



DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto Dr. Andrea Gritti e Dr. Fabio Plebani iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Lombardia incaricato in data 07/02/2019 da Società Parco Ovest per conto di Società Parco Ovest di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento PII "Parco Ovest" Variante 1

da eseguire in Comune di Bergamo Località Via Valmarina indirizzo Via Valmarina n° sn CAP 24100 Comune Catastale Bergamo Foglio n. 92 Mappale o Particella 2436

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- checkbox D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
checkbox D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
checkbox D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. **SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1**

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti | <input type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica | <input checked="" type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica | |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input type="checkbox"/> Nessuno scenario | |

1.1 **VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2**

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
- Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. **CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1**

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 **TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR2616/2011 p.to 3.2**

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di Bergamo.....

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011 conformemente alle linee guida disponibili:

- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo Sondaggi geognostici, prove penetrometriche, indagini geofisiche.....

-
.....
- indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo
-
.....

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

A B C D E

mediante la seguente tipologia d'indagine Sismica a rifrazione.....
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

T1 T2 T3 T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione;
- verifica di stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia
-

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
- non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente

- sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Luogo Bergamo, Data 07/02/2019

IL GEOLOGO

Dr. Andrea Gritti Dr. Fabio Plebani

(timbro e firma)

Hattusas s.r.l.

consulenze e servizi nel vasto campo della geologia e dell'ambiente – rilevazioni gas radon e inquinamento indoor



sede legale: Via Roma, 37 – 24060 – Castelli Calepio (BG)
sede operativa: Via Vespucci, 47 – 24050 – Grassobbio (BG)
tel. 035 4425112
E-mail: info@hattusas.it
PEC: info@pec.hattusas.it
WEB: www.hattusas.it



Committente

Società Parco Ovest S.r.l.



REALIZZAZIONE PROGRAMMA D'INTERVENTO DENOMINATO PARCO

OVEST

Relazione geologica (R3) D.g.r. 2616/2011 e (R1) ai Sensi del D.M. 17/01/2018

COMUNE DI BERGAMO

(Provincia di Bergamo)

Grassobbio (BG), 06 febbraio 2019

Dr. Geol. Andrea Gritti

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461

Dr. Geol. Fabio Plebani

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 884

PROGRAMMA INTEGRATO D'INTERVENTO PARCO OVEST

Relazione geologica e sismica

Comune di Bergamo (BG)

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	<i>Informazioni preliminari</i>	5
1.2	<i>Ubicazione dell'area di studio</i>	7
1.3	<i>Sintesi degli elementi di progetto</i>	8
1.4	<i>Normativa</i>	10
2	QUADRO DOCUMENTALE DI RIFERIMENTO	12
2.1	<i>Inquadramento geografico-ambientale</i>	12
2.2	<i>Quadro vincolistico di riferimento</i>	13
2.3	<i>Inquadramento geomorfologico</i>	17
2.4	<i>Inquadramento geologico</i>	18
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	20
4	MODELLAZIONE GEOLOGICA	22
5	ANALISI SISMICA	28
5.1	<i>Zona sismica</i>	28
5.2	<i>Valutazione del rischio sismico</i>	29
5.2.1	Classificazione del sito	29
5.2.2	Parametri sismici del sito	30
5.3	<i>Risposta sismica e stabilità del sito</i>	31
5.3.1	Amplificazione stratigrafica	31
5.3.2	Amplificazione topografica	32
5.4	<i>Analisi della pericolosità sismica locale di 1° livello</i>	33
5.5	<i>Analisi della pericolosità sismica locale di 2° livello di normativa</i>	35
5.6	<i>Applicazione del 3° livello di normativa - Scelta della Categoria di Suolo di fondazione</i>	38
5.7	<i>Stabilità nei confronti della liquefazione</i>	39
6	INDICAZIONI TECNICHE	41
6.1	<i>Sbancamenti</i>	41

6.2	<i>Interferenze tra strutture e falda</i>	42
7	MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI	43
8	CONCLUSIONI	44

ALLEGATI

- Allegato fotografico
- Stratigrafia sondaggi
- Elaborati prove
- Allegato fotografico
- Ubicazione indagini
- Relazione geofisica
- Relazione Sismica
- Sezione Geologica

• Documento di controllo e di sintesi

Lavoro:	\\hazannu\archivio\in_corso_2018\BERGAMO_139_1218_Hat_139_r revisione relazione geologica_Bergamo_Parco_Ovest_RELAZIONI\BERGAMO_139_121 8_Relazione_geologica_revisione_Parco_Ovest.docx
Stato:	Copia di lavoro
Responsabile di progetto:	Ing. Stefano Cortinovis
Responsabile interno	Andrea Gritti
Titolo:	Programma d'intervento Parco Ovest, relazione geologica e sismica
Autore/i e coordinatori documento:	Andrea Gritti
Cliente:	Parco Ovest S.r.l.
Contatto clienti:	Ing. Stefano Cortinovis
Data di emissione:	07/02/2019
No. di copie:	1 PDF
Numero pagine:	48
Ultima stampa:	12/10/2016 11:43:00
Ultimo salvataggio:	Andrea Gritti
Trasmissione:	Email
Ulteriori informazioni:	Copia di lavoro

•

Relazione di sintesi	
Parole chiave	Parco Ovest, relazione geologica
Riassunto	

•

Garanzia di qualità					
Autore	Revisione tecnica	Edito	Versione documento	Approvato per emissione	
				Date	Firma
Andrea G.	Fabio P.		WC02	06/02/19	

1 PREMESSA

1.1 Informazioni preliminari

A supporto del progetto di riqualificazione e riuso della Zona denominata “Parco Ovest” a Bergamo, in prossimità di Via San Bernardino- Via Valmarina, su incarico della committenza, è stata redatta la presente relazione aggiornata alle correnti normative in materia, che considera le indagini eseguite in momenti diversi nel 2009, per la verifica delle condizioni geologiche dei terreni compresi nell'area di studio.

L'obiettivo del presente documento è l'inquadramento geologico, sismico ed idrogeologico di base del territorio, propedeutico alla progettazione esecutiva dell'opera, nonché il rilevamento delle eventuali interferenze che le opere in progetto possono avere con l'assetto idrogeologico dell'area.

Il presente documento verrà redatto in conformità alle norme nazionali e regionali vigenti come dettagliato qui di seguito:

- D.G.R. 2616/2011 (R3) allo scopo di verificare la fattibilità dell'intervento proposto in progetto (sviluppando le indagini geognostiche) in riferimento a quanto richiesto dalle norme attuative di P.G.T. per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica che il redattore del P.G.T. ha individuato per l'area in cui ricade l'intervento;
- D.M. 17/01/2018 (R1) allo scopo di fornire, ai progettisti incaricati, di redigere il modello geologico, attraverso l'interpretazione dei risultati delle indagini geognostiche, a tutto il volume significativo coinvolto dall'intervento in progetto e allo scopo di approfondire eventuali ulteriori criticità geologiche, che il geologo dovesse aver riscontrato in sito oltre a quelle segnalate nella documentazione di riferimento del P.G.T.

In fase preliminare verranno analizzate le diverse componenti geologiche ed idrogeologiche riferite all'intero territorio comunale (verrà quindi considerata un'area piuttosto vasta); in un

secondo momento, invece, l'attenzione sarà focalizzata sulle parti di territorio direttamente interessate dalle opere in progetto.

Si ricorda che le indicazioni tecniche di carattere strutturale elencate nei paragrafi successivi sono dei suggerimenti realizzativi con valenza puramente indicativa che possono essere confermati o variati dall'Ingegnere Strutturista, al quale, così come avviene per il dimensionamento e la scelta della tipologia fondazionale, spetta il giudizio finale di validità.

1.2 Ubicazione dell'area di studio

L'area oggetto dell'intervento è situata sul territorio del comune di Bergamo.

L'area oggetto di indagine è ubicata ad una quota di circa 235 m s.l.m., caratterizzata da una morfologia pianeggiante ed è collocata in un contesto densamente urbanizzato e attualmente compresa tra diversi edifici esistenti.

Il progetto architettonico, redatto dallo studio Domus Ing. & Arch., prevede il recupero dell'area Ex Gres e di parte dei campi circostanti, e la realizzazione di una serie di edifici tra cui un asilo privato e una serie di fabbricati ad uso residenziale.

L'esatta ubicazione dell'opera è visibile nelle figure seguenti.

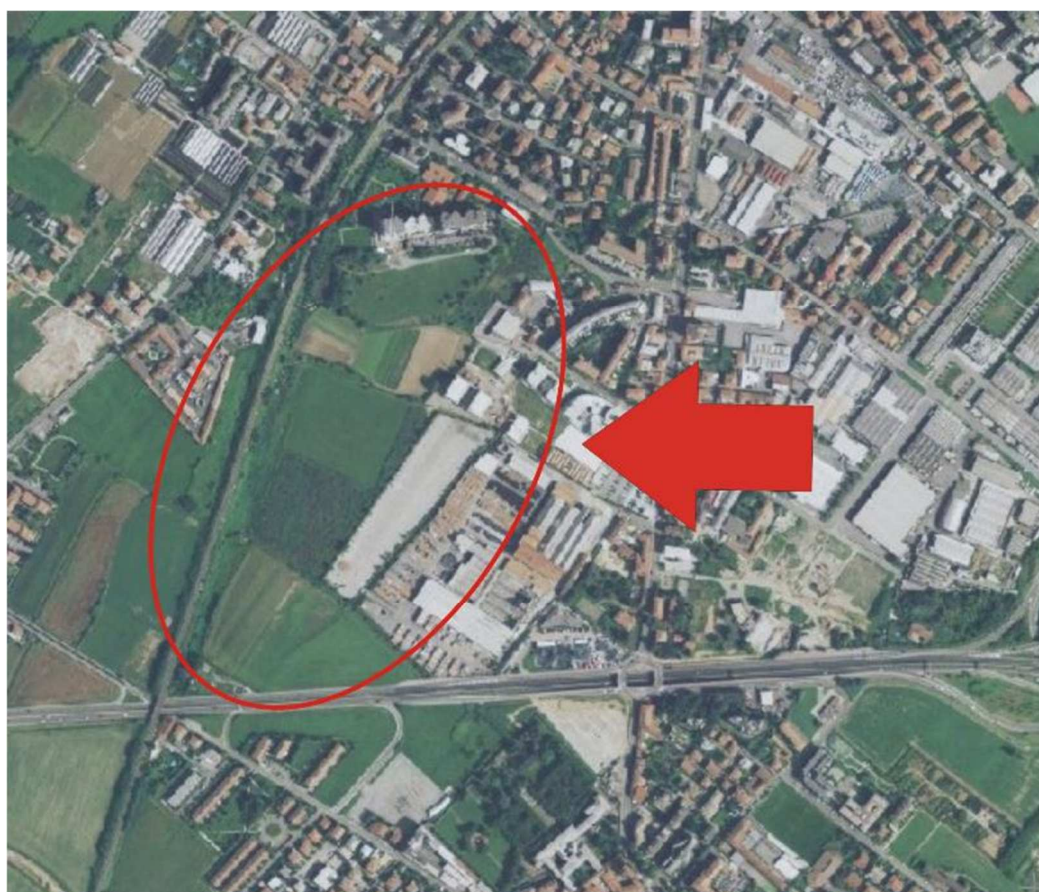


Figura 1 - In rosso l'ubicazione dell'area oggetto di studio su ortofoto (fonte Geoportale RL).

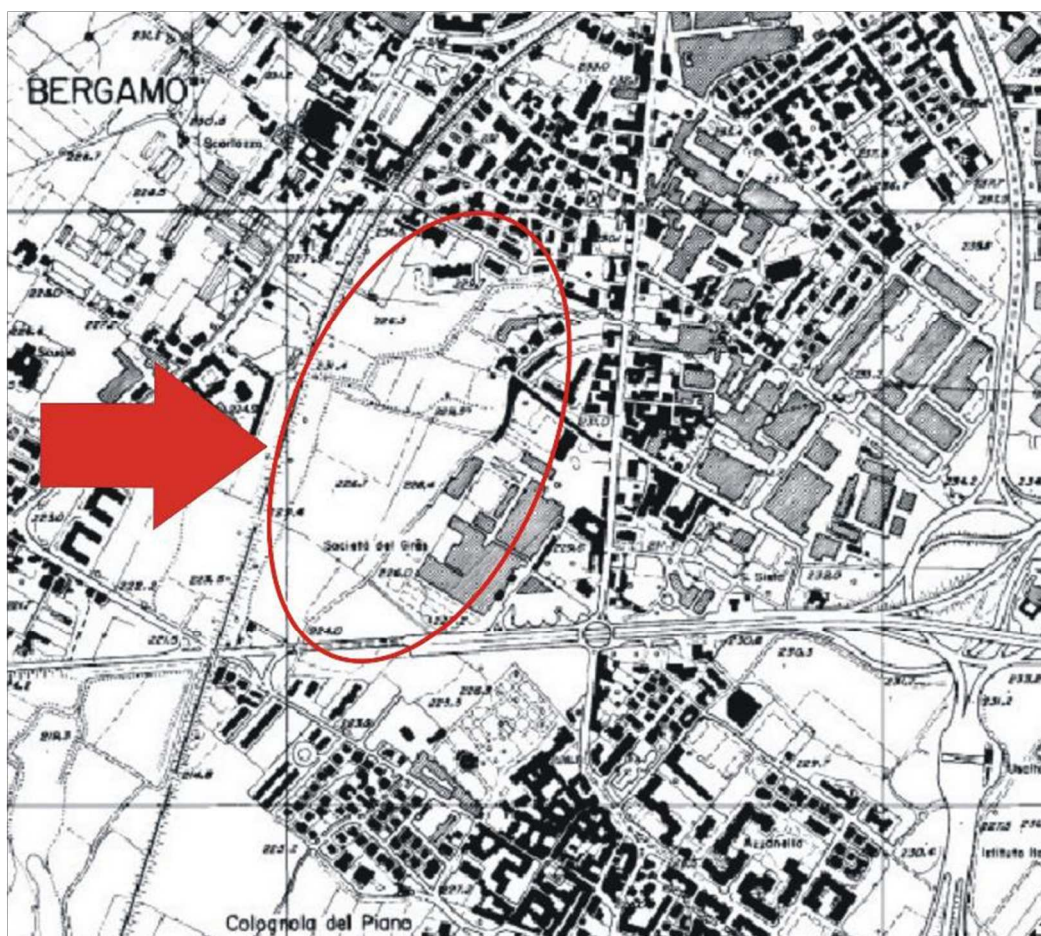


Figura 2 – Ubicazione dell'area di intervento su C.T.R..

1.3 Sintesi degli elementi di progetto

Il progetto, proposto dalla committenza Società Parco Ovest S.r.l., prevede la realizzazione di una serie di fabbricati ad uso residenziale suddivisi in blocchi funzionali (A, B, C, D, E), inseriti nel contesto più ampio dell'area denominata Parco Ovest, gestita per lo più come verde pubblico, contestualmente si prevede la realizzazione di una struttura a se stante, da adibire ad asilo privato.



Figura 3- Estratto tavola di progetto.



Figura 4- Estratto tavola di progetto 3 con individuazione Schema Superfici.

1.4 Normativa

Il presente elaborato si rende necessario in accordo alle seguenti normative.

- **L.r. 33/2015** “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”.
- **D.g.r. N° X/5001** “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica”.
- **D.g.r. N° IX/ 2616** “Aggiornamento criteri e indirizzi per la definizione della componente sismica del P.G.T.”.
- **Decreto Ministeriale 17.01.2018.** Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (18A00716) (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 – Suppl. Ordinario n. 8).
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.** Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- **Eurocodice 8 (1998).** Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).
- **Eurocodice 7.1 (1997).** Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI. Eurocodice 7.2 (2002). Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI.
- **Eurocodice 7.3 (2002).** Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002) – UNI.
- **L.R. 11 marzo 2005 n. 12.** E rispettivi criteri attuativi definiti con D.G.R. 22/12/05, n. 8/1566 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica,

idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12" e s.m.i.

- **Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico.**
- **Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale.**

2 QUADRO DOCUMENTALE DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento geografico-ambientale

L'area oggetto delle indagini è collocata in una zona morfologicamente pianeggiante in un contesto di margine: limitato ad Ovest dalla ferrovia Bergamo - Milano, a Sud dall'asse interurbano e ad est dalle nuove aree urbanizzate di Via San Bernardino.

Elemento morfologico caratterizzante è il paleoalveo del Torrente Morla, di cui sopravvive un tratto residuale più o meno antropizzato e di forma depressa rispetto alle quote circostanti. Per il resto si tratta di forme pianeggianti attualmente governate a prato e in parte a bosco.

In generale il substrato in posto è costituito da livelli di limi e argille con sabbie in cui, negli strati più profondi, si trova la presenza di ghiaie.

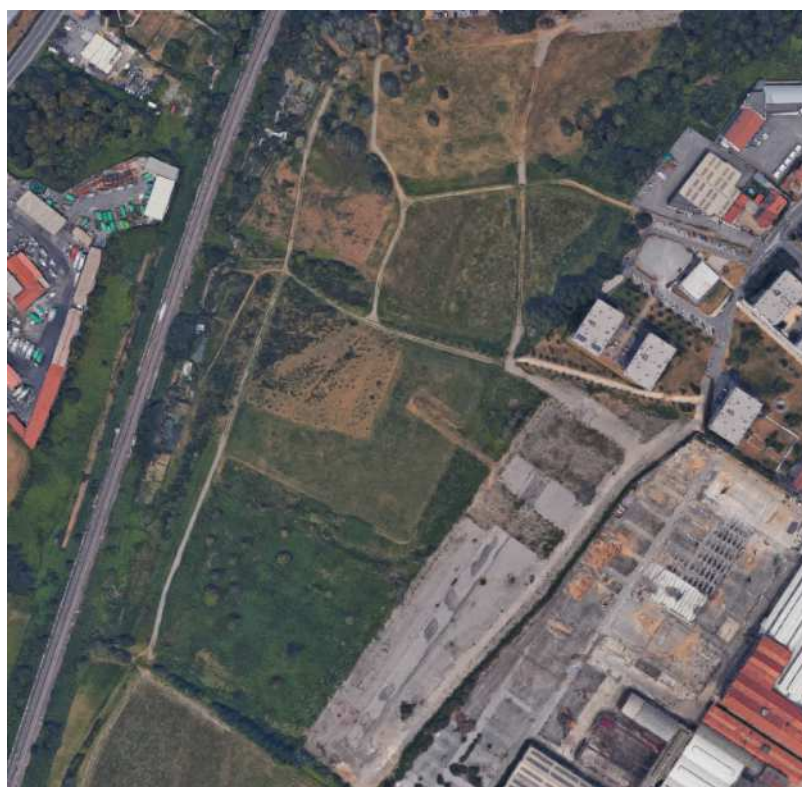


Figura 5 - Ubicazione area di indagine (fonte Google Earth).

2.2 Quadro vincolistico di riferimento

Dalla disamina degli strumenti normativi di riferimento e di pianificazione territoriale è emerso che l'area di intervento:

- secondo la Carta del Vincolo Idrogeologico (ex R.D. n. 3267 del 1923, ex L.r. n. 8/76, ex L.r. n. 27/04; L.r. n. 12/05; L.r. n. 31/08) pubblicata sul sito della Provincia di Bergamo (fonte Siter della Provincia di Bergamo), non ricade in tale vincolo.

- Secondo la Carta dei vincoli geologici allegata al P.G.T. del comune di Bergamo non ricade in alcun vincolo di tipo geologico o idraulico.

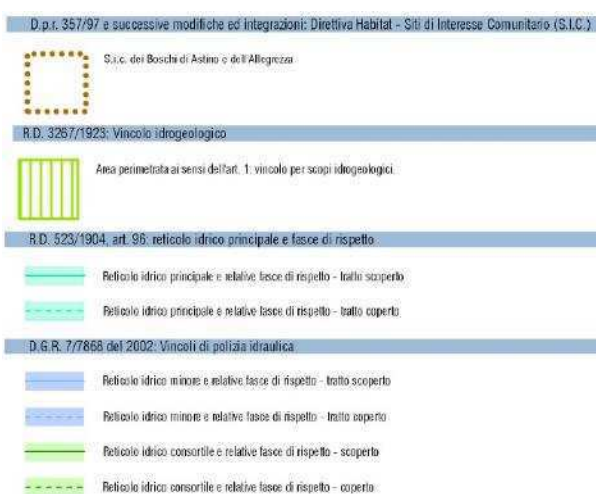
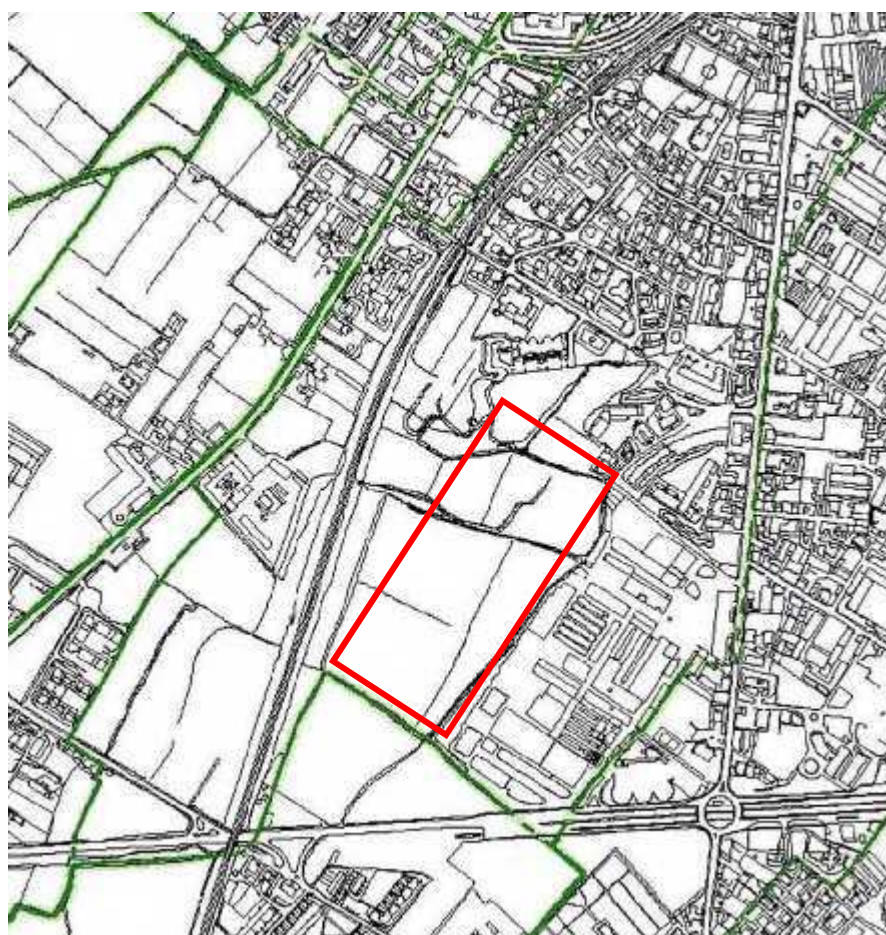
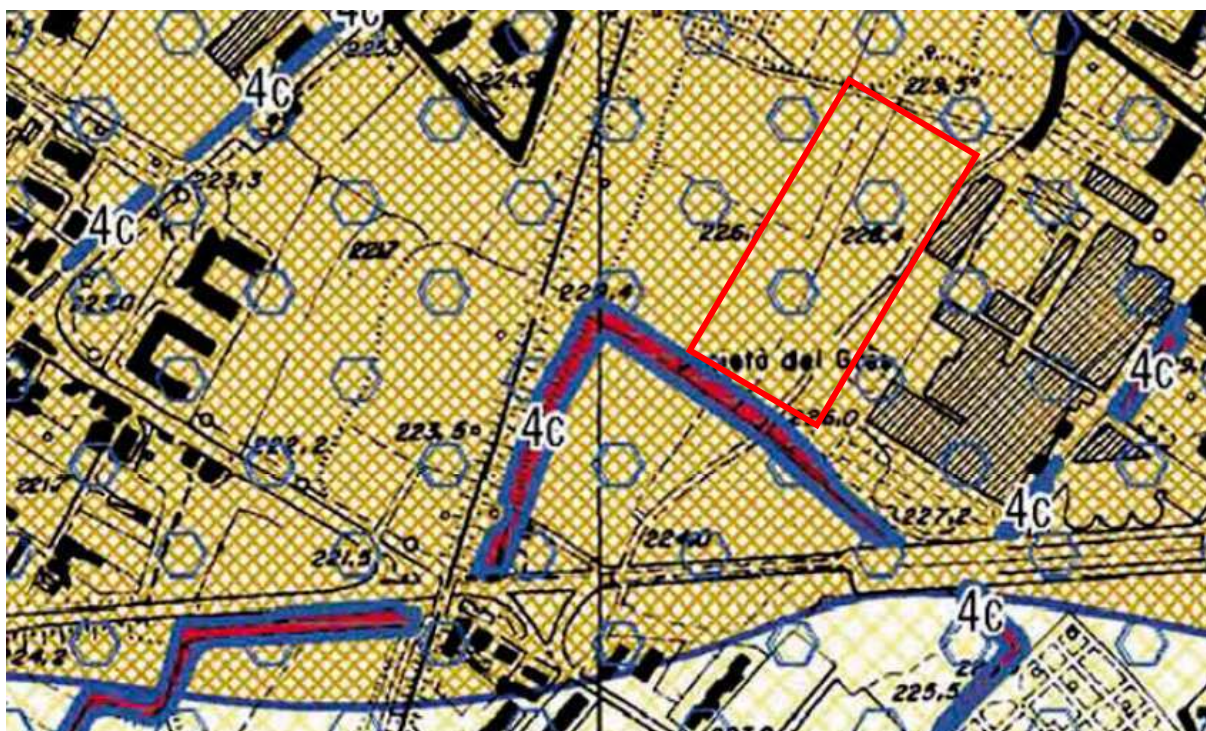


Figura 6 – Stralcio della carta dei vincoli del P.G.T. comunale; in rosso l'area di studio.

- Secondo la Carta di fattibilità geologica del P.G.T. comunale, ricade in una Classe di fattibilità 3b, ovvero un'area caratterizzata da consistenti limitazioni d'uso connesse alle caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo ed all'acclività dei pendii.



2a - Area con modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono da accertare le proprietà geomeccaniche ed idrogeologiche del sottosuolo.



Z1 L2-3 - aree soggette ad amplificazione litologica in cui è necessario valutare puntualmente, in fase di progetto, il fattore di amplificazione tipico del sito in esame. Nel caso in cui tale valore fosse superiore ai limiti di soglia propri per il tipo di suolo si dovrà applicare il 3° livello di approfondimento sismico.

Figura 7 - Stralcio della Carta di fattibilità geologica (P.G.T. del comune di Bergamo). In rosso indica l'area di studio.

Relativamente agli altri vincoli ambientali, con riferimento alla carta dei vincoli ai sensi del D. Lgs. 42/04 (fonte Siter Provincia di Bergamo) e allo strumento Sistema Informativo dei Beni e Ambiti paesaggistici (fonte Geoportale Regione Lombardia), l'area esaminata:

- non ricade in biotopo o geotopo d'interesse Regionale o Nazionale;
- ricade nel limite del Parco Regionale dei Colli di Bergamo (L.r. 86/83, art. 1, lett. b);
- non ricade nel limite delle Riserve naturali (L.r. 86/83, art. 1, lett. c);
- non ricade in aree con Monumenti naturali (L.r. 86/83, art. 1, lett. d);
- non ricade in aree di rilevanza naturale e ambientale (L.r. 86/83, art. 1, lett. e);
- non ricade nelle Aree di elevata naturalità di cui all'art. 17 del P.T.P.R.;
- non ricade in ambito S.I.C. o Z.P.S.;
- ricade nella Rete Ecologica Regionale – Elementi di primo livello
- ricade nelle aree di notevole interesse pubblico – Zona della Valle dell'Astino.

La seguente disamina vincolistica è stata realizzata utilizzando la cartografia reperibile sui portali messi a disposizione, non sostituisce la documentazione ufficiale di riferimento sviluppata dagli enti preposti, ai quali il progettista deve far riferimento.

2.3 Inquadramento geomorfologico

Il contesto territoriale e paesaggistico è tipicamente pianeggiante e caratterizzato dall'ampia presenza di aree agricole residuali, ai margini di cui si colloca una trama edilizia impostata prevalentemente su fabbricati di carattere residenziale e in parte industriale, anche di carattere storico.

L'area si incunea entro i limiti occidentali costituiti dalla massicciata ferroviaria; orientali, rappresentati dall'area post-industriale dell'Ex- Gres, di cui alcuni edifici nel tempo sono stati in parte recuperati ad un uso funzionale.

Nel settore meridionale, il limite è rappresentato dall'asse viario interurbano.

Unico elemento morfologico di spicco è rappresentato dal paleoalveo del Torrente Morla, ancora ben rappresentato nel tratto sud occidentale dell'area.

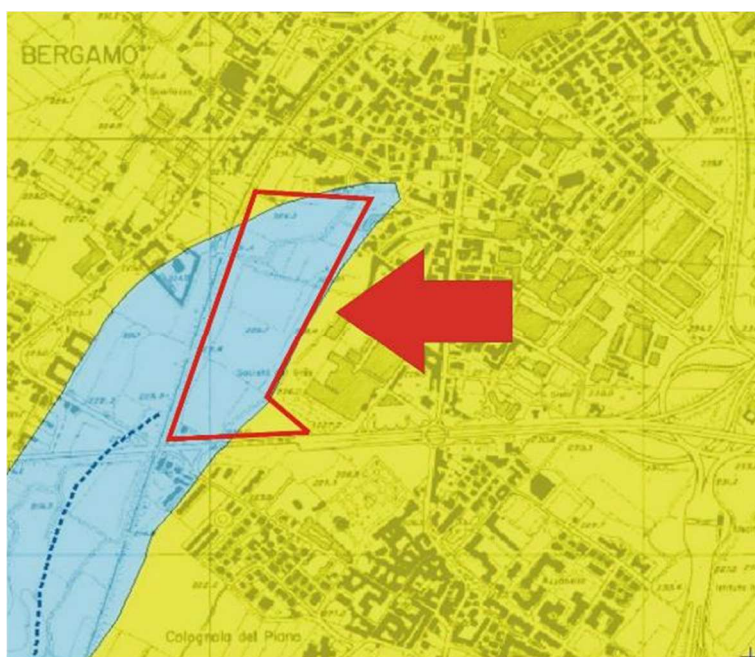


Figura 8- Carta Geomorfologico Provincia di Bergamo.

2.4 Inquadramento geologico

La Carta Geologica allegata relativa allo studio geologico redatto dalla Provincia di Bergamo, di cui si riporta in allegato lo stralcio per un inquadramento generale, assegna i terreni in oggetto all'area di affioramento alla formazione del “**Complesso di Ponte della Selva**” caratterizzato da Diamicton massivo a supporto di matrice limosa con morfologie discretamente conservate. Ghiaie stratificate a supporto clastico o di matrice sabbiosa con ciottoli arrotondati, con intercalate sabbie laminate; depositi terrazzati: depositi fluvioglaciali. Abbondanti clasti del basamento e della serie permotriassica seriana. Superficie limite superiore caratterizzata da suoli di spessore > 3,5 m.

La carta litologica della Provincia di Bergamo, individua nell'area in esame la presenza di ghiaie e ghiaie con sabbia alternati a livelli costituiti da limi e limi con sabbia. Le caratteristiche dell'area sono infatti rese complicate della presenza del paleoalveo del Torrente Morla, così come evidenziato dalla carta geomorfologica della Provincia di Bergamo.

I risultati delle indagini evidenziano una successione piuttosto varia con la presenza di alcuni metri di materiali costituiti da argille e limi, limi debolmente sabbiosi con ghiaie in matrice e ghiaie cementate intorno ai 6 metri di profondità, mentre nei livelli più profondi si sono rilevate argille rossastre, con presenza locale di ghiaie, di spessori anche importanti.



Figura 9- Estratti carta geologica Provincia di Bergamo e Carta Geologica (Siter Provincia di Bergamo).

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geologica delle aree, oltre ad utilizzare i dati contenuti nel P.G.T. e le conoscenze territoriali degli scriventi, sono state eseguite le seguenti indagini: n. 15 prove penetrometriche dinamiche pesanti, con l'utilizzo di una sonda tipo DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), n. 4 sondaggi geognostici con recupero di carota spinti fino a 20 metri di profondità, n. 1 stendimento di tomografia elettrica, n. 1 stendimento di sismica a rifrazione e n. 1 Down-hole in foro di sondaggio.



Figura 10 – Penetrometro modello Compac DPSH.

Le prove penetrometriche, codificate con codice progressivo da P-1 a P-15, hanno raggiunto il valore di rifiuto a profondità diverse rispetto al piano campagna, fino a 10 metri di profondità.

L'ubicazione delle indagini geognostiche realizzate è visibile nello schema allegato.

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica delle aree oggetto di indagine, sono state realizzate anche delle indagini geofisiche, le quali hanno permesso l'inversione ed interpretazione sequenziale e correlata, secondo la tecnica seguente:

- acquisizione ed analisi Vs, mediante sismica a rifrazione e down-hole in foro di sondaggio sottosuolo ai sensi della vigente normativa, NTC 2018, e determinare l'eventuale comportamento amplificativo del terreno.

UBICAZIONE INDAGINI



LEGENDA

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| Sondaggio geognostico | Down-hole in foro di sondaggio |
| Prova penetrometrica | Profilo tomografia elettrica |
| Profilo sismica | |

Figura 11 - Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

4 MODELLAZIONE GEOLOGICA

L'interpretazione e l'elaborazione dei dati forniti dalle indagini geognostiche eseguite, oltre alle conoscenze relative a lavori eseguiti dagli scriventi nella medesima, hanno consentito di rappresentare, da un punto di vista geologico-tecnico, l'area di progetto come descritto qui nel seguito.

Le prove penetrometriche dinamiche hanno riscontrato il rifiuto o, meglio, hanno opposto la massima resistenza all'avanzamento della punta alle seguenti profondità:

Prova	Profondità Prova [m]
P1	10,0
P2	10,0
P3	8,8
P4	8,6
P5	5,4
P6	8,4
P7	7,0
P8	8,6
P9	9,0
P10	3,4
P11	2,8
P12	7,4
P13	9,0
P14	5,4
P15	9,0

Di seguito l'interpretazione delle prove penetrometriche ritenute significative, rispettivamente la Prova P1 (riferimento per il settore Nord) e Prova P5 (riferimento per il settore sud).

Prova P1 (settore nord)

Argilla	
N° colpi medi	5
angolo d'attrito	-
Gamma	1,64 t/m ³
Mod. Edom. inc.	-

Ghiaia in matrice limo-argillosa	
N° colpi medi	12
angolo d'attrito	28°
Gamma	1,82 t/m ³
Mod. Edom. inc.	85

Prova P5 (settore sud)

Argilla	
N° colpi medi	6
angolo d'attrito	-
Gamma	1,8 t/m ³
Mod. Edom. inc.	-

Ghiaia in matrice limo-argillosa	
N° colpi medi	15
angolo d'attrito	30°
Gamma	1,94 t/m ³
Mod. Edom. inc.	107

Durante l'esecuzione dei sondaggi, di cui si allegano le stratigrafie dettagliate, sono state eseguite, a diversi livelli di profondità, le prove SPT in foro, che hanno consentito di valutare le caratteristiche litotecniche dei terreni attraversati durante la prova e di ricostruire la stratigrafia locale.

La prova SPT consente di ricavare valori quantitativi sulla resistenza del terreno. Essa consiste nel far cadere, con un ritmo di 20-25 colpi al minuto, una massa battente di 63,5 Kg da un'altezza di 76,2 mm (standard europeo) su una batteria di aste che presentano sulla parte terminale un campionatore cilindrico.

Viene così registrato il numero di colpi necessari ad ottenere una penetrazione del tubo campionatore nel terreno di 30 cm; tale valore rappresenta la resistenza a penetrazione.

Nel nostro caso specifico, avendo a che fare con terreni di natura essenzialmente limosa, al posto del campionatore è stata sostituita una punta conica chiusa di 60 ° con diametro esterno di 51 mm.

S 1	SPT
3 mt.	5 – 5 – 9
6 mt.	2-1-1
9 mt.	17 – 19 – 23
12 mt.	3 – 9 – 10
15 mt.	9 – 10 – 14
18 mt.	13 – 15 – 14

S 2	SPT
3 mt.	6 – 16 – 7
6 mt.	1 – 3 – 4
9 mt.	1 – 0 – 0

S 2	SPT
12 mt.	9 – 10 – 15
15 mt.	10 – 13 – 16

S 3	SPT
3 mt.	9 – 8 – 7
6 mt.	12 – 22 – 36
9 mt.	40 – R
13,5 mt.	7 – 9 – 13
15 mt.	10 – 12 - 9

S 4	SPT
3 mt.	2 – 2 – 4
6 mt.	3 – 5 – 6
9 mt.	8 – 13 – 16
12 mt.	10 – 12 – 12
15 mt.	7 – 1 - 4

Le prove SPT effettuate evidenziano un aumento dei valori in corrispondenza dei livelli di ghiaie e di ghiaie in matrice limo-sabbiosa, evidenziando caratteristiche geotecniche del substrato idonee per le opere in progetto, tuttavia la presenza di interstrati argillosi risulta essere in alcuni settori anche molto potente.

I dati geotecnici opportunamente elaborati hanno permesso di ricostruire una stratigrafia tecnica, suddivisa in 4 unità fondamentali, contraddistinte da lettere progressive (**A**, **B**, **C**, **D**) e caratterizzate da proprietà geotecniche sostanzialmente differenti.

- L'orizzonte **A** rinvenuto nei sondaggi n. 1-2-3 è costituito da materiale di riporto che costituiva l'area deposito della Ex Gres. Lo strato è costituito da terreno granulare vario frammisto a ciottoli grossolani. Esso presenta una profondità variabile e compresa fra 0,8 e 1 metro dal p.c.
- L'orizzonte **B** rinvenuto in tutti i sondaggi è collocato ad una profondità compresa fra il piano campagna (S4) e i 7,6 metri dal p.c. (S1). Esso è caratterizzato prevalentemente da argille plastiche con colorazione prevalentemente rossastra che si alternano a sottili strati leggermente più ghiaiosi.
- L'orizzonte **C**, rilevato nei Sondaggi 1, 2 e 3 ad una profondità compresa fra 5 e 13 metri dal p.c.. Si tratta di ghiaie e ciottoli a spigoli vivi con matrice limoso argillosa, è stata rilevata la presenza di numerosi trovanti. I terreni risultano dotati di buone proprietà geotecniche. Tuttavia l'orizzonte può in alcuni settori essere interrotto da livelli argillosi. Tale orizzonte non è stato riscontrato in corrispondenza del sondaggio S4. Tale orizzonte è inoltre presente a quote maggiori in corrispondenza dei sondaggi n. 1 e 2, ad una quota prossima ai 19 metri dal p.c..
- L'orizzonte **D** è presente in tutti i sondaggi effettuati ed è caratterizzato dalla presenza di argille rossastre. È ubicato ad una quota compresa fra gli 11 e 19 metri dal p.c..

Risulta a carico del progettista l'accertamento delle reali condizioni geotecniche specificate nella presente relazione; qualora si riscontrassero difformità si dovrà immediatamente avvisare lo scrivente e provvedere alle necessarie integrazioni dell'indagine.

L'indagine geofisica realizzata ha fornito un valore di $V_{s,eq}$ di 410 - 430 m/s (Categoria di sottosuolo B) per cui i terreni oggetto di intervento sono classificabili, secondo le N.T.C. 2018, **come categoria di sottosuolo B**, definiti come *Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

Di seguito sono riportati i principali grafici risultati dall'indagine sismica a rifrazione in V_s , realizzata e il profilo di propagazione delle onde di taglio V_s con la profondità, calcolato per via indiretta, attraverso il quale è stato possibile definire la categoria di sottosuolo secondo le N.T.C. (2018).

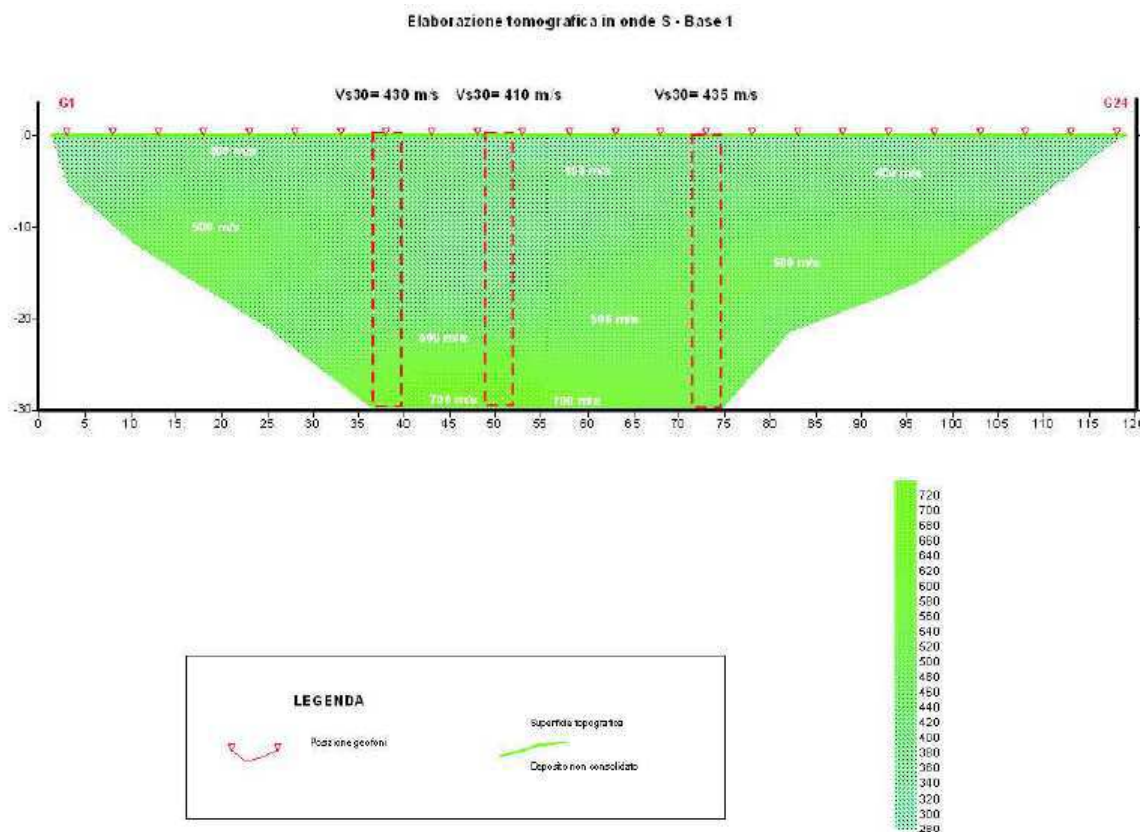


Figura 12- Indagini simiche attiva in V_s – Profilo di propagazione delle onde di taglio V_s con la profondità. In verde il valore V_{s30} ottenuto per il sito oggetto di studio misurato a quota p.c.

5 ANALISI SISMICA

5.1 Zona sismica

A partire dal 2003 sono stati emanati i criteri della nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Il territorio italiano è stato diviso in 4 zone a pericolosità sismica decrescente.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _g /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Zone sismiche e relativi valori di accelerazione (O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006).

Il comune di Bergamo ricade nella zona sismica 3 (Bassa sismicità) a cui corrisponde una accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore di 0,15 (a_g/g), che si traduce in una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15 (a_g/g) riferita a suoli molto rigidi.

5.2 Valutazione del rischio sismico

5.2.1 Classificazione del sito

Per quanto riguarda la classificazione di base del sito, il Decreto Ministeriale 17.01.2018, riprendendo quanto definito dall' Euro codice 8, distingue 5 classi, facendo riferimento sia alla velocità delle onde S nel substrato sia allo spessore dello stesso.

Ad ogni classe è associato uno spettro di risposta elastico.

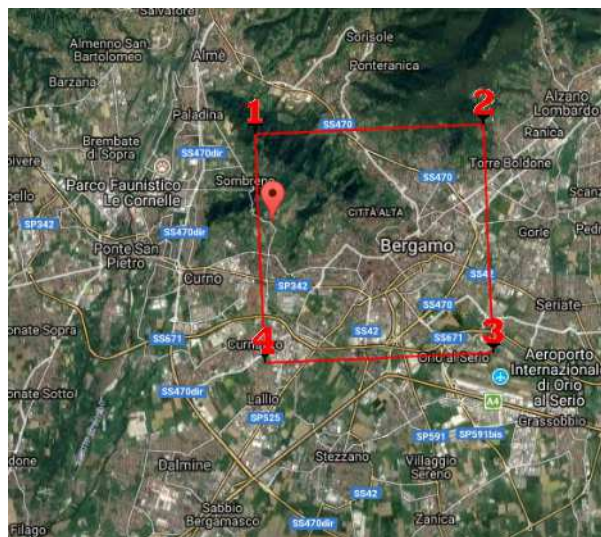
Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è riportato alla pagina seguente.

Sulla base delle informazioni bibliografiche raccolte, le risultanze delle indagini geofisiche realizzate nel P.G.T. per gli studi di sismica locale, confermate dallo stendimento di sismica attiva in VS realizzato nell'area di progetto, la categoria sottosuolo assegnata per l'area di progetto, considerando il valore di V_{S30} misurato a p.c., risulta essere la **categoria di sottosuolo B**, definita come *Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Definizione delle categorie di sottosuolo secondo le NTC (2018).

5.2.2 Parametri sismici del sito



In accordo con il D.M. 17/01/2018 vengono assegnati i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e TC^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sulla base delle coordinate geografiche dell'area di intervento e in funzione della vita nominale dell'opera.

Tali valori si rendono necessari per la determinazione delle azioni sismiche puntualmente per ogni sito considerato.

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0,037	2,425	0,208
Danno (SLD)	50	0,050	2,375	0,231
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,134	2,449	0,272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,172	2,487	0,281
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,009	0,012	0,039	0,050
kv	0,004	0,006	0,019	0,025
Amax [m/s ²]	0,435	0,584	1,580	2,027
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

5.3 Risposta sismica e stabilità del sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera e del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

5.3.1 Amplificazione stratigrafica

Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s * a_g$, dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo B).

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, sono state definite 7 categorie di profili stratigrafici del suolo di fondazione.

Come già detto in precedenza, il sito indagato appartiene alla categoria B.

5.3.2 Amplificazione topografica

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica ST. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15° . Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

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

Categorie topografiche secondo (D.M. 17 gennaio 2018)

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica ST, in funzione della categoria stessa e dell'ubicazione del sito di studio.

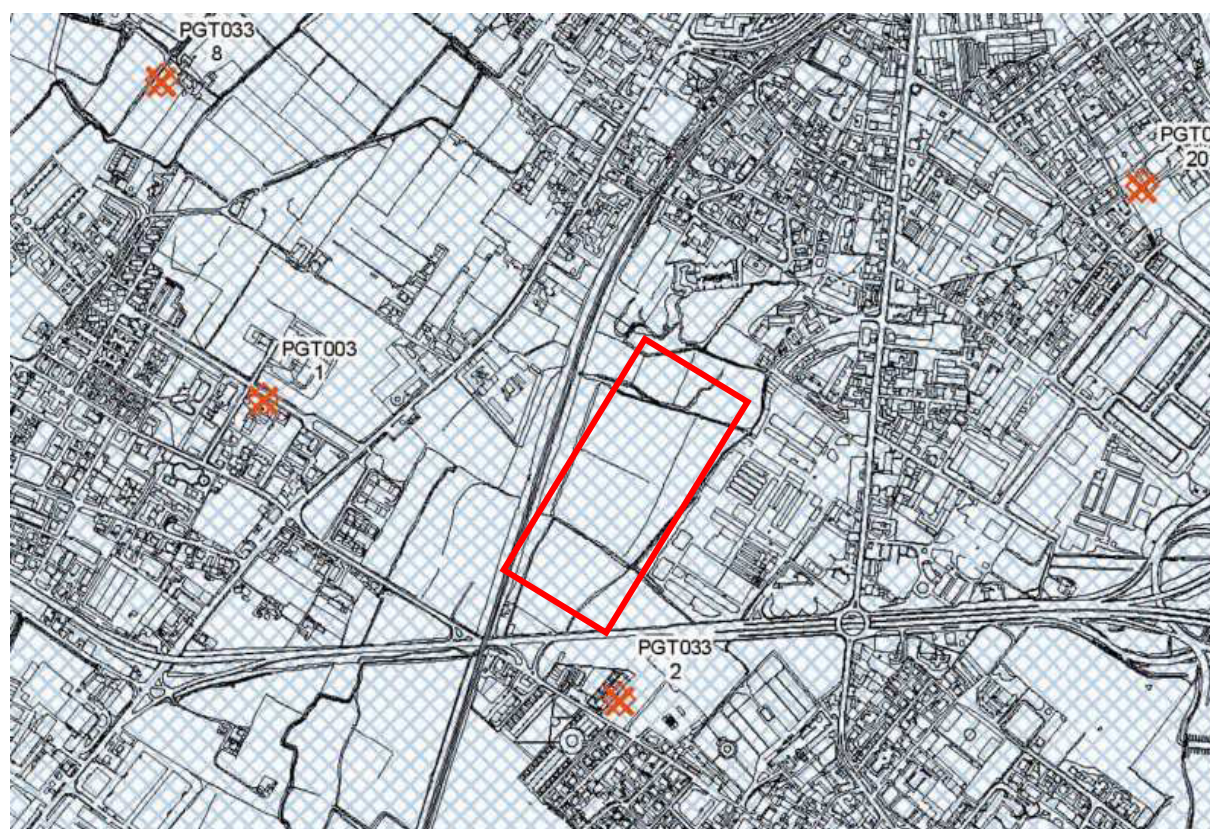
L'area di progetto si trova in un contesto di pianura con inclinazione media inferiore a 15°. Dunque in questo caso è opportuno considerare la categoria topografica T1. A tale categoria si può associare un fattore ST pari a 1.

5.4 Analisi della pericolosità sismica locale di 1° livello

Nel presente capitolo verrà tratta la pericolosità sismica locale dell'area oggetto di intervento partendo da quanto illustrato nel P.G.T. del comune di Bergamo redatto dallo Studio Eurogeo, datato 2011.

Secondo la Carta della pericolosità sismica locale (PSL) del P.G.T. comunale, come rappresentato nello stralcio seguente, l'area oggetto di studio ricade all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale Z4a che caratterizza la zona di fondovalle con presenza di terreni alluvionali, fluvioglaciali, granulari e coesivi.

A questo scenario di pericolosità di sismica locale è associata una pericolosità di grado H2 per possibili amplificazioni litologiche o geometriche.



Z4a
Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

Figura 13 – Estratto con Legenda della Carta della pericolosità sismica locale di primo livello del comune di Bergamo.

Come correttamente richiamato nel P.G.T. comunale, l'analisi sismica deve essere articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (O.P.C.M n.3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R 8/774 e successive integrazioni).

5.5 *Analisi della pericolosità sismica locale di 2° livello di normativa*

La classe di pericolosità sismica locale Z4a, in cui è posizionata l'area di progetto, richiede il secondo livello di approfondimento che consiste in una valutazione semi-quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione (Fa) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per ciò che concerne gli effetti di amplificazione morfologica.

	Creste e scarpate	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2		1,5	1,9	2,3	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	1,4 – 1,2		1,7	2,4	4,3	3,1

Figura 14 – Valori soglia del Comune di Bergamo

L'approfondimento di secondo livello, realizzato nella fase pianificatoria all'interno dello studio del P.G.T. dai Dr. Geol. Renato Caldarelli e Dr. Geol. Massimo Elitropi, ha portato alla realizzazione di due elaborati, la Carta dei fattori di amplificazione - intervallo 0,1 s – 0,5s - e la Carta dei fattori di amplificazione - intervallo 0,5s – 1,5s -, all'interno delle quali sono stati calcolati i fattori di amplificazione con i valori ricavati dalle indagini svolte in modo da valutare se la normativa è verificata.

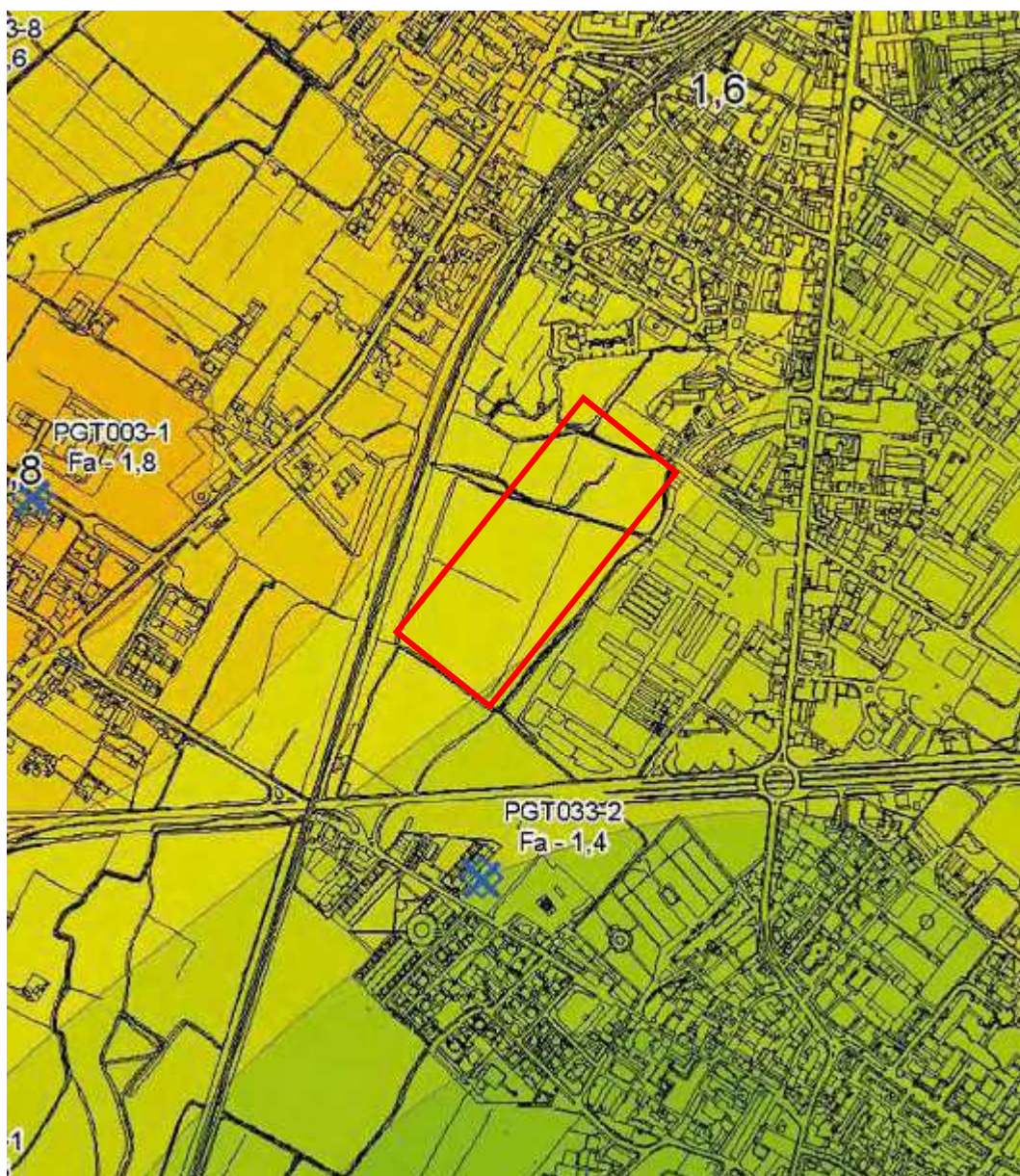


Figura 15- Stralcio della Carta dei fattori di amplificazione intervallo 0,1s – 0,5s del comune di Bergamo. In rosso l'area di studio.

Come illustrato sopra, dagli elaborati che costituiscono la Carta della pericolosità sismica locale di secondo livello i fattori di amplificazione (Fa), assegnati all'area oggetto di studio, sono i seguenti: per $T_{0.1-0.5}$ il fattore di amplificazione è 1,6.

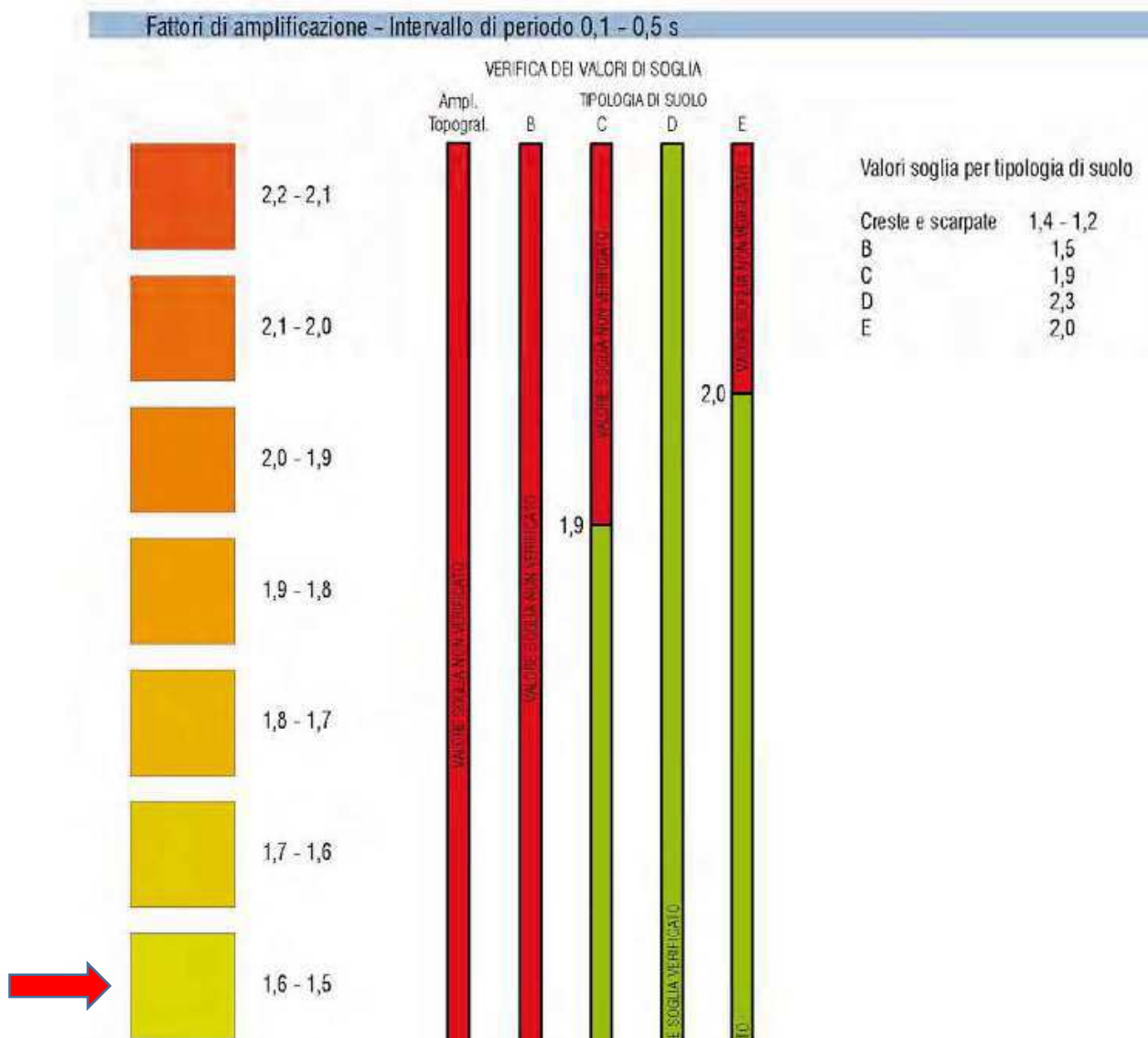


Figura 16- Raffronto grafico tra i valori calcolati e i valori soglia per tipologia di suolo

Come si evince dalla Figura 16 il valore soglia di riferimento per i suoli B è pari a 1,5, che posto a raffronto con il valore calcolato che risulta pari a 1,6 e quindi superiore.

In conclusione, per l'area oggetto di studio, i fattori di amplificazione calcolati in fase pianificatoria risultano superiori al valore soglia indicato dalla Regione Lombardia. In conclusione, considerando che il valore soglia F_a calcolato per il periodo di oscillazione 0.1-0.5 supera il valore soglia indicato dalla Regione Lombardia, si rende necessario, per l'area

oggetto di studio, **l'approfondimento di III livello o l'utilizzo degli spettri di normativa per la categoria di suolo superiore.**

5.6 Applicazione del 3° livello di normativa - Scelta della Categoria di Suolo di fondazione

Come descritto nel paragrafo precedente, con il superamento del valore soglia considerato di riferimento, si rende necessaria l'applicazione del così detto 3° Livello di Normativa, il quale prevede per lo scenario considerato "Effetti di amplificazione litologica e geometrica", due possibilità: l'approccio quantitativo, con metodi di tipo strumentale o numerico, con modellazione monodimensionale o bidimensionale. In alternativa è possibile prevedere l'utilizzo degli spettri di normativa per la categoria di suolo superiore.

In relazione alla complessità litologica locale, all'impossibilità di vincolare le stratigrafie note alle indagini effettuate dagli scriventi, nonché l'onerosità di metodologie sismiche adattabili ai metodi numerici, si è ragionevolmente optato per l'opzione di considerare la categoria di suolo superiore.

Tale opzione è da considerarsi comunque sufficientemente cautelativa, anche in relazione alla possibile presenza di inversioni sismiche.

In conclusione, non essendo stata realizzata l'analisi di III livello da parte degli scriventi, è stata assegnata all'area in progetto, a scopo cautelativo, **una categoria di sottosuolo C** superiore rispetto alle $V_{s,eq}$ effettivamente misurate (tra 360m/s-800m/s Categoria B) definita come *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

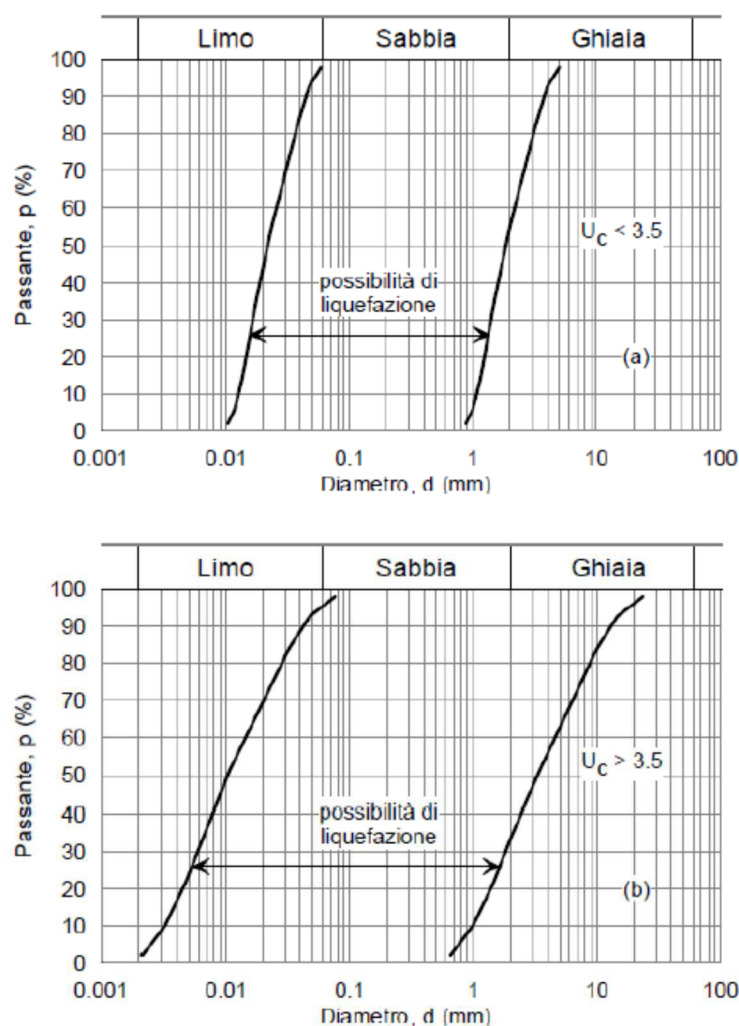
5.7 Stabilità nei confronti della liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub - orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 [kPa] e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 [kPa];
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti (dove con U_c è indicato il rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).



Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione (D.M. 17 gennaio 2018)

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Nel caso in oggetto non vi sono le condizioni affinché si verifichi la liquefazione; risultano infatti soddisfatte le condizioni 3 e 4.

6 INDICAZIONI TECNICHE

6.1 Sbancamenti

Gli scriventi consigliano, a titolo cautelativo, che i lavori di scavo procedano in ogni caso il più velocemente possibile, con estrema cautela, nonché per la presenza nel sottosuolo di terreni con caratteristiche geotecniche complessivamente mediocri o scadenti, e che i fronti di scavo, sebbene di non eccessiva altezza, vengano protetti dagli agenti atmosferici per tutto il tempo della loro esposizione.

La scelta definitiva delle modalità di sbancamento e la conduzione del cantiere rimane comunque di esclusiva competenza e responsabilità del progettista delle strutture incaricato e/o della Direzione Lavori.

L'eventuale esubero di materiale di scavo dovrà essere smaltito in idoneo sito e comunque in ottemperanza delle normative comunali ed ambientali in materia di materiali di scavo.

In ogni caso, si consiglia di procedere con i lavori di scavo sempre dopo la verifica delle condizioni del substrato di fondazione e/o della copertura superficiale; si avrà cura di ottenere pendenze compatibili con l'angolo di riposo dei materiali, soprattutto qualora si riscontri uno spessore consistente della coltre terrigena superficiale e comunque in funzione delle strutture adiacenti.

Il fronte di scavo non dovrà infine essere lasciato esposto alle intemperie e per quanto possibile gli scavi stessi verranno eseguiti in concomitanza di periodi meteorologici favorevoli e senza precipitazioni, evitando l'insorgere di processi di degrado dei terreni e delle scarpate di neoformazione, dando allo scavo un'inclinazione di sicurezza tale per cui essa risulti stabile nel breve – lungo periodo e non vi sia pericolo di crollo.

Ci si riferisce in particolare agli scavi a cielo aperto ed a sezione obbligata con pareti verticali o subverticali. Tali ambiti operativi sono generalmente caratterizzati da ampie superfici di impronta, dislivelli notevoli, assenza di vie di fuga, problemi di drenaggio dell'acqua e notevole sviluppo delle pareti di taglio.

Tra i principali fattori di rischio, quindi, oltre alla pericolosità conseguente all'alterazione dell'equilibrio statico del sito (cedimenti e rigonfiamenti, scarsa tenuta delle pareti di taglio, ecc.), sono da citare accumuli di materiali sul ciglio, vibrazioni, presenza sul fondo dello scavo di armature, casseforme, nonché problematiche relative alla presenza di falde acquifere e circolazione di fluidi.

Dovranno essere attentamente monitorati, nelle fasi di lavoro, le condizioni delle eventuali strutture adiacenti o prossime all'area di cantiere, al fine di evitare cedimenti o fessurazioni nelle strutture.

6.2 Interferenze tra strutture e falda

Lo scrivente consiglia, al fine di preservare le strutture fondazionali e di contenimento, di valutare l'opportunità di interventi di smaltimento delle acque meteoriche e di ruscellamento sub superficiale.

Sono da escludersi dispersioni di acque nere nel sottosuolo, così come qualsiasi altra attività che possa determinare contaminazioni della falda.

Le acque bianche, invece, potranno essere disperse nel suolo – su indicazione dell'ente concedente - solo se non inquinate o opportunamente trattate.

Si ricorda, infine, che la scelta e il dimensionamento dell'impianto fondazionale e delle eventuali opere di drenaggio e impermeabilizzazione rimangono comunque di esclusiva competenza e responsabilità del progettista delle strutture incaricato e/o della Direzione Lavori.

Sebbene sia stata evidenziata – al momento delle indagini - la presenza di falda superficiale in corrispondenza delle prove 13, 14 e 15, a circa -6.4 m dal p.c., non si può escludere la presenza di falde più superficiali su tutto il comparto di progetto, eventualmente sospese o intermittenti, si consiglia tuttavia di prevedere idonei pacchetti drenanti e adeguati sistemi di contenimento e allontanamento delle venute idriche a tergo delle fondazioni.

7 MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI

La tabella seguente riassume le criticità ed i pericoli di natura geologica riscontrati sia nella parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa (scala di progetto), sia in un volume più ampio, all'interno del quale è inserito il progetto.

AMBITI	CRITICITÀ RISCONTRATE
Geologico	<ul style="list-style-type: none"> • Lineamenti tettonici interferenti
Geomorfologico	<ul style="list-style-type: none"> • Frane • Crolli • Acclività • Erosione superficiale, soliflusso • Deformazioni gravitative profonde • Valanghe
Idrogeologico	<ul style="list-style-type: none"> • Bassa soggiacenza della falda • Aree di salvaguardia captazioni • Ruscellamenti e infiltrazioni • Carsismo, vulnerabilità della falda • Risorgive, fontanili • Contaminazioni storiche
Idraulico	<ul style="list-style-type: none"> • Esondazioni fluviali/torrentizie • Esondazioni lacuali • Trasporto in massa su conoide • Vincolo di polizia idraulica
Geotecnico	<ul style="list-style-type: none"> • Terreni scadenti • Rocce scadenti • Giaciture sfavorevoli delle rocce • Doline, sinkhole, subsidenza, cavità • Terreni rimaneggiati • Terreni fini su pendii inclinati • Ristagni superficiali, paludi
Sismico	<ul style="list-style-type: none"> • Faglie e/o contatti tra litotipi diversi • Liquefazione • Eccessivo addensamento

8 CONCLUSIONI

Su incarico della committenza è stata redatta la presente relazione geologica e sismica a supporto del progetto di realizzazione del PII Parco Ovest Variante 1.

La presente relazione si riferisce esclusivamente alle opere previste dal progetto fornito dal committente. I dati ricavati con le indagini eseguite in corrispondenza del sito e i risultati ottenuti confermano come non sussistano particolari problemi alla realizzazione degli interventi in progetto, raccomandando tuttavia particolare cautela nella gestione degli scavi e nella definizione dell'impianto fondazionale, per escludere la possibilità di cedimenti differenziali.

La presente relazione costituisce un aggiornamento di un precedente documento con relative indagini, effettuate nel 2009, rispetto all'attuale ed approvata versione progettuale, con un impianto di progetto differente anche in termini dimensionali, pertanto nella scelta dei parametri caratteristici per l'elaborazione geotecnica, il progettista incaricato dovrà considerare il dato eminentemente puntuale delle stesse.

Considerata l'approssimazione dei dati iniziali e la limitatezza delle indagini dirette e indirette è fortemente raccomandata, in sede di apertura degli scavi, la presenza in cantiere del geologo incaricato, per la conferma dei parametri assegnati.

In sede di esecuzione dei lavori si raccomanda di procedere con le opportune cautele, sia nelle fasi di riporto e rimodellamento del materiale superficiale, sia nelle operazioni di sterro. I terreni su cui insisterà il progetto, già a partire da p.c., risultano avere condizioni litotecniche intermedie, con livelli più scadenti che si alternano a livelli con migliori caratteristiche geotecniche.

In relazione ai dati complessivi, per cui si evidenziano locali difformità, si dovranno considerare idonei accorgimenti per scongiurare possibili cedimenti differenziali sulle strutture di progetto.

Eventuali operazioni di sbancamento, non previste nel progetto fornito dal committente, andranno realizzate per setti limitati avendo cura di consolidare le superfici di neoformazione,

istituendo idonei presidi di contenimento al fine di scongiurare scivolamenti di porzioni di coltre superficiale.

Si ricorda che le presenti considerazioni sono valide esclusivamente per le previsioni di progetto, ulteriori modificazioni andranno adeguatamente supportate da opportuni approfondimenti di carattere geologico.

Una parte importante delle elaborazioni eseguite è stata dedicata all'applicazione delle normative in materia di rischio sismico.

Il principale risultato, fondamentale per ogni successiva valutazione, è stato la determinazione della categoria del suolo di fondazione, attraverso la realizzazione, da parte degli scriventi, di uno stendimento sismico (V_s) e di un down-hole in foro, corrispondente alla Classe di sottosuolo B , caratterizzata da *depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

Il valore di $V_{s,eq}$, inoltre, risultata dall'indagine realizzata dagli scriventi, insieme alla categoria di sottosuolo assegnata sono in linea con i risultati delle indagini geognostiche contenute nel P.G.T del Comune di Bergamo.

Per l'approfondimento di secondo livello di amplificazione sismica locale, si è fatto riferimento alle tavole del P.G.T. comunale, dove si evidenzia come i valori soglia di F_a calcolati (FAC) siano risultati superiori ai valori soglia imposti dalla normativa (FAS) e che quindi per l'area oggetto di studio **la norma non sia in grado di tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione litologica rilevati in questa parte del territorio.**

In ossequio ai disposti normativi in tema di amplificazione sismica locale, è necessario scegliere tra due approcci: l'approfondimento di III livello o l'utilizzo degli spettri di normativa per la categoria di suolo superiore.

Gli scriventi hanno optato, a scopo cautelativo, per il secondo approccio assegnando all'area in progetto, una **Categoria di sottosuolo C** superiore rispetto alle $V_{s,eq}$ – ($=V_{s30}$) effettivamente misurata (tra 360m/s e 800m/s Categoria B), definita come ““*Depositi di terreni*

a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s” (N.T.C. 2018).

La presente relazione, inoltre, ha carattere unicamente geologico e sismico, secondo le specifiche competenze professionali, e non effettua alcuna considerazione sulla qualità ambientale e/o sulle caratteristiche chimiche dei terreni interessati dal progetto, né alcuna valutazione o verifica ufficiale e definitiva sulla vincolistica ambientale, paesaggistica e/o idraulica che potrebbe interessare l’area di progetto.

Questa relazione viene redatta in base a quanto previsto nei paragrafi 6.1.2 e 6.2.2 delle NTC (2018), della D.M. 17 gennaio 2018. Circolare 2 febbraio 2009 e Cap. 4 parte I Allegato B della D.G.R. IX/2616 considerando i seguenti aspetti:

1. Descrizione delle opere e degli interventi.
2. Descrizione del programma delle indagini e delle prove geologiche e geofisiche.
3. Caratterizzazione della pericolosità sismica di base del sito oggetto dell’intervento e risposta sismica locale.
4. Caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce, definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei valori di base dei parametri geotecnici.

Si pone in esame che i seguenti contenuti, previsti dalla normativa nel §6.2.1, non sono stati illustrati in questa relazione o lo sono stati solo in parte, poiché non sono parte dell’incarico e sono inoltre di responsabilità specifica del progettista:

- Descrizione delle fasi e delle modalità costruttive: tali dettagli non sono noti allo scrivente e potrebbero essere non di competenza dello stesso.
- Scelte progettuali: le scelte relative agli interventi strutturali sono di competenza e responsabilità del progettista, quantunque, su richiesta dello stesso, lo scrivente può fornire pareri sulla tipologia di fondazioni da adottare in relazione alle condizioni del terreno.

- Calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere: i dettagli relativi agli approcci di progetto, alla geometria delle fondazioni, alle varie combinazioni di carico e al fattore di struttura non sono noti allo scrivente, che può eseguire le verifiche geotecniche soltanto qualora il progettista assegni uno specifico incarico e fornisca tutti i parametri di input necessari.

Analisi di tipo ambientale sulle matrici suolo e substrato, ai sensi del T.U: 152/2006 e successive modificazioni, esulano dal presente elaborato.

Giudichi il progettista, responsabile secondo la vigente normativa in merito, se il suddetto programma di indagini risulta essere adeguato e sufficiente per l'esecuzione degli interventi da effettuare, in relazione alle risultanze della presente relazione e in considerazione anche della rilevanza del progetto. Gli scriventi saranno prontamente disponibili a curare eventuali integrazioni della campagna di indagini, qualora il progettista lo ritenesse opportuno.

Grassobbio (Bg), 06 febbraio 2019

Dr. Geol. Andrea Gritti

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461

Dr. Geol. Fabio Plebani

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia N°884

ALLEGATI

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 1

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	2		3	
0,6	4		6	
0,8	5		7	
1	6		9	
1,2	6		9	
1,4	6		9	
1,6	4		6	
1,8	3		4	
2	6		9	
2,2	4		6	
2,4	2		3	
2,6	2		3	
2,8	2		3	
3	3		4	
3,2	2		3	
3,4	3		4	
3,6	2		3	
3,8	3		4	
4	3		4	
4,2	2		3	
4,4	2		3	
4,6	1		1	
4,8	1		1	
5	9		13	
5,2	12		18	
5,4	18		27	
5,6	10		15	
5,8	12		18	
6	7		10	
6,2	5		7	
6,4	5		7	
6,6	8		12	
6,8	5		7	
7	7		10	
7,2	5		7	
7,4	6		9	
7,6	5		7	
7,8	5		7	
8	5		7	
8,2	4		6	
8,4	8		12	
8,6	4		6	
8,8	2		3	
9	4		6	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
9,2	5		7	
9,4	6		9	
9,6	5		7	
9,8	6		9	
10	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 2

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	5		7	
0,4	4		6	
0,6	5		7	
0,8	4		6	
1	5		7	
1,2	4		6	
1,4	2		3	
1,6	3		4	
1,8	2		3	
2	3		4	
2,2	4		6	
2,4	6		9	
2,6	4		6	
2,8	4		6	
3	4		6	
3,2	3		4	
3,4	3		4	
3,6	3		4	
3,8	2		3	
4	2		3	
4,2	3		4	
4,4	3		4	
4,6	2		3	
4,8	12		18	
5	17		25	
5,2	12		18	
5,4	9		13	
5,6	9		13	
5,8	8		12	
6	11		16	
6,2	9		13	
6,4	12		18	
6,6	7		10	
6,8	8		12	
7	9		13	
7,2	13		19	
7,4	10		15	
7,6	11		16	
7,8	10		15	
8	9		13	
8,2	8		12	
8,4	9		13	
8,6	10		15	
8,8	9		13	
9	8		12	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
9,2	9		13	
9,4	8		12	
9,6	10		15	
9,8	8		12	
10	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 3

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	4		6	
0,6	3		4	
0,8	4		6	
1	7		10	
1,2	10		15	
1,4	8		12	
1,6	10		15	
1,8	12		18	
2	6		9	
2,2	3		4	
2,4	3		4	
2,6	3		4	
2,8	4		6	
3	5		7	
3,2	5		7	
3,4	5		7	
3,6	8		12	
3,8	11		16	
4	10		15	
4,2	13		19	
4,4	6		9	
4,6	5		7	
4,8	3		4	
5	2		3	
5,2	2		3	
5,4	5		7	
5,6	2		3	
5,8	2		3	
6	2		3	
6,2	1		1	
6,4	2		3	
6,6	3		4	
6,8	1		1	
7	2		3	
7,2	2		3	
7,4	1		1	
7,6	2		3	
7,8	2		3	
8	2		3	
8,2	6		9	
8,4	5		7	
8,6	24		36	
8,8	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 4

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	3		4	
0,4	4		6	
0,6	3		4	
0,8	3		4	
1	3		4	
1,2	4		6	
1,4	4		6	
1,6	11		16	
1,8	11		16	
2	16		24	
2,2	8		12	
2,4	5		7	
2,6	6		9	
2,8	6		9	
3	6		9	
3,2	6		9	
3,4	4		6	
3,6	2		3	
3,8	8		12	
4	6		9	
4,2	3		4	
4,4	5		7	
4,6	3		4	
4,8	5		7	
5	5		7	
5,2	4		6	
5,4	4		6	
5,6	3		4	
5,8	3		4	
6	2		3	
6,2	3		4	
6,4	5		7	
6,6	6		9	
6,8	6		9	
7	8		12	
7,2	8		12	
7,4	5		7	
7,6	8		12	
7,8	8		12	
8	12		18	
8,2	9		13	
8,4	26		38	
8,6	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 5

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	4		6	
0,6	4		6	
0,8	3		4	
1	3		4	
1,2	4		6	
1,4	5		7	
1,6	4		6	
1,8	6		9	
2	5		7	
2,2	5		7	
2,4	8		12	
2,6	10		15	
2,8	7		10	
3	7		10	
3,2	5		7	
3,4	5		7	
3,6	5		7	
3,8	7		10	
4	6		9	
4,2	6		9	
4,4	7		10	
4,6	9		13	
4,8	8		12	
5	12		18	
5,2	8		12	
5,4	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 6

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	6		9	
0,6	5		7	
0,8	3		4	
1	4		6	
1,2	4		6	
1,4	3		4	
1,6	4		6	
1,8	4		6	
2	9		13	
2,2	13		19	
2,4	11		16	
2,6	13		19	
2,8	17		25	
3	8		12	
3,2	5		7	
3,4	6		9	
3,6	5		7	
3,8	4		6	
4	5		7	
4,2	3		4	
4,4	6		9	
4,6	4		6	
4,8	5		7	
5	8		12	
5,2	5		7	
5,4	5		7	
5,6	4		6	
5,8	3		4	
6	3		4	
6,2	2		3	
6,4	3		4	
6,6	12		18	
6,8	4		6	
7	4		6	
7,2	5		7	
7,4	5		7	
7,6	6		9	
7,8	9		13	
8	10		15	
8,2	18		27	
8,4	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 7

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	2		3	
0,6	3		4	
0,8	4		6	
1	4		6	
1,2	3		4	
1,4	4		6	
1,6	4		6	
1,8	4		6	
2	6		9	
2,2	6		9	
2,4	9		13	
2,6	12		18	
2,8	17		25	
3	10		15	
3,2	6		9	
3,4	8		12	
3,6	7		10	
3,8	4		6	
4	4		6	
4,2	5		7	
4,4	5		7	
4,6	8		12	
4,8	9		13	
5	9		13	
5,2	12		18	
5,4	13		19	
5,6	17		25	
5,8	12		18	
6	9		13	
6,2	8		12	
6,4	7		10	
6,6	12		18	
6,8	13		19	
7	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 8

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	3		4	
0,4	4		6	
0,6	4		6	
0,8	5		7	
1	3		4	
1,2	4		6	
1,4	4		6	
1,6	4		6	
1,8	4		6	
2	5		7	
2,2	5		7	
2,4	8		12	
2,6	10		15	
2,8	8		12	
3	6		9	
3,2	5		7	
3,4	6		9	
3,6	5		7	
3,8	4		6	
4	6		9	
4,2	7		10	
4,4	9		13	
4,6	8		12	
4,8	12		18	
5	4		6	
5,2	4		6	
5,4	3		4	
5,6	12		18	
5,8	8		12	
6	8		12	
6,2	6		9	
6,4	6		9	
6,6	8		12	
6,8	8		12	
7	5		7	
7,2	8		12	
7,4	8		12	
7,6	12		18	
7,8	6		9	
8	9		13	
8,2	10		15	
8,4	18		27	
8,6	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 9

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	3		4	
0,4	4		6	
0,6	3		4	
0,8	4		6	
1	10		15	
1,2	7		10	
1,4	10		15	
1,6	8		12	
1,8	12		18	
2	6		9	
2,2	3		4	
2,4	4		6	
2,6	3		4	
2,8	4		6	
3	4		6	
3,2	5		7	
3,4	5		7	
3,6	8		12	
3,8	6		9	
4	6		9	
4,2	6		9	
4,4	7		10	
4,6	7		10	
4,8	8		12	
5	6		9	
5,2	9		13	
5,4	12		18	
5,6	15		22	
5,8	16		24	
6	3		4	
6,2	4		6	
6,4	3		4	
6,6	3		4	
6,8	6		9	
7	5		7	
7,2	5		7	
7,4	5		7	
7,6	6		9	
7,8	4		6	
8	6		9	
8,2	9		13	
8,4	10		15	
8,6	14		21	
8,8	12		18	
9	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 10

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	1		1	
0,4	2		3	
0,6	4		6	
0,8	3		4	
1	2		3	
1,2	3		4	
1,4	3		4	
1,6	4		6	
1,8	3		4	
2	4		6	
2,2	5		7	
2,4	12		18	
2,6	12		18	
2,8	11		16	
3	10		15	
3,2	12		18	
3,4	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 11

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	1		1	
0,4	2		3	
0,6	4		6	
0,8	3		4	
1	4		6	
1,2	3		4	
1,4	3		4	
1,6	4		6	
1,8	5		7	
2	16		24	
2,2	7		10	
2,4	6		9	
2,6	10		15	
2,8	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 12

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	1		1	
0,4	1		1	
0,6	3		4	
0,8	3		4	
1	3		4	
1,2	3		4	
1,4	4		6	
1,6	6		9	
1,8	4		6	
2	7		10	
2,2	7		10	
2,4	10		15	
2,6	12		18	
2,8	11		16	
3	6		9	
3,2	4		6	
3,4	4		6	
3,6	5		7	
3,8	3		4	
4	3		4	
4,2	2		3	
4,4	3		4	
4,6	3		4	
4,8	2		3	
5	2		3	
5,2	2		3	
5,4	5		7	
5,6	5		7	
5,8	2		3	
6	3		4	
6,2	4		6	
6,4	7		10	
6,6	8		12	
6,8	7		10	
7	7		10	
7,2	7		10	
7,4	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 13

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	2		3	
0,4	4		6	
0,6	4		6	
0,8	3		4	
1	3		4	
1,2	3		4	
1,4	3		4	
1,6	3		4	
1,8	4		6	
2	7		10	
2,2	8		12	
2,4	5		7	
2,6	9		13	
2,8	9		13	
3	9		13	
3,2	5		7	
3,4	4		6	
3,6	4		6	
3,8	4		6	
4	4		6	
4,2	5		7	
4,4	3		4	
4,6	5		7	
4,8	5		7	
5	5		7	
5,2	6		9	
5,4	2		3	
5,6	2		3	
5,8	2		3	
6	2		3	
6,2	3		4	
6,4	2		3	
6,6	3		4	
6,8	3		4	
7	2		3	
7,2	2		3	
7,4	1		1	
7,6	2		3	
7,8	2		3	
8	2		3	
8,2	3		4	
8,4	3		4	
8,6	2		3	
8,8	5		7	
9	2		3	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 14

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	6		9	
0,4	11		16	
0,6	7		10	
0,8	5		7	
1	6		9	
1,2	17		25	
1,4	12		18	
1,6	16		24	
1,8	18		27	
2	12		18	
2,2	12		18	
2,4	9		13	
2,6	8		12	
2,8	7		10	
3	9		13	
3,2	8		12	
3,4	8		12	
3,6	7		10	
3,8	8		12	
4	9		13	
4,2	8		12	
4,4	7		10	
4,6	12		18	
4,8	18		27	
5	18		27	
5,2	21		31	
5,4	50		74	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 15

Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0,2	4		6	
0,4	6		9	
0,6	5		7	
0,8	5		7	
1	3		4	
1,2	4		6	
1,4	7		10	
1,6	9		13	
1,8	10		15	
2	5		7	
2,2	4		6	
2,4	4		6	
2,6	4		6	
2,8	6		9	
3	5		7	
3,2	5		7	
3,4	4		6	
3,6	4		6	
3,8	3		4	
4	4		6	
4,2	6		9	
4,4	5		7	
4,6	5		7	
4,8	5		7	
5	4		6	
5,2	5		7	
5,4	5		7	
5,6	4		6	
5,8	5		7	
6	5		7	
6,2	3		4	
6,4	5		7	
6,6	6		9	
6,8	5		7	
7	5		7	
7,2	4		6	
7,4	5		7	
7,6	8		12	
7,8	12		18	
8	15		22	
8,2	18		27	
8,4	10		15	
8,6	8		12	
8,8	7		10	
9	10		15	

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
4,8	5	26,25	Argilla	1	1
10	12	46,62	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): 6,4

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 10

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
4,6	5	26,61	Argilla	1	1
10	17	66,05	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 10

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
0,8	5	35,98	Coltre superficiale	1	1
1,8	14	92,2	Ghiaia in matrice argillosa	0	1
3,4	6	34,79	Argille	1	1
4,2	16	87,56	Ghiaia in matrice argillosa	0	1
8,8	4	16,53	Argille	1	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 8,8

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,4	5	34,08	Argila	1	1
2,2	17	108,28	Ghiaia in matrice argillosa	0	1
7,8	7	30,56	Sabbia sciolta	1	1
8,6	36	150,4	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 8,6

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
2,2	6	38,22	Argilla	1	1
5,4	15	75,69	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 5,4

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,8	6	39,51	Coltre superficiale argillosa	1	1
3	17	101,62	Ghiaia in matrice argillosa	0	1
7,6	7	30,91	Argille	1	1
8,4	32	135,14	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 8,4

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
2,2	5	31,85	Argille	1	1
7	17	77,71	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 7

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
2,2	6	38,22	Argille	1	1
8,6	13	54,31	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 8,6

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
0,8	5	35,98	Argilla	1	1
9	15	61,35	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 9

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
2	4	25,9	Argilla	1	1
3,4	13	75,39	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 3,4

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,6	4	26,8	Coltre superficiale argillosa	1	1
2,8	14	84,99	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 2,8

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,8	4	26,34	Argilla	1	1
7,4	10	44,66	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): assente

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 7,4

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,8	5	32,93	Argilla	1	1
9	8	32,72	Ghiaia in abbondante matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): 6,4

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 9

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1	9	63,58	Argille con rare ghiaie	1	1
5,4	13	65,6	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): 6,4

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 5,4

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Sigla:

Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nspt medio equiv.	Resist.dinam. (kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
7,4	8	35,73	Argille con rare ghiaie	1	1
9	16	65,44	Ghiaia in matrice argillosa	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): 6,4

Peso del maglio (kg): 63

Passo di lettura (cm): 20

Volata del maglio (cm): 75

Profondità di partenza (m): 0,2

Peso delle aste (kg): 6,3

Lunghezza della prova (m): 9

Diametro della punta (cm): 5,08

Fattore di correzione strumentale: 1,48

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
4,8	5	Argilla	105	0		1,64			0,34	23	0,1	491		0,39
10	12	Ghiaia in matrice argillosa	97	0,12	28	1,82	43	351				330	85	1,24

Profondità della falda (m): 6,4

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 2

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
4,6	5	Argilla	105	0,08		1,64			0,34	23	0,1	491		0,38
10	17	Ghiaia in matrice argillosa	162	0,16	31	2,03	50	584				449	121	1,3

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 3

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
0,8	5	Coltre superficiale	74	0		1,76			0,34	23	0,6	491		0,07
1,8	14	Ghiaia in matrice argillosa	121	0,28	29	2,04	70	439				398	99	0,24
3,4	6	Argille	111	0		1,8			0,4	27	0,1	566		0,49
4,2	16	Ghiaia in matrice argillosa	153	0,21	30	1,95	56	534				432	114	0,71
8,8	4	Argille	124	0		1,71			0,27	18	0,8	413		1,18

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 4

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,4	5	Argila	83	0		1,76			0,34	23	0,3	491		0,12
2,2	17	Ghiaia in matrice argillosa	133	0,3	31	2,05	71	584				449	121	0,33
7,8	7	Sabbia sciolta	129	0		1,83			0,47	32	2,4	639		0,92
8,6	36	Ghiaia in matrice argillosa	205	0,31	38	2,04	70	1770				709	256	1,52

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 5

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
2,2	6	Argilla	93	0		1,8			0,4	27	0,2	566		0,2
5,4	15	Ghiaia in matrice argillosa	151	0,2	30	1,94	55	486				416	107	0,71

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 6

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,8	6	Coltre superficiale argillosa	90	0		1,8			0,4	27	0,3	566		0,16
3	17	Ghiaia in matrice argillosa	141	0,27	31	2,01	66	584				449	121	0,44
7,6	7	Argille	131	0		1,83			0,47	32	2,2	639		0,99
8,4	32	Ghiaia in matrice argillosa	200	0,28	37	2,01	66	1494				660	227	1,49

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 7

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
2,2	5	Argille	90	0		1,76			0,34	23	0,2	491		0,19
7	17	Ghiaia in matrice argillosa	161	0,2	31	1,95	56	584				449	121	0,86

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 8

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
2,2	6	Argille	93	0		1,8			0,4	27	0,2	566		0,2
8,6	13	Ghiaia in matrice argillosa	159	0,14	29	1,89	47	394				381	92	1

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 9

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
0,8	5	Argilla	74	0		1,76			0,34	23	0,6	491		0,07
9	15	Ghiaia in matrice argillosa	159	0,17	30	1,92	52	486				416	107	0,93

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 10

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
2	4	Argilla	85	0		1,71			0,27	18	0,1	413		0,17
3,4	13	Ghiaia in matrice argillosa	138	0,2	29	1,95	56	394				381	92	0,48

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 11

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,6	4	Coltre superficiale argillosa	82	0		1,71			0,27	18	0,2	413		0,14
2,8	14	Ghiaia in matrice argillosa	134	0,24	29	1,98	61	439				398	99	0,39

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 12

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,8	4	Argilla	84	0		1,71			0,27	18	0,2	413		0,15
7,4	10	Ghiaia in matrice argillosa	147	0,12	27	1,87	43	270				324	71	0,83

Profondità della falda (m): assente

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 13

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1,8	5	Argilla	87	0		1,76			0,34	23	0,2	491		0,16
9	8	Ghiaia in abbondante matrice	146	0,09	26	1,89	37	198				283	57	1

Profondità della falda (m): 6,4

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 14

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1	9	Argille con rare ghiaie	85	0		1,89			0,6	41	0,9	777		0,09
5,4	13	Ghiaia in matrice argillosa	143	0,19	29	1,76	53	394				381	92	0,58

Profondità della falda (m): 6,4

Hattusas s.r.l.

Roma, 35-Castelli Calepio (Bg)-035 4425112

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 15

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R. (kg/cmq)	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
7,4	8	Argille con rare ghiaie	125	0		1,86			0,54	36	0,5	709		0,69
9	16	Ghiaia in matrice argillosa	178	0,15	30	2,07	48	534				432	114	1,36

Profondità della falda (m): 6,4

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

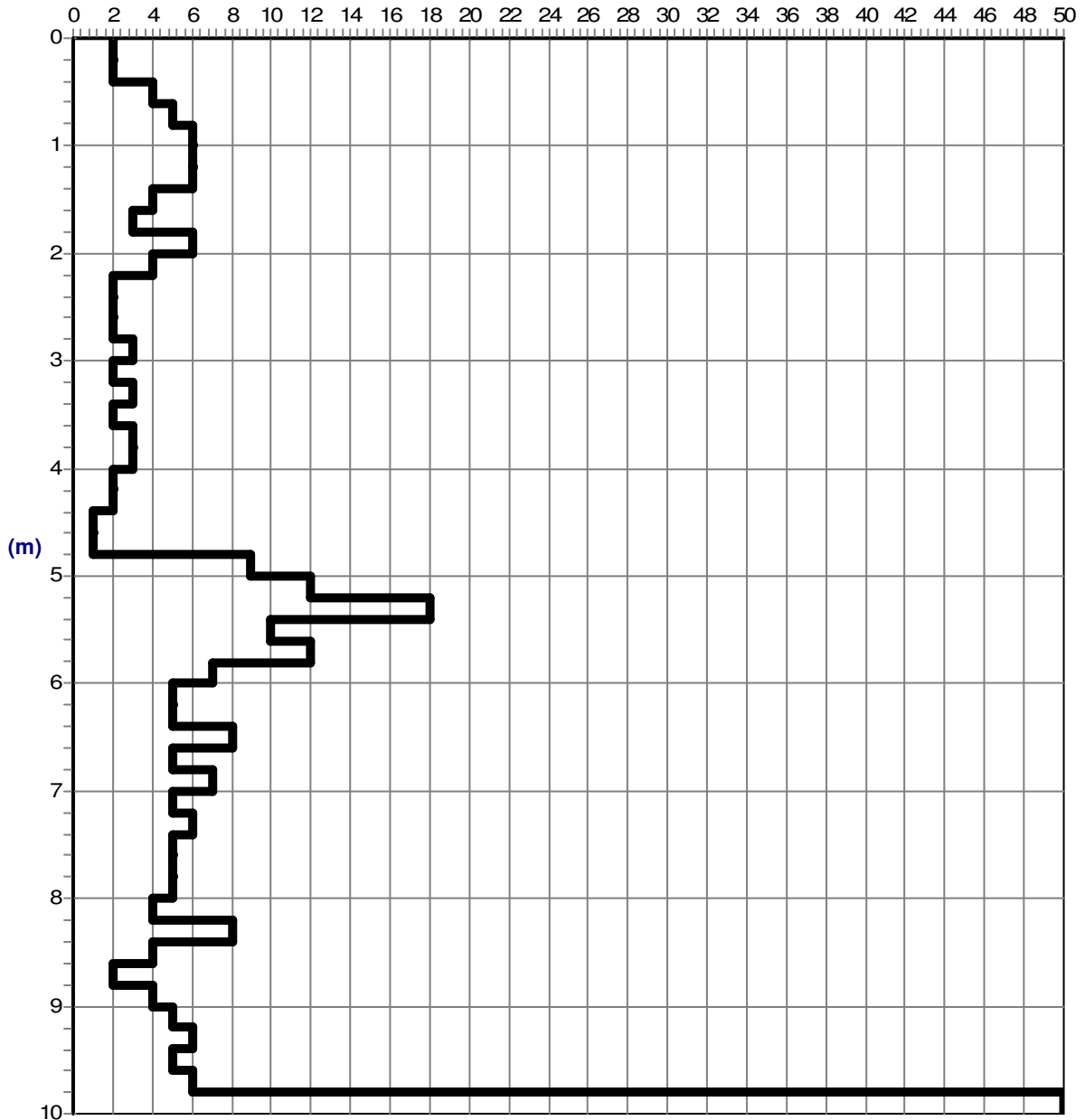
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 1

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 6,4



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

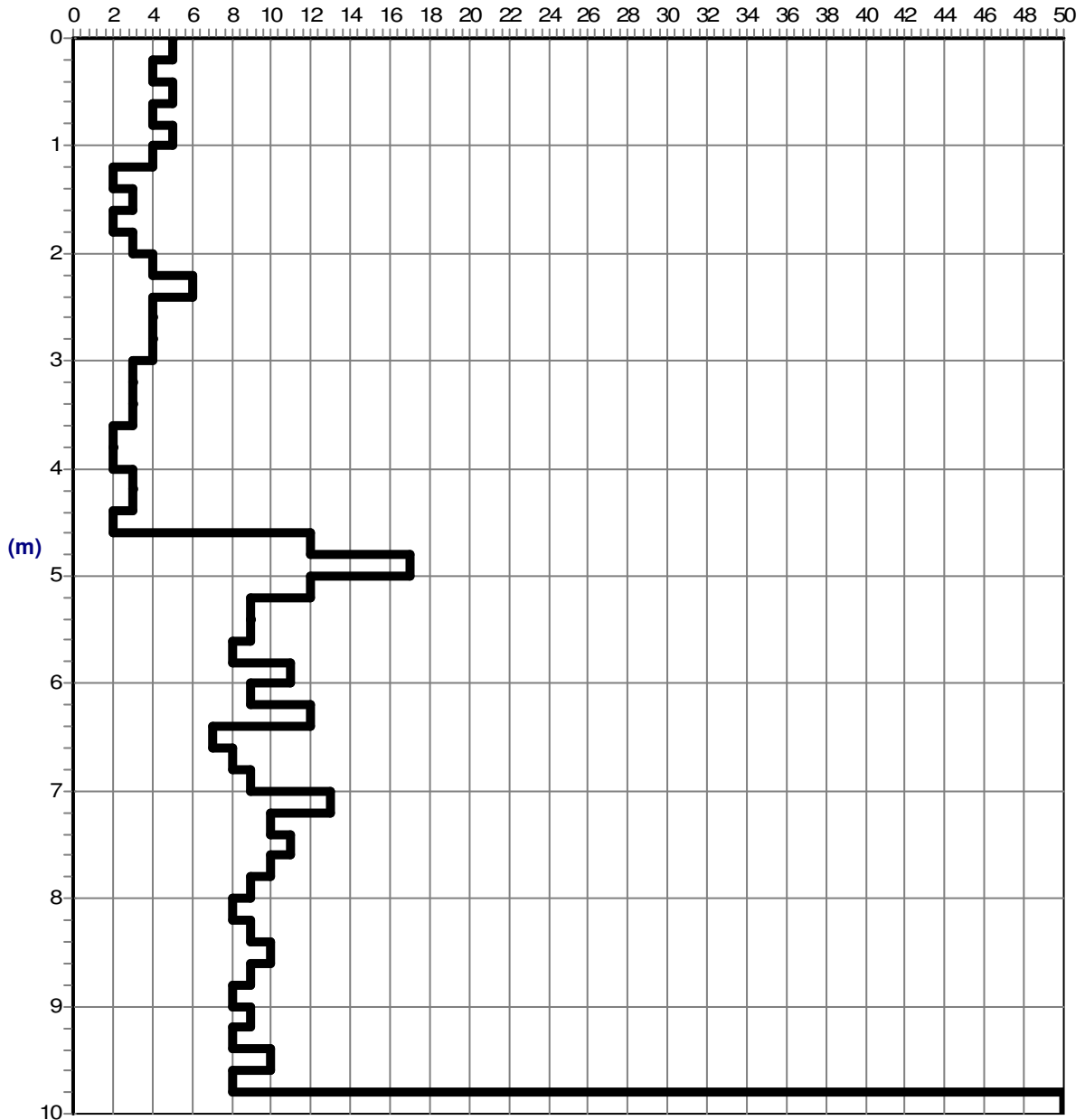
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 2

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

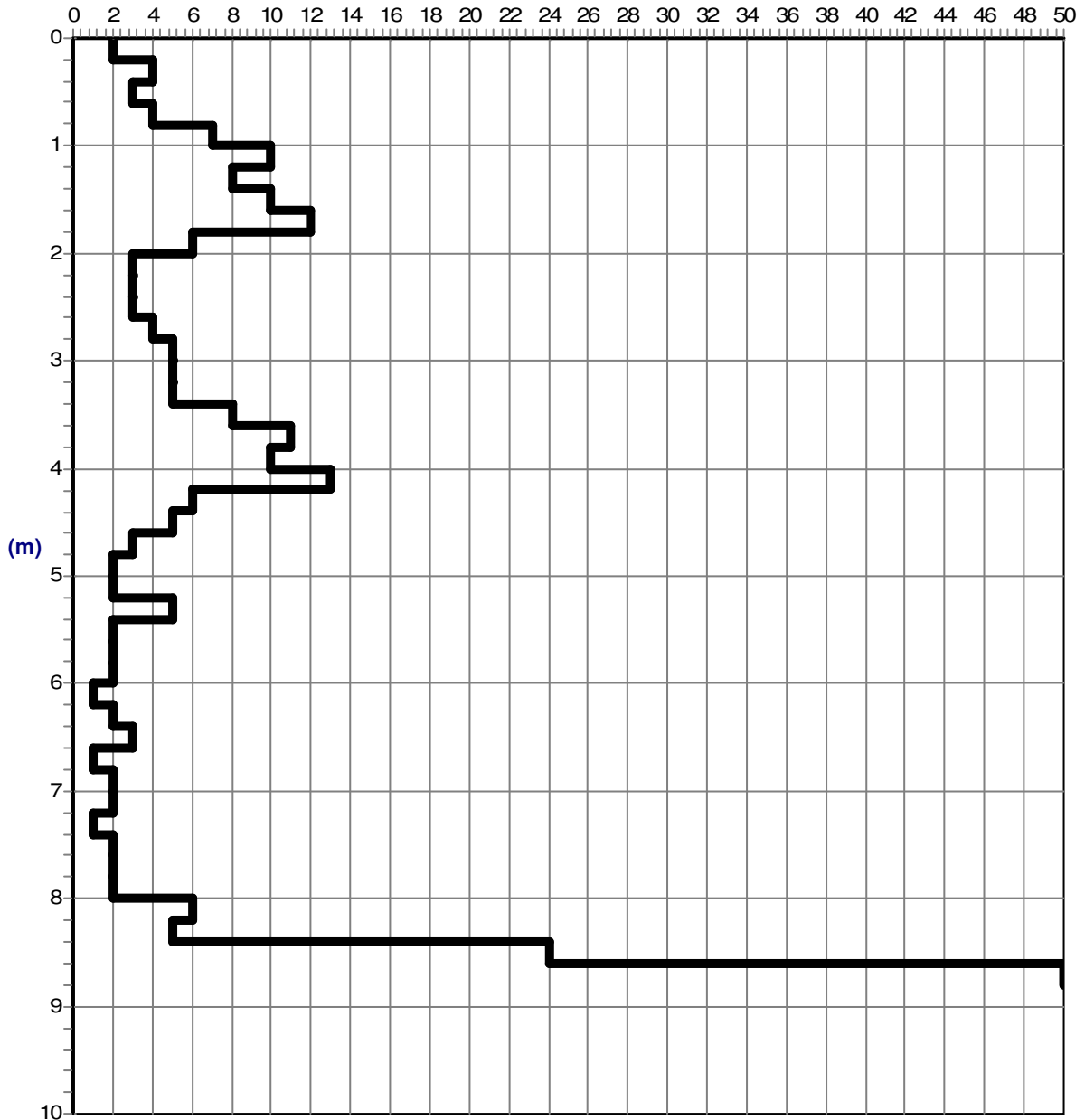
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 3

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

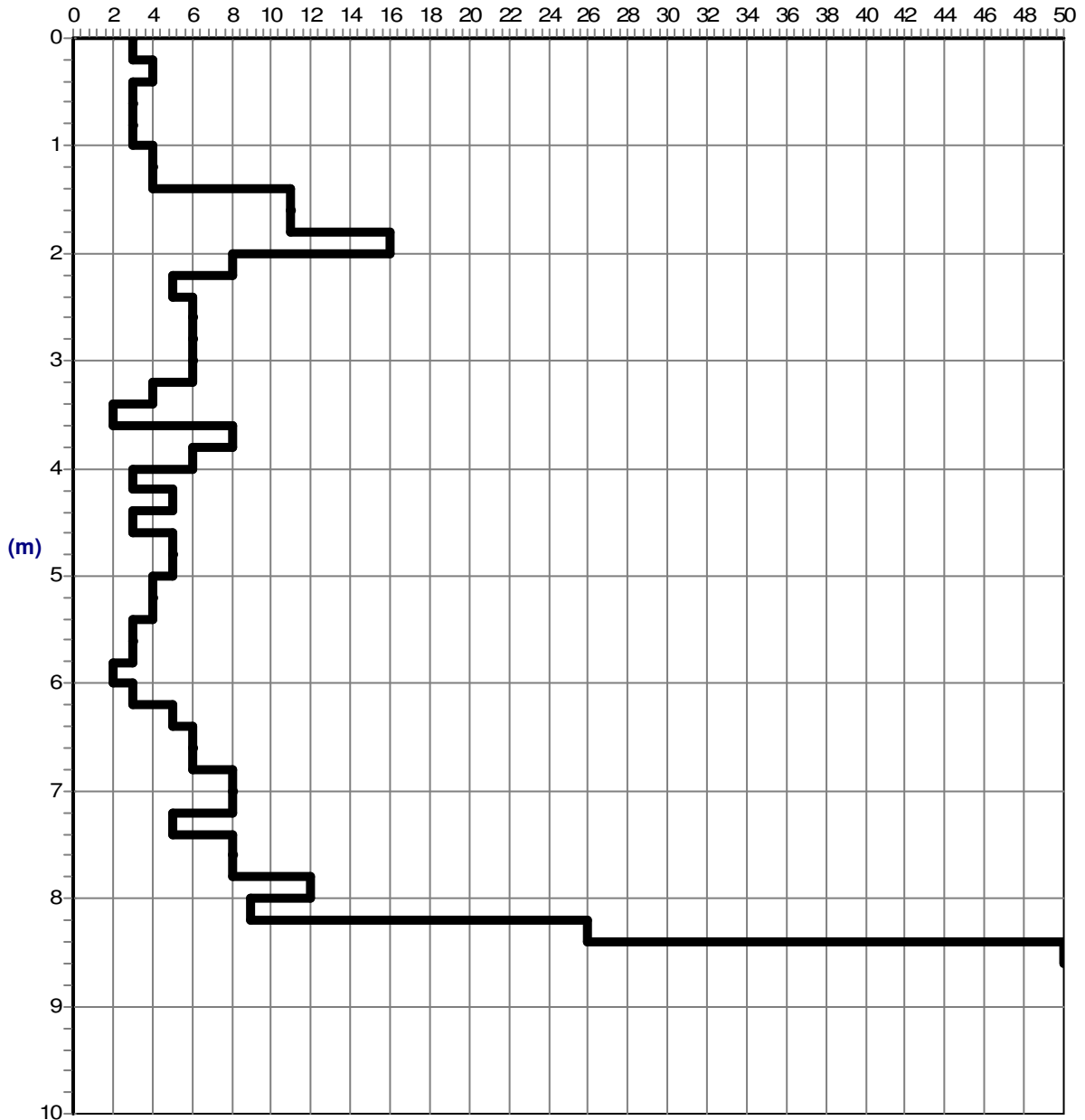
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 4

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

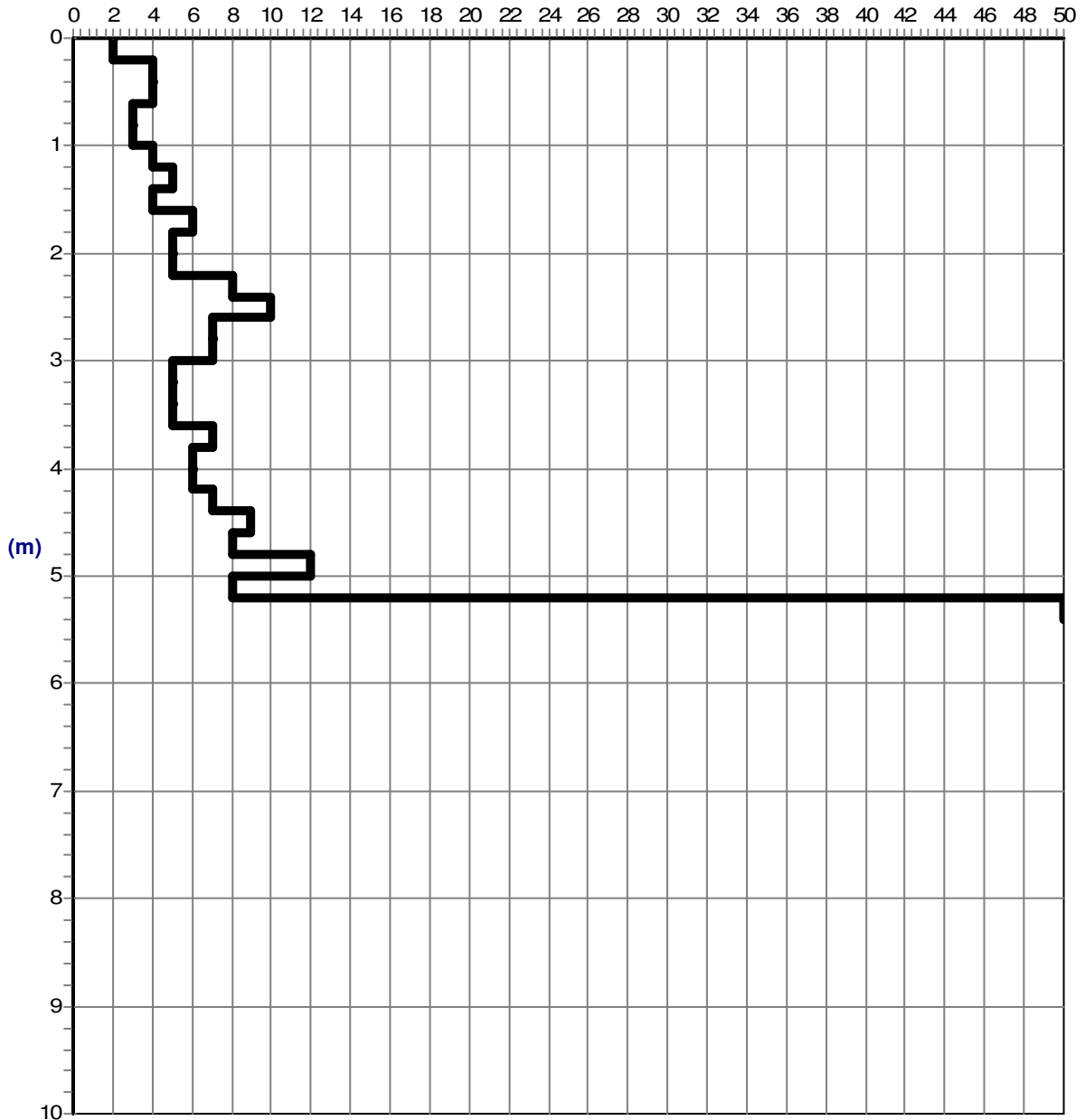
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 5

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

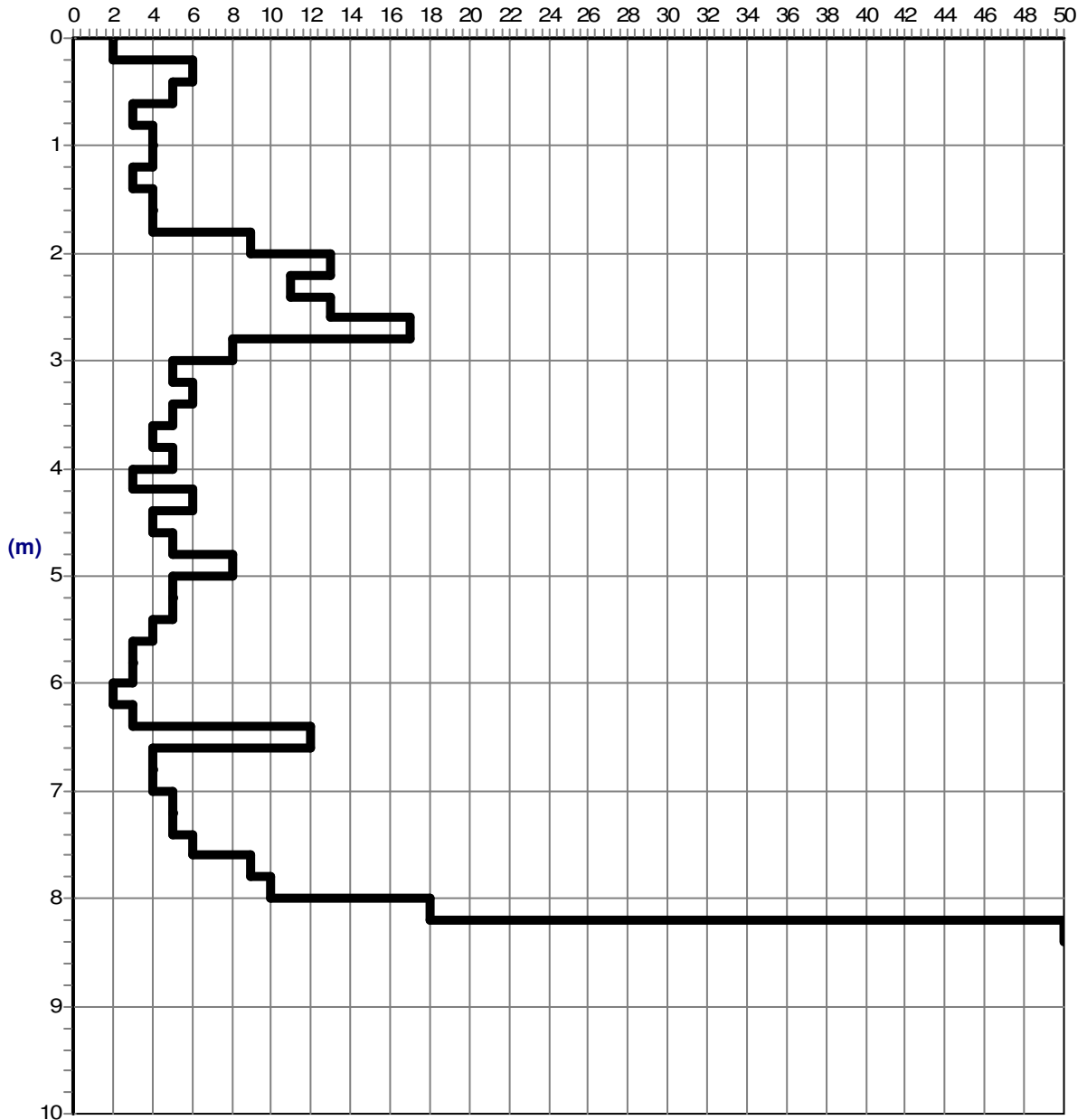
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 6

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

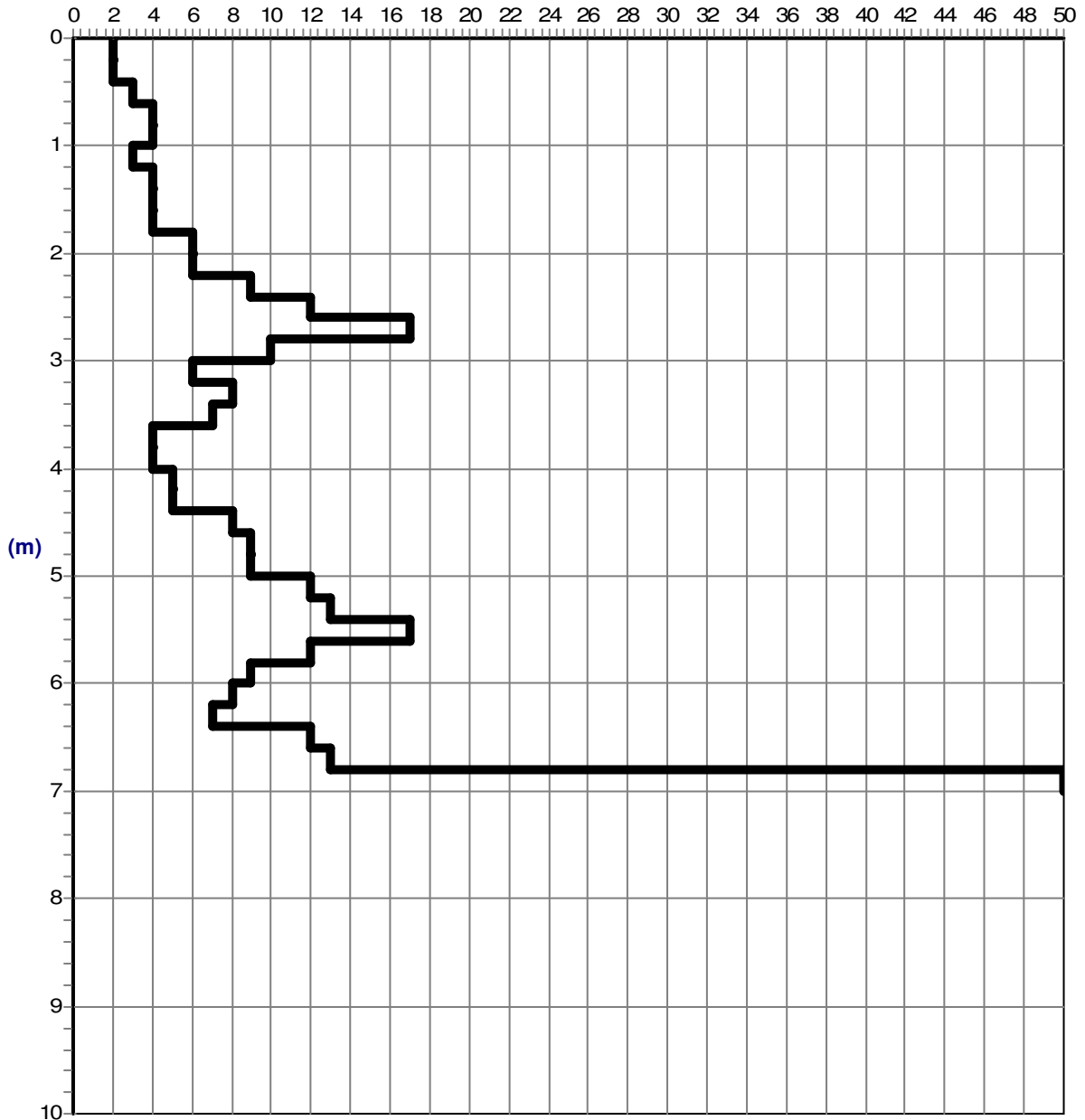
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 7

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

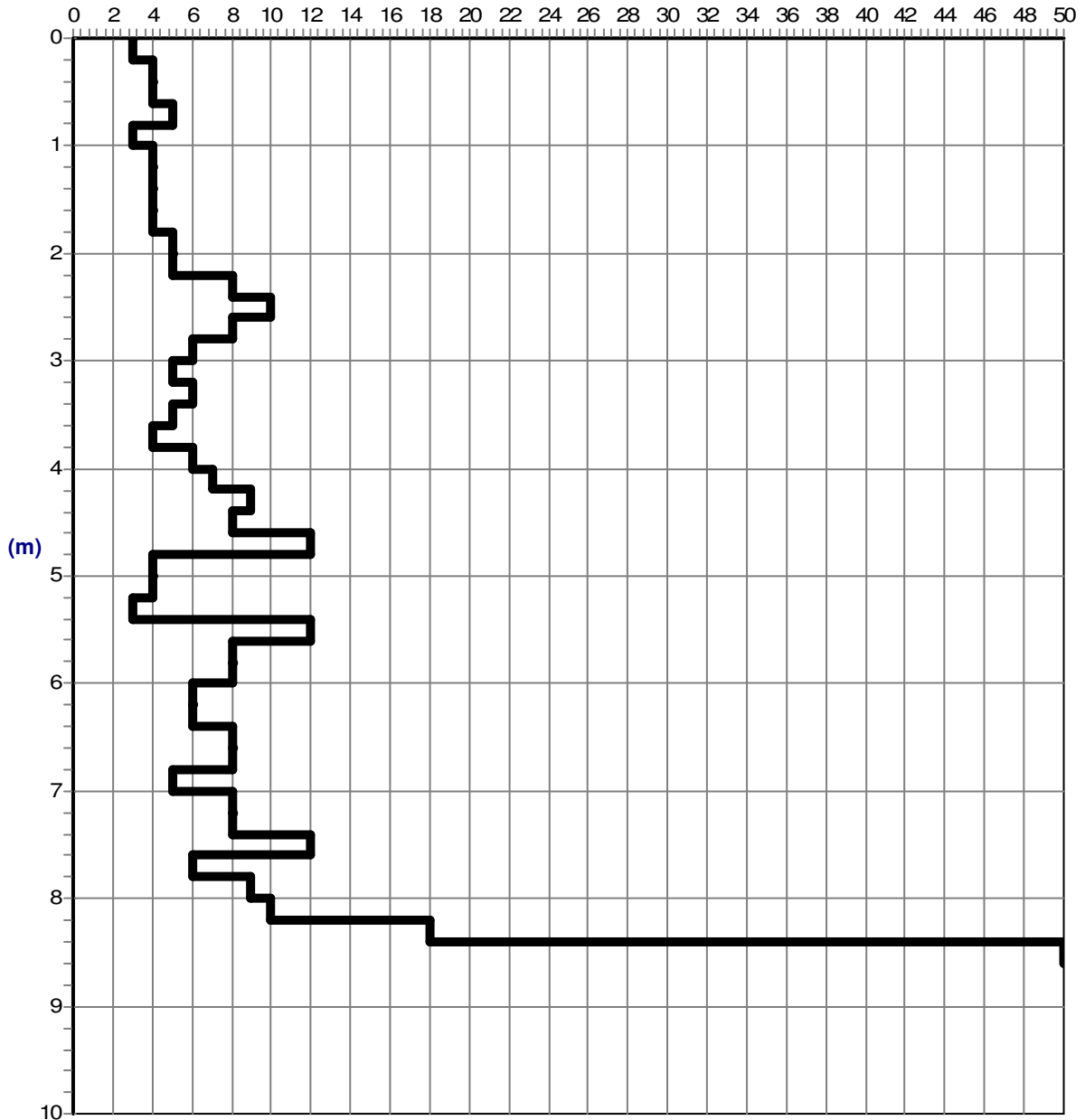
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 8

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

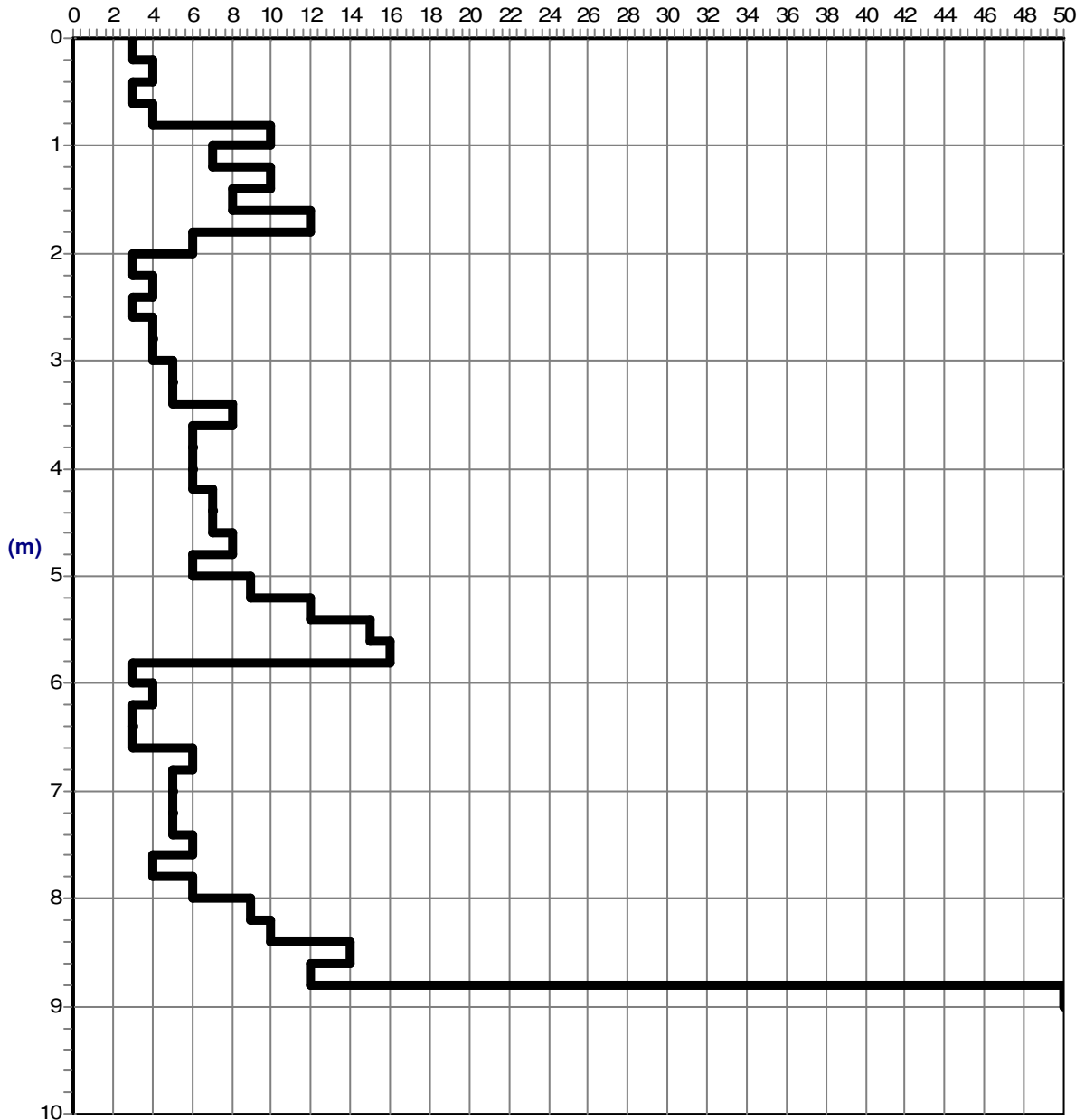
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 9

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

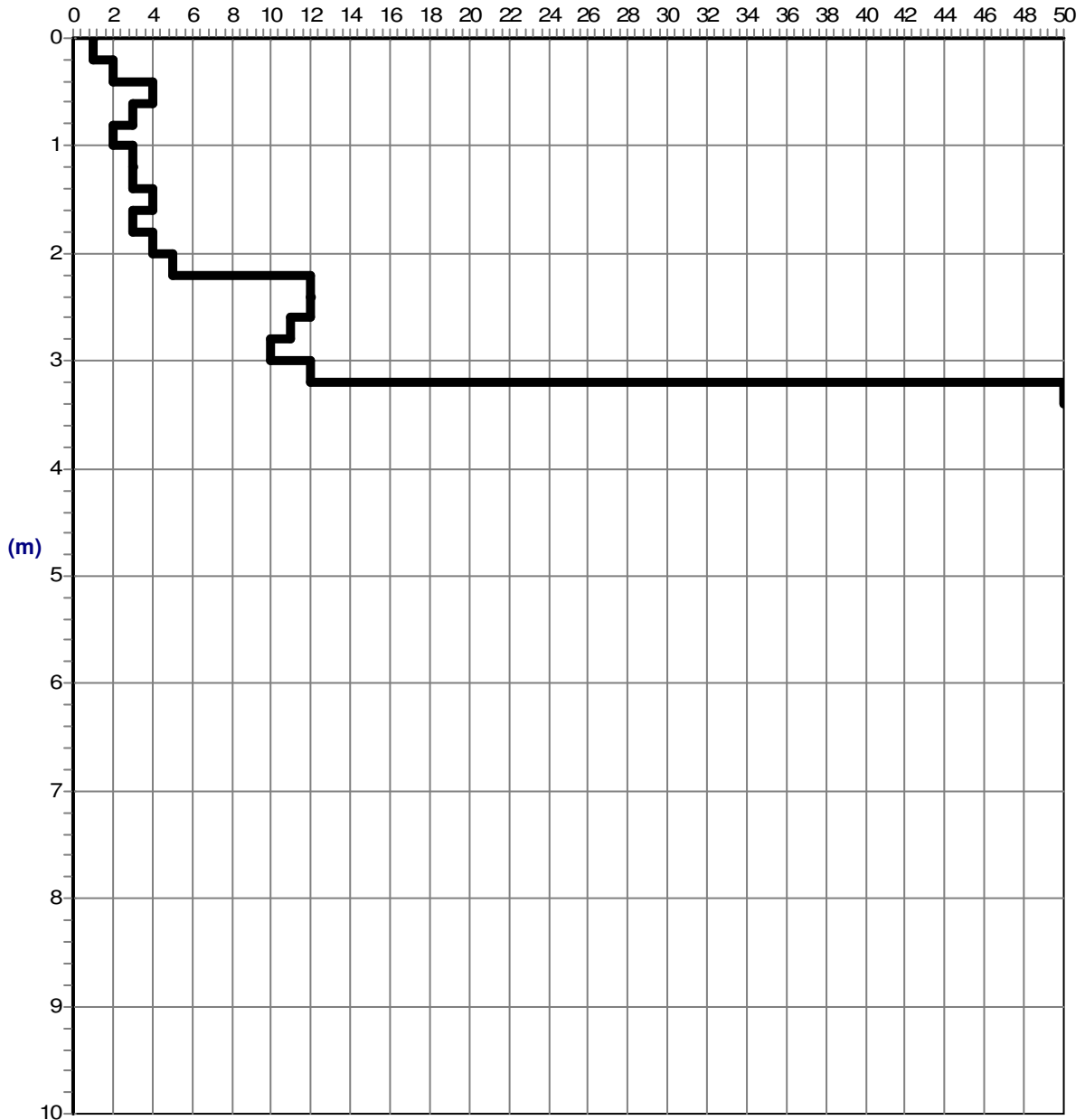
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 10

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

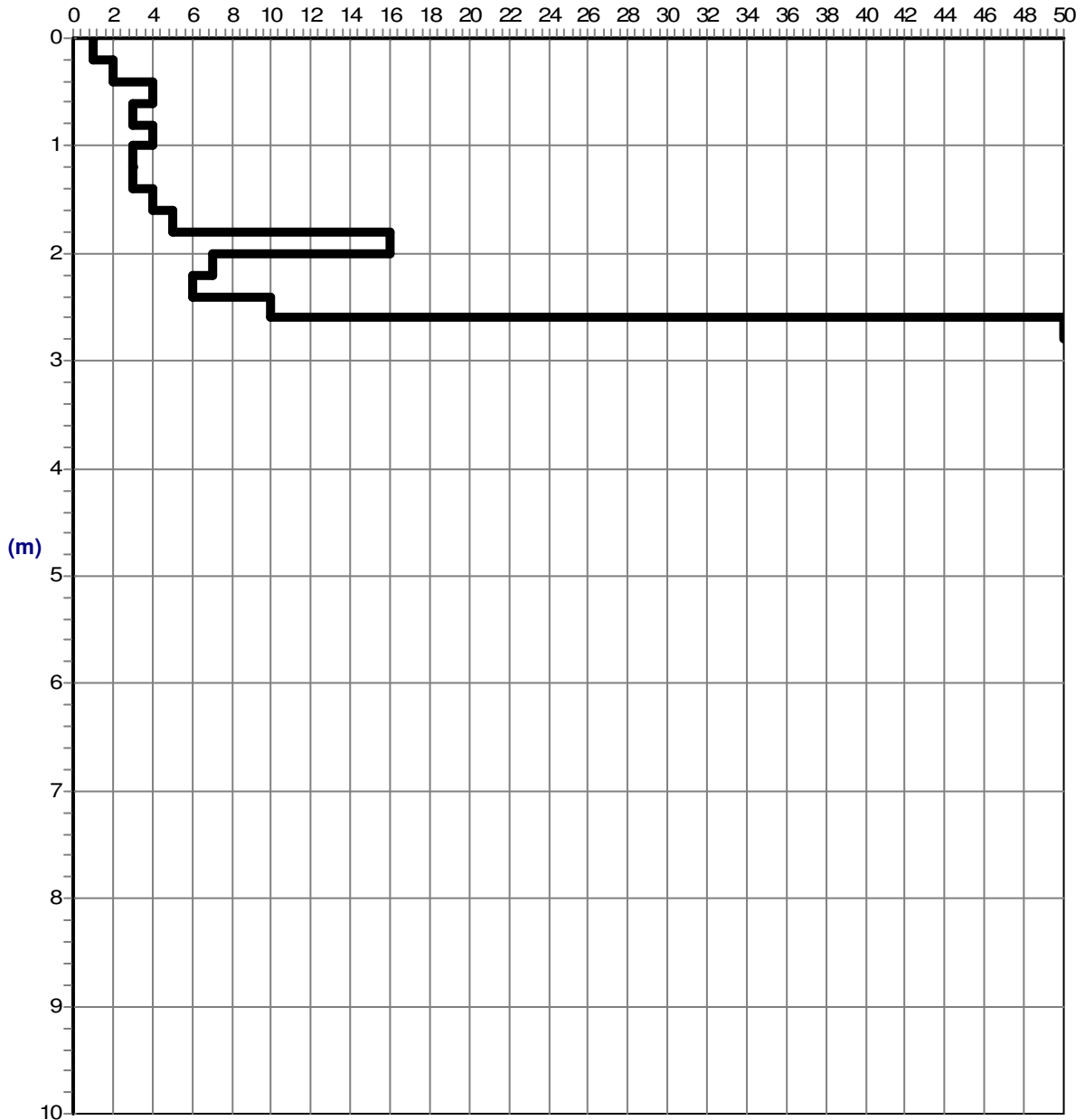
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 11

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

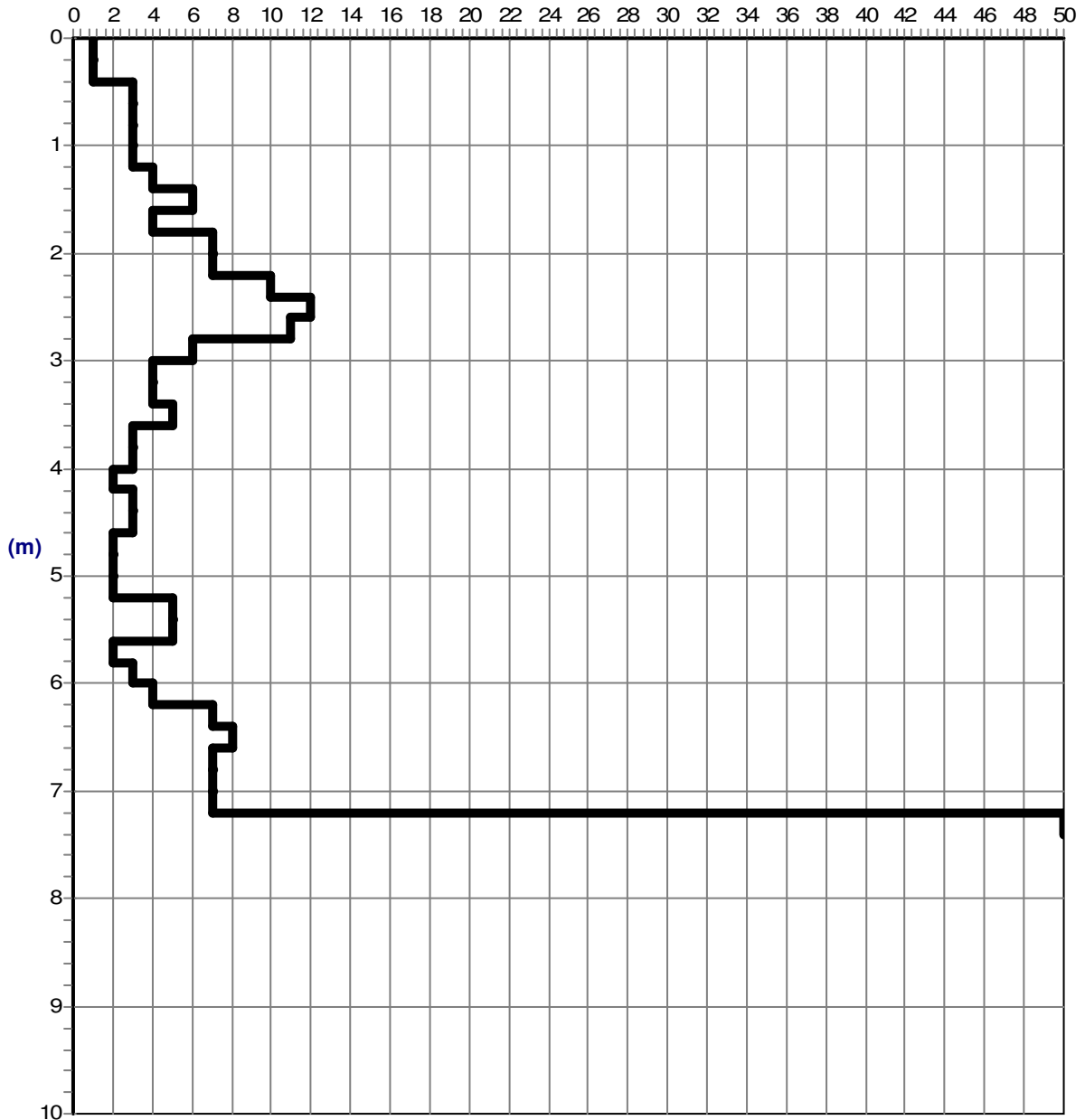
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 12

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Assente



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

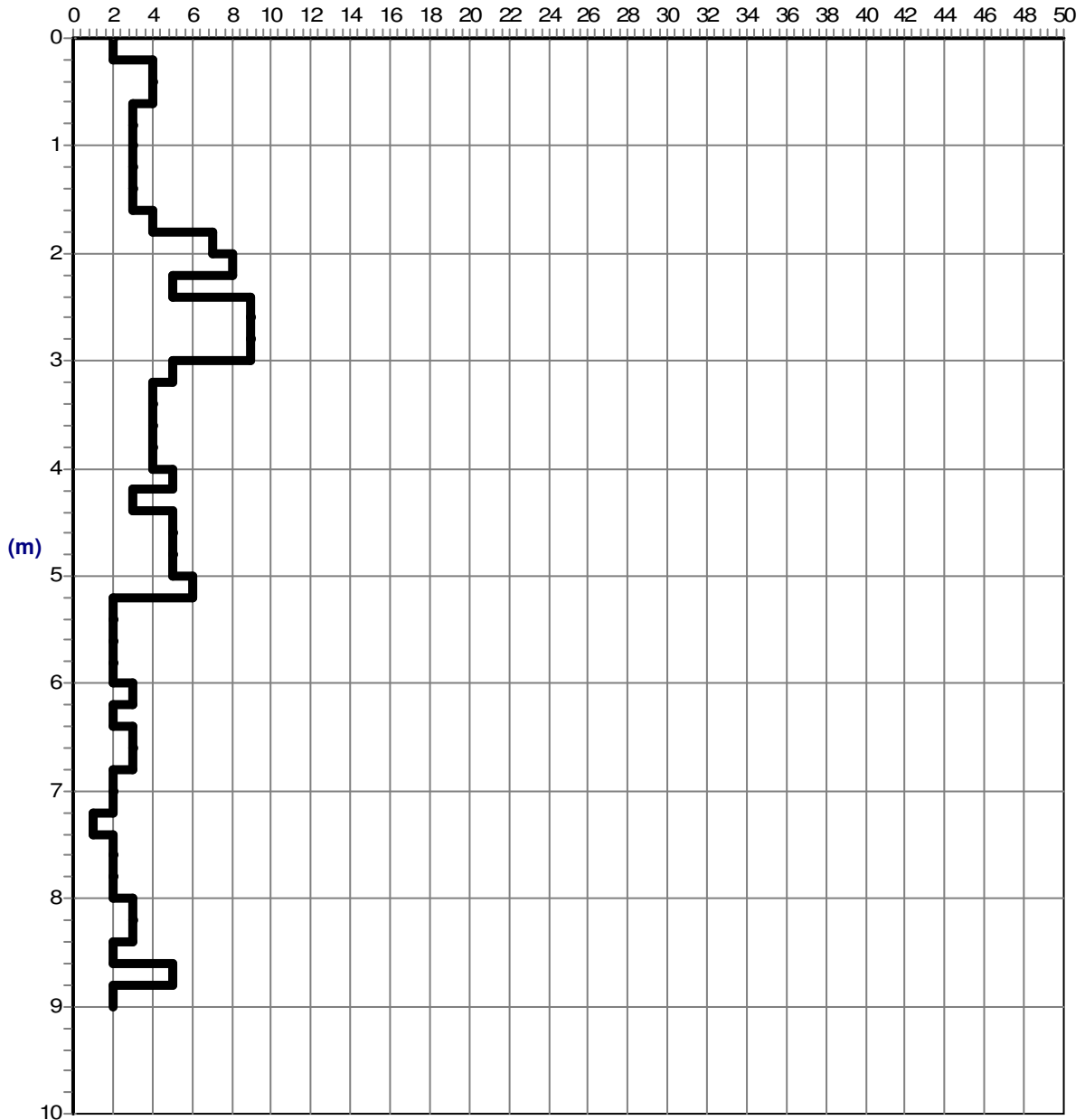
Attrezzatura: DPHS Penni 63

Sigla cantiere:

Prova 13

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 6,4



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

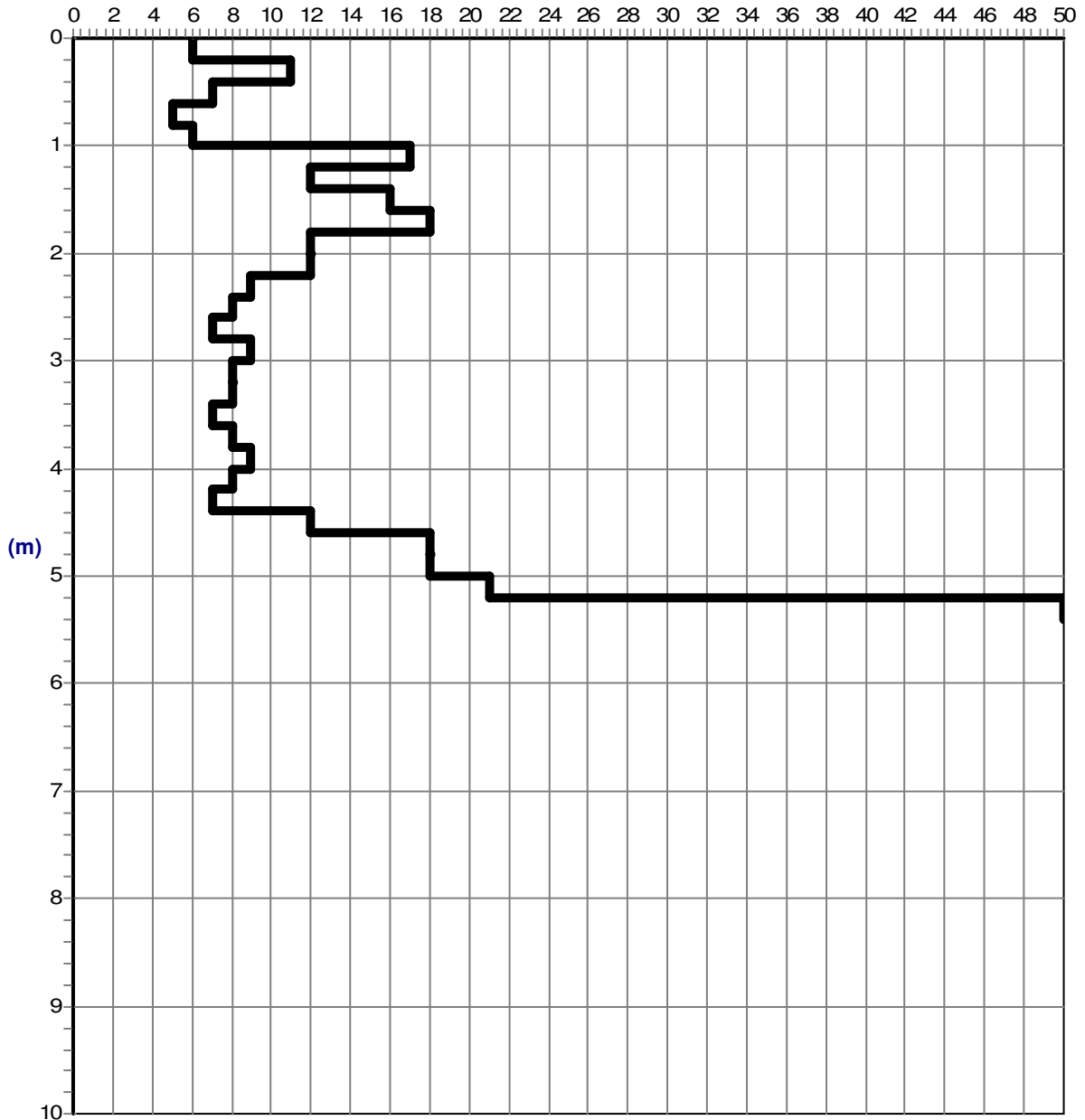
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 14

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 6,4



Colpi punta

Committente:

Località: Parco ovest, Bergamo

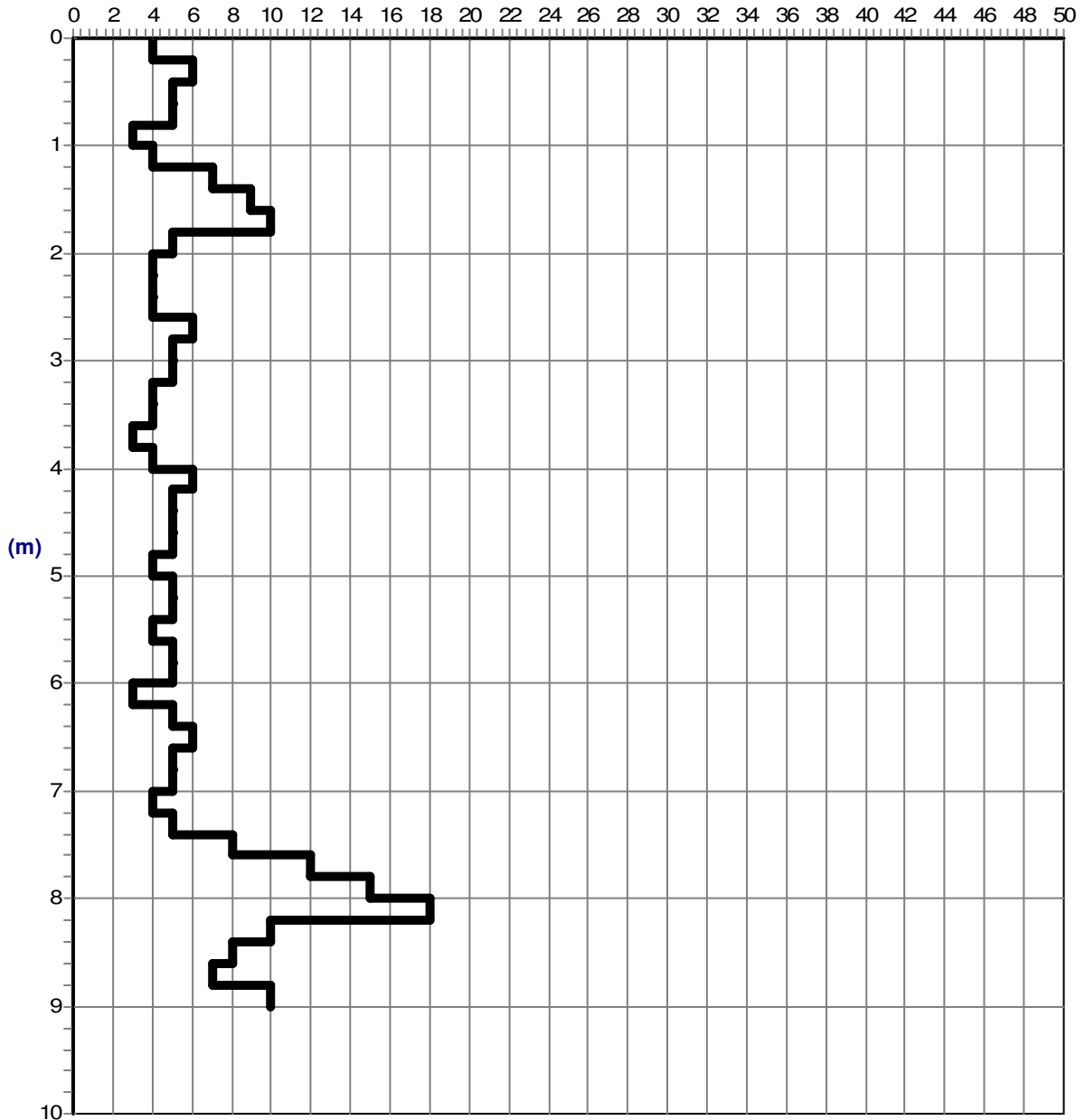
Sigla cantiere:

Attrezzatura: DPHS Penni 63

Prova 15

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): 6,4



Colpi punta

Hattusas s.r.l.
 Roma 35
 Tagliuno (Castelli Calepio, Bg)
 0354425112
 info@hattusas.it

Committente:
 Località: Bergamo- Parco Ovest
 Scala 1:100
 Attrezzatura: Sonda
 Lunghezza perforazione (m): 20,0

Data inizio/fine: Aprile 2009 Sigla: S1
 Quota dal p.c.(m):

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	S.P.T.
0,50	0,50		Terreno di riporto	
1,70	1,70		Limi argillosi color nocciola con rare ghiaie a spigoli vivi	
0,10	2,30		Trovante	
0,70	3,00		Ghiaie e ciottoli in abbondante matrice limo-argillosa marrone	3,0 5 - 5 - 9
1,00	4,00		Limi sabbiosi con ghiaie in matrice	
0,60	4,60		Limi sabbiose con rare ghiaie a spigoli vivi	
0,40	5,00		Limi sabbiosi con ghiaie in matrice	
1,00	6,00		Limi sabbiosi con rare ghiaie a spigoli vivi	6,0 2 - 1 - 1
0,30	6,30		Ghiaie e ciottoli in abbondante matrice limoso-sabbiosa marrone	
1,30	7,60		Limi sabbiosi con rare ghiaie a spigoli vivi e rari ciottoli	
3,40	11,00		Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa	9,0 17 - 19 - 23
0,40	11,40		Limi argillosi color nocciola	
1,60	13,00		Limi e argille color marrone con ghiaie a spigoli vivi in matrice	12,0 3 - 9 - 10
2,00	15,00		Limi e argille brune	
2,80	17,80		Limi e argille con ghiaie e ciottoli in matrice	15,0 9 - 10 - 14
0,70	18,50		Ghiaie a spigoli vivi e ciottoli in matrice limoso-argillosa	18,0 13 - 15 - 14
0,20	18,70		Trovante	
0,50	19,20		Ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa	
0,40	19,60			
0,40	20,00			

Hattusas s.r.l.
 Roma 35
 Tagliuno (Castelli Calepio, Bg)
 0354425112
 info@hattusas.it

Committente:
 Località: Bergamo - Parco Ovest
 Scala 1:100
 Attrezzatura: Sonda
 Lunghezza perforazione (m): 20,0

Data inizio/fine: Aprile 2009 Sigla: S2
 Quota dal p.c.(m):

Spessore (m) Profondità (m) Stratigrafia	DESCRIZIONE	S.P.T.
0,80 0,80 0,20 1,00	Terreno di riporto con ghiaie centimetriche, ciottoli e trovanti	
1,00	Ghiaie in matrice argillosa bruna	
2,00	Argille brune	
0,60 2,60 0,10 2,70	Ghiaie centimetriche in abbondante matrice argillosa bruna	
3,00	Trovante	3,0 6 - 16 - 7
2,30	Limi sabbiosi con ghiaie centimetriche e ciottoli in matrice	
5,00	Ghiaie centimetriche in abbondante matrice limo sabbiosa	
1,50 6,50	Ghiaie pluricentriche e ciottoli arrotondati in matrice limoso-sabbiosa color nocciola	6,0 1 - 3 - 4
3,50	Ghiaie centimetriche e rari ciottoli in matrice limoso-sabbiosa color nocciola	
9,00	Ghiaie centimetriche e rari ciottoli in matrice limoso-sabbiosa color nocciola	9,0 1 - 0 - 0
10,00	Ghiaie centimetriche e rari ciottoli in matrice limoso-sabbiosa color nocciola	
3,00 13,00	Argille brune	
13,50	Ghiaie centimetriche in abbondante matrice limoso argillosa color nocciola	
0,90 14,40	Argille brune	
0,60 15,00	Ghiaie e ciottoli in matrice argillosa	15,0 10 - 13 - 16
0,50 15,50	Argille con ghiaie centimetriche e a spigoli vivi in matrice	
1,00 16,50	Argille rossastre	
1,00 17,50	Ciottolo - trovante	
1,40 19,00	Limi e argille brune con rare ghiaie centimetriche in matrice	
0,70 19,70	Ghiaie in abbondante matrice argille color nocciola	
0,30 20,00		

Hattusas s.r.l.
 Roma 35
 Tagliuno (Castelli Calepio, Bg)
 0354425112
 info@hattusas.it

Committente:
 Località: Bergamo- Parco Ovest
 Scala 1:100
 Attrezzatura: Sonda
 Lunghezza perforazione (m): 20,0

Data inizio/fine: Aprile 2009 Sigla: S3
 Quota dal p.c.(m):

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	S.P.T.
0,80	0,80		Terreno di riporto con ghiaie e ciottoli	
1,20	2,00		Argille rossastre con rare ghiaie in matrice	
1,00	3,00		Limi sabbiosi con ghiaie centimetriche	
0,60	3,60		Limi argillosi color marrone	3,0 9 - 8 - 7
0,50	4,10		Ciottolo, trovante	
0,40	4,50		Limi argillosi marroni	
0,60	5,10		Limi argillosi con ciottoli arrotondati	
0,80	5,90		Limi argillosi	
0,80	6,70		Limi argillosi con ghiaie centimetriche a spigoli vivi in matrice	6,0 12 - 22 - 36
3,00	9,70		Ghiaie centimetriche e ciottoli in matrice limo argillosa color nocciola	
1,00	10,70		Ghiaie pluricentimetriche e ciottoli in matrice limo argillosa	9,0 40 - R
1,00	11,70		Ghiaie centimetriche e rari ciottoli in abbondante matrice limo-argillosa color nocciola	
0,30	12,00		Limi argillosi color nocciola con ghiaie centimetriche e spigolose in matrice	
0,20	12,20		Trovante	
1,60	13,80		Ghiaie centimetriche e a spigoli vivi in abbondante matrice limo-argillosa	13,5 7 - 9 - 13
1,40	15,20		Argille rosse	
1,50	16,70		Limi argillosi rossastre con ghiaie profondamente alterate in matrice	15,0 10 - 12 - 9
2,40	19,10		Argille rosse con rare ghiaie spigolose e alterate in matrice	
0,10	19,20		Ciottolo , trovante	
2,50	21,70		Limi argillosi color nocciola debolmente sabbiosi con ghiaie spigolose e alterate in matrice	
20,00	20,00			

Hattusas s.r.l.

Roma 35
 Tagliuno (Castelli Calepio, Bg)
 0354425112
 info@hattusas.it

Committente:

Località: Bergamo - Parco Ovest

Scala 1:100

Attrezzatura: Sonda

Lunghezza perforazione (m): 20,0

Data inizio/fine: Aprile 2009

Sigla: S4

Quota dal p.c.(m):

Spessore (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	S.P.T.
0,90	0,10		Coltre superficiale	
1,00	1,00		Limi color nocciola con ghiaie arrotondate in matrice; laterizi	
1,20	1,20		Limi bruni con rare ghiaie centimetriche in matrice	
1,20	2,20		Limi argillosi compatti	3,0 2 - 2 - 4
0,80	3,40		Argille brune	
0,40	4,20		Limi sabbiosi	
1,40	4,60		Argille brune compatte	
0,80	6,00		Limi sabbiosi con ghiaie spigolose pluricentriche in matrice	6,0 3 - 5 - 6
1,40	7,00		Argille compatte color nocciola	
0,60	8,40		Limi sabbiosi con rare ghiaie centimetriche in matrice	9,0 8 - 13 - 16
0,70	9,00		Limi e argille con rari ciottoli in matrice	
0,80	9,70		Argille brune con rare ghiaie pluricentriche in matrice	
0,30	10,50		Limi sabbiosi color nocciola	
0,60	10,80		Argille compatte con ghiaie spigolose in matrice	12,0 10 - 12 - 12
0,70	11,40		Limi sabbiosi color nocciola con rare ghiaie centimetriche in matrice	
1,20	12,20		Limi argillosi con rari ciottoli in matrice	
0,70	13,80		Argille brune	
0,70	14,20		Limi sabbiosi color nocciola con rare ghiaie in matrice	15,0 7 - 1 - 4
1,50	14,90		Argille brune compatte	
1,50	15,90		Argille brune compatte con ciottoli	
1,50	16,50		Limi sabbiosi color nocciola	
1,50	18,00		Argille rosse con ciottoli arrotondati in matrice	
1,00	18,00		Limi sabbiosi color nocciola	
0,50	19,00		Argille brune	
0,50	19,50		Argille brune con ciottoli	
0,50	20,00			

ALLEGATO FOTOGRAFICO

Sondaggio N°1



Fig. 1: Campione estratto 0-5 metri



Fig. 2: Campione estratto 5- 10 metri



Fig. 3: Campione estratto 10 - 15 metri



Fig. 4: Campione estratto 15 - 20 metri

Sondaggio N°2



Fig. 5: Campione estratto 0-5 metri



Fig. 6: Campione estratto 5 - 10 metri



Fig. 7: Campione estratto 10 - 15 metri



Fig. 8: Campione estratto 15 - 20 metri

Sondaggio N°3



Fig. 9: Campione estratto 0 - 5 metri



Fig. 10: Campione estratto 5 - 10 metri



Fig. 11: Campioni estratto 10 - 15 metri



COMMITTENTE:
CANTIERE: BERGAMO - PARCO OVEST
SONDAGGIO: S3
PROFONDITA': 15-20
BOX: 4

Fig. 12: Campione estratto 15 - 20 metri

Sondaggio N°4



Fig. 13: Campione estratto metri 0 - 5 metri



Fig. 14: Campione estratto 5 - 10 metri



Fig. 15: Campione estratto 10 - 15 metri



Fig. 16: Campione estratto 15 - 20 metri

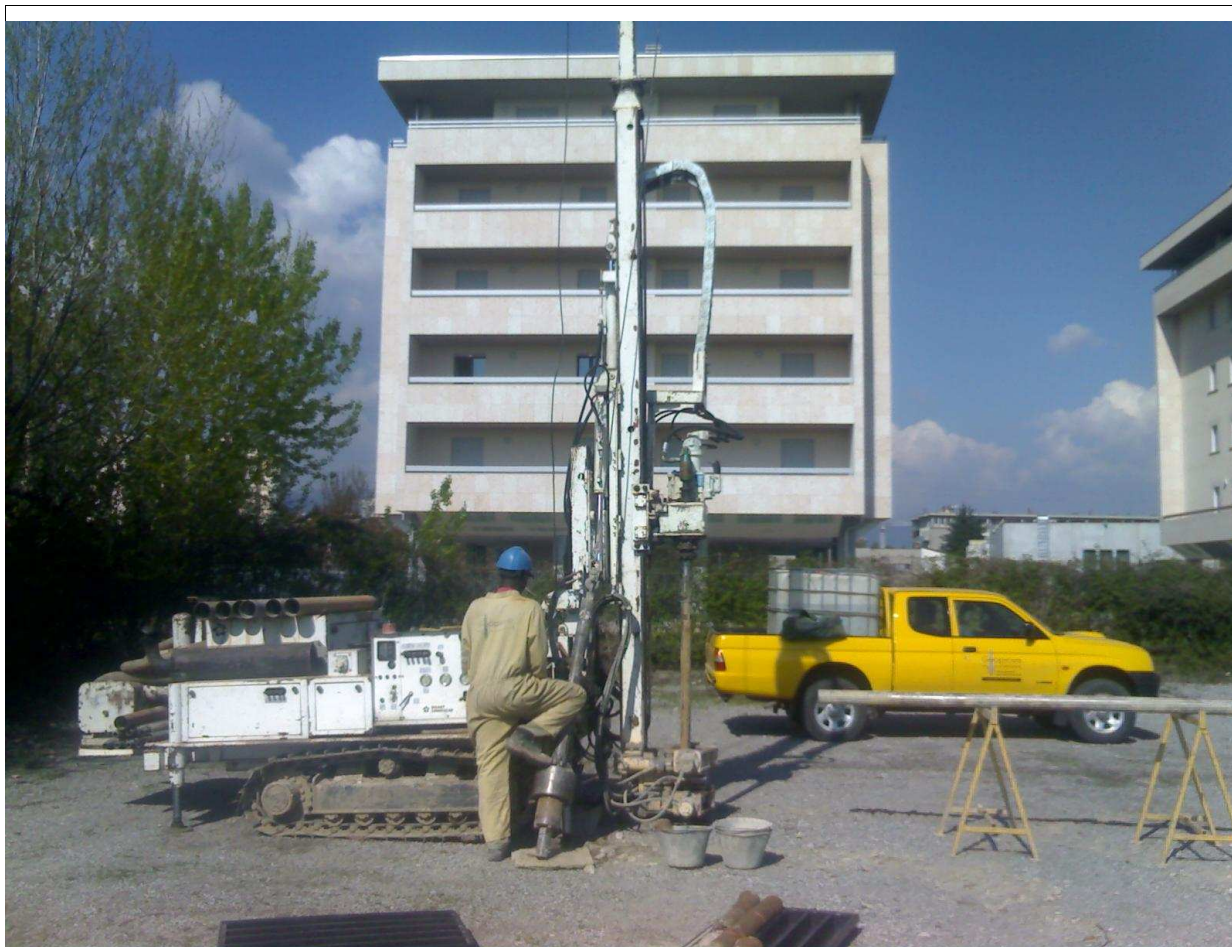


Fig. 17: Esecuzione sondaggio N°1



Fig. 18: Spt in foro di sondaggio N°1



Fig. 19: Esecuzione down-hole in foro di sondaggio n°2



Fig. 20: Esecuzione sismica a rifrazione (area palestra)

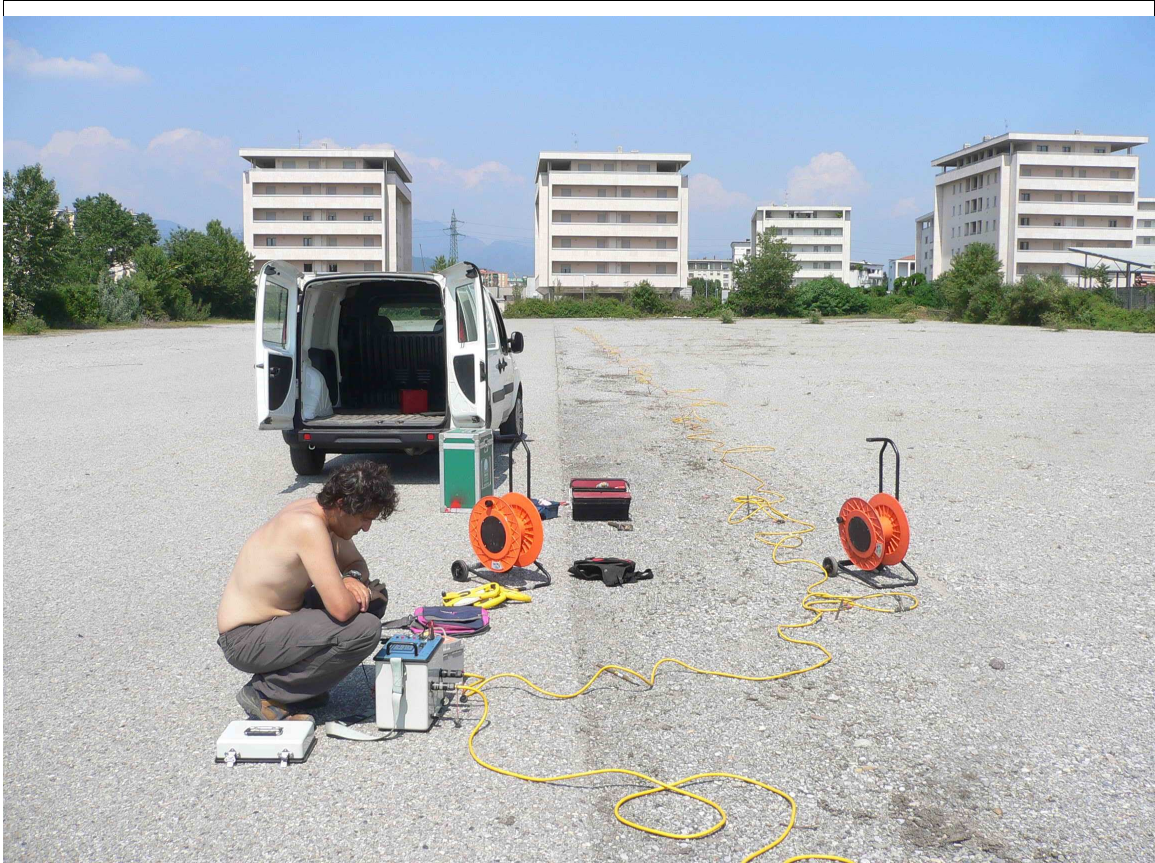


Fig. 21: Esecuzione profilo tomografia elettrica



Fig. 22: Esecuzione prove penetrometriche

UBICAZIONE INDAGINI



LEGENDA

- S1 Sondaggio geognostico
- 1 Prova penetrometrica
- Profilo sismica

- Dw Down-hole in foro di sondaggio
- Profilo tomografia elettrica

RISULTATI INDAGINI



LEGENDA



Settore Nord

Argilla	
N° colpi medi	5
angolo d'attrito	-
Gamma	1,64 t/m ³
Mod. Edom. inc.	-

Ghiaia in matrice limo-argillosa	
N° colpi medi	12
angolo d'attrito	28°
Gamma	1,82 t/m ³
Mod. Edom. inc.	85

Risultati indagine	
Q. amm a -1 mt dal p.c.	0,7 Kq/cm ²
Q. amm a -3 mt dal p.c.	1 Kq/cm ²
Classificazione sismica	C



Settore Sud

Argilla	
N° colpi medi	6
angolo d'attrito	-
Gamma	1,8 t/m ³
Mod. Edom. inc.	-

Ghiaia in matrice limo-argillosa	
N° colpi medi	15
angolo d'attrito	30°
Gamma	1,94 t/m ³
Mod. Edom. inc.	107

Risultati indagine	
Q. amm a -1 mt dal p.c.	1 Kq/cm ²
Q. amm a -3 mt dal p.c.	1 Kq/cm ²
Q. amm a -6 mt dal p.c.	1 Kq/cm ²
Classificazione sismica	C

Classificazione sismica



LEGENDA



Classe sismica B



Classe sismica C



Comune di Bergamo

**INDAGINE GEOFISICA
PROVA DOWN HOLE E MICROZONAZIONE
LOCALE**
"Parco Ovest"

Maggio 2009

CIS GEOFISICA s.r.l.

Sede legale: Viale Cadorna, 5 – 21052 Busto Arsizio (Va)

Cell. +39 348-2531683 - Fax 02-700520970

Sede operativa di Piacenza Via Borghetto 80 29100
Tel +39 0523-385447 - Cell. +39 348-8949828 - Fax 02-700516377

email: info@cis-geofisica.it

www.cis-geofisica.it

INDICE

1 – PREMESSA.....	2
2 – INDAGINI EFFETTUATE.....	2
3 – indagini di caratterizzazione sismica - (basate sulla propagazione di onde rifratte SH).....	3
4.1 – ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI.....	5
4 - METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE.....	7
4.1 Interpretazione down hole con il metodo diretto.....	8
4.2 Interpretazione down hole con il metodo INTERVALLO.....	10
5 - STRUMENTAZIONE ed ELABORAZIONE DEI DATI.....	11
6 - RISULTATI.....	12

ALLEGATI

1	Ubicazione delle indagini
2	Interpretazione sezione in onde S

tabelle moduli e velocità

1 – PREMESSA

Il giorno 29 aprile 2009 sono state eseguite nel Parco Ovest in Comune di Bergamo, su incarico della società Hattusas s.r.l., delle indagini geofisiche per valutare la risposta sismica del suolo oggetto di studio ai fini di una corretta ricostruzione dei parametri meccanici ed elastici del terreno.

A tale fine, le indagini geofisiche realizzate si sono avvalse di prove di caratterizzazione basate sulla propagazione di onde sismiche rifratte P ed SH misurate in foro di sondaggio appositamente predisposto.

Inoltre è stata interpretata una sezione acquisita in superficie realizzata per valutare la risposta sismica del suolo oggetto di studio ai fini di una corretta microzonazione locale.

Gli andamenti rilevati sono visibili sugli elaborati grafici allegati. Nella presente relazione vengono riportati i risultati ottenuti dalla indagini eseguite.

2 – INDAGINI EFFETTUATE

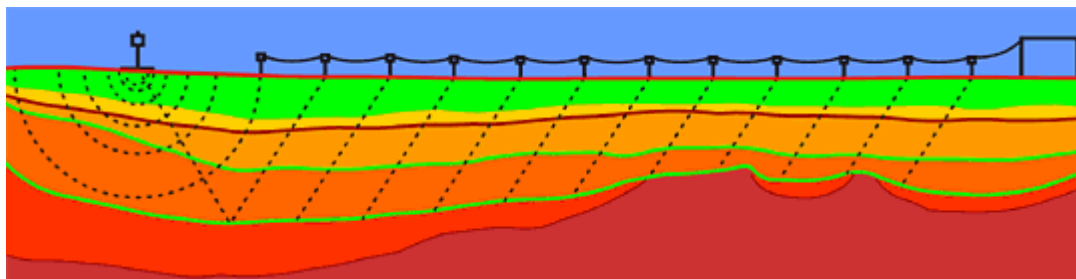
L'ubicazione delle indagini è legata alle caratteristiche dell'intervento in progetto.

Di seguito il dettaglio della prova eseguita nel foro di sondaggio:

Nome sezione	lunghezza (m)	passo geofoni	nr. Geofoni
DH1	20	2	3
S1	115	5	24

3 – INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA - (BASATE SULLA PROPAGAZIONE DI ONDE RIFRATTE SH)

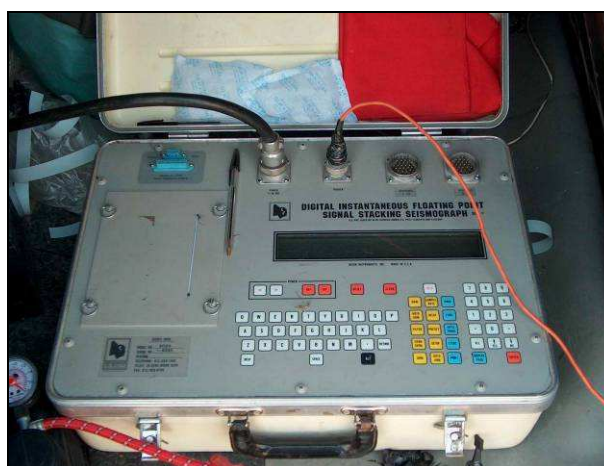
Queste indagini geosismiche hanno lo scopo di caratterizzare in modo dinamico, tramite la misura delle onde di taglio (V_{sh}), i litotipi presenti nell'area d'interesse e definirne la geometria di sviluppo nel sottosuolo.



Tale metodologia trova il miglior campo di applicazione per profondità di studio inferiori ai 30-40 metri da p.c. E' necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità di V_p e V_s progressivamente crescenti con la profondità, infatti, come è noto, il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità delle onde P e SH minori sottostanti a strati con velocità più elevate.

L'indagine consiste nel creare delle onde sismiche artificiali sulla superficie del terreno da investigare e registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prestabilite mediante geofoni a prevalente componente orizzontale.

E' importante precisare che le onde SH dirette e rifratte costituiscono sempre il primo arrivo rispetto alle onde superficiali (onde di Love) e che per brevi stendimenti risultano sufficientemente forti da poter essere registrate. Inoltre, con questa metodologia di studio non esistono le limitazioni connesse con l'orizzontalità degli strati proprie delle tecniche utilizzando le onde superficiali.



Sismografo Bison 9024 DIFP

Il sistema sorgente utilizzato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali sia di tipo Vp che Vsh.

Per la ricezione dei segnali sono stati utilizzati dei geofoni orizzontali per le onde Sh a frequenza propria 4,5 Hz.

la strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- Sismografo Bison 9024 (DIFP) che consente la rappresentazione degli impulsi sismici mediante stampa su carta termica e visualizzazione su PC tramite un apposito programma; le prime onde rifratte vengono registrate simultaneamente su 12 - 24 geofoni e risulta possibile sommare fra loro successivi impulsi sismici migliorando il rapporto fra segnale e rumore;
- geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, e relativo cavo di collegamento a 24 fili;
- Minibang, mazza e coppia a pendolo



Geofono elettromagnetico

4.1 – ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI

La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti.

- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione tradizionale basato sull'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e degli spari nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.

- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascun strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è una utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque risultano discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di sparo e di ciascun geofono, leggibile dal programma di iterazione tomografica e di ray-tracing (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).
- Emissione del modello bidimensionale del terreno ricavato dalla procedura GRM sotto forma di una matrice a celle di dimensione definibile (inferiori al metro), adatta ad essere letta dal programma di ray-tracing e di elaborazione tomografica. L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.
- Il file contenente le ubicazioni e le quote viene letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di ray-tracing e di controllo viene attivata.
- Per prima cosa viene controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e degli spari e quindi vengono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo "fitting" con i dati misurati, allo scopo di iniziare la procedura tomografica senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.
- Lo scopo della procedura iterativa tomografica è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate. Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore al quale è possibile intervenire nella

scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.

- Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.
- Questa matrice viene visualizzata tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, se ritenuto necessario, diversi colori per diverse velocità .

4 - METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE

Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità.

Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa foro, e la registrazione avviene in foro grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità via via crescenti

Le onde sismiche possono essere generate energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale. Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente.



Le onde di taglio hanno velocità inferiori a quelle compressive e quindi raggiungeranno la terna geofonica quando già il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva e l'energia dell'onda trasversale a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale.

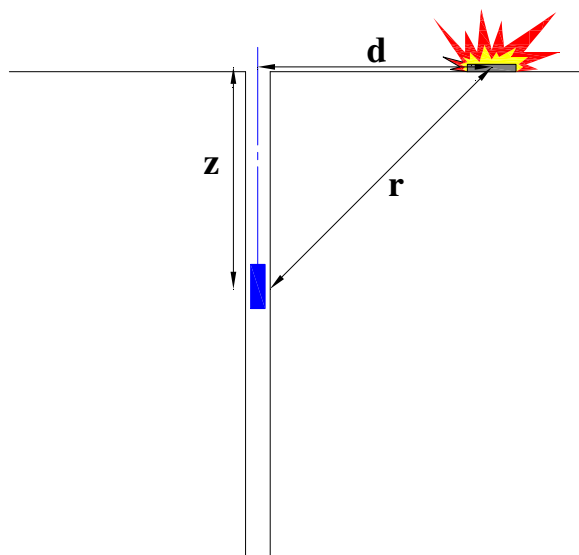
La misura dei primi arrivi sismici deve essere realizzata con precisione e un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'impulso dato al terreno e l'inizio della registrazione al sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro. La forma d'onda prodotta da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le quote di misura nel foro. In particolare vengono raggruppate in un unico sismogramma le forme d'onda relative al geofono verticale e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali. Poichè i geofoni orizzontali sono due e il sismogramma uno solo è necessario che le forme d'onda vengano fra loro composte secondo un certo angolo che viene opportunamente

modificato dal programma di interpretazione a cercare il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio. La progressiva modifica dell'angolo di composizione, accompagnata dalla grafica in tempo reale della forma d'onda composta, consente di individuare quel valore per il quale è minima l'energia dell'onda compressiva e massima quella dell'onda trasversale. Questo valore dell'angolo di composizione, diverso per ciascuna profondità, viene utilizzato per la creazione dell'unico sismogramma delle onde di taglio.

4.1 INTERPRETAZIONE DOWN HOLE CON IL METODO DIRETTO

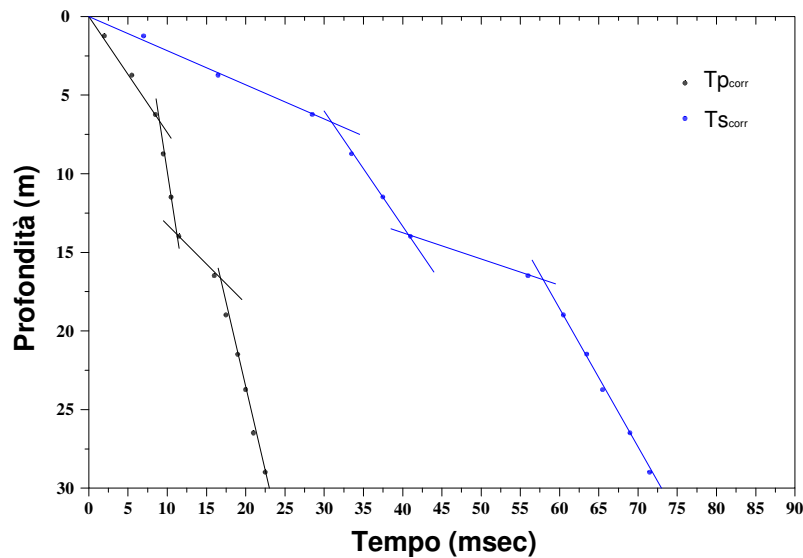
Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.



Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$1.0) t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali .



Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

1) coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

2) modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

3) modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{\text{dmedio}} = \rho V_p^2$$

4) modulo di Young medio:

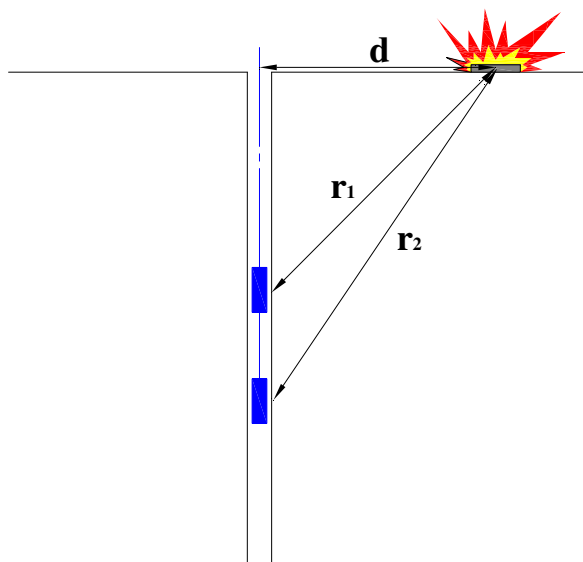
$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

5) modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{\text{vmedio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

4.2 INTERPRETAZIONE DOWN HOLE CON IL METODO INTERVALLO

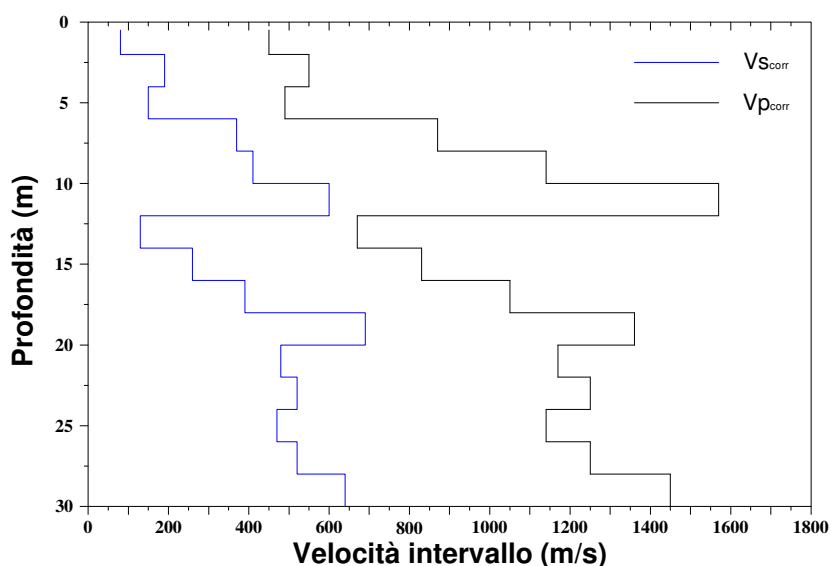
Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (*velocità d'intervallo*).



Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di *pseudo-intervallo*, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico, con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$



Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- a) non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- b) non è applicabile nel caso in cui $t_{2corr} < t_{1corr}$.

Ambedue le procedure d'interpretazione sopra descritte sono comunque suscettibili di una critica fondamentale, cioè si basano sull'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori. Di solito ciò non è esatto, dato che, prima di giungere ai ricevitori, le onde subiscono fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso.

5 - STRUMENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Le acquisizioni sono state eseguite con un sismografo BISON 9024 DFP collegato a un geofono tridimensionale ancorato alle pareti del foro grazie ad un dispositivo pneumatico.

L'energizzazione è avvenuta a testa foro su un apposito asse ancorato al terreno. L'impulso di trigger è stato dato dalla chiusura di un circuito collegato alla mazza battente.

L'elaborazione dei dati è avvenuta con un apposito programma rispettando la seguente procedura di trattamento:

- immissione dei files dei dati in sequenza alle varie profondità;
- estrazione della componente longitudinale della vibrazione sismica dal segnale del geofono verticale;
- composizione per rotazione della componente trasversale della vibrazione sismica a partire dai segnali dei geofoni orizzontali;
- definizione dei tempi di arrivo per le onde longitudinali e trasversali;
- calcolo delle distanze fra i punti di energizzazione e di ricezione;
- compilazione e stampa delle tabelle e plottaggio delle forme d'onda relative alle onde longitudinali e trasversali.

6 - RISULTATI

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
2,5	10	1	2

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	1,00	4,10	11,20
2	3,00	5,90	16,20
3	5,00	7,80	21,80
4	7,00	9,40	27,80
5	9,00	10,90	32,60
6	11,00	12,30	36,80
7	13,00	13,70	40,80
8	15,00	15,00	44,80
9	17,00	16,30	49,00
10	19,00	17,60	53,00

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
2,6926	1,5227	4,1596
3,9051	4,5325	12,4452
5,5902	6,9765	19,4985
7,433	8,8524	26,1804
9,3408	10,5024	31,4107
11,2805	11,9941	35,8849
13,2382	13,4535	40,0659
15,2069	14,7959	44,1905
17,1828	16,1266	48,4786
19,1638	17,4496	52,5471

Sismostrati con metodo diretto

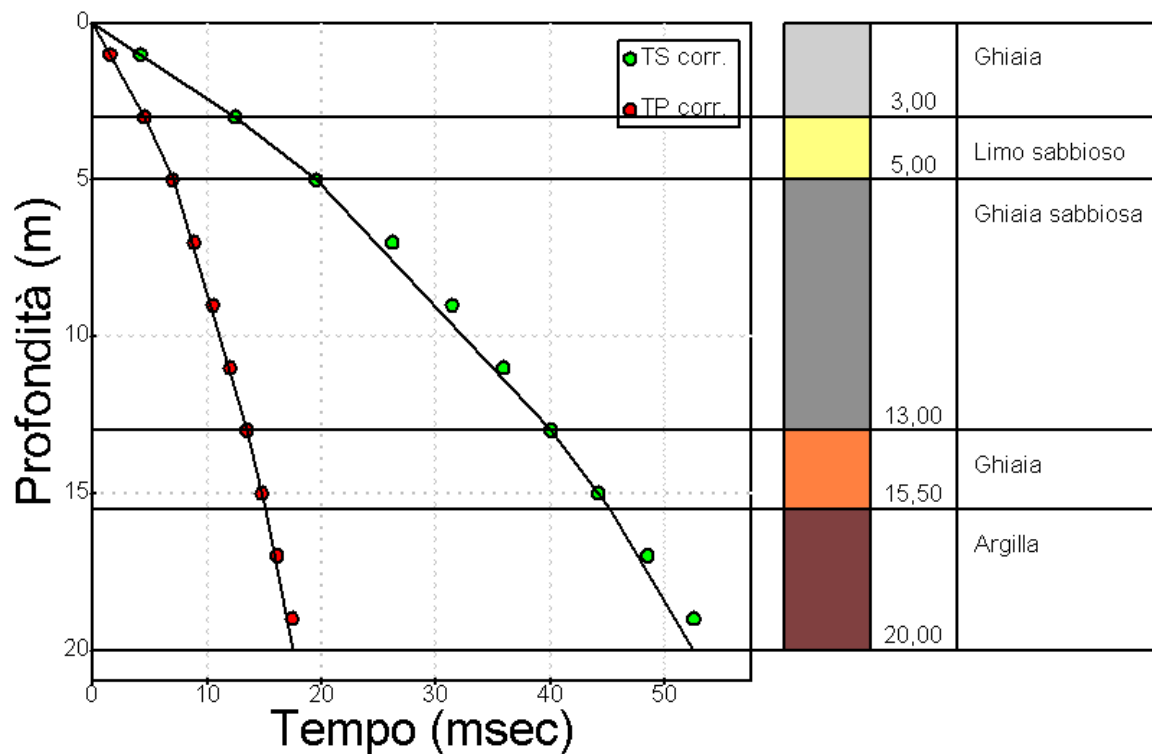
Descrizione (-)	Profondità (m)
Ghiaia	3
Limo sabbioso	5
Ghiaia sabbiosa	13
Ghiaia	15,5
Argilla	20

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
662,25	240,96	19,64	0,42	116,3	878,48	331,16	723,41
816,33	283,69	20,67	0,43	169,62	1404,47	485,55	1178,32
1236,48	388,92	20,52	0,45	316,46	3198,72	914,63	2776,78
1488,1	481,7	22,13	0,44	523,55	4996,61	1509,38	4298,54
1939,66	617,28	22,38	0,44	869,4	8584,16	2510,22	7424,96

coefficiente di Poisson medio ni; modulo di deformazione a taglio medio G; modulo di compressibilità edometrica medio Ed; modulo di Young medio E; modulo di compressibilità volumetrica medio Ev

Dromocrone

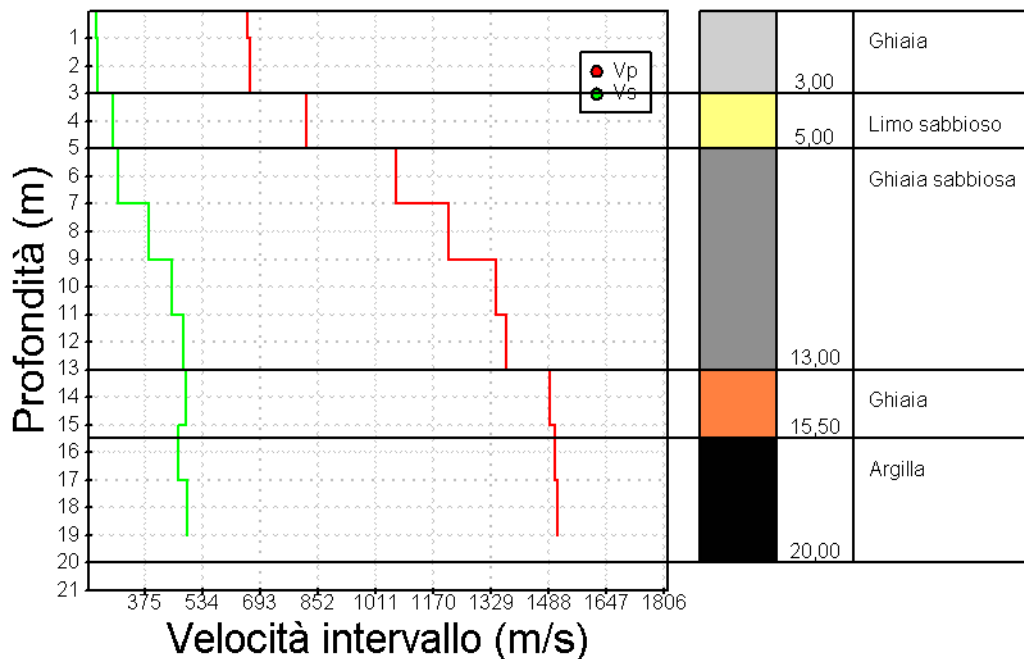


Valori parametri Metodo Pseudo-intervallo

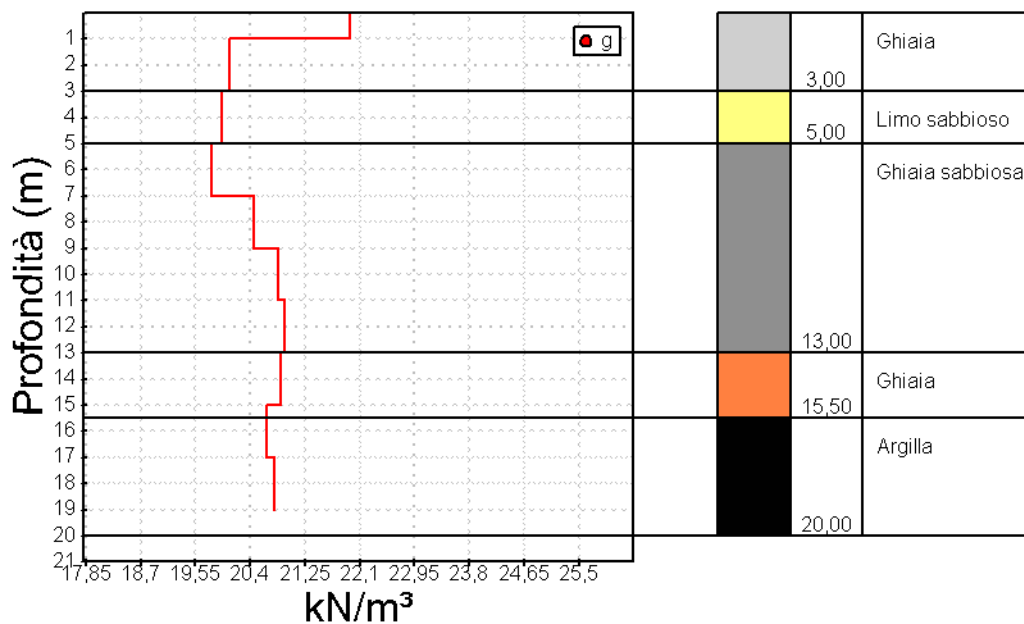
Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
656,73	240,41	21,95	0,4226	129,37	965,36	368,08	792,87
664,50	241,38	20,09	0,424	119,36	904,58	339,94	745,44
818,33	283,56	19,97	0,4318	163,74	1363,69	468,89	1145,37
1066,16	299,32	19,80	0,4572	180,89	2295,04	527,19	2053,85
1212,12	382,39	20,46	0,4447	305,07	3065,32	881,47	2658,56
1340,75	447,01	20,84	0,4375	424,63	3820,08	1220,81	3253,91
1370,43	478,35	20,94	0,4306	488,59	4010,24	1397,95	3358,78
1489,87	484,90	20,88	0,4408	500,63	4726,14	1442,62	4058,64
1502,97	466,41	20,66	0,4467	458,30	4758,94	1326,05	4147,88
1511,72	491,58	20,77	0,4409	511,80	4840,15	1474,91	4157,74

Velocità onde compressive Vp; Velocità onde di taglio Vs; densità g; coefficiente di Poisson ni; modulo di deformazione a taglio G; modulo di compressibilità edometrica Ed; modulo di Young E; modulo di compressibilità volumetrica Ev

Profilo velocità di intervallo

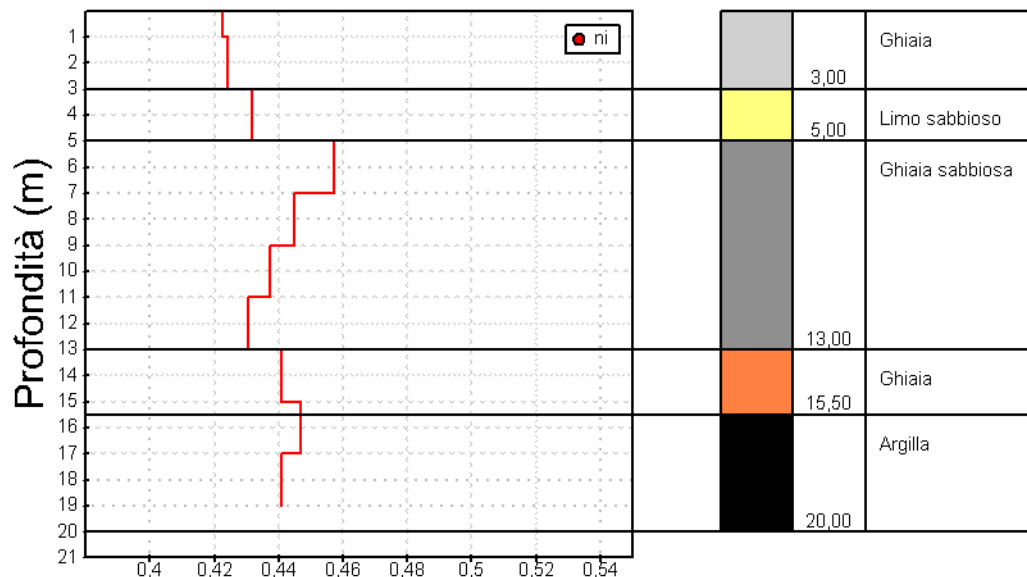


Profilo peso di volume di intervallo

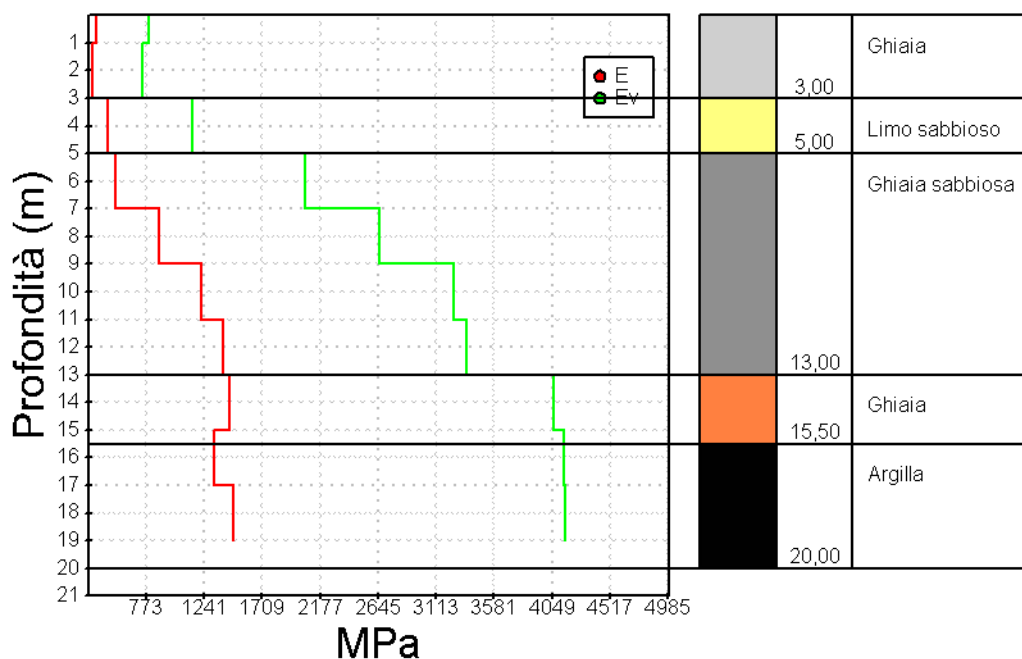


Profilo coefficiente di Poisson di intervallo





Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



Risulta particolarmente affidabile la determinazione diretta della velocità delle onde di taglio che viene calcolata tramite l'applicazione delle classiche metodologie geofisiche (sismica superficiale, metodi SAWS, prove in foro tipo down-hole o cross-hole).

I risultati ottenuti sono dettagliatamente illustrati negli allegati grafici e nella tabella di riferimento.

Le velocità delle onde sismiche longitudinali (V_p) sono influenzate dalla eventuale presenza della falda. Perciò in questi casi i valori delle V_p registrati in falda vengono incrementati grazie alla saturazione dei materiali per cui il rapporto fra velocità delle onde longitudinali e trasversali, i parametri elastici calcolati ed il valore del coefficiente di Poisson, mostrano caratteristiche meccaniche ed elastiche più scadenti della realtà.

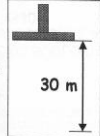
I valori maggiormente attendibili sono riferiti alla velocità delle onde di taglio (V_s) ed al modulo di taglio G che non vengono influenzati dalla saturazione.

Fondamentale importanza riveste l'esecuzione del foro, il posizionamento del rivestimento e, soprattutto, la bontà della cementazione che rende solidale il sistema di prova col terreno circostante.

Le misure effettuate hanno consentito di evidenziare una sostanziale omogeneità dei terreni che compongono il sottosuolo, in accordo coi dati stratigrafici rilevati attraverso il sondaggio geomeccanico in cui è stata eseguita anche la prova geofisica. Il sottosuolo è costituito in prevalenza da ghiaie limoso sabbiose alternate a ghiaie argillose e livelli argillosi e limosi.

Il sondaggio non raggiunge la profondità di 30 metri da p.c. e diviene quindi impossibile calcolare il valore di **Vs30** secondo la formula sotto esplicitata.

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

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


The diagram illustrates a foundation on soil. A horizontal line represents the ground surface, and a vertical line below it represents the foundation. A double-headed arrow indicates a depth of 30 m from the ground surface to the foundation.

Il parametro dei primi 20 metri, a titolo puramente indicativo, raggiunge un valore medio di 380 m/s tipico della categoria B dei suoli di fondazione (valori di velocità maggiori di 360 m/s e minori di 800 m/s) secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03 (tipica di depositi quali sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti).

Mentre per la sezione in onde di taglio acquisita dalla superficie ed interpretata, il valore V_{s30} è stato definito lungo tre punti significativi per valutare ed escludere la presenza di disomogenità geologiche che possano indurre a grosse variazioni laterali di tale parametro. In realtà le velocità sono risultate tutte abbastanza omogenee. Tali variazioni sono imputabili al diverso grado di consistenza dei depositi indagati e non mutano la sostanza del parametro V_{s30} calcolato.

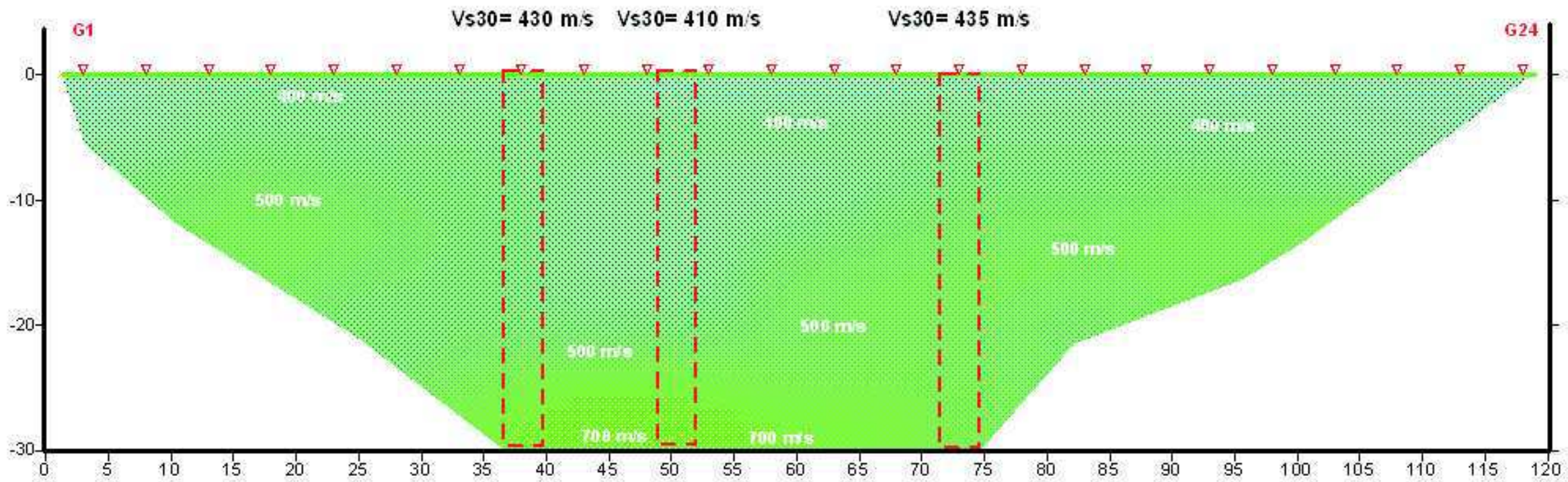
In tutte le sezioni sismiche, il parametro **V_{s30} si è sempre mostrato compreso nella categoria B dei suoli di fondazione** (valori di velocità maggiori di 360 m/s e minori di 800 m/s) secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03 (tipica di depositi quali sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti) con i valori di V_{s30} misurati che variano da 410 a circa 435 m/s.

Nelle rappresentazioni grafiche sono stati indicati solo alcuni dei valori numerici delle velocità VSH utilizzate per determinare il parametro V_{s30} . Le velocità indicate, insieme all'incremento grafico di tonalità dei retini, servono a dare un'idea di come la velocità VSH vari sia lateralmente che in profondità lungo la sezione indagata.



Merita essere ricordato che i parametri ricavati per via dinamica hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche in laboratorio proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

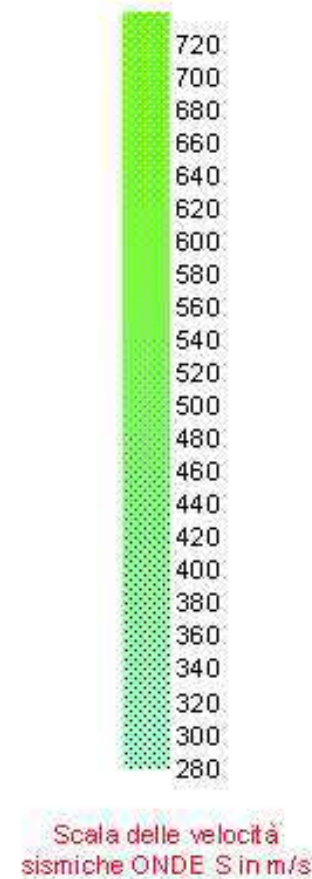
Da tutte queste premesse scaturisce che per via indiretta geosismica è possibile definire le caratteristiche del sottosuolo in esame in modo molto più completo e corretto, ottenendo valori progettuali dell'insieme piuttosto che puntuali.

Elaborazione tomografica in onde S - Base 1



LEGENDA

 Posizione geofoni
 Superficie topografica
 Deposito non consolidato



INDAGINE GEOFISICA	
Hattusas s.r.l.	
Parco Ovest - Comune di Bergamo	
Analisi delle onde di taglio	
Microzonazione sismica	
Ail. 2	Maggio 2009
	CIS Geofisica s.r.l.

COMUNE DI BERGAMO

(Provincia di Bergamo)

<h2>RELAZIONE GEOFISICA</h2>

Selvino (BG), Maggio 2009

PREMESSA

Su incarico della ditta Hattusas s.r.l. è stata eseguita, un indagine di tipo geofisico su terreni ubicati in Comune di Bergamo (BG).

Scopo di questa indagine è di determinare le litologie presenti nel sottosuolo e la loro distribuzione spaziale.

Le caratteristiche del sito in esame, la natura del substrato, hanno orientato l'indagine all'utilizzo dei metodi geofisici, tali metodi hanno consentito, con buona approssimazione, la ricostruzione di massima delle caratteristiche del sottosuolo.

La raccolta dei dati di campagna e l'elaborazione degli stessi è stata eseguita dalla GEODES s.r.l.



CENNI SULLA TOMOGRAFIA ELETTRICA

L'obiettivo delle indagini geoelettriche è di determinare la distribuzione della resistività nel sottosuolo operando una serie di misure in superficie. La resistività del terreno è legata a molteplici parametri geologici quali il contenuto di fluidi, il contenuto in determinati minerali, la porosità e il grado di saturazione in acqua della roccia.

La corrente elettrica, immessa nel sottosuolo, può fluire attraverso la conduzione di tipo "elettronica" e attraverso la conduzione di tipo "elettrolitica". Nei casi più comuni la conduzione elettrolitica, legata essenzialmente alla presenza d'acqua tra i granuli del terreno, è il meccanismo dominante. La conduzione elettronica interviene quando sono presenti minerali particolarmente conduttivi.

In generale le rocce ignee e metamorfiche hanno valori di resistività alti. Le rocce sedimentarie, che sono solitamente molto porose ed hanno un più alto contenuto d'acqua, presentano valori di resistività inferiori, con un range da 10 a 10000 Ohm*m ma con la maggior parte dei valori sotto i 1000 Ohm*m. I terreni non consolidati hanno valori di resistività generalmente ancora più bassi, in relazione alla porosità, al grado di saturazione ed al contenuto in argilla che tende ad abbassarne notevolmente la resistività. Di norma suoli argillosi sono più conduttivi di suoli sabbiosi e ghiaiosi. Comunque la sovrapposizione dei valori di resistività per le differenti classi di rocce e terreni può dare adito a diverse interpretazioni che devono essere valutate ed eventualmente scartate in funzione del contesto geologico in cui si operano le misure.

La resistività dell'acqua sotterranea varia da 10 a 100 Ohm*m in funzione della percentuale di sali disciolti in essa (l'acqua di mare ha una resistività inferiore a 1 Ohm*metro). Quindi la resistività del suolo non è solo legata al grado di saturazione ma anche alla natura del fluido che lo permea.



Profilo tomografico

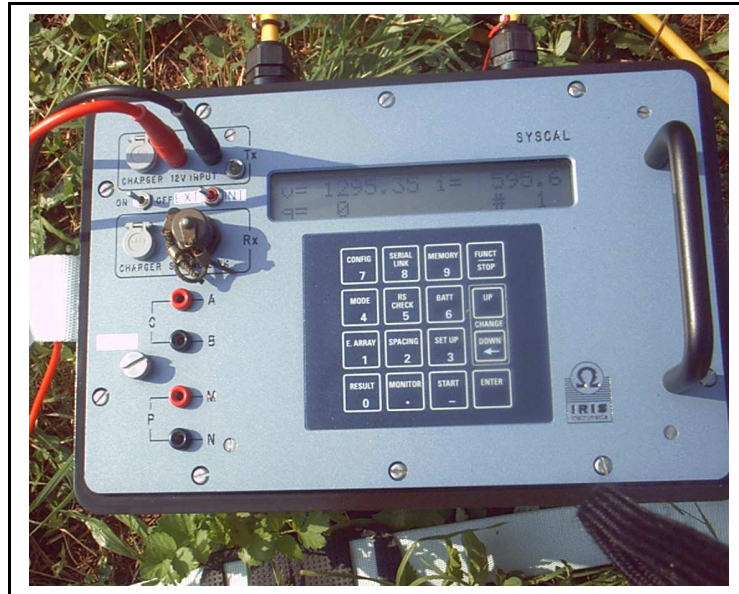
Il profilo geoelettrico acquisito con modalità particolari permette di effettuare una elaborazione tomografica (profili tomografici), che restituisce la distribuzione bidimensionale o tridimensionale delle caratteristiche elettriche dei materiali indagati. Si possono in questo modo ottenere delle sezioni geoelettriche ad alta risoluzione. Il principio fisico è lo stesso alla base dei tradizionali S.E.V. e S.E.O. (sondaggi elettrici verticali e orizzontali), ma in questo caso, invece di energizzare e misurare da quattro elettrodi che vengono spostati di volta in volta, vengono utilizzati più elettrodi (16, 24, 32, 48 ecc.) con cui è possibile ottenere un numero molto alto di combinazioni, indagando quindi non più solo lungo un asse verticale ma lungo tutta una sezione.

La tomografia elettrica è una tecnica non invasiva finalizzata a fornire sezioni verticali del sottosuolo dove possono essere chiaramente individuate dal contesto geolitologico aree inquinate, cavità, presenza di corpi anomali, presenza di falde acquifere, estesi siti archeologici.

ACQUISIZIONE DATI

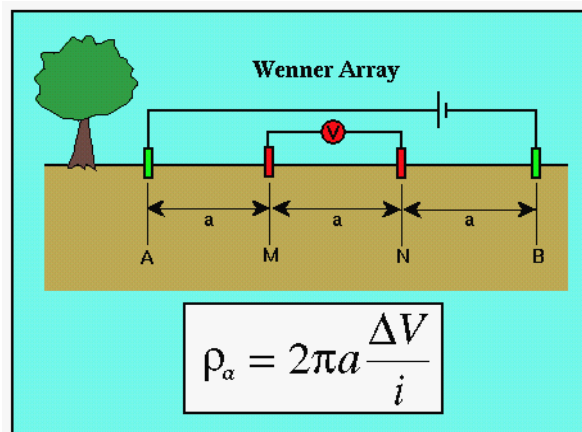
L'acquisizione dei dati in campagna è stata ottenuta attraverso l'impiego dello strumento *Syscal Junior* prodotto dalla *Iris Instruments* (Orleans – France) le cui caratteristiche tecniche vengono descritte successivamente.





Syscal Junior in fase di acquisizione dati.

Una misurazione completamente automatizzata della resistività può essere eseguita usando serie di elettrodi **polo – polo**, **polo – dipolo**, **dipolo – dipolo**, **Wenner**, **Wenner – Schlumberger**.



Configurazione **WENNER**: gli elettrodi esterni **A** e **B** energizzano il terreno mentre agli elettrodi interni **M** ed **N** si misura la differenza di potenziale ΔV .

La scelta della configurazione più adatta dipende da vari fattori, tra i quali: la sensibilità della configurazione alla resistività, alla profondità di investigazione, all'intensità del segnale.

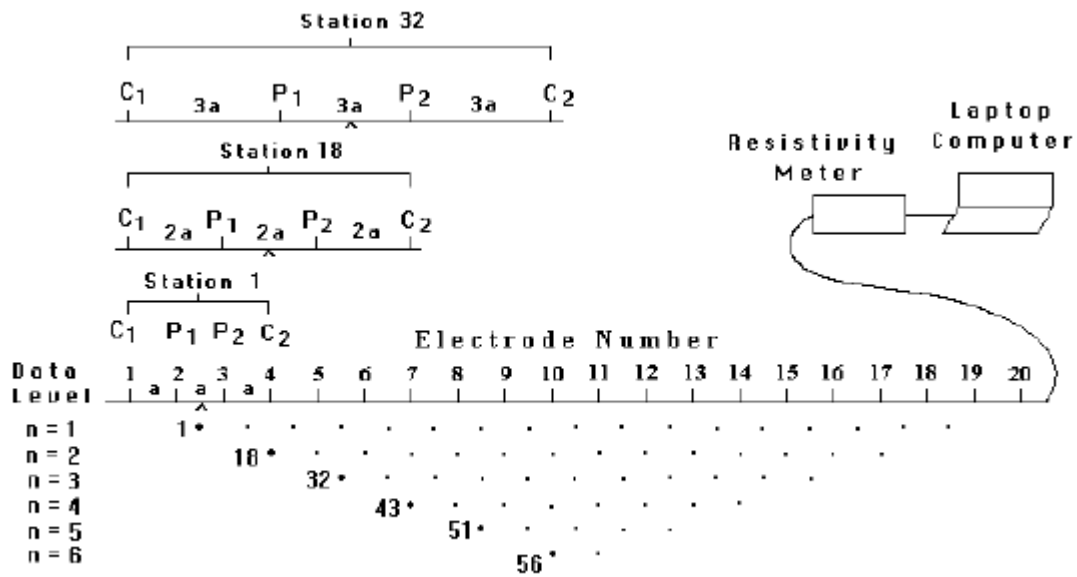
La distanza elettrodica è direttamente proporzionale alla profondità di terreno indagato e inversamente proporzionale alla "risoluzione". In pratica maggiore è la distanza interelettrodica, maggiore sarà la profondità investigata ma minore sarà il dettaglio.

Oltre alla configurazione elettrodiche prefissate di cui sopra, il sistema permette all'utente di ottenere informazioni sulle coordinate x,y,z di ogni elettrodo, derivate da una sequenza di una configurazione arbitraria di elettrodi realizzata per mezzo del suo file di controllo (ASCII).

In questo modo sono possibili alcune applicazioni speciali (es. : rilevamenti in 3D). La lunghezza totale della linea di misura in 2D e "dell'area" in 3D è limitata; il sistema infatti consente nell'utilizzo di uno o più (fino a quattro) tratti di cavi, ognuno dei quali è predisposto per connettere 24 picchetti con distanza interelettrodica (*electrode spacings*) massima di 5 metri. Ne consegue che la distanza massima di una linea tomografica utilizzando la strumentazione di cui sopra, risulta essere pari a 475 metri. Si può comunque implementare tale lunghezza, eseguendo un'indagine lungo una linea di misura di una lunghezza arbitraria infinita, tramite la tecnologia del *roll – along*.

I cavi, simili a quelli impiegati nella prospezione sismica, sono collegati al georesistivimetro secondo lo schema illustrato di seguito.





Rappresentazione schematica del principio di funzionamento della Tomografia elettrica mediante configurazione Wenner (Loke M.H., 1999).

La spaziatura degli elettrodi può essere comunque modificata; utilizzando infatti cavi con *electrode spacings* 5, si potranno impostare profili con spaziatura minore o uguale a 5 metri.

La lunghezza dello stendimento e conseguentemente la spaziatura degli elettrodi, dipende dalla profondità effettiva dell'indagine richiesta.

È da ricordare che la lunghezza totale dello sviluppo dovrebbe essere più grande dell'area di investigazione in modo che sia realizzata la piena copertura in profondità e meno evidenza sia data verso gli estremi della immagine ottenuta dallo sviluppo, dove i dati limitati potrebbero produrre risultati "sporchi" e conseguentemente amplificare il margine di errore.

Tutte le operazioni citate precedentemente sono impostate, gestite e modificabili a secondo degli scopi predisposti dall'indagine geofisica, attraverso l'utilizzo di particolari software (*Electre II*, *Prosys*) che "comunicano" con il georesistivimetro *Syscal Junior* attraverso un personal computer.



MODALITA' DI ESECUZIONE

Nell'area oggetto d'indagine è stato eseguito **un profilo elettrico** disposto come in Allegato 0.

L'ubicazione della linea geoelettrica è stata materializzata in sito da opportuni picchetti, successivamente rilevati topograficamente.

Visto che l'obiettivo della ricerca era quello di caratterizzare le varie litologie, si è scelto di adoperare la configurazione *Wenner*.

Si è così ottenuta **una sezione elettrostratigrafica** che verrà di seguito discussa.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche della linea geoelettrica: il numero della linea, il numero degli elettrodi, la distanza tra un elettrodo ed il successivo (passo), la lunghezza totale della linea e la profondità raggiunta.

Profilo	Numero elettrodi	Dist. Elettrodi (m)	Lunghezza tot. (m)	Profondità max (m)
1	48	3	141	25

MODALITA' DI INTERPRETAZIONE

I dati ottenuti in campagna hanno permesso di realizzare ed interpretare, tramite l'utilizzo di un software specifico di calcolo (*Res2dinv*) i seguenti elaborati:

- Measured Apparent Resistivity Pseudosection
- Calculated Apparent Resistivity Pseudosection
- Inverse Model Resistivity Section .



In pratica, si cerca di trovare un modello del sottosuolo la cui risposta vada d'accordo, si rispecchi con i dati misurati. I metodi di inversione più utilizzati sono: *Forward Modeling Only*, *Damped Least Squares*, *Smooth Model Inversion* e *Robust Inversion*.

È importante sapere che per ogni serie di dati c'è un'ampia gamma (*range*) di modelli i cui valori di resistività apparente risultano concordanti con i valori misurati.

La sezione viene suddivisa in celle (*model blocks*) ed ognuna delle quali viene attribuito un valore di resistività apparente "iniziale". Nel processo di inversione il software calcola per ogni cella una resistività che sia compatibile con quella misurata.

Alla fine di una iterazione valuta, per confronto, la differenza tra i dati misurati e quelli calcolati. Se tale differenza è inferiore al limite di approssimazione impostato, inizia una seconda iterazione che tenderà a migliorare la distribuzione dei valori di resistività apparente.

Il processo continua fino al raggiungimento del numero di iterazioni iniziali impostate o fino al raggiungimento del valore minimo di approssimazione.

Attraverso la "lettura" dell'*Inverse Model Resistivity Section* è possibile ricavare informazioni sulla natura del sottosuolo, la continuità laterale dei depositi alluvionali e/o del substrato roccioso, la presenza di acqua, la presenza di riempimenti o corpi di varia natura sepolti, la presenza di sottoservizi.

La pseudosezione della resistività apparente ha valore qualitativo e riflette la distribuzione della resistività elettrica nella sezione. Praticamente sono solo immagini grossolane dato che ciascuna misura interessa la resistività di un considerevole volume di terreno. Attraverso l'interpretazione di tali carte non possono essere osservati contorni netti che delimitano i bordi di strutture.

Viene di seguito descritta una sintesi relativa alle principali caratteristiche del programma Res2dinv (2D Electrical Imaging Surveys) utilizzato durante l'interpretazione.



Teoria

La procedura di inversione usata dal programma è basata sul metodo dello smorzamento forzato dei minimi quadrati noto come *smoothnessconstrained* (deGroot-Hedlin e Constable 1990, Sasaki 1992). Viene inoltre usato un perfezionamento del metodo dei minimi quadrati basato sulla tecnica sviluppata da *Loke e Baker* (1996). Questa tecnica è 10 volte più veloce del metodo tradizionale dei minimi quadrati per grossi quantitativi di dati e richiede meno memoria.

Il metodo dello smorzamento forzato dei minimi quadrati è basato sull'equazione seguente:

$$(\mathbf{J}\mathbf{T}\mathbf{J} + u\mathbf{F})\mathbf{d} = \mathbf{J}\mathbf{T}\mathbf{g} - u\mathbf{F}\mathbf{r}$$

dove:

F rappresenta la matrice di smorzamento;

J è la matrice Jacobiana delle derivate parziali;

r è un vettore contenente il logaritmo del valore di resistività del modello;

u è il fattore di smorzamento;

d è il vettore di perturbazione del modello;

g è il vettore discrepanza.

Il vettore discrepanza **g** rappresenta la differenza tra il valore di resistività apparente misurato e calcolato. La dimensione di questa grandezza è dato dal valore della **radice quadrata media RMS** (*root-mean-squared*). RMS è la quantità che il metodo di inversione cerca di ridurre nel tentativo di trovare il miglior modello dopo ciascuna iterazione. Il vettore di perturbazione del modello **d** è la variazione del valore di resistività nel modello calcolata tramite l'equazione scritta sopra che normalmente è il risultato di un modello perfezionato.



Il fattore di smorzamento u , considera lo “smoothness” durante il processo di inversione. Il fattore di smorzamento u , può essere modificato prima dell’inversione in modo tale da poter ottenere un modello migliore.

Altri parametri da tenere in considerazione prima dell’inversione sono il Coefficiente di Anisotropia, l’accuratezza nella soluzione del modello, il Fattore Spessore e il Fattore Profondità.

RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

La sezione tomografica è stata rappresentata graficamente con tonalità di colori che vengono associate ai diversi valori di resistività (espressi in Ohm*metro) che caratterizzano il sottosuolo.

L’asse delle ascisse materializza la superficie topografica lungo la cui è stata effettuata la misura; lungo l’asse delle ordinate sono espressi i valori di profondità.

La riduzione dei punti di misura con la profondità fa sì che la sezione abbia una risoluzione grafica trapezoidale.

Profilo geoelettrico 1 (All.1)

Da una attenta analisi della pseudosezione ottenuta utilizzando il metodo Wenner, si riconosce la presenza, al di sotto di un elettrostrato superficiale di terreno di riporto, di un elettrostrato conduttivo, rappresentato con le tonalità cromatiche del blu, con valori di resistività compresi tra 17.7 e 79.4 Ohm * m, riconducibile ad argille e limi. Questo elettrostrato dallo spessore medio di 5 metri è situato al di sopra di un elettrostrato resistivo rappresentato con le tonalità cromatiche del verde e rosso, con valori di resistività compresi tra 79.4 e 1000 Ohm * m

Tali valori sono tipici di litotipi ghiaioso sabbiosi in matrice argilloso-limosa dove i valori di resistività sono più bassi (colorazione verde giallo in sezione) mentre



valori più elevati (colorazione rossa in sezione) indicano la presenza di litotipi asciutti e a pezzatura più grossolana quali ghiaie e ciottoli.

Conclusioni

La presente indagine geofisica ha consentito di definire in maniera sommaria (in quanto trattasi di metodi indiretti), le caratteristiche litologiche dei terreni oggetto di indagine per una profondità massima di circa 25 metri.

Concludendo, la condizione necessaria per distinguere “corpi diversi” è la presenza di un buon contrasto di resistività. Inoltre la sezione della resistività può essere compromessa da strutture a piccola scala vicino alla superficie (es. muretti, linee elettriche) o da anomalie dovute al contatto non ottimale picchetto - terreno, comportando così delle complicazioni nell'interpretazione dei risultati.

Si ricorda inoltre che la presente relazione, trattandosi esclusivamente di indagine geofisica non costituisce parere geologico.

Selvino (BG), Maggio 2009

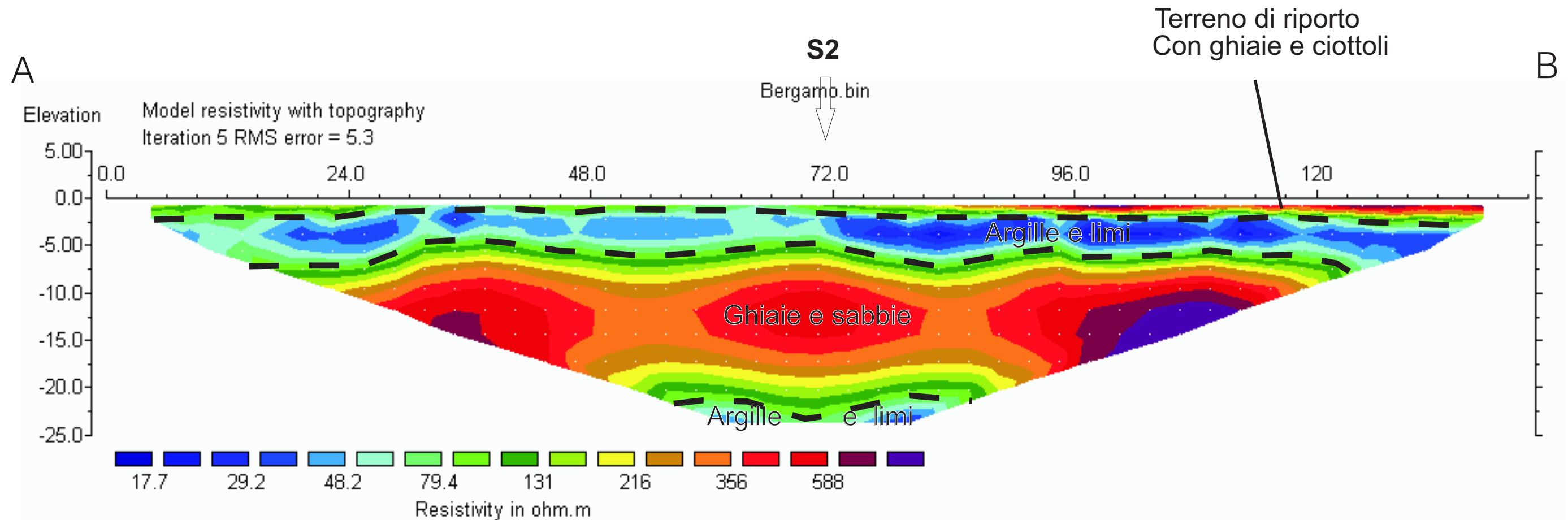
GEODES s.r.l.

Dott. Geol. Marco Cortinovis

Dott. Geol. Andrea Gritti



INTERPRETAZIONE LITOLOGICA



Unit Electrode Spacing = 3.00 m.

Horizontal scale is 20.06 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 0.94
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 141.0 m.

INDAGINE GEOFISICA

All. 1 - Profilo 1

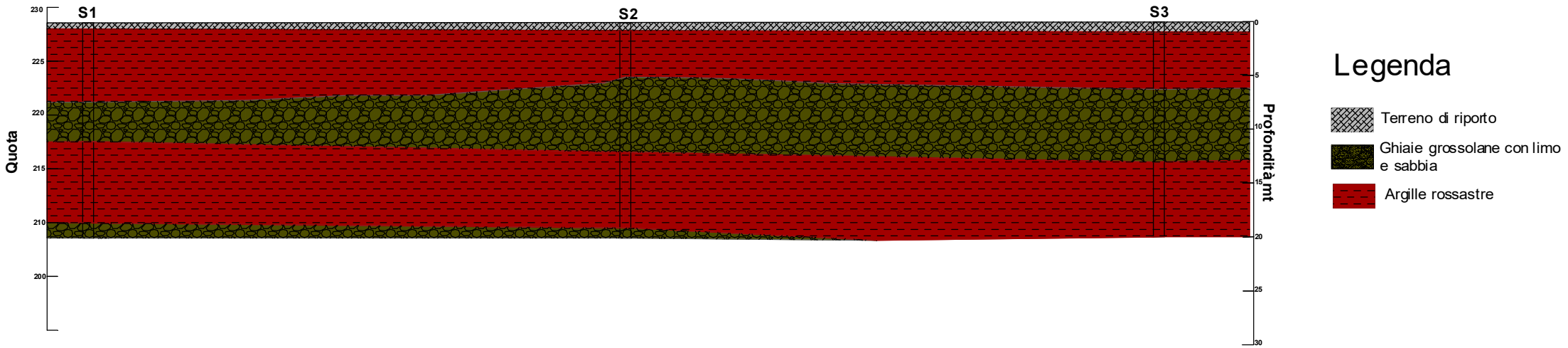
Comune di Bergamo

Tomografia elettrica
metodo Wenner




Maggio 2009



SEZIONE GEOLOGICA



Legenda

-  Terreno di riporto
-  Ghiaie grossolane con limo e sabbia
-  Argille rossastre

SONDAGGIO S1		SONDAGGIO S2		SONDAGGIO S3	
NSPT		NSPT		NSPT	
Profondità	SPT	Profondità	SPT	Profondità	SPT
3 m	5 - 5 - 9	3 m	6 - 16 - 7	3 m	9 - 8 - 7
6 m	2 - 1 - 1	6 m	1 - 3 - 4	6 m	12 - 22 - 36
9 m	17 - 19 - 23	9 m	1 - 0 - 0	9 m	40 - R
12 m	3 - 9 - 10	12 m	9 - 10 - 15	12 m	7 - 9 - 13
15 m	9 - 10 - 14	15 m	10 - 13 - 16	15 m	10 - 12 - 9
18 m	13 - 15 - 14				