

**Loreto Immobiliare S.r.l.**  
**Beretta Pallets S.a.s.**

**PROPOSTA DI PIANO ATTUATIVO  
IN VARIANTE AL PGT**

**At\_e17Ex segherie Beretta  
Via M.L. King - Bergamo**

**Prot. n. E0203623PG del 02.08.2021**

**Integrazione a seguito dei pareri espressi  
in sede di Conferenza dei servizi  
mo**

**ALLEGATO E1.e:**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

752x08

Bergamo, maggio 2022



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

Geologia Applicata | Geotecnica | Geologia Ambientale  
Idrogeologia | Idrologia | Idraulica

**Studio geologico e geotecnico  
finalizzato all'intervento sull'Ambito di  
Trasformazione At\_e17 (valutazione  
della compatibilità geologica)**

## **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

### Committente

Loreto Immobiliare S.r.l.

### Località

Via Martin Luther King  
Comune di Bergamo

### Data

Dicembre 2013

### Relatore

Dott. Geol. Alberto Manella



## PREMESSA

Su incarico della società Loreto Immobiliare S.r.l. è stato eseguito uno studio geologico e geotecnico, finalizzato agli interventi edilizi previsti sull'Ambito di Trasformazione At\_e17 in via Martin Luther King nell'ambito del territorio comunale di Bergamo.

L'area di indagine, indicata nell'allegata corografia in scala 1:10.000, è localizzata all'estremità sud-occidentale del nucleo abitato cittadino, nella zona compresa fra la linea ferroviaria Bergamo-Lecco e la Strada Statale n. 342.

Lo studio geologico è stato realizzato con l'obiettivo di valutare, in rapporto agli strumenti di pianificazione esistenti, la compatibilità dell'intervento costruttivo con le condizioni di pericolosità geologica del territorio.

L'indagine geognostica è stata finalizzata alla ricostruzione del modello geologico e geotecnico del sito, accertando la natura litologica e la qualità meccanica del terreno costituente il sottosuolo e l'eventuale presenza di una falda idrica sotterranea.

La relazione geologica e geotecnica, realizzata a completamento dell'analisi dei dati bibliografici e delle prove effettuate in sito ed in laboratorio, contiene la descrizione dell'assetto geologico dell'area, della tipologia d'indagine geognostica effettuata, delle proprietà litostratigrafiche e fisico-meccaniche del sottosuolo e delle verifiche geotecniche condotte. L'insieme dei dati raccolti ha permesso infine di stabilire le soluzioni costruttive più idonee da adottare in fase esecutiva dei lavori di costruzione delle fondazioni, delle opere di sostegno del terreno e dei dispositivi di dispersione idrica nel sottosuolo.

La costruzione del modello geologico e geotecnico, la programmazione delle indagini e le procedure di verifica tecnica della sicurezza e delle prestazioni sono state eseguite in accordo a quanto previsto dalle "Norme tecniche per le Costruzioni" contenute nel Decreto Ministeriale 14-01-2008 e dai "Criteri ed indirizzi per le definizioni della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" riportati nella D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566, aggiornati con la D.G.R. 30-11-2011 n. IX/2616.

## CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

L'area in esame è situata in zona pianeggiante alla quota altimetrica di circa 229 m s.l.m., a cavallo fra il bacino idrografico del fiume Serio e quello del Fiume Brembo. I caratteri geologici della zona indagata sono riportati nella Carta Geologica e Idrogeologica allegata, desunte dallo studio geologico di supporto al PGT di Bergamo.

### Caratteristiche geologiche dell'area

La zona pianeggiante è interessata dalla presenza di depositi di copertura superficiale, che rappresentano tutti i terreni quaternari sciolti non litificati, anche se talora cementati, situati

al di sopra del substrato roccioso e messi in posto da molteplici processi geologici ai quali risultano correlabili mediante peculiari caratteristiche litologiche e tessiturali. Nell'area esaminata sono presenti depositi di origine fluvioglaciale, alluvionale ed eluvio-colluviale, riconducibili all'azione esercitata dai principali corsi d'acqua in seguito al ritiro delle grandi masse glaciali ed all'azione chimico-fisica degli agenti esogeni e della gravità. I sedimenti riconosciuti si distinguono nelle seguenti tre unità.

- **Complesso di Palazzago:** è formato da sedimenti eluvio-colluviali identificati da limi argilloso-sabbiosi di colore marrone rossiccio e giallino con clasti arenacei e calcareo-marnosi a spigoli vivi; tale unità si trova nella zona di raccordo a debole acclività posta fra la pianura e le colline cretacee.
- **Unità Postglaciale:** è costituita da depositi alluvionali sabbioso-limosi distribuiti lungo la zona perifluviale delle aste idriche connesse al torrente Morla;
- **Complesso di Ponte della Selva:** è caratterizzato da sedimenti fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi con abbondante matrice limosa e clasti poligenici arrotondati e spesso alterati; in superficie si rileva l'esistenza di un orizzonte di alterazione limo-argilloso di spessore prossimo a 3-4 m.

La fascia collinare è occupata dal substrato roccioso, che costituisce l'ossatura dei pendii su cui sorge il colle di Bergamo. La formazione maggiormente diffusa è rappresentata dal **Flysch di Bergamo**, unità cretacea formata da calcareniti grigio-nocciola e arenarie grigie micacee alternate a marne grigio-giallastre, con stratificazione da media a sottile.

Il substrato lapideo è spesso ricoperto da una coltre alterazione superficiale a granulometria limo-argillosa e con spessore variabile da poche decine di centimetri ad alcuni metri.

L'esame degli affioramenti rinvenuti esternamente alla zona indagata ha consentito di definire la struttura dei corpi rocciosi presenti, caratterizzati da una stratificazione con pendenza media pari a 30° verso SSW. In realtà nell'ambito della struttura globale gli strati misurati appartengono ad un'importante piega sinclinalica asimmetrica coricata, dotata di asse sviluppato in senso E-W e passante attraverso il crinale collinare su cui sorge Bergamo Alta.

## Conformazione geomorfologica ed idrografica dell'area

L'area pianeggiante, cui appartiene il comparto in esame, possiede una conformazione geomorfologica connessa all'azione del torrente Morla, il quale nel tempo ha svolto in fasi intermittenti azioni di erosione e di deposito. La testimonianza più lampante dell'azione morfogenetica del corso d'acqua è rappresentata dall'**orlo di terrazzamento alluvionale** presente in modo discontinuo sul territorio; esso segna il passaggio fra depositi di differente natura ed età, marcando con un dislivello talora di qualche metro l'orizzonte altimetrico principale della pianura.

Il Rio Morla risulta iscritto all'elenco delle acque pubbliche ed appartiene al reticolo idrico principale definito ai sensi della D.G.R. n. IX/4287 del 25-10-2012; l'asta idrica è registrata e classificata con la numerazione BG185. Il sito costruttivo è situato ad elevata distanza dall'alveo del corso d'acqua, al di fuori del raggio d'influenza dei processi di erosione ed esondazione fluviale.

## Assetto idrogeologico dell'area

La ricostruzione del quadro delle proprietà idrogeologiche del sottosuolo è avvenuta impiegando i dati contenuti nello Studio Geologico a supporto del Piano di Governo del Comune di Bergamo e quelli raccolti presso la banca dati online della Provincia di Bergamo, interpretando gli elementi tecnici desunti dalle stratigrafie di alcuni pozzi esistenti.

L'esame della stratigrafia dei pozzi nelle aree limitrofe il sito in questione e della sezione idrogeologica allegata ha permesso di verificare la composizione granulometrica del terreno e di individuare tipologie stratigrafiche che si ripetono da zona a zona in profondità. L'immediato sottosuolo è formato da sedimenti ghiaioso-sabbiosi misti a frazioni limo-argillose in quantità variabile sino a circa 80-100 m; a profondità maggiore compaiono unità ghiaiose e conglomeratiche compatte ed estese, con locali intercalazioni argillose.

L'andamento delle linee isopiezometriche, rappresentato nella Carta Idrogeologica dello studio geologico di supporto al PGT, indica che il movimento delle acque sotterranee avviene nei pressi dell'area d'intervento in direzione NE-SW, con un gradiente medio pari all'1,5%.

In relazione ai dati geologici ed idrogeologici disponibili è certo che la superficie piezometrica della falda libera si attesti presso il sito in oggetto ad oltre 25 m di profondità dal piano campagna. Ad ogni buon conto è possibile che nel sottosuolo a profondità inferiori al livello piezometrico siano presenti piccole falde sospese e filtrazioni d'acqua di modesta entità, legate agli apporti idrici di origine collinare e fluviale ed isolate da livelli impermeabili discontinui.

L'esame delle proprietà geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area ha consentito di rilevare l'esistenza dei seguenti fattori di pericolosità geologica, in riferimento ai quali si dovrà realizzare la progettazione esecutiva e definire le procedure edilizie da adottare:

1. presenza nel sottosuolo di terreno sciolto soggetto a rotture e cedimenti per effetto dell'applicazione di carichi esterni o di fenomeni di decompressione
2. esistenza di orizzonti discontinui di materiale limo-argilloso compressibile
3. presenza di falde idriche sotterranee sospese.

## VINCOLI INSISTENTI SULL'AREA D'INTERVENTO

L'analisi delle proprietà geologiche del sito e della fattibilità delle operazioni edilizie ha comportato in via preliminare l'acquisizione di tutte le limitazioni derivanti dalla presenza di vincoli di carattere geologico-ambientale e da studi specifici condotti sul territorio.

La ricostruzione del quadro completo dei vincoli esistenti è stata effettuata attraverso l'esame dei documenti disponibili presso l'Ufficio Tecnico Comunale (studio geologico di supporto al PGT), il Sistema Informativo Territoriale della Provincia di Bergamo ed il Geoportale della Regione Lombardia.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei principali vincoli connessi alla normativa italiana, con gli estremi legislativi di riferimento e l'effettiva insistenza sull'area in oggetto.

Tipologia	Estremi normativi	Presenza
Vincolo idrogeologico	R.D. 30-12-1923 n. 3267	No
Vincolo di polizia idraulica	D.G.R. 31-10-2013 n. X/883	No
Vincolo paesaggistico	D.Lgs. 22-01-2004 n. 42 art. 142	No
Vincolo cimiteriale	D.P.R. 10-09-1990 n. 285 art. 57	No
Vincolo captazione acque sotterranee	D.Lgs. 18-08-2000 n. 258 art. 5	No
Vincolo PAI e Fasce Fluviali	D.P.C.M. 24-05-2001	No
Classe di fattibilità geologica 4	D.G.R. 30-11-2011 n. IX/2616	No
Ambito estrattivo	D.C.R. 14-05-2008 n. VIII/619	No

La progettazione preliminare ed esecutiva dell'opera in questione dovrà essere confrontata con le specifiche limitazioni imposte dagli eventuali vincoli esistenti, adottando accorgimenti costruttivi idonei al soddisfacimento delle prescrizioni attuate dai rispettivi enti gestori.

## ANALISI DI COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

L'intervento edilizio in previsione contempla la trasformazione di destinazione d'uso delle aree esistenti e la realizzazione di strutture che si devono confrontare con gli elementi di vincolo e rischio, rilevati sul territorio da parte degli enti pubblici deputati alla definizione delle scelte pianificatorie.

Gli estratti allegati provengono dalla documentazione tecnica contenuta nello studio geologico a supporto del PGT, prodotta dallo studio Eurogeo su incarico del Comune di Bergamo.

Sull'area d'intervento la **Carta dei Vincoli** conferma che non insiste alcun vincolo geologico-ambientale; in parte è presente, al di fuori del terreno di proprietà sull'estremità sud-orientale, la fascia di rispetto idraulico di un corso d'acqua appartenente al reticolo di bonifica, che tuttavia non interferisce con il perimetro del sito individuato dall'ambito in oggetto.

I dissesti individuati dall'Autorità di Bacino sul territorio di Bergamo sono rappresentati dalle conoidi alluvionali e dalle aree soggette a pericolo di esondazione; tali perimetrazioni sono limitate alle zone collinari, ben lontano dall'area d'intervento.

Nella **Carta di Sintesi** dello studio geologico a supporto del PGT l'area in esame non è compresa in alcuna perimetrazione connessa con la pericolosità idraulica, la vulnerabilità idrogeologica e l'instabilità dei versanti. Si segnala invece che le caratteristiche del sottosuolo sono molto disomogenee ed associate a capacità portante variabile da scarsa a buona, con "correnti d'acqua sotterranee" diffuse e legate alla filtrazione dalle rogge.

La **Carta di Fattibilità Geologica** allegata testimonia che il sito costruttivo è compreso nella classe 3a, caratterizzata da consistenti limitazioni alla trasformazione di destinazione d'uso dei terreni. La problematica che ha indotto all'attribuzione di tale classe corrisponde alle scarse proprietà meccaniche del sottosuolo ed all'esistenza di falde sospese.

In ragione degli elementi raccolti e delle verifiche effettuate si ritiene che l'intervento edilizio in oggetto sia compatibile con gli strumenti di pianificazione territoriale vigenti; l'affermazione è confortata dall'assenza di vincoli geologico-ambientali, fra cui le aree in dissesto PAI, e di azioni morfogenetiche in atto legate alla gravità ed alle acque incanalate.

I fattori di rischio segnalati, sostanzialmente legati alle caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo, sono stati appunto oggetto di approfondimenti geognostici dettagliati sui quali è stata approntata nel presente studio l'analisi delle problematiche geotecniche.

## INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA

L'indagine geognostica è stata programmata con la finalità di definire il modello geotecnico del sottosuolo necessario alla progettazione strutturale, tenendo conto delle dimensioni dell'area di intervento, della tipologia dei fabbricati da costruire e della conformazione geologica della zona.

L'assetto geofisico del sottosuolo ed il comportamento nei confronti di sollecitazioni sismiche dello stesso è stato ricostruito tramite la realizzazione lungo uno stendimento di circa 60 m di:

- n. 1 prospezione sismica a rifrazione
- n. 1 indagine con tecnica Masw.

La conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche del sottosuolo è stata affidata all'esecuzione delle seguenti indagini in sito e di laboratorio:

- n. 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo sino a 20 m di profondità cadauno
- n. 2 piezometri microfessurati
- n. 9 prove penetrometriche dinamiche discontinue SPT nei fori di sondaggio
- n. 10 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT
- n. 5 prove di permeabilità in foro con il metodo di Lefranc
- n. 8 analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione
- n. 8 determinazioni dei limiti di Atterberg.

Le prove penetrometriche dinamiche continue sono state eseguite con penetrometro pesante avente le seguenti caratteristiche:

- peso della massa battente = 73 kg
- altezza di caduta libera = 0.75 m
- diametro della punta conica = 51 mm
- conicità della punta = 60°

- lunghezza delle aste = 1.5 m
- avanzamento della punta = 30 cm.

L'ubicazione dei punti di indagine è stata stabilita sulla base delle condizioni logistiche del sito e della distribuzione planimetrica ipotetica dei futuri fabbricati, con la finalità di accertare eventuali variazioni spaziali di litologia e caratteristiche geotecniche.

La punta penetrometrica è stata infissa con continuità a partire dal piano campagna per indagare uno spessore di terreno pari a circa 12 m, comprendendo in tal modo la profondità significativa sviluppata all'interno della zona di distribuzione delle tensioni indotte dalle fondazioni degli edifici in progetto. Le prove SPT nel foro di sondaggio hanno permesso di testare la resistenza del terreno sino alla profondità di 15 m.

Al termine delle prove è stato inoltre misurato il livello piezometrico della falda idrica sotterranea mediante osservazione delle aste di manovra e tramite rilevazione diretta con sonda freaticometrica.

I sondaggi meccanici sono stati spinti sino alla profondità di 20 m, nell'intento di accertare la natura del sottosuolo entro il volume significativo e di intercettare livelli stratigrafici caratterizzati da differenti stati di addensamento e permeabilità.

La prospezione geofisica è stata organizzata e strutturata per esaminare una porzione di sottosuolo pari a 30 m di profondità dal piano campagna e determinarne la velocità delle onde trasversali, così come previsto dalle "Norme tecniche per le Costruzioni" contenute nel Decreto Ministeriale 14-01-2008.

## MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico del sottosuolo appartenente al sito in esame è stato ricostruito mediante le informazioni fornite dal modello geologico e tramite i dati tecnici elaborati dalle indagini geognostiche. In tal modo è stato possibile creare uno schema sintetico delle caratteristiche stratigrafiche e fisico-meccaniche del terreno compreso all'interno del volume significativo.

### Caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo

Le stratigrafie dei sondaggi allegate evidenziano chiaramente che l'immediato sottosuolo è formato sino a circa 9 m di profondità da sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, con frazione limo-argillosa subordinata; nell'intervallo di profondità posto fra 9 e 15 m dal piano campagna si rileva l'esistenza di un orizzonte limo-argilloso con spiccate proprietà coesive. A profondità maggiore, sino al limite dei sondaggi a 20 m dal piano campagna, si estende un litotipo misto costituito da frazioni granulari e coesive in quantità variabili, ma generalmente più rappresentato dalla categoria ghiaiosa e sabbiosa.

Lo spessore e l'ubicazione dei corpi coesivi risulta variabile fra i due sondaggi; nel sondaggio n. 1 si riscontra l'esistenza di due orizzonti limo-argillosi fra 9,6 e 12,0 m e fra 14,9 e 16,0 m, mentre nel sondaggio n. 2 vi è un unico corpo coesivo esteso fra 9,2 e 14,5 m. Il modello geotecnico ricostruito rappresenta quindi una sintesi, eseguita mediando i risultati dei due sondaggi ed assumendo un andamento continuo del corpo limo-argilloso.

Le analisi geotecniche di laboratorio condotte sui campioni prelevati, per i cui dettagli si rimanda al certificato allegato, hanno permesso di stabilire con precisione le caratteristiche granulometriche dei terreni esaminati, ottenendo in sintesi i seguenti risultati:

Campione e profondità	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Indice di plasticità (-)
S1C1 (3,4-3,8 m)	32	18	42	8	25	21	4
S1C2 (6,5-6,8 m)	35	29	25	11	42	24	18
S1C3 (10,5-10,7 m)	0	0	64	36	43	22	21
S1C4 (11,4-11,7 m)	0	30	61	9	31	18	13

Campione e profondità	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Indice di plasticità (-)
S2C1 (5,5-6,0 m)	47	40	13	0	44	22	22
S2C2 (9,6-9,8 m)	0	0	74	26	39	22	17
S2C3 (13,7-14,0 m)	1	38	39	12	31	19	12
S2C4 (17,3-17,6 m)	21	23	47	9	30	25	5

Come si nota, ad eccezione dei livelli limo-argillosi chiaramente identificati, i sedimenti misti possiedono percentuale di frazione granulare ghiaioso-sabbiosa prossima o superiore al 50%, testimoniando il comportamento incoerente del deposito. Il limite liquido generalmente modesto indica la ridotta compressibilità del materiale fine presente nei vari orizzonti esaminati, mentre l'indice di plasticità, attestato solitamente su bassi valori, conferma una discreta resistenza al taglio. Del resto la classificazione USCS, effettuata sui campioni con contenuto di fine superiore al 50%, ha sempre condotto alla categoria L.

### Proprietà geotecniche del sottosuolo

La caratterizzazione fisico-meccanica del terreno è avvenuta interpretando i risultati delle prove penetrometriche dinamiche continue e discontinue. I valori di resistenza penetrometrica sono stati elaborati e rappresentati nei diagrammi penetrometrici allegati, che indicano le variazioni di proprietà meccaniche del terreno lungo la profondità investigata.

In corrispondenza di ogni singola prova il sottosuolo è stato suddiviso in strati omogenei, caratterizzati da proprietà meccaniche costanti e quindi identificati da specifici parametri geotecnici ricavati per correlazione dalla resistenza penetrometrica.

In relazione agli elementi litostratigrafici del sottosuolo a disposizione si è deciso di interpretare il terreno con abbondante frazione granulare come materiale incoerente e perciò dotato di resistenza esclusivamente legata all'angolo di attrito interno, ipotizzando a favore della sicurezza la coesione intercetta pari a  $0.0 \text{ t/m}^2$ , compatibile con una situazione di sollecitazione meccanica in condizioni drenate. Gli orizzonti limo-argillosi sono invece stati interpretati come terreno coesivo, con parametri geotecnici definiti in condizioni non drenate e resistenza legata alla sola coesione.

L'assetto stratigrafico medio deducibile dai sondaggi e dalle prove consente di suddividere sinteticamente il sottosuolo nei seguenti strati, caratterizzati da specifiche resistenze penetrometriche e parametri caratteristici.

Proprietà e parametri caratteristici del terreno	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5
Descrizione	Terreno di riporto	Terreno incoerente	Terreno coesivo	Terreno coesivo	Terreno incoerente
Intervallo di profondità (m)	0,0-1,5	1,5-9,0	9,0-10,0	10,0-15,0	15,0-20,0
Resistenza penetrometrica	4	13	12	25	25
Peso di volume naturale ( $\text{t/m}^3$ )	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
Angolo di attrito interno ( $^\circ$ )	$25^\circ$	$29^\circ$	-	-	$34^\circ$
Coesione non drenata ( $\text{t/m}^2$ )	-	-	6,0	12,5	-

Si rileva che le prove n. 8-9-10 mostrano una resistenza penetrometrica minore dello strato n. 2, segnalando che l'estremità orientale dell'area d'intervento è caratterizzata da un comportamento meccanico differente rispetto a quello sintetizzato dal modello proposto. Tale situazione dovrà quindi essere adeguatamente valutata in sede di scelta della tipologia della fondazione e di dimensionamento della stessa.

Le prove penetrometriche SPT hanno permesso di acquisire dati nell'intervallo di profondità non raggiunto dalle prove penetrometriche SCPT; i valori rilevati sono risultati elevati ed in sostanziale accordo fra i due sondaggi.

### Localizzazione della falda idrica sotterranea

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche SCPT e dei sondaggi meccanici è stata riscontrata la presenza di acqua, certamente non riconducibile alla falda freatica principale bensì ad un corpo sospeso e discontinuo. Tale situazione geologica è caratteristica del comparto in cui si inserisce l'area in oggetto; le venute d'acqua rilevate sono connesse in parte agli scoli collinari ed in parte alle infiltrazioni provenienti dai corsi d'acqua superficiale.

Il livello di intercettazione dell'acqua, osservato sulle aste penetrometriche estratte, corrisponde a circa 5-6 m di profondità dal piano campagna, mentre quello di stabilizzazione varia da 0,6 a 2,9 m. Nei fori di sondaggio è stata rilevata indicativamente la medesima quota di intercettazione, mentre il livello di stabilizzazione nei piezometri si è attestato a 1,6 m dal piano campagna. Ciò significa che il sottosuolo è interessato dalla presenza di un corpo idrico

sotterraneo, diffuso sull'intero sito di proprietà e caratterizzato da un debole artesianesimo; la pressione di cui è dotato comporta il raggiungimento di una modesta profondità dal piano campagna.

Al momento attuale e con i dati a disposizione non è possibile quantificare le oscillazioni stagionali della falda, soprattutto per effetto di eventi meteorici intensi e prolungati, e definire con precisione lo sviluppo e l'estensione del corpo idrico sotterraneo.

## CARATTERISTICHE DELLA COSTRUZIONE IN PROGETTO

L'analisi delle problematiche geotecniche e la verifica della sicurezza dell'opera non può prescindere dalla tipologia del manufatto da realizzare; pertanto su indicazione della committenza e del progettista sono state riunite alcune informazioni sintetiche in merito alle caratteristiche delle costruzioni in progetto.

L'intervento edilizio prevede la costruzione di edifici commerciali e direzionali, con strutture ricettive di supporto.

In relazione a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni si riassumono sinteticamente le proprietà tecniche della costruzione in progetto, che dovranno essere impiegate per il dimensionamento strutturale dell'opera:

- tipo di costruzione = 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 = III, costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi
- coefficiente d'uso  $C_U = 1,5$
- periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R \geq 75$  anni.

## CLASSIFICAZIONE SISMICA E PARAMETRI SISMICI DEL SITO

La classificazione sismica del sito è stata realizzata in riferimento ai contenuti delle normative indicate nella premessa; la categoria del sottosuolo è stata identificata impiegando la velocità delle onde di taglio misurate sino a 30 m di profondità. Queste ultime sono state definite attraverso la prospezione geofisica, per i cui dettagli si rimanda al certificato allegato e prodotto dalla società esecutrice Progea Consulting S.r.l..

La prospezione geofisica con la tecnica della sismica a rifrazione e con la tecnica Masw ha confermato lo sviluppo nei primi 15-20 m di profondità di litologie miste limo-argillose e ghiaioso-sabbiose, mentre a profondità maggiore ha evidenziato la prevalenza di litologie a maggiore frazione fine. I risultati dell'indagine indiretta confermano quindi quelli dell'indagine

geognostica diretta, svolta tramite sondaggi meccanici, prove penetrometriche ed analisi di laboratorio.

Il calcolo della  $V_{s30}$ , effettuato nei primi 30 m come media pesata fra i vari strati secondo i criteri previsti dalla normativa, ha condotto ad un valore pari a 295 m/s, che identifica il terreno nella **categoria di suolo di fondazione C**.

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è rappresentato dallo **spettro di risposta elastico**, costituito da una forma spettrale moltiplicata per l'accelerazione massima. Per definire il livello di protezione antisismica della costruzione si dovrà attribuire in sede progettuale un fattore d'importanza al fabbricato da realizzare, associandolo agli effetti prodotti dall'azione sismica nello stato limite di collasso e di danno.

Nell'ambito della suddivisione in zone sismiche del territorio nazionale il comune di Bergamo è inserito nella **zona 3**. La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto è stata effettuata direttamente per il sito in esame, sulla base delle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008, ipotizzando che gli edifici di futura costruzione appartengano alla classe III e che la relativa struttura abbia una vita nominale pari a 50 anni (tipo di costruzione 2).

I parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici, ottenuti mediante GeoStru PS, sono riportati nelle tabelle seguenti:

Stato limite	Prob. sup. (%)	$T_r$ (anni)	$a_a$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
Operatività (SLO)	81	45	0,036	2,472	0,211
Danno (SLD)	63	75	0,047	2,435	0,233
Salvaguardia vita (SLV)	10	712	0,127	2,441	0,274
Prevenzione collasso (SLC)	5	1462	0,164	2,481	0,281

Stato limite	$S_s$	$C_c$	$S_t$	$K_h$	$K_v$	$A_{max}$	Beta
Operatività (SLO)	1,500	1,760	1,000	0,011	0,006	0,530	0,200
Danno (SLD)	1,500	1,700	1,000	0,014	0,007	0,691	0,200
Salvaguardia vita (SLV)	1,500	1,610	1,000	0,046	0,023	1,868	0,240
Prevenzione collasso (SLC)	1,460	1,600	1,000	0,057	0,029	2,342	0,240

In relazione ai contenuti della D.G.R. 30-11-2011 n. IX/2616 l'area in oggetto è identificata nello studio geologico del PGT come scenario di pericolosità sismica locale Z4a "zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi". Tale contesto indica il rischio che un evento sismico ed i relativi scuotimenti producano effetti di amplificazione litologica in grado di alterare i risultati di un sisma sulla base di quanto previsto dalla normativa nazionale.

In conclusione si aggiunge alle considerazioni effettuate che il sottosuolo oggetto delle operazioni edilizie non è soggetto a rischi connessi con la presenza di pendii e/o di rotture per faglia; l'area d'intervento appartiene alla categoria topografica T1, caratterizzata da "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

Per quanto attiene l'analisi di eventuali effetti cosismici durante un sisma si propone in prima istanza di adottare i seguenti valori dei fattori di amplificazione rispettivamente stratigrafica e topografica:

- $S_S = 1,50$  (categoria di sottosuolo C)
- $S_T = 1,00$  (categoria topografica T1).

## ANALISI DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Le condizioni geologiche e morfologiche di un sito possono generare la possibilità, in occasione di eventi sismici, di effetti di amplificazione che possano alterare la situazione di pericolosità sismica dell'area stabilita dalla normativa.

Considerato che l'area è dotata di acclività inferiore a  $15^\circ$  non si possono attendere effetti di amplificazione topografica, bensì litologica e cioè legata alle proprietà geotecniche dei materiali che subiscono le sollecitazioni sismiche, alterando l'ampiezza, la durata ed il contenuto in frequenza che un moto sismico può avere durante l'attraversamento degli strati di terreno.

La procedura di valutazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione litologica è stata eseguita secondo i criteri previsti dalla D.G.R. 30-11-2011 n. IX/2616, utilizzando la scheda allegata riferita alla litologia limoso-sabbiosa tipo 2. Nell'ambito della porzione di terreno indagato sono state individuate litologie miste, limo-argillose e ghiaioso-sabbiose; pertanto si è deciso di impiegare la scheda che complessivamente raggruppa i terreni in questione e permette di rientrare nel campo di validità definito.

L'andamento delle velocità delle onde trasversali con la profondità è stato desunto dal certificato dell'indagine geofisica allegato. La successione ottenuta è sintetizzata nella seguente tabella:

Strato	Intervallo di profondità (m)	Velocità delle onde trasversali (m/s)
1	0,00-1,81	84
2	1,81-7,51	487
3	7,51-14,77	245
4	14,77-19,10	502
5	19,10-30,00	359

All'interno della scheda per la valutazione dell'amplificazione litologica è stata scelta in funzione della profondità e della velocità delle onde sismiche trasversali  $V_s$  la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione sismica  $F_a$  negli intervalli 0,1-0,5 s

e 0,5-1,5 s in base al valore del periodo proprio del sito T. Quest'ultimo è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V s_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove  $h_i$  e  $Vs_i$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello.

Gli intervalli di periodo prescelti sono stati definiti in rapporto al periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più diffuse sul territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0,1-0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5-1,5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Applicando la procedura descritta, rappresentata nella scheda allegata e riferita ad un periodo calcolato di 0,33 s, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- $F_a = 1,80$  per l'intervallo 0,1-0,5 s
- $F_a = 1,31$  per l'intervallo 0,5-1,5 s.

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di  $F_a$  ottenuto dalle schede litologiche con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica, per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche e per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. Il parametro in questione, riportato nella banca dati della Regione Lombardia, rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

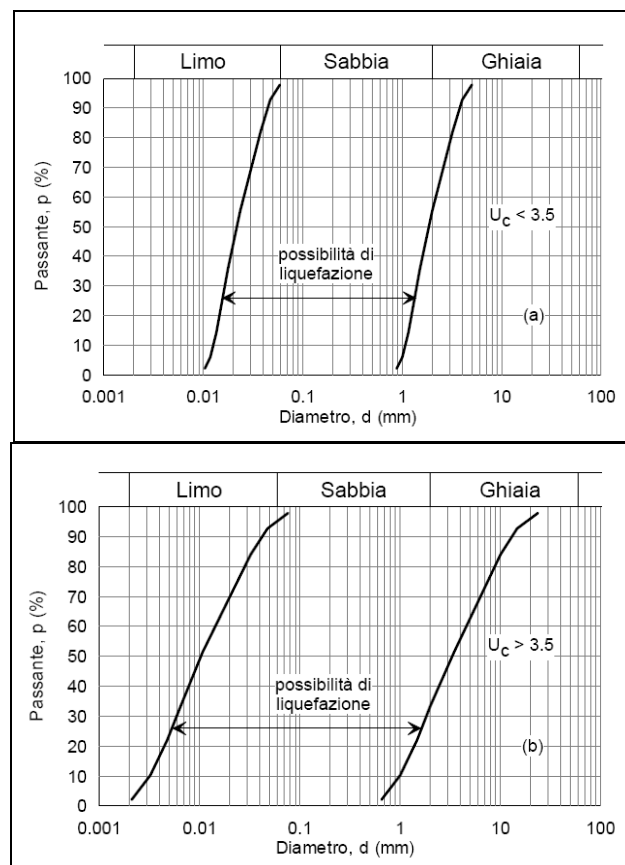
Considerato che il sottosuolo indagato appartiene alla categoria C sono stati confrontati i valori di  $F_a$  ottenuti con il parametro proposto dalla Regione (rispettivamente pari a 1,90 e 2,4), accertando che la normativa nazionale risulta adeguata a rappresentare i reali effetti di amplificazione sismica per entrambi gli intervalli di periodo.

## ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

La liquefazione è un fenomeno di riduzione della resistenza al taglio causata dall'incremento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante uno scuotimento sismico.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure resistenza penetrometrica statica normalizzata  $q_{c1N} > 180$ ;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC 2008 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Sulla base delle proprietà geologiche del sito, della analisi granulometriche a disposizione e dei dati sismici storici raccolti è possibile affermare con certezza che sussista la condizione e) per escludere la possibilità di insorgenza del fenomeno della liquefazione. Tale considerazione è rafforzata dai seguenti due metodi di analisi qualitativa, sulla base dei quali la liquefazione risulta scarsamente probabile.

#### **Criterio di Youd e Perkins (1978)**

- Pianure e conoidi alluvionali
- Età del deposito = Pleistocene
- Suscettibilità alla liquefazione = bassa

#### **Criterio di Obermeier (1996)**

- Deposito del tardo Pleistocene
- Profondità della falda = 0-3 m
- Suscettibilità alla liquefazione = bassa.

Le valutazioni empiriche preliminari sono confermate anche dal fatto che il sottosuolo è formato da depositi a forte composizione ghiaiosa e che la ridotta intensità presumibile di un sisma nella zona in questione richiederebbe un elevato numero di cicli di carico per indurre l'inizio della liquefazione; tale contesto rende quindi la liquefazione un fenomeno poco probabile.

## **DETERMINAZIONE DELLA CONDUCIBILITA' IDRAULICA DEL TERRENO**

Nel contesto delle indagini e degli studi condotti sull'ambito di trasformazione è stato richiesto di verificare la permeabilità del sottosuolo, nell'ottica di esaminare la capacità di assorbimento del terreno e realizzare eventuali dispositivi di dispersione idrica.

La determinazione del coefficiente di conducibilità idraulica del terreno lungo la profondità investigata è stata realizzata effettuando complessivamente n. 5 prove di permeabilità in foro con il metodo di Lefranc.

La procedura contempla il raggiungimento con il tubo di rivestimento della profondità desiderata, il sollevamento dello stesso per circa 50 cm, l'inserimento di un filtro di ghiaietto e l'immissione di acqua sino al completo riempimento della tubazione installata. A questo punto la prova può essere eseguita a carico variabile, misurando gli abbassamenti del livello idrico nel tempo, o a carico costante, immettendo una quantità di acqua pari a quella assorbita.

Nella fattispecie le prove di permeabilità sono state realizzate sia a carico costante che a carico variabile, confrontando i risultati ottenuti.

I valori ricavati, riferiti alla geometria ed ai parametri indicati nelle schede allegate, vengono sintetizzati nella tabella seguente:

<b>Prova</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) a carico variabile / a carico costante</b>
S1P1	3,0	$9,93 \cdot 10^{-6}$ / $3,65 \cdot 10^{-6}$
S1P2	6,0	$1,28 \cdot 10^{-6}$ / $1,33 \cdot 10^{-6}$

Prova	Profondità (m)	Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) a carico variabile / a carico costante
S2P1	3,0	$1,63 \cdot 10^{-6}$ / $2,43 \cdot 10^{-6}$
S2P2	6,0	$8,89 \cdot 10^{-7}$ / $1,06 \cdot 10^{-6}$
S2P3	20,0	$9,41 \cdot 10^{-7}$ / $2,13 \cdot 10^{-7}$

Come si osserva il grado di permeabilità risulta molto basso, compatibilmente con la granulometria del terreno, caratterizzato localmente anche da sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, ma dotati di frazione limo-argillosa generalmente abbondante.

La stima del coefficiente di conducibilità idraulica è stata eseguita anche indirettamente tramite i dati granulometrici, impiegando la formula di Hazen:

$$k = c \cdot (D_{10})^2$$

dove  $D_{10}$  è il diametro efficace corrispondente al 10% di passante della curva granulometrica e  $c$  è una costante dipendente dalla granulometria del terreno.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Campione	Diametro efficace (mm)	Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s)
S1C1	0,0022	$4,8 \cdot 10^{-8}$
S1C2	0,0015	$2,2 \cdot 10^{-8}$
S1C3	-	-
S1C4	0,0020	$4,0 \cdot 10^{-8}$
S2C1	0,0600	$3,6 \cdot 10^{-5}$
S2C2	-	$4,8 \cdot 10^{-8}$
S2C3	0,0015	$2,2 \cdot 10^{-8}$
S2C4	0,0021	$4,4 \cdot 10^{-8}$

I valori del coefficiente di conducibilità idraulica confermano la scarsa capacità di assorbimento del terreno ottenuta anche tramite le prove in foro; considerando in aggiunta l'esistenza di corpi idrici sotterranei sospesi si desume che non sia ragionevole e efficace realizzare sistemi di dispersione idrica tradizionali nell'immediato sottosuolo.

## CONSIDERAZIONI SULLA SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE

Allo stato attuale sull'ambito di trasformazione in oggetto non vi sono previsioni costruttive definitive, sia in merito alla tipologia architettonica degli edifici che alle caratteristiche strutturali degli stessi.

Le indagini geognostiche effettuate e la parametrizzazione del terreno costituente il sottosuolo hanno permesso di acquisire tutti gli elementi indispensabili per il futuro dimensionamento delle fondazioni e per le verifiche delle prestazioni strutturali.

Per il momento è quindi solo possibile formulare alcune considerazioni, che dovranno essere esaminate in sede di progettazione definitiva per la scelta della tipologia e delle caratteristiche delle fondazioni.

La presenza di acqua nel sottosuolo, sottoforma di piccole falde in pressione sospese e discontinue, induce a ritenere opportuno il ricorso ad opere di impermeabilizzazione, che preservino l'integrità delle fondazioni e soprattutto delle porzioni edificate soggette all'utilizzo previsto. In alternativa si dovrà attuare operazioni di captazione ed emungimento delle acque sotterranee, mantenendo il livello statico al di sotto del piano interrato e delle fondazioni.

La qualità geotecnica dell'immediato sottosuolo, generalmente modesta, e la diffusione di corpi argillosi di geometria irregolare suggeriscono di privilegiare l'impiego di fondazioni in grado di limitare l'effetto dei cedimenti differenziali.

In ragione dell'assetto geotecnico del sottosuolo appare particolarmente adatta la fondazione su platea, che garantisce una distribuzione omogenea del carico al terreno, assorbendo eventuali cedimenti differenziali e favorendo la realizzazione dei dispositivi di impermeabilizzazione.

## ANALISI DI STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO

La realizzazione dei nuovi edifici richiederà l'esecuzione di uno scavo di sbancamento pari a circa 4-5 m. Considerata la necessità di garantire la sicurezza degli operatori in cantiere e capitalizzare le operazioni di sbancamento è stata valutata la stabilità dei fronti di scavo a breve termine, onde definirne le condizioni di sicurezza in attesa della predisposizione definitiva delle opere di sostegno.

Il terreno interessato dallo sbancamento è costituito prevalentemente da materiale granulare ghiaioso-sabbioso, con uno strato superficiale in parte riportato di spessore prossimo a 1,5 m; il comportamento meccanico è spiccatamente di tipo incoerente e non vi sono metodi di calcolo della coesione non drenata, il cui valore può essere ipotizzato comunque molto modesto.

Pertanto non è possibile formulare una valutazione numerica della stabilità del fronte di scavo; tuttavia, sulla base delle esperienze maturate in zone adiacenti e della modesta altezza, si assume che il fronte possa essere stabile a breve termine, in assenza di sovraccarichi esterni, per la presenza di una piccola aliquota di coesione non drenata, applicando una pendenza della scarpata inferiore a 50°.

In ogni caso la presenza dell'acqua nel sottosuolo, la vicinanza di strutture edificate e l'eterogeneità del terreno richiedono la verifica puntuale in sede esecutiva, sulla base dell'effettiva entità e localizzazione delle aree di scavo.

## PRESCRIZIONI E CRITERI COSTRUTTIVI

La ricostruzione del modello geologico dell'area d'intervento e del modello geotecnico del sottosuolo ha permesso di fornire un quadro completo dei fattori naturali del territorio che condizionano le scelte edificatorie e delle grandezze fisico-meccaniche che intervengono direttamente nella progettazione strutturale dell'opera. Le fondazioni ed i muri di sostegno, elementi strutturali che agiscono a contatto con il terreno, dovranno essere dimensionati in rapporto ai parametri ed alle prescrizioni contenuti nel presente studio.

Per la corretta esecuzione dei lavori si ritiene indispensabile il rispetto dei seguenti criteri costruttivi, l'applicazione dei quali permetterà di operare secondo tecniche e modalità conformi alla natura geologica ed al comportamento geotecnico del terreno.

1. Il piano di appoggio delle fondazioni dovrà sempre essere ricavato nello strato n. 2, oltrepassando il livello superficiale di scarsa qualità geotecnica.
2. La capacità portante limite, la capacità portante di esercizio e la resistenza del terreno  $R_d$  e  $C_d$  dovranno essere calcolate sulla base della tipologia e della geometria della fondazione.
3. La presenza di un corpo idrico sospeso ed in pressione induce a suggerire di adottare adeguate opere di impermeabilizzazione delle strutture e/o drenaggio del terreno.
4. La zona corrispondente alle prove 8-9-10 si discosta rispetto al modello geotecnico ricostruito per l'intera area; si consiglia quindi in fase esecutiva di adottare soluzioni tecniche che preservino da cedimenti differenziali.
5. In fase di dimensionamento dei muri interrati, considerato che gli stessi sono vincolati in sommità, dovrà essere usata la tensione geostatica orizzontale in luogo della spinta attiva e si dovrà considerare l'effetto prodotto dal terreno naturale e dal riempimento utilizzato a tergo della struttura armata.
6. Per quanto concerne i fronti di scavo è stata accertata la possibilità in assenza di sovraccarichi di effettuare lo sbancamento per la costruzione delle fondazioni in un'unica soluzione con pendenza inferiore a  $50^\circ$ ; ad ogni buon conto durante le operazioni esecutive di sbancamento si dovrà verificare l'omogeneità del terreno e la localizzazione delle venute idriche, così da modificare se necessario la previsione effettuata.
7. Le operazioni di scavo in adiacenza ai manufatti esistenti dovranno essere eseguite con cura, onde evitare di indurre dissesti statici; eventualmente si potrà ricorrere ad opere di sostegno provvisorio quali paratie o diaframmi.
8. Lo scavo di sbancamento dovrà essere realizzato in condizioni meteorologiche favorevoli; nel caso in cui si verificano precipitazioni atmosferiche si consiglia di proteggere i fronti di scavo con teli impermeabili, così da contrastare la saturazione del terreno e la conseguente perdita della coesione.
9. I sistemi di scarico delle acque meteoriche, reflue e di fognatura dovranno essere progettati nel rispetto di quanto previsto dalla normativa vigente, con particolare riferimento al D.Lgs.

18-08-2000 n. 258, alla D.G.R. 10-04-2003 n. 7/12693 ed al Regolamento Regionale 24-03-2006 n. 4.

10. Vista la scarsa permeabilità del terreno si sconsiglia la realizzazione di dispositivi di dispersione idrica nel sottosuolo, che non garantirebbero un'adeguata capacità di assorbimento e costituirebbero punti di possibile risalita della falda sospesa.

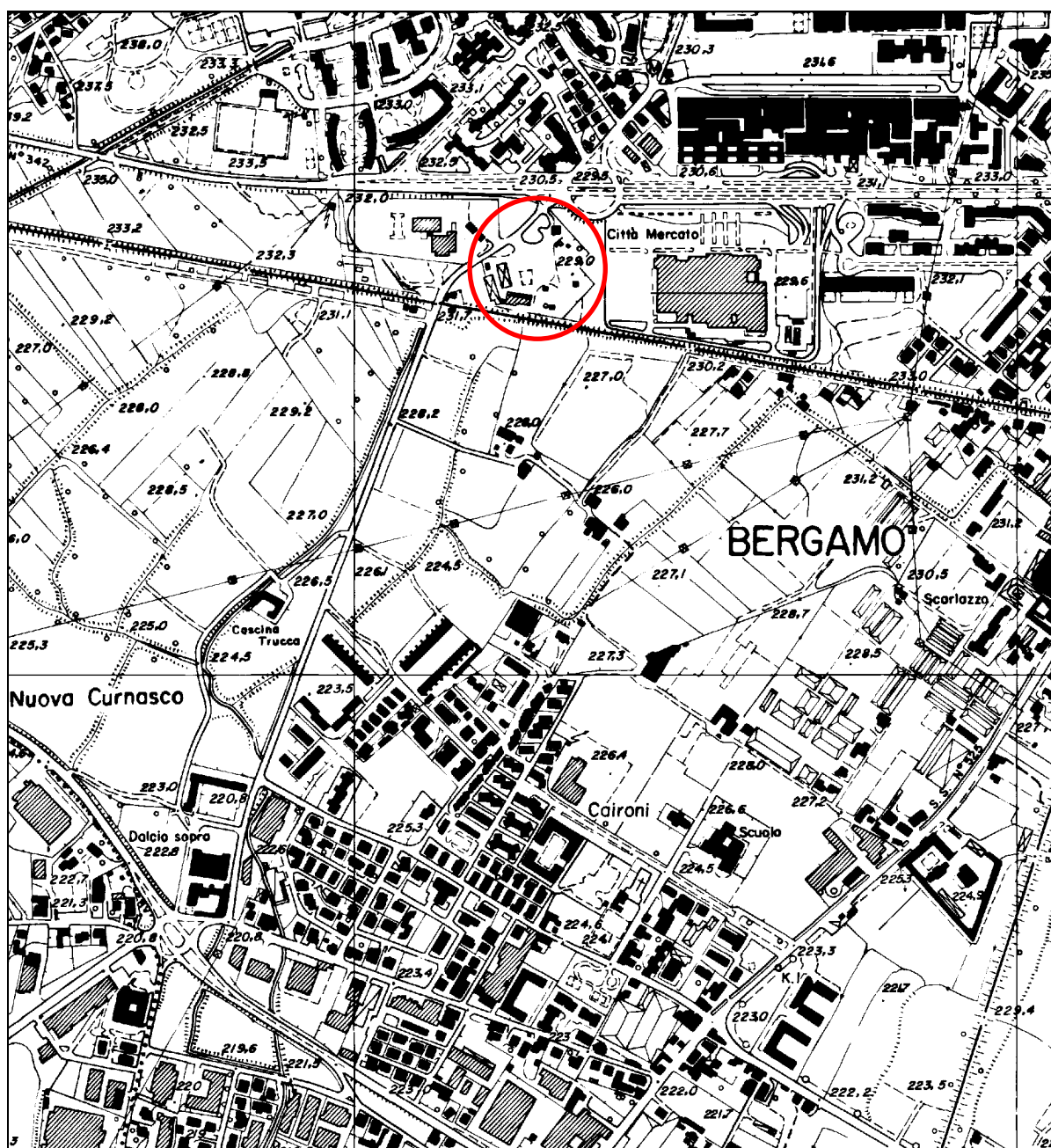
In conclusione si ribadisce che gli interventi edilizi previsti sull'Ambito di Trasformazione At\_e17 sono compatibili con l'assetto geologico-sismico dell'area e geotecnico del sottosuolo, ricostruito ed indagato secondo i criteri tecnici contenuti nelle norme geologiche riportate nel PGT del Comune di Bergamo.

## ALLEGATI

- ◆ Corografia
- ◆ Carta Geologica
- ◆ Carta Idrogeologica
- ◆ Sezione idrogeologica
- ◆ Carta dei Vincoli
- ◆ Carta di Fattibilità Geologica
- ◆ Planimetria delle indagini geognostiche
- ◆ Stratigrafia dei sondaggi meccanici
- ◆ Dati e diagrammi penetrometrici SPT e SCPT
- ◆ Scheda di valutazione di amplificazione litologica
- ◆ Tabelle di elaborazione delle prove SPT e SCPT
- ◆ Modello geotecnico del sottosuolo
- ◆ Schede delle prove di permeabilità in foro
- ◆ Documentazione fotografica
- ◆ Certificato delle analisi geotecniche di laboratorio
- ◆ Certificato della prospezione geofisica

## COROGRAFIA

Scala 1:10.000



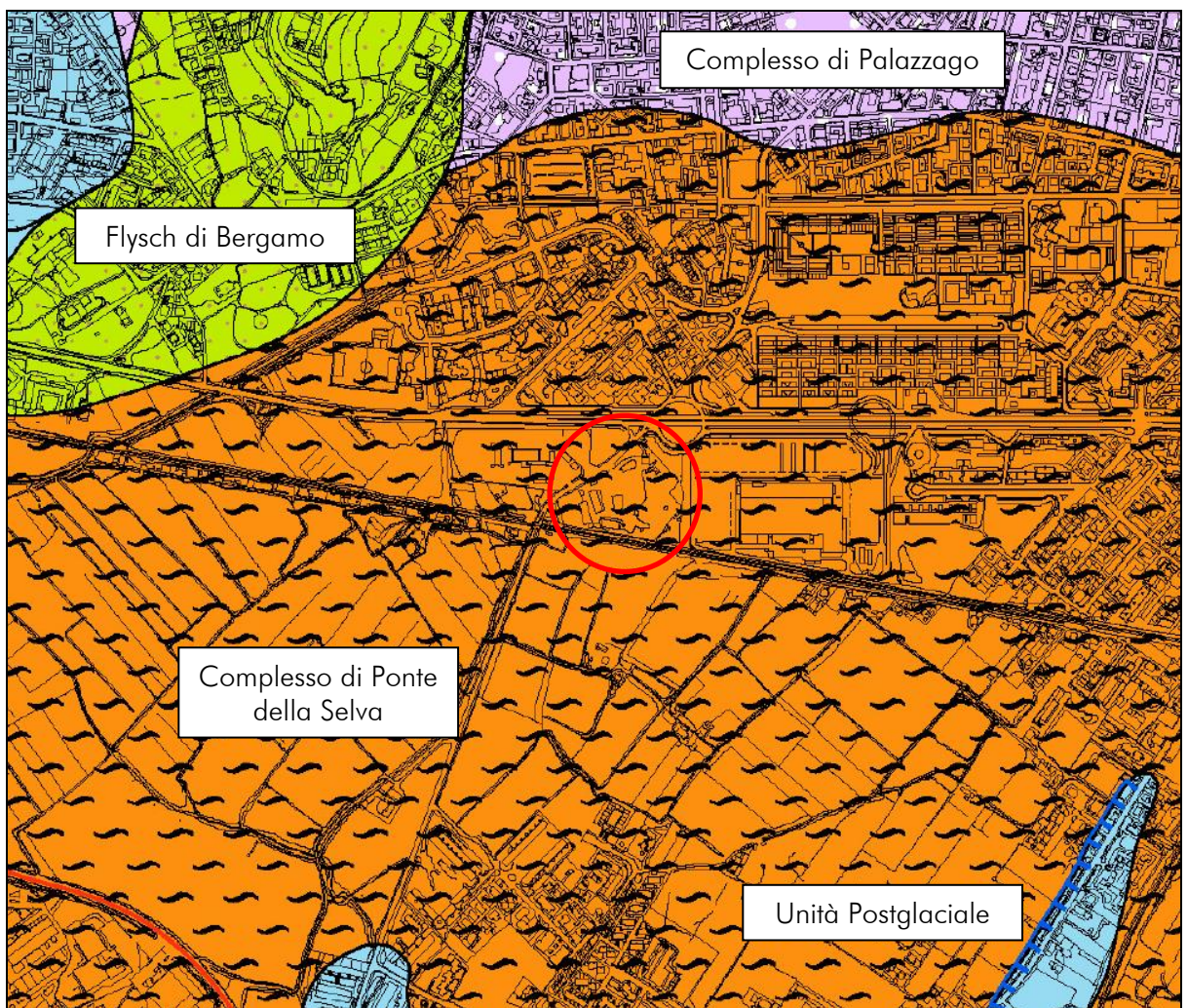
**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17*

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## **CARTA GEOLOGICA**

(da studio geologico a supporto del PGT di Bergamo)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

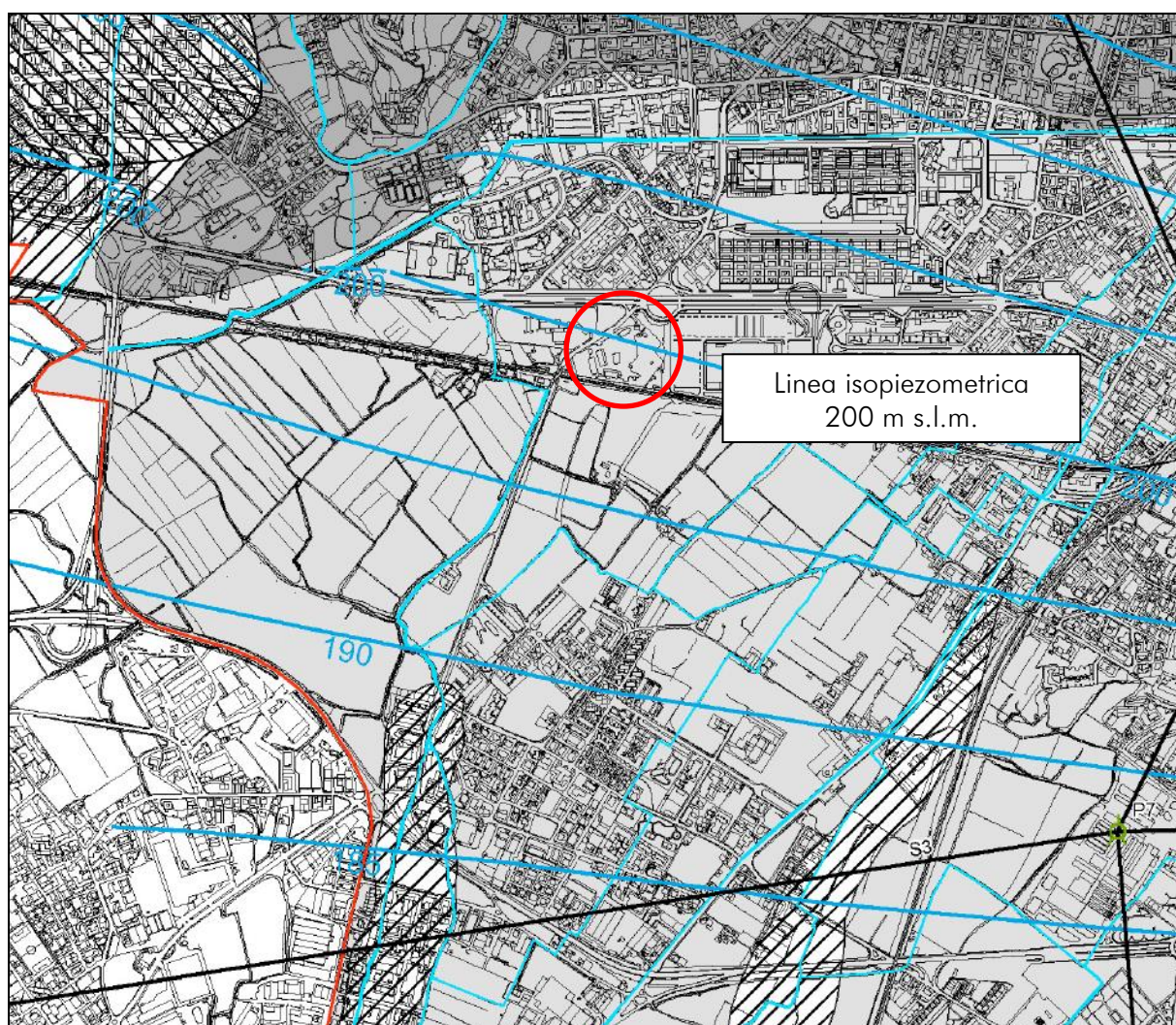
**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17*

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## **CARTA IDROGEOLOGICA**

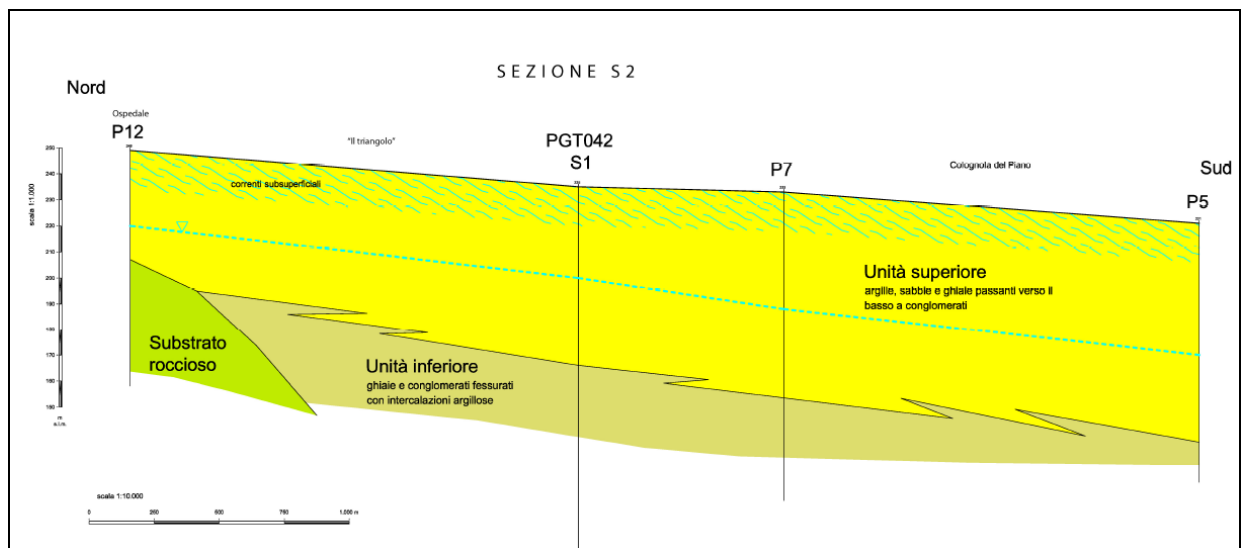
(da studio geologico a supporto del PGT di Bergamo)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

## SEZIONE IDROGEOLOGICA

(da studio geologico a supporto del PGT di Bergamo)



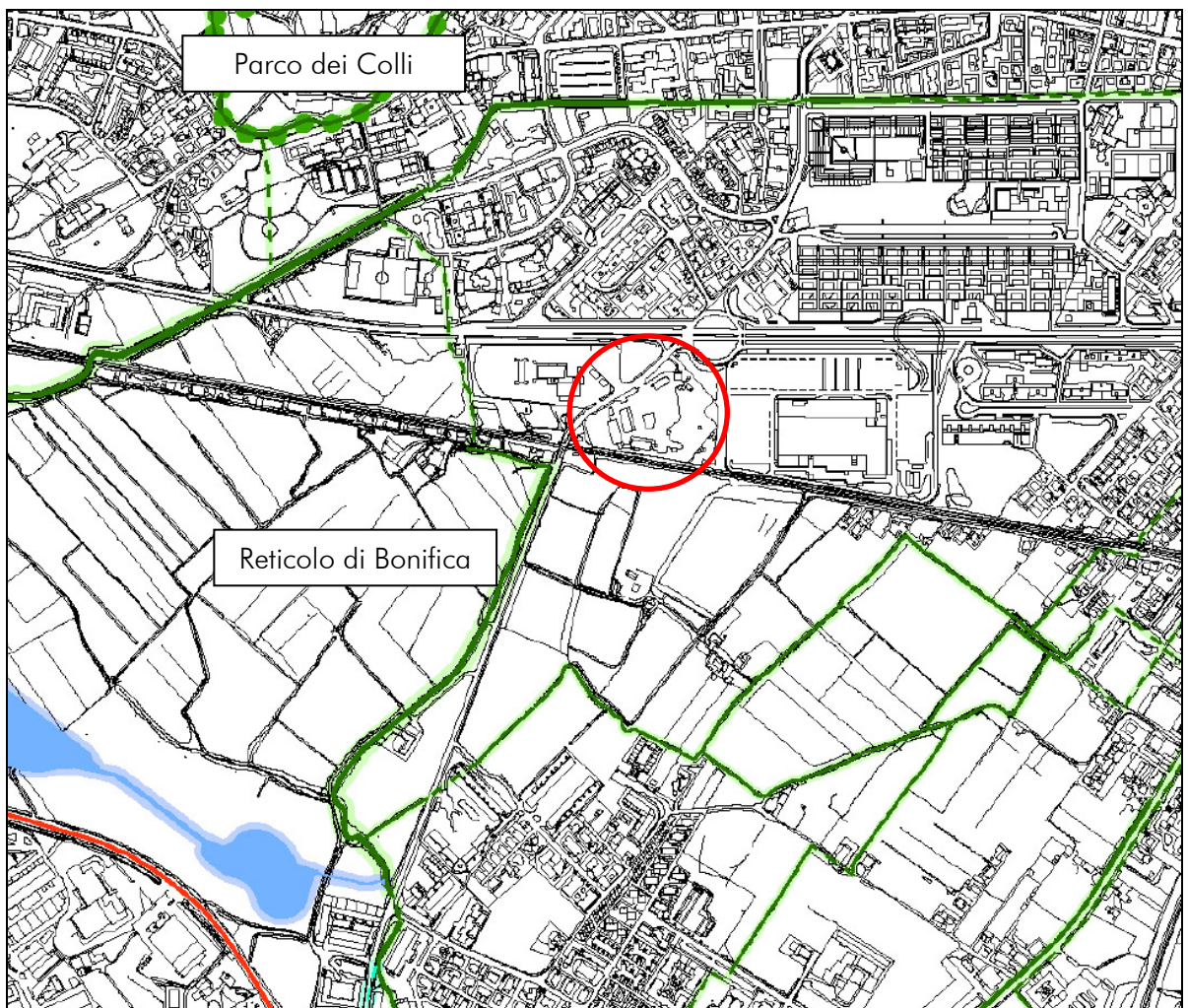
**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17*

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## **CARTA DEI VINCOLI**

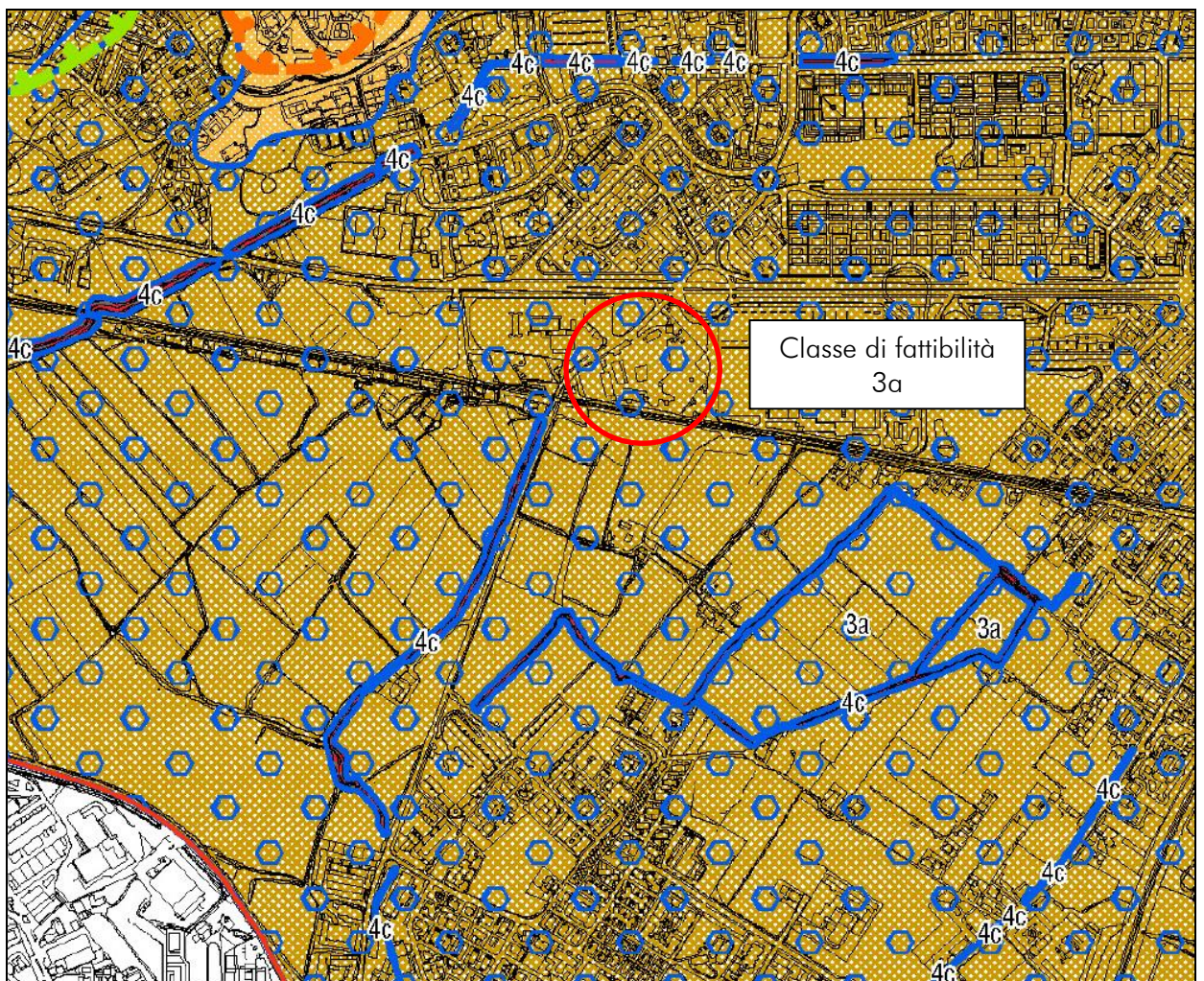
(da studio geologico a supporto del PGT di Bergamo)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

## CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

(da studio geologico a supporto del PGT di Bergamo)



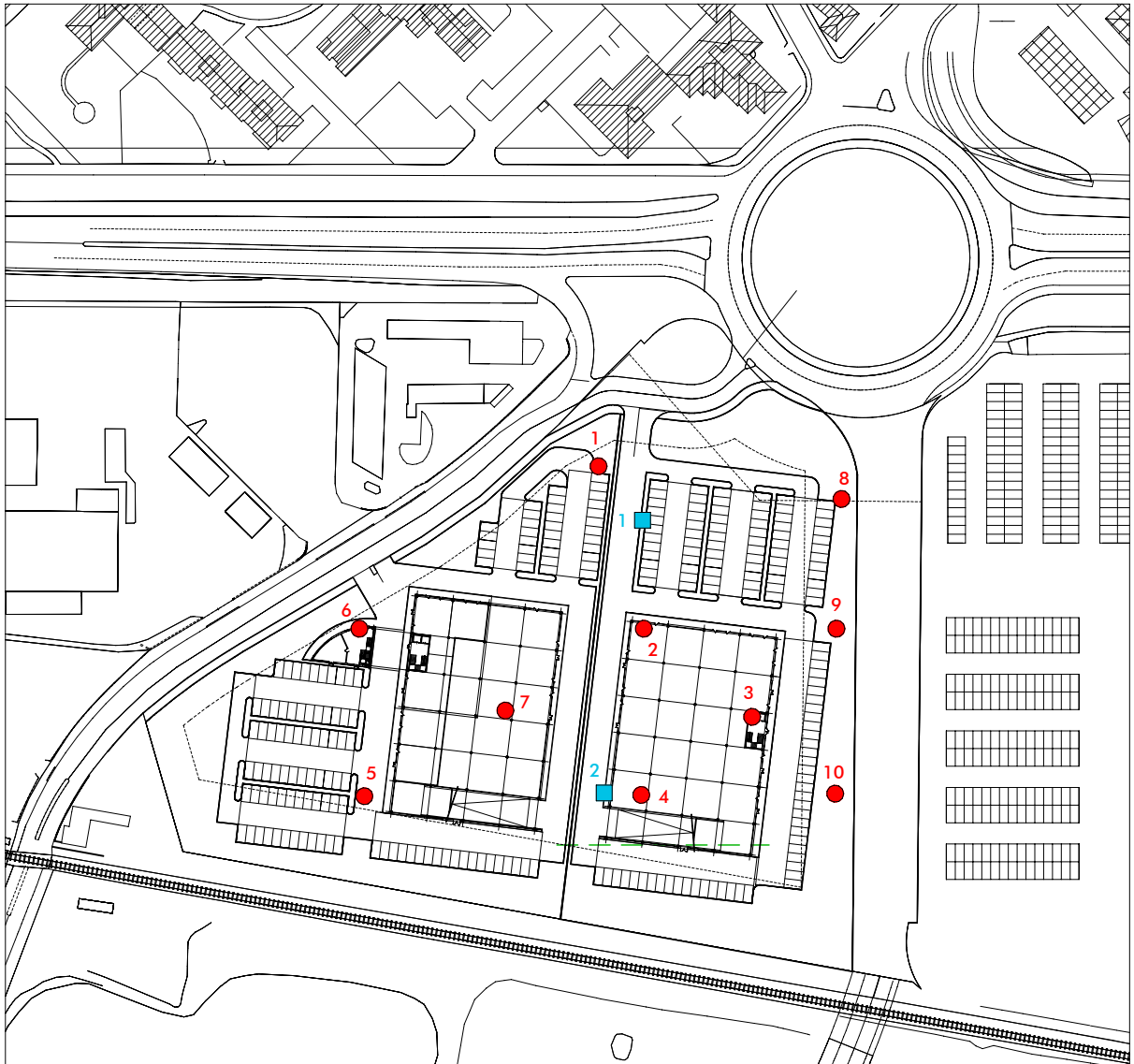
LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17




Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Scala 1:2000



### LEGENDA

-  Sondaggio meccanico
-  Prova penetrometrica
-  Stendimento MASW



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

## LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

### STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO MECCANICO N. 1

Tipo di perforazione = rotazione	Profondità del rivestimento (m) = 18.0	Quota piano campagna (m s.l.m.) = 229
Diametro del foro (mm) = 101	Campioni prelevati = 1, 2, 3 e 4	Lunghezza sondaggio (m) = 20.0
Diametro del rivestimento (mm) = 127	Fluido di perforazione = acqua	Profondità falda (m) = 1.66

Ditta esecutrice = SGB perforazioni  
 Responsabile della perforazione = Sig. Stefano Borella  
 Data inizio perforazioni = 30-01-2013  
 Data fine perforazioni = 31-01-2013

	SIMBOLO GRAFICO	LITOLOGIA	PROVE SPT E FALDA	NOTE E PROVE K	CAMPIONI PRELEVATI
0.0		Ghiaia e sabbia con frammenti misti di riporto (massicciata)			
0.9		Limo argilloso sabbioso di colore marrone giallino con striature biancastre e frammenti misti di riporto	1.66 m		
2.4		Ghiaia con sabbia con limo debolmente argilloso di colore marrone rossiccio e con clasti poligenici arrotondati spesso alterati		3.0 m	S1C1 3.4-3.8 m
7.3		Ghiaia con sabbia limosa di colore marrone giallino e con clasti poligenici arrotondati spesso alterati		6.0 m	S1C2 6.5-6.8 m
9.6		Limo con argilla marrone rossiccio			Terreno coesivo
10.0	Limo con argilla di colore grigio			S1C3 10.5-10.7 m	
10.8		Limo con sabbia debolmente argilloso di colore marrone con locali livelli varicolori	12.0 m		S1C4 11.4-11.7 m
12.0		Ghiaia con sabbia con limo di colore marrone grigio e con clasti poligenici arrotondati spesso alterati	7-10-14 14.0 m 22-20-20		
14.9		Limo argilloso marrone rossiccio con chiazze giallastre e grigiastre	16.0 m	Terreno coesivo	
16.0		Ghiaia con sabbia limosa di colore marrone grigio e con clasti poligenici arrotondati spesso alterati	19-27-25 18.0 m 12-19-16		
19.3		Ghiaia sabbiosa con limo di colore marrone grigio e con clasti poligenici arrotondati spesso alterati	20.0 m		
20.0			6-11-16		



## LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

### STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO MECCANICO N. 2

Tipo di perforazione = rotazione	Profondità del rivestimento (m) = 19.5	Quota piano campagna (m s.l.m.) = 229
Diametro del foro (mm) = 101	Campioni prelevati = 1, 2, 3 e 4	Lunghezza sondaggio (m) = 20.0
Diametro del rivestimento (mm) = 127	Fluido di perforazione = acqua	Profondità falda (m) = 1.65

Ditta esecutrice = SGB perforazioni  
 Responsabile della perforazione = Sig. Stefano Borella  
 Data inizio perforazioni = 31-01-2013  
 Data fine perforazioni = 01-02-2013

	SIMBOLO GRAFICO	LITOLOGIA	PROVE SPT E FALDA	NOTE E PROVE K	CAMPIONI PRELEVATI
0.0		Ghiaia e sabbia con frammenti misti di riporto (massicciata)			
1.1		Limo sabbioso ghiaioso di colore marrone giallino con striature biancastre e clasti poligenici arrotondati alterati	1.65 m		
2.9		Ghiaia con sabbia limosa di colore marrone con clasti poligenici arrotondati spesso alterati		3.0 m	
9.2		Limo con argilla di colore grigio azzurrino con striature nerastre e localmente marroni		6.0 m	S2C1 5.5-6.0 m
12.3		Limo con sabbia argilloso di colore marrone rossiccio con chiazze di alterazione biancastre e nerastre	12.0 m	Terreno coesivo	S2C2 9.6-9.8 m
14.5		Limo sabbioso ghiaioso debolmente argilloso di colore marrone rossiccio con clasti poligenici arrotondati spesso alterati; locale presenza di livelli centimetrici a maggiore frazione limo-argillosa	9-14-18		14.0 m
20.0			22-25-23		
			16.0 m	24-21-19	S2C4 17.3-17.6 m
			18.0 m		
			13-16-12	20.0 m	



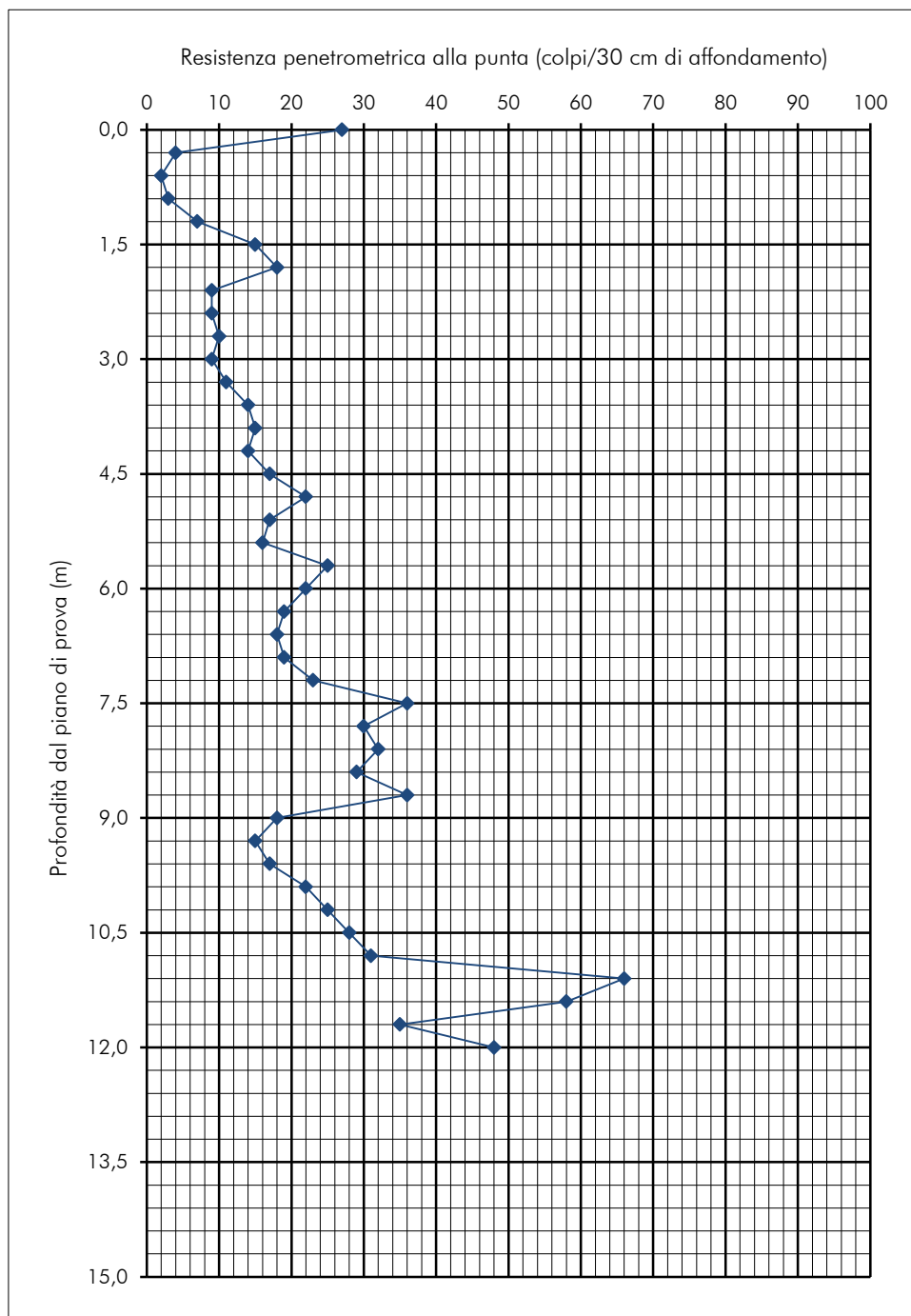
**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 1

Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	27
0,3	4
0,6	2
0,9	3
1,2	7
1,5	15
1,8	18
2,1	9
2,4	9
2,7	10
3,0	9
3,3	11
3,6	14
3,9	15
4,2	14
4,5	17
4,8	22
5,1	17
5,4	16
5,7	25
6,0	22
6,3	19
6,6	18
6,9	19
7,2	23
7,5	36
7,8	30
8,1	32
8,4	29
8,7	36
9,0	18
9,3	15
9,6	17
9,9	22
10,2	25
10,5	28
10,8	31
11,1	66
11,4	58
11,7	35
12,0	48

Diagramma



Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm  
 Conicità della punta = 60°  
 Peso del maglio = 73 kg  
 Altezza di caduta del maglio = 75 cm  
 Avanzamento = 30 cm  
 Impresa esecutrice = SGB perforazioni

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

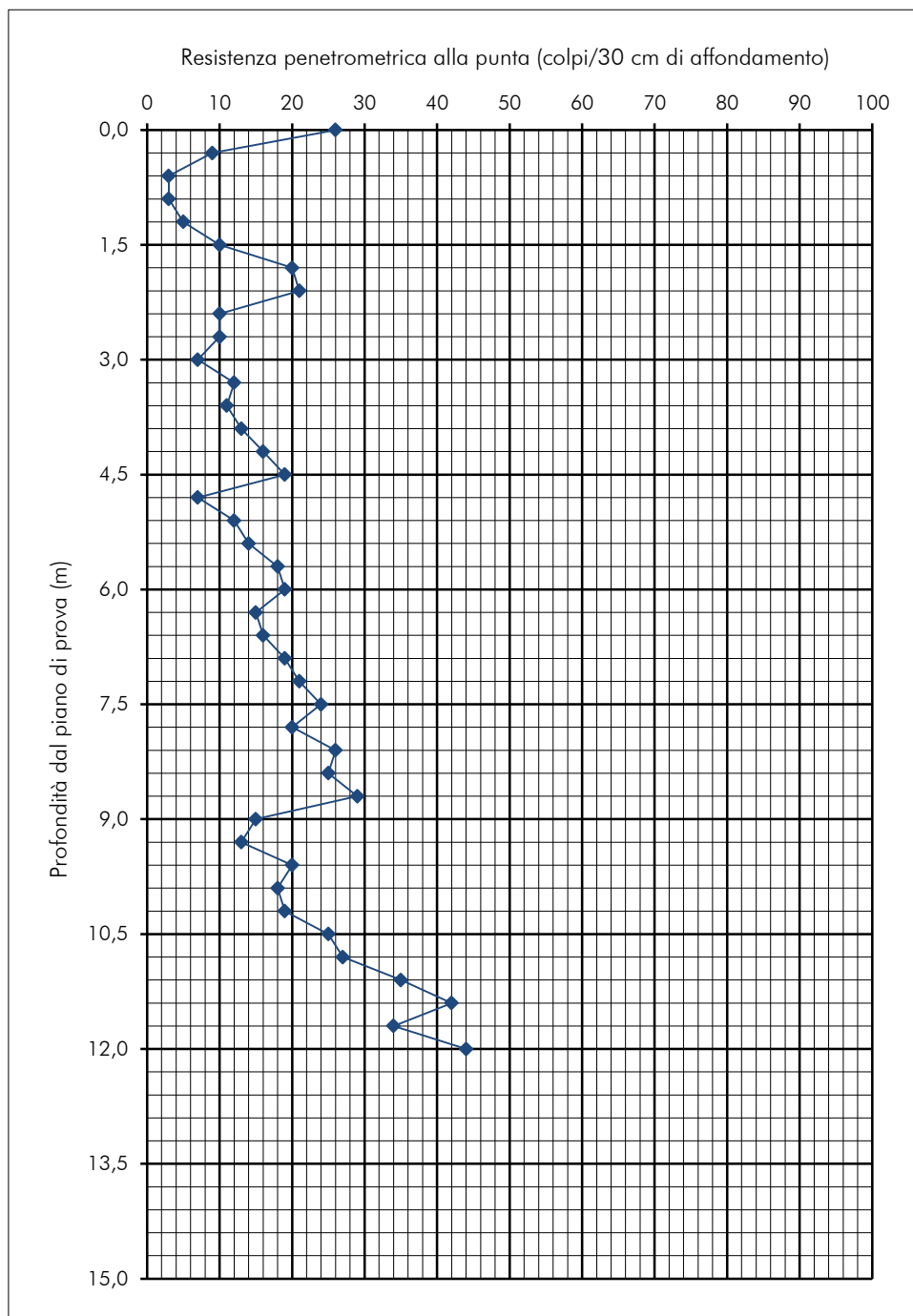
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 2

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	26
0,3	9
0,6	3
0,9	3
1,2	5
1,5	10
1,8	20
2,1	21
2,4	10
2,7	10
3,0	7
3,3	12
3,6	11
3,9	13
4,2	16
4,5	19
4,8	7
5,1	12
5,4	14
5,7	18
6,0	19
6,3	15
6,6	16
6,9	19
7,2	21
7,5	24
7,8	20
8,1	26
8,4	25
8,7	29
9,0	15
9,3	13
9,6	20
9,9	18
10,2	19
10,5	25
10,8	27
11,1	35
11,4	42
11,7	34
12,0	44

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

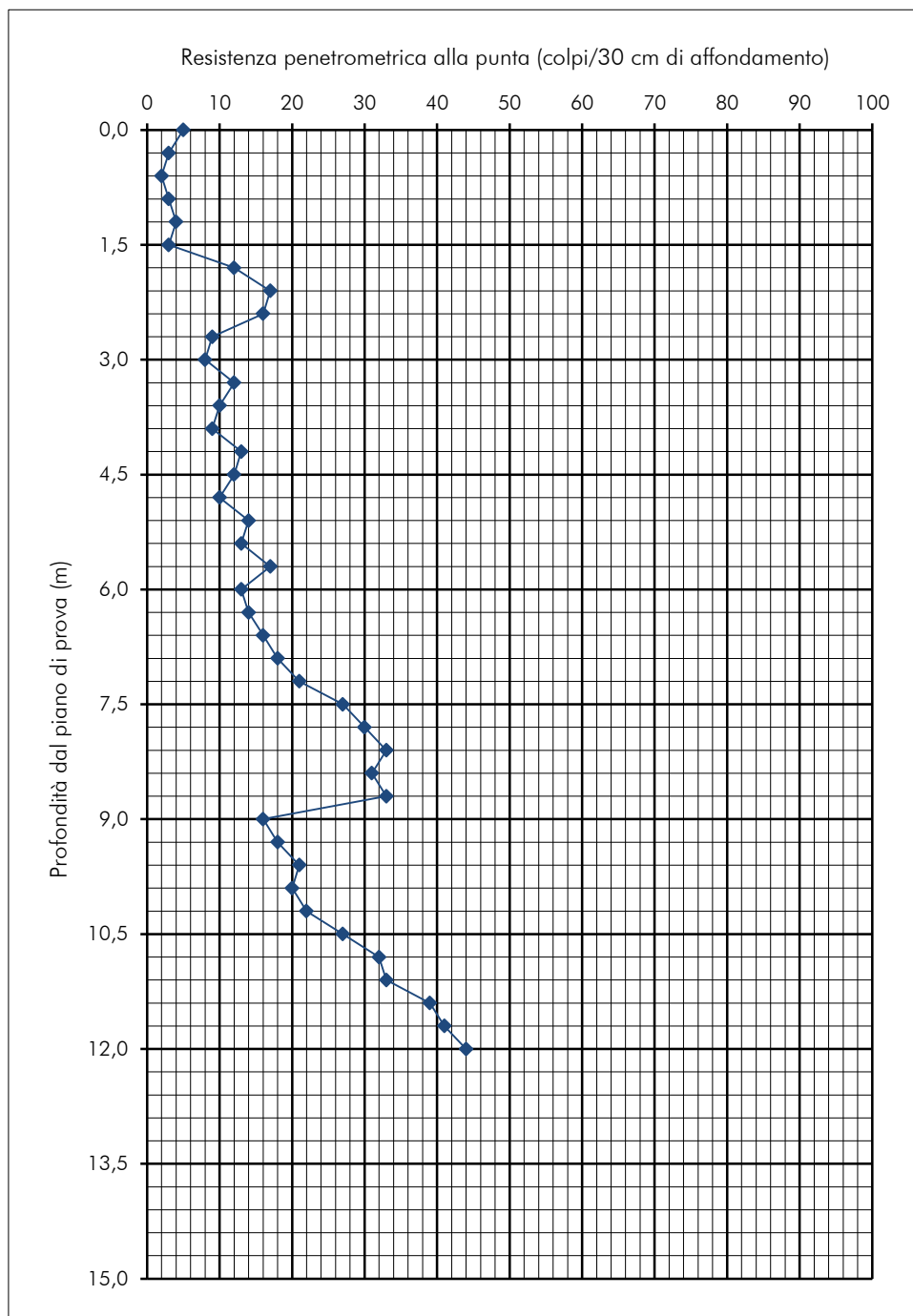
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 3

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	5
0,3	3
0,6	2
0,9	3
1,2	4
1,5	3
1,8	12
2,1	17
2,4	16
2,7	9
3,0	8
3,3	12
3,6	10
3,9	9
4,2	13
4,5	12
4,8	10
5,1	14
5,4	13
5,7	17
6,0	13
6,3	14
6,6	16
6,9	18
7,2	21
7,5	27
7,8	30
8,1	33
8,4	31
8,7	33
9,0	16
9,3	18
9,6	21
9,9	20
10,2	22
10,5	27
10,8	32
11,1	33
11,4	39
11,7	41
12,0	44

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni

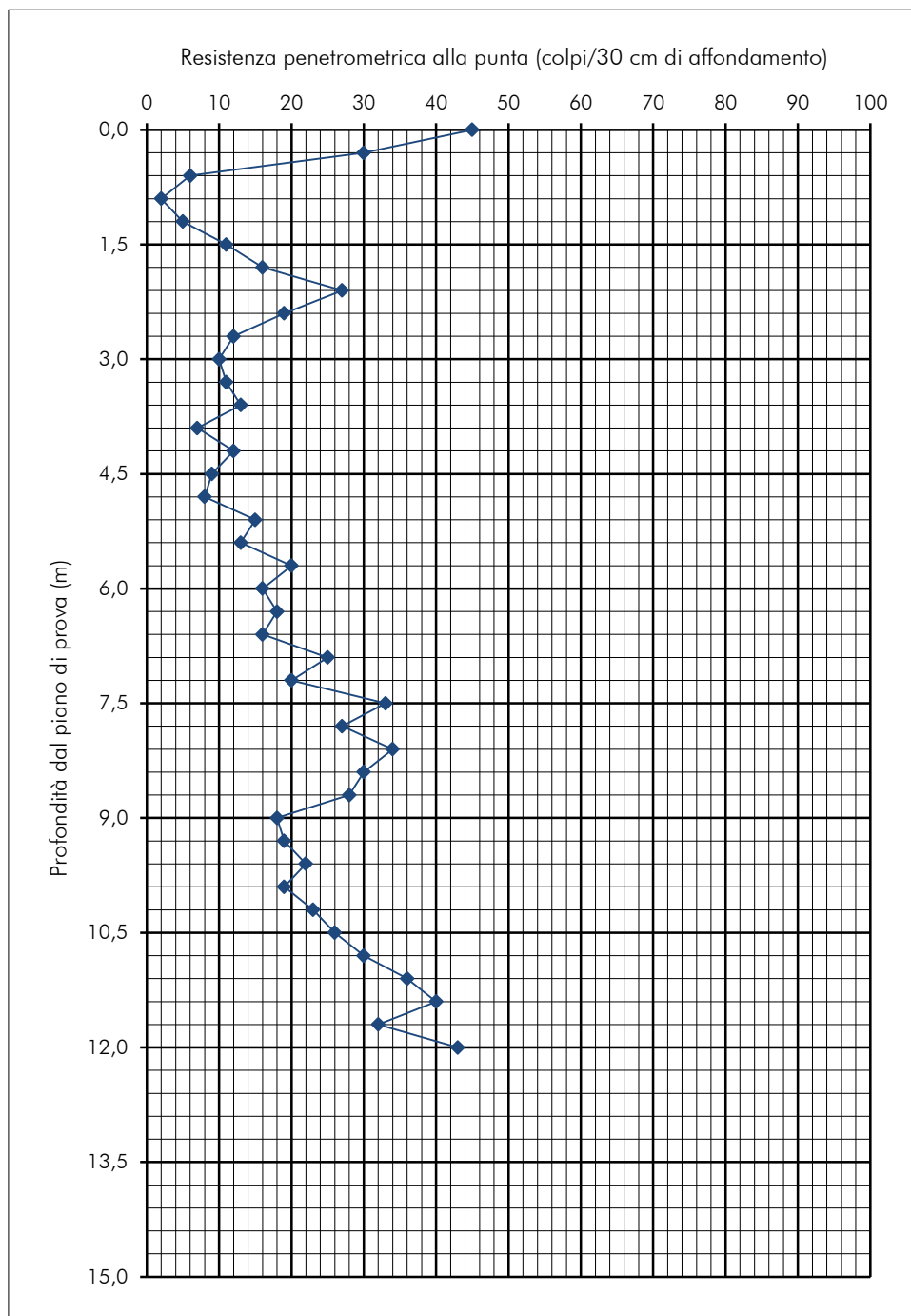


PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 4

Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	45
0,3	30
0,6	6
0,9	2
1,2	5
1,5	11
1,8	16
2,1	27
2,4	19
2,7	12
3,0	10
3,3	11
3,6	13
3,9	7
4,2	12
4,5	9
4,8	8
5,1	15
5,4	13
5,7	20
6,0	16
6,3	18
6,6	16
6,9	25
7,2	20
7,5	33
7,8	27
8,1	34
8,4	30
8,7	28
9,0	18
9,3	19
9,6	22
9,9	19
10,2	23
10,5	26
10,8	30
11,1	36
11,4	40
11,7	32
12,0	43

Diagramma



Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm  
 Conicità della punta = 60°  
 Peso del maglio = 73 kg  
 Altezza di caduta del maglio = 75 cm  
 Avanzamento = 30 cm  
 Impresa esecutrice = SGB perforazioni

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

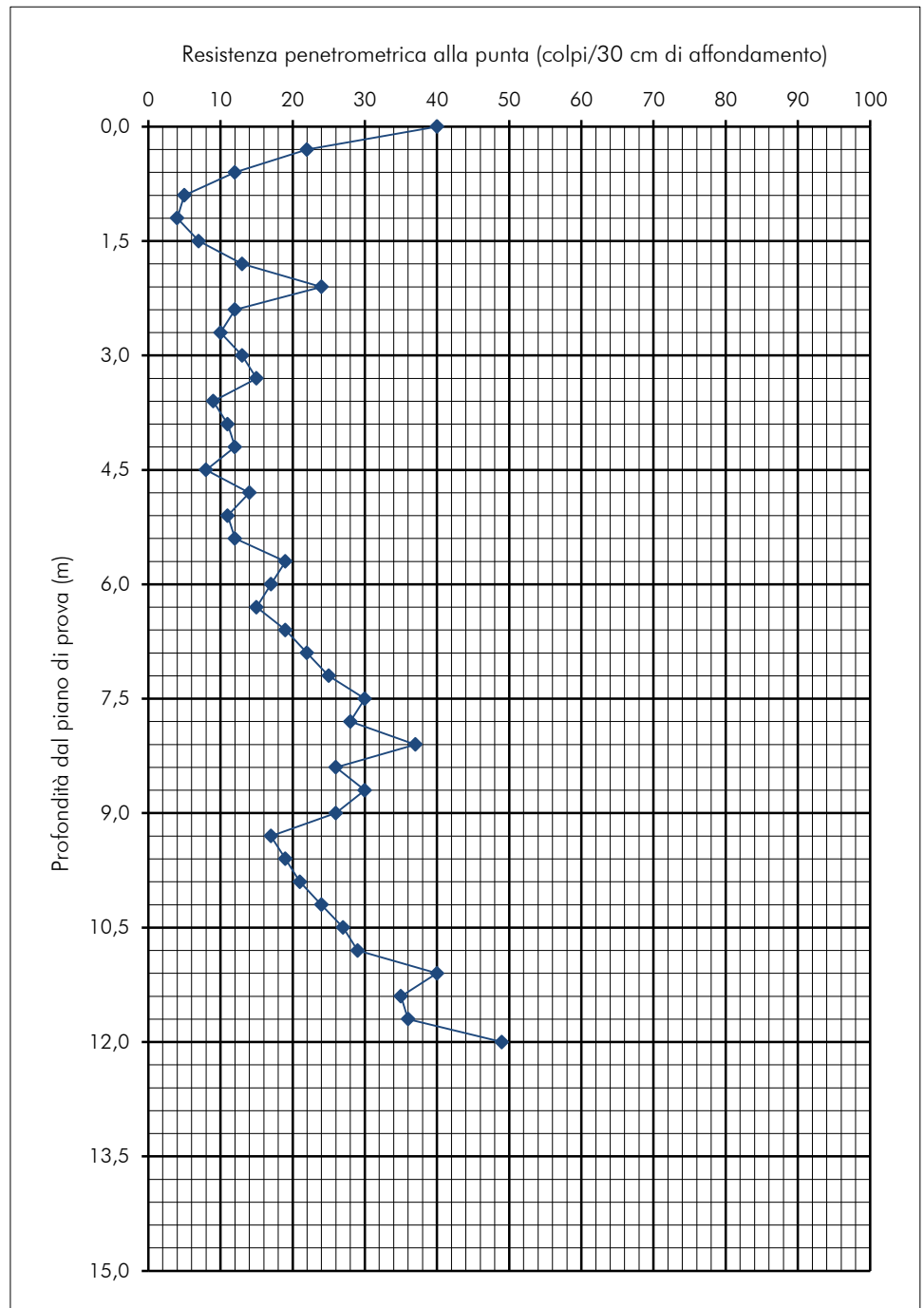
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 5

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	40
0,3	22
0,6	12
0,9	5
1,2	4
1,5	7
1,8	13
2,1	24
2,4	12
2,7	10
3,0	13
3,3	15
3,6	9
3,9	11
4,2	12
4,5	8
4,8	14
5,1	11
5,4	12
5,7	19
6,0	17
6,3	15
6,6	19
6,9	22
7,2	25
7,5	30
7,8	28
8,1	37
8,4	26
8,7	30
9,0	26
9,3	17
9,6	19
9,9	21
10,2	24
10,5	27
10,8	29
11,1	40
11,4	35
11,7	36
12,0	49

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

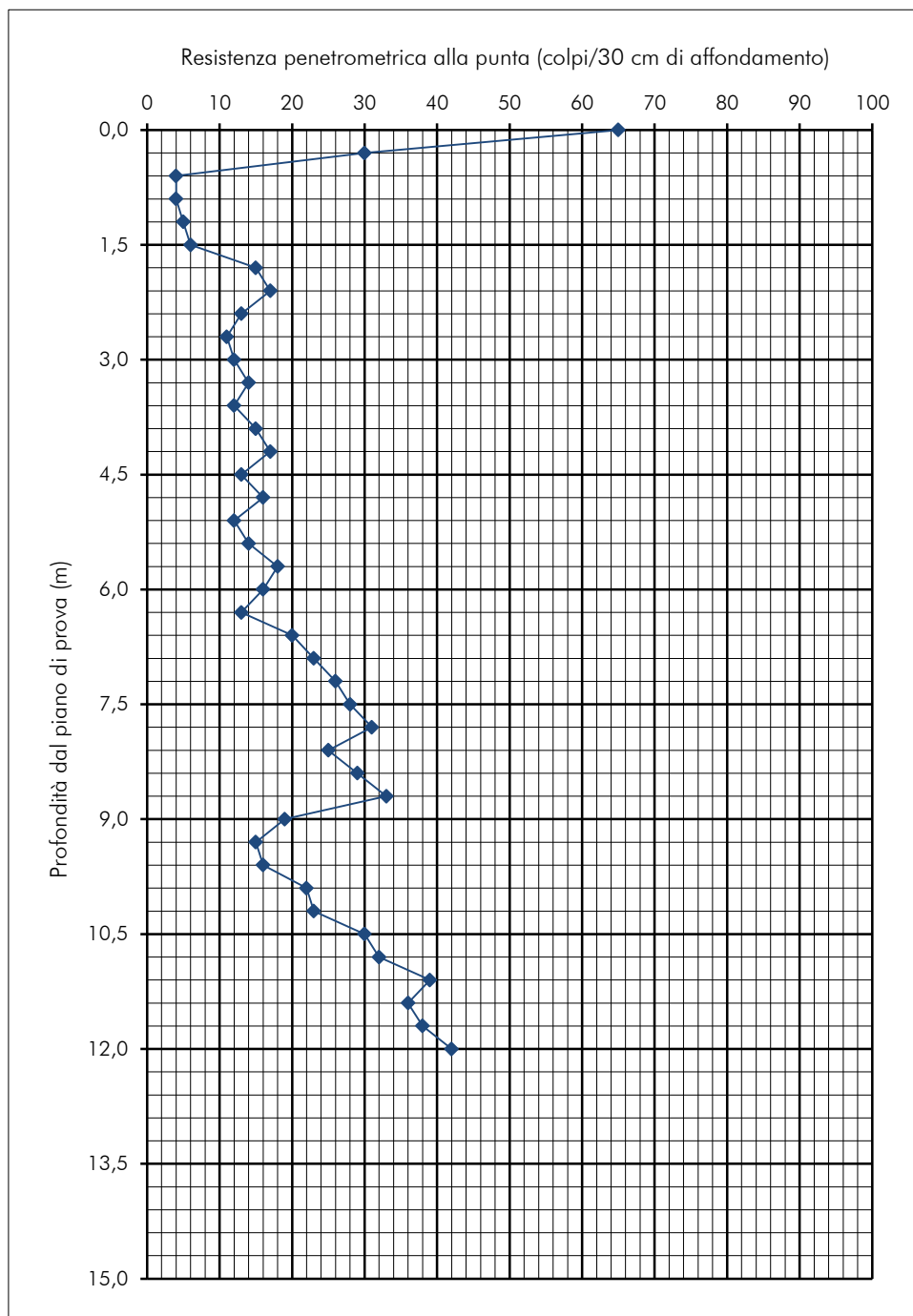
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 6

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	65
0,3	30
0,6	4
0,9	4
1,2	5
1,5	6
1,8	15
2,1	17
2,4	13
2,7	11
3,0	12
3,3	14
3,6	12
3,9	15
4,2	17
4,5	13
4,8	16
5,1	12
5,4	14
5,7	18
6,0	16
6,3	13
6,6	20
6,9	23
7,2	26
7,5	28
7,8	31
8,1	25
8,4	29
8,7	33
9,0	19
9,3	15
9,6	16
9,9	22
10,2	23
10,5	30
10,8	32
11,1	39
11,4	36
11,7	38
12,0	42

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

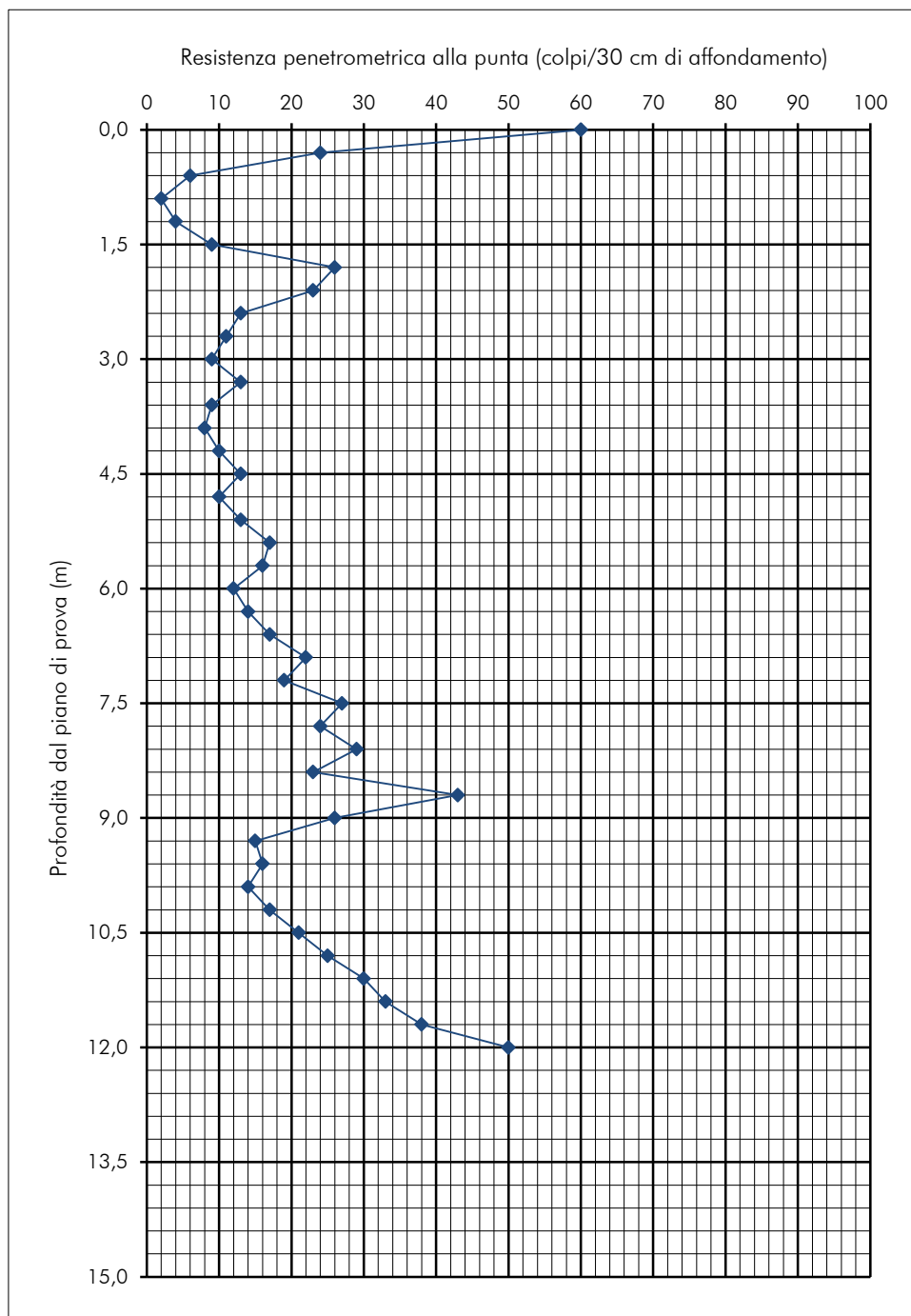
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 7

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	60
0,3	24
0,6	6
0,9	2
1,2	4
1,5	9
1,8	26
2,1	23
2,4	13
2,7	11
3,0	9
3,3	13
3,6	9
3,9	8
4,2	10
4,5	13
4,8	10
5,1	13
5,4	17
5,7	16
6,0	12
6,3	14
6,6	17
6,9	22
7,2	19
7,5	27
7,8	24
8,1	29
8,4	23
8,7	43
9,0	26
9,3	15
9,6	16
9,9	14
10,2	17
10,5	21
10,8	25
11,1	30
11,4	33
11,7	38
12,0	50

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

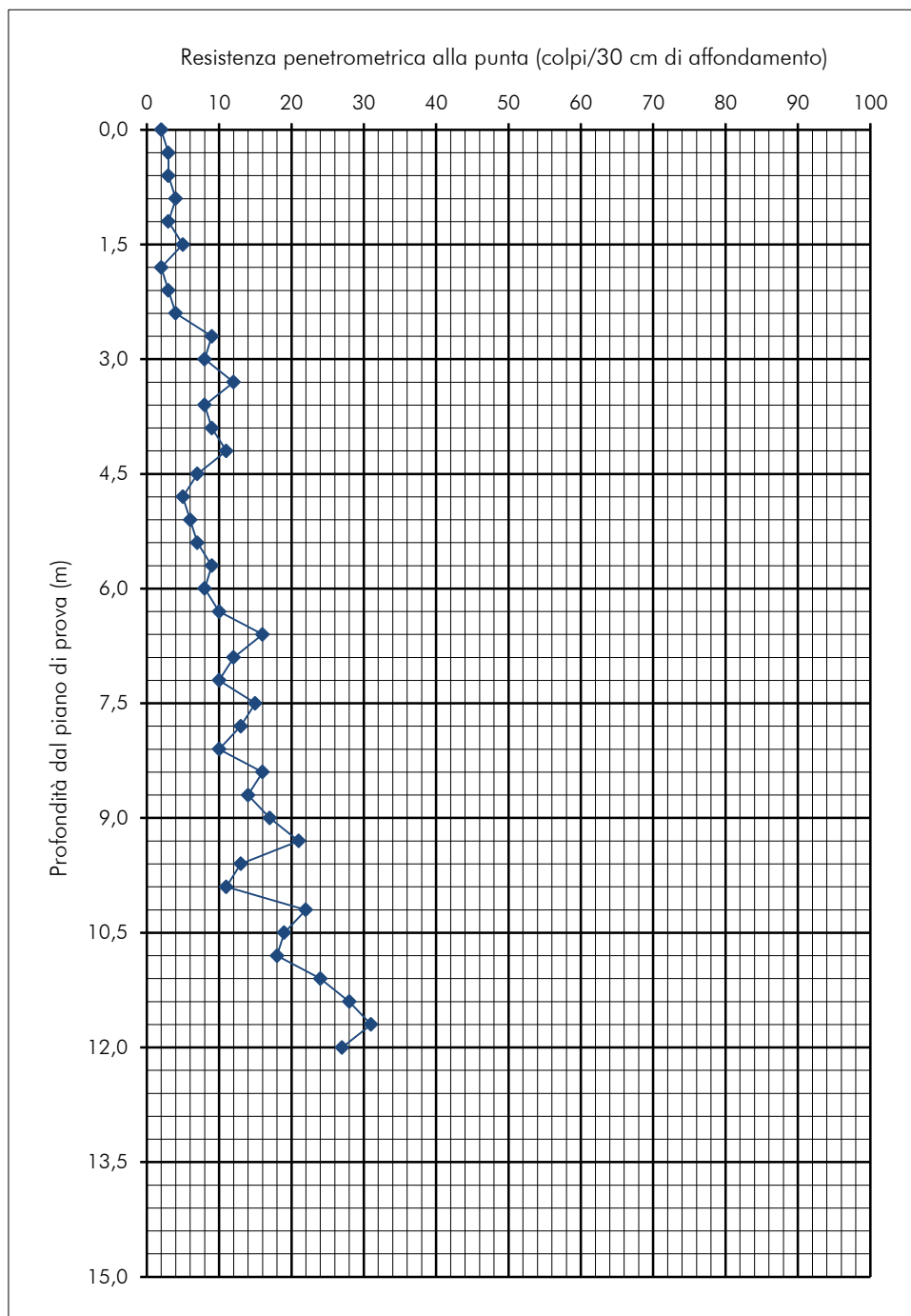
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 8

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	2
0,3	3
0,6	3
0,9	4
1,2	3
1,5	5
1,8	2
2,1	3
2,4	4
2,7	9
3,0	8
3,3	12
3,6	8
3,9	9
4,2	11
4,5	7
4,8	5
5,1	6
5,4	7
5,7	9
6,0	8
6,3	10
6,6	16
6,9	12
7,2	10
7,5	15
7,8	13
8,1	10
8,4	16
8,7	14
9,0	17
9,3	21
9,6	13
9,9	11
10,2	22
10,5	19
10,8	18
11,1	24
11,4	28
11,7	31
12,0	27

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

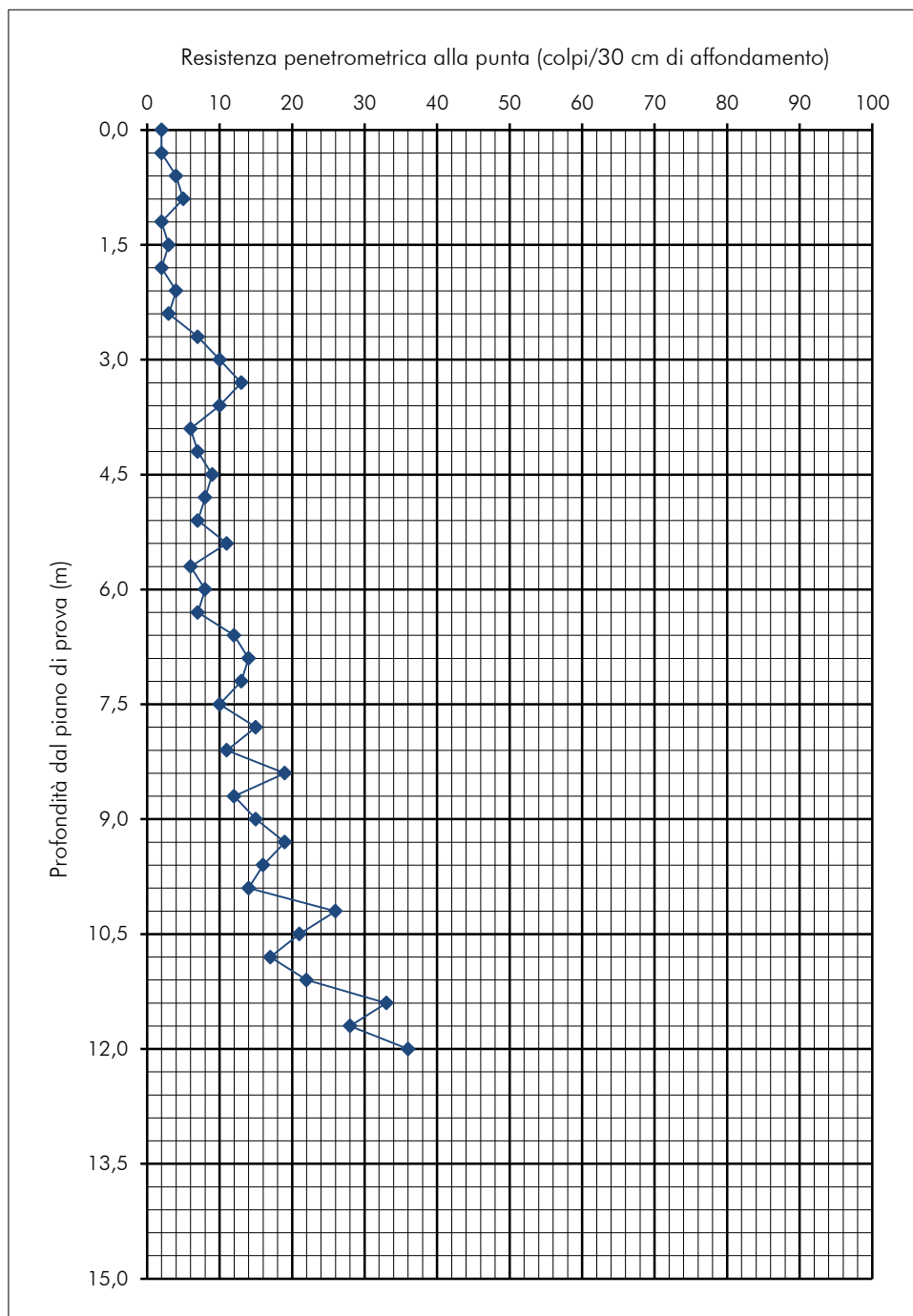
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 9

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	2
0,3	2
0,6	4
0,9	5
1,2	2
1,5	3
1,8	2
2,1	4
2,4	3
2,7	7
3,0	10
3,3	13
3,6	10
3,9	6
4,2	7
4,5	9
4,8	8
5,1	7
5,4	11
5,7	6
6,0	8
6,3	7
6,6	12
6,9	14
7,2	13
7,5	10
7,8	15
8,1	11
8,4	19
8,7	12
9,0	15
9,3	19
9,6	16
9,9	14
10,2	26
10,5	21
10,8	17
11,1	22
11,4	33
11,7	28
12,0	36

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

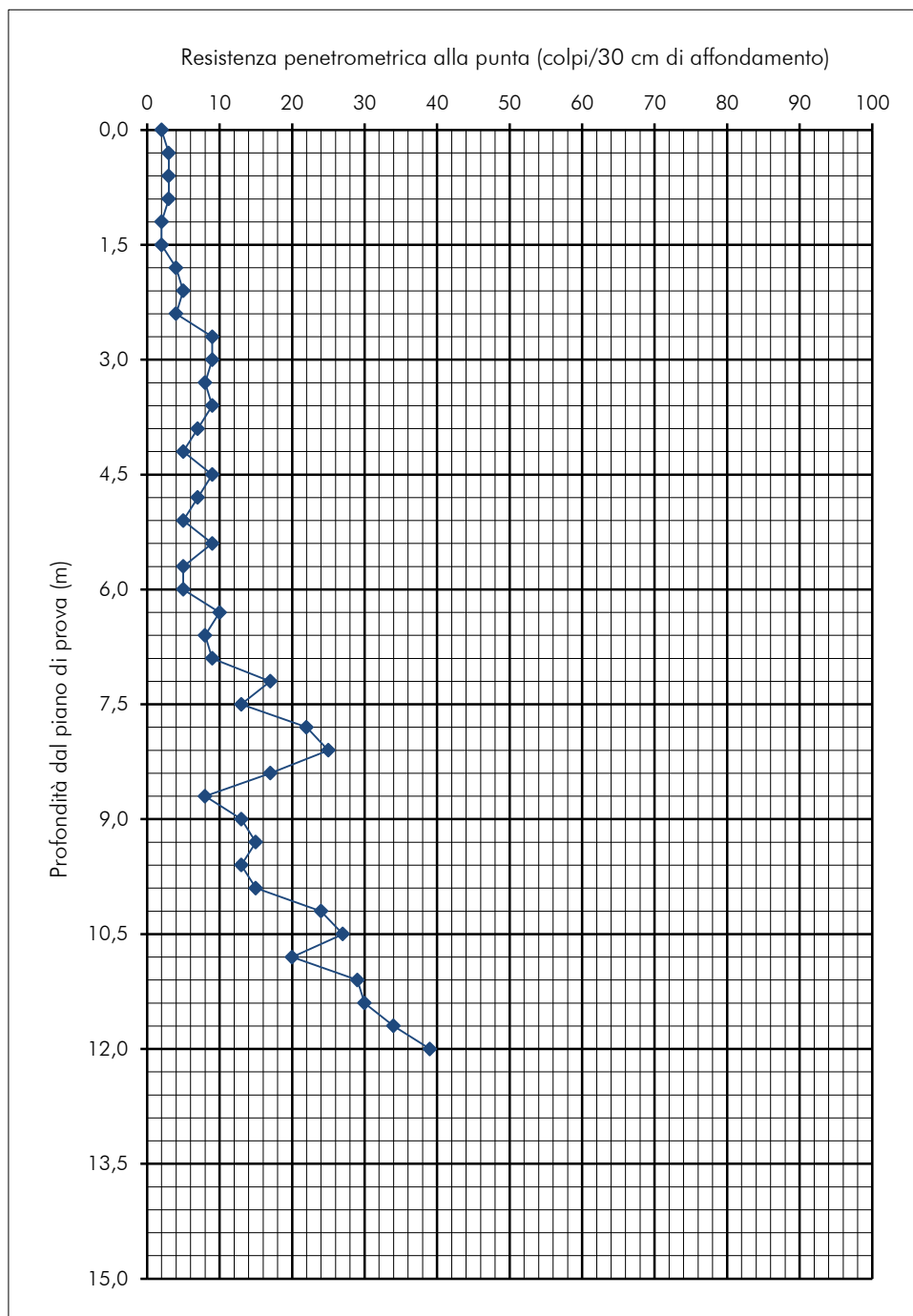
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA PENETROMETRICA SCPT N. 10

### Dati misurati

Profondità	Resistenza
0,0	2
0,3	3
0,6	3
0,9	3
1,2	2
1,5	2
1,8	4
2,1	5
2,4	4
2,7	9
3,0	9
3,3	8
3,6	9
3,9	7
4,2	5
4,5	9
4,8	7
5,1	5
5,4	9
5,7	5
6,0	5
6,3	10
6,6	8
6,9	9
7,2	17
7,5	13
7,8	22
8,1	25
8,4	17
8,7	8
9,0	13
9,3	15
9,6	13
9,9	15
10,2	24
10,5	27
10,8	20
11,1	29
11,4	30
11,7	34
12,0	39

### Diagramma



### Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 50,8 mm

Conicità della punta = 60°

Peso del maglio = 73 kg

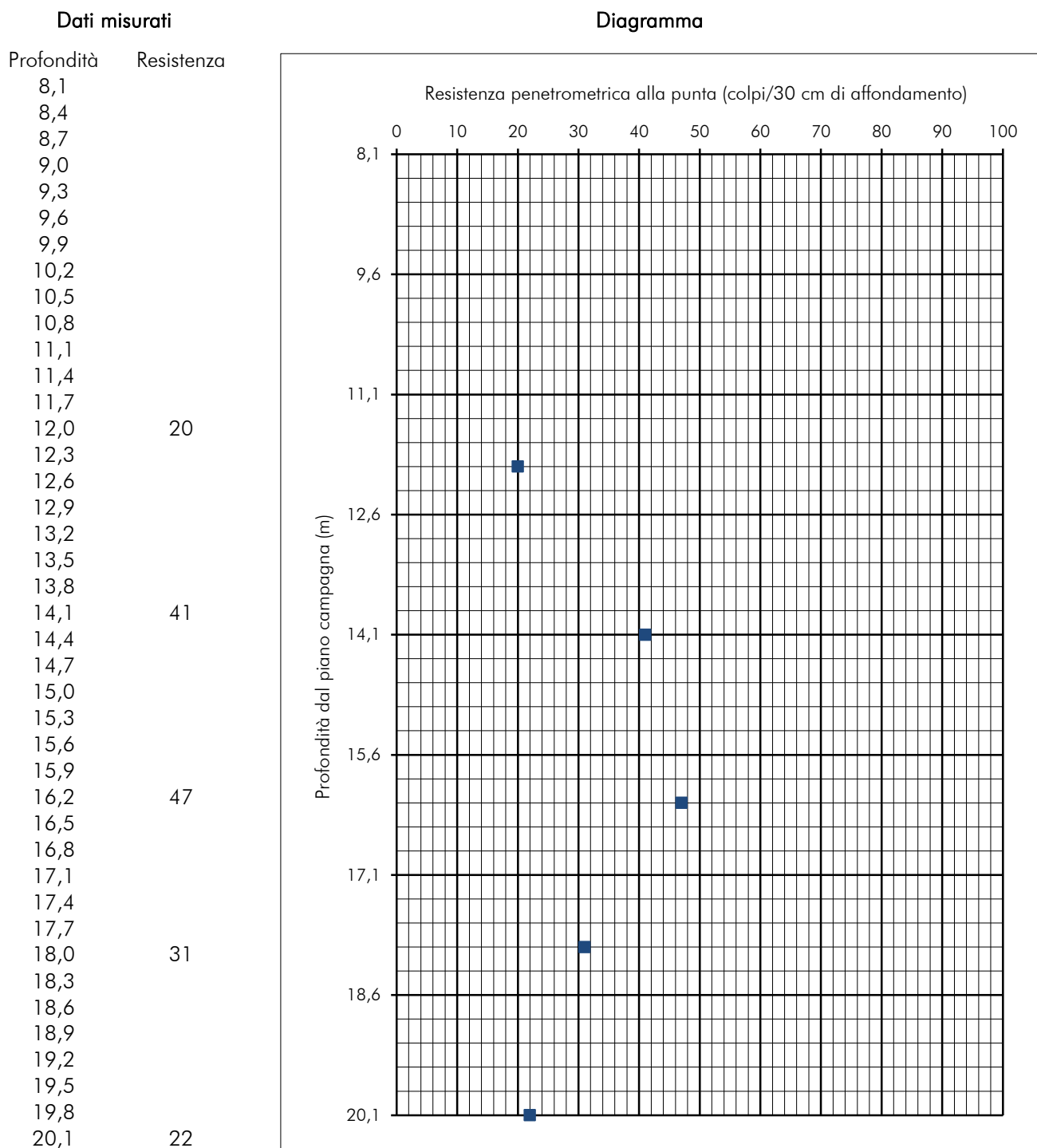
Altezza di caduta del maglio = 75 cm

Avanzamento = 30 cm

Impresa esecutrice = SGB perforazioni



PROVE PENETROMETRICHE SPT ESEGUITE NEL SONDAGGIO N. 1



Dati tecnici della prova

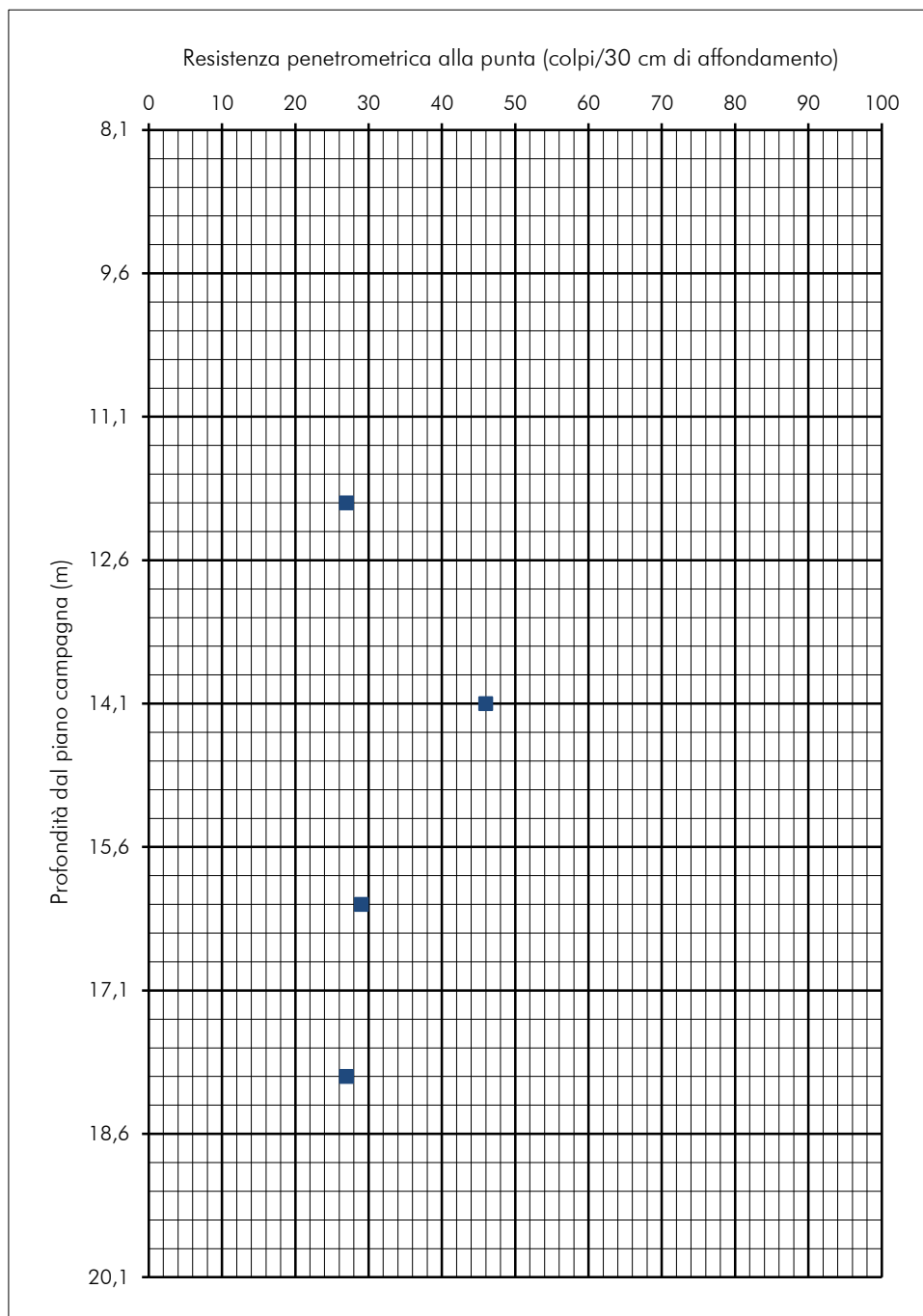
Diametro della punta = 51 mm  
 Conicità della punta = 60°  
 Peso del maglio = 63,5 kg  
 Altezza di caduta del maglio = 76 cm  
 Avanzamento parziale = 15 cm  
 Impresa esecutrice = SGB perforazioni

PROVE PENETROMETRICHE SPT ESEGUITE NEL SONDAGGIO N. 2

Dati misurati

Diagramma

Profondità	Resistenza
8,1	
8,4	
8,7	
9,0	
9,3	
9,6	
9,9	
10,2	
10,5	
10,8	
11,1	
11,4	
11,7	
12,0	27
12,3	
12,6	
12,9	
13,2	
13,5	
13,8	
14,1	46
14,4	
14,7	
15,0	
15,3	
15,6	
15,9	
16,2	29
16,5	
16,8	
17,1	
17,4	
17,7	
18,0	27
18,3	
18,6	
18,9	
19,2	
19,5	
19,8	
20,1	



Dati tecnici della prova

Diametro della punta = 51 mm  
 Conicità della punta = 60°  
 Peso del maglio = 63,5 kg  
 Altezza di caduta del maglio = 76 cm  
 Avanzamento parziale = 15 cm  
 Impresa esecutrice = SGB perforazioni

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2

### PARAMETRI INDICATIVI

#### GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

#### NOTE:

Comportamento coesivo

Frazione limosa ad un massimo del 95%

Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm

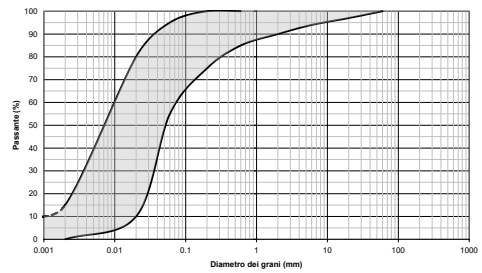
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%

Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%

Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

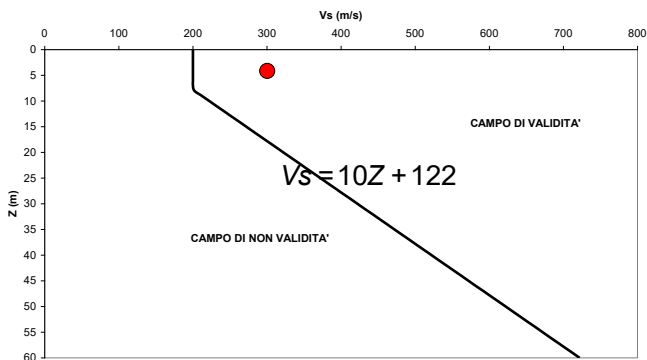
**A FIANCO:** range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO

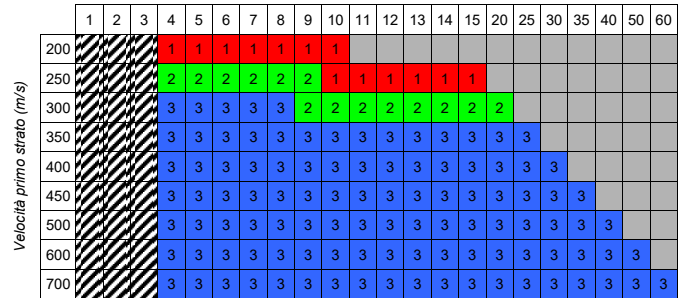


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma [kN/m^3]$ 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s [kN/m^3]$ 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%] 25-30
Limite di liquidità	$w_L$ [%] 25-35
Limite di plasticità	$w_p$ [%] 15-20
Indice di plasticità	$I_p$ [%] 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	$S_r$ [%] 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0$ 0.4-0.5
Indice di compressione	$C_c$ 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	$C_s$ 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	$C_{\alpha}$ 0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	Nspt 0-20

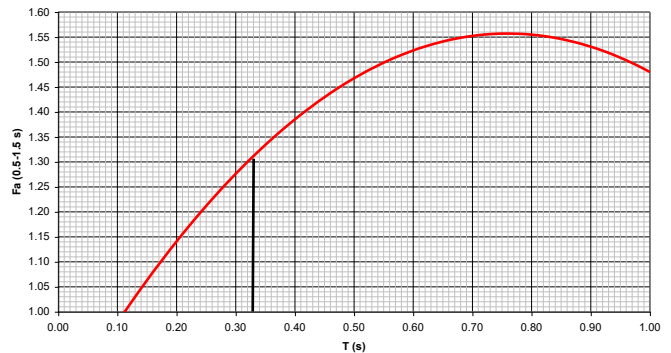
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

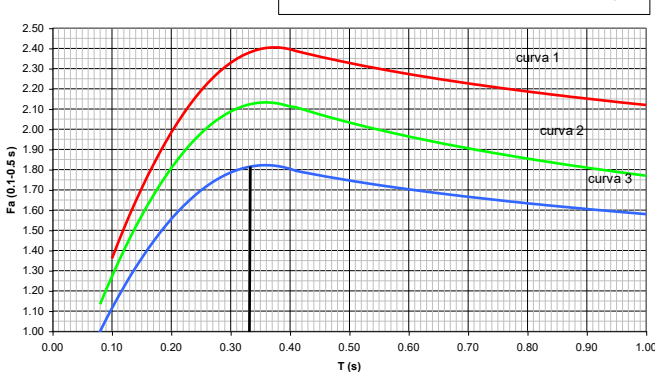


Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SCPT**

<b>PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI</b>								
<b>Terreno coesivo</b>								
SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Nc2 (-)	sigma v (t/mq)	F (-)	Cu (t/mq)	E (t/mq)
1	0,0	3	5	5	1,50	0,050	2,5	245
	1,5	10	13	13	3,80	0,050	6,6	663
	3,6	18	21	21	6,36	0,050	10,4	1038
	7,2	30	31	31	8,79	0,050	15,7	1567
	9,0	18	18	18	10,28	0,050	8,9	893
	10,5	40	38	38	11,63	0,050	19,0	1903
	12,0	40	38	38	-	0,050	19,0	1900
2	0,0	4	7	7	1,50	0,050	3,3	327
	1,5	12	15	15	4,47	0,050	7,6	763
	5,1	18	19	19	7,85	0,050	9,7	975
	9,0	15	15	15	10,28	0,050	7,4	745
	10,5	32	30	30	11,63	0,050	15,2	1522
	12,0	32	30	30	-	0,050	15,0	1500
3	0,0	3	5	5	1,50	0,050	2,5	245
	1,5	11	14	14	4,47	0,050	7,0	699
	5,1	15	17	17	7,04	0,050	8,4	840
	7,2	28	29	29	8,79	0,050	14,6	1463
	9,0	18	18	18	10,28	0,050	8,9	893
	10,5	34	32	32	11,63	0,050	16,2	1617
	12,0	34	32	32	-	0,050	16,0	1600
4	0,0	4	7	7	1,50	0,050	3,3	327
	1,5	11	14	14	4,47	0,050	7,0	699
	5,1	18	20	20	7,04	0,050	10,1	1007
	7,2	27	28	28	8,79	0,050	14,1	1411
	9,0	19	19	19	10,28	0,050	9,4	943
	10,5	32	30	30	11,63	0,050	15,2	1522
	12,0	32	30	30	-	0,050	15,0	1500
5	0,0	5	8	8	1,50	0,050	4,1	409
	1,5	11	14	14	4,47	0,050	7,0	699
	5,1	17	19	19	6,90	0,050	9,6	957
	6,9	28	29	29	8,66	0,050	14,7	1470
	9,0	20	20	20	10,28	0,050	9,9	993
	10,5	35	33	33	11,63	0,050	16,7	1665
	12,0	35	33	33	-	0,050	16,5	1650

N = Resistenza penetrometrica misurata  
Nc = Resistenza penetrometrica corretta  
sulla tensione geostatica (Gibbs-Holtz)  
Nc2 = Resistenza penetrometrica corretta  
sulla granulometria

Cu = Coesione non drenata (Shioi-Fukui)  
sigma v = Tensione verticale efficace  
F = Costante  
E = Modulo edometrico (Stroud e Butler)



**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SCPT****PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno coesivo

SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Nc2 (-)	sigma v (t/mq)	F (-)	Cu (t/mq)	E (t/mq)
6	0,0	4	7	7	1,50	0,050	3,3	327
	1,5	13	16	16	5,01	0,050	8,0	801
	6,3	26	28	28	8,39	0,050	13,8	1379
	9,0	16	16	16	10,28	0,050	7,9	794
	10,5	32	30	30	11,63	0,050	15,2	1522
	12,0	32	30	30	-	0,050	15,0	1500
7	0,0	4	7	7	1,50	0,050	3,3	327
	1,5	10	13	13	4,34	0,050	6,4	641
	4,8	15	17	17	6,63	0,050	8,5	854
	6,6	26	27	27	8,52	0,050	13,7	1372
	9,0	15	15	15	10,28	0,050	7,4	745
	10,5	30	29	29	11,63	0,050	14,3	1427
8	0,0	3	4	4	2,40	0,050	2,2	222
	2,4	7	9	9	5,28	0,050	4,3	425
	6,0	12	13	13	8,25	0,050	6,4	640
	9,0	10	10	10	10,28	0,050	5,0	496
	10,5	20	19	19	11,63	0,050	9,5	951
	12,0	20	19	19	-	0,050	9,5	950
9	0,0	3	4	4	2,40	0,050	2,2	222
	2,4	8	10	10	5,42	0,050	4,8	483
	6,3	12	13	13	8,39	0,050	6,4	636
	9,0	15	15	15	10,41	0,050	7,4	741
	10,8	30	28	28	11,76	0,050	14,2	1421
	12,0	30	28	28	-	0,050	14,0	1400
10	0,0	3	4	4	2,40	0,050	2,2	222
	2,4	7	8	8	5,69	0,050	4,2	417
	6,9	18	19	19	8,52	0,050	9,5	950
	8,7	12	12	12	10,01	0,050	6,0	601
	10,2	25	24	24	11,49	0,050	11,9	1194
	12,0	25	24	24	-	0,050	12,0	1200

N = Resistenza penetrometrica misurata  
Nc = Resistenza penetrometrica corretta  
sulla tensione geostatica (Gibbs-Holtz)  
Nc2 = Resistenza penetrometrica corretta  
sulla granulometria

Cu = Coesione non drenata (Shioi-Fukui)  
sigma v = Tensione verticale efficace  
F = Costante  
E = Modulo edometrico (Stroud e Butler)



**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SCPT**

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI								
Terreno incoerente								
SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Fi1 (gradi)	sigma v (t/mq)	Dr (-)	Fi2 (gradi)	E (t/mq)
1	0,0	3	5	26,0	1,50	0,50	25,7	492,63
	1,5	10	13	30,0	3,80	0,74	30,0	869,69
	3,6	18	21	32,9	6,36	0,83	32,9	1208,32
	7,2	30	31	36,5	8,79	0,94	36,5	1686,62
	9,0	18	18	31,9	10,28	0,68	31,9	1077,92
	10,5	40	38	38,7	11,63	0,95	38,7	1989,64
	12,0	40	38	38,6	-	-	-	1987,04
2	0,0	4	7	26,9	1,50	0,58	26,9	566,52
	1,5	12	15	30,9	4,47	0,77	30,9	959,77
	5,1	18	19	32,5	7,85	0,76	32,5	1151,27
	9,0	15	15	30,7	10,28	0,62	30,7	943,43
	10,5	32	30	36,3	11,63	0,85	36,3	1645,91
12,0	32	30	36,1	-	-	-	1625,76	
3	0,0	3	5	26,0	1,50	0,50	25,7	492,63
	1,5	11	14	30,3	4,47	0,73	30,3	902,37
	5,1	15	17	31,5	7,04	0,73	31,5	1029,24
	7,2	28	29	35,9	8,79	0,90	35,9	1592,24
	9,0	18	18	31,9	10,28	0,68	31,9	1077,92
	10,5	34	32	36,9	11,63	0,88	36,9	1731,84
12,0	34	32	36,8	-	-	-	1716,08	
4	0,0	4	7	26,9	1,50	0,58	26,9	566,52
	1,5	11	14	30,3	4,47	0,73	30,3	902,37
	5,1	18	20	32,7	7,04	0,80	32,7	1180,90
	7,2	27	28	35,5	8,79	0,89	35,5	1545,05
	9,0	19	19	32,2	10,28	0,69	32,2	1122,75
	10,5	32	30	36,3	11,63	0,85	36,3	1645,91
12,0	32	30	36,1	-	-	-	1625,76	
5	0,0	5	8	27,8	1,50	0,65	22,7	640,41
	1,5	11	14	30,3	4,47	0,73	30,3	902,37
	5,1	17	19	32,3	6,90	0,78	32,3	1135,32
	6,9	28	29	35,9	8,66	0,91	35,9	1598,79
	9,0	20	20	32,6	10,28	0,71	32,6	1167,59
	10,5	35	33	37,2	11,63	0,89	37,2	1774,81
	12,0	35	33	37,1	-	-	-	1761,24

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta (Gibbs-Holtz)

Fi1 = Angolo di attrito (Shioi-Fukuni)

sigma v = Tensione verticale efficace

Dr = Densità relativa (Gibbs-Holtz)

Fi2 = Angolo di attrito corretto (Vésic)

E = Modulo di elasticità (Bowles)



**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SCPT****PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno incoerente

SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Fi1 (gradi)	sigma v (t/mq)	Dr (-)	Fi2 (gradi)	E (t/mq)
6	0,0	4	7	26,9	1,50	0,58	26,9	566,52
	1,5	13	16	31,2	5,01	0,77	31,2	994,78
	6,3	26	28	35,3	8,39	0,89	35,3	1516,39
	9,0	16	16	31,1	10,28	0,64	31,1	988,26
	10,5	32	30	36,3	11,63	0,85	36,3	1645,91
	12,0	32	30	36,1	-	-	-	1625,76
7	0,0	4	7	26,9	1,50	0,58	26,9	566,52
	1,5	10	13	29,9	4,34	0,71	29,9	849,60
	4,8	15	17	31,6	6,63	0,74	31,6	1042,67
	6,6	26	27	35,3	8,52	0,88	35,3	1510,12
	9,0	15	15	30,7	10,28	0,62	30,7	943,43
	10,5	30	29	35,6	11,63	0,82	35,6	1559,97
8	0,0	3	4	25,7	2,40	0,46	25,1	471,34
	2,4	7	9	27,9	5,28	0,55	27,8	655,16
	6,0	12	13	29,8	8,25	0,61	29,8	848,71
	9,0	10	10	28,6	10,28	0,50	28,6	719,27
	10,5	20	19	32,3	11,63	0,67	32,3	1130,30
	12,0	20	19	32,3	-	-	-	1129,00
9	0,0	3	4	25,7	2,40	0,46	25,1	471,34
	2,4	8	10	28,5	5,42	0,59	28,4	707,00
	6,3	12	13	29,8	8,39	0,60	29,8	845,77
	9,0	15	15	30,7	10,41	0,61	30,7	940,47
	10,8	30	28	35,6	11,76	0,82	35,6	1554,74
	12,0	30	28	35,4	-	-	-	1535,44
10	0,0	3	4	25,7	2,40	0,46	25,1	471,34
	2,4	7	8	27,8	5,69	0,54	27,6	647,35
	6,9	18	19	32,3	8,52	0,73	32,3	1128,84
	8,7	12	12	29,5	10,01	0,56	29,5	813,76
	10,2	25	24	34,0	11,49	0,75	34,0	1349,55
	12,0	25	24	34,1	-	-	-	1354,80

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta (Gibbs-Holtz)

Fi1 = Angolo di attrito (Shioi-Fukuni)

sigma v = Tensione verticale efficace

Dr = Densità relativa (Gibbs-Holtz)

Fi2 = Angolo di attrito corretto (Vésic)

E = Modulo di elasticità (Bowles)



**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT  
SONDAGGIO MECCANICO N. 1****PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno incoerente

SPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	$\phi 1$ (gradi)	sigma v (t/mq)	Dr (-)	$\phi 2$ (gradi)	E (t/mq)
S1P1	12,0	20	18	31,9	13,60	0,62	31,9	1100
S1P2	14,0	41	35	37,7	15,60	0,83	37,7	1880
S1P3	16,0	47	38	38,7	17,60	0,83	38,7	2027
S1P4	18,0	31	24	34,1	19,60	0,63	34,1	1380
S1P5	20,0	22	16	31,3	21,60	0,50	30,9	1026

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta (Gibbs-Holtz)

 $\phi 1$  = Angolo di attrito (Shioi-Fukuni)

sigma v = Tensione verticale efficace

Dr = Densità relativa (Gibbs-Holtz)

 $\phi 2$  = Angolo di attrito corretto (Vésic)

E = Modulo di elasticità (Bowles)

**PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno coesivo

SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Nc2 (-)	sigma v (t/mq)	F (-)	Cu (t/mq)	E (t/mq)
S1P1	12,0	20						
S1P2	14,0	41						
S1P3	16,0	47						
S1P4	18,0	31						
S1P5	20,0	22						

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta sulla tensione geostatica (Gibbs-Holtz)

Nc2 = Resistenza penetrometrica corretta sulla granulometria

Cu = Coesione non drenata (Shioi-Fukui)

sigma v = Tensione verticale efficace

F = Costante

E = Modulo edometrico (Stroud e Butler)



**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE SPT  
SONDAGGIO MECCANICO N. 2**

**PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno incoerente

SPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	$\varphi 1$ (gradi)	sigma v (t/mq)	Dr (-)	$\varphi 2$ (gradi)	E (t/mq)
S2P1	12,0							
S2P2	14,0							
S2P3	16,0	29	24	33,9	17,60	0,65	33,9	1356
S2P4	18,0	27	21	33,0	19,60	0,59	33,0	1237

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta (Gibbs-Holtz)

$\varphi 1$  = Angolo di attrito (Shioi-Fukuni)

sigma v = Tensione verticale efficace

Dr = Densità relativa (Gibbs-Holtz)

$\varphi 2$  = Angolo di attrito corretto (Vésic)

E = Modulo di elasticità (Bowles)

**PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Terreno coesivo

SCPT N.	Quota (m)	N (-)	Nc (-)	Nc2 (-)	sigma v (t/mq)	F (-)	Cu (t/mq)	E (t/mq)
S2P1	12,0	45	40	42	13,60	0,050	21,0	2100
S2P2	14,0	46	39	41	15,60	0,050	20,5	2050
S2P3	16,0							
S2P4	18,0							

N = Resistenza penetrometrica misurata

Nc = Resistenza penetrometrica corretta sulla tensione geostatica (Gibbs-Holtz)

Nc2 = Resistenza penetrometrica corretta sulla granulometria

Cu = Coesione non drenata (Shioi-Fukui)

sigma v = Tensione verticale efficace

F = Costante

E = Modulo edometrico (Stroud e Butler)

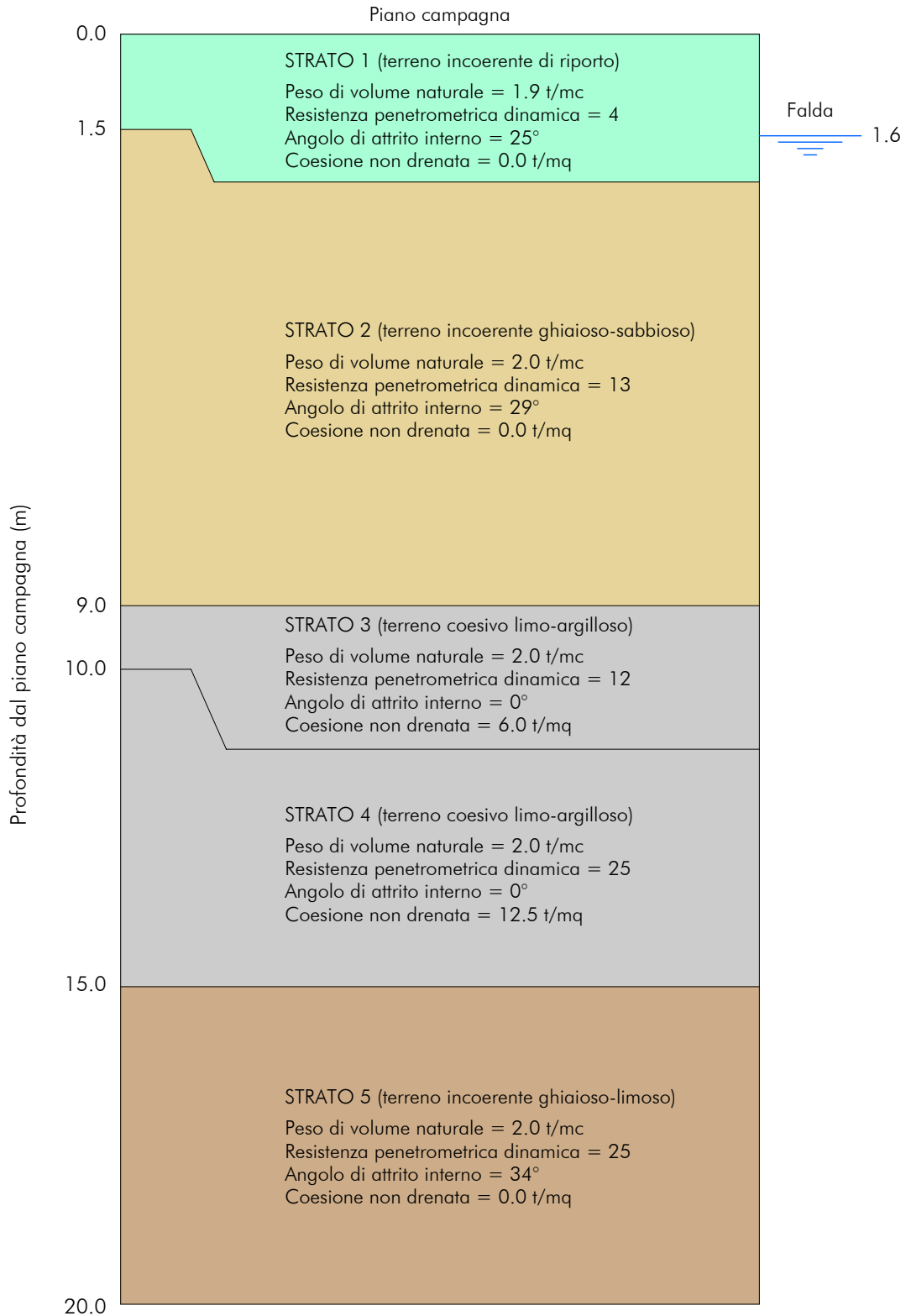


**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17

Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

**MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO**



# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

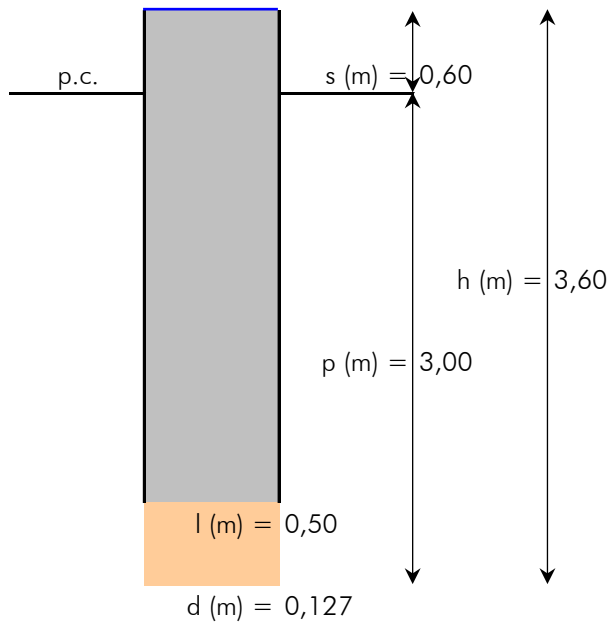
Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO

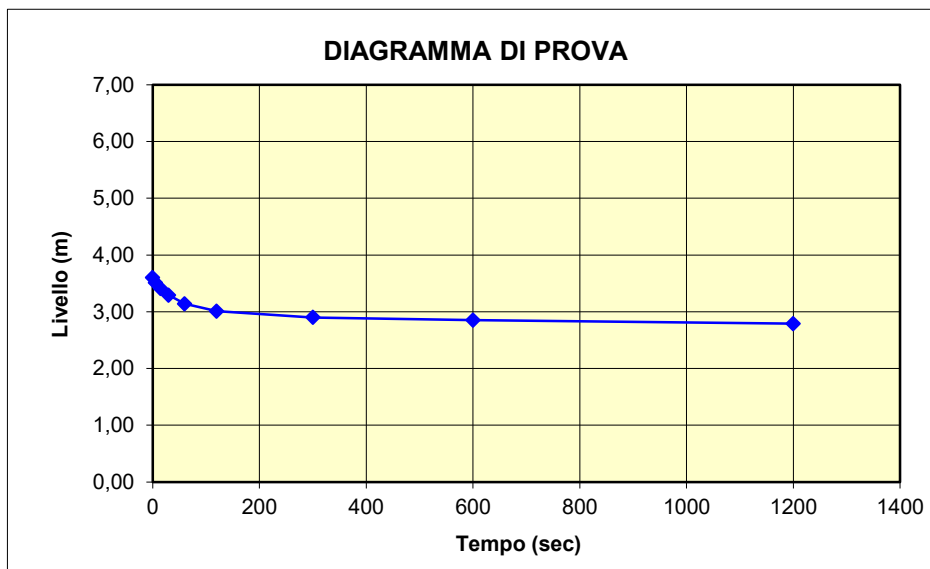
Sondaggio n. 1

Prova n. 1

Profondità prova dal piano campagna = 3,0 m



Dati di prova		
Tempo t (sec)	Livello h (m)	Livello s (m)
0	3,60	0,00
5	3,51	0,09
15	3,41	0,19
30	3,29	0,31
60	3,14	0,46
120	3,01	0,59
300	2,90	0,70
600	2,85	0,75
1200	2,79	0,81
Portata (l/min) = 1,5		



Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) = **9,93E-06**  
Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) = **3,65E-06**

Carico variabile  
Carico costante



Dott. Alberto Manella  
Studio di Geologia

## LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

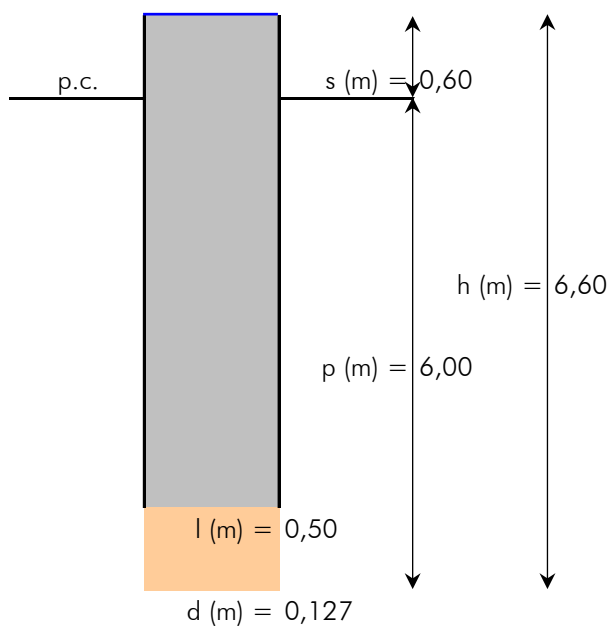
Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

### PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO

Sondaggio n. 1

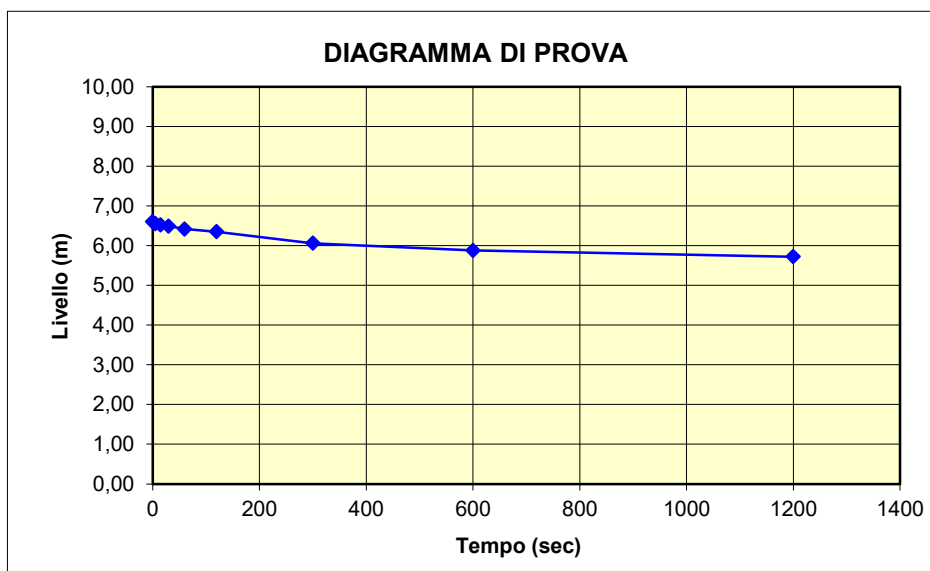
Prova n. 2

Profondità prova dal piano campagna = 6,0 m



Dati di prova		
Tempo t (sec)	Livello h (m)	Livello s (m)
0	6,60	0,00
5	6,55	0,05
15	6,52	0,08
30	6,49	0,11
60	6,42	0,18
120	6,35	0,25
300	6,06	0,54
600	5,88	0,72
1200	5,72	0,88

Portata (l/min) = 1,0



Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $1,28E-06$

Carico variabile

Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $1,33E-06$

Carico costante



Dott. Alberto Manella  
Studio di Geologia

## LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

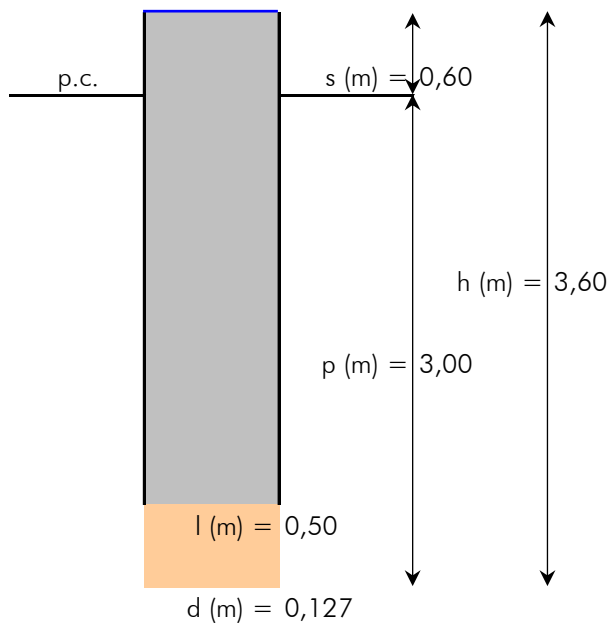
Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

### PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO

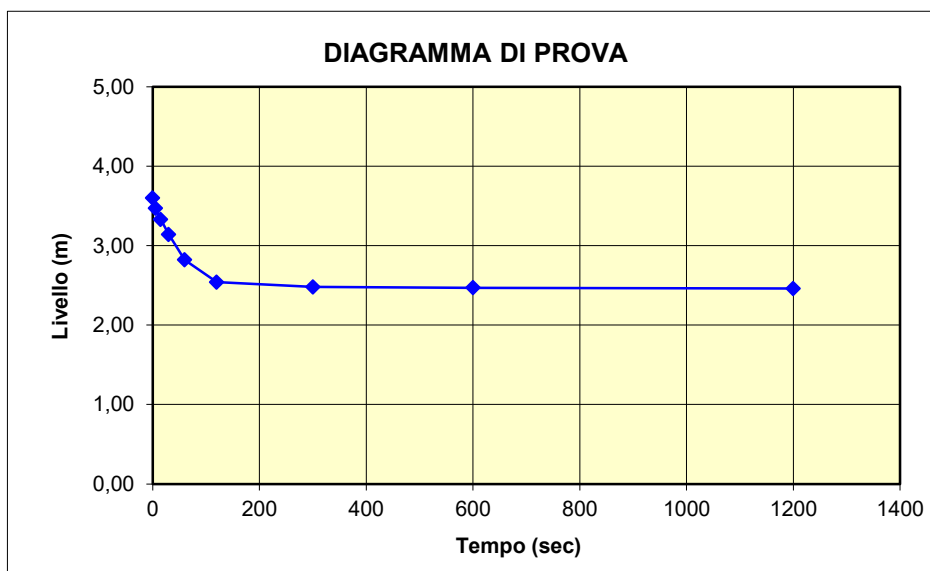
Sondaggio n. 2

Prova n. 1

Profondità prova dal piano campagna = 3,0 m



Dati di prova		
Tempo t (sec)	Livello h (m)	Livello s (m)
0	3,60	0,00
5	3,47	0,13
15	3,33	0,27
30	3,14	0,46
60	2,82	0,78
120	2,54	1,06
300	2,48	1,12
600	2,47	1,13
1200	2,46	1,14
Portata (l/min) = 1,0		



Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $1,63E-06$   
Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $2,43E-06$

Carico variabile  
Carico costante



Dott. Alberto Manella  
Studio di Geologia

# LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

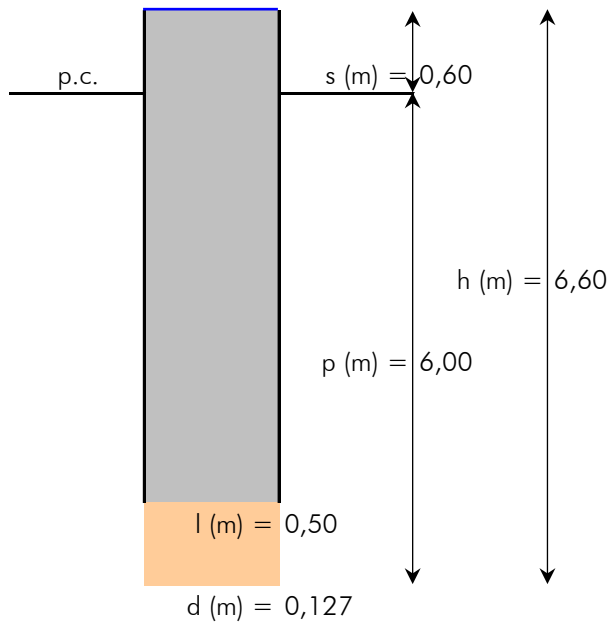
Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO

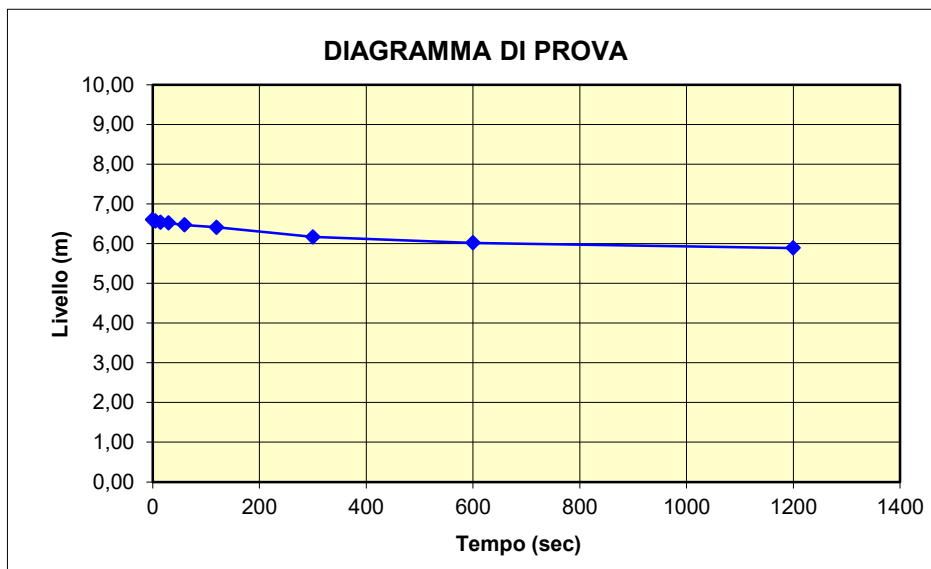
Sondaggio n. 2

Prova n. 2

Profondità prova dal piano campagna = 6,0 m



Dati di prova		
Tempo t (sec)	Livello h (m)	Livello s (m)
0	6,60	0,00
5	6,57	0,03
15	6,54	0,06
30	6,52	0,08
60	6,47	0,13
120	6,41	0,19
300	6,17	0,43
600	6,02	0,58
1200	5,89	0,71
Portata (l/min) = 0,8		



Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $8,89E-07$   
Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) =  $1,06E-06$

Carico variabile  
Carico costante



Dott. Alberto Manella  
Studio di Geologia

## LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

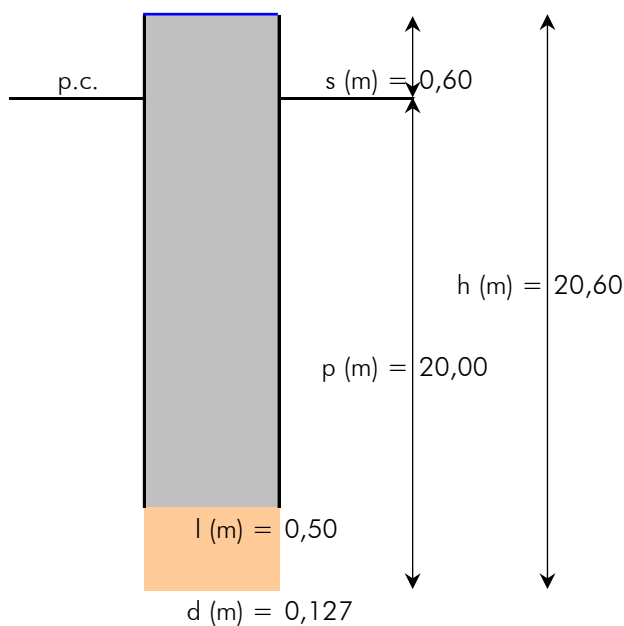
Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

### PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO

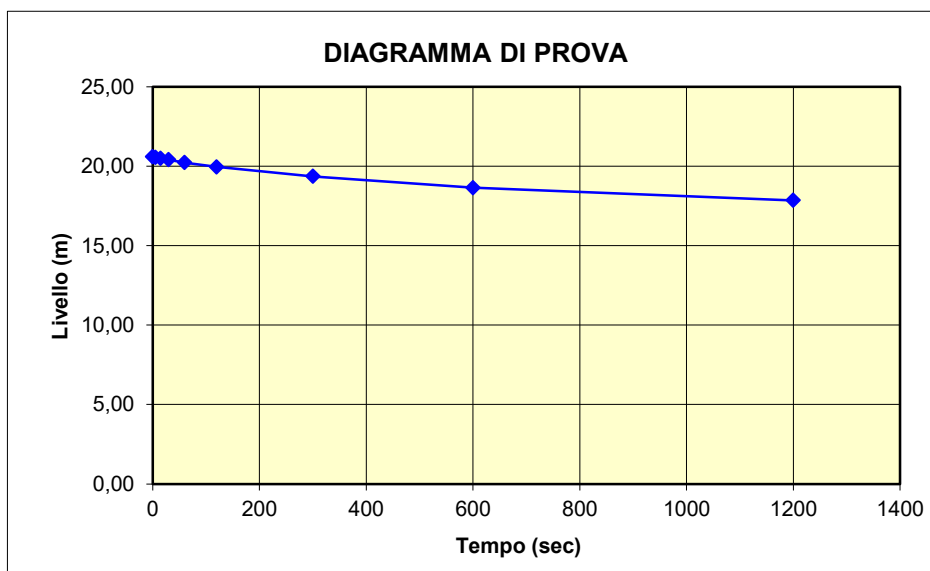
Sondaggio n. 2

Prova n. 3

Profondità prova dal piano campagna = 20,0 m



Dati di prova		
Tempo $t$ (sec)	Livello $h$ (m)	Livello $s$ (m)
0	20,60	0,00
5	20,56	0,04
15	20,49	0,11
30	20,41	0,19
60	20,23	0,37
120	19,96	0,64
300	19,36	1,24
600	18,65	1,95
1200	17,85	2,75
Portata (l/min) = 0,5		



Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) = **9,41E-07**  
Coefficiente di conducibilità idraulica (m/s) = **2,13E-07**

Carico variabile  
Carico costante



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO*

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Area d'intervento



Fase di esecuzione del sondaggio meccanico



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO*

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Fase di esecuzione delle prove penetrometriche



Fase di esecuzione della prospezione geofisica



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17*  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 1 (0,0-5,0 m)



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 1 (5,0-10,0 m)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO*

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 1 (10,0-15,0 m)



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 1 (15,0-20,0 m)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO*

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 2 (0,0-5,0 m)



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 2 (5,0-10,0 m)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

**LORETO IMMOBILIARE S.r.l.**

*Studio geologico e geotecnico finalizzato all'intervento sull'Ambito di Trasformazione At\_e17*  
Via Martin Luther King - Comune di BERGAMO

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 2 (10,0-15,0 m)



Cassetta catalogatrice del sondaggio meccanico n. 2 (15,0-20,0 m)



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia



**Dott. Alberto Manella**  
Studio di Geologia

Geologia Applicata | Geotecnica | Geologia Ambientale  
Idrogeologia | Idrologia | Idraulica

## Analisi geotecniche di laboratorio

### CERTIFICATO

#### Committente

Loreto Immobiliare S.r.l.

#### Località

Via Martin Luther King  
Comune di Bergamo

#### Data

Febbraio 2013

#### Tecnico responsabile

Dott. Geol. Alberto Manella



## PREMESSA

Il presente certificato viene redatto a conclusione delle analisi geotecniche di laboratorio, eseguite per conto della società Loreto Immobiliare S.r.l. su n. 8 campioni di terreno rimaneggiato prelevati in via Martin Luther King a Bergamo.

L'interpretazione geotecnica dei dati in riferimento alla problematica in questione esula dalla finalità del presente certificato.

Le analisi effettuate sono le seguenti:

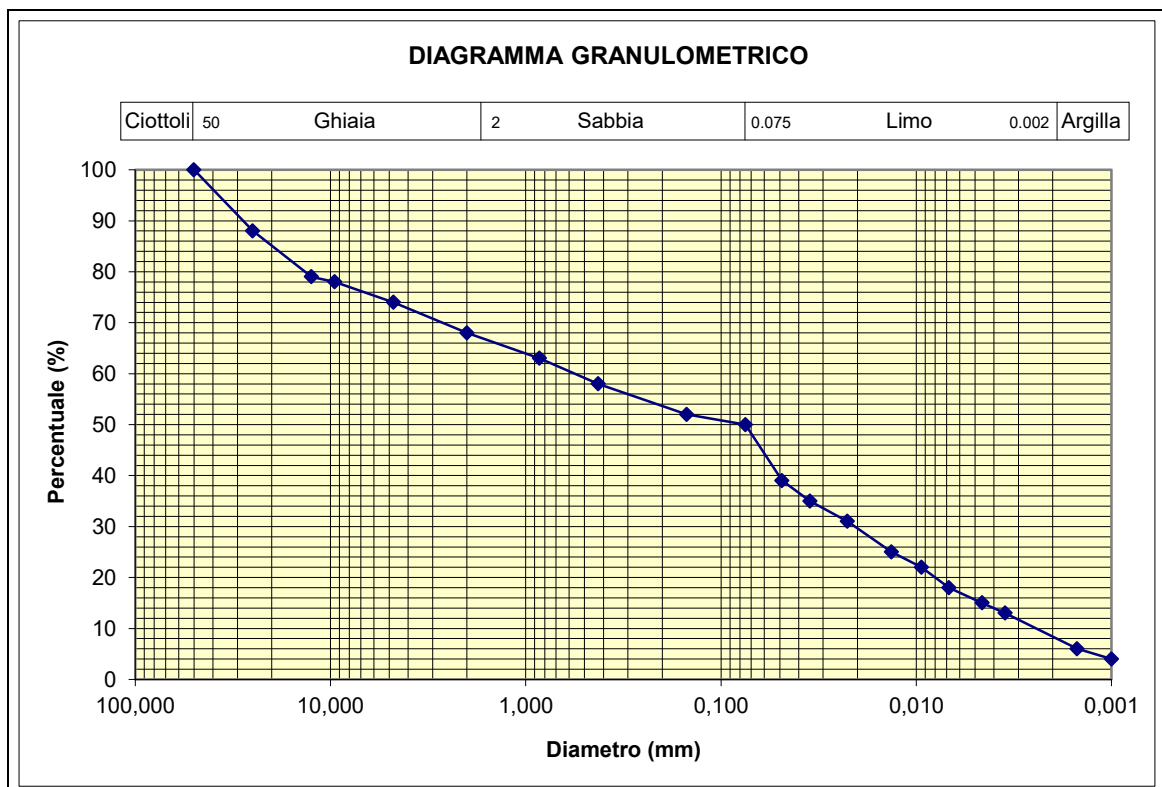
- **analisi granulometrica a umido per setacciatura** eseguita secondo la norma ASTM D422-63(90) sulla frazione trattenuta al setaccio ASTM n.200;
- **analisi granulometrica per sedimentazione** eseguita secondo la norma ASTM D422-63(90) sulla frazione passante al setaccio ASTM n.200;
- **determinazione dei limiti di Atterberg** secondo la norma ASTM D4318-84 sulla frazione passante al setaccio ASTM n.40.

Inoltre si è proceduto alla classificazione del terreno attraverso i criteri AGI-UNI e secondo la USCS (Unified Soil Classification System).

## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S1C1  
PROFONDITA': 3,4-3,8 m

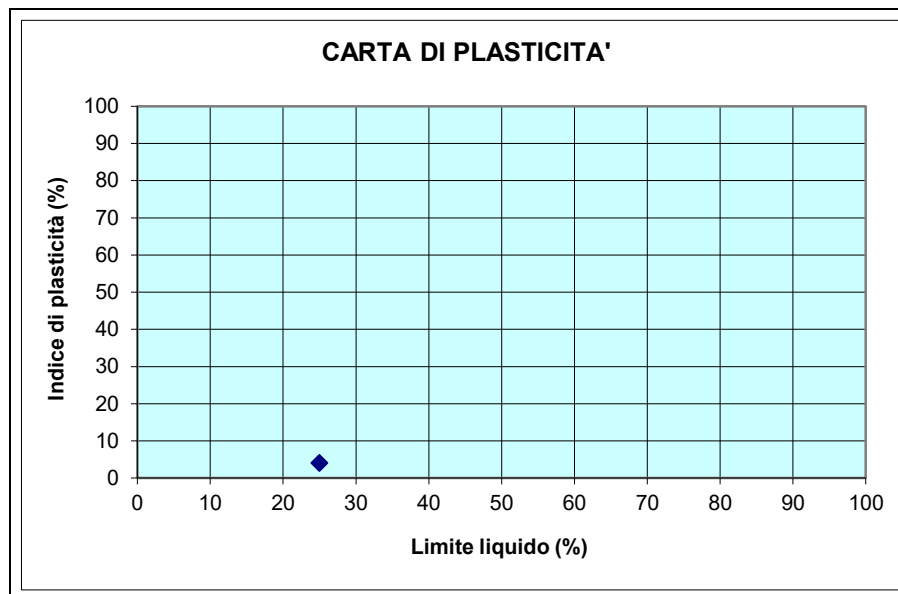
Diametro setaccio (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Peso (%)
50,000	100	0,0487	39
25,000	88	0,0350	35
12,500	79	0,0225	31
9,500	78	0,0134	25
4,750	74	0,0094	22
2,000	68	0,0068	18
0,850	63	0,0046	15
0,425	58	0,0035	13
0,150	52	0,0015	6
0,075	50	0,0010	4



## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S1C1  
PROFONDITA': 3,4-3,8 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	25	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	21	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	4	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 32

Sabbia (%) = 18

Limo (%) = 42

Argilla (%) = 8

Descrizione UNI = Limo con ghiaia sabbioso debolmente argilloso

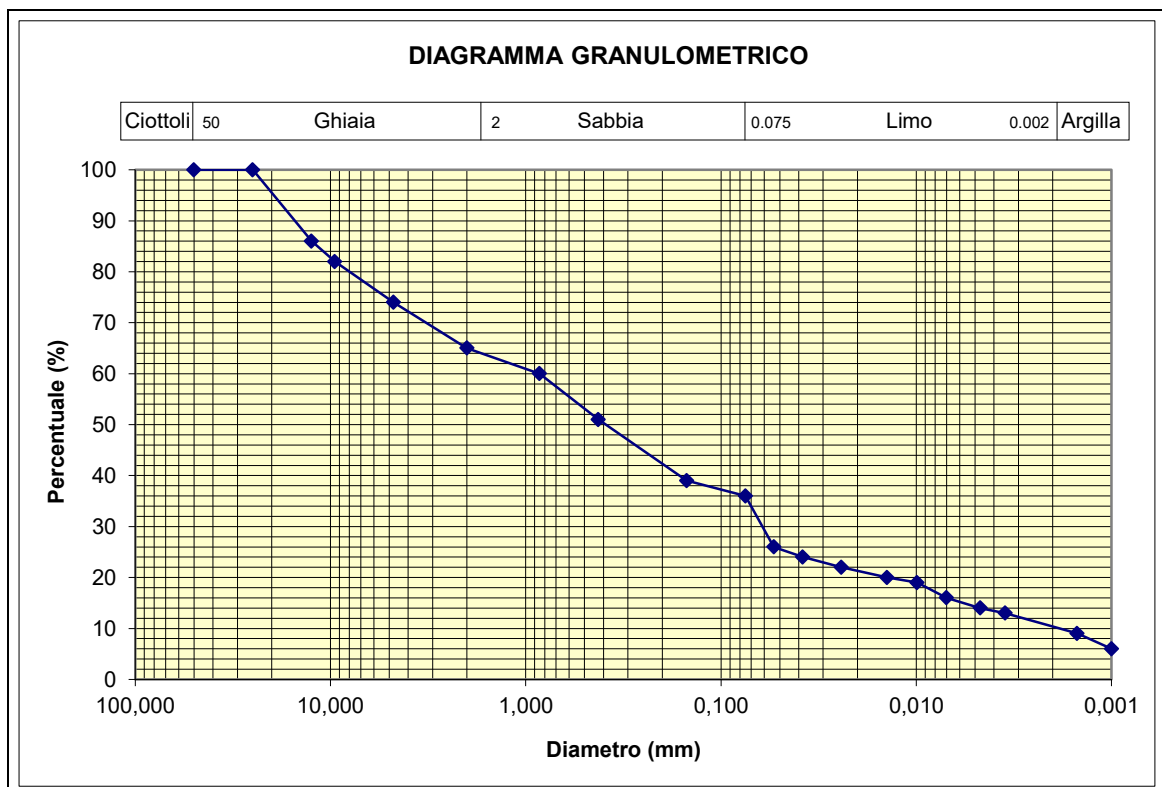
Classificazione USCS = GM



## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S1C2  
PROFONDITA': 6,5-6,8 m

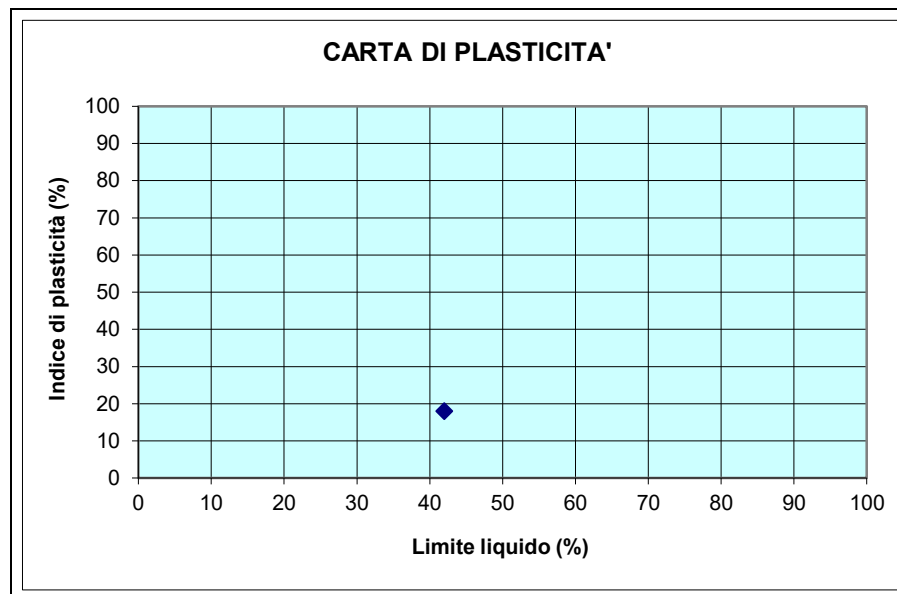
Diametro setaccio (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Peso (%)
50,000	100	0,0536	26
25,000	100	0,0381	24
12,500	86	0,0242	22
9,500	82	0,0141	20
4,750	74	0,0099	19
2,000	65	0,0070	16
0,850	60	0,0047	14
0,425	51	0,0035	13
0,150	39	0,0015	9
0,075	36	0,0010	6



## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S1C2  
PROFONDITA': 6,5-6,8 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	42	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	24	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	18	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 35

Sabbia (%) = 29

Limo (%) = 25

Argilla (%) = 11

Descrizione UNI = Ghiaia con sabbia con limo argillosa

Classificazione USCS = SC

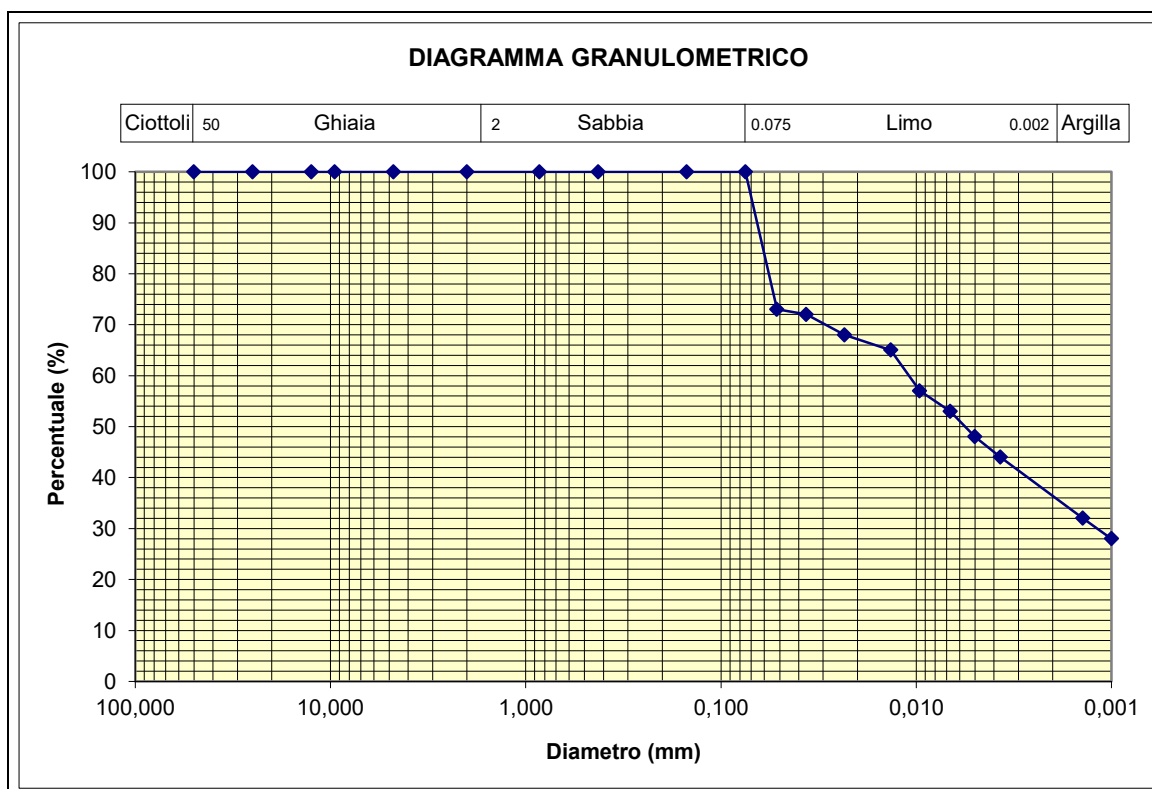


## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S1C3  
PROFONDITA': 10,5-10,7 m

Diametro setaccio (mm)	Passante (%)
50,000	100
25,000	100
12,500	100
9,500	100
4,750	100
2,000	100
0,850	100
0,425	100
0,150	100
0,075	100

Diametro (mm)	Peso (%)
0,0517	73
0,0366	72
0,0233	68
0,0135	65
0,0096	57
0,0067	53
0,0050	48
0,0037	44
0,0014	32
0,0010	28



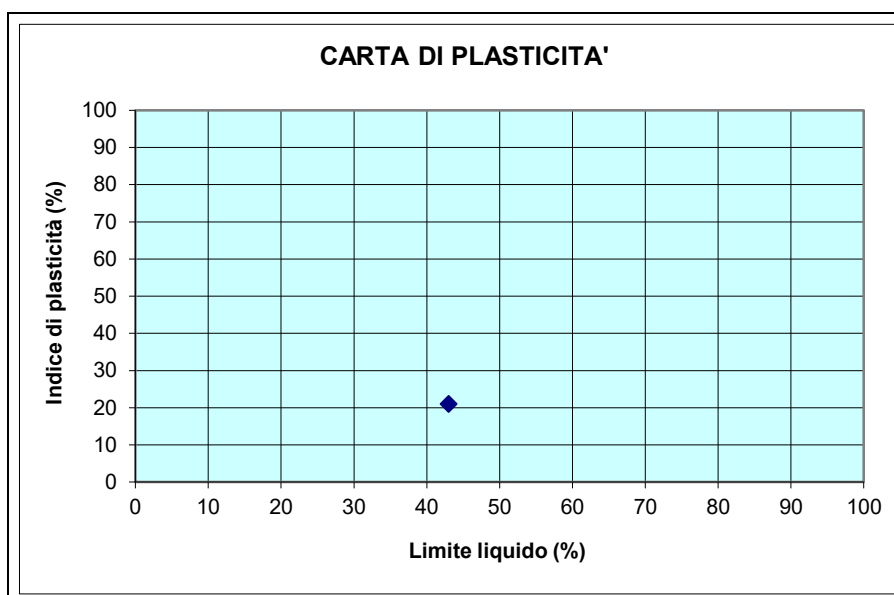


## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S1C3

PROFONDITA': 10,5-10,7 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	43	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	22	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	21	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 0

Sabbia (%) = 0

Limo (%) = 64

Argilla (%) = 36

Descrizione UNI = Limo con argilla

Classificazione USCS = CL

LORETO IMMOBILIARE S.r.l.

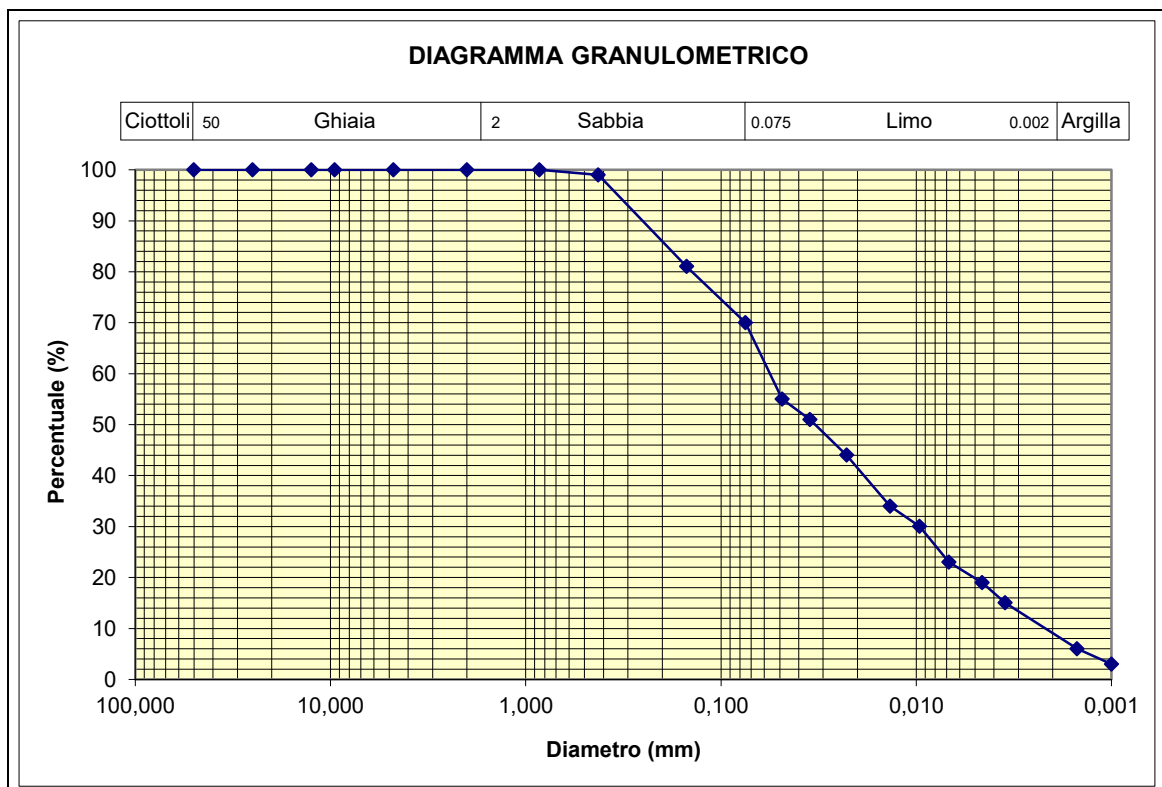
Analisi geotecniche di laboratorio

Via Martin Luther King - Comune di Bergamo

## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S1C4  
PROFONDITA': 11,4-11,7 m

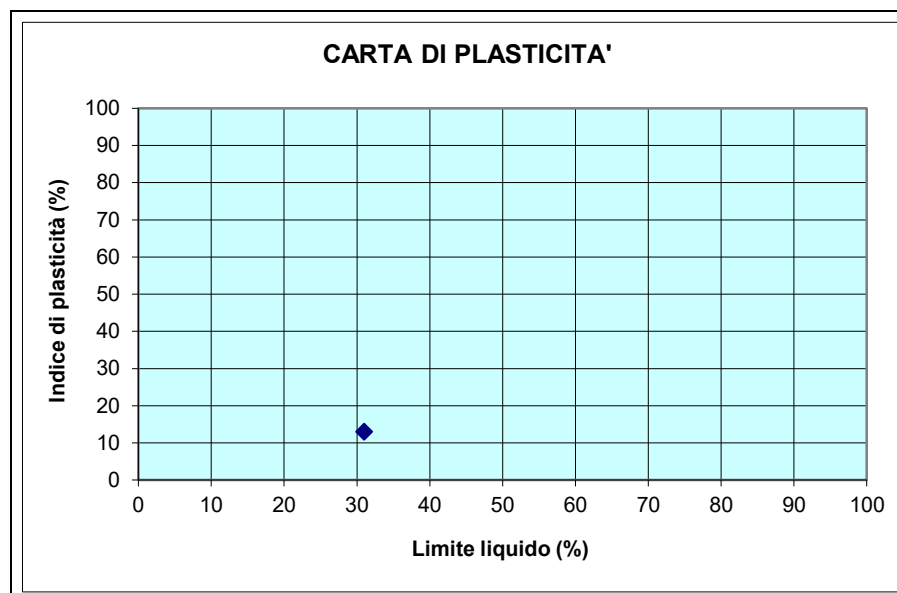
Diametro setaccio (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Peso (%)
50,000	100	0,0486	55
25,000	100	0,0350	51
12,500	100	0,0227	44
9,500	100	0,0136	34
4,750	100	0,0096	30
2,000	100	0,0068	23
0,850	100	0,0046	19
0,425	99	0,0035	15
0,150	81	0,0015	6
0,075	70	0,0010	3



## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S1C4  
PROFONDITA': 11,4-11,7 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	31	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	18	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	13	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 0  
Sabbia (%) = 30  
Limo (%) = 61  
Argilla (%) = 9

Descrizione UNI = Limo con sabbia debolmente argilloso  
Classificazione USCS = CL

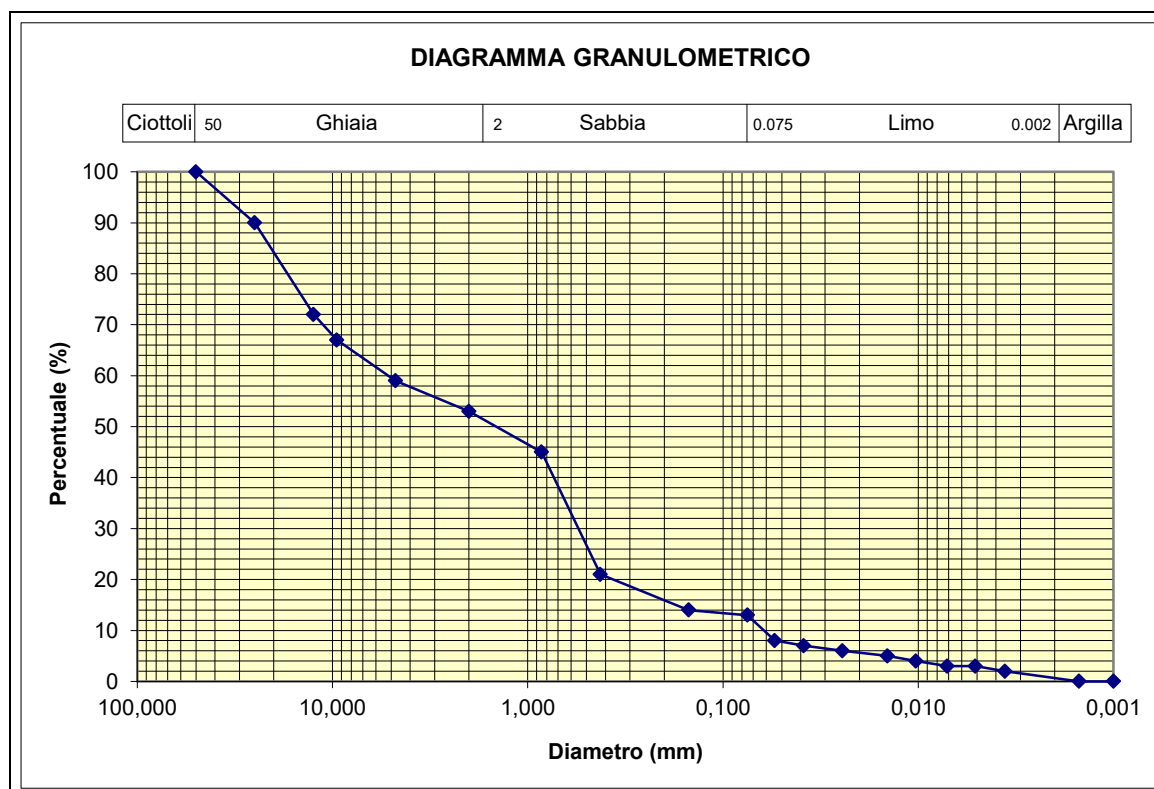


## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S2C1  
PROFONDITA': 5,5-6,0 m

Diametro setaccio (mm)	Passante (%)
50,000	100
25,000	90
12,500	72
9,500	67
4,750	59
2,000	53
0,850	45
0,425	21
0,150	14
0,075	13

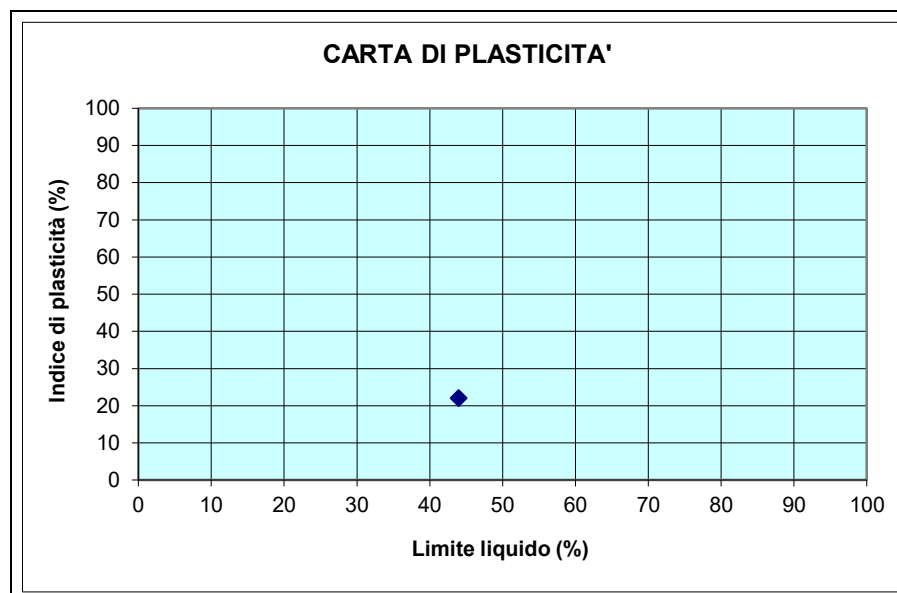
Diametro (mm)	Peso (%)
0,0543	8
0,0386	7
0,0245	6
0,0144	5
0,0103	4
0,0071	3
0,0051	3
0,0036	2
0,0015	0
0,0010	0



## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S2C1  
PROFONDITA': 5,5-6,0 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	44	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	22	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	22	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 47  
Sabbia (%) = 40  
Limo (%) = 13  
Argilla (%) = 0

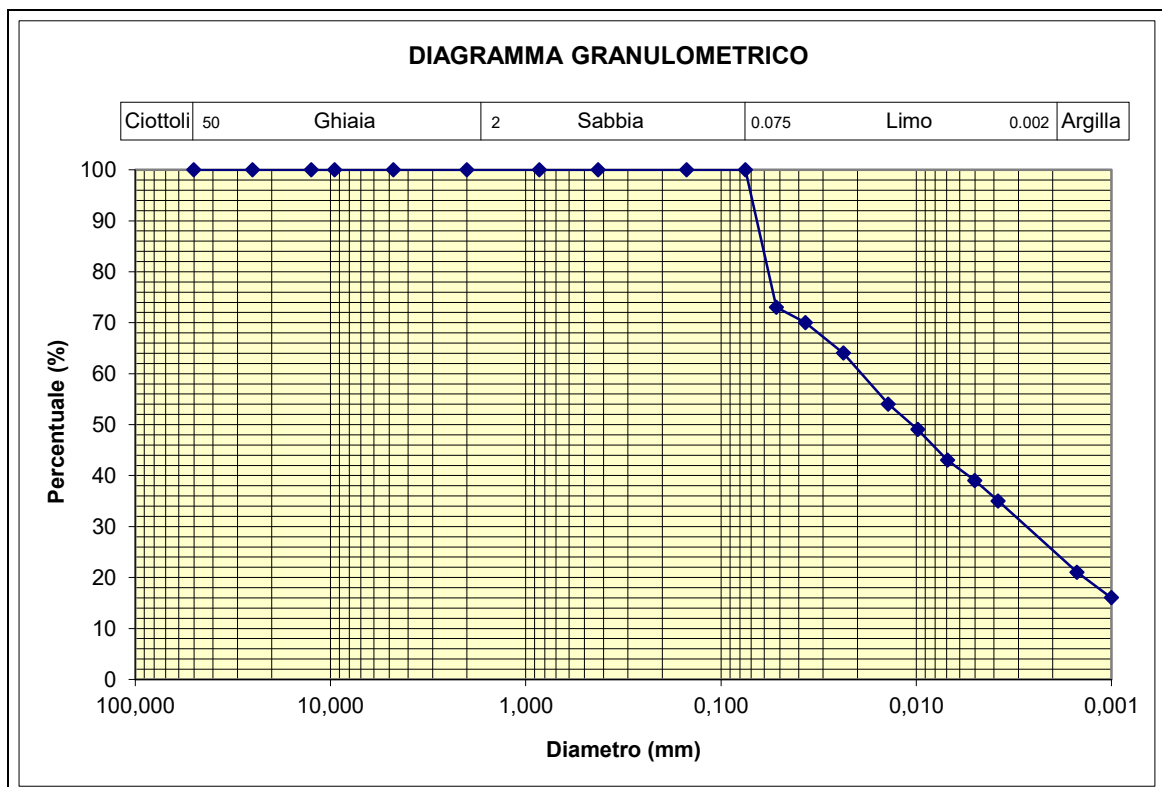
Descrizione UNI = Ghiaia con sabbia limosa  
Classificazione USCS = SC



## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S2C2  
PROFONDITA': 9,6-9,8 m

Diametro setaccio (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Peso (%)
50,000	100	0,0520	73
25,000	100	0,0369	70
12,500	100	0,0236	64
9,500	100	0,0139	54
4,750	100	0,0098	49
2,000	100	0,0069	43
0,850	100	0,0050	39
0,425	100	0,0038	35
0,150	100	0,0015	21
0,075	100	0,0010	16



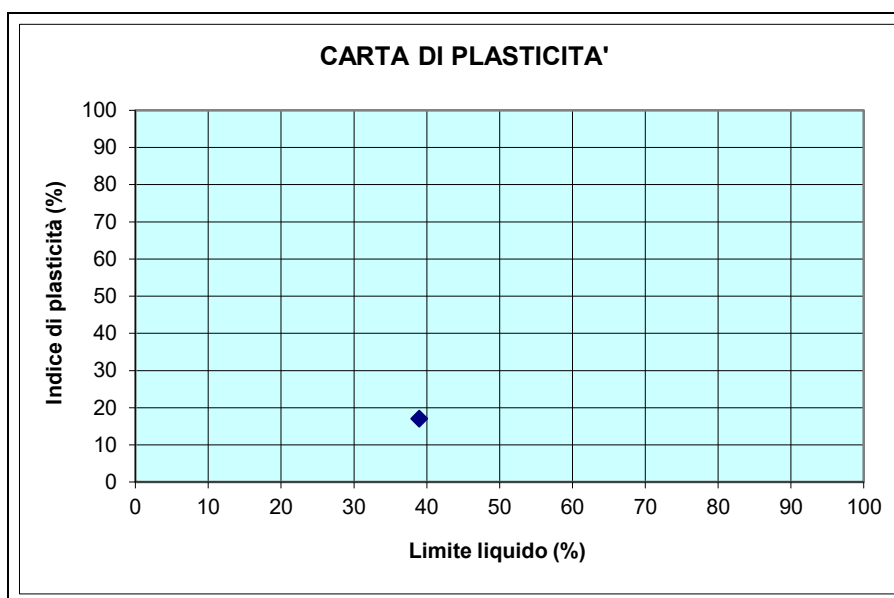


## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S2C2

PROFONDITA': 9,6-9,8 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	39	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	22	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	17	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 0

Sabbia (%) = 0

Limo (%) = 74

Argilla (%) = 26

Descrizione UNI = Limo con argilla

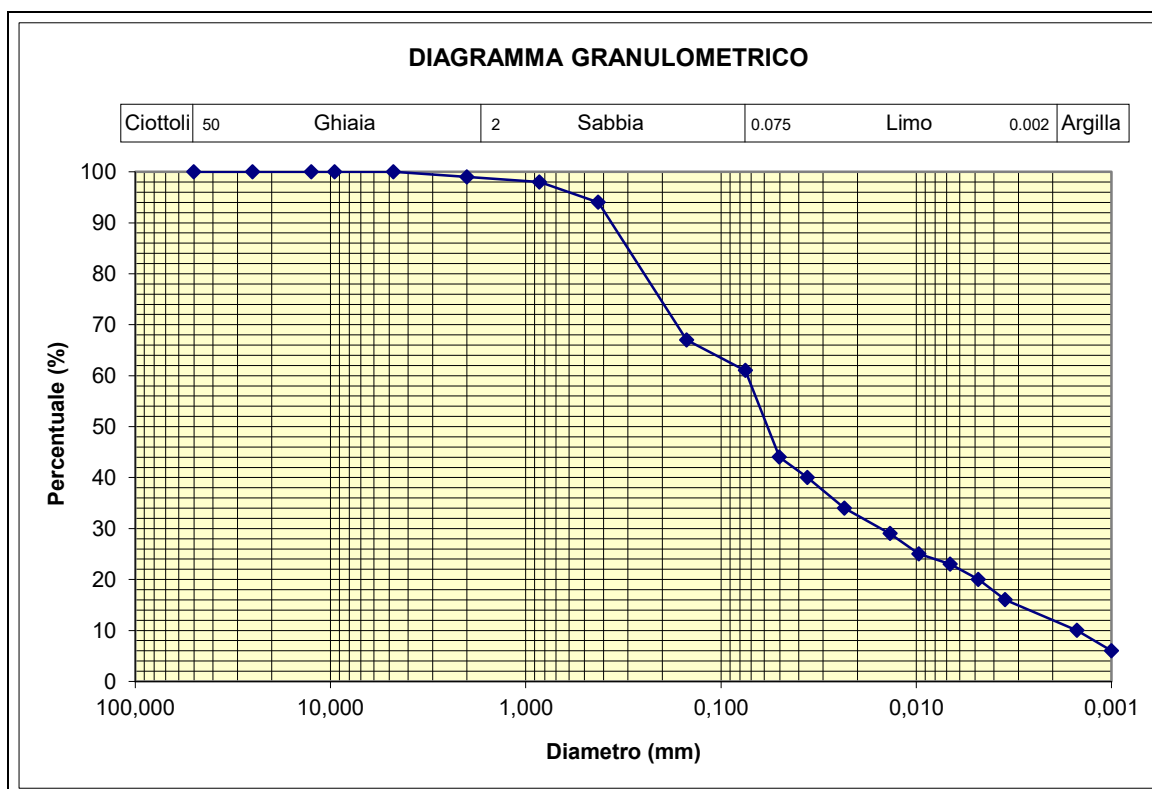
Classificazione USCS = CL



## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S2C3  
PROFONDITA': 13,7-14,0 m

Diametro setaccio (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Peso (%)
50,000	100	0,0502	44
25,000	100	0,0361	40
12,500	100	0,0233	34
9,500	100	0,0136	29
4,750	100	0,0097	25
2,000	99	0,0067	23
0,850	98	0,0048	20
0,425	94	0,0035	16
0,150	67	0,0015	10
0,075	61	0,0010	6



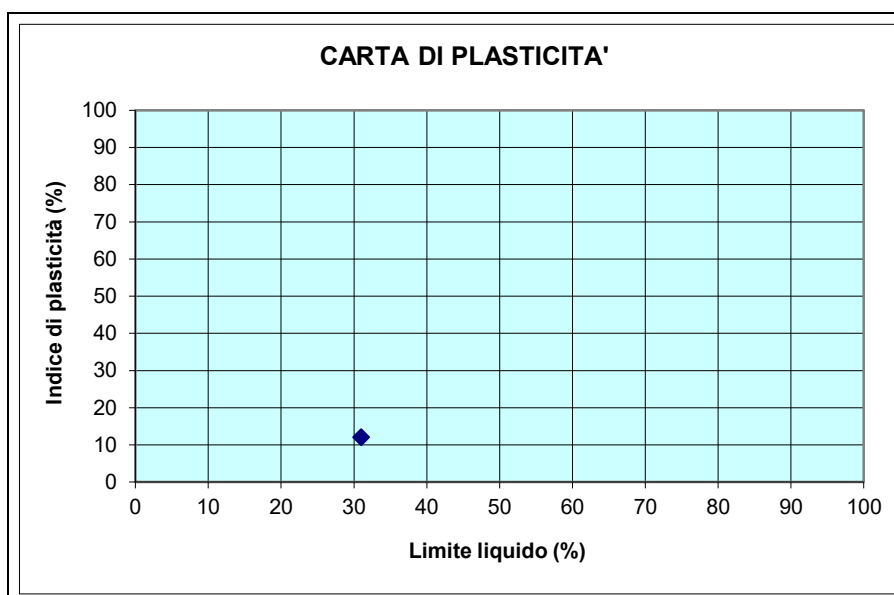


## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S2C3

PROFONDITA': 13,7-14,0 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	31	Peso di volume naturale ( $t/m^3$ )	
Limite plastico (%)	19	Peso di volume secco ( $t/m^3$ )	
Indice di plasticità (%)	12	Peso specifico dei grani ( $t/m^3$ )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 1

Sabbia (%) = 38

Limo (%) = 49

Argilla (%) = 12

Descrizione UNI = Limo con sabbia argilloso

Classificazione USCS = CL

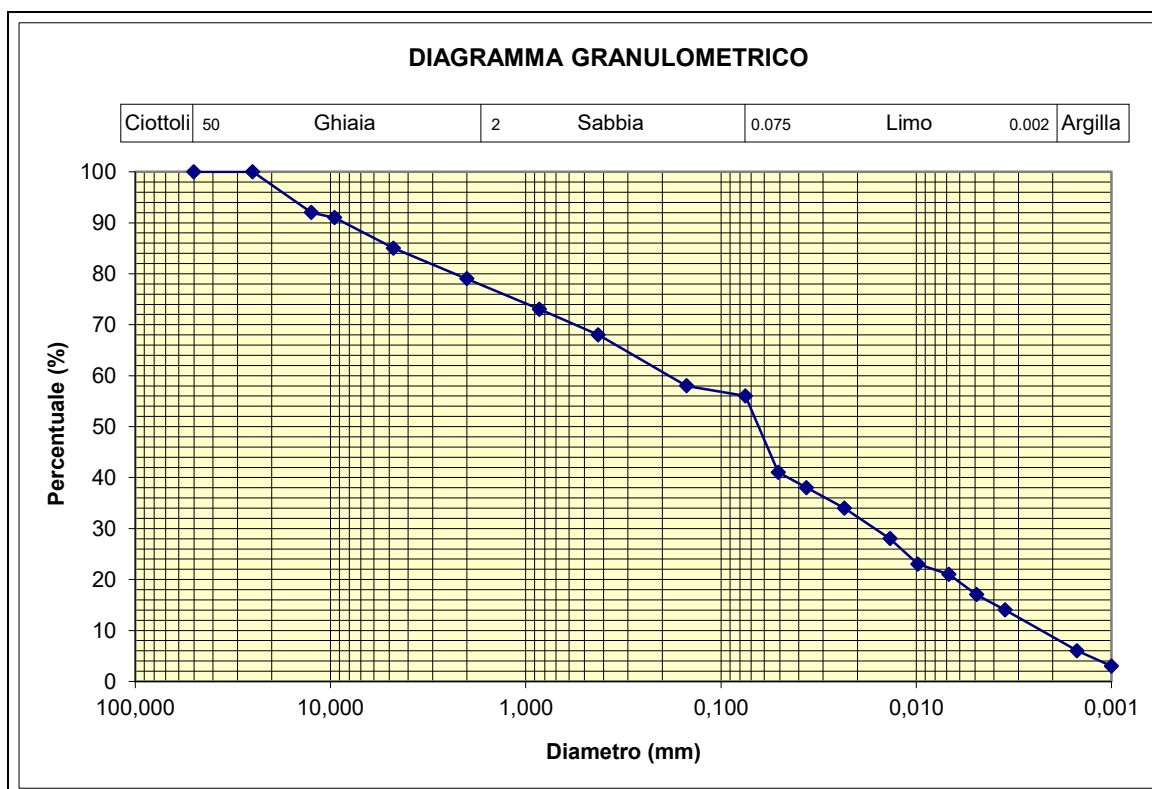


## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

CAMPIONE: S2C4  
PROFONDITA': 17,3-17,6 m

Diametro setaccio (mm)	Passante (%)
50,000	100
25,000	100
12,500	92
9,500	91
4,750	85
2,000	79
0,850	73
0,425	68
0,150	58
0,075	56

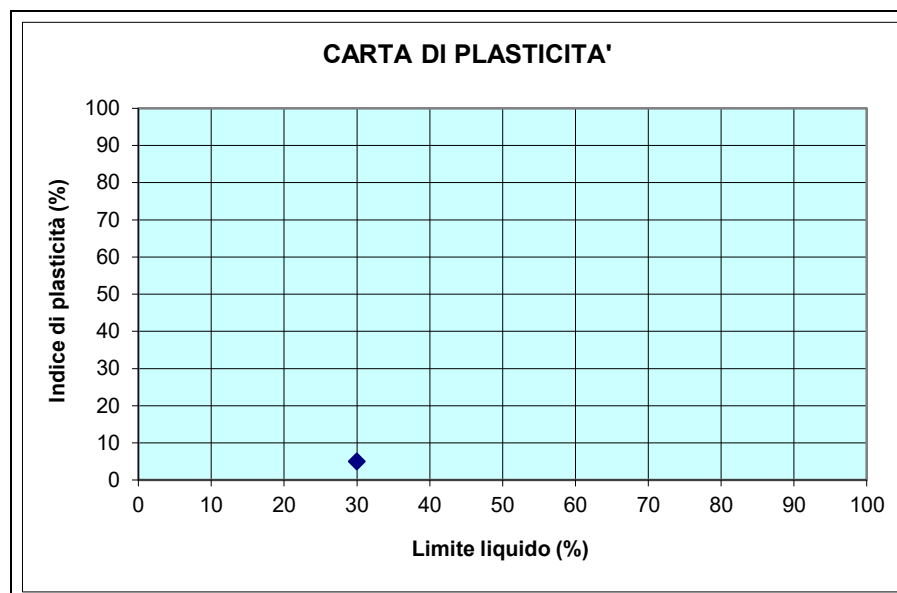
Diametro (mm)	Peso (%)
0,0508	41
0,0364	38
0,0233	34
0,0136	28
0,0098	23
0,0068	21
0,0049	17
0,0035	14
0,0015	6
0,0010	4



## PARAMETRI FISICI DEL TERRENO

CAMPIONE: S2C4  
PROFONDITA': 17,3-17,6 m

Parametro	Valore	Parametro	Valore
Limite liquido (%)	30	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	
Limite plastico (%)	25	Peso di volume secco (t/m <sup>3</sup> )	
Indice di plasticità (%)	5	Peso specifico dei grani (t/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua naturale (%)		Indice dei vuoti (-)	
Indice di consistenza (-)		Grado di saturazione (%)	



## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Ghiaia (%) = 21  
Sabbia (%) = 23  
Limo (%) = 47  
Argilla (%) = 9

Descrizione UNI = Limo sabbioso ghiaioso debolmente argilloso  
Classificazione USCS = ML



**Comune di Bergamo**



**Via Martin Luther King**

**Progetto di edificazione commerciale**

**Classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto sulla base del parametro sismico Vs30**

***Proprietà : Segheria Beretta Ferruccio Felice & C. s.a.s.***

**Gennaio 2013**



## PROGEA Consulting S.r.l.

Sede legale : via G. Garibaldi, 40 - 24036 Ponte San Pietro (BG)  
Sede operativa : via G. Donizetti, 109 - 24030 Brembate Sopra (BG)  
complesso immobiliare Geller - edificio D1a  
Partita IVA 03266630163 - Iscritta C.C.I.A.A. di Bergamo n. REA 363744  
Tel. 035332281 - 3489045300 - e-mail : PROGEA09@progeaconsulting.191.it



### 1. PREMESSA

Su incarico del Dr. Geol. Manella Alberto, abbiamo eseguito una campagna di indagini geofisiche in Comune di Bergamo, in via Martin Luther King sui terreni di proprietà della “Segheria Beretta Ferruccio, Felice & C. s.a.s.”.

L'indagine ha previsto la realizzazione di n.1 base sismica con il metodo della rifrazione per la verifica con metodi indiretti non invasivi dei caratteri geologici dell'area in esame e n. 1 MASW per la determinazione delle Vs30 ; questo parametro rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio S entro 30 metri di profondità ( al di sotto del piano di fondazione ) e viene calcolato in conformità ed in funzione delle normative di Legge vigenti ( capitolo 5 della presente relazione tecnica).



Inizio linea



coda linea

### 2. SISMICA A RIFRAZIONE

La stesa del cavo sismico è stata condizionata dalla morfologia del sito e compatibilmente con l'accessibilità dei luoghi.

Gli elaborati cartografici/grafici delle risultanze ottenute dall'interpretazione dei dati geosismici acquisiti in campagna sono:

- Sezione sismica tomografica con rappresentazione a campitura di colore ed isolinee cinematiche della velocità delle onde P ( onde di compressione ).
- Ray Tracing con rappresentazione grafica in corrispondenza di ciascuno stendimento sismico
- Dromocrone ( grafico *distanze – tempo* )

## 2.1 Generalità sulla Tomografia sismica a rifrazione

L'impiego della rifrazione tomografica va applicato in fase di acquisizione dati, al fine di consentire una elaborazione secondo sezioni sismiche tomografiche a rifrazione.

La tecnica a rifrazione tomografica consente di stimare il campo di velocità sismiche mediante inversione dei dati a rifrazione acquisiti con stendimenti sulla superficie del suolo.

Le sezioni d'indagine, attraverso un apposito programma di elaborazione, vengono suddivise per passi successivi in celle quadrate o rettangolari, ( di dimensione variabili in dipendenza delle spaziature adottate tra i sensori e del passo tra i diversi punti di scoppio ) e per ciascuna di esse secondo un procedimento iterativo di convergenza si calcola il tempo necessario all'impulso sismico per attraversarle. Questa procedura rende possibile ricostruire la velocità sismica del mezzo nella sezione di interesse, dal piano campagna fino alla profondità massima d'indagine.

Poichè le velocità di propagazione delle onde di compressione P sono proporzionali a diversi fattori tra i quali la densità, la composizione del materiale, lo stato tensionale della formazione, l'eventuale grado di fratturazione, è possibile dedurre all'interno delle sezioni tomografiche, zone a maggior a minore consistenza dei vari materiali presenti, zone detensionate, variazioni laterali e verticali di velocità, la distribuzione delle velocità di compressione nella porzione maggiormente consistente del substrato in posto, se intercettato.

Il potere risolutivo della tecnica tomografica è legato essenzialmente:

- al numero ed alla distribuzione delle misure nella sezione indagata;
- alla lunghezza d'onda della perturbazione sismica, la quale a sua volta dipende dalla velocità a dalla frequenza principale di oscillazione delle onde sismiche;
- all'orientamento ed alla distribuzione delle eventuali discontinuità ed alla stratificazione del sottosuolo;
- al rapporto tra la distanza di separazione tra i sensori e quindi alla lunghezza della stendimento in superficie

La tecnica a rifrazione di tipo tomografico poichè consente di ottenere una descrizione continua della velocità delle onde di compressione P dell'ammasso a partire dal piano campagna fino alla profondità massima d'indagine, si pone come la tecnica più idonea per ottenere una più completa caratterizzazione della zona di frana rispetto all'interpretazione classica che da informazioni solo sugli orizzonti rifrattori, se presenti.

Solo da una sezione sismica tomografica è possibile dedurre in continuo, per l'intera profondità della sezione indagata, zone a maggior o minore consistenza dei vari materiali presenti, zone detensionate, variazioni laterali e verticali di velocità, etc.

La tecnica tomografica consente di evitare di posizionare i punti di scoppio esternamente allo stendimento permettendo comunque di ricostruire tomograficamente il parametro della velocità sismica di propagazione in tutta la sezione sottesa allo stendimento superficiale di geofoni .

Il metodo tomografico, consente, insieme alla ricostruzione della distribuzione laterale e verticale, all'interno della sezione tomografica, della velocità delle onde sismiche, di affiancare comunque anche la riproduzione (più o meno fedele) con tecnica classica delle geometrie, delle strutture e delle successioni stratigrafiche presenti nel sottosuolo indagato per mezzo della descrizione dei rifrattori nel

sottosuolo: l'analisi per il processo di inversione tomografica, infatti, avviene anch'essa a partire dalla conoscenza dei tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite l'analisi delle curve dei primi arrivi ad ogni trasduttore (dromocrone), ma si estrinseca anche a partire da un modello di partenza derivante ad esempio da un'analisi con tecnica GRM (Generalized Reciprocal Method), o con il metodo Plus-Minus, o con il metodo di Gardner a seconda delle condizioni logistiche e della profondità di indagine.

## 2.2 Operazioni sismiche di campagna

Le operazioni di campagna sono identiche a quelle che si effettuano in rilievi di sismica a rifrazione tipo standard; la differenza più sostanziale consiste nel fatto che il numero di registrazioni impostate è decisamente superiore al fine di consentire l'acquisizione di una quantità di dati tale da "coprire" con una corretta geometria dei raggi ed in maniera omogenea tutta la sezione sismica senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

La **prima fase**, dopo aver posizionato sul terreno i geofoni collegati tramite morsetti bipolari al cavo elettrico, ha previsto alcuni shots di prova con lo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento.

Una volta effettuata la taratura è stata registrata, una base sismica che ha previsto una stesa del cavo sismico di circa 50 m utilizzando 24 geofoni.

I parametri di acquisizione per la tomografia sismica a rifrazione sono stati:

- tempo di campionamento 0,200 ms
- finestra di acquisizione 1 s
- shots : 5

Occorre tener presente che la lunghezza dello stendimento definisce la profondità di indagine raggiungibile, mentre l'interdistanza tra i geofoni definisce il dettaglio della restituzione interpretativa. Questi due parametri devono quindi essere calibrati in modo da consentire di raggiungere il massimo dettaglio possibile per la profondità di indagine richiesta.

La metodologia usata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in stendimenti sismici con l'impiego di geofoni a frequenza naturale di 14 Hz a componente verticale, collegati, tramite un cavo multipolare, al sismografo; tali geofoni sono apparecchi che segnalano i movimenti del terreno, trasformando l'energia sismica in energia elettrica.

Inoltre è stato usato un geofono ( geofono del *time break* o *hammer switch* ) posizionato in fregio all'apparato energizzatore, che costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione. Il sismografo utilizzato per l'acquisizione dei dati in campagna è il modello McSeis SX48XP prodotto dalla ditta giapponese OYO Corporation. ; tale strumentazione è dotata di sommatoria del segnale con possibilità di filtratura diversa in funzione dei disturbi da eliminare.

**L'energizzazione** del terreno ( sorgente di energia ), è stata ottenuta impiegando una apposita mazza del peso di 8 Kg, che viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche. Si consideri che una massa del peso di 8 Kg. circa (in quantità pari a n. 1 battuta) corrisponde a circa 100 J di energia. mentre lo scoppio di una cartuccia equivale a circa 105000 J.

Sono state previste più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

### 2.3 Elaborazione dati

Come ben noto e riportato anche in letteratura tecnica (per es. "Geotechnical Engineering for Transportation Projects, Geotechnical Special Publication no 126 — Geotrans 2004, Los Angeles, Ca — M.K. Yegian and E. Kavazanjian editors, American Society of Civil Engineers, Reston, Va., pages 1832-1839.), le norme ASTM sono solo una raccomandazione da tenere in considerazione nei casi più generali, ma non rappresentano affatto un norma onnicomprensiva per tutti i casi in cui sia richiesto applicare la sismica a rifrazione.

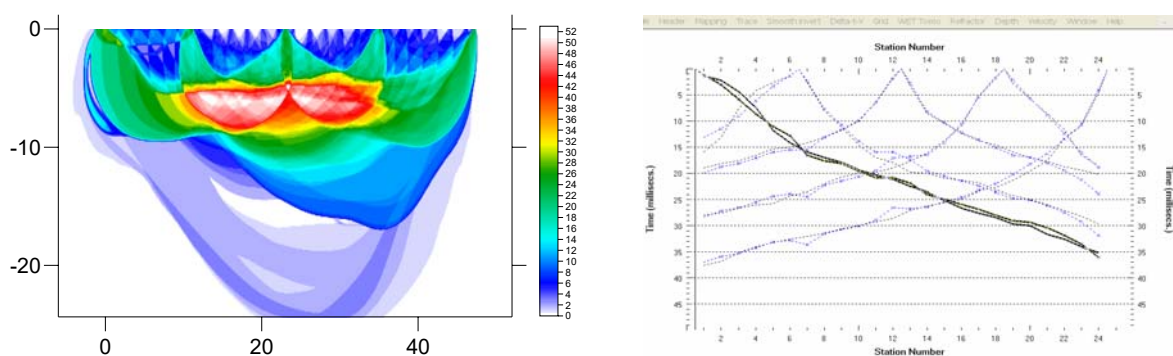
Nei casi di analisi di pendii in frana è sicuramente opportuno utilizzare tecniche di acquisizione dati e interpretazione di tipo tomografico.

La tecnica a rifrazione classica è efficace solo se si è in presenza realmente di orizzonti rifrattori e di un substrato coerente.

Negli ammassi di frana, poiché è molto frequente che all'interno del corpo di frana non si realizzino condizioni di rifrazione con angoli critici (quindi con assenza di orizzonti rifrattori veri e propri), la tecnica classica, che lavora solo per rappresentazione di orizzonti rifrattori, è probabile che non rappresenti la tecnica efficace per la caratterizzazione dell'ammasso.

### 2.4 Inversione dei dati sismici a rifrazione

Lo schema di interpretazione utilizzabile nel caso in oggetto è basato su un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brück 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-Minus (Hagedoorn 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brück 1987). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM (Generalized reciprocal method, Palmer, 1980), capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. Il software di interpretazione utilizzato è il **Rayfract** della Intelligent Resources Inc. (Canada). A partire da tale modello è possibile utilizzare un codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo **Delta t-v** (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.



L'affinamento della soluzione supportata con il metodo Delta t-v avviene attraverso un ulteriore processo finale tomografico implementato da G.T. Schuster et alii, (Wavepath eikonal traveltimes inversion: Theory, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323) e Watanabe (Seismic traveltimes tomography using Fresnel volume approach, Expanded Abstracts of 69th SEG Annual Meeting, SPRO12.5, 1999) denominato procedimento tomografico **WET** (Wavepath Eikonal Traveltime).

## **2.5 Modalità di rappresentazione dei dati sismici**

L'ubicazione dello stendimento è riportata nella planimetria generale.

Nella sezione sismica presentata con rappresentazione a campiture di colore sono riportati i valori di velocità delle onde di compressione, espresse in m/s.

Sulla sezione, al di sopra del profilo topografico, è riportata la numerazione delle stazioni geofoniche dello stendimento di superficie per migliori riferimenti planimetrici e la posizione degli shots.

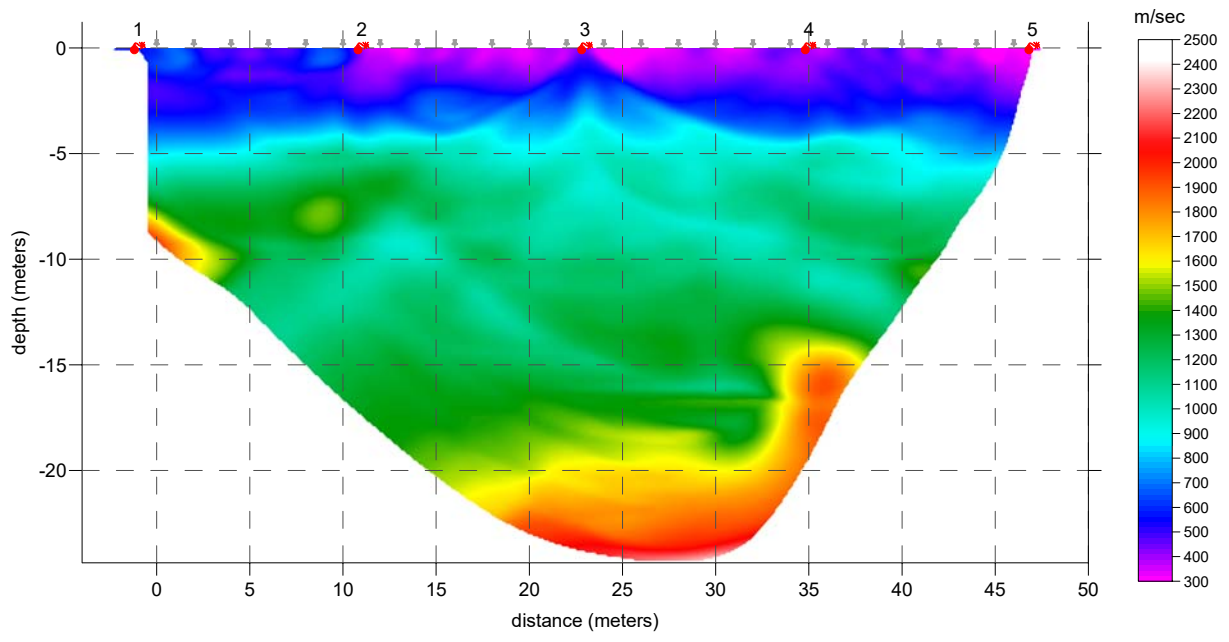
Alla base della sezione è riportata la distanza in metri della proiezione sull'orizzontale della sezione stessa, misura che non corrisponde, in funzione delle acclività dei profili, alla distanza effettiva dello stendimento effettuato in campagna.

## **2.6 Analisi delle risultanze**

Le analisi sono state realizzate sulla base del gradiente geosismico ; *considerando lo scopo dell'indagine sismica a rifrazione (supporto indiretto alla MASW) si riportano le considerazioni di sintesi:*

nell'ambito dei primi 15 – 20 metri di profondità di sottosuolo mostra un'alternanza di livelli eterogenei per potenza e litologia (da limosi argillosi a ghiaiosi sabbiosi); nel modello di inversione vengono rappresentate con le tonalità cromatiche dall'azzurro al verde

A partire dalle quote di cui sopra, l'aumento del valore delle onde di compressione è indice di un aumento della frazione fine. In corrispondenza dell'indagine MASW ( punto mediano della stesa sismica), il tetto di questa blanda variazione litologica si colloca a circa 20 m dal p.c.



### 3.0 INDAGINE GEOFISICA AVANZATA CON TECNICA SISMICA MASW PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI SITI.

La prova SASW eseguite in modalità multi-stazione viene indicata con l'acronimo **MASW** ( Multistation Analysis of Surface Waves ) e serve per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, dunque:

- il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E, S1, S2)
- le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile
- il modulo di rigidezza del terreno
- i cedimenti e gli spostamenti delle opere interagenti con il terreno: edifici, ponti, rilevati arginali, opere di sostegno, etc..

I principali **vantaggi** si sintetizzano in :

- Forniscono il profilo di velocità delle onde di taglio Vs oltre 30m di profondità
- Consentono di individuare il tipo di suolo sismico
- A differenza della sismica a rifrazione, si usano in qualunque situazione stratigrafica pseudorizzontale, anche in presenza di falda
- Non sono invasive: non occorre eseguire perforazioni
- Non implicano nessun danneggiamento allo stato dei luoghi e delle cose
- Rapidità e facilità di esecuzione e di elaborazione dati
- Ingombro limitato delle attrezzature per l'esecuzione delle prove
- Mobilità: trasporto agevole della strumentazione necessaria per eseguire le prove

#### **Strumentazione**

Le prove sono state eseguite per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- Acquisitore digitale multi – canale nel caso specifico un sismografo OYO McSeis 48 ch
- Ricevitori (n. 24 geofoni da 4.5 Hz) capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale
- Sorgente sismica impulsiva costituita da mazza di 8 kg

#### **Cenni sul metodo ed operazioni di campagna**

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo **P**, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo **Rayleigh**. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda.

Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di *dispersione*, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione.

MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S (Vs)** è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

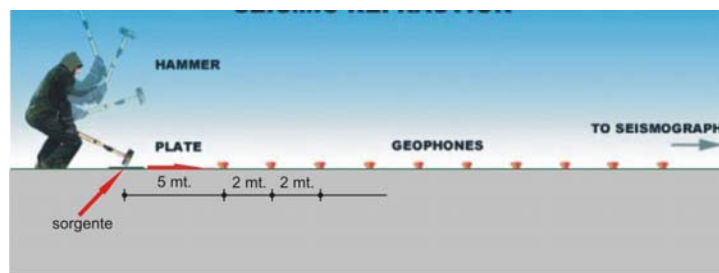
La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- \* acquisizione dei dati sperimentali;
- \* estrazione della curva di dispersione;
- \* inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che

descrive la variazione di Vs con la profondità. In questi metodi frequenza – numero d'onda (denominati anche *metodi f-k*), l'analisi dei segnali viene condotta trasformando le tracce sismiche acquisite nel dominio spazio – tempo ( $x, t$ ) nel dominio frequenza – numero d'onda ( $\omega - k$ ), mediante l'applicazione della trasformata bidimensionale di Fourier.

L'impostazione della linea sismica in sito è stata la seguente :

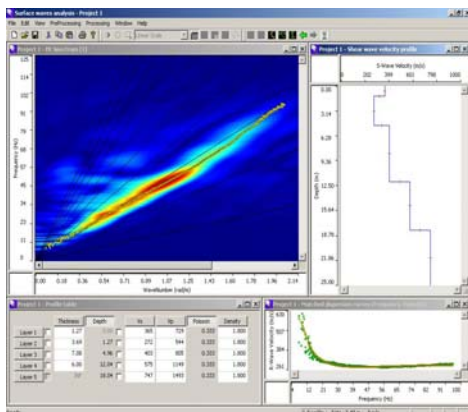
- Spaziatura inter-geofonica = 2 metri
- Distanza sorgente - primo geofono (offset) = 1 metri
- Intervallo di campionamento = 1 ms
- Durata acquisizione = 2 s
- Canali 24



L'elaborazione dei dati è stata garantita dall' utilizzo del software SWAN ( Surface wafes analysis ) prodotto dalla Geostudi Astier s.r.l. ; le principali caratteristiche di questo programma si possono così sintetizzare :

- \* Analisi di sezioni bidimensionali del terreno su dati raccolti mediante acquisizioni multiple, ottenute tramite la traslazione dell'array dei ricevitori.
- \* Interfaccia grafica studiata per rendere semplice l'uso degli strumenti disponibili, come:
  - \* L'impostazione dei parametri che definiscono il modello sintetico per l'inversione del modello del terreno in modalità interattiva.
    - \* Picking dello spettro per l'estrazione della curve di dispersione.
    - \* Editing della curva di dispersione sperimentale.
- \* Algoritmi di calcolo completi, veloci ed efficienti:
  - \* Calcolo spettro FK, FV, FX.
  - \* Molteplici finestre di windowing (boxcar, hamming, hanning, blackman,...).
  - \* Parametrizzazione del modello sintetico del terreno fino a 30 strati.
  - \* Controllo dei principali parametri dell'inversione (numero massimo delle iterazioni, tolleranza sui parametri, quantificazione del disturbo).
  - \* Esportazione delle immagini nei più comuni formati grafici.

- \* Editing della curva di dispersione sperimentale.



L'elaborazione dei dati di campagna si compone delle seguenti fasi:

- ☒ Pre-processing, per:
  - ☒ Pulizia da fenomeni di disturbo sul segnale utile, dovuto a sorgenti ambientali non controllabili.
  - ☒ Assemblaggio di array virtuali, per ovviare alla limitazione del numero di geofoni disponibili in campagna.
  - ☒ Analisi spettrale, mediante FFT, del sismogramma ottenuto, condotta mediante l'utilizzo di vari parametri matematici, che consentono di adattarsi alle esigenze

dell'utente.

- ☒ Estrazione (manuale od automatica) della curva di dispersione sperimentale, e sua visualizzazione nel dominio della frequenza o della lunghezza d'onda.
- ☒ Generazione di una curva di dispersione, basata su modello sintetico del terreno, mediante la caratterizzazione, per ciascuno strato, dello spessore dello strato stesso, della velocità delle onde S, della velocità delle onde P, della densità del terreno.
- ☒ Inversione del modello sintetico in modalità interattiva o automatica (inversione basata sulle velocità delle onde S o sugli spessori degli strati).
- ☒ A seguito della interpretazione eseguita viene fornito anche il valore della Vs30 del sito, consentendone la classificazione secondo le normative tecniche, attualmente in corso, in materia di progettazione antisismica.

L'energia immessa dalla sorgente produce ampiezze di vibrazione nel tempo alle varie distanze (sismogramma); la trasformata F- K (trasformata di Fourier bidimensionale) rappresenta l'energia in funzione di frequenza e numero d'onda ( Fig. A- spettro di potenza ).

Per ogni frequenza si cerca in numero d'onda ( $k_{max}$ ) a cui corrisponde il massimo di energia; successivamente si calcola il corrispondente valore di velocità ottenendo così una curva di dispersione (Fig.B). Nota la curva sperimentale di dispersione, il profilo di velocità delle onde di taglio è ottenuto dalla soluzione di un problema inverso appartenente alla categoria dei problemi di identificazione dei parametri ( Engl, 1993 ).

L'analisi di inversione viene compiuta utilizzando un algoritmo che simula, attraverso un opportuno modello teorico, la propagazione delle onde superficiali in un mezzo elastico stratificato.

Obiettivo dell'algoritmo di inversione è la determinazione di quel profilo incognito di velocità delle onde di taglio a cui corrisponde nella simulazione numerica una curva di dispersione teorica che approssima al meglio quella determinata sperimentalmente.

E' noto che i problemi inversi ed in modo particolare quelli non-lineari, quale è il problema inverso di Rayleigh sono matematicamente mal posti a causa della non unicità della loro soluzione.

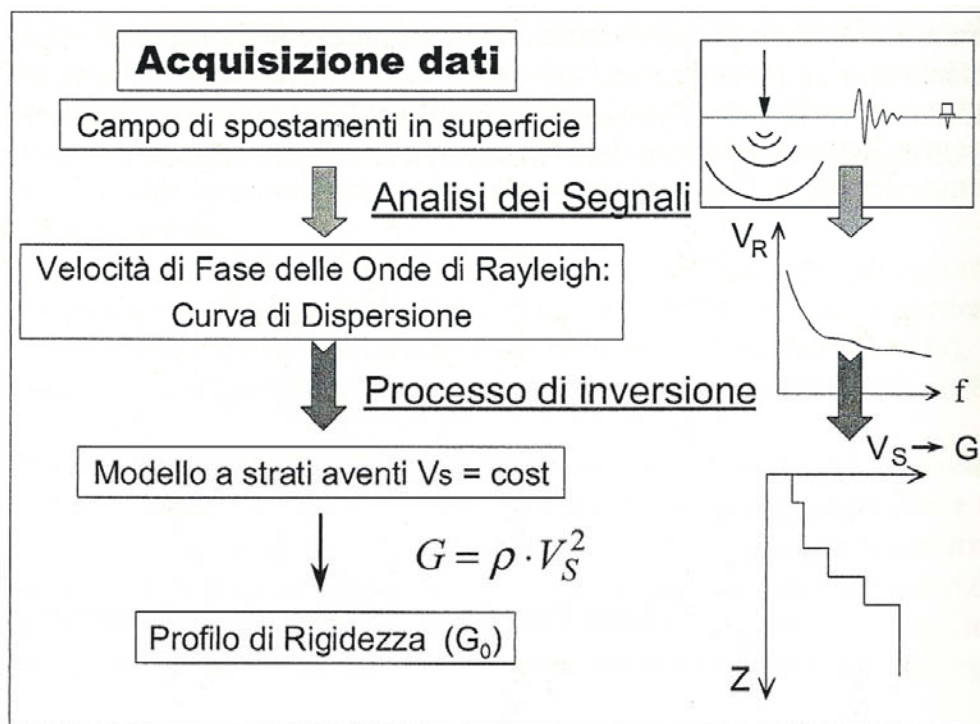


Diagramma di flusso relativo alle fasi della prova MASW

Tale problema, peraltro comune a molti problemi geofisici, implica nel caso della prova MASW che all'inversione della curva sperimentale di dispersione possono corrispondere più profili di velocità delle onde di taglio ; da qui l'importanza di avere a disposizione dati diretti relativi alla natura stratigrafica del sito di indagine al fine di procedere con una corretta correlazione.

FIG. A

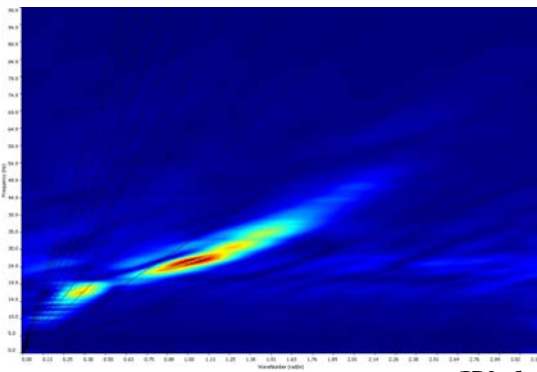


FIG. B

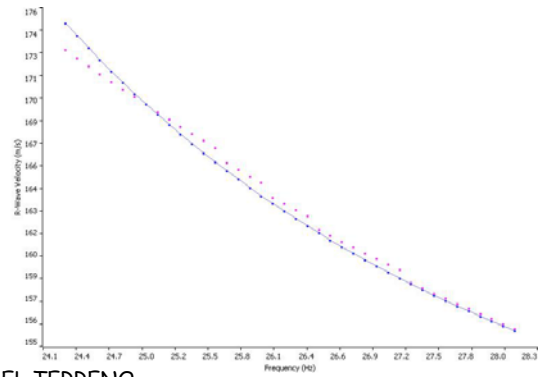
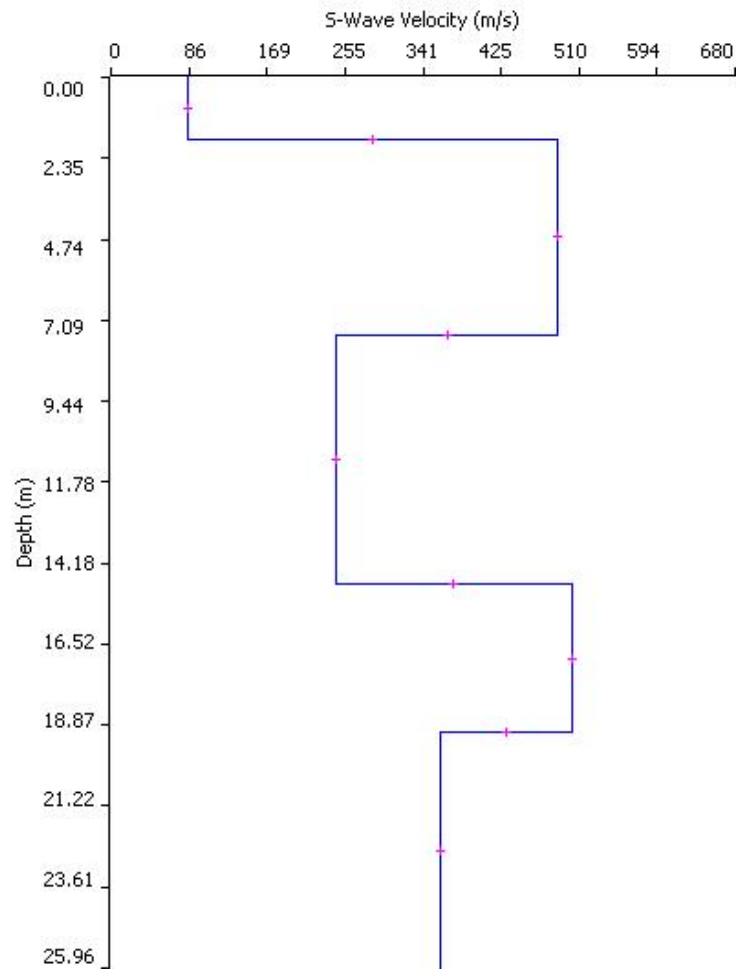


FIG. C - MODELLO DEL TERRENO



	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	1.81	0.00	84	341	0.468	1.700
Layer 2	5.70	1.81	487	812	0.219	1.800
Layer 3	7.26	7.51	245	1749	0.490	1.800
Layer 4	4.34	14.77	502	979	0.322	1.800
Layer 5	INF	19.10	359	1215	0.452	1.900

## 5. CALCOLO DELLE “ $V_{s30}$ ” ( velocità di taglio nell’ambito dei primi trenta metri di sottosuolo )

L’applicazione del software SWAN consente di calcolare attraverso la determinazione della “Dispersion Curve” , il valore delle velocità di taglio (  $V_s$  ) nell’ambito dei primi 30 o più metri investigati.

Sulla base di quanto sopra esposto, si è provveduto al calcolo delle  $V_{s30}$  mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove :

$h_i$  = spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

$V_i$  = velocità delle onde di taglio ( per deformazioni di taglio  $g < 10^{-6}$  ) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

N = numero strati nell’ambito dei primi 30 metri di sottosuolo

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene un valore di  $V_{s30}$  pari a

$$V_{s30m} = 295 \text{ m/sec} \quad \Rightarrow \quad \text{CLASSE C}$$

Il D.M. 14 gennaio 2008 aggiorna la normativa sismica in vigore, con l’attribuzione alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell’accelerazione al suolo. Inoltre tale D.M. propone l’adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque categorie principali ( dalla A alla E ), a cui ne sono aggiunte altre 2 (  $S_1$  e  $S_2$  per le quali sono richiesti studi speciali per definire l’azione sismica da considerare), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (  $V_{s30}$  ).

Le classi di cui sopra sono definite da parametri indicati nel EC8 ( euro codice 8 ) e più specificatamente : velocità delle onde S, numero dei colpi della prova SPT, coesione non drenata.

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di  $VS_{30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $VS_{30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $VS_{30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $VS_{30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT_{30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).

E – Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < cuS30 < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 – Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.



PROGEA CONSULTING S.r.l.  
Il legale rappresentante  
Dr. Ceresoli G.



ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA  
Dr. Geologo  
CRISTINA IARABEK  
n. 962