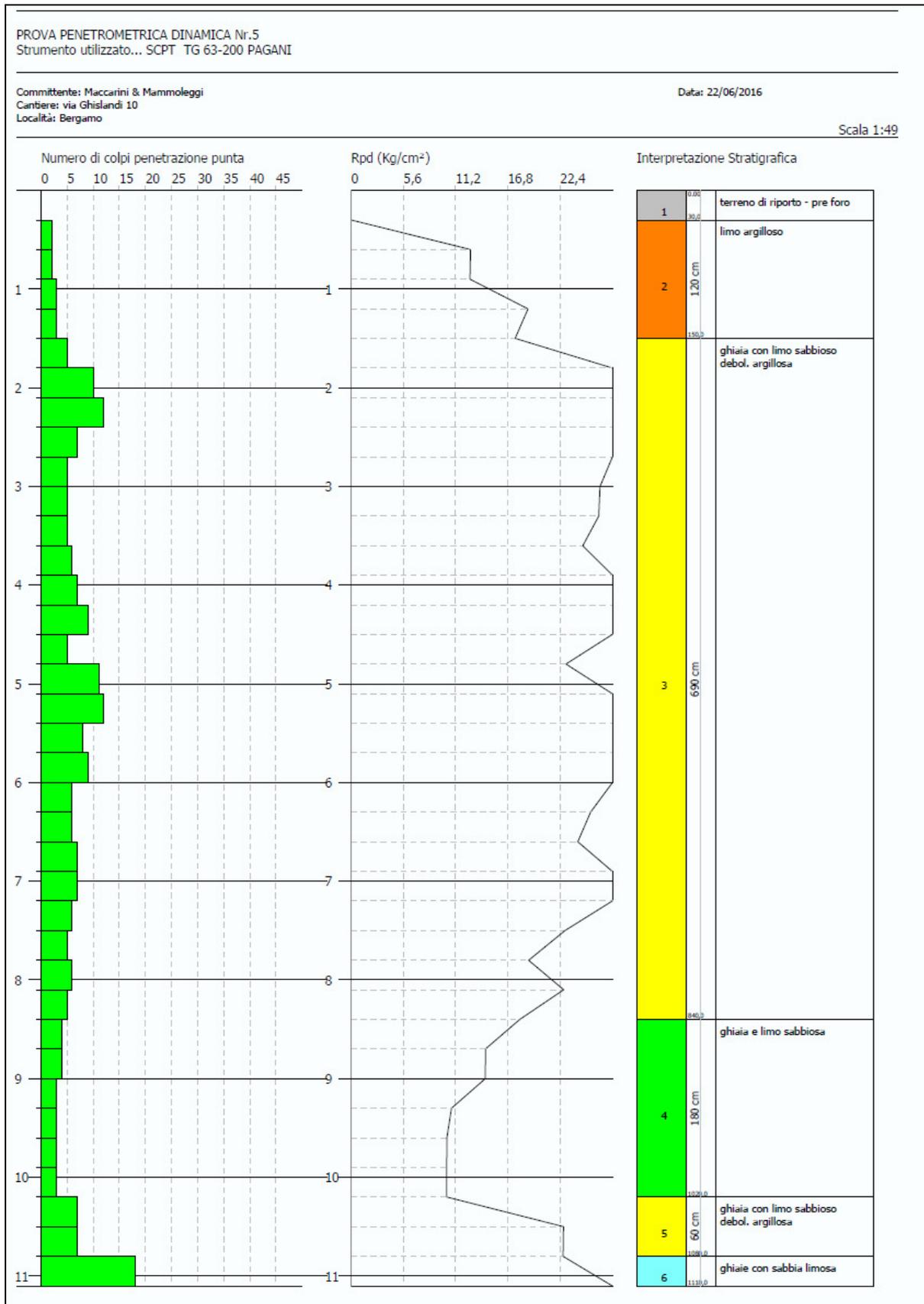
(prove effettuate il 20-22/06/2016)

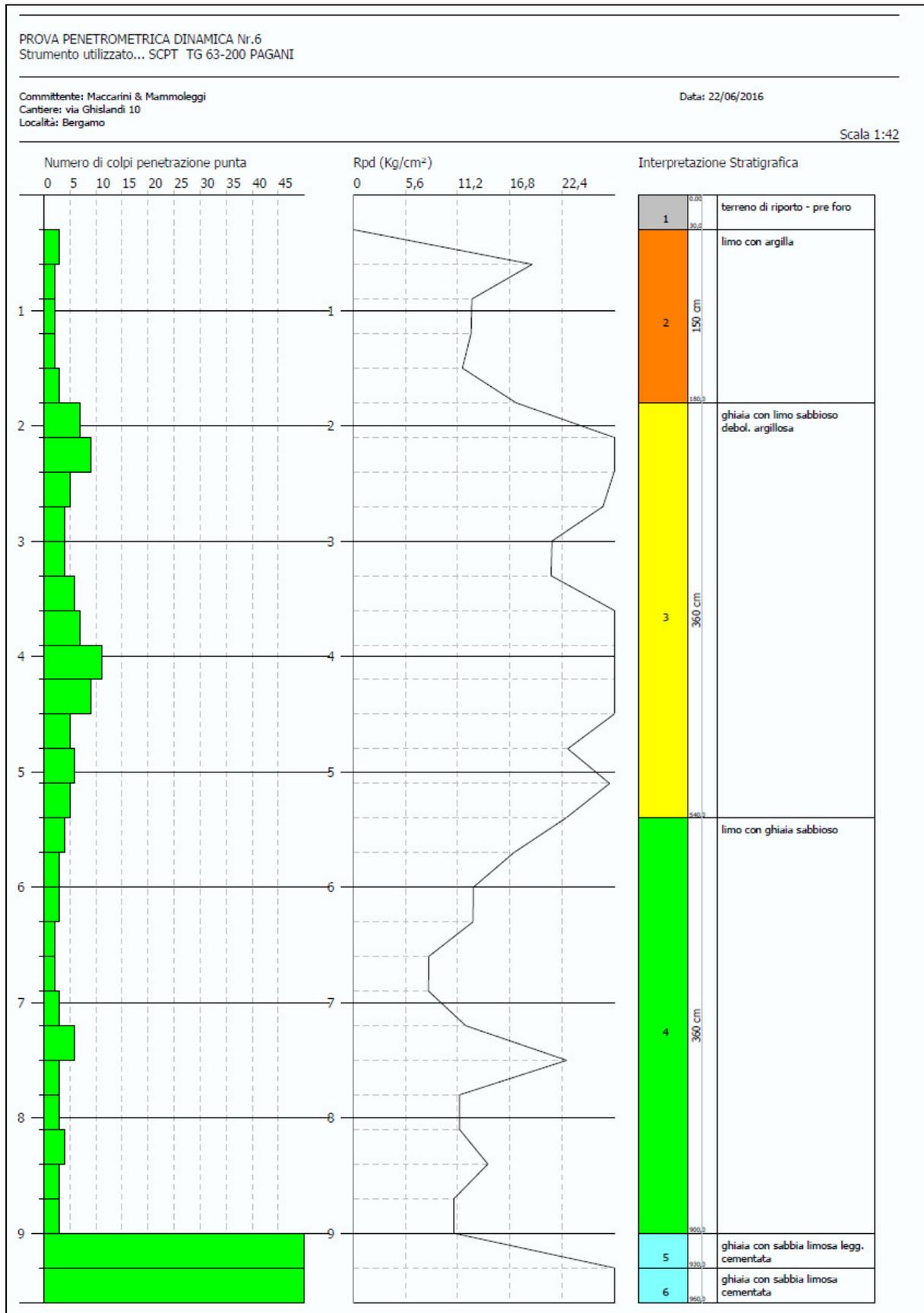


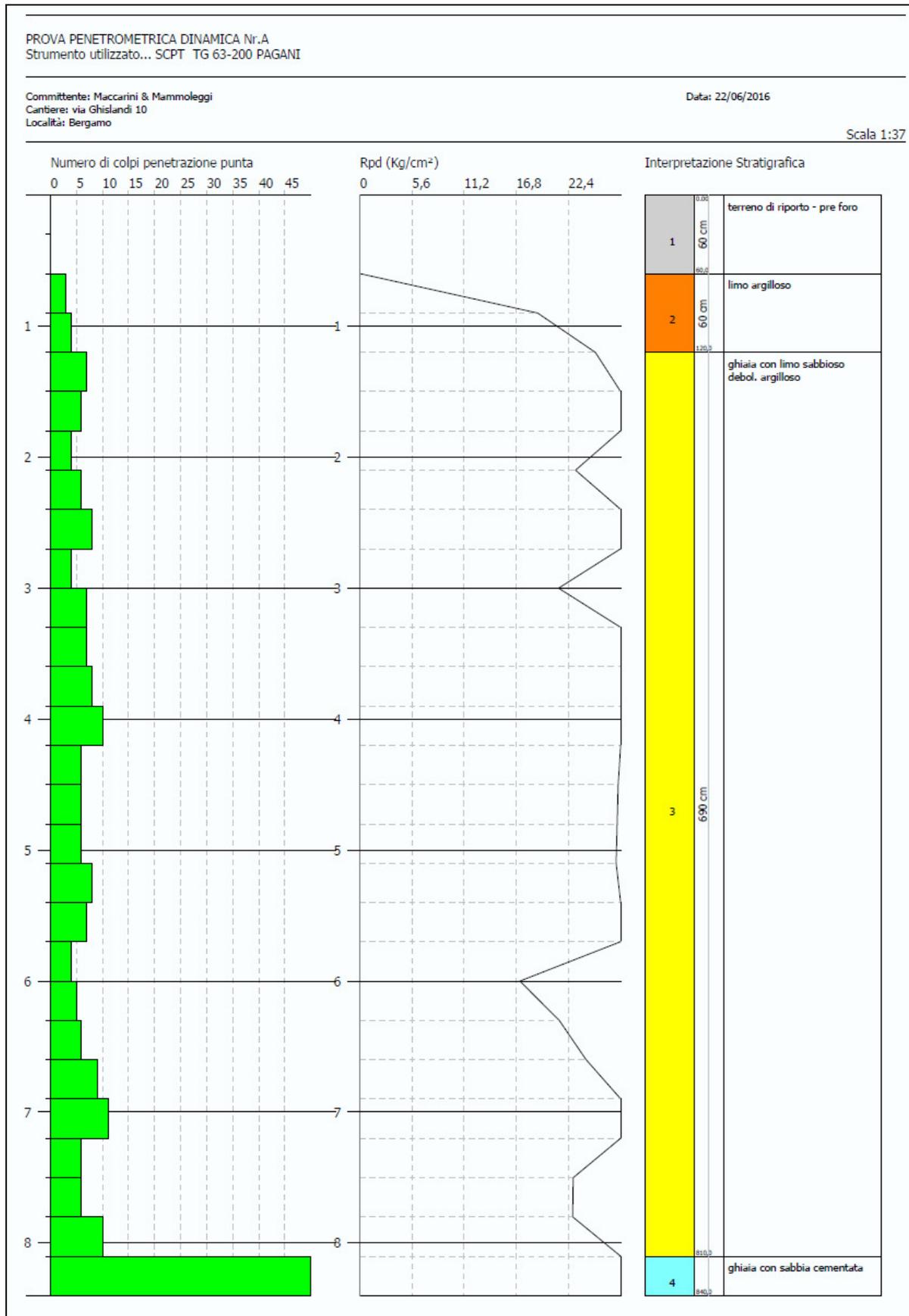


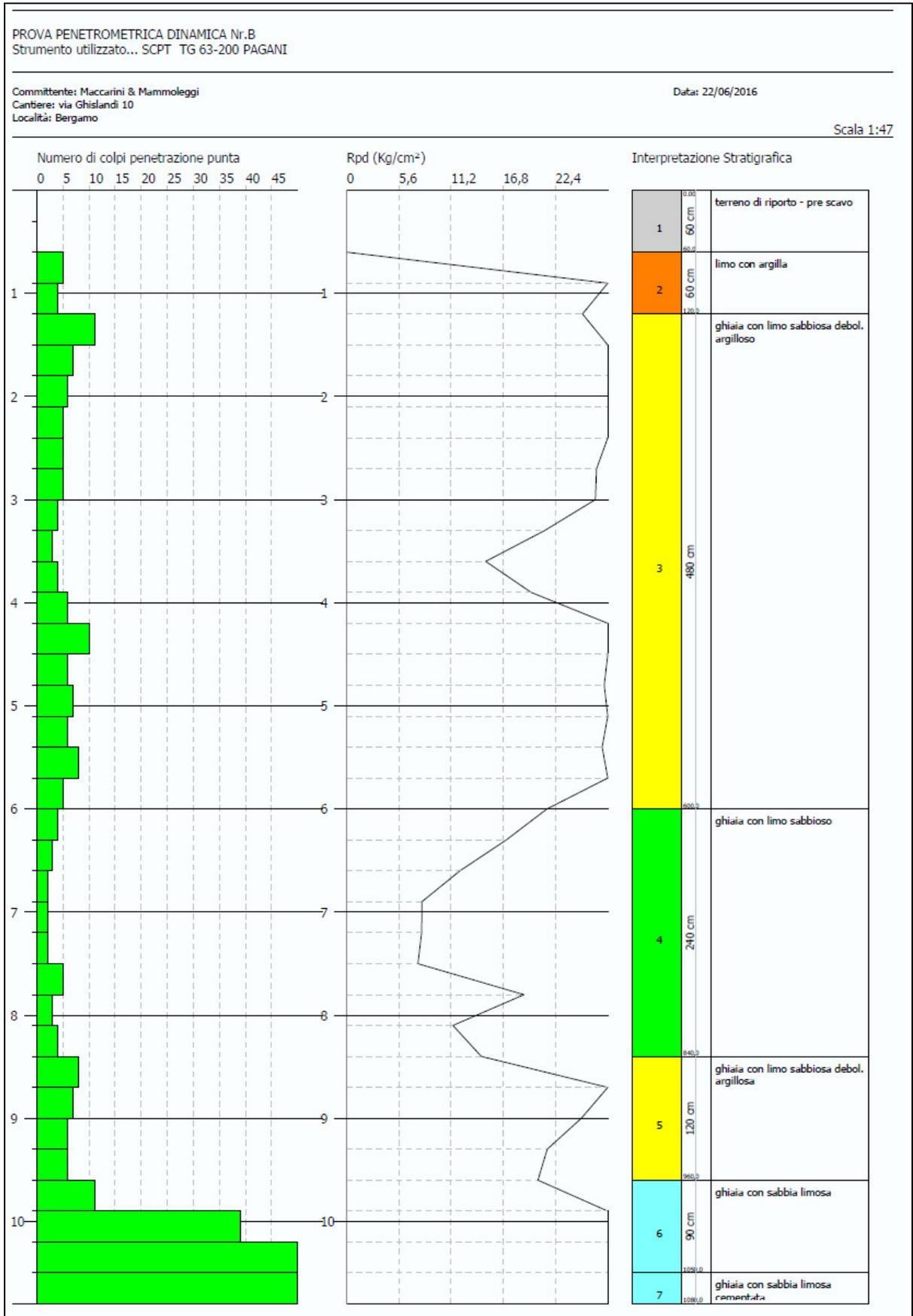


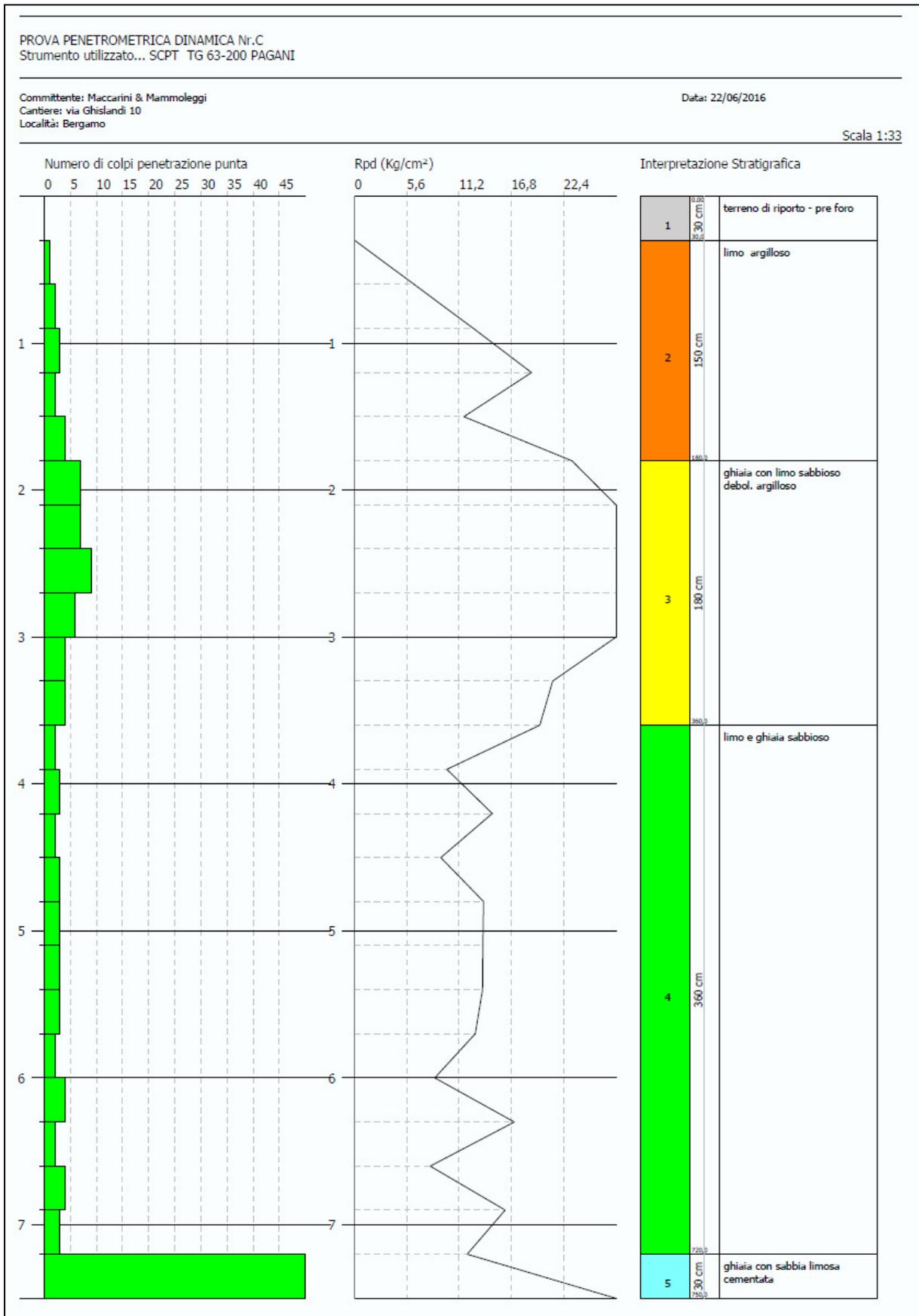


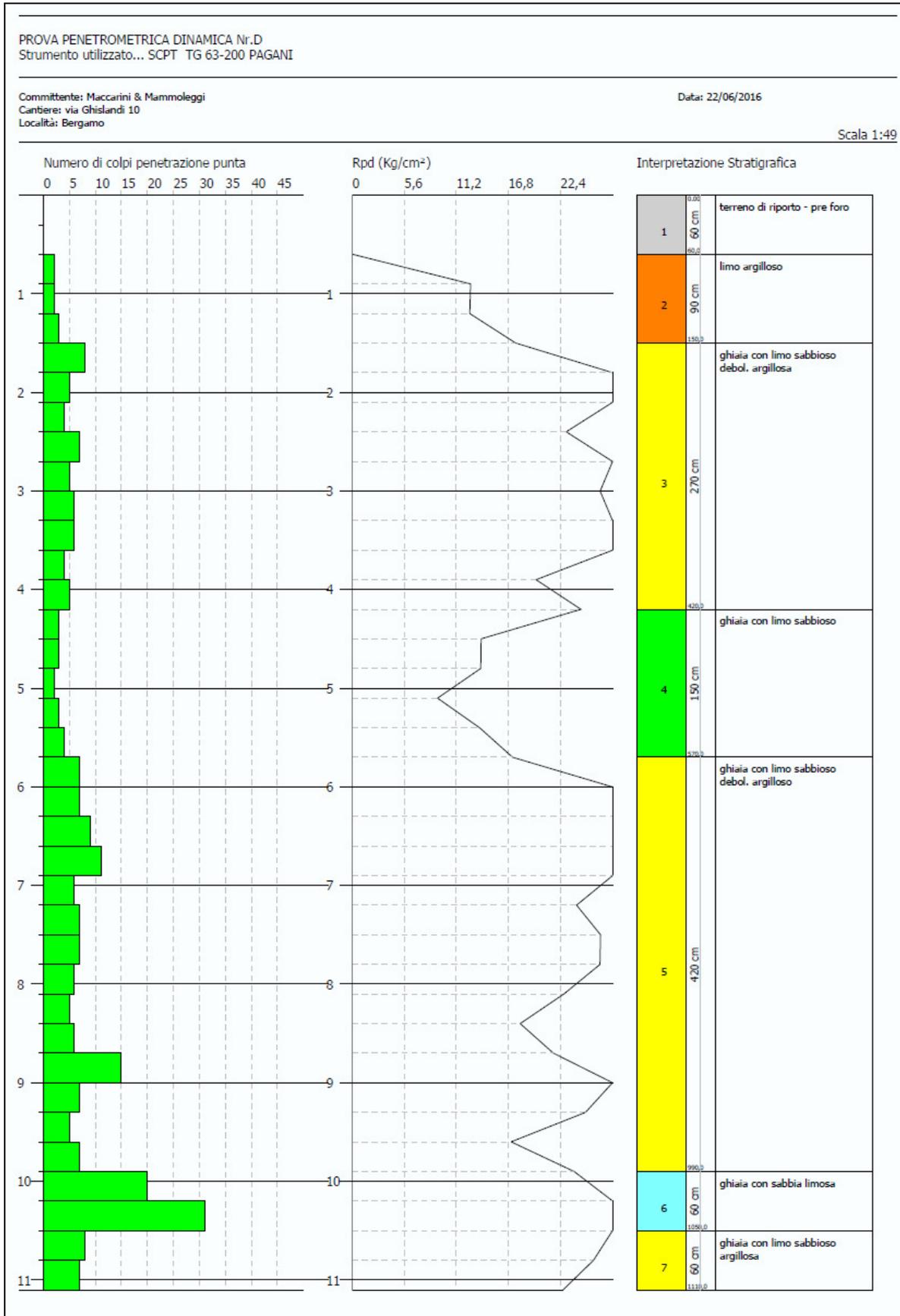












ALLEGATO 5

ALLEGATO FOTOGRAFICO



Foto n. 1 Panoramica area intervento da via Ghislandi



Foto n. 2 Panoramica verso sud area parcheggio ed edificato



Foto n. 3 Panoramica edificato da via Calepio



Foto n. 4 Ubicazione linea sismica



Foto n. 5 Ubicazione sondaggio S1



Foto n. 6 Ubicazione sondaggio S2



Foto n. 7 Scavi area ex-distributore



Foto n. 8 Ubicazione sondaggio S3



Foto n. 9 Ubicazione prova penetrometrica Pd D.