Studio Geologico Tecnico Lecchese di Dott. Massimo Riva Geologo

Indagini, consulenze e calcoli di geologia applicata, geotecnica, idrogeologia, geologia ambientale Geoingegneria: consulenze, progetti, direzione lavori

Gruppo Quindici S.r.l.

Via Cesare Battisti 6 – 23894 Cremella (LC)

Realizzazione di un edificio commerciale, nel Comune di Bulciago (LC)

Relazione geologica, idrogeologica e sismica ai sensi del D.M. 17/01/18 e della D.G.R. IX 2616/2011

Relazione geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/18

Lecco – Giugno 2018

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
RIVA MASSIMO nº 569

Dott. Massimo Riva Geologo - c.f. RVI MSM 61H17 E507N - Part. Iva 01776580134
Via Previati 16 - 23900 Lecco (LC) Tel. +39 0341.286095 - Fax 0341.361843
E-Mail ufficiotecnico@sgtl.it - Sito www.sgtl.it – Posta certificata sgtl@epap.sicurezzapostale.it

Redatto	Verificato	Approvato
MM	MR	MR

INDICE

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA AI SENSI DEL DM 17/01/18 E DELLA DGR IX 2616/2011 2

1. PREMESSA 2

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO 3

3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO 4

4. ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE 5

5. COMPATIBILITA' DEL PROGETTO CON IL QUADRO VINCOLISTICO 7

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE PRECEDENTI 7

7. INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA 8

8. INQUADRAMENTO SISMICO 9

8.1 Analisi risposta sismica locale (terzo livello) 10

8.2 Valutazione della categoria topografica ai sensi delle NTC 2018 12

8.3 Cenni sulle azioni sismiche e stati limite 12

8.4 Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici 14

8.5 Valutazione del possibile fenomeno di liquefazione dei terreni indotto da un sisma 16

9 PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI ORIZZONTI 17

RELAZIONE GEOTECNICA 18

1 PORTATE E CEDIMENTI FONDAZIONI 18

2 SOSTEGNO FRONTI DI SCAVO 23

3. PERMEABILITA' TERRENI E CONSIDERAZIONI SULLA GESTIONE E SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE (PRINCIPIO DELL'INVARIANZA) 25

4. INDAGINI INTEGRATIVE 27

5. CONCLUSIONI 27

Allegati al testo:

Tav. 1 - Ubicazione area - CTR

Tav. 2 - Ubicazione area - DBT

Tav. 3 - Ubicazione indagini

Tav. 4 – Planimetria di progetto

Tav. 5a, 5b, 5c – Sezioni geotecniche

All. 1 Indagini penetrometriche precedenti

All. 2 Sismica a rifrazione precedente

All. 3 Metodologia e risultati indagine sismica MASW

All. 4 Analisi della sismicità locale (terzo livello)

All. 5 Documentazione fotografica

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA AI SENSI DEL DM 17/01/18 E DELLA DGR IX 2616/2011

1. PREMESSA

Per conto della Società Gruppo Quindici S.r.l.., è stata redatta la presente relazione geologica, idrogeologica e sismica a supporto della realizzazione di un fabbricato commerciale nel comune di Bulciago (LC).

Da un punto di vista cartografico, l'area oggetto del presente studio è compresa all'interno del Foglio B5c1 della Carta Tecnica della Regione Lombardia (alla scala 1:10.000).

Il terreno in esame si ubica nella porzione SE del territorio comunale di Bulciago, in una porzione di area interposta tra Via Provinciale e Via Sant'Agostino, nella fascia altimetrica tra le quote di circa 288 m s.l.m. e 294 m s.l.m..

Immagine tratta da Google Earth

Il progetto prevede la realizzazione di un fabbricato commerciale con lunghezza di circa 62 m, larghezza massima di circa 30 m e minima di circa 10 m, di superficie totale 1535 m^2. Questo fabbricato ricadrà nella porzione di monte SE dell'area di intervento, mentre nella porzione di valle verranno realizzati parcheggi dotati di accessi carrai e pedonali. Si prevede inoltre la sistemazione dell'incrocio tra Via Provinciale e Via Sant'Agostino con la realizzazione di due aiuole spartitraffico.

Le fondazioni del fabbricato si ubicheranno a profondità compresa tra –0.3 m (a valle) e -6.5 m (a monte).

Le opere in progetto si possono assimilare al tipo 2 con vita nominale Vn≥50 anni (tabella 2.4.1 articolo 2.4 comma 2.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018), e si possono individuare in classe d'uso 2 (art 2.4 comma 2.4.2 del D.M. 17 gennaio 2018). L'area d'intervento si colloca in Zona Sismica 3.

La relazione geologica ha la finalità di:

- ✓ Valutare il grado di stabilità dell'area d'edificazione.
- ✓ Valutare la compatibilità tra l'intervento in oggetto e l'assetto geologico, morfologico, idrogeologico, e idraulico dell'area ospitante.
- ✓ Definire la categoria del suolo di fondazione e la classificazione sismica dei terreni.
- ✓ Definire il modello stratigrafico e geotecnico dei terreni.
- ✓ Definire i parametri geotecnici necessari per il dimensionamento delle strutture di fondazione.

Per quanto riguarda l'ubicazione dell'area, si rimanda alle tavole 1 e 2 allegate a fine testo.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO

Il terreno in esame si ubica nella porzione SE del territorio comunale di Bulciago, in una porzione di area compresa tra Via Provinciale e Via Sant'Agostino, nella fascia altimetrica tra le quote di circa 288 m s.l.m. e 294 m s.l.m..

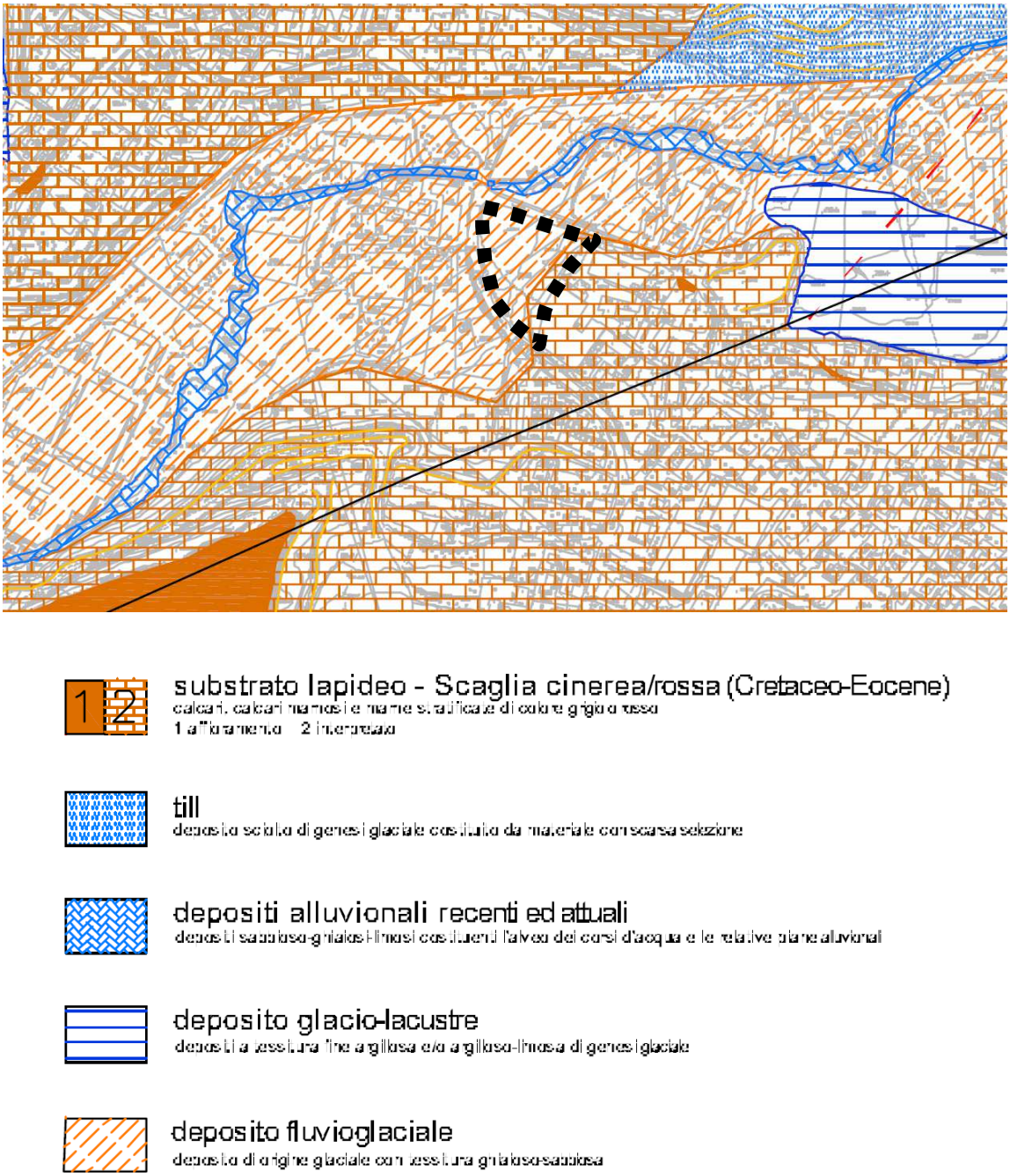
Dal punto di vista geologico l'area oggetto di studio si colloca al passaggio tra i depositi fluvioglaciali (presenti a NW) e il substrato roccioso (che affiora a SE, in corrispondenza della località Bulciaghetto). A NE, in corrispondenza dell'alveo del Torrente Bevera, si estendono i depositi fluviali recenti

I depositi fluvioglaciali sono costituiti da ghiaie e sabbie, con ciottoli, in matrice sabbiosa con percentuale variabile. Il substrato roccioso ascrivibile alla formazione della Scaglia Lombarda (Cretaceo Superiore) è costituito da marne e calcari. I depositi alluvionali recenti sono costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli.

Dal punto di vista morfologico il terreno di edificazione si presenta con un'ampia porzione sub pianeggiante, leggermente digradante verso NE, con lieve aumento delle pendenze verso il limite SE (inclinazione 6°-12°), con due ampie balze. Il lato SE dell'area di intervento è in aderenza, per circa metà estensione, a partire dallo spigolo SW, con un fabbricato industriale esistente, mentre la rimanente porzione è caratterizzata da un muro di confine e una cabina elettrica, in corrispondenza dello spigolo NE.

L'area è attualmente tenuta a prato, sono inoltre presenti due tralicci elettici in prossimità del limite NW.

Di seguito si riporta uno stralcio non in scala della carta geologica allegata al P.G.T. di Bulciago



Estratto carta geologica allegata al P.G.T. di Bulciago

3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrografico il principale elemento caratterizzante l'area è il Torrente Bevera, che scorre ad una distanza minima di circa 15 m dalla porzione NE del terreno, l'asta fluviale ha decorso E-W ed è caratterizzata da un alveo incassato rispetto al piano campagna.

Per quanto riguarda il terreno in oggetto, la cartografia dei vincoli e dell'idrografia indica un tratto di reticolo minore che interessa parte del limite SW, in adiacenza a Via Provinciale.

Il rilievo effettuato ha messo in evidenza un piccolo fosso asciutto, con larghezza di circa 40 cm e altezza di circa 30 cm, visibile solo per un tratto di circa 25-30 m a partire dalla zona dell'incrocio tra Via Sant'Agostino e Via Provinciale, a monte di questo tratto non è visibile alcun tracciato, fino a circa 30 m dallo spigolo SW del terreno, dove è presente l'imbocco di una condotta interrata, del diametro di 50 cm, che rappresenta uno scarico autorizzato dalla Provincia (è presente un cartello con il relativo numero). Tale condotta raccoglie le acque convogliate dalla canaletta stradale, provenienti dalle zone più a monte, e le scarica presumibilmente nella rete fognaria mista, posta sul limite esterno della strada comunale.

Da quanto rilevato, il tratto che è stato individuato nella cartografia dei vincoli e dell'idrografia, non ha nessuna funzione idraulica, si tratta in sintesi di un fosso, che in passato riceveva le acque di scolo della strada, ora incanalate più a monte nella rete acque miste. Inoltre non è stato segnalato, ne è stato individuato, alcun recapito o scarico di questo tratto (isolato e "relitto") del reticolo minore comunale che inizia e finisce nella proprietà in oggetto.
Attualmente vista il modesto tratto ancora visibile nella zona dell'incrocio, raccoglie solo parte della acque provenienti sia da Via Provinciale, sia da Via Sant'Agostino, dove si rilevano modeste tracce di deflusso a lato della sede stradale.

Per quanto riguarda la rimanente porzione del terreno oggetto di edificazione, si rileva un modesta incisione, con tracce di deflusso a valle lungo la porzione SE del terreno a ridotta pendenza, a partire dal limite di proprietà, legata allo scarico dei pluviali del fabbricato esistente di altra proprietà, posto sul limite stesso, che non è convogliato in nessun collettore alla base dell'edificio.

Dal punto di vista idrogeologico, le indagini svolte in passato hanno rilevato una circolazione idrica a -3.5 m da p.c. solo nella prova scpt 6, localizzata nella porzione SW del terreno, si tratta probabilmente di una filtrazione idrica localizzata, legata al deflusso al contatto tra substrato roccioso e depositi di copertura.

L'area non è interessata da alcuna fascia di rispetto di sorgenti o pozzi ad utilizzo idropotabile.

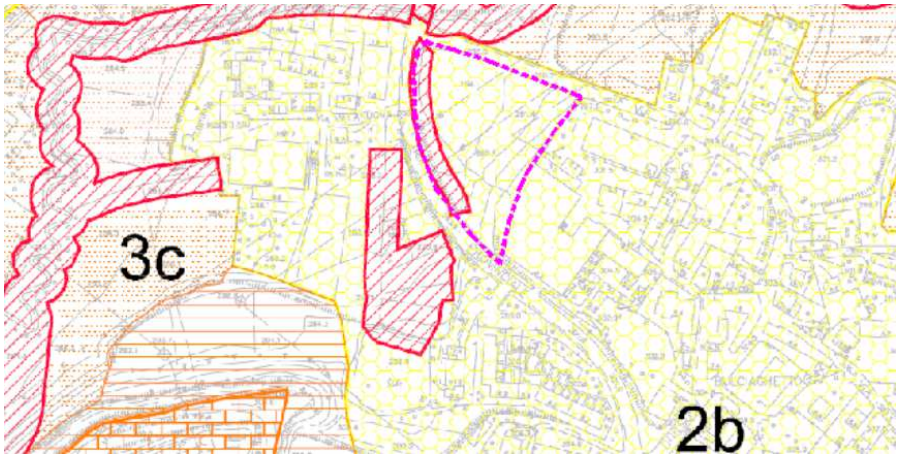
4. ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE

⇨ *"Centri abitati e infrastrutture a rischio frana in Lombardia" – Regione Lombardia*

Non è indicato alcun dissesto geologico-morfologico in atto nel terreno in oggetto e nelle sue immediate vicinanze.

⇨ *Studio Geologico a supporto del P.G.T. di Bulciago*

Dall'analisi della carta di fattibilità geologica il terreno in esame rientra, per quasi tutta la sua estensione nella classe 2 ossia fattibilità con modeste limitazioni, sottoclasse 2b *"aree a vulnerabilità/pericolosità bassa pianeggianti e sub pianeggianti"*, mentre una fascia di terreno a SW, in aderenza a Via Provinciale, ricade nella classe di fattibilità 4: ossia fattibilità con gravi limitazioni, legata alla fascia di rispetto del reticolo minore comunale.



classe 2b - aree a vulnerabilità/pericolosità bassa, pianeggianti o subpianeggianti

classe 4 - fascia di rispetto A dei reticoli minori e dei tratti tombinati

Stralcio, non in scala, della carta della fattibilità dello Studio Geologico a supporto del P.G.T. di Bulciago

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA

Reticolo minore + fascia di rispetto A ai sensi della d.g.r. n.7/7868 e s.m.i.

Stralcio, non in scala, della carta dei vincoli dello Studio Geologico a supporto del P.G.T. di Bulciago

Dall'analisi della carta della pericolosità sismica locale di primo livello l'area in oggetto ricade in Zona Z4a, ossia "zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

⇨ *Piano di Gestione Rischi Alluvioni (PGRA)*

L'area in esame non presenta nessuna perimetrazione

5. COMPATIBILITA' DEL PROGETTO CON IL QUADRO VINCOLISTICO

Come indicato precedentemente è presente una fascia di rispetto del reticolo minore nella porzione SW del terreno, in adiacenza a Via Provinciale, il rilevo effettuato, come già descritto precedentemente, ha mostrato la presenza di un piccolo fosso per un breve tratto, in prossimità dell'incrocio tra Via Sant'Agostino e Via Provinciale, privo di scarichi e recapiti al suo termine, e privo di collegamento con le zone di alimentazione di monte. Le opere in progetto che interessano la fascia di rispetto sono una porzione di viabilità interna alla zona che sarà trasformata in parcheggio, un accesso carrabile e in parte la formazione di due aiuole spartitraffico. Tali opere, in funzione di quanto rilevato, sono compatibili con il vincolo presente. I motivi principali che attestano la compatibilità con i vincoli esistenti sono:

1) le opere in progetto possono essere assimilabili ad attraversamenti stradali.
2) le opere in progetto non si configurano come volumi edilizi e soprattutto non costruiscono impedimento alcuno al passaggio delle acque
3) le opere in progetto non impediscono ne diminuiscono l'attuale accessibilità al fosso in esame.

In ogni caso si ribadisce l'evidente assenza di funzioni idrauliche della porzione di fosso esistente, anche in considerazione delle opere di raccolta e smaltimento delle acque provenienti dall'area che verrà adibita a parcheggio, che raccoglieranno anche il possibile, e modesto, deflusso idrico che potenzialmente potrebbe attualmente interessare la porzione di fosso esistente.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE PRECEDENTI

L'area in esame è già stata indagata nel 2006 mediante l'esecuzione di 8 prove penetrometriche dinamiche (con penetrometro superpesante) e uno stendimento sismico a rifrazione (a 12 canali), con equidistanza geofonica di 3 m e lunghezza totale di 33 m.
L'ubicazione delle indagini è riportata nelle tavole 3 e 4, mentre i grafici delle prove ed i risultati dell'indagine geofisica sono riportati negli allegati 1 e 2, a fine testo.

Prova Scpt n.	Profondità (m da p.c.)	Rifiuto alla penetrazione	Piezometro (m da p.c. attuale)
1	1.8	si	no
2	2.4	si	no
3	3.3	si	no
4	4.2	si	no
5	1.5	si	no
6	5.1	si	si (5m)
7	3.6	si	no
8	3.0	si	no

Profondità prove eseguite (estratto relazione Ingeo)

Strato	Nspt	Rpd kN/m²	Stato di addensamento	Natura del terreno prevalente*
1	2-3	1.5 – 2.0 *10^3	Terreno molto sciolto	suolo e/o terreno colluviale prevalentemente limoso
2	10-15	5 - 7 *10^3	Terreno mod. addensato	strato di sabbia deb. limosa con ghiaia
3	20-30	10 – 15 *10^3	Terreno da mod. addensato ad addensato	ghiaia e sabbia con ciottoli
4	rifiuto	//	//	substrato roccioso

Modello stratigrafico (estratto relazione Ingeo)

Strato	Nspt	Rpd kN/m²	γ_n (kN/m^3)	φ (°)	Cu (kN/m^2)	E (kN/m^2)	Kw (kN/m^3)
1	2-3	1.5 – 2.0 *10^3	16-16.5	25-27	10	2-3 x10^3	8-12 x10^3
2	10-15	5 - 7 *10^3	16.5-17	30-32	//	15-20 x10^3	60-80 x10^3
3	20-30	10 – 15 *10^3	17.5-18	32-35	//	25-30 x10^3	100-120 x10^3
4	rifiuto	//	21-23	>35	//	1-2 x10^5	>1 x10^5

dove:
Nspt= N_{scpt} corretto
Rpd = resistenza alla penetrazione della punta
γ_n = peso naturale del terreno
φ = angolo d'attrito
Cu= coesione non drenata
E = modulo elastico
Kw = coefficiente di reazione del terreno per piastra con Ø=0.3 m (Winkler)

Modello geotecnico (estratto relazione Ingeo)

Le prove penetrometriche eseguite hanno mostrato che il substrato roccioso si approfondisce spostandosi dal limite NE del dell'area verso SW, passando da profondità minime di circa 2 m a profondità massima di 4.8 m, anche spostandosi da SE verso NW si ha un incremento della profondità. L'indagine geofisica indica la roccia a profondità compresa tra -2.5 a -4 m (approfondimento da NE verso SW). E' stata rilevata la presenza di una circolazione idrica solo nella zona della prova 6, dovuta ad una locale filtrazione.

7. INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA

L'indagine geognostica eseguita è costituita da una linea sismica tipo MASW. In particolare è stata acquisita la registrazione di una linea sismica tipo MASW, attiva, nell'area oggetto di nuova edificazione; la cui ubicazione è riportata nelle tavole 3 e 4 allegata a fine testo.

Le prove MASW servono per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, e quindi:

- Il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E, S1, S2).
- Le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile.

Esse forniscono il profilo di velocità delle onde di taglio Vs e consentono di individuare il tipo di suolo sismico; a differenza della sismica a rifrazione, si usano in qualunque situazione stratigrafica

pseudorizzontale, anche in presenza di falda. La prova è stata eseguita per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- Acquisitore digitale multi – canale (sismografo).
- Ricevitori (accelerometri o geofoni) capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale (24 ricevitori).
- Sorgenti sismiche impulsive.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- Acquisizione dei dati di campo.
- Estrazione della curva di dispersione.
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.
- Costruzione di una mappa bidimensionale (mappa 2-D), accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

Sono stati ricavati infine i seguenti valori di Vs 30:

Vs 30 = 450 m/s: misurato da p.c. attuale.
Vs 30 = 740 m/s: misurato da profondità piano di fondazione pari a -5.0 m da p.c. attuale (centro stendimento MASW)

Per maggiori dettagli sui dati della linea MASW acquisita, si rimanda all'allegato 3 a fine testo.

8. INQUADRAMENTO SISMICO

La normativa di riferimento è la seguente:

- D.M. 17 gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- L.R. 11 marzo 2005 n.12 e s.m.i. (in particolare DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616)
- D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 (aggiornamento delle zone sismiche in Lombardia)

Il Comune di Bulciago è inserito in **Zona sismica 3**, con un valore di accelerazione orizzontale massima attesa pari a **0,052458 g.** L'elaborazione delle velocità sismiche registrate, durante la campagna geognostica del giugno 2018, ha permesso di definire il parametro Vs equivalente al sito, che è pari a 450 m/s misurato a piano campagna e 740 m/s misurato a piano fondazione (-5,0 m), con substrato sismico (Vs>800 m/s) a-13,2 m da piano campagna (-8,2 m da piano fondazione).

La classificazione sismica dei terreni può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs, o sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, o

sulla coesione non drenata media Cu; in base alle grandezze sopra definite s'identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

A) *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m;

B) *Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica N_{SPT}>50 nei terreni a grana grossa e cu_{30}>250 kPa nei terreni a grana fina);

C) *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero 15< N_{SPT} <50 nei terreni a grana grossa, 70< cu_{30}<250 kPa nei terreni a grana fina);

D) *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero N_{SPT} <15 nei terreni a grana grossa e cu_{30}<70 kPa nei terreni a grana fina);

E) *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, su di un substrato di riferimento (con V_{s30}>800 m/s);

Nel caso in esame il terreno di fondazione non è classificabile entro alcuna delle Categorie di suolo semplificate; è necessario pertanto procedere con un'analisi di risposta sismica locale per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica. Il risultato dell'analisi, in termini di fattore di amplificazione, sarà utilizzato per l'approfondimento prescritto dalla normativa regionale in materia sismica[1].

L'analisi perciò si compone della valutazione della **Risposta Sismica Locale (RSL)**, calcolo dello spettro elastico e del **Fattore di Amplificazione (Fa),** da mettere a confronto con i valori soglia tabellati per il Comune di Bulciago e scelta dello spettro normativo adeguato. Infine, sulla scorta dell'analisi di RSL, si determineranno i parametri sismici per calcoli strutturali e dei sistemi geotecnici.

8.1 Analisi risposta sismica locale (terzo livello)

E' stato eseguito un calcolo di risposta sismica locale, definendo lo spettro al sito da mettere a confronto con quelli normativi, in modo tale da permettere allo strutturista di scegliere la parametrizzazione sismica che meglio si applichi al caso in esame.

Il flusso di calcolo è riportato per esteso all'allegato 4; in sintesi è stato utilizzato un codice di calcolo monodimensionale, inserendo parametri e accelerogrammi come rilasciati dalla struttura regionale lombarda[2].

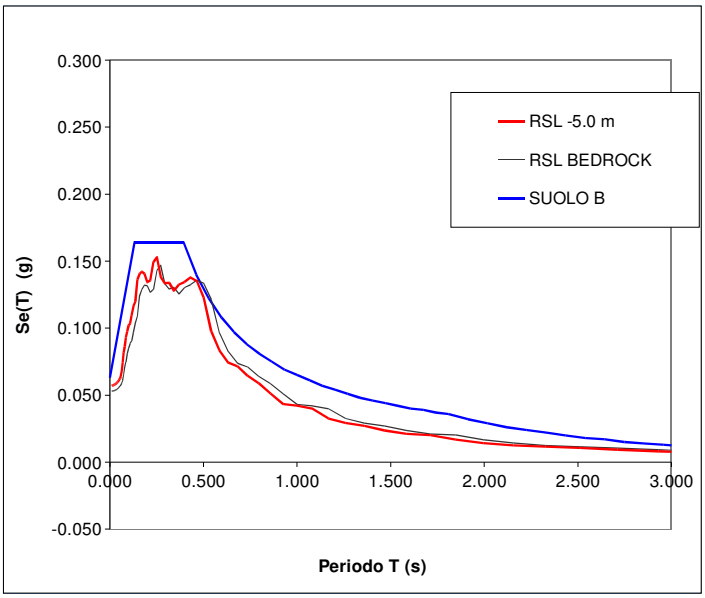
Lo spettro elastico ottenuto per il sito con l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), eseguito a quota piano campagna, risulta avere un'amplificazione di poco superiore a quella al bedrock e inferiore a quella di uno spettro normativo di Categoria B.

---

[1] La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

2 Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati: 1. 475-codice provincia.zip contenente, per ogni comune, 7 diversi accelerogrammi attesi caratterizzati dal periodo di ritorno di 475 anni; 2. curve_lomb.xls contenente i valori del modulo di taglio normalizzato (G/G0) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione della deformazione (γ), per diverse litologie.

Di seguito si riporta in forma grafica i risultati dell'elaborazione (per maggiori dettagli si veda l'allegato 4 a fine testo)



Si ricorda che la normativa regionale vigente, prevede si debbano individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale le strutture in progetto, ossia **il fattore di amplificazione sismico (Fa) calcolato è superiore di quello di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano.**

Per le aree con Fa superiore a quello della soglia dettata dalla normativa regionale (vedere tabella sotto riportata), si dovrà procedere a ulteriori approfondimenti o in alternativa utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

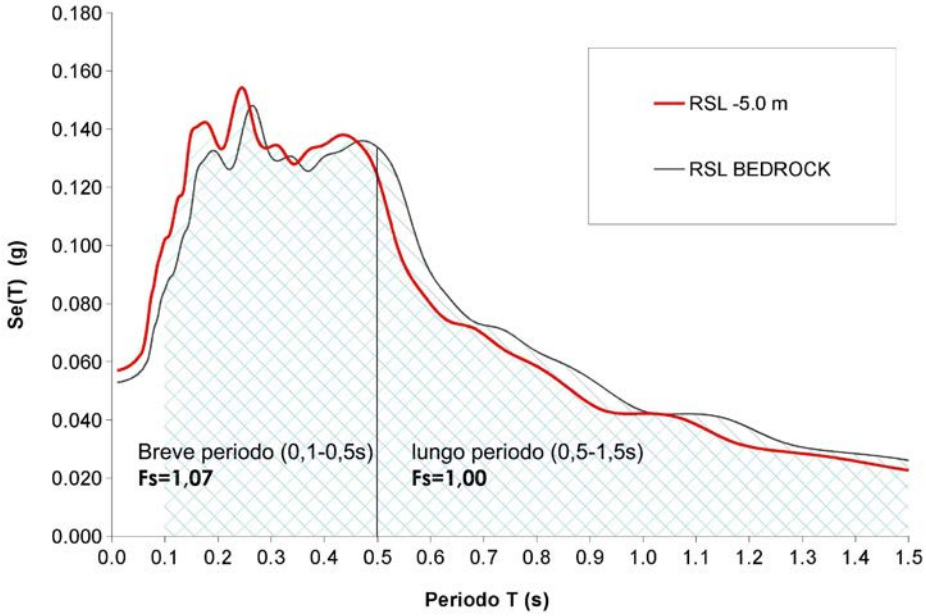
VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI BULCIAGO (estratto da soglie_lomb.xls diffuso da regione Lombardia)				
		Valori soglia		
	Suolo tipo B	**Suolo tipo C**	**Suolo tipo D**	**Suolo tipo E**
periodo 0,1-0,5 s	**1,44**	1,85	2,20	1,98
periodo 0,5-1,5 s	**1,71**	2,41	4,16	3,08

Per il caso in esame si presuppone che il periodo di oscillazione delle strutture in progetto sia compreso nel breve periodo, tuttavia si forniscono i risultati anche per il lungo periodo, dato che la definizione del periodo dei fabbricati compete allo strutturista.

Il Fattore di Amplificazione si calcola come il rapporto fra l'integrale dello spettro elastico a piano fondazione (output) e quello al bedrock (input), definiti nell'intervallo 0,1-0,5 s (breve periodo) e 0,5-1,5 s (lungo periodo), nel caso in esame risulta:

$Fa_{0,1-0,5}$ = 1,07 (breve periodo)

$Fa_{0,5-1,5}$ = 1,00 (lungo periodo)



Come visibile dai valori soglia tabellati sopra, il valore del fattore d'amplificazione è molto basso perché il piano fondazione ricade nella parte superficiale del substrato roccioso e risulta quindi di molto inferiore alla soglia per suolo di Categoria B (Fa_{suoloB}=1,44) per il breve periodo e pari a 1,00 per il lungo periodo.

Per tutti i calcoli geotecnici e strutturali in condizioni sismiche, presupponendo strutture che oscillino nel breve periodo**, è possibile applicare lo spettro normativo di un suolo di Categoria B.**

Solo nel caso in cui le strutture in progetto oscillino nel lungo periodo, è possibile applicare uno spettro per la Categoria A.

8.2 Valutazione della categoria topografica ai sensi delle NTC 2018

Se consideriamo come superficie di riferimento il piano fondazioni possiamo applicare una geometria semplificata al caso in esame, attribuendo al sito una categoria topografica "T1", ossia superfici pianeggianti o con inclinazione media <15° (rif. tab. n. 3.2.III NTC2018).

La topografia è stata verificata a scala locale (1:100).

8.3 Cenni sulle azioni sismiche e stati limite

Le *azioni sismiche di progetto*, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base del sito" di costruzione, che è descritta dalla *probabilità* che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento VR"), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità pari ad almeno un valore prefissato; la probabilità è denominata *"Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR})".*

Ai fini delle NTC 2018, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}), a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi dinamici (SLU) sono:

- Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; *la struttura conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.*
- Stato Limite di prevenzione del Collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Gli stati limite di esercizio (SLE) da considerare sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e interruzioni d'uso significativi.
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I. estratta dalle NTC.

Tabella 3.2.I – *Probabilità di superamento* P_{V_R} *al variare dello stato limite considerato*

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

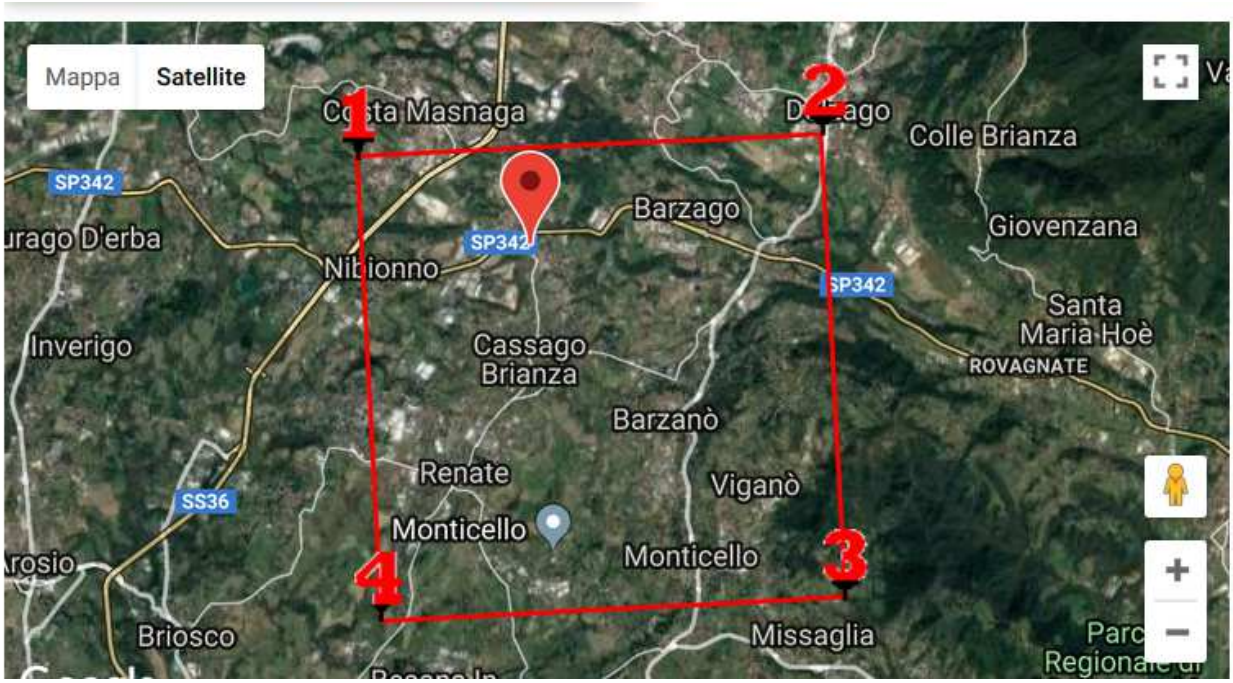
8.4 Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici

Al fine di valutare i parametri sismici caratteristici è stato utilizzato un software d'elaborazione ("ps" della Geostru), secondo i dati di input riportati di seguito.

- Coordinate geografiche decimali:
  Lat. = 45,752063
  Long. = 9,293514
- Classe d'uso dell'edificio:
  II. Affollamento normale
- Vita Nominale (ipotizzata):
  50 anni
- Opzione di calcolo:
  Stabilità dei pendii e fondazioni
- Categoria di sottosuolo
  Categoria B
- Categoria Topografica (da morfologia locale, rif. Tab. 3.2.III NTC 2018)
  Categoria T1 – superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°

Una volta identificate le coordinate geografiche, si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia, moltiplicati per le distanze del punto.

Nell'immagine di seguito riportata sono individuati i 4 vertici della maglia di riferimento:



I valori rispetto ai siti di riferimento sono i seguenti:

Sito 1	ID: 10930	Lat: 45,7614	Lon: 9,2671	Distanza: 2296,095
Sito 2	ID: 10931	Lat: 45,7639	Lon: 9,3386	Distanza: 3733,694
Sito 3	ID: 11153	Lat: 45,7139	Lon: 9,3421	Distanza: 5674,300
Sito 4	ID: 11152	Lat: 45,7115	Lon: 9,2707	Distanza: 4847,803

Dall'elaborazione successiva otteniamo i tre valori caratteristici (a_g, F_0, T_C*) che definiscono le forme spettrali e che sono di seguito tabulati:

STATO LIMITE	**T_r (anni)**	**a_g (g)**	**F_0**	**T_c* (s)**
SLO (Operatività)	30	0.019	2.571	0.159
SLD (Danno)	50	0.024	2.543	0.187
SLV (Salvaguardia Vita)	475	0.053	2.624	0.277
SLC (Prevenzione Collasso)	975	0.065	2.651	0.296
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50				

Il passo successivo consiste nella valutazione di Amax (accelerazione massima attesa al sito), in pratica si tratta di "modificare" la forma spettrale del sottosuolo di categoria B, attraverso un coefficiente stratigrafico (Ss), un coefficiente topografico (St) e un coefficiente in funzione della categoria (Cc) che modifica il valore del periodo TC.

Nel nostro caso inserendo i dati di input sopra esposti si ottengono i seguenti coefficienti correttivi:

STATO LIMITE	Ss	St	Cc
SLO (Operatività)	1.20	1.00	1.59
SLD (Danno)	1.20	1.00	1.54
SLV (Salvaguardia Vita)	1.20	1.00	1.42
SLC (Prevenzione Collasso)	1.20	1.00	1.40

I coefficienti ottenuti sono i seguenti

STATO LIMITE	A_{max} (m/s)	β_s	K_h	K_v
SLO (Operatività)	0.223	0.180	0.004	0.002
SLD (Danno)	0.287	0.180	0.005	0.003
SLV (Salvaguardia Vita)	0.620	0.180	0.011	0.006
SLC (Prevenzione Collasso)	0.761	0.180	0.014	0.007

Si ricorda che il rispetto dei vari Stati Limite viene considerato conseguito dalle NTC 2018:

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU), quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV.)
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE), quando siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD.)

8.5 Valutazione del possibile fenomeno di liquefazione dei terreni indotto da un sisma

Si definisce liquefazione, la riduzione di resistenza e/o rigidezza causata durante il sisma, dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli.

Ciò può avvenire e nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

La liquefazione di un deposito può avvenire sia in condizioni statiche sia sotto sollecitazioni dinamiche.

La normativa vigente (NTC D.M. 17/01/18) prevede che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (7.11.3.4.2):

1. **Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;**
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_c1N > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_c1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

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.
Quando nessuna delle condizioni risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.
Per quanto riguarda la verifica di sicurezza nei confronti dei fenomeni di liquefazione, ai sensi delle NTC2018, questa può essere omessa nel caso in esame, in quanto è soddisfatta la prima condizione.

L'accelerazione massima attesa in condizioni di campo libero, per lo Stato Limite di salvaguardia alla Vita, utilizzato per i calcoli dei sistemi geotecnici, infatti, **è pari a 0,06g**; si vedano i parametri sismici al paragrafo successivo.

9 PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI ORIZZONTI

Per la parametrizzazione geotecnica del sottosuolo si è fatto riferimento alle indagini già eseguite nell'area.

Sono state integrate le informazioni riguardo i parametri geomeccanici del substrato roccioso in relazioni a rilievi effettuati dallo scrivente in area limitrofe a quella in esame.

Le stratigrafie e i parametri geotecnici riportati di seguito rappresentano una semplificazione del sottosuolo finalizzata e da utilizzarsi per i calcoli geotecnici; si vedano le tavola 6°, 6b e 6c allegata a fine testo per la rappresentazione grafica della stratigrafia.

Modello stratigrafico e geotecnico

Orizzonte	Spessore medio (m)	NSPT	Peso di volume (t/m^3)	Angolo d'attrito (°)	Modulo elastico (kg/cm^2)	Coesione non drenata/efficace (kg/cm^2)	Addensamento
1	0.6-2.4	2-3	1,63/1.68	25-27	20-30	0.1	Molto sciolto
2	0.0-2.5	10-15	1,68/1.73	30-32	153-164		Da sciolto a moderatamente addensato
3	0.0 – 3.5	20-30	1,78/1.83	32-35	255-306		Moderatamente addensato
4*	-	>100	2.30	25	9100	5.6	Molto addensato

(*) Substrato roccioso, caratterizzato da RQD medio del 30%.

RELAZIONE GEOTECNICA

1 PORTATE E CEDIMENTI FONDAZIONI

Il progetto prevede la realizzazione di un fabbricato commerciale con lunghezza di circa 62 m, larghezza massima di circa 30 m e minima di circa 10 m, di superficie totale 1535 m^2. Questo fabbricato ricadrà nella porzione di monte SE dell'area di intervento, mentre nella porzione di valle verranno realizzati parcheggi dotati di accessi carrai e pedonali. Si prevede inoltre la sistemazione dell'incrocio tra Via Provinciale e Via Sant'Agostino con la realizzazione di due aiuole spartitraffico.

Le fondazioni del fabbricato si ubicheranno a profondità compresa tra –0.3 m (a valle) e -6.5 m (a monte).

La stratigrafia di calcolo è il multistrato già presentato nella relazione geologica, le resistenze di progetto ottenute secondo i vari approcci e combinazioni di calcolo comprendono la correzione sismica allo SLV secondo i parametri sismici indicati nella relazione geologica per il suolo di categoria B.

L'ipotesi fondazionale ipotizzata è la seguente:

Fondazione tipo:	trave rovescia
Larghezza fondazione:	1.0 – 1,5 m
Profondità piano di posa:	minimo -1.0 m a valle,-3.2/-5.4 m a monte
Rinterro/altezza fondazione:	0,5 m

E' stato utilizzato il codice di calcolo "Loadcap" della Geostru, con restituzione delle resistenze di progetto secondo diversi autori e secondo l'approccio 2 (NTC2018) e sia in condizioni statiche che pseudostatiche, applicando la correzione sismica secondo i parametri già commentati nella relazione Geologica.

COMBINAZIONE	Correzione Sismica (NTC 2018)	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale
A1+M1+R3	NO	1	1	1	1	1	2,3
A1+M1+R3 Sisma	SI	1	1	1	1	1	2,3

Sulla base della stratigrafia indicata nel precedente paragrafo, le fondazioni ricadono nel substrato roccioso nella zona di monte (tranne nell'area della prova 4), nella zona di valle ricadono nell'orizzonte 1 nell'area della prova 6, nell'orizzonte 3 nell'area della prova 7, mentre nella zona di monte, in prossimità della prova 4, ricadono nell'orizzonte 2.

E' stata calcolata la capacità portate per fondazioni ricadenti nei tre orizzonti e nel substrato roccioso, di seguito si riportano i parametri geotecnici medi utilizzati, mentre il suolo sismico considerato è la categoria B.

Orizzonte 1 (molto sciolto nspt 2-3)

- Angolo di attrito Φ=26°
- Peso naturale del terreno Y_t= 1.65 t/m^3
- Modulo elastico E=25 kg/cm^2

Orizzonte 2 (da sciolto a moderatamente addensato nspt 10-15)

- Angolo di attrito Φ=31°
- Peso naturale del terreno Y_t= 1.70 t/m^3
- Modulo elastico E=180 kg/cm^2

Orizzonte 3 (moderatamente addensato nspt 20-30)

- Angolo di attrito Φ=33°
- Peso naturale del terreno Y_t= 1.80 t/m^3
- Modulo elastico E=280 kg/cm^2

Substrato roccioso

- Angolo di attrito Φ=25°
- Peso naturale Y_t= 2.3 t/m^3
- Modulo elastico E=9100 kg/cm^2
- Coesione efficace C^1=5.6 kg/cm^2
- RQD = 35%

I risultati sono di seguito riportati ed espressi in termini di kg/cm^2 per le portate e carichi, in termini di kg/cm^3 per il coefficiente di fondazione.

Trave larghezza 1 m orizzonte 1 (molto sciolto nspt 2-3)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	2.11	0.92	0.84
Meyeoff	1.95	0.85	0.78
Brinch-Hansen	1.97	0.86	0.79
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	1.86	0.81	0.74
Meyeoff	1.74	0.76	0.70
Brinch-Hansen	1.80	0.78	0.72

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 0.76 kg/cm^2 (7.6 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 0.76 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
2.1	4.6

Trave larghezza 1.5 m orizzonte 1 (molto sciolto nspt 2-3)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	2.58	1.12	1.03
Meyeoff	2.26	0.98	0.90
Brinch-Hansen	2.19	0.95	0.88
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	2.20	0.96	0.88
Meyeoff	1.96	0.85	0.78
Brinch-Hansen	1.94	0.85	0.78

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 0.85 kg/cm^2 (8.5 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 0.85 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
2.8	6.8

Trave larghezza 1.0 m orizzonte 2 (da sciolto a moderatamente addensato nspt 10-15)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	4.08	1.77	1.63
Meyeoff	4.94	2.15	1.97
Brinch-Hansen	3.86	1.68	1.54
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	3.55	1.54	1.42
Meyeoff	4.31	1.87	1.72
Brinch-Hansen	3.47	1.51	1.39

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 1.51 kg/cm^2 (15.1 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 1.51 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
0.7	1.0

Trave larghezza 1.5 m orizzonte 2 (da sciolto a moderatamente addensato nspt 10-15)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	5.07	2.20	2.03
Meyeoff	5.56	2.42	2.23
Brinch-Hansen	4.53	1.97	1.81
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	4.28	1.86	1.71
Meyeoff	4.71	2.05	1.88
Brinch-Hansen	3.96	1.72	1.58

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 1.72 kg/cm^2 (17.2 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 1.72 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
1.0	1.5

Trave larghezza 1.0 m orizzonte 3 (moderatamente addensato nspt 20-30)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	5.54	2.41	2.22
Meyeoff	5.52	2.40	2.21
Brinch-Hansen	5.01	2.18	2.01
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	4.78	2.08	1.91
Meyeoff	4.75	2.07	1.80
Brinch-Hansen	4.45	1.94	1.78

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 1.94 kg/cm^2 (19.4 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 1.94 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
1.0	0.9

Trave larghezza 1.5 m orizzonte 3 (moderatamente addensato nspt 20-30)

NTC 2018 A1+M1+R3			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	6.98	3.03	2.79
Meyeoff	6.71	2.92	2.68
Brinch-Hansen	5.90	2.56	2.36
SISMA			
Autore	Qult	Rd	Coefficiente fondazione
Terzaghi	5.84	2.54	2.34
Meyeoff	5.61	2.44	2.24
Brinch-Hansen	5.07	2.20	2.03

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per il calcolo dei cedimenti, è stato utilizzando un carico pari a 2.20 kg/cm^2 (22.0 t/m^2), utilizzando le formule di Terzaghi (Te) e Burland & Burbidge (B&B).

STIMA DEI CEDIMENTI (per carico di 2.20 kg/cm^2)	
Te e B&B	
Te	B&B
1.5	1.3

Trave larghezza 1.0 m substrato roccioso

NTC 2018 A1+M1+R3		
Autore	Qult	Rd
Zienkiewicz	13.66	5.94
Terzaghi	11.31	4.92
SISMA		
Autore	Qult	Rd
Zienkiewicz	13.66	5.94
Terzaghi	11.31	4.92

Trave larghezza 1.5 m substrato roccioso

NTC 2018 A1+M1+R3		
Autore	Qult	Rd
Zienkiewicz	13.65	5.94
Terzaghi	11.31	4.92
SISMA		
Autore	Qult	Rd
Zienkiewicz	13.66	5.94
Terzaghi	11.31	4.92

Dove Qult= carichi limite e Rd= resistenze di progetto Kw: coefficiente di fondazione (Winkler)

Per quanto riguarda i cedimenti, sono da considerare trascurabili.

Occorre precisare che la stima dei cedimenti è da ritenersi indicativa, data l'approssimazione del calcolo delle tensioni in un mezzo eterogeneo e anisotropo, delle variabili legate alla storia tensionale del terreno e della tipologia delle strutture in progetto. In pratica, si applicano modelli semplificati o empirici finalizzati alla stima dei cedimenti stessi, i quali sono soggetti ad un certo margine d'errore. Risultati differenti sono da attribuirsi al diverso approccio teorico delle varie relazioni.

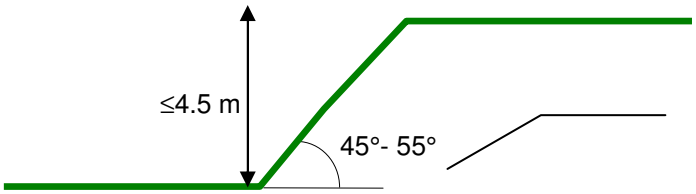
Al fine di evitare cedimenti differenziali tra la zona di monte e di valle, sarebbe opportuno posare le fondazioni nel substrato roccioso, abbassando il piano di fondazione, ad esempio eseguendo uno scavo in sezione ristretta, riportandosi poi a piano fondazione con getto di calcestruzzo magro. In particolare nella zona delle prove 8 e 7, l'approfondimento massimo è compreso tra 0.5 e 2.0 nella zona mediana e di valle del fabbricato poiché le fondazioni della zona di monte ricadono già nel substrato roccioso (sezioni 2-2, e 3-3). Per quanto riguarda la zona delle prove 4 e 6, sia a monte che a valle, le fondazioni ricadono nei depositi di copertura, in questo caso il substrato roccioso si troverebbe tra -2.5 m e -4.5 m dal piano di fondazione, in questo situazione, e in generale con profondità del substrato roccioso oltre 2.0 m da piano fondazione, si potrebbero realizzare dei micropali (da dimensionare) che raggiungano il substrato roccioso, incastrati almeno per 1.5-2.0 m all'interno di esso.

2 SOSTEGNO FRONTI DI SCAVO

Il progetto prevede piani di posa fondazioni a profondità comprese fra -0.3 e -6.5 m da piano campagna attuale, con la necessità di eseguire ribassi, nella zona di monte della struttura, in prossimità del confine di proprietà, dove è presente un fabbricato industriale e un tratto di muratura. Gli scavi interesseranno i depositi di copertura per altezze massime di circa 4.5 m, mentre interesseranno il substrato roccioso per altezze massime di circa 4 m. Per quanto riguarda gli scavi nei depositi di copertura si potranno adottare le seguenti inclinazioni:

Stabilità a breve termine

Considerando terreni con un angolo d'attrito medio di 27°, dotati di minima coesione non drenata, con scavi di altezze non superiori di 4.5 m, in assenza di carichi e acqua, si potranno adottare inclinazioni di circa 45°-55°.

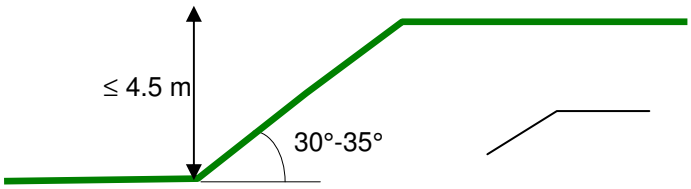


Breve termine

inclinazioni massime dovute principalmente alla coesione non drenata e all'angolo d'attrito del terreno

Stabilità a lungo termine

A lungo termine, quindi senza l'effetto della coesione non drenata, con scavi di altezze non superiori di 4.5 m, in assenza di carichi e acqua, si potranno adottare inclinazioni di circa 30°-35°.



Lungo termine

inclinazioni massime dovute all'angolo d'attrito del terreno

Per quanto riguarda gli scavi in roccia si potranno adottare inclinazioni di circa 80°, prevedendo ribassi a lotti di 2 m di altezza, prima di eseguire il ribasso successivo si dovrà realizzare un rilievo del fronte al fine di evidenziare porzioni instabili. Nel caso sia necessario si potranno porre in opera reti metalliche ancorate con chiodi o barre e ricoperte da spritz beton. Particolare attenzione dovrà essere posta nelle zone di passaggio tra depositi di copertura e substrato roccioso, dove potrebbero verificarsi dei scivolamenti, soprattutto in presenza di filtrazioni idriche. Tali zone dovranno eventualmente essere messe in sicurezza, mediante la posa di reti, fissate con chiodi o barre, ricoperte da spritz beton, con posa di drenaggi nel caso di filtrazioni idriche.

Per il lato di monte, in prossimità del confine di proprietà (distanza minama di circa 3 m), sono previsti scavi con altezze massime di oltre 6 m, in prossimità del fabbricato esistente di altra proprietà. In considerazione che lo scavi interessano sia il livello superficiale di copertura, con spessori uguali o maggiori di 2.5 m (spostandosi verso SW) sovrastanti il substrato roccioso, è opportuno prevedere un'opera di sostegno qunto meno provvisorio, ad esempio, una paratia di micropali (da dimensionare anche in relazione alle altezze di scavo dei fronti laterali verso SW) con pali verticali e inclinati e/o a quinconce (al fine di non ubicare i tiranti nel sottosuolo di altra proprietà).

Poiché le indagini penetrometriche effettuate in passato hanno rilevato la presenza di circolazione idrica nella zona della prova 6, durante gli scavi potrebbero essere necessarie, localmente, delle opere di drenaggio degli stessi. Analogamente le strutture contro terra dovranno essere munite di drenaggi.

In generale e comunque per l'esecuzione degli scavi si dovranno seguire le normative vigenti quali:

Art. 12 e 13 D.P.R n 164 del 07/01/1956 norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni; art 12 "quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno" art 13 "Nello scavo di pozzi o trincee profondi più di 1,5 m, quando la consistenza del terreno non dia sufficientemente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle

pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno".

D.L.gs n 494 del 14 Agosto 1996 modificato dal D.L.gs n 528 del 19 Novembre 1999 Attuazione della direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili.

Decreto presidente Consiglio dei Ministri 14 ottobre 1997, n. 412 – Regolamento recante l'individuazione delle attività lavorative comportanti rischi particolarmente elevati, per le quali l'attività di vigilanza può essere esercitata dagli ispettori del Lavoro dalle Direzioni Provinciali del Lavoro.

3. PERMEABILITA' TERRENI E CONSIDERAZIONI SULLA GESTIONE E SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE (PRINCIPIO DELL'INVARIANZA)

Nella figura seguente si riportano i valori indicativi del coefficiente di permeabilità *k* per vari terreni e la classificazione del terreno in funzione di *k*:

Coefficiente di permeabilità k per vari terreni

k (m/s)	1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10} 10^{-11}			
Drenaggio	buono		povero	praticamente impermeabile
	ghiaia pulita	sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita	sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati	terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici
		terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo		

Classificazione del terreno secondo il valore di k

Grado di permeabilità	*Valore di k* (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} \div 10^{-5}$
basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

La proprietà in oggetto insiste su depositi superficiali costituiti fluvioglaicli, con un livello superficiale di coltivo sabbioso limoso. Si può indicare un coefficiente di permeabilità medio/alto, compreso tra 10^{-2} e 10^{-5} m/s per i depositi di ghiaie con sabbie e locali ciottoli, e da basso a molto basso per i deposti sabbioso limosi di coltivo 10^{-5} e 10^{-9} m/s in funzione della percentuale della frazione fine. Il substrato roccioso calcareo marnoso ha una permeabilità primaria nulla, e secondaria variabile in funzione del grado di fatturazione.

L'intervento in progetto comporta un incremento dell'impermeabilizzazione del suolo (realizzazione di un fabbricato commerciale con superficie massima di 1535 m^2, aree a parcheggio con superficie di 2913.41 m^2 e aree permeabili di 2716.83 m^2), con conseguente concentrazione delle portate di scarico e aumento dei volumi in caso di eventi meteorici intensi (critici).

Il progetto edilizio deve essere integrato da uno specifico progetto delle opere di laminazione, dispersione e scarico delle acque meteoriche defluenti dalle superfici coperte in progetto.

Dal punto di vista normativo si fa riferimento al Regolamento Regionale n.7 del 23.11.2017[3], che fissa i criteri per il rispetto dell'invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'articolo 58bis della L.R. n. 12 del 11.03.2005.

Secondo la normativa il calcolo e dimensionamento di portate e volumi critici e il conseguente progetto di invarianza idraulica e idrologica, sono funzione del grado di criticità idraulica del comune ospitante l'intervento (Allegato C del R.R.n.7), dell'estensione dell'area impermeabilizzata e dal tipo di coperture, come da tabella 1 del R.R. n.7 di seguito riportata.

CLASSE INTERVENTO	SUPERFICIE	COEFF. DEFLUSSO MEDIO	METODO DI CALCOLO Aree A, B	Area C
Impermeabilizzazione bassa	< 0,1 ha	< 0,4	Requisiti minimi	
Impermeabilizzazione media	< 0,1 ha	> 0,4	Metodo delle sole piogge	Requisiti minimi
	0,1 ha < S < 1 ha	qualsiasi		
	1 ha < S < 10 ha	< 0,4		
Impermeabilizzazione alta	1 ha < S < 10 ha	> 0,4	Metodo dettagliato	
	> 10 ha	qualsiasi		

Come evidenziato nella tabella precedente, gli interventi in progetto sono classificabili come interventi di impermeabilizzazione media ricadenti in **Area A**, ad **alta criticità idraulica** in cui si colloca il comune di Bulciago

In virtù di ciò la normativa, stabilisce il dimensionamento delle opere di accumulo, laminazione e smaltimento delle acque meteoriche sulla base del **Metodo delle sole piogge**; ad ogni modo, il valore del volume di laminazione di calcolo ottenuto deve essere confrontato con quello ottenuto dall'applicazione dei Requisiti minimi di cui all'Art. 12, comma 2, riportati nella seguente tabella:

REQUISITI MINIMI	
CRITICITA' AREA	**VOLUME SPECIFICO STANDARD DI LAMINAZIONE**
Aree A ad alta criticità	800 mc/ha imp
Aree B a media criticità	600 mc/ha imp
Aree C a bassa criticità	400 mc/ha imp

[3]Il Regolamento è da considerarsi in vigore non appena recepito nel regolamento edilizio comunale, o, in mancanza, alla data corrispondente al decorso dei sei mesi successivi alla pubblicazione sul BURL (quindi comunque effettivo dal 27 maggio 2018).

La normativa stabilisce inoltre il valore del coefficiente udometrico, vale a dire il valore massima della portata specifica scaricabile nei ricettori finali, quali corpi idrici superficiali o fognature, a seconda della criticità idraulica dell'area entro cui ricade la proprietà in esame:

COEFFICIENTE UDOMETRICO	
u lim	**TIPOLOGIA AREA**
[l/s/ha imp]	**[-]**
10	A
20	B
20	C

4. INDAGINI INTEGRATIVE

Per la verifica diretta degli spessori, della natura, della profondità dei depositi di copertura e del substrato roccioso, e per la valutazione specifica del coefficiente di permeabilità dei depositi di copertura, si consiglia l'esecuzione delle seguenti indagini integrative:

1) 3-4 scavi di assaggio profondi almeno 4 m.
2) 3-4 prelievo di campioni indisturbati.
3) 3-4 analisi granulometriche e/o aerometriche dei campioni prelevati.
4) 3-4 prove di infiltrazione direttamente negli scavi di assaggio o in pozzetti superficiali.

5. CONCLUSIONI

In relazione agli esiti delle indagini e dei rilievi effettuati, in relazione a quanto elaborato e analizzato nei paragrafi della precedente relazione geologica e geotecnica.
In relazione al quadro vincolistico geologico e idraulico che interessa l'area di intervento in oggetto si ritiene fattibile l'intervento edilizio in esame e compatibile con le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche e idrografiche del terreno ospitante.

A cura di Dott. Geologo Massimo Riva

Con la collaborazione di Dott. Geologo Marco Maggioni

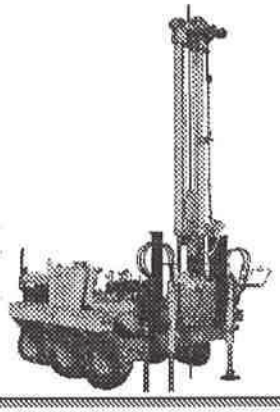
All. 1: Indagini penetrometriche precedenti

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 1
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

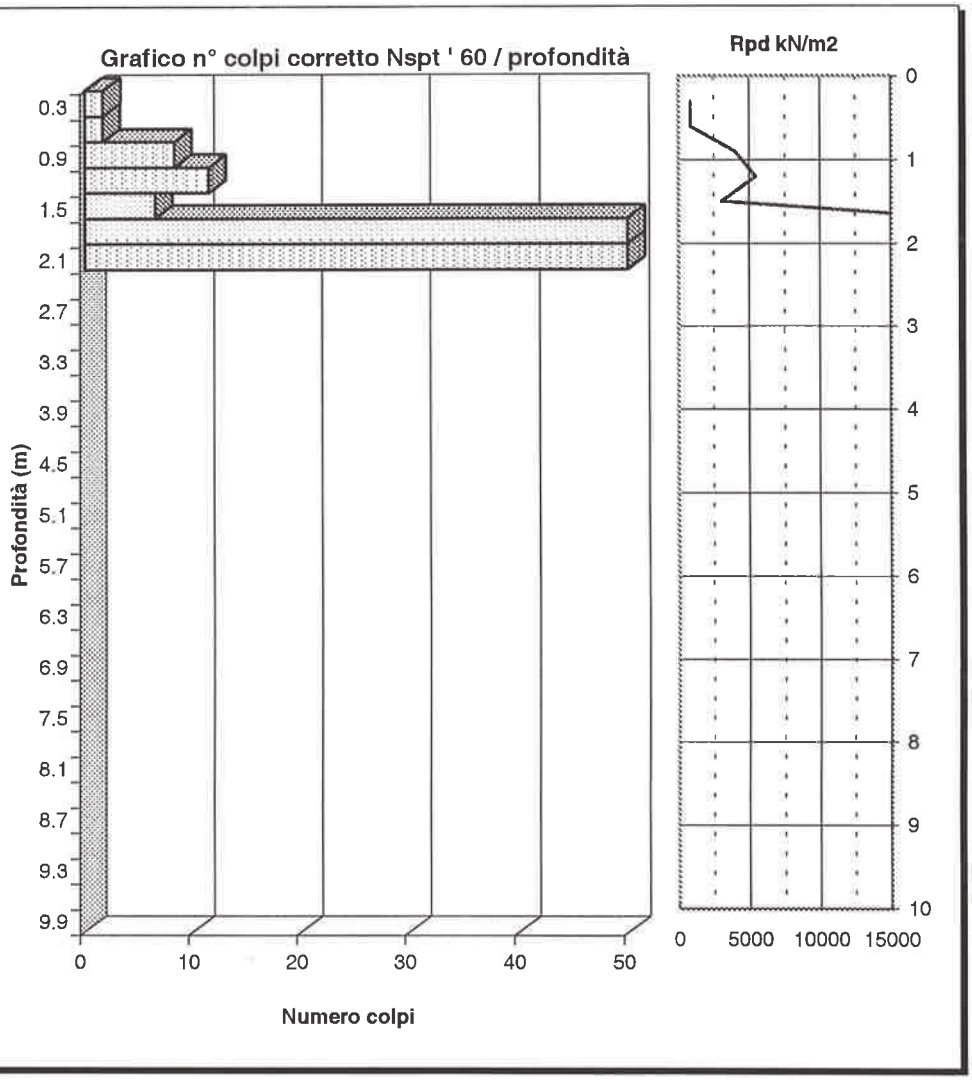
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	1	1	2
0.9	5	7	8
1.2	7	10	11
1.5	4	6	6
1.8	38	53	61
2.1	100	140	158
2.4			
2.7			
3			
3.3			
3.6			
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



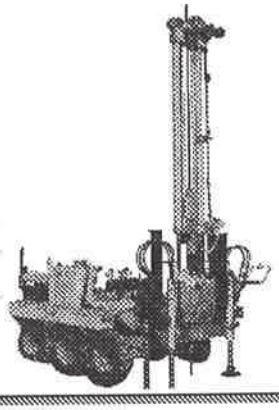
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	0.6	limo sabb.	2	17%	24	992.3E+0	5.3	4.0E+3
0.6	1.7	sabbia ghiaiosa	8	37%	29	13.0E+3	//	52.0E+3
1.7		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 2
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

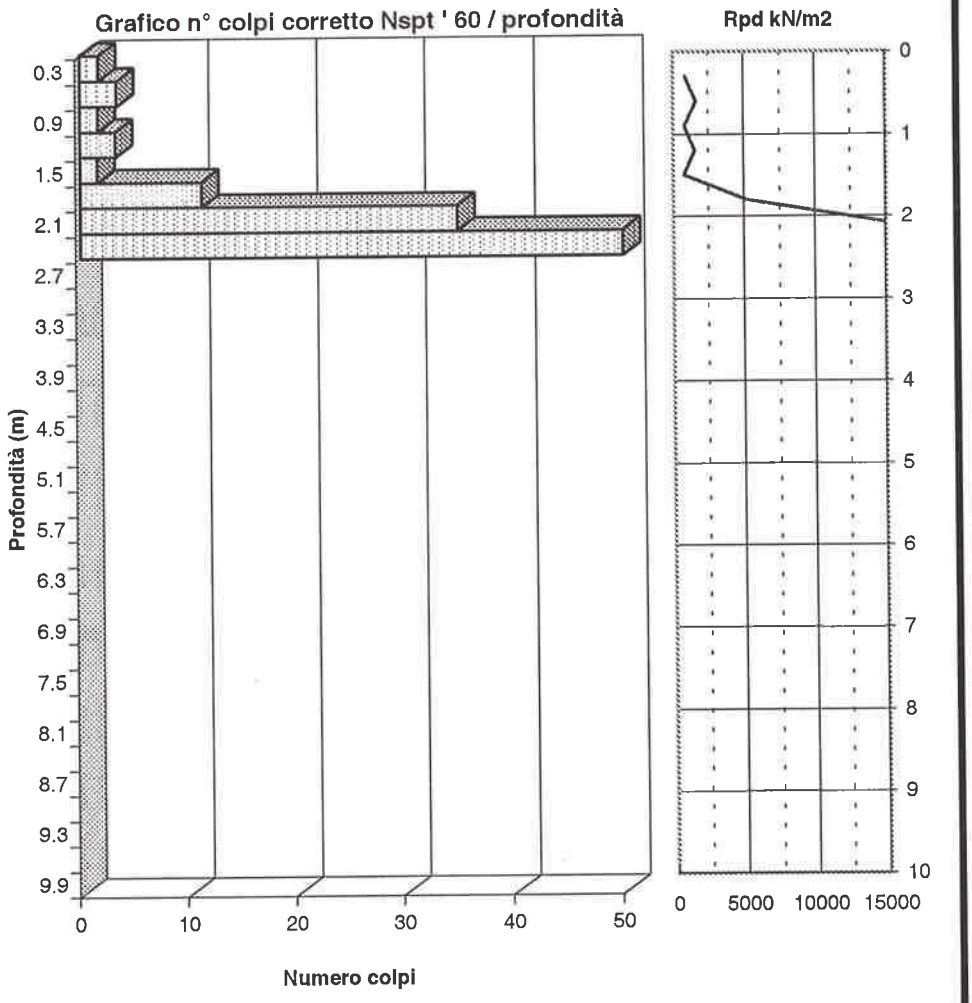
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	2	3	3
0.9	1	1	2
1.2	2	3	3
1.5	1	1	2
1.8	7	10	11
2.1	22	31	35
2.4	100	140	157
2.7			
3			
3.3			
3.6			
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



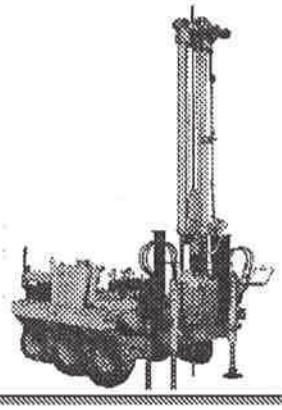
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	1.5	limo sabb.	2	17%	24	997.9E+0	5.3	4.0E+3
1.5	2.1	sabbia ghiaiosa	23	62%	34	36.2E+3	//	144.6E+3
2.1		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 3
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

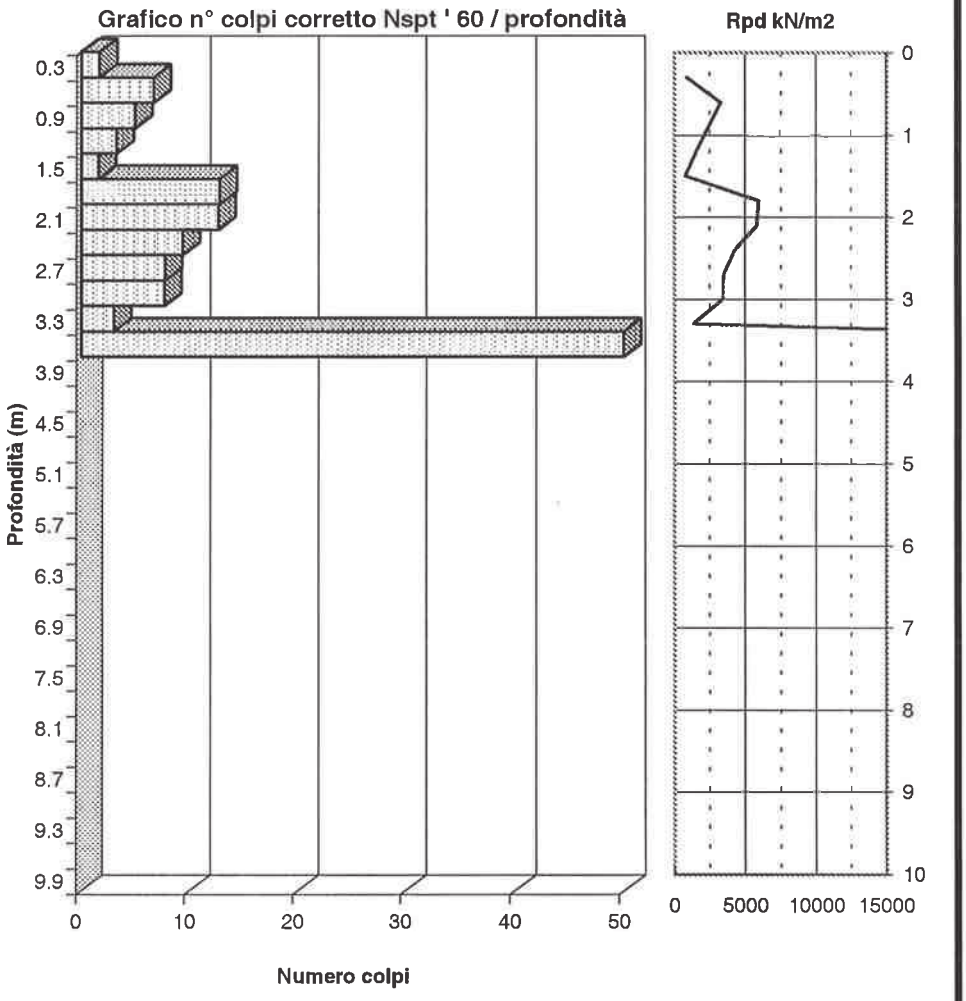
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	4	6	7
0.9	3	4	5
1.2	2	3	3
1.5	1	1	2
1.8	8	11	13
2.1	8	11	13
2.4	6	8	9
2.7	5	7	8
3	5	7	8
3.3	2	3	3
3.6	100	140	150
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



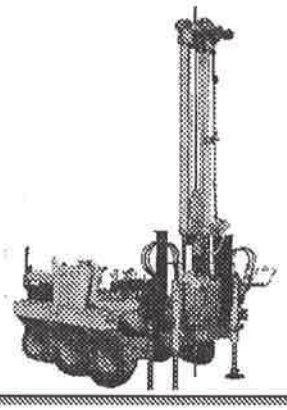
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	1.5	limo sabb.	3	23%	25	1.9E+3	10.2	7.7E+3
1.5	3.3	sabbia ghiaiosa	9	40%	29	14.8E+3	//	59.0E+3
3.3		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 4
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

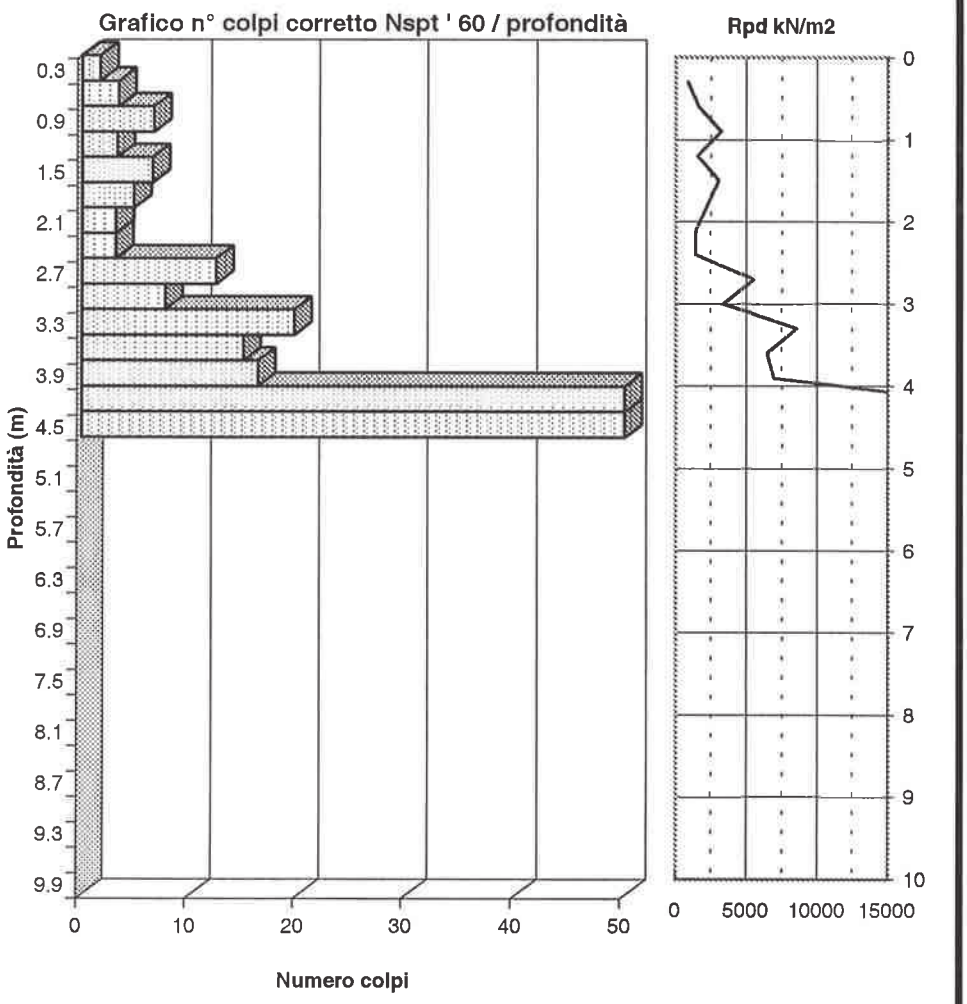
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	2	3	3
0.9	4	6	7
1.2	2	3	3
1.5	4	6	6
1.8	3	4	5
2.1	2	3	3
2.4	2	3	3
2.7	8	11	12
3	5	7	8
3.3	13	18	20
3.6	10	14	15
3.9	11	15	16
4.2	35	49	51
4.5	100	140	145
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



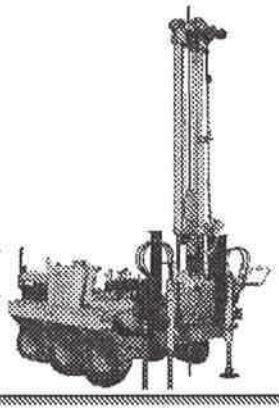
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	2.4	limo sabb.	3	24%	25	2.0E+3	10.3	7.8E+3
2.4	4.3	sabbia ghiaiosa	15	50%	31	23.5E+3	//	93.9E+3
4.3		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 5
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

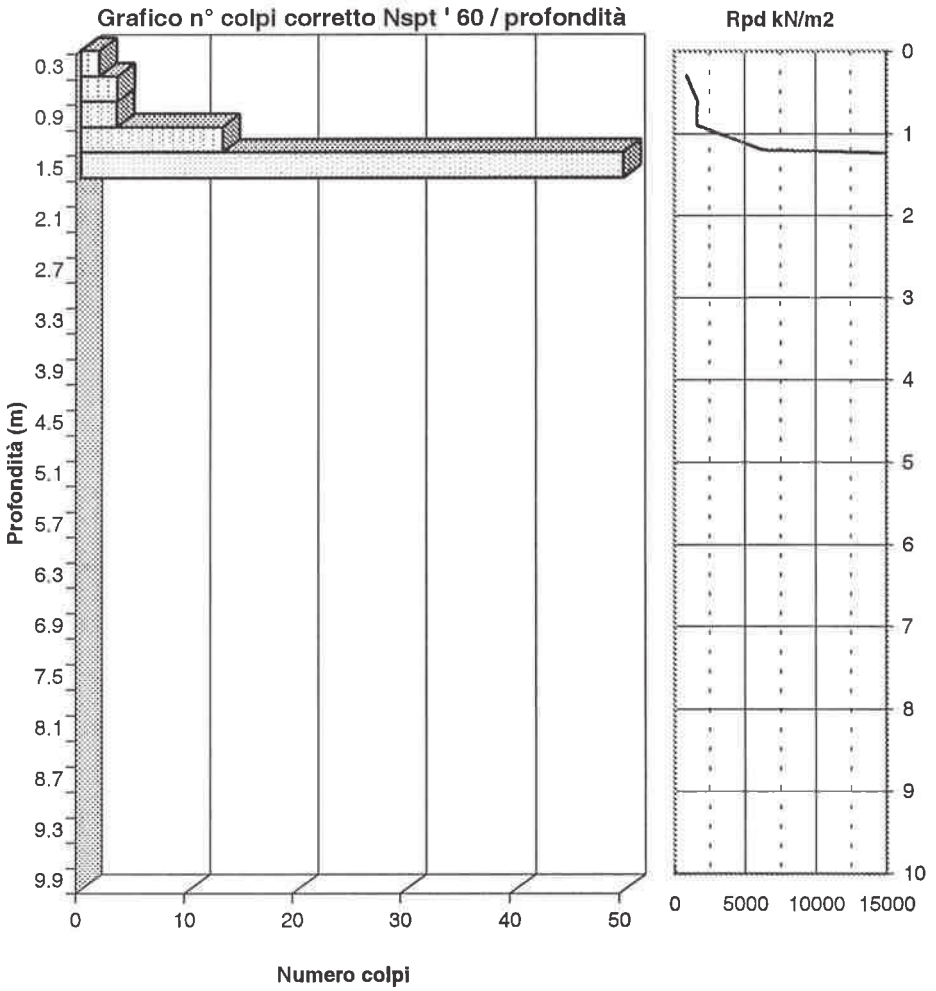
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	2	3	3
0.9	2	3	3
1.2	8	11	13
1.5	100	140	162
1.8			
2.1			
2.4			
2.7			
3			
3.3			
3.6			
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



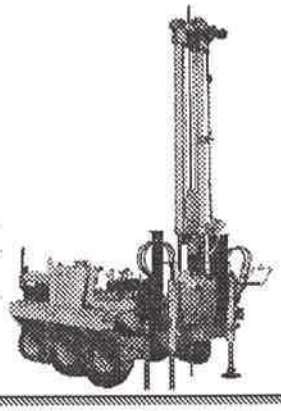
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	0.9	limo sabb.	3	24%	25	2.0E+3	10.3	7.8E+3
0.9	1.2	sabbia ghiaiosa	13	47%	31	20.6E+3	//	82.3E+3
1.2		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 6
Quota: p.c.

Piezometro (m): 5m
Falda: n.r.

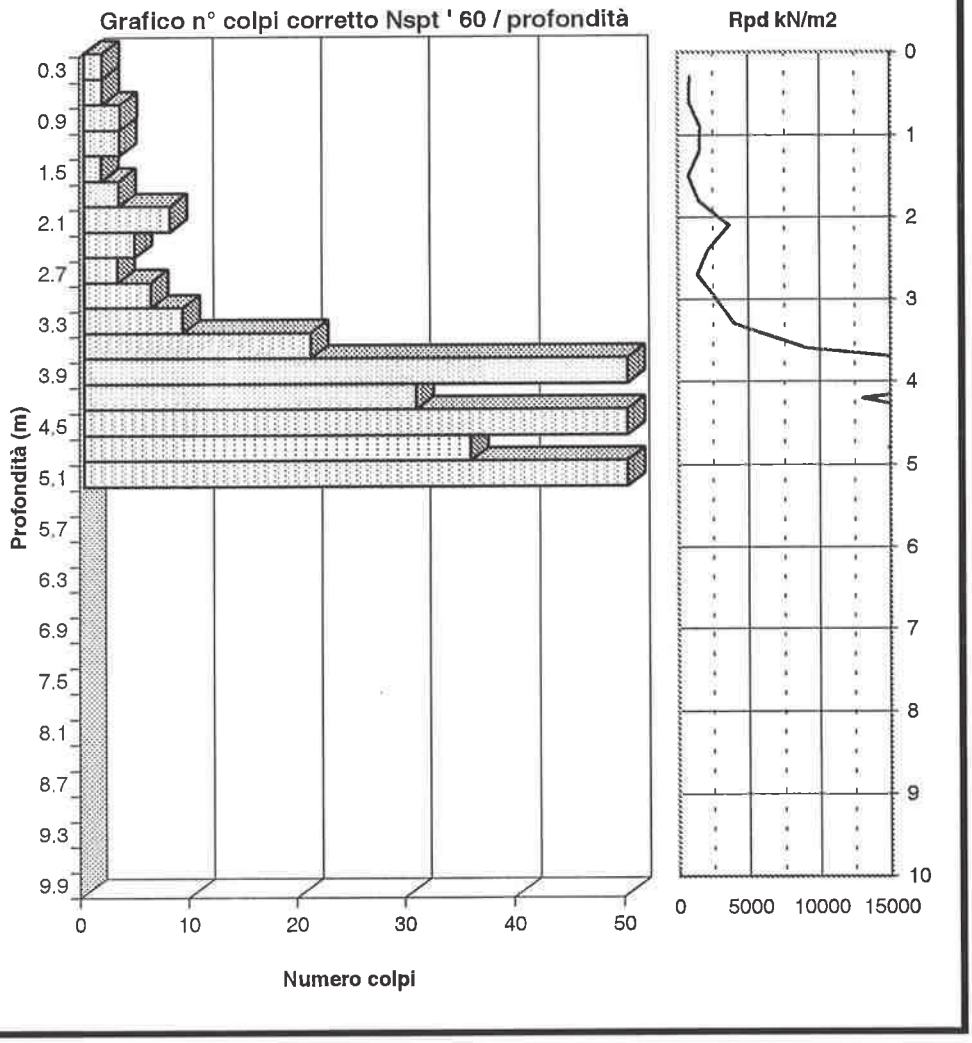
Note: venuta d'acqua a -3m



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	1	1	2
0.9	2	3	3
1.2	2	3	3
1.5	1	1	2
1.8	2	3	3
2.1	5	7	8
2.4	3	4	5
2.7	2	3	3
3	4	6	6
3.3	6	8	9
3.6	14	20	21
3.9	43	60	64
4.2	21	29	31
4.5	36	50	52
4.8	25	35	36
5.1	100	140	141
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



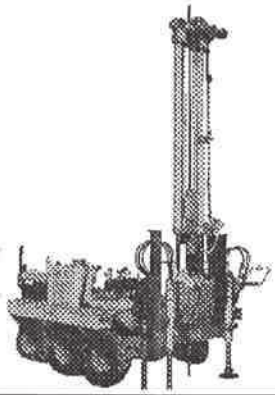
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	1.8	limo sabb.	2	20%	25	1.4E+3	7.7	5.8E+3
1.8	3.3	sabbia ghiaiosa	6	32%	28	9.6E+3	//	38.5E+3
3.3	5.1	ghiaia sabbiosa	36	77%	37	70.1E+3	//	280.3E+3
5.1		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulciago
Data: 19-12-2005

Numero prova: 7
Quota: p.c.

Piezometro (m): no
Falda: n.r.

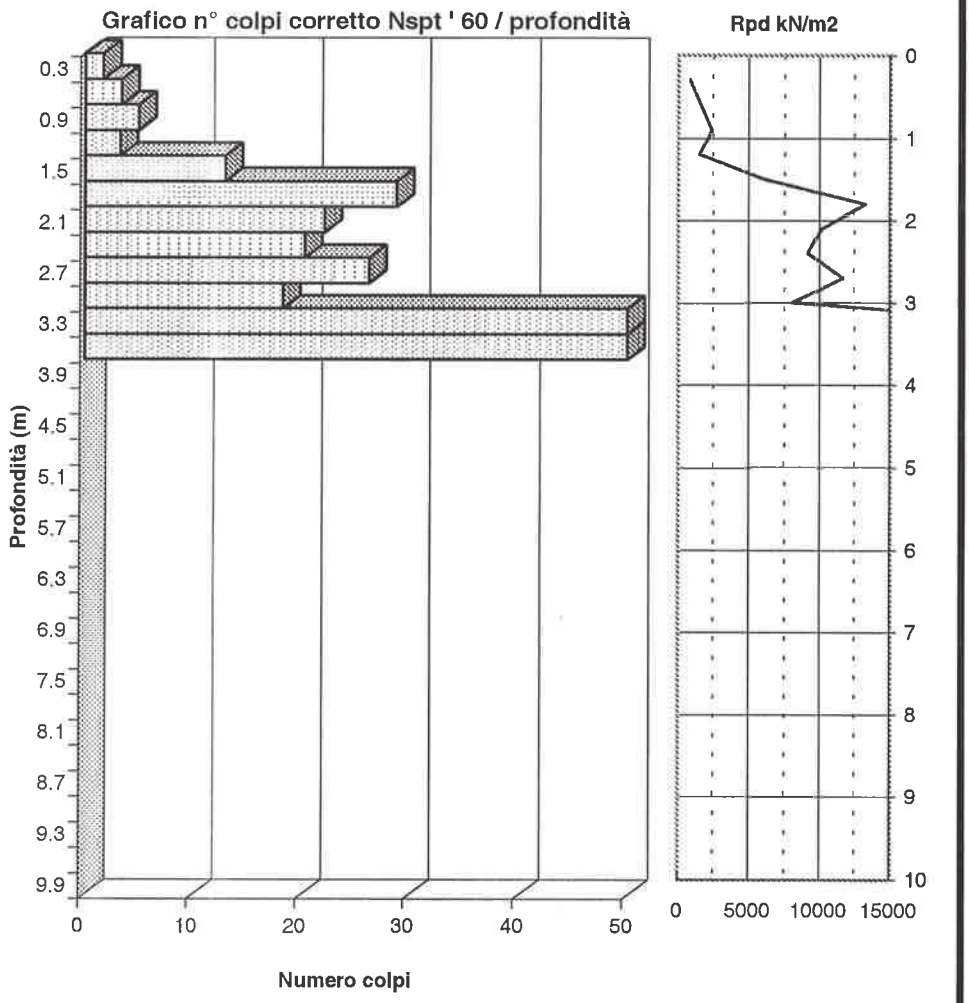
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profondità (m)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	colpi Nspt 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	2	3	3
0.9	3	4	5
1.2	2	3	3
1.5	8	11	13
1.8	18	25	29
2.1	14	20	22
2.4	13	18	20
2.7	17	24	26
3	12	17	18
3.3	48	67	73
3.6	100	140	150
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



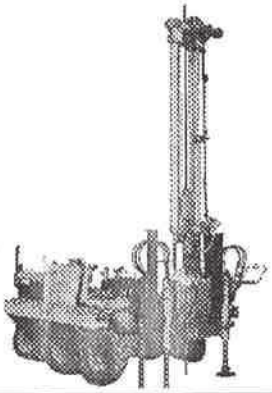
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	1.2	limo sabb.	3	24%	25	2.0E+3	10.3	7.8E+3
1.2	3.3	sabbia ghiaiosa	21	60%	33	33.4E+3	//	133.6E+3
3.3		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

Committente: GEOQUATTRO srl
Luogo: Bulci
Data: 19-12-2

Numero prova:
Quota: p.c.

Piezometro (m):
Falda: n.r.

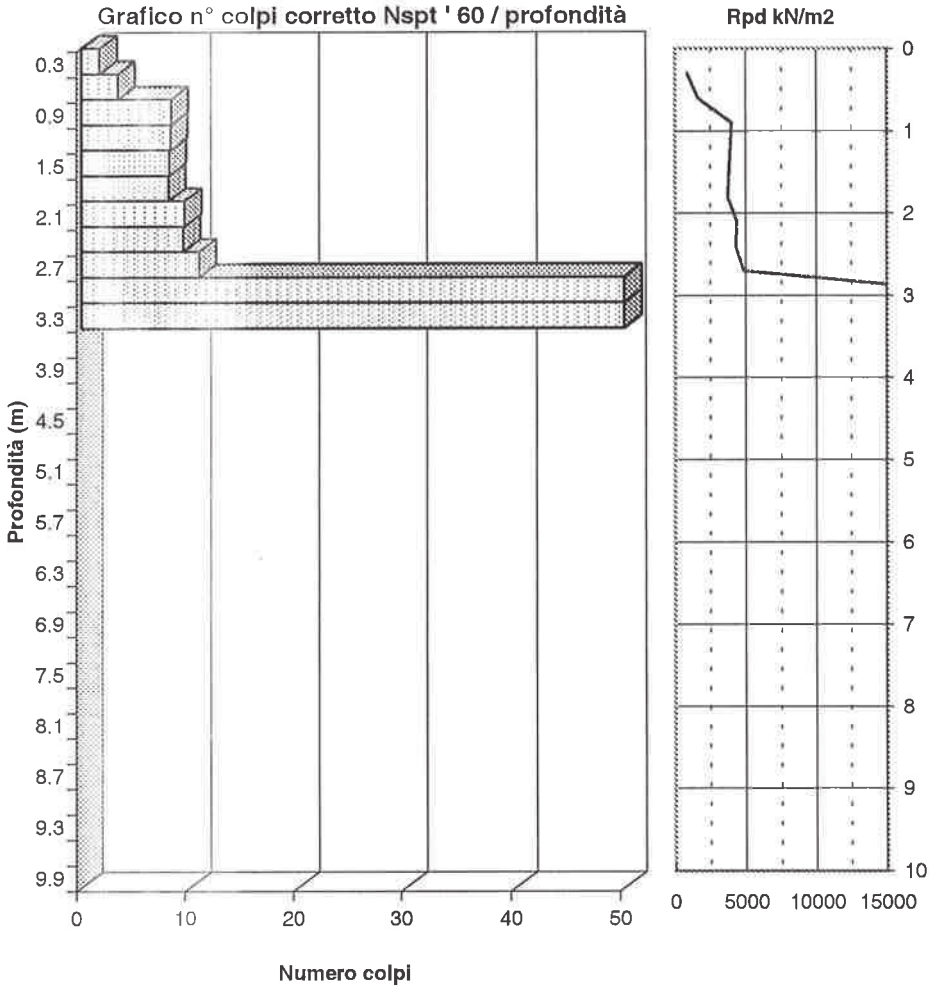
Note:



Caratteristiche Tecniche:
TG73-100
Peso massa battente: 73 kg
Altezza caduta libera: 75 cm
Diametro punta conica: 5,1 cm
Area base punta conica: 20,43 cm2
Angolo apertura punta: 60°
Lunghezza aste: 1,5 m
Diametro aste: 3,4 cm
Peso aste: 7 kg/m
Avanzamento punta: 30 cm

Falda	Profond	)	//

Prof. (m)	colpi Scpt	lpi t 60	colpi Nspt'60
0.3	1	1	2
0.6	2	3	3
0.9	5	7	8
1.2	5	7	8
1.5	5	7	8
1.8	5	7	8
2.1	6	8	10
2.4	6	6	9
2.7	7	9	11
3	35	9	54
3.3	100	10	151
3.6			
3.9			
4.2			
4.5			
4.8			
5.1			
5.4			
5.7			
6			
6.3			
6.6			
6.9			
7.2			
7.5			
7.8			
8.1			
8.4			
8.7			
9			
9.3			
9.6			
9.9			
10.2			
10.5			
10.8			
11.1			
11.4			
11.7			
12			
12.3			
12.6			
12.9			
13.2			
13.5			
13.8			
14.1			
14.4			
14.7			
15			



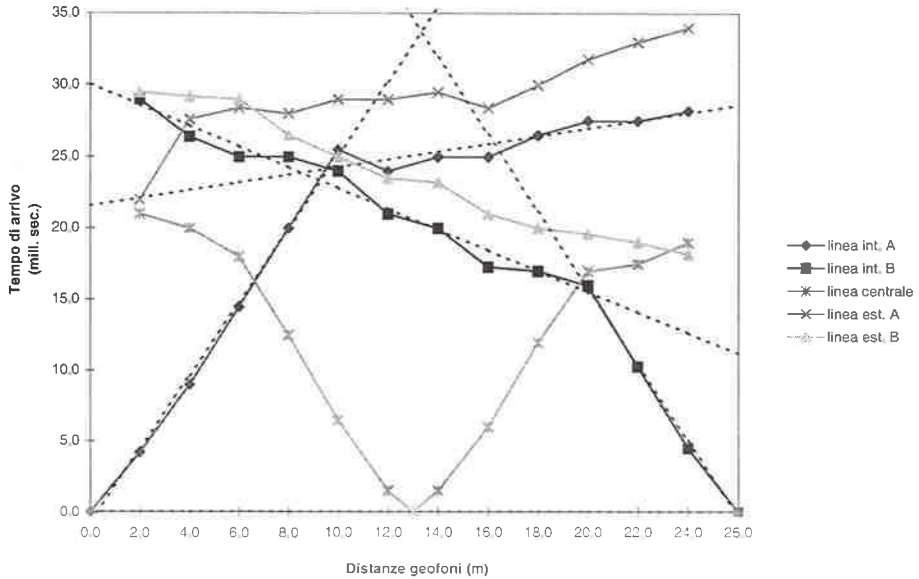
Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Dr	Φ	E (kN/m2)	Cu (kN/m2)	Kw (kN/m3)
0	0.6	limo sabb.	3	21%	25	1.5E+3	7.9	5.9E+3
0.6	3.3	sabbia ghiaiosa	8	37%	29	13.0E+3	//	52.0E+3
3.3		Rifiuto	100	100%	>40	>3,0E+04	//	>1,2E+0,5

All. 2: Sismica a rifrazione precedente

Sismica a rifrazione

Equidistanza geofoni	2.0													
	2.0	Dist. scoppio int-geof1											Dist. scoppio int-geof12	2.0
distanza geofoni	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0
linea int. A	0.0	4.2	9.0	14.5	20.0	25.5	24.0	25.0	25.0	26.5	27.5	27.5	28.2	
linea int. B		29.0	26.4	25.0	25.0	24.0	21.0	20.0	17.3	17.0	16.0	10.3	4.5	0.0
linea centrale		21.0	20.0	18.0	12.5	6.5	1.5	1.5	6.0	12.0	17.0	17.5	19.0	
linea est. A		22.0	27.6	28.4	28.0	29.0	29.0	29.5	28.4	30.0	31.8	33.0	34.0	
linea est. B		29.5	29.2	29.0	26.5	25.0	23.5	23.2	21.0	20.0	19.6	19.0	18.2	

DROMOCRONE



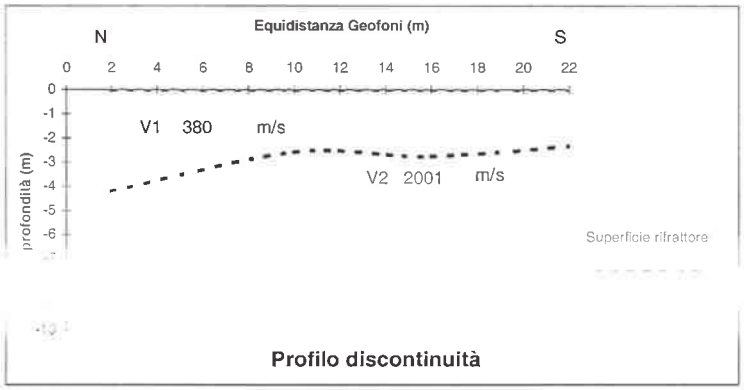
Velocità 1 (m/s)
380

Spessori 1 (m)	
4.2	2.2

Y °
5

Velocità 2 (m/s)
2001

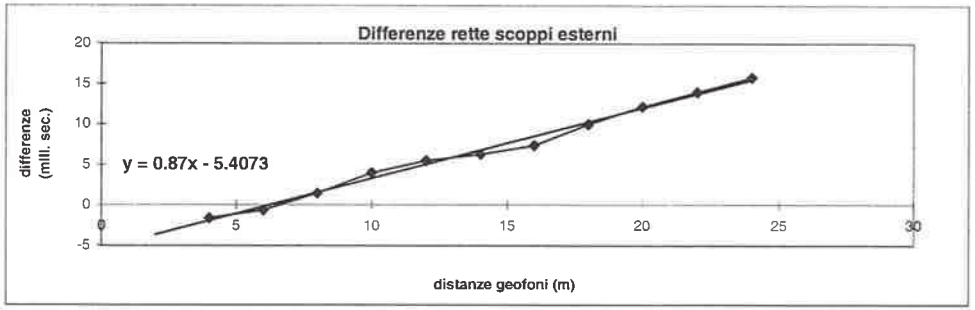
Metodo "intercept times"



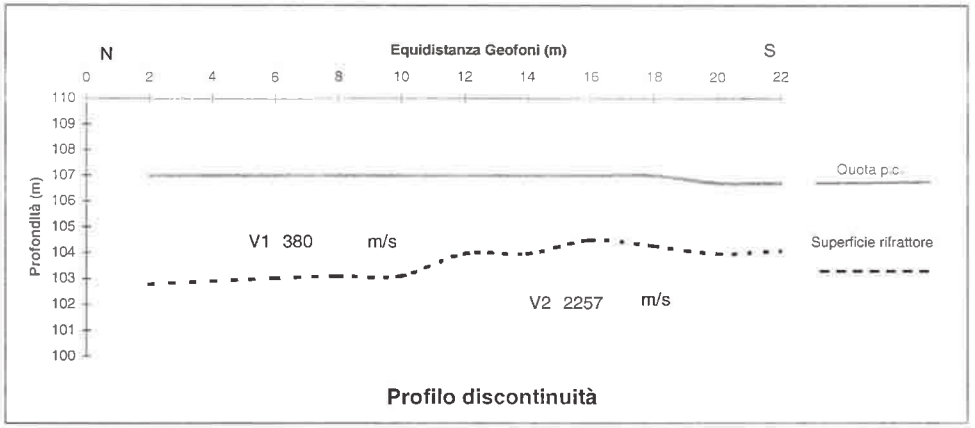
Profilo discontinuità

Metodo "delay times"

Distanze geofoni	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Differenza est.		+1.6	-0.6	1.5	4	5.5	6.3	7.4	10	12.2	14	15.8



Interpolazioni	0	24	Vel.	m	q
Rifrattore	-5.41	17.21	2299	0.87	-5.41



Profilo discontinuità

Distanze geofoni	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Spessore rif. (m)	4.2	4.1	4.2	3.9	3.5							

All. 3: Metodologia e risultati indagine sismica MASW

ALLEGATO 3 – METODOLOGIA E RISULTATI INDAGINE SISMICA MASW

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidezza superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (Ground troll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs..

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.
Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.
La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza(<10Hz).
L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.
Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – METODO HVSR

La metodologia sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) misura il rumore sismico ambientale che è presente ovunque sulla superficie terreste, ed è prodotto dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, microterremoti, vento) e dall'attività antropica.

Il rumore sismico ambientale viene anche chiamato microtremore in quanto costituito da oscillazioni di piccolissima ampiezza se confrontate con quelle associate ai terremoti.

La denominazione di sismica passiva dipende dal fatto che il rumore non viene generato ***artificialmente,*** come nelle energizzazione della sismica attiva, ma è presente naturalmente.

In qualsiasi luogo pianeggiante sono sempre presenti delle vibrazioni associate alle onde oceaniche con dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz. A questo comportamento spettrale di "fondo", sempre presente in varia forma, e soggetto a scarsissima attenuazione, si sovrappongono le sorgenti locali dovute alle attività antropiche (traffico, macchinari ecc..) e naturali. L'effetto di queste sorgenti locali è soggetto ad attenuazioni quanto maggiori all'aumentare della frequenza e dovute all'assorbimento anelastico associato all'attrito interno delle rocce e dei terreni.

La metodologia HVSR è stata introdotta da Nakamura (1989) per la determinazione delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale, elementi di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza (***F***) dello strato di terreno ***n*** è data dalla formula:

Fn = Vs/4 h

in cui **Vs** è la velocità media delle onde S nello strato ***N*** ed **h** è lo spessore.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità è in grado di fornire previsioni sullo spessore ***h*** degli strati.

Viceversa, nota la stratigrafia è teoricamente possibile fornire una valutazione approssimativa della velocità delle onde S nei singoli strati.

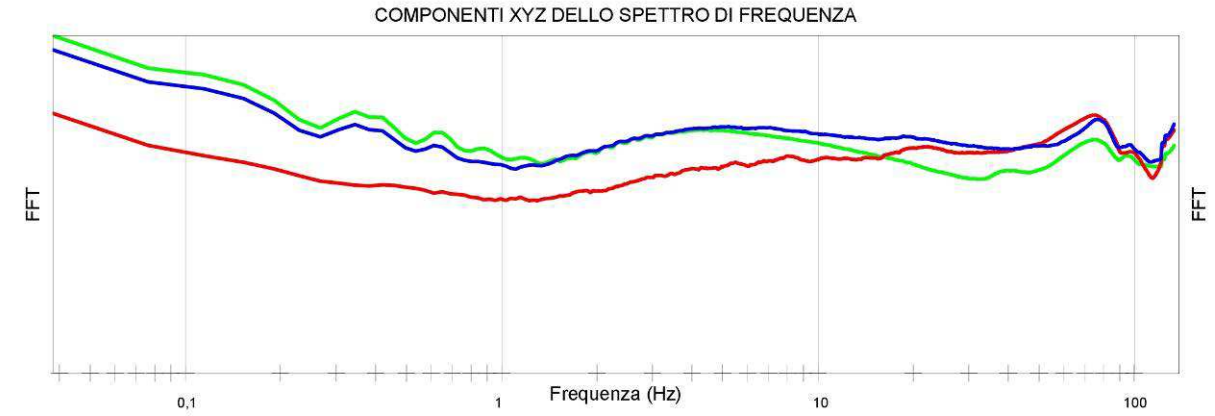
I risultati (grafici) visibili in allegato, sono stati ottenuti mediante impiego di un geofono triassiale ed elaborati con software:

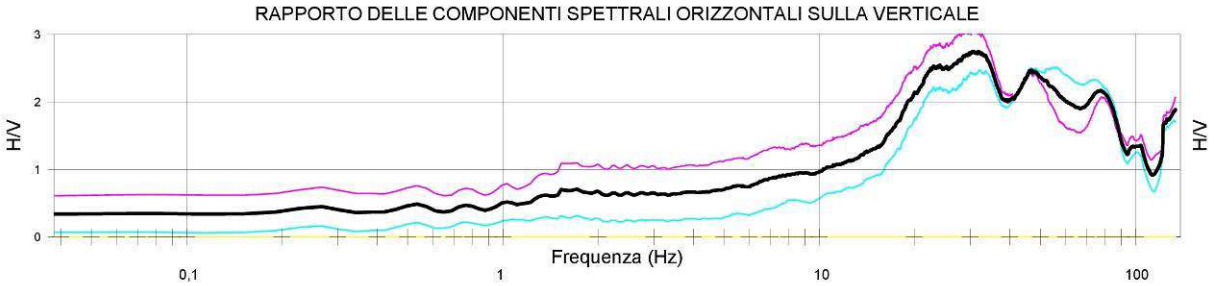
- il segnale dei velocimetri (3) è acquisito in sito per un tempo t, e digitalizzato a 16 bit con due linee di preamplificatori .

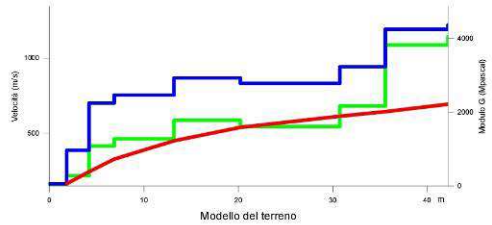
Per ciascuna delle 3 componenti del moto, il software esegue le seguenti elaborazioni:

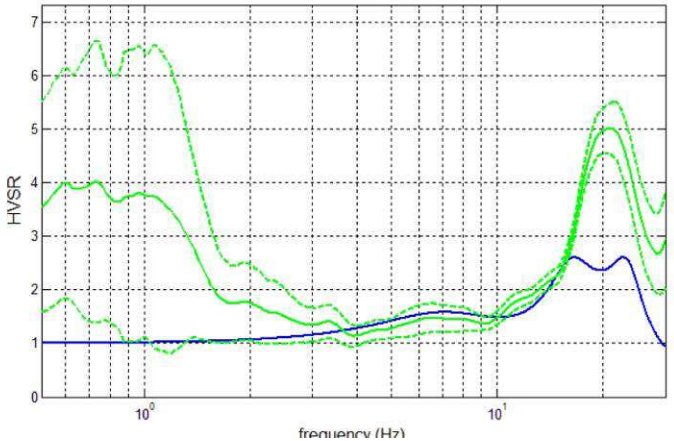
- divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo lavoro generalmente 26 s);
- elimina il trend da ciascuna finestra;
- fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- liscia lo spettro di ogni finestra secondo opportuno smoothing;
- calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra.









LEGENDA

Spettro asse Z (verticale)

Spettro asse X

Spettro asse Y

H/V direzione X

H/V direzione Y

H/V media

Durata della registrazione 24' 1.8"

Campionamento 10 Khz

Finestra di campionamento 26,2 s

Picco alla frequenza: 20 Hz circa

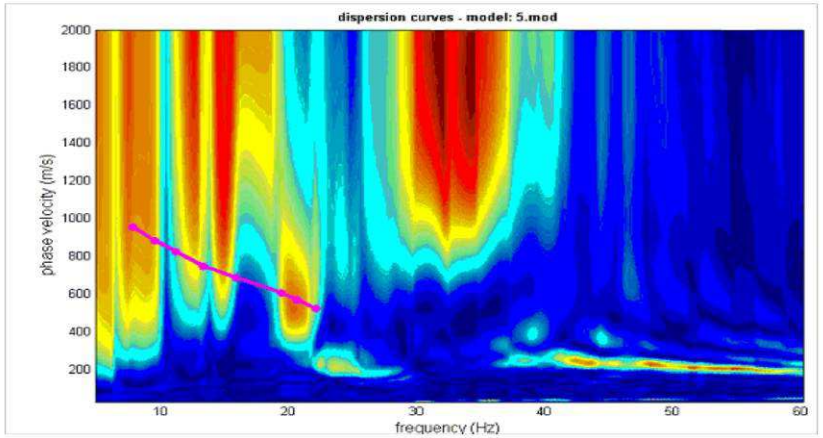
PROVA H/V

Bulciago (LC)

Metodo Nakamura

SPETTRI DI FREQUENZA
PROVA D11923

Giugno 2018



LEGENDA

Curva di dispersione misurata

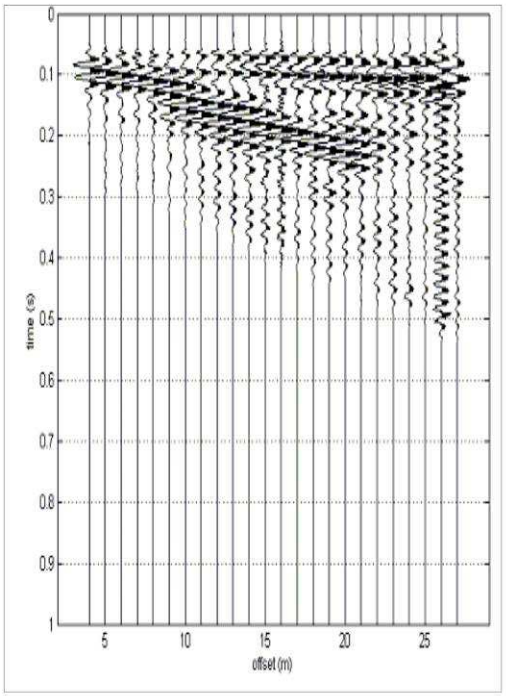
Curva di dispersione calcolata

Velocità sismica delle onde S

Modulo di taglio (Mpascal)

VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula D=1.5 + Vs/1000



Sismogramma

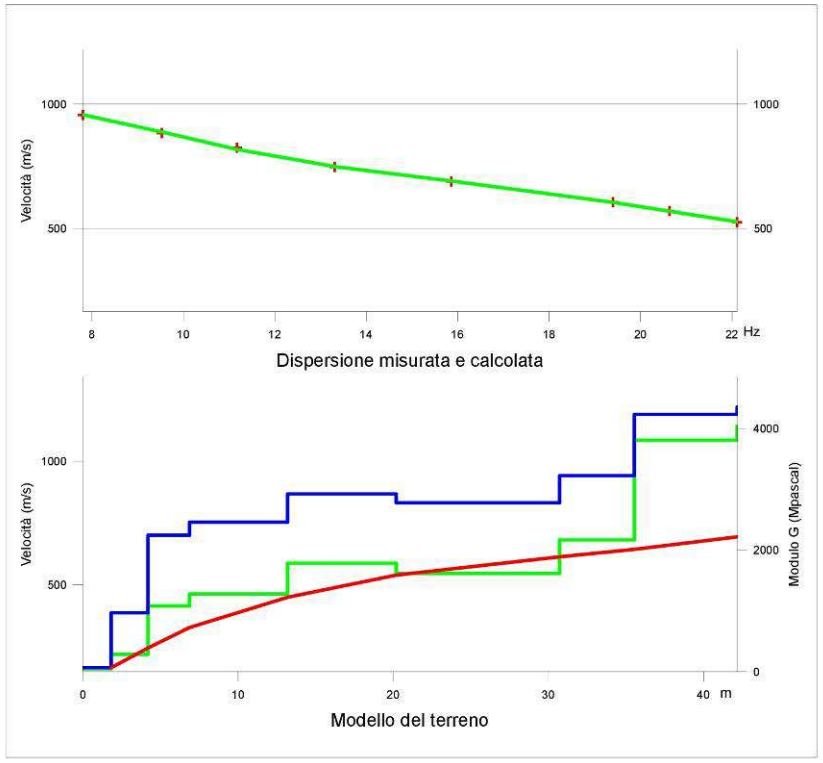


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.8	165	.0111	165	45
1.8	4.2	387	.0061	244	283
4.2	6.9	701	.0038	327	1082
6.9	13.2	753	.0084	449	1277
13.2	20.2	868	.0081	539	1784
20.2	30.7	832	.0127	613	1614
30.7	35.5	942	.0051	644	2167
35.5	42.2	1190	.0056	694	3812

VALORE CALCOLATO VS30 = 609 m/s

VALORE CALCOLATO VS EQ. = 450 m/s

PROVA SISMICA VS30

SGTL

Bulciago (LC)

Metodologia MASW

VELOCITA' DELLE ONDE S

Giugno 2018