

PROVINCIA DI BERGAMO



COMUNE DI BRUSAPORTO

**PROGETTO DI AMPLIAMENTO
CIMITERO COMUNALE**

Relazione geologica

INDICE

1.	<i>PREMESSA</i>	3
2.	<i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - GEOMORFOLOGICO</i>	3
3.	<i>INQUADRAMENTO CLIMATICO</i>	3
4.	<i>RILIEVO GEOLOGICO</i>	4
5.	<i>RILIEVO GEOPEDOLOGICO</i>	4
6.	<i>IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA</i>	6
6.1	Struttura idrogeologica	6
6.2	Permeabilità dei terreni	7
6.2.1	Misure di permeabilità in pozzetto	7
6.3	Caratteristiche della falda	8
7.	<i>INDAGINI GEOGNOSTICHE E VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEI TERRENI</i>	9
7.1	ANALISI CHIMICA E GRANULOMETRICA DEI TERRENI	11
7.1.1	Analisi granulometrica dei terreni	11
7.1.2	Analisi chimica dei terreni	13
7.2	PROVE PENETROMETRICHE	15
7.2.1	Caratterizzazione geotecnica	16
7.2.2	Valutazione capacità portante	17
8.	<i>CONCLUSIONI</i>	19

Allegato cartografico

- Tavola 1. Inquadramento geografico con localizzazione del sito d'intervento;
- Tavola 2. Carta geologica;
- Tavola 3. Carta geopedologica;
- Tavola 4. Carta idrografica – idrogeologica;
- Tavola 5. Carta della soggiacenza della falda freatica.

Si ricorda che tutti i diritti di riproduzione e di rielaborazione sono riservati.

data 31/03/2003


 Dott. Geol. Pedrali Carlo
 n° 860

2

COMUNE DI BRUSAPORTO
 Ampliamento cimitero comunale

Relazione geologica

1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale ho redatto il presente studio geologico atto ad individuare, le caratteristiche dei terreni immediatamente circostanti il cimitero comunale; ciò in relazione al suo previsto ampliamento verso nord (tavola n.1), in un'area attualmente occupata da un'attività florovivaistica.

Nella zona di futuro ampliamento sono previsti, oltre ai normali campi di sepoltura in terra, il raddoppio della struttura in elevazione che ospita i colombari e, in posizione centrale, nuove tombe interrato disposte su quattro file. Il cimitero è posto in vicinanza del limite comunale con Seriate.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - GEOMORFOLOGICO

La zona circostante il cimitero comunale risulta completamente pianeggiante con una quota topografica di circa 236 m s.l.m.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in esame è riferibile al "*Livello Fondamentale della Pianura*" formatosi in gran parte, nelle fasi di colmamento fluvio-glaciale, ad opera delle grandi fiumare che scendevano dall'edificio alpino; tale superficie ha subito successive erosioni e rielaborazioni ad opera dei fiumi attuali.

3. INQUADRAMENTO CLIMATICO

I dati climatici di riferimento per la zona in esame, sono forniti dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Stezzano (contenuti nella pubblicazione ERSAL "I suoli dell'Hinterland Bergamasco", 1992). Essi sono significativi per il settore dell'alta pianura bergamasca immediatamente a ridosso dei rilievi collinari e quindi anche per il comune di Brusaporto.

I valori medi annuali della temperatura dell'aria e del terreno (per il periodo di riferimento - 1963-1989) sono rispettivamente di 12.3° con un'escursione termica media annua di 20.9° e di 12.5° alla profondità di 50 cm.

Per quanto riguarda le precipitazioni del trentennio 1958-1987, il valore medio complessivo ammonta a 1184 mm/anno, mentre nei tre decenni la media è stata rispettivamente di: 1228, 1189 e 1135 millimetri. Il valore annuale minimo di precipitazione risulta di 870 mm, mentre il massimo è di 1646 mm. Il regime mensile delle precipitazioni è caratterizzato da due massimi, rispettivamente tardo primaverile (maggio-giugno) e tardo estivo (agosto: media di 133 mm), intervallati da un minimo relativo in luglio (media di 102 mm). Il minimo principale si verifica durante la stagione invernale (gennaio: 69 mm). Questi dati indicano che nel complesso le precipitazioni sono ben distribuite durante l'anno. Il regime delle precipitazioni è tendenzialmente continentale, con le precipitazioni concentrate nel semestre caldo, mentre la distribuzione delle stesse è suboceanica, con un escursione media annua di soli 74 mm.

Va sottolineata l'elevata piovosità estiva, che supera sempre i 100 mm mensili, ciò limita notevolmente il periodo di aridità del suolo (cioè il deficit idrico estivo), che

invece risulta piuttosto marcato nella bassa pianura padana (giugno-agosto). Infatti, il calcolo del bilancio idrico del suolo secondo il metodo di Thornthwaite, evidenzia che si verificano mediamente condizioni di deficit idrico nel suolo solamente durante il mese di luglio. Il deficit idrico totale è pertanto molto basso (8,7 mm).

4. RILIEVO GEOLOGICO

Nella zona di studio sono presenti esclusivamente terreni appartenenti, secondo la recente bibliografia geologica, all'Unità di Cologno (vedi Carta Geologica della Provincia di Bergamo, a cura dell'Amm.ne Provinciale di Bergamo, anno 2000).

Tale unità (vedi tavola n.2) è costituita da depositi fluvioglaciali prevalentemente sciolti di età **Wurmiana o Tardiglaciale** (Pleistocene Superiore).

L'unità è rappresentata da depositi a supporto clastico prevalentemente ghiaiosi e ciottolosi (con rari blocchi), poligenici. I ciottoli appaiono prevalentemente da arrotondati a subarrotondati, con dimensione massima di 10-20 cm. La matrice è sabbioso calcarea e la cementazione è diffusa, ma scarsa e disomogenea (aumenta al di sotto dei primi 15 metri).

La litologia prevalente dei clasti è rappresentata da rocce calcaree e da conglomerati ed arenarie permiane (Verrucano e Collio) e secondariamente da rocce cristalline (metamorfiti prevalenti - gneiss, quarziti); essi non appaiono alterati.

L'ambiente di deposizione è quello tipico di fiumi di tipo "Braided" con strutture deposizionali a barre longitudinali e depositi fini intercalati relativi a fasi di riempimento ad opera di canali minori o legati ad episodi di esondazione. E' comune una stratificazione grossolana suborizzontale mentre appare subordinata la stratificazione incrociata concava; appare frequentemente riconoscibile una gradazione diretta con un'embricatura a basso angolo. Sono riconoscibili strati sabbiosi centimetrici (massimo decimetrici) discontinui lateralmente (lenticolari), a laminazione orizzontale ed incrociata a basso angolo.

Tale deposito appare localmente ricoperto da limi di esondazione. La superficie limite superiore è pedogeneizzata con suoli che se conservati raggiungono uno spessore massimo di un metro.

Il limite inferiore di tale unità è marcato dalla presenza di un paleosuolo sepolto e dal sottostante conglomerato fluviale (attribuito al Pleistocene Inferiore) visibile in affioramento lungo il Serio e denominato genericamente "Ceppo".

5. RILIEVO GEOPEDOLOGICO

Nel quadro del Progetto "Carta Pedologica", l' ERSAL ha realizzato uno studio di dettaglio sull'hinterland di Bergamo (1992).

Nella zona in questione sono stati riconosciuti i seguenti ordini di suolo (tavola n.3):

Inceptisuoli (EPT): Suoli mediamente evoluti che presentano un orizzonte cambico, ovvero un orizzonte diagnostico profondo derivante da un'alterazione chimico-fisica che porta alla rimozione di basi, ferro ed alluminio, nonché alla neoformazione di argille. La limitata evoluzione di questi suoli dipende da fattori fisico-climatici,

geomorfologici, litologici o da un tempo di azione poco prolungato dei diversi fattori pedogenetici. I profili sono moderatamente profondi (mediamente compresi tra 80 cm e 1,5 m) e rispecchiano le caratteristiche del clima e del substrato geologico da cui traggono origine. Gli inceptisuoli si suddividono in base a caratteristiche climatiche, geologiche, idrogeologiche.

Nell'area in questione, sono presenti suoli con un'elevata saturazione in basi, detti **EUTROCHREPTS**.

Si tratta di una consociazione di suoli moderatamente profondi appartenenti al Sistema fluvio-glaciale e fluviale terrazzato del "Livello Fondamentale della Pianura", con scheletro frequente in superficie ed abbondante in profondità, tessitura media, reazione da neutra a subalcalina in superficie ed alcalina in profondità, saturazione alta, scarsamente calcarei in superficie e molto calcarei in profondità, drenaggio buono (U.C.35, CPN1, class. USDA: Typic EUTROCHREPTS scheletro argilloso, class. FAO: Eutric CAMBISOLS).

LEGENDA CARTA GEOPEDOLOGICA (tavola n.3)

- **DC (depositi colluviali):** Fascia di depositi colluviali alla base del glacis d'accumulo, costituito da materiali generalmente ben selezionati ma con rari contributi anche di azione puramente gravitativa.

DYSTROCHREPTS Suoli moderatamente profondi, con scheletro assente o scarso, tessitura moderatamente fine, reazione acida, saturazione molto bassa, drenaggio buono.

- **DF (depositi fluviali):** Ghiaie e ciottoli poligenici ben selezionati, a supporto clastico, con rari blocchi. Ciottoli da arrotondati a subarrotondati di forma prevalentemente discoidale.

DF(H) HAPLUDALFS Suoli profondi con scheletro comune o frequente, tessitura moderatamente fine, reazione subacida in superficie e da neutra a subalcalina in profondità, saturazione alta, calcarei in profondità, drenaggio da buono a mediocre.

DF(E) EUTROCHREPTS Suoli moderatamente profondi con scheletro frequente in superficie ed abbondante in profondità, tessitura media, reazione da neutra a subalcalina in superficie e alcalina in profondità, saturazione alta, scarsamente calcarei in superficie e molto calcarei in profondità, drenaggio buono. (spessore medio 50-100 cm).

6. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Nello stralcio della carta riprodotta (tavola n.4) sono stati riportati tutti gli elementi riguardanti sia la circolazione idrica superficiale naturale e artificiale (canali di irrigazione o rogge) che gli elementi della circolazione idrica sotterranea (sorgenti, pozzi, direzione di flusso della falda) presenti nella zona di studio.

E' stato inoltre prodotto uno stralcio della carta della soggiacenza della falda freatica della zona di studio. I dati di soggiacenza si riferiscono a rilievi condotti dallo scrivente per la stesura della "Componente geologica nella pianificazione territoriale" e relativi al giugno 1997 (vedi tavola n.5).

Nella zona di studio non vi sono torrenti, rii o fossi ma esclusivamente rogge scoperte o coperte.

Nella zona circostante inoltre, per un raggio di duecento metri, non esistono pozzi ad uso idropotabile. Il pozzo più vicino, adibito a tale uso, è presente 600 metri più a sud del limite comunale meridionale, in corrispondenza del casello autostradale.

6.1 Struttura idrogeologica

Dall'esame delle sezioni stratigrafiche allegare allo studio sopra citato, è possibile ricostruire, per tale zona, una struttura idrogeologica costituita da diverse unità all'interno delle quali sono riconoscibili essenzialmente due acquiferi principali:

il I° **Acquifero**, che si estende da 0 sino a 60 metri di profondità, è così caratterizzato:

- da 0 a 20-30 metri: ghiaie e sabbie con ciottoli sciolte che costituiscono l'**unità ghiaiosa superficiale**;
- da 20 a 60 metri: conglomerato fluviale grossolano a cementazione irregolare e diffusa che presenta rare intercalazioni lenticolari limoso-argillose o di ghiaie fini/sabbie non cementate (**Unità Conglomeratica**). Questo conglomerato, definito genericamente "Ceppo", è segnalato in gran parte delle perforazioni per acqua effettuate nella zona e per le caratteristiche molto simili a quello affiorante in corrispondenza della forra del fiume Adda (Ceppo dell'Adda) è stato attribuito al Pliocene sup.-Pleistocene inf..

Tale conglomerato è soggetto a processi di alterazione e di dissoluzione dei clasti calcarei. Per questa ragione le aree di affioramento di tale conglomerato rappresentano una via preferenziale, anche se puntuale, d'infiltrazione delle acque superficiali, mentre in profondità tale unità rappresenta un importante acquifero;

il II° **Acquifero**, che si estende nella fascia dell'alta pianura, dai 60 (80) sino ai 100 metri di profondità, in quest'area risulta in comunicazione con quello più superficiale per l'assenza di livelli impermeabili (argille) sufficientemente spessi e continui in grado di fungere da efficaci elementi separatori e secondariamente anche dal fatto che vi sono pozzi i cui filtri sono stati posti a diverse profondità mettendo così in costante comunicazione le acque dei due acquiferi. Il secondo acquifero è costituito da:

- da un sottile **alternanza ritmica di lenti/livelli di ghiaie e sabbie o conglomeratici con lenti argillose** che poggiano direttamente sul sottostante "substrato" idrogeologicamente impermeabile costituito in prevalenza da argille cineree (grigio-azzurre) di ambiente lacustre (Villafranchiane?) il cui limite superiore appare irregolare per successive azioni erosive. Alla base di tali argille è presente un'unità attribuita al Pliocene marino e costituita da tre diverse facies (Brambilla G. et al. 1983); dall'alto verso il basso vi sono: argille verdognole, sabbie siltose giallastre e argille grigie.

6.2 Permeabilità dei terreni

Per quanto riguarda la conducibilità idraulica che caratterizza le unità idrogeologiche più superficiali sopra citate, si riportano le indicazioni bibliografiche esistenti:

- 10^{-1} - 10^{-3} m/s per le ghiaie con sabbie e ciottoli, sciolte o poco cementate alla quale si intercalano sottili livelli di conglomerati poco cementati;
- 10^{-4} - 10^{-6} m/s per le ghiaie limo sabbiose con pochi ciottoli.

6.2.1 Misure di permeabilità in pozzetto

Per quanto riguarda una valutazione più diretta della permeabilità in sito si è provveduto, nell'ambito dello studio in questione, a scavare due pozzetti rettangolari a pareti verticali, uno (prova 1) in corrispondenza del campo di sepoltura posto ad est e l'altro (prova n.2) nel campo di sepoltura previsto ad ovest. In corrispondenza di essi si è provveduto ad effettuare prove di permeabilità a carico variabile (in abbassamento, al di sopra del livello di falda).

La prova in abbassamento consiste nel misurare gli abbassamenti di livello che si verificano al trascorrere del tempo; essi sono legati all'infiltrazione dell'acqua, in corrispondenza delle pareti laterali e del fondo del pozzetto.

Entrambi i pozzetti di prova hanno interessato i terreni ghiaioso - sabbiosi al di sotto del suolo.

Per la stima del valore del coefficiente di permeabilità (k in m/s) che caratterizza i terreni presenti in sito si è adottata la formula consigliata dalla normativa A.G.I per i pozzetti a base quadrata e a parete non rivestita:

$$k = (h_2 - h_1) / (t_2 - t_1) * [1 + (2h_m / b) / (27h_m / b) + 3]$$

dove:

b = lato alla base del pozzetto quadrato;

h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto;

t_2 e t_1 = intervallo di tempo;

h_1 e h_2 = variazione del livello dell'acqua nell'intervallo ($t_2 - t_1$);

Essendo i due pozzetti a base rettangolare, si è calcolato il quadrato di lato equivalente. In entrambe le prove effettuate si è ottenuto un valore medio della permeabilità compreso tra:

$$k=5*10^{-5} \text{ e } 8*10^{-6} \text{ m/s}$$

Tale valore è da ritenere significativo per gli strati più superficiali sottostanti al suolo agricolo, più in profondità probabilmente si possono riscontrare valori di permeabilità anche superiori.

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi si riportano le conclusioni dell'indagine effettuata dallo Studio Ghezzi (1986) in cui la zona a sud dei rilievi è classificata come "...caratterizzata dalla presenza di sedimenti ad elevato coefficiente di permeabilità con relativa facilità all'infiltrazione in profondità degli inquinanti sparsi sul suolo. Un certo grado di protezione è fornito quindi esclusivamente dall'elevata soggiacenza della falda".

6.3 Caratteristiche della falda

La superficie freatica presente nella zona di studio, risulta situata a pochi metri di profondità in prossimità dal piede dei rilievi collinari.

Man mano che ci si sposta verso sud-ovest o sud si ha il rapido abbassamento della falda legato all'altrettanto rapido approfondimento del substrato impermeabile (tavola n. 5).

Nella zona di studio, la direzione principale del flusso di falda è diretto da NNE a SSO, la soggiacenza è di circa 15 metri ed il gradiente è del 2.7%.

L'escursione del livello di falda segue un'escursione periodica che presenta un minimo primaverile (marzo-aprile) ed un massimo tardo estivo-autunnale (settembre-ottobre).

Nelle indagini effettuate non è mai stata incontrata acqua di falda.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE E VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEI TERRENI

Per poter valutare sia le caratteristiche fisico-granulometriche dei terreni presenti nell'area, che le caratteristiche geotecniche di quest'ultimi si è provveduto ad effettuare le seguenti indagini (vedi figura n.1):

- 2 saggi di scavo, il primo ubicato sul lato est ha raggiunto i 2,7 metri di profondità, con pareti che, anche se molto inclinate, si sono mantenute temporaneamente stabili. Il secondo è stato effettuato in corrispondenza dell'estremità ovest della zona di ampliamento ed ha raggiunto i 2,8 metri di profondità. Entrambi gli scavi sono risultati asciutti;
- 4 prove penetrometriche: P1 e P3 ubicate in corrispondenza delle due estremità della zona dove verranno realizzati i colombari, mentre le prove P2 e P4 sono ubicate in corrispondenza della zona dove sono previste le tombe interrate.

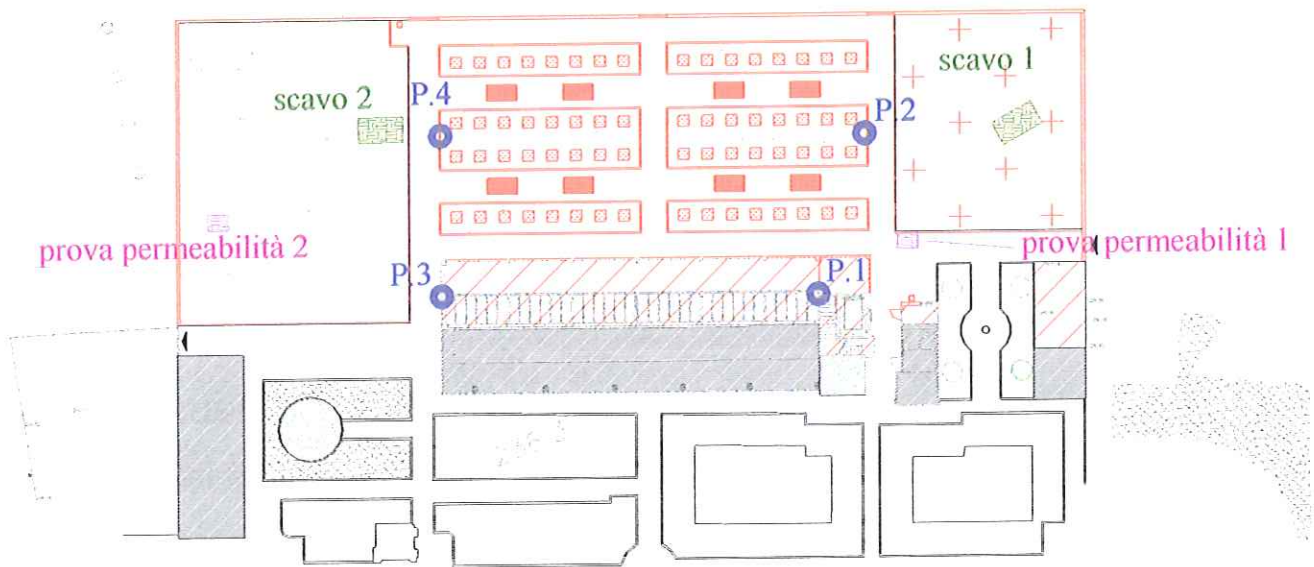


Figura n.1 Ubicazione delle indagini geognostiche effettuate.

Stratigrafia scavo n.1:

- da 0 a 0,80 m suolo umido costituito da sabbia fine con ghiaia limosa, colore bruno;
- da 0,80 a 1,30 m ghiaia sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola chiaro;
- da 1,30 a 2,70 m ghiaia sabbiosa debolmente limosa (ghiaia debol. sabbiosa debol. limosa) con rari ciottoli arrotondati ed eterogenei, colore grigio. Sono presenti livelli decimetrici intercalati di ghiaie e sabbie.

Stratigrafia scavo n.2:

- da 0 a 0,60 m suolo umido costituito da sabbia fine con ghiaia limosa, colore bruno;
- da 0,60 a 0,85 m suolo costituito da ghiaia e sabbia limosa di colore bruno rossastro;
- da 0,85 a 1,40 m ghiaia sabbiosa debolmente limosa con rari ciottoli arrotondati ed eterogenei, colore grigio (diam max 30 cm).
- da 1,40 a 2,80 m ghiaia sabbiosa debolmente limosa con rari ciottoli arrotondati ed eterogenei, colore grigio (diam max 35 cm).

In corrispondenza del saggio di scavo n. 1, alla profondità di 2 metri, è stato prelevato il campione C1 sottoposto ad analisi granulometrica ed analisi chimica; in corrispondenza del saggio di scavo n.2, alla profondità di 2,8 metri è stato prelevato il campione C2.

7.1 ANALISI CHIMICA E GRANULOMETRICA DEI TERRENI

7.1.1 Analisi granulometrica dei terreni

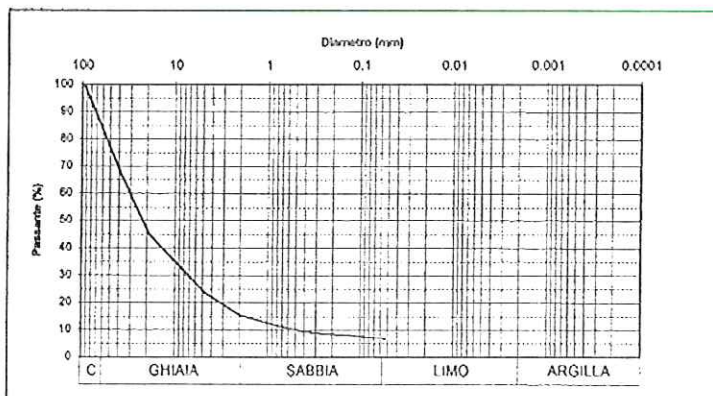
In corrispondenza dei due saggi di scavo sono stati prelevati due campioni rappresentativi dei terreni incontrati:

- C1 prelevato nello scavo n.1, alla profondità di -2,0 metri dal piano campagna;
- C2 prelevato nello scavo n.2, alla profondità di -2.8 metri dal piano campagna.

Tali campioni sono da ritenersi rappresentativi delle caratteristiche chimico-fisiche medie dei terreni più superficiali presenti nell'area. I risultati delle analisi granulometriche effettuate sui due campioni, sono di seguito riportate.

ANALISI GRANULOMETRICA

COMMITTENTE: dr.Pedrali LOCALITA': Brusaporto - cimitero DATA: 25/03/03
 PROVENIENZA: scavo 1 CAMPIONE N°: C1 PROFONDITA': 2.00 metri
 Rapporto di prova n° 47.03GC



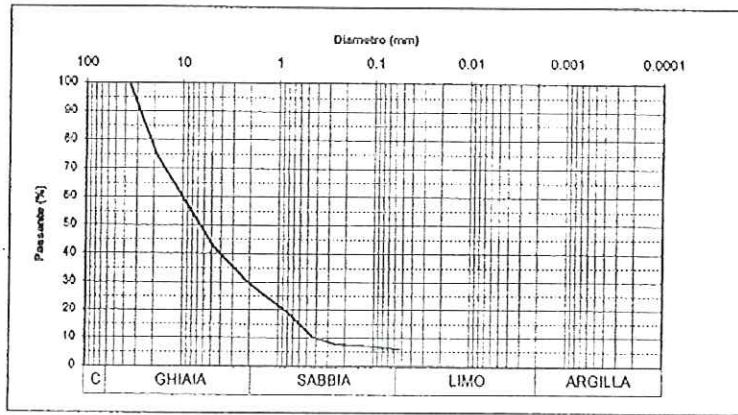
SETACCIATURA			AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG	
diametro	% cumulativa trattenuto	% passante	% trattenuto	diametro equivalente	%	
95	0.000	100.000	0.000	0.053	6.783	L.L. %
37.5	33.149	66.851	33.149	0.04	0.000	L.P. %
19.0	54.870	45.130	21.721	0.03	0.000	I.P. %
4.75	76.287	23.713	21.417	0.02	0.000	W _u %
2.00	84.505	15.495	8.218	0.012	0.000	I.C.
0.8	88.351	11.649	3.848	0.007	0.000	
0.425	90.492	9.508	2.141	0.0045	0.000	
0.25	91.584	8.416	1.092	0.0029	0.000	
0.105	92.330	7.670	0.747	0.0020	0.000	
0.075	92.878	7.122	0.548	0.0013	0.000	
< 0.075	100.000	0.000	7.122	0.0005	0.000	

CLASSE GRANULOMETRICA, %	PARAMETRI
CIOTTOLI	COEFF. UNIFORMITA' U = 6.00E+01
GHIAIA:	COEFF. CURVATURA C = 3.55E+00
SABBIA:	COEFF. PERMEABILITA' (Darcy) K = 2.50E-01
LIMO:	
ARGILLA:	

DENOMINAZIONE: Ghiaia debolmente sabbiosa debolmente limosa

I ANALISI GRANULOMETRICA

COMMITTENTE: di Pedrali LOCALITA': Brusaporto - cimitero DATA: 25/03/03
 PROVENENZA: scavo 2 CAMPIONE N°: CQ PROFONDITA': 2.60 metri
 Rapporto di prova n° 48/03GG

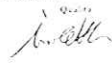


SETACCATURA				AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG
diametro	% cumulativa trattata	% passante	% trattata	diametro equivalente	%	
95	0.000	100.000	0.000	0.053	6.063	LL %
36	0.000	100.000	0.000	0.04	0.000	LP %
19.0	24.746	75.254	24.746	0.03	0.000	IP %
4.75	57.593	42.407	32.837	0.02	0.000	W _h %
2.00	70.573	29.427	12.600	0.012	0.000	IC:
0.8	80.937	19.063	10.414	0.007	0.000	
0.425	89.913	10.087	8.926	0.0045	0.000	
0.25	92.347	7.653	2.434	0.0029	0.000	
0.105	93.076	6.924	0.729	0.0020	0.000	
0.075	93.634	6.366	0.555	0.0013	0.000	
< 0.075	100.000	0.000	6.366	0.0006	0.000	

CLASSE GRANULOMETRICA %	PARAMETRI
CIOTOLI:	COEFF. UNIFORMITA' U = 2.38E+01
GHIAIA:	COEFF. CURVATURA C = 9.52E-01
SABBIA:	COEFF. PERMEAB. (sieve) K = 1.76E-01
LIMO:	
ARGILLA:	

DENOMINAZIONE: Ghiaia sabbiosa debolmente limosa

consulenze ambientali s.p.a.

Parametri determinati	Unità	Valore	Int.	Acc. NISAL	Metodica(**)	Valori Limite
<p>(*) Nota: Misure</p> <p>(**) Nota: Metodo adottato riferito all'UNI 9516</p> <p>Nota: I dati sono riferiti alla data di rilevamento e non alla data di emissione del documento.</p> <p>Nota: I dati sono riferiti alla data di rilevamento e non alla data di emissione del documento.</p> <p>Nota: I dati sono riferiti alla data di rilevamento e non alla data di emissione del documento.</p> <p>Nota: I dati sono riferiti alla data di rilevamento e non alla data di emissione del documento.</p>						
<p>RESPONSABILI</p> <p>Qualità:  Direzione:  </p>						

Suppl. al piano n° 2227 del 31/03/2008



Fig. 2.1.7

di 100x50

21122 - Pianoro (BO) - V.A. M. S. - Telefono 059 4211111 - Telefax 059 2034400 - E-mail: c.ital@com.it
 Codice Fiscale 01674360368 - Cap. Soc. A. Lit. 500.000.000 - C.O.F.A.A. 220006 - P.N. Ed. Proj. Siv. 24003 Lit. 25819
 P.IVA n. 02017740368 - V.A. 0102249 - 17 - Telefono 059 9513435 - Telefax 059 9523439

7.2 PROVE PENETROMETRICHE

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPSH (Dynamic Probing Superheavy) è stato utilizzato un penetrometro superpesante Pagani mod. **TG63-100**, montato su un mezzo semovente cingolato, ed equipaggiato con attrezzatura conforme a quanto previsto dalla normativa nazionale:

Massa del Maglio	73,5 kg
Altezza di caduta	0,75 m
Lunghezza delle aste	1,50 m
Massa delle aste	6,9 kg/ml
Diametro est. aste	32 mm
Diametro base punta conica	50,8 mm
Angolo apertura punta conica	60°
Area base punta conica	20,26 cmq

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

La prova consiste nell'infissione di aste, attraverso un sistema di battitura costituito da un maglio del peso di 73,5 kg, che viene sganciato automaticamente da un'altezza di 75 centimetri. L'operatore misura il numero di colpi necessari all'avanzamento nel terreno della punta montata all'estremità inferiore delle aste, per singoli tratti successivi di 30 cm (N_{30} o N_{DPSH}). L'indice di resistenza alla penetrazione del terreno N_{30} cresce all'aumentare del numero di colpi necessari all'avanzamento dei 30 centimetri della punta; tale parametro viene rilevato in continuo lungo tutta la verticale di prova.

La prova fornisce una valutazione qualitativa della natura e delle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

Gli elaborati ottenuti dall'elaborazione delle prove sono riportati in allegato. Per ogni verticale d'indagine sono forniti i grafici ottenuti diagrammando tali valori in funzione della profondità a partire dal piano campagna (figure in allegato). Il 2° diagramma di ogni prova rappresenta l'andamento della resistenza dinamica alla punta (Rpd) calcolata con la "formula degli Olandesi".

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot E \cdot (M + P)}$$

dove:

Rpd = resistenza dinamica alla punta;

M = peso del maglio;

H = altezza di caduta del maglio
 A = superficie della punta conica;
 E = profondità di infissione per colpo;
 P = peso delle aste alla profondità considerata.

7.2.1 Caratterizzazione geotecnica

I risultati ottenuti con le prove penetrometriche dinamiche hanno consentito, mediante l'impiego di note formule sperimentali, di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Per calcolare il valore di Dr sono state utilizzate le relazioni proposte da Peck e Bazaara (1968).

$$(1) \quad Dr = [N / (20 * (1 + 0.04 * \sigma_{v0}))]^{0.5} \quad \text{per } \sigma_{v0} \leq 75 \text{ Kpa};$$

$$(2) \quad Dr = [N / (20 * (3.25 + 0.01 * \sigma_{v0}))]^{0.5} \quad \text{per } \sigma_{v0} \geq 75 \text{ Kpa};$$

L'angolo di attrito efficace ϕ' è stato valutato sulla base delle relazioni cautelative di Shioi (1982):

$$(3) \quad (0,3 * N_{spt}) + 27 \quad \text{per sabbie medie fino a ghiaiose.}$$

con $N_{spt} = N_{dp} * \beta t$

dove βt = coefficiente teorico di energia caratteristico del penetrometro utilizzato è ($\beta t = Q / Q_{spt}$) $\sim 1,15$

Per calcolare il valore del modulo elastico E' è stata utilizzata la seguente correlazione Denver, 1982:

$$(4) \quad E = s1 * N_{spt} + s2$$

I risultati delle prove sono stati confrontati e correlati tra loro consentendo di attribuire ad ogni livello stratigrafico individuato le relative caratteristiche geotecniche. Si è potuto così ricostruire un modello schematico semplificato del sottosuolo rappresentato da 2 strati omogenei sovrapposti aventi caratteristiche geologico-geotecniche diverse.

La tabella sottostante fornisce il quadro schematico delle caratteristiche geotecniche dei terreni incontrati. Tali valori sono stati utilizzati per il calcolo della capacità portante delle strutture in elevazione.

Strato	Profondità	Terreno incontrato	N_{spt}	Peso d volume	D_R media	ϕ'	E'
	(m)		numero di colpi/piede	t/mc	(%)	(°)	(MPa)
1	0-0,9 (1,2)	Suolo	10-15	1.8	30-60	28-32	25-35
2	0,9 (1,2)-5,7	ghiaia sabbiosa debol. limosa	20-50 (100)	1.9	70-90	35-40	50-70

Tabella n.1 Quadro riassuntivo delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni.

7.2.2 Valutazione capacità portante

Per il calcolo della capacità portante, viste le caratteristiche geometriche della struttura adibita a colombari, si è ipotizzata la realizzazione di fondazioni di tipo continuo della larghezza di 1 metro, posate alla profondità di 1, 1,5 e 2 metri.

Nel presente paragrafo pertanto si esprimono alcune considerazioni preliminari circa la compatibilità tra i valori di resistenza dei terreni formulati precedentemente e i valori di carico unitario ipotizzati per l'opera da realizzare.

Per la valutazione della capacità portante dei terreni di fondazione, i dati ottenuti dalle prove in sito sono stati inseriti in un programma di calcolo dedicato.

Tale programma, definito il tipo di fondazione, le sue dimensioni e la profondità " D " del piano di posa, consente in prima fase di determinare i valori medi di γ , di ϕ' , di resistenza al taglio non drenata e di tensione efficace al piano di posa, entro il range di profondità interessato dalla fondazione.

Più precisamente viene calcolata la media pesata dei valori di γ , di ϕ' e di C_u in funzione della potenza dei singoli orizzonti, nella sezione verticale di terreno compresa tra la profondità D del piano di posa e " $D+0.5B*\tan(\phi'/2)$ ", con B uguale alla larghezza della fondazione. Si specifica inoltre che i calcoli di γ medio e della tensione efficace tengono conto del peso di volume alleggerito nel caso che il terreno sia sotto falda.

Successivamente viene determinato il valore del carico limite ultimo Q_{ult} e del carico ammissibile Q_{amm} applicando un coefficiente di sicurezza (F.S.). Il valore del fattore di sicurezza è quello fissato dalla normativa vigente ed è uguale a 3.

Per la determinazione della capacità portante vengono utilizzati 4 diversi metodi di calcolo, secondo le teorie proposte rispettivamente da Terzaghi (1948), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1970) e Vesic (1974).

Per il caso specifico nei calcoli sono stati considerati unitari i contributi legati ai fattori quali: inclinazione della superficie topografica (assunta orizzontale), inclinazione della base di fondazione (assunta orizzontale) e del carico (assunto verticale); inoltre lo spessore del terreno di contrasto a lato della fondazione è stato considerato uguale alla

profondità di posa.

Con tali ipotesi di base la capacità portante che ne deriva è stimabile in:

FONDAZIONE NASTRIFORME CONTINUA

B (m)	D (m)	Contributo terreno a lato fondazione (m)	Q_{amm} . Drenata (Kg/cmq)
1	1	1	0,9
1	1,5	1,5	1,5
1	2	2	1,9

Tabella n.2

I carichi unitari sopra riportati determinano cedimenti massimi compatibili con la struttura in progetto.

8. CONCLUSIONI

Nella zona di previsto ampliamento cimiteriale non sono emersi elementi di natura geologica che possano pregiudicarne la nuova destinazione prevista.

I terreni della zona risultano permeabili sia all'acqua che all'aria; al di sotto di un sottile orizzonte superficiale pedogenizzato dello spessore generalmente inferiore al metro infatti, sono presenti ghiaie sabbiose debolmente limose, sciolte, non pedogenizzate che consentono un buon drenaggio delle acque di infiltrazione meteorica ed una discreta aerazione.

Sia lo strato superficiale di suolo che i sottostanti terreni presentano una discreta permeabilità 10^{-5} m/s che tende ad aumentare con la profondità.

Il contenuto in sostanza organica è ridotto nell'orizzonte superficiale e si riduce ulteriormente man mano che ci approfondiamo.

La falda è situata ad una profondità presumibile di circa 15 metri e la direzione del flusso idrico è orientata verso SSO. Nelle indagini effettuate non è emersa la presenza di falde di tipo sospeso sino alla profondità massima d'indagine (5,7 metri).

Bergamo, 31/03/2003

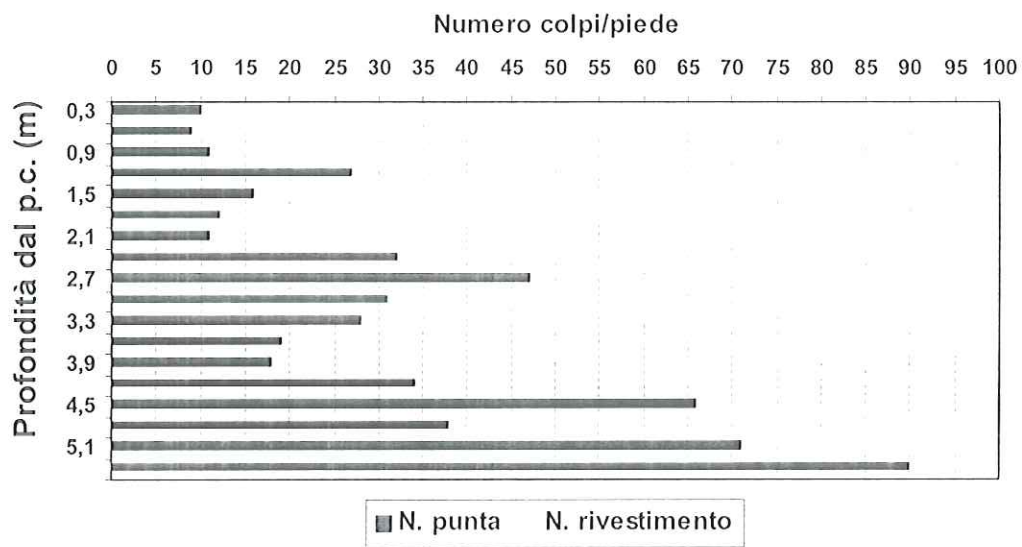
Pedrali Carlo
Ordine Geologi Lombardia n.860



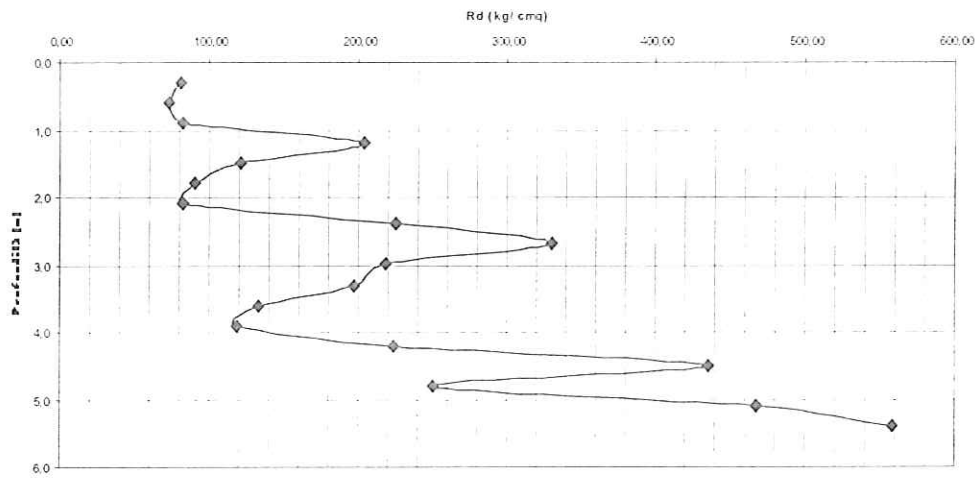
ALLEGATO

RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE

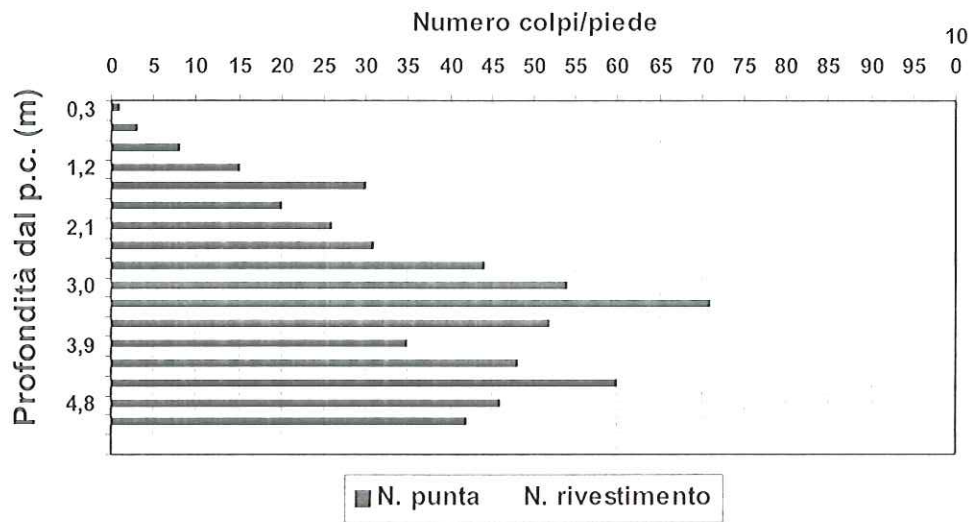
PROVA PENETROMETRICA 1



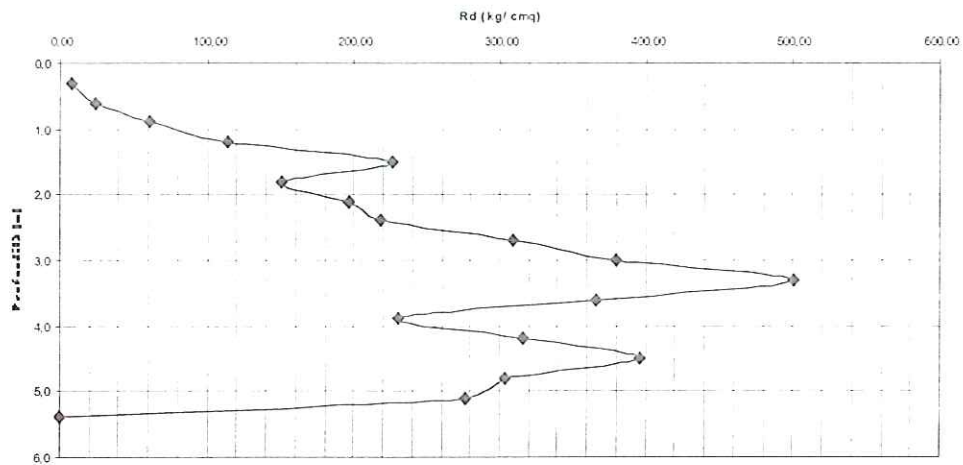
PROVA PENETROMETRICA 1



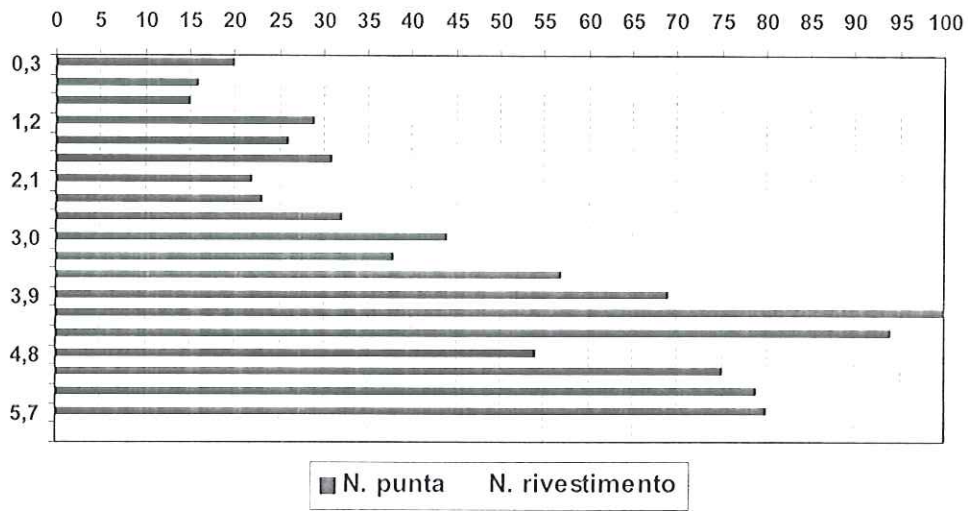
PROVA PENETROMETRICA 2



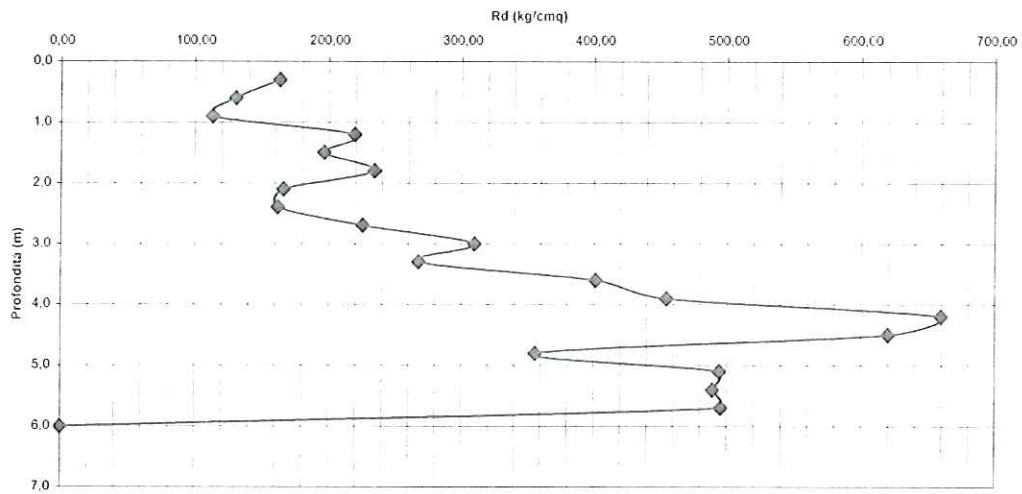
PROVA PENETROMETRICA 2



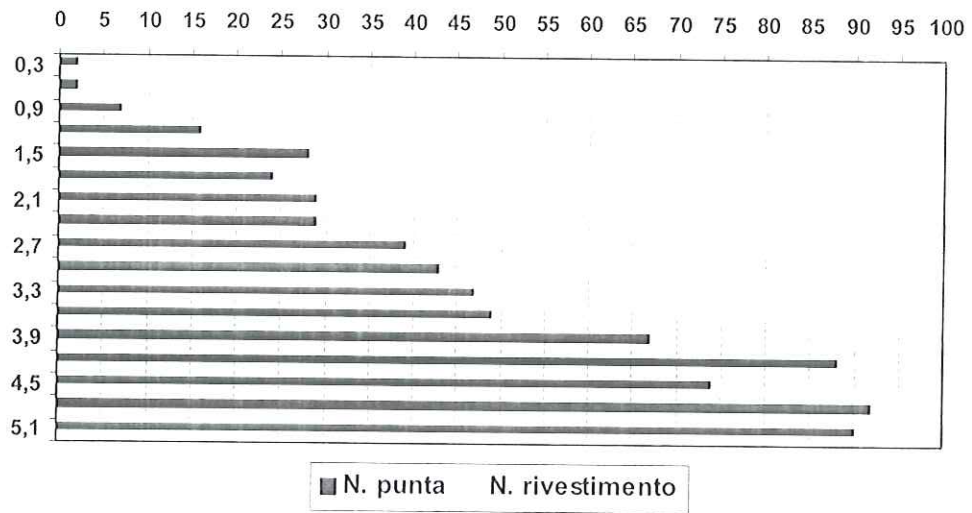
PROVA PENETROMETRICA 3



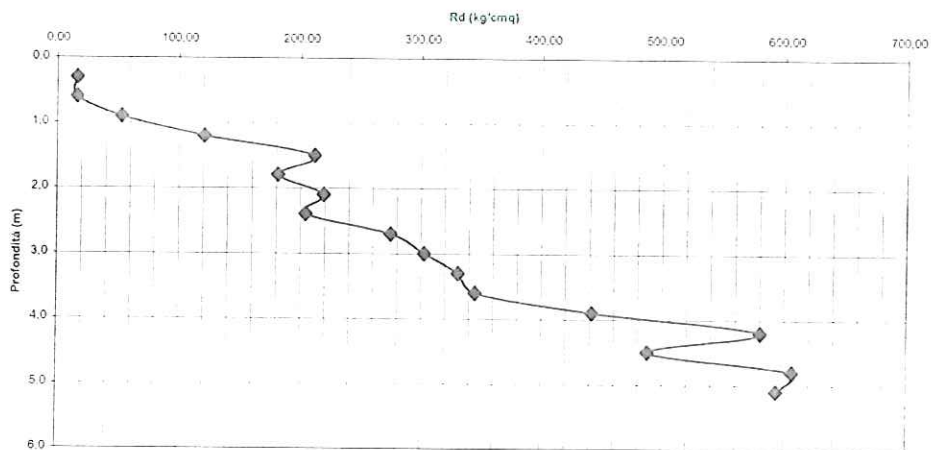
PROVA PENETROMETRICA 3



PROVA PENETROMETRICA 4



PROVA PENETROMETRICA 4



ALLEGATO FOTOGRAFICO



Foto n.1 Terreni affioranti nello scavo n.1.



Foto n.2 Particolare della foto precedente.



Foto n. 3 Terreni affioranti nello scavo n.2.

ALLEGATO CARTOGRAFICO