

REGIONE VENETO



COMUNE DI SCHIO



PROVINCIA DI VICENZA



Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA  
PER NUOVO EDIFICIO - CAMPUS SCHIO

Dott. Geol. DAVIDE GASPARETTI

25123 BRESCIA – Via T. Olivelli, 5  
Tel. 030-3771189 Fax 030-3778086  
e-mail: [info@studiogeologiambiente.it](mailto:info@studiogeologiambiente.it)

Data:

Ottobre 2009

REGIONE VENETO

PROVINCIA DI VICENZA

COMUNE DI SCHIO

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA  
PER NUOVO EDIFICIO  
CAMPUS SCHIO**

**INDICE**

1.	PREMESSA .....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	3
3.	INDAGINE IN SITO .....	5
3.1.	Sondaggio .....	5
3.2.	Descrizione della stratigrafia.....	6
3.3.	Prova penetrometrica (SPT) .....	6
3.4.	Prova penetrometrica dinamica continua .....	8
3.5.	Prove penetrometriche statiche .....	9
3.6.	Prove con Penetrometro e Scissometro Tascabili.....	10
3.7.	Installazione piezometro e misura della falda. ....	10
4.	INDAGINE SISMICA .....	11
5.	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	13
6.	ANALISI DELLA CAPACITÀ PORTANTE .....	15
7.	STIMA DEI CEDIMENTI.....	18
7.1.	Calcolo dei cedimenti elastici.....	18
7.2.	Calcolo dei cedimenti di consolidazione .....	19
7.3.	Considerazioni generali .....	20
7.4.	Coefficiente di sottofondazione $k_s$ .....	20
8.	CONCLUSIONI .....	22

Allegati:

Allegato 1: Carta Geologica;

Allegato 2: ubicazione punti d'indagine;

Allegato 3: stratigrafia sondaggio;

Allegato 4: diagrammi penetrometrici

Allegato 5: indagine sismica.

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica, richiesta dai progettisti del nuovo edificio Centro Servizi – Campus Schio -, illustra le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area sulla quale è prevista la realizzazione del nuovo edificio.

Le indagini geognostiche, geotecniche e sismiche sono state eseguite dalla ditta specializzata RG Soils s.r.l. di Desenzano del Garda (BS).

Il presente lavoro è stato quindi così articolato:

- indagine generale sulla litostratigrafia ed idrogeologia dell'ambito territoriale in cui ricade la zona in esame (v. cap. 2);
- indagine geotecnica mediante un sondaggio a carotaggio continuo (S1) e n. 4 prove penetrometriche dinamiche e n. 2 prove statiche (vedi cap. 3);
- indagine sismica (v. cap. 4)
- definizione di un modello geotecnico del sottosuolo (v. cap. 5);
- verifica della capacità portante limite e ammissibile (v. cap. 6 );
- stima dei cedimenti (v. cap. 7);
- conclusioni e suggerimenti (v. cap. 8)

Ulteriori informazioni sono state tratte da:

- Indagini geologiche per la nuova sede dell'Istituto professionale per l'industria e l'artigianato I.P.S.I.A. a cura del Dott. Geol. B. Zavagnin (giugno 1988/1989).

Il quadro normativo che in linea generale è stato tenuto presente è il seguente:

- D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".

La relazione è completata con alcune figure e allegati a fine relazione.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO**

L'area d'indagine è localizzata nella zona di pianura nel settore nord orientale dell'abitato di Schio, in una zona parzialmente urbanizzata e caratterizzata da depositi di origine fluvio-glaciale e alluvionale.

La morfologia è pianeggiante o debolmente inclinata verso sud e l'elemento idrografico principale è il Torrente Boldoro che scorre poco a est dell'area d'intervento. Mentre a ovest scorre il T. Leogra.

I depositi sono caratterizzati da estrema variabilità litologica e stratigrafica per l'azione di deposito e trasporto esercitata dai due corsi d'acqua che in passato hanno, all'uscita dalle valli, divagato nella pianura e generato conoidi alluvionali che progressivamente sono stati smantellati e ridepositati: attualmente i corsi d'acqua scorrono arginati.

La genesi dei depositi è stata complessa ed è stata caratterizzata da diverse fasi deposizionali che hanno favorito la formazione di un'area alluvionale piuttosto eterogenea dal punto di vista litologico.

La stratigrafia della zona è infatti caratterizzata da una irregolare sovrapposizione ed intercalazione di terreni a differente granulometria: limi sabbiosi o limi argillosi con ghiaia sabbiosa.

I sondaggi eseguiti per il progetto del Campus hanno confermato ed evidenziato questa spiccata variabilità litologica dei depositi.

Nella zona dove sorgerà l'edificio per il centro servizi si osserva molto chiaramente la presenza di uno strato superficiale limoso argilloso plurimetrico che ricopre un'alternanza di strati di limo ghiaioso argilloso, limo con sabbia fino al contatto con uno strato ghiaioso con sabbia e limo che si estende da 6/7 m fino a 13/14 m da p.c..

Al di sotto si rinviene un strato di limo argilloso con sabbia e rara ghiaia che passa alla profondità di circa 15 m ad un deposito costituito da ghiaia in abbondante matrice fine che in alcuni livelli è prevalente.

Nel corso del sondaggio e delle prove che sono durate un paio di giorni (17-18/09/2009) la falda è stata segnalata alla profondità compresa tra i 1.5 3.0 m da p.c.: le differenze di quota possono essere legate alla presenza di livelli argillosi o al disturbo arrecato al foro durante l'esecuzione dell'indagine.



Le indagini eseguite in passato nelle zone adiacenti all'area d'intervento hanno confermato che in condizioni di magra la falda tende a stabilizzarsi ad una profondità media compresa tra 3 e 6 m da p.c., ma a seguito di piogge intense e nei periodi di morbida la falda può subire un rapido innalzamento fin quasi alla quota del piano campagna.

La falda è in grado di raggiungere il piano campagna solamente in occasione di eventi eccezionali, per questa ragione è importante sottolineare che questo settore del territorio comunale è caratterizzato da forti escursioni del livello piezometrico che possono interferire con eventuali piani interrati.

### **3. INDAGINE IN SITO**

L'indagine geognostica e geotecnica è consistita nella realizzazione di un sondaggio a carotaggio continuo completato da prove geotecniche in foro e sulle carote di terreno, e da 4 prove penetrometriche dinamiche continue e 2 prove penetrometriche statiche.

L'indagine è stata realizzata in conformità alle "Raccomandazioni per le indagini geotecniche" (1977) dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

#### **3.1. Sondaggio**

Il sondaggio è stato eseguito a carotaggio continuo e a secco in avanzamento, al fine di verificare in dettaglio la successione stratigrafica del terreno naturale presente nel sottosuolo e ha raggiunto la profondità di 25 m da p.c.

La perforazione e l'infissione del rivestimento provvisorio sono stati realizzati in modo da minimizzare la variazione di stato del terreno e del fondo foro; il fluido di perforazione (acqua) è stata utilizzato per inserire il rivestimento.

I diametri di perforazione utilizzati sono i seguenti:

- Ø 101 mm per il carotaggio del terreno con carotiere semplice;
- Ø 127 mm per i rivestimento.

#### **Campionatura e cassette porta-campioni**

Nel corso della perforazione, i campioni di terreno sono stati ricoverati in apposite cassette e fotografati.

Il materiale carotato è stato in seguito utilizzato per riempire il foro di carotaggio.

#### **Misura della falda**

Al termine della perforazione – in data 17/09/2009 - è stata misurato il livello della falda che è risultato essere a 2,5 m da p.c. (v. anche capitolo 2).

#### **Scheda stratigrafica**

I dati raccolti durante la realizzazione del sondaggio sono stati sintetizzati per mezzo di una scheda stratigrafica nella quale vengono indicati:

- profondità relativa al piano campagna dei livelli incontrati;
- legenda con rappresentazione grafica della sequenza stratigrafica;
- descrizione litologica in ottemperanza alle norme A.G.I.;
- risultati prove SPT;
- valori ottenuti dove possibile da penetrometro e scissometro tascabili;
- fotografie delle cassette di sondaggio con visualizzazione delle profondità relative al p.c.;
- note eventuali.

### **3.2. Descrizione della stratigrafia**

Il sondaggio ha evidenziato la presenza di uno strato superficiale, spesso circa 3.0 m, di materiale fine costituito da limo argilloso debolmente sabbioso.

Da 3.0 m fino a circa 6.0 m da p.c. si rileva un strato costituito da un'alternanza di livelli di limo argilloso ghiaioso e limo con sabbia.

Da circa 6.0 m fino a 13 m da p.c. è presente un deposito ghiaioso con limo e sabbia.

Da circa 13 m fino a circa 15 m da p.c. è nuovamente presente uno strato limoso argilloso sabbioso deb. ghiaioso.

A partire dalla profondità di 15 m da p.c. fino alla massima profondità investigata pari a 25 m da p.c. si rileva un deposito estremamente eterogeneo costituito da una miscela di terre argillose limose con ghiaia e sabbia. La frazione ghiaiosa talora sembra diventare prevalente.

### **3.3. Prova penetrometrica (SPT)**

La prova S.P.T. (Standard Penetration Test) è una prova puntuale che si esegue nel corso della perforazione sul fondo foro. La prova consiste nell'infiggere un campionatore nel terreno per mezzo di un martino a sganciamento automatico del peso di 63,4 kg cadente da un'altezza di 75 cm. Si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di tre tratti consecutivi di 15 cm. Il valore utilizzato per l'interpretazione della prova è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

Se nel 1° tratto si supera il valore di 50 colpi per ottenere l'infissione di 15 cm, la prova è sospesa; in caso contrario la prova prosegue contando separatamente il numero di colpi per la penetrazione del 2° e 3° tratto fino al limite di 100 colpi.

In base al valore di SPT è possibile stimare lo stato di addensamento per i terreni incoerenti e lo stato di consistenza per quelli coesivi. In dettaglio, l'esecuzione delle prove SPT in foro ha dato i seguenti risultati.

Sondaggio	Profondità da p.c.	N <sub>SPT</sub>
S1	1.5 m	5
S1	3.0 m	12
S1	4.5 m	9
S1	6.0 m	17
S2	9.0 m	20
S2	12 m	17
S2	15 m	37

I valori di N<sub>SPT</sub> sono stati utilizzati per stimare la densità relativa (Dr) e i parametri geotecnici principali attraverso l'impiego di correlazioni empiriche ampiamente collaudate esistenti in letteratura.

La tabella seguente rispetta tale stato dell'arte per quanto riguarda l'associazione tra la densità relativa e i valori di N<sub>SPT</sub>.

N <sub>SPT</sub>	Densità relativa Terzaghi – Peck (1948)	Densità relativa Gibbs – Holtz (1957)
0 - 4	Molto Sciolta	0 – 15 %
4 – 10	Sciolta	15 – 35 %

10 – 30	Media	35 – 65 %
30 – 50	Densa	65 – 85 %
Oltre 50	Molto Densa	85 – 100 %

I valori di SPT risultano molto dispersi come si verifica spesso in depositi alluvionali caratterizzati da strati a granulometria differente: si nota gli strati limoso argilloso sono scarsamente consistenti..

Mentre gli strati ghiaiosi risultano mediamente addensati. .

### 3.4. Prova penetrometrica dinamica continua

La prova penetrometrica continua dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta di acciaio, e un rivestimento, in sequenza alternata.

I risultati di tale prova sono rappresentati per mezzo di un diagramma continuo (vedi diagrammi allegati) e interpretati utilizzando delle correlazioni empiriche tra il valore di  $N_{SCPT}$  e  $N_{SPT}$ .

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità:

Prova	Profondità in m
P1	16,50
P3	17,70
P4	17,10
P5	18,00

I grafici delle quattro prove confermano l'eterogeneità del deposito e l'alternanza di strati a differente natura e miscele di terre moderatamente addensate.

Un miglioramento nelle caratteristiche di addensamento del terreno si osserva grossomodo in corrispondenza dello strato ghiaioso che nel sondaggio S1 è risultato essere presente a partire dalla profondità variabile tra 6/7 m da p.c.

In profondità la resistenza della punta dell'utensile di prova tende ad aumentare gradualmente pur evidenziando la presenza di livelli limosi e argillosi scarsamente consistenti. Mentre aumenti della resistenza in profondità sono a nostro parere dovuti ai livelli argillosi coesivi che esercitano un attrito laterale sulla punta e le aste di prova.

Nel suo complesso la sequenza stratigrafica indagata è correlabile con i terreni visionati con il sondaggio e conferma le modeste caratteristiche geotecniche del materiale.

### **3.5. Prove penetrometriche statiche**

Sono state eseguite due prove penetrometriche statiche che hanno raggiunto le seguenti profondità:

- la prova n. 2 ha raggiunto la profondità di 12,00 m da p.c.;
- la prova n. 6 ha raggiunto la profondità di 13,80 m da p.c.;

La prova consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno.

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta da 20 Ton (Penetrometro Pagani TG73/200), che agisce alternativamente sulla batterie di aste interne e su quella di aste cave esterne.

La prova è quindi discontinua e le misure di resistenza vengono di norma eseguite e annotate ogni 20 cm di penetrazione.

La punta utilizzata è di tipo telescopico con manicotto, detta anche "punta Begemann".

Il dispositivo di misura è costituito da due manometri che forniscono i seguenti dati rilevati ogni 20 cm:

- la resistenza all'avanzamento della punta  $R_p$ ;
- la resistenza all'avanzamento delle aste cave  $R_{lat}$ ;
- la resistenza totale all'avanzamento delle aste cave e della punta  $R_T$ .

La prova penetrometrica statica consente una definizione più precisa, rispetto alle prove penetrometriche dinamiche, delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni fini.

La scelta di abbinare questa prova alla prova dinamica deriva dalla necessità di parametrizzare nel miglior modo possibile il potente strato argilloso limoso superficiale all'interno del quale saranno appoggiate le fondazioni dell'edificio.

Sempre a partire dalla profondità di 7/8 m da p.c., si osserva la presenza di miscele di terre medio fini costituite da sabbia limosa inglobante ghiaia.

### **3.6. Prove con Penetrometro e Scissometro Tascabili**

Sulle carote prelevate in corrispondenza degli strati argillosi e limosi., sono state effettuate prove mediante il Penetrometro Tascabile P1000 e lo Scissometro T1000 i cui risultati sono riportati sulla stratigrafia del sondaggio.

Il primo strumento permette di leggere direttamente un valore di resistenza alla compressione semplice UCS in MPa derivato dallo sforzo necessario per far penetrare la punta nel terreno. Dal valore della resistenza alla compressione semplice è possibile ottenere, dividendo per due, una stima della resistenza al taglio in condizioni non drenate ( $C_u$ ).

Il secondo strumento permette invece di ottenere direttamente la resistenza al taglio in condizioni non drenate ( $C_u$ ) in  $t/m^2$ .

Nel corso del sondaggio sono stati prelevati alcuni campioni di terreno sui quali sono state eseguite analisi di classificazione geotecnica del materiale allo scopo di consentire una identificazione precisa del materiale.

### **3.7. Installazione piezometro e misura della falda.**

Il foro del sondaggio è stato attrezzato con un piezometro a tubo aperto da 2" della lunghezza di 12 metri.

Il piezometro è formato da un tratto di 3 m cieco e dalla restante lunghezza.

La falda è stata misurata alla profondità di 2,5 m da p.c. in data 17/09/2009.

Per una ricostruzione più attendibile della quota e dell'escursione della falda si raccomanda di proseguire il monitoraggio piezometrico della falda fino all'inizio dei lavori.



#### 4. INDAGINE SISMICA

Il terreno di studio è stato indagato mediante n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo MASW (vedi allegato).

Mediante tale metodologia è possibile eseguire la valutazione delle velocità  $V_{s30}$  di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08.

In accordo con le nuove “Norme tecniche per le costruzioni” (D.M. 14 gennaio 2008) il terreno in studio è stato attribuito alla categoria di sottosuolo C – Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine di metri fino a centinaia di metri ( $V_{s30}$  180/360 –  $N_{SPT}$  = 15/30 –  $C_u$  = 70/250).

Il Comune di Schio ricade in Zona Sismica 3 e al suo interno il valore di  $a_g$  è pari a 0,15 g.

Nell'aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto una nuova “Mappa di pericolosità sismica” che è stata approvata con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006.

In tale documento i valori di  $a_g$  sono rappresentati in termini di curve di livello con passo 0,025 g e si riferiscono all'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Il D.M. del 2008, contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, è strutturato in maniera tale che alle zone sismiche nazionali non viene più assegnato un valore univoco di  $a_g$ , ma questo viene calcolato sulla base di una griglia di punti derivante dalla carta della pericolosità sismica redatta da INGV nel 2006.

Dall'interpolazione eseguita utilizzando il software del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, risultano per il sito in esame i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  riportati nella seguente tabella.

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.043	2.457	0.237
50	0.058	2.514	0.249
72	0.070	2.471	0.257
101	0.082	2.443	0.268
140	0.097	2.390	0.273
201	0.114	2.388	0.278
475	0.161	2.418	0.284
975	0.207	2.454	0.287
2475	0.288	2.384	0.295

Da un punto di vista topografico, non trovandosi l'area di studio in prossimità di creste o scarpate ma su una superficie subpianeggiante, rientra nella categoria topografica T1 – superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i < 15^\circ$ .

Il sito in esame è localizzato in una zona caratterizzata dalla presenza di falda a profondità modeste da p.c., ma l'eterogeneità granulometrica dei terreni, permettono di escludere fenomeni di liquefazione del terreno in seguito alle spinte del sisma

## 5. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico di riferimento per le analisi eseguite nei capitoli successivi è quello ricavato dalle indagini descritte nel capitolo 3.

**Unità geotecnica 1:** è presente mediamente da 0.0 m a circa 3.0 m di profondità da p.c.: questa unità è costituita argilla limosa deb. sabbiosa. Il campo di variabilità dei parametri geotecnici è il seguente:

Unità geotecnica 1	Parametri geotecnici medi
$\gamma_n = 17 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume del terreno
$\gamma_{\text{sat}} = 18.5 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume saturo del terreno
$C_u = 33 - 48 \text{ kPa}$	Coesione non drenata
$E = 6100 \div 7300 \text{ kPa}$	Modulo Elastico da SPT
$E_{\text{ed}} = 2300 \div 3800$	Modulo Edometrico

**Unità geotecnica 2:** è presente mediamente da 3.0 m a circa 7,0 m di profondità da p.c.: questa unità è costituita da limo con sabbia deb. ghiaioso. Il campo di variabilità dei parametri geotecnici è il seguente:

Unità geotecnica 2	Parametri geotecnici medi
$\gamma_n = 18.7 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume del terreno
$\gamma_{\text{sat}} = 19.2 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume saturo del terreno
$C_u = 62 - 88 \text{ kPa}$	Coesione non drenata
$E = 9200 \div 16600 \text{ kPa}$	Modulo Elastico da SPT
$E_{\text{ed}} = 5500 \div 7900$	Modulo Edometrico

**Unità geotecnica 3:** è presente mediamente da 7.0 m a circa 13,0 m di profondità da p.c.: questa unità è costituita da ghiaia con sabbia e limo. Il campo di variabilità dei parametri geotecnici è il seguente:

Unità geotecnica 3	Parametri geotecnici medi
$\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume naturale del terreno
$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume saturo
$\phi' = 31^\circ - 33^\circ$	Angolo d'attrito
$E = 9500 \div 15.900 \text{ kPa}$	Modulo Elastico da SPT

**Unità geotecnica 4:** è presente mediamente da 13.0 m a circa 15,0 m di profondità: questa unità è costituita da limo argilloso con sabbia. Il campo di variabilità dei parametri geotecnici è il seguente:

<b>Unità geotecnica 4</b>	<b>Parametri geotecnici medi</b>
$\gamma_n = 18.8 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume del terreno
$\gamma_{\text{sat}} = 19.3 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume saturo del terreno
$C_u = 61 - 90 \text{ kPa}$	Coesione non drenata
$E = 11600 \div 13100 \text{ kPa}$	Modulo Elastico da SPT
$E_{\text{ed}} = 4100 \div 9300 \text{ kPa}$	Modulo Edometrico

**Unità geotecnica 5:** è presente mediamente da 15.0 m a circa 25,0 m di profondità: questa unità è costituita da una miscela di limo con ghiaia e con sabbia deb. argilloso. Il campo di variabilità dei parametri geotecnici è il seguente:

<b>Unità geotecnica 5</b>	<b>Parametri geotecnici medi</b>
$\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$	Peso di volume naturale del terreno
$\phi' = 33^\circ - 35^\circ$	Angolo d'attrito
$E = 15000 \div 29700 \text{ kPa}$	Modulo Elastico da SPT

•••

La falda nell'area è segnalata mediamente alla profondità di circa 2/3 m da p.c; il livello della falda può subire marcate escursioni stagionali che possono raggiungere profondità pari alla quota d'imposta della fondazioni. In casi eccezionali è segnalata la possibilità che la falda raggiunga il piano campagna (dati bibliografici).

## 6. ANALISI DELLA CAPACITÀ PORTANTE

La stima della capacità portante è stata eseguita mediante l'applicazione dell'espressione generale proposta da Brinch – Hansen (EC8) che riguarda tutti i tipi di terreni e le diverse geometrie di fondazioni superficiali.

La verifica, considerando la tipologia dell'unità geotecnica 1 in cui verrà posizionato il piano di fondazione, è stata condotta in condizioni non drenate ( $C_u \neq 0$ ;  $\phi' = 0$ ), e in questo caso l'equazione

$$q_{lim} = c N_c * s_c * d_c + q * N_q * s_q * d_q + 0.5 * \gamma * B N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma$$

si semplifica nel modo seguente:

$$q_{lim} = 5.14 C_u (1 + s_c + d_c) + q$$

dove:

$C_u$	Coesione non drenata
$q$	Carico geostatico agente all'imposta della fondazione
$B$	Larghezza della fondazione
$N_c, N_q, N_\gamma$	Coefficienti adimensionali di capacità portante
$s_c, s_q, s_\gamma$	Coefficienti di forma
$d_c, d_q, d_\gamma$	Coefficienti di profondità

In questa fase si è ipotizzato che il progettista preveda la realizzazione di fondazioni dirette a plinto o trave. Il calcolo della capacità portante in terreni coesivi non dipende dalle dimensioni della fondazione, ma solo dalla sua tipologia: di seguito sono presentati i risultati ottenuti per fondazioni a trave e a plinto generiche:

- Il piano di appoggio delle fondazioni è scelto alla profondità di circa 1.5 m da p.c.
- L'altezza di incastro della fondazione ( $D_f$ ) è stato assunto pari a 0,5 m.
- I carichi sono stati ipotizzati centrati.
- La fondazione è stata ipotizzata coincidente con l'unità geotecnica 1.

- I parametri geotecnici utilizzati sono i seguenti: U1  $C_u = 43$  kPa e  $\gamma_n = 18.5$  kN/m<sup>3</sup> - :  
U2 =  $C_u = 77$  kPa e  $\gamma_n = 19$  kN/m<sup>3</sup>; U3 =  $\phi' 32^\circ$   $\gamma_n = 19.3$  kN/m<sup>3</sup>; U4 =  $C_u = 75$  kPa e  $\gamma_n = 18.8$  kN/m<sup>3</sup>; U5 =  $\phi' 34^\circ$  e  $\gamma_n = 19.9$  kN/m<sup>3</sup>.
- La falda è stata ipotizzata a circa 2.5 m da p.c.;

Nella tabella proposta di seguito si riporta il riassunto dei calcoli effettuati secondo le tensioni ammissibili T.A. e agli stati limite ultimi S.L.U..

FONDAZIONE	T.A.		S.L.U.				
			M1 (kPa)	M2 (kPa)	A1-c1	A1-c2	A2
	$Q_{lim}$ (kPa)	$Q_{amm}$ (kPa)			$R_D$ (kPa)	$R_D$ (kPa)	$R_D$ (kPa)
Plinto 2 x 2 m	<b>273</b>	<b>91</b>	273	198	<b>273</b>	<b>110</b>	<b>119</b>
Trave continua 1.5 m	<b>234</b>	<b>78</b>	234	170	<b>234</b>	<b>94</b>	<b>102</b>

Dove

- $Q_{lim}$  = portata limite nei confronti della rottura del terreno;
- $Q_{amm} = Q_{lim}/F_s$  con  $F_s = 3$ ;
- A1 – c1 = approccio 1 - combinazione 1 (D.M. 14/01/08);  $R_D = Q_{lim}(\phi, c)$
- A1 – c2: approccio 1 - combinazione 2 (D.M. 14/01/08);  $R_d = 1/\gamma_{R2} Q_{lim}(\phi_R, c_R)$ ;
- A2 = approccio 2 (D.M. 14/01/08);  $R_d = 1/\gamma_{R3}^* Q_{lim}(\phi, c)$ ;
- $\gamma_{R2}$  = coefficiente parziale pari a 1,8 (tabella 6.4.1 – D.M. 14/01/08);
- $\gamma_{R3}$  = coefficiente parziale pari a 2,3 (tabella 6.4.1 – D.M. 14/01/08)
- $Q_{lim}(\phi_R, c_R)$  portata limite calcolata utilizzando  $\phi$  ridotto con il coefficiente parziale 1.25 per condizioni drenate secondo l'espressione  $\phi_R = \arctan[\tan(\phi)/\gamma_{M2}]$  - tabella 6.2.II del D.M. 14.01.2008;

- Per  $Q_{lim}(\phi_R, c_R)$  portata limite calcolata utilizzando  $c$  ridotto con il coefficiente parziale 1.4 per condizioni non drenate secondo l'espressione  $c_R = c/\gamma_{M2}$  - tabella 6.2.II del D.M. 14.01.2008.



## 7. STIMA DEI CEDIMENTI

La pressione di contatto tra la fondazione diretta e il terreno si diffonde in profondità (alla Boussinesq).

L'analisi dei cedimenti è stata effettuata considerando che nei terreni a comportamento coesivo e saturi l'aliquota principale del cedimento atteso risulta essere quello di consolidazione o edometrico piuttosto che quello immediato.

Per questa ragione, si è scelto di procedere separatamente al calcolo del cedimento elastico ed al calcolo dei cedimenti di consolidazione con il metodo monodimensionale di Terzaghi.

I cedimenti elastici si esauriscono solitamente durante la costruzione dell'edificio mentre il cedimento di consolidazione si realizza gradualmente in un arco di tempo medio – lungo che è funzione della permeabilità del terreno. In questo paragrafo non si fornisce una stima dello sviluppo dei cedimenti nel tempo poiché l'indagine non ha previsto il prelievo di campioni indisturbati sui quali eseguire prove edometriche per la determinazione del parametro  $C_v$  (coefficiente di consolidazione primario). Per questa ragione il calcolo del cedimento di consolidazione risulta essere totale.

Si ricorda comunque come il metodo di calcolo per i cedimenti si basa sull'assunzione di moduli di deformazione ricavati entrambi da prove S.P.T. e di conseguenza i risultati esprimono, e devono essere utilizzati, come ordine di grandezza e non come valori assoluti per comprendere se esistono problematiche legate alla stabilità e funzionalità degli edifici in progetto.

I moduli adottati sono i seguenti: **U1**  $E = 6.883 \text{ kPa}$ ; **U2**  $E = 12.000 \text{ kPa}$  -  $E_{ed} = 6600$ ; **U3**  $E = 12.660 \text{ kPa}$ ; **U4**  $E = 12.425 \text{ kPa}$  -  $E_{ed} = 7012 \text{ kPa}$  **U5**  $E = 21.229 \text{ kPa}$ .

Il calcolo dei cedimenti è stato effettuato per un valore di pressione di esercizio pari alla tensione ammissibile.

### 7.1. Calcolo dei cedimenti elastici

I cedimenti immediati di una fondazione si possono calcolare utilizzando una equazione basata sulla teoria dell'elasticità.

L'equazione di calcolo è la seguente:

$$\Delta h = q_0 I_s I_F (1-\mu^2) / E_y$$

dove:

$\Delta h$  = cedimento in mm

$q_0$  = intensità della pressione di contatto in kPa

$E_y$  = Modulo di Young in kPa

$\mu$  = coefficiente di Poisson

$I_s I_F$  = coefficienti d'influenza

#### Cedimenti con la teoria dell'elasticità (immediati)

FONDAZIONE	$Q_{amm}$ (kPa)	$\Delta h$ = cedimento atteso(mm)
Plinto 2 x 2 m	91	12
Trave lato B = 1.5 m	78	14

#### 7.2. Calcolo dei cedimenti di consolidazione

Tale calcolo si esegue dividendo lo strato compressibile in strati di modesto spessore (max. 2 m) e determinando gli incrementi netti di tensione verticale al centro di ogni strato.

L'equazione di calcolo è la seguente:

$$\Delta_h = H_0 \Delta_{sz} / E_{ed}$$

dove:

$\Delta_h$  = cedimento in mm

$H_0$  = spessore dello strato in mm

$\Delta_{sz}$  = incremento netto di tensione verticale al centro di ogni strato in kPa

$E_{ed}$  = Modulo Edometrico in kPa

#### Cedimenti con la teoria della consolidazione

FONDAZIONE	$Q_{amm}$ (kPa)	$\Delta h = \text{atteso (mm)}$
Plinto 2 x 2 m	91	30
Trave lato B = 1.5 m	78	27

### 7.3. Considerazioni generali

I cedimenti indicati sono da considerare relativi a fondazioni non interagenti. Qualora quindi il progetto prevedesse fondazione poste ad interassi inferiori a:

$$i_f = \alpha (B_1 + B_2) / 2$$

dove  $\alpha$  è il coefficiente di influenza pari a 1.75 e 2 per fondazioni a plinto e a trave contigue con lati pari a  $B_1$  e  $B_2$ , i cedimenti delle fondazioni risulteranno superiori a quelli indicati.

Come prescritto nelle NTC occorrerà verificare che le deformazioni derivanti dai cedimenti delle fondazioni siano ammissibili con la funzionalità dell'opera in progetto (verifiche SLE).

### 7.4. Coefficiente di sottofondazione $k_s$

Vengono di seguito indicati i valori del coefficiente di sottofondazione verticale medio ("terreno alla Winkler") per le tipologie di fondazione a plinto e trave posta a 1.5 m da p.c..

$$k_{vm} = q_a / w_{el}$$

dove:

$q_a$  = pressione applicata in fondazione

$w_{el}$  = cedimento elastico medio corrispondente.

In terreni coesivi è possibile includere nella definizione di  $k_{vm}$  anche gli effetti dovuti ai cedimenti di consolidazione ricavando un valore  $k'_{vm}$  pari a:

$$k'_{vm} = q_a / (w_{el} + w_{cons})$$

dove:  $w_{cons}$  cedimento di consolidazione

Tenendo conto dei cedimenti di consolidazione, che si sviluppano comunque in tempi maggiori rispetto a quelli elastici,  $k'_{vm}$  (consolidazione) sarà decisamente inferiore rispetto a  $k_{vm}$  (cedimenti elastici).

FONDAZIONE	$k_{vm}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k'_{vm}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Plinto	<b>7583</b>	<b>3033</b>
Trave	<b>5571</b>	<b>2889</b>

Si ricorda comunque che i valori di tale coefficiente dovrebbero essere, a rigore, ottenuti mediante l'esecuzione di prove su piastra e quindi i risultati riportati, debbano essere intesi come una stima approssimativa utile per un confronto con i valori riportati nelle tabelle pubblicate dalla letteratura tecnica e scientifica.

## 8. CONCLUSIONI

La relazione geologica, geotecnica ed idrogeologica illustra le caratteristiche naturali e geotecniche dei terreni di fondazione del nuovo edificio previsto nel progetto Campus in comune di Schio.

L'indagine geognostica (v. cap. 3 - 4) ha previsto l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo, quattro prove penetrometriche dinamiche, due prove penetrometriche statiche e un'indagine sismica sito specifica: i risultati delle indagini hanno ben evidenziato la presenza di uno strato continuo argilloso superficiale dello spessore di circa 3 metri che coinciderà con il piano di appoggio delle fondazioni

Al di sotto si ha una stratigrafia caratterizzata da estrema eterogeneità: si nota un'alternanza di strati coerenti ed incoerenti spesso miscelati tra di loro.

Le indagini eseguite in passato nelle zone adiacenti all'area d'intervento hanno confermato che in condizioni di magra la falda tende a stabilizzarsi ad una profondità media compresa tra 2 e 5 m da p.c.: tale misura è coerente con quella rilevata nel piezometro installato nel corso dell'indagine. Ma dati storici e bibliografici segnalano che a seguito di piogge intense e nei periodi di morbida la falda può subire un rapido innalzamento fino a quasi alla quota del piano campagna e di conseguenza può interferire con eventuali piani interrati.

Nel capitolo 5 è stato proposto un modello geologico e geotecnico del sito individuando n. 5 unità geotecniche. Nel capitolo 6 è stata verificata la capacità portante limite per fondazioni dirette del terreno secondo due metodologie: le tensioni ammissibili (T.A.) e gli stati limite ultimi (S.L.U) secondo gli approcci previsti dal D.M. 14 gennaio 2008. Mentre nel capitolo 7 è stata condotta la verifica dei cedimenti immediati e di consolidazione.

I risultati delle analisi confermano le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni e i modesti valori di capacità portante del terreno. Inoltre, la notevole eterogeneità litologica, la forte escursione stagionale della falda, la presenza di terreni compressibile saturi in superficie e l'altezza dell'edificio in progetto, sono ulteriori fattori critici che ci inducono a suggerire ai progettisti di valutare la possibilità di realizzare fondazioni indirette su pali.

In effetti alcuni edifici scolastici realizzati in zona, nel recente passato, hanno fondazioni su pali.

Tra le varie tipologie di pali si suggerisce di adottare i pali battuti o vibroinfissi che oltre ad essere già stati adottati in zona, risultano essere abbastanza economici e idonei per questo tipo di terreni. Si tratta di pali battuti in calcestruzzo gettato in opera a mezzo di un tubo forma metallico che viene successivamente recuperato durante o subito dopo il getto. Tale palo può essere completato con un'armatura in metallo tubolare o a gabbia.

La portata di questi pali è in funzione della sezione prescelta. Dal punto di vista geotecnico, in questa fase si può ipotizzare una lunghezza del palo variabile tra i 12 e i 13 m in modo che i pali si intestino all'interno delle unità geotecnica 3 caratterizzata da miscele di terre con ghiaia e sabbia limosa. Questo livello di ghiaia sembra essere abbastanza continuo su tutta l'area ed è mediamente addensato come evidenziato dalle prove penetrometriche dinamiche.

L'edificio in progetto risulta localizzato in un'area aperta libera e discretamente lontana da edifici esistenti che non dovrebbero essere influenzati dalle vibrazioni trasmesse al terreno dal sistema di infissione dei pali. In ogni caso è opportuno richiedere alle ditte invitate per l'affidamento del lavoro, l'esecuzione di un sopralluogo per valutare l'eventuale disturbo generato dalle vibrazioni indotte dall'infissione che può essere arrecato ad edifici circostanti.

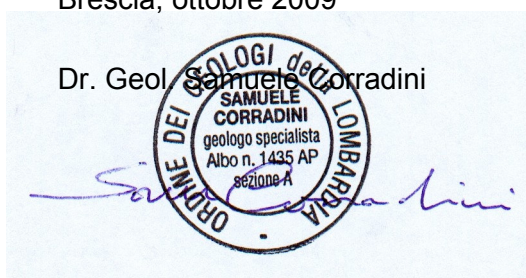
Nel caso siano necessarie portate elevate o in alternativa al palo battuto, si suggerisce di valutare la possibilità di realizzare pali trivellati con elica continua gettati in opera con calcestruzzo pressato (tipo C.F.A.). Caratteristica principale di questo palo è l'assenza di fanghi bentonitici, polimeri o tubiforma di rivestimento. L'armatura del palo viene immessa a getto ultimato per tutta la lunghezza richiesta dagli sforzi tensionali.

La portata del palo potrà essere calcolata sulla base delle stratigrafie e dei valori degli SPT, ma dovrà essere preliminarmente verificata in sito mediante prove di carico su alcuni pali di pilota a causa dell'estrema variabilità dei terreni presenti; inoltre dovranno essere previste prove di carico per il collaudo su alcuni pali scelti dal D.L. in funzione del numero di pali previsti (D.M. 14 gennaio 2008).

Si rinnova la disponibilità ad eseguire ulteriori sopralluoghi in corso d'opera qualora emergessero anomalie litologiche o idrogeologiche non previste nella presente relazione.

Brescia, ottobre 2009

Dr. Geol. Samuele Corradini



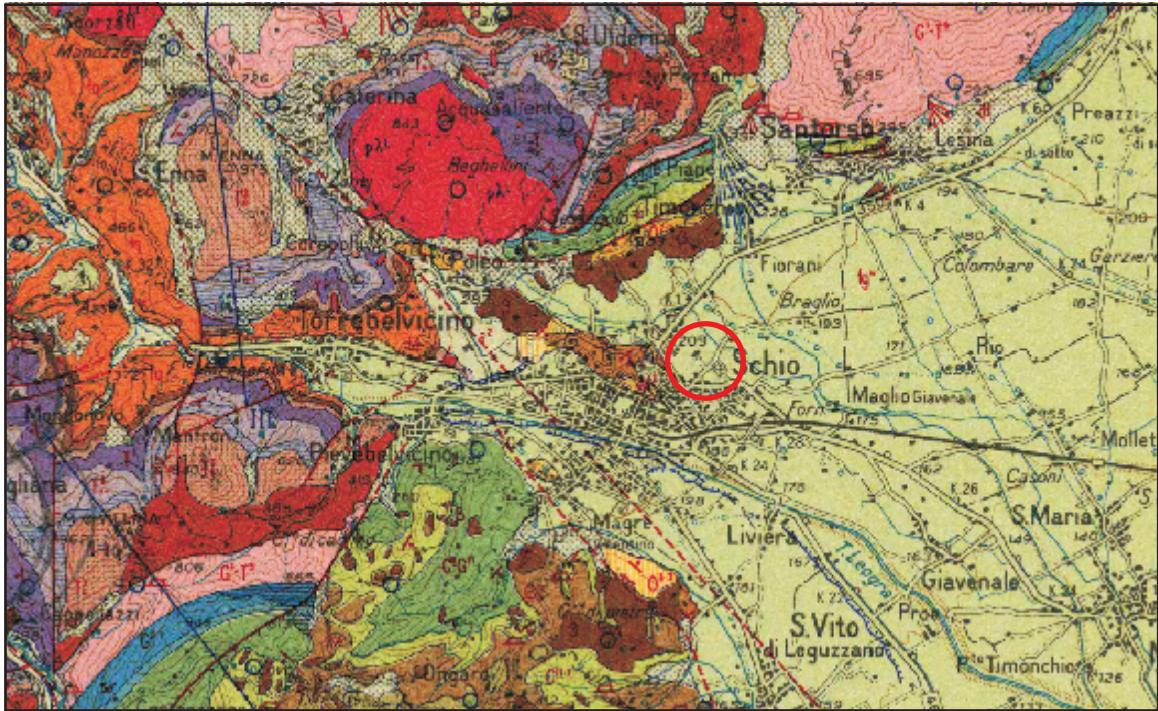
Dr. Geol. Davide Gasparetti



**ALLEGATO 1**

**CARTA GEOLOGICA**





**FIGURA 1**

**Inquadramento geologico**  
 tratto da "Carta Geologica d'Italia - Foglio 36 Schio"

scala 1:25000

**LEGENDA**



Depositi fluvio-glaciali ed interglaciali; alluvioni del pluviale wurmiano



Area oggetto di indagine

## **ALLEGATO 2**

### **UBICAZIONE PUNTI D'INDAGINE**



**ALLEGATO 3**  
**STRATIGRAFIA SONDAGGIO**

**RG Soils s.r.l.**

**Ricerche Geologiche e Geofisiche**

Via Michelangelo 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)

Tel. 030 9914222 - Fax. 030 9140471 - Cell. 3396012311

emali: studio.geologico@alice.it

LOCALITA': Via Tito Livio - Schio (VI)

SONDAGGIO

S1

QUOTA INIZIO

DATA

17/09/2009

SONDA: BERETTA T-51

PAG.

1/2

Campione rimaneggiato prelevato per analisi granulometrica

Prova di permeabilità

Piezometro cieco

Campione rimaneggiato prelevato per determinazione Limiti di Atterberg

CARICO VARIABILE

CARICO COSTANTE

Piezometro fessurato

LIVELLI ACQUA

PROFONDITA'		SERA		MATTINO	
Rivestimento	Foro	Data	H	Data	H
		18/09/09	-2,40 m. da p.c.		

Manovre	Profondità (m)	Sezione Terreno	Campioni	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Carotiere	Rivestimento	Prove di permeabilità	Poket Penetrometer (kg/cmq)	Vane Test (kg/cmq) (Rimaneggiato)	Profondità	SPT	Falda acquifera	Piezometro $\phi = 2''$
				<b>TERRENO NATURALE</b> Limo argilloso, debolmente sabbioso, scarsamente consistente, da debolmente umido, a molto umido, di colore marrone.						1,50	1 2 3		
	3,00			Limo argilloso-ghiaioso, debolmente sabbioso, mediamente consistente, bagnato, di colore marrone.						3,00	1 7 5	3,00	
	4,60			Limo con sabbia, debolmente ghiaioso, da scarsamente a moderatamente addensato, bagnato, di colore grigio-azzurrognolo.				0,72 (0,28R <sub>v</sub> )		4,50	1 4 5		
	6,00			Ghiaia fine, sabbioso-limosa, moderatamente addensata, bagnata, di colore grigio-azzurrognolo.				0,76 (0,28R <sub>v</sub> )		6,00	6 8 9		
	8,30			Limo con sabbia, debolmente ghiaioso, da scarsamente a moderatamente addensato, bagnato, di colore grigio-azzurrognolo.						9,00	7 10 10		
	9,00			Limo argilloso, con sabbia e ghiaia a tratti alterata, consistente, bagnato, di colore nocciola.						10,00			
	10,00			Ghiaia con sabbia e limo, moderatamente addensata, bagnata, di colore grigio-nocciola.						12,00	4 6 11		12,00
	13,50			Limo argilloso, con sabbia, debolmente ghiaioso, mediamente consistente, bagnato, di colore nocciola.				0,68 (0,24R <sub>v</sub> )		13,80			
	13,80			Limo argilloso e sabbia, mediamente consistente, bagnato, di colore grigio scuro.						15,00	9 17 20		
	15,30			Limo sabbioso-ghiaioso, da moderatamente addensato ad addensato, bagnato, di colore grigio-azzurrognolo.				0,68 (0,24R <sub>v</sub> )		17,90			
	17,90			Limo con ghiaia e sabbia, da moderatamente addensato ad addensato, bagnato, di colore grigio-azzurrognolo.				0,72 (0,2R <sub>v</sub> )		19,50			
	19,50			Limo argilloso con sabbia, debolmente ghiaioso, consistente, da umido a molto umido, di colore nocciola.				0,92 (0,28R <sub>v</sub> ) 0,6 (0,2R <sub>v</sub> )					

AVANZAMENTO A CAROTTAGGIO CONTINUO  $\phi=101$  mm

$\phi=127$  mm

Chiusura semplice

Cemento + Bentonite

Chiusura



**ESECUZIONE SONDAGGIO MEDIANTE  
PERFORATRICE IDRAULICA BERETTA MODELLO T.51**



**POSTAZIONE SONDAGGIO S1**



**SONDAGGIO S1**



**CASSA 1 – da 0.00 m a 5.00 m**



**CASSA 2 – da 5.00 m a 10.00 m**

**SONDAGGIO S1**



**CASSA 3 – da 10.00 m a 15.00 m**



**CASSA 4 – da 15.00 m a 20.00 m**



**SONDAGGIO S1**



**CASSA 5 – da 20.00 m a 25.00 m**

## **ALLEGATO 4**

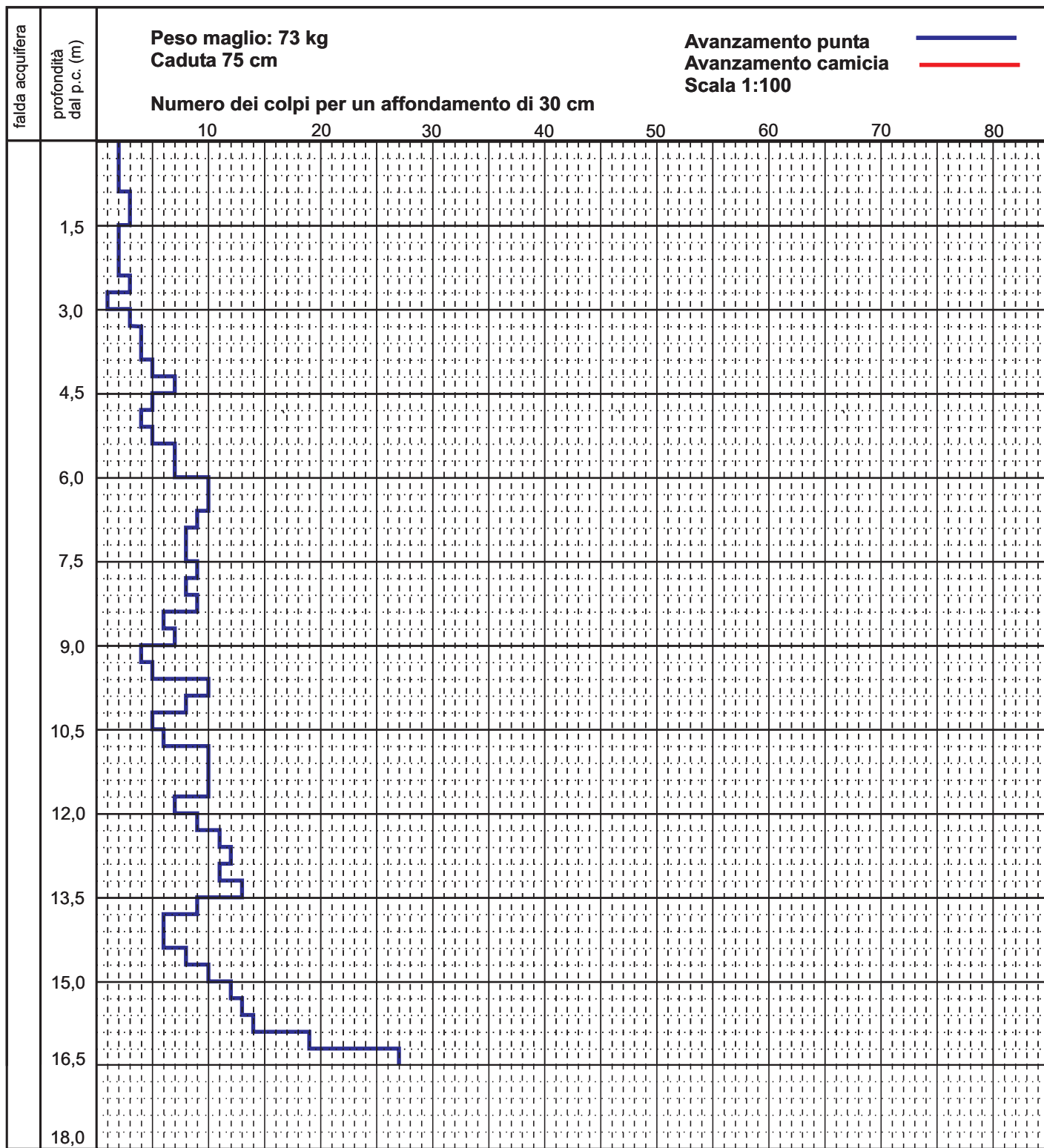
### **DIAGRAMMI PENETROMETRICI**

PROVA PENETROMETRICA N° 1

Data: 17/09/2009

Località: Via Tito Livio - Schio (VI)

Committente: Comune di Schio

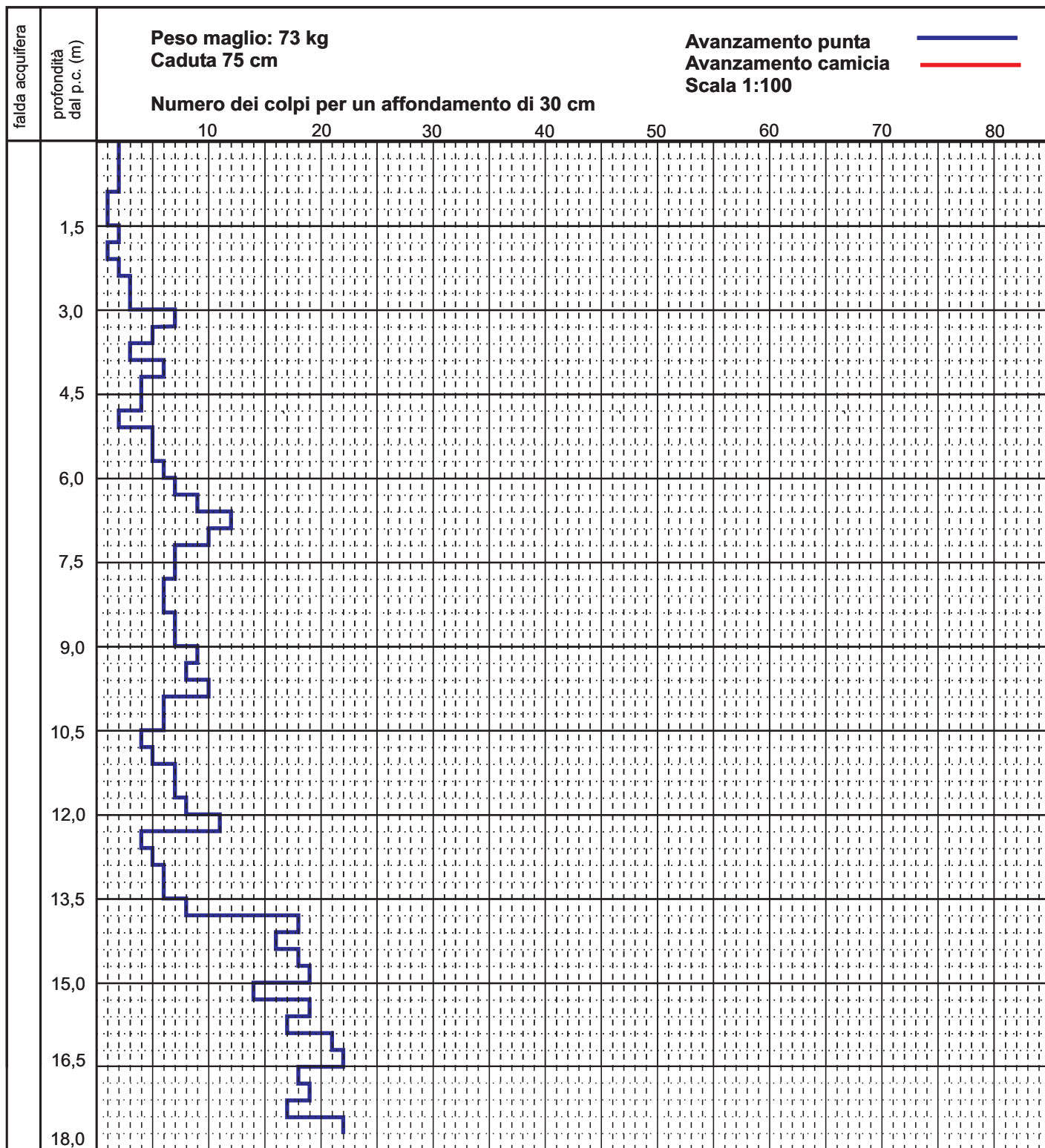


PROVA PENETROMETRICA N° 3

Data: 17/09/2009

Località: Via Tito Livio - Schio (VI)

Committente: Comune di Schio

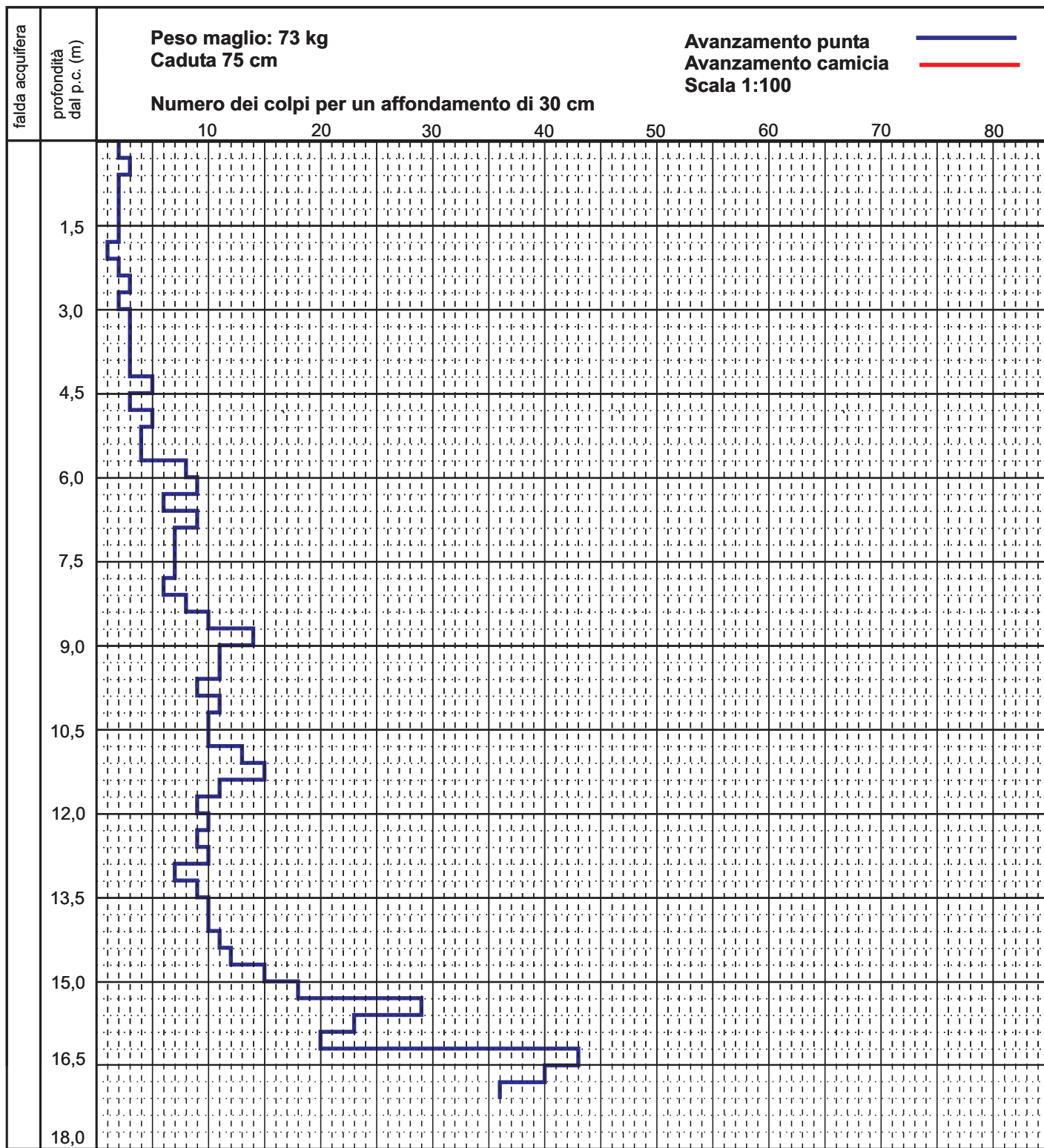


PROVA PENETROMETRICA N° 4

Data: 17/09/2009

Località: Via Tito Livio - Schio (VI)

Committente: Comune di Schio

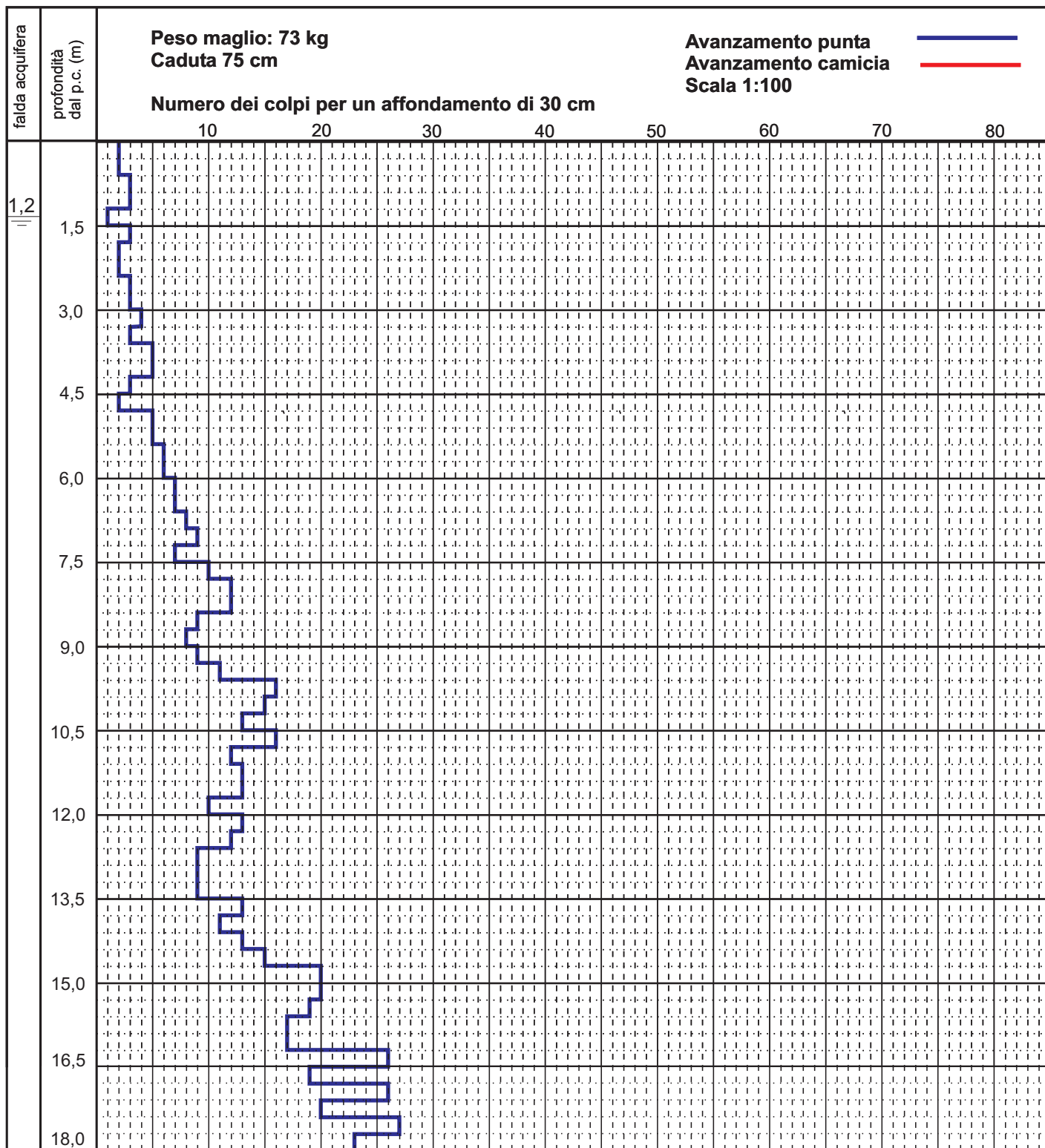


PROVA PENETROMETRICA N° 5

Data: 17/09/2009

Località: Via Tito Livio - Schio (VI)

Committente: Comune di Schio



Nota: Posa in opera di piezometro da 1/2".



**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 2**

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)  
- note :

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,55 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	----	----	--	-----	----	6,20	15,0	24,0	15,0	0,60	25,0
0,40	20,0	----	20,0	0,73	27,0	6,40	15,0	24,0	15,0	0,40	37,0
0,60	11,0	22,0	11,0	1,20	9,0	6,60	17,0	23,0	17,0	0,47	36,0
0,80	13,0	31,0	13,0	1,47	9,0	6,80	9,0	16,0	9,0	0,53	17,0
1,00	12,0	34,0	12,0	1,40	9,0	7,00	12,0	20,0	12,0	0,27	45,0
1,20	14,0	35,0	14,0	1,27	11,0	7,20	10,0	14,0	10,0	0,33	30,0
1,40	12,0	31,0	12,0	1,13	11,0	7,40	7,0	12,0	7,0	1,67	4,0
1,60	14,0	31,0	14,0	1,00	14,0	7,60	85,0	110,0	85,0	1,60	53,0
1,80	15,0	30,0	15,0	1,00	15,0	7,80	24,0	48,0	24,0	1,47	16,0
2,00	16,0	31,0	16,0	0,80	20,0	8,00	13,0	35,0	13,0	0,87	15,0
2,20	14,0	26,0	14,0	0,60	23,0	8,20	37,0	50,0	37,0	0,53	69,0
2,40	15,0	24,0	15,0	0,67	22,0	8,40	33,0	41,0	33,0	1,33	25,0
2,60	13,0	23,0	13,0	0,53	24,0	8,60	39,0	59,0	39,0	1,27	31,0
2,80	14,0	22,0	14,0	0,53	26,0	8,80	25,0	44,0	25,0	4,53	6,0
3,00	16,0	24,0	16,0	0,60	27,0	9,00	77,0	145,0	77,0	1,47	52,0
3,20	15,0	24,0	15,0	0,53	28,0	9,20	49,0	71,0	49,0	1,60	31,0
3,40	14,0	22,0	14,0	0,53	26,0	9,40	34,0	58,0	34,0	6,33	5,0
3,60	8,0	16,0	8,0	0,40	20,0	9,60	75,0	170,0	75,0	1,60	47,0
3,80	9,0	15,0	9,0	1,27	7,0	9,80	61,0	85,0	61,0	2,40	25,0
4,00	23,0	42,0	23,0	0,33	69,0	10,00	51,0	87,0	51,0	3,47	15,0
4,20	10,0	15,0	10,0	2,60	4,0	10,20	64,0	116,0	64,0	2,20	29,0
4,40	31,0	70,0	31,0	1,73	18,0	10,40	54,0	87,0	54,0	2,33	23,0
4,60	54,0	80,0	54,0	2,40	22,0	10,60	61,0	96,0	61,0	1,20	51,0
4,80	51,0	87,0	51,0	1,80	28,0	10,80	45,0	63,0	45,0	2,87	16,0
5,00	37,0	64,0	37,0	0,87	43,0	11,00	51,0	94,0	51,0	5,40	9,0
5,20	12,0	25,0	12,0	1,00	12,0	11,20	100,0	181,0	100,0	3,00	33,0
5,40	15,0	30,0	15,0	0,53	28,0	11,40	80,0	125,0	80,0	3,27	24,0
5,60	8,0	16,0	8,0	0,33	24,0	11,60	78,0	127,0	78,0	1,20	65,0
5,80	14,0	19,0	14,0	0,33	42,0	11,80	58,0	76,0	58,0	6,67	9,0
6,00	14,0	19,0	14,0	0,60	23,0	12,00	250,0	350,0	250,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

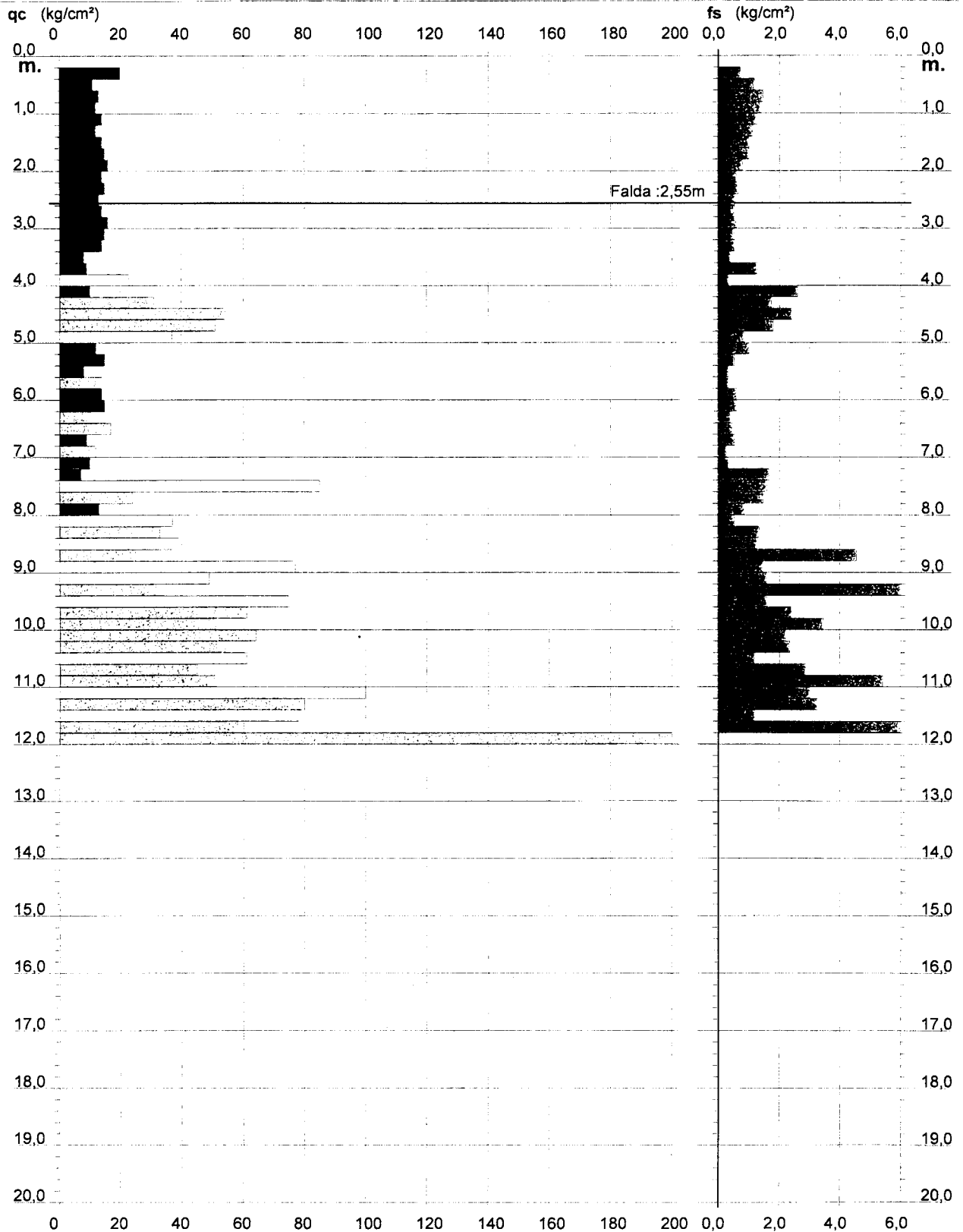
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,55 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



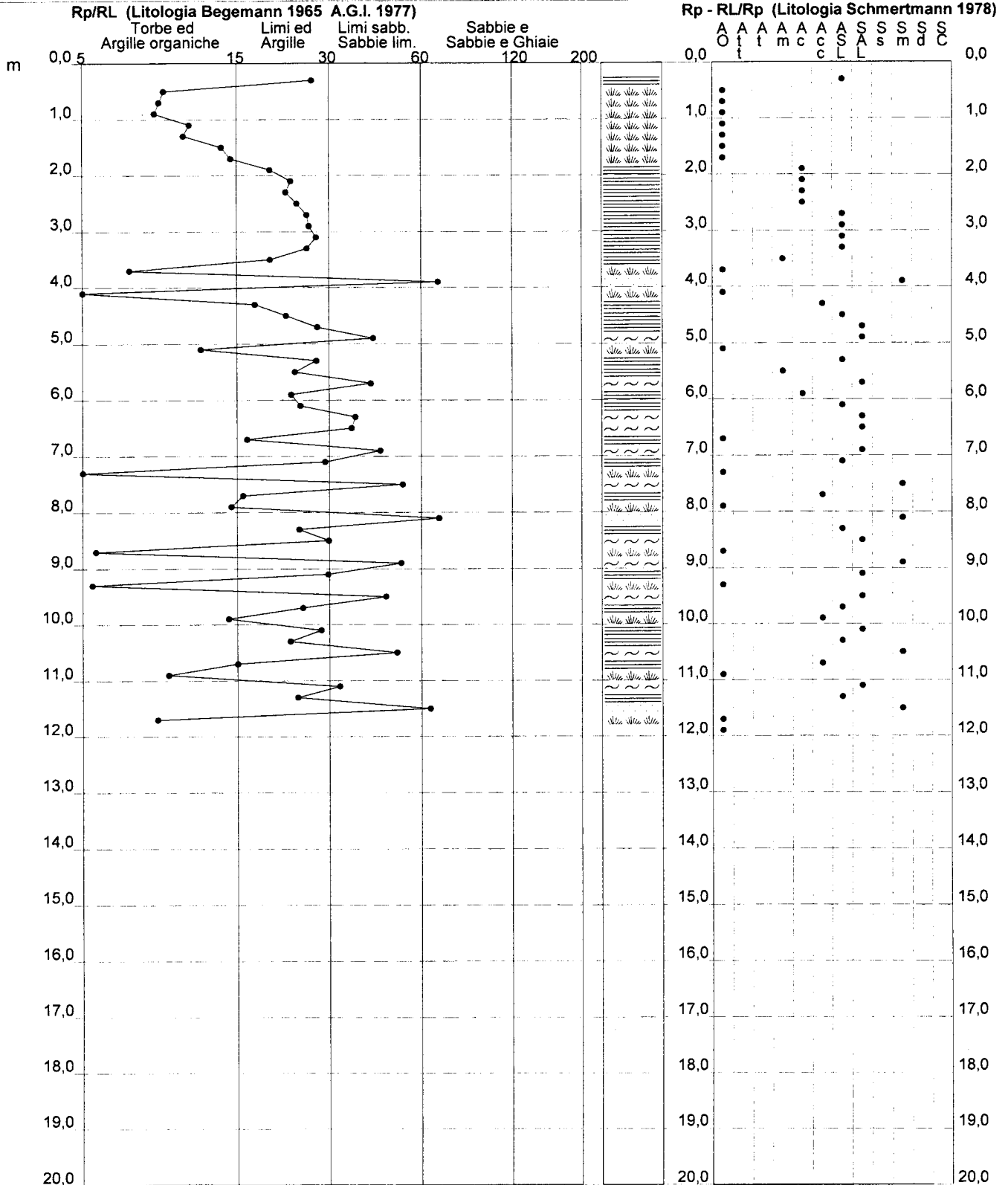
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
 - lavoro :  
 - località : Via Tito Livio - Schio (VI)  
 - note :

- data : 18/09/2009  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 2,55 m da quota inizio  
 - scala vert.: 1 : 100



# PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT 2**

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)  
- note :

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 2,55 m da quota inizio  
- pagina : 1

NATURA COESIMA														NATURA GRANULARE													
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y t/m³	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²						
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
0.40	20	27	4.F.F.	1.85	0.07	0.80	99.9	136	204	60	80	39	41	43	44	41	27	0.191	33	50	60						
0.60	11	9	2.III	1.85	0.11	0.54	45.0	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
0.80	13	9	2.III	1.85	0.15	0.60	36.5	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1.00	12	9	2.III	1.85	0.19	0.57	25.7	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1.20	14	11	2.III	1.85	0.22	0.64	23.4	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1.40	12	11	2.III	1.85	0.26	0.57	16.9	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1.60	14	14	2.III	1.85	0.30	0.64	16.3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
1.80	15	15	2.III	1.85	0.33	0.67	15.0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2.00	16	20	2.III	1.85	0.37	0.70	13.8	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2.20	14	23	2.III	1.85	0.41	0.64	11.0	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2.40	15	22	2.III	1.85	0.44	0.67	10.4	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2.60	13	24	2.III	0.93	0.46	0.60	8.8	110	164	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
2.80	14	26	2.III	0.94	0.48	0.64	8.9	114	171	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3.00	16	27	2.III	0.96	0.50	0.70	9.5	120	180	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3.20	15	28	2.III	0.95	0.52	0.67	8.6	123	185	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3.40	14	26	2.III	0.94	0.54	0.64	7.7	130	196	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3.60	8	20	2.III	0.86	0.56	0.40	4.2	155	233	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
3.80	9	7	2.III	0.88	0.57	0.45	4.6	160	239	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4.00	23	69	3.III	0.86	0.59	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	32	28	0.067	38	58	69						
4.20	10	4	2.III	0.90	0.61	0.50	4.9	168	252	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
4.40	31	18	4.F.F.	0.97	0.63	1.03	11.7	176	264	93	43	34	36	39	41	33	29	0.087	52	78	93						
4.60	54	22	4.F.F.	1.01	0.65	1.80	22.5	306	459	162	61	37	39	41	43	36	31	0.134	90	135	162						
4.80	51	28	4.F.F.	1.01	0.67	1.70	20.2	289	434	153	59	36	38	40	43	35	31	0.127	85	128	153						
5.00	37	43	3.III	0.89	0.69	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	34	30	0.097	62	93	111						
5.20	12	12	2.III	0.92	0.70	0.57	4.8	195	293	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5.40	15	28	2.III	0.95	0.72	0.67	5.7	195	292	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5.60	8	24	2.III	0.86	0.74	0.40	2.9	200	300	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
5.80	14	42	4.F.F.	0.89	0.76	0.64	5.0	209	314	48	11	30	33	36	39	28	26	0.022	23	35	42						
6.00	14	23	2.III	0.94	0.78	0.64	4.9	215	323	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6.20	15	25	2.III	0.95	0.80	0.67	5.0	220	329	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
6.40	15	37	4.F.F.	0.89	0.81	0.67	4.9	225	338	50	12	30	33	36	39	28	27	0.023	25	38	45						
6.60	17	36	4.F.F.	0.91	0.83	0.72	5.3	228	341	54	16	30	33	36	39	28	27	0.030	28	43	51						
6.80	9	17	2.III	0.88	0.85	0.45	2.8	228	342	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7.00	12	45	4.F.F.	0.88	0.87	0.57	3.7	245	367	45	3	28	32	35	38	26	26	0.007	20	30	36						
7.20	10	30	4.F.F.	0.86	0.88	0.50	3.1	244	365	40	--	28	31	35	38	25	26	--	17	25	30						
7.40	7	4	1.III	0.46	0.89	0.35	1.9	42	63	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
7.60	85	53	3.III	0.98	0.91	--	--	--	--	--	69	38	39	41	43	37	33	0.155	142	213	255						
7.80	24	16	4.F.F.	0.94	0.93	0.89	5.9	248	372	72	25	31	34	37	40	29	28	0.047	40	60	72						
8.00	13	15	2.III	0.93	0.95	0.60	3.6	268	402	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--					
8.20	37	69	3.III	0.89	0.97	--	--	--	--	--	39	33	36	38	41	32	30	0.077	62	93	111						
8.40	33	25	4.F.F.	0.97	0.99	1.10	7.2	246	368	99	34	33	35	38	41	31	29	0.067	55	83	99						
8.60	39	31	3.III	0.90	1.01	--	--	--	--	--	39	34	36	38	41	32	30	0.079	65	98	117						
8.80	25	6	4.F.F.	0.94	1.02	0.91	5.4	279	418	75	24	31	34	37	40	29	28	0.045	42	63	75						
9.00	77	52	3.III	0.96	1.04	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	35	33	0.136	128	193	231						
9.20	49	31	3.III	0.92	1.06	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	31	0.094	82	123	147						
9.40	34	5	4.F.F.	0.98	1.08	1.13	6.7	277	415	102	33	33	35	38	41	31	29	0.064	57	85	102						
9.60	75	47	3.III	0.96	1.10	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	35	32	0.130	125	188	225						
9.80	61	25	4.F.F.	1.02	1.12	2.03	13.2	346	519	183	52	35	38	40	42	34	32	0.110	102	153	183						
10.00	51	15	4.F.F.	1.01	1.14	1.70	10.3	289	434	153	46	34	37	39	42	32	31	0.093	85	128	153						
10.20	64	29	4.F.F.	1.02	1.16	2.13	13.4	363	544	192	53	35	38	40	42	34	32	0.112	107	160	192						
10.40	54	23	4.F.F.	1.01	1.18	1.80	10.6	306	459	162	47	35	37	39	42	33	31	0.096	90	135	162						
10.60	61	51	3.III	0.94	1.20	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	33	32	0.105	102	153	183						
10.80	45	16	4.F.F.	1.00	1.22	1.50	8.1	292	438	135	40	34	36	39	41	31	31	0.079	75	113	135						
11.00	51	9	4.F.F.	1.01	1.24	1.70	9.3	296	444	153	44	34	36	39	41	32	31	0.088	85	128	153						
11.20	100	33	3.III	1.00	1.26	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	36	34	0.148	167	250	300						
11.40	80	24	4.F.F.	1.03	1.28	2.67	15.7	453	680	240	58	36	38	40	43	34	33	0.126	133	200	240						
11.60	78	65	3.III	0.96	1.30	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	34	33	0.122	130	195	234						
11.80	58	9	4.F.F.	1.02	1.32	1.93	10.1	329	493	174	46	35	37	39	42	32	31	0.095	97	145	174						
12.00	250	--	3.III	1.15	1.34	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	40	39	0.245	417	625	750						

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 6**

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)  
- note :

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	----	----	--	-----	----	7,20	11,0	20,0	11,0	0,40	27,0
0,40	----	----	--	0,47	----	7,40	24,0	30,0	24,0	0,73	33,0
0,60	9,0	16,0	9,0	0,73	12,0	7,60	12,0	23,0	12,0	0,80	15,0
0,80	11,0	22,0	11,0	1,20	9,0	7,80	34,0	46,0	34,0	0,53	64,0
1,00	13,0	31,0	13,0	1,27	10,0	8,00	15,0	23,0	15,0	0,53	28,0
1,20	13,0	32,0	13,0	1,00	13,0	8,20	7,0	15,0	7,0	0,47	15,0
1,40	9,0	24,0	9,0	0,93	10,0	8,40	7,0	14,0	7,0	0,53	13,0
1,60	9,0	23,0	9,0	0,80	11,0	8,60	11,0	19,0	11,0	1,07	10,0
1,80	9,0	21,0	9,0	0,67	13,0	8,80	15,0	31,0	15,0	0,87	17,0
2,00	10,0	20,0	10,0	0,73	14,0	9,00	15,0	28,0	15,0	0,87	17,0
2,20	11,0	22,0	11,0	0,80	14,0	9,20	21,0	34,0	21,0	0,80	26,0
2,40	15,0	27,0	15,0	0,73	20,0	9,40	12,0	24,0	12,0	0,87	14,0
2,60	17,0	28,0	17,0	0,73	23,0	9,60	16,0	29,0	16,0	1,47	11,0
2,80	15,0	26,0	15,0	0,67	22,0	9,80	57,0	79,0	57,0	3,87	15,0
3,00	11,0	21,0	11,0	0,80	14,0	10,00	71,0	129,0	71,0	1,00	71,0
3,20	11,0	23,0	11,0	0,67	16,0	10,20	13,0	28,0	13,0	0,67	19,0
3,40	10,0	20,0	10,0	0,60	17,0	10,40	18,0	28,0	18,0	0,87	21,0
3,60	10,0	19,0	10,0	0,80	12,0	10,60	28,0	41,0	28,0	0,80	35,0
3,80	23,0	35,0	23,0	1,00	23,0	10,80	37,0	49,0	37,0	1,53	24,0
4,00	18,0	33,0	18,0	2,07	9,0	11,00	18,0	41,0	18,0	3,40	5,0
4,20	40,0	71,0	40,0	1,67	24,0	11,20	96,0	147,0	96,0	2,53	38,0
4,40	69,0	94,0	69,0	2,60	27,0	11,40	79,0	117,0	79,0	2,80	28,0
4,60	34,0	73,0	34,0	1,80	19,0	11,60	111,0	153,0	111,0	2,47	45,0
4,80	21,0	48,0	21,0	0,67	31,0	11,80	110,0	147,0	110,0	3,53	31,0
5,00	10,0	20,0	10,0	0,73	14,0	12,00	129,0	182,0	129,0	2,13	60,0
5,20	20,0	31,0	20,0	0,53	37,0	12,20	121,0	153,0	121,0	2,87	42,0
5,40	7,0	15,0	7,0	0,40	17,0	12,40	67,0	110,0	67,0	2,60	26,0
5,60	11,0	17,0	11,0	1,00	11,0	12,60	53,0	92,0	53,0	1,93	27,0
5,80	14,0	29,0	14,0	1,33	10,0	12,80	24,0	53,0	24,0	1,80	13,0
6,00	18,0	38,0	18,0	1,73	10,0	13,00	29,0	56,0	29,0	1,13	26,0
6,20	21,0	47,0	21,0	0,80	26,0	13,20	53,0	70,0	53,0	2,47	21,0
6,40	18,0	30,0	18,0	0,53	34,0	13,40	130,0	167,0	130,0	5,33	24,0
6,60	8,0	16,0	8,0	0,47	17,0	13,60	180,0	260,0	180,0	8,80	20,0
6,80	11,0	18,0	11,0	0,47	24,0	13,80	238,0	370,0	238,0	-----	----
7,00	14,0	21,0	14,0	0,60	23,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

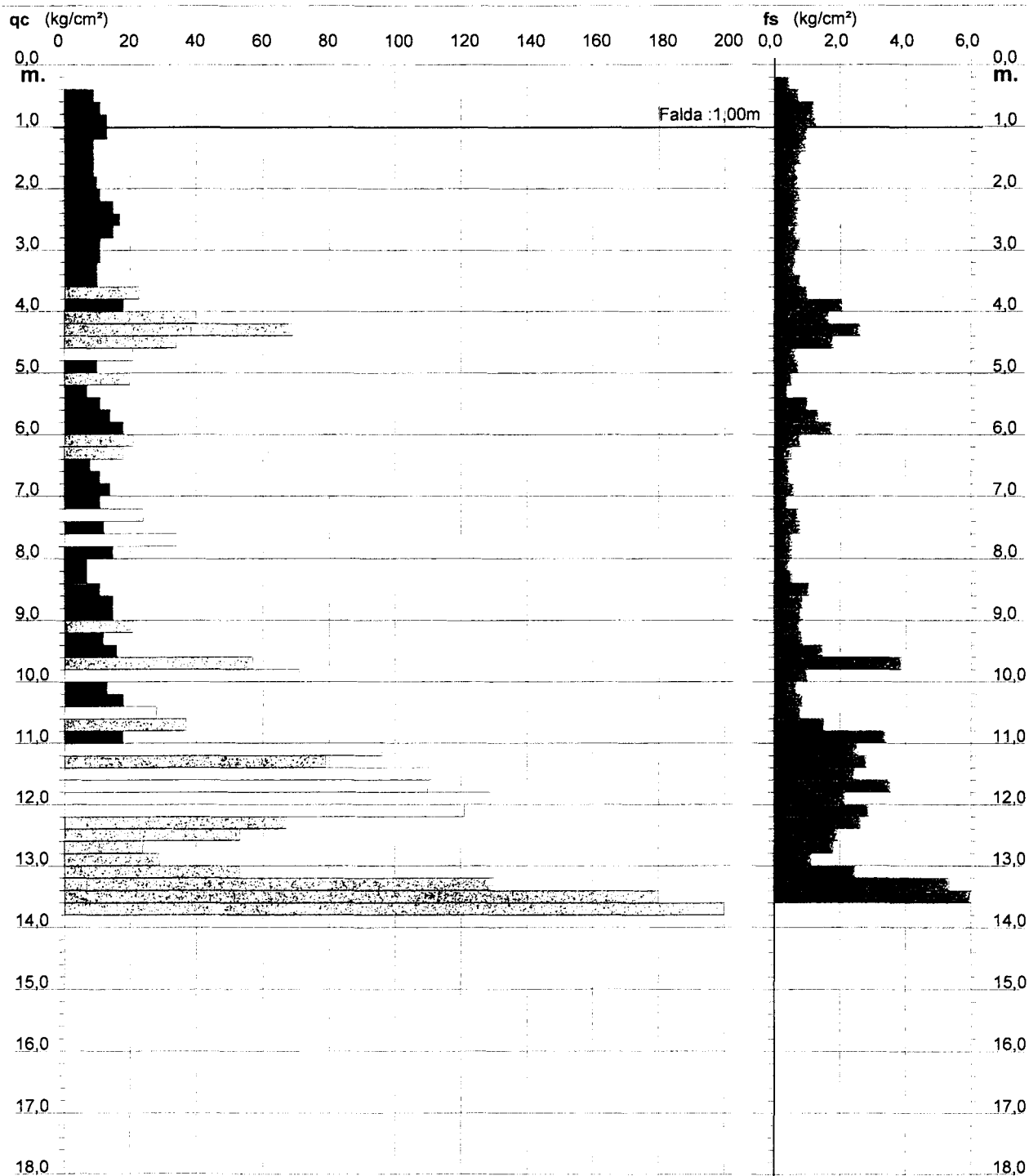
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100





# PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT 6**

2.01PG05-075

- committente : Comune di Schio  
- lavoro :  
- località : Via Tito Livio - Schio (VI)  
- note :

- data : 18/09/2009  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y t/m²	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	12	2/III	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	11	9	2/III	1,85	0,15	0,54	31,4	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	13	10	2/III	0,93	0,17	0,60	31,5	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	13	13	2/III	0,93	0,19	0,60	27,6	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	9	10	2/III	0,88	0,20	0,45	17,0	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	9	11	2/III	0,88	0,22	0,45	15,3	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	9	13	2/III	0,88	0,24	0,45	13,9	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	10	14	2/III	0,90	0,26	0,50	14,5	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	11	14	2/III	0,91	0,27	0,54	14,5	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	15	20	2/III	0,95	0,29	0,67	17,5	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	17	23	2/III	0,97	0,31	0,72	17,9	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	15	22	2/III	0,95	0,33	0,67	15,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	11	14	2/III	0,91	0,35	0,54	10,7	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	11	16	2/III	0,91	0,37	0,54	10,1	91	137	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	10	17	2/III	0,90	0,39	0,50	8,7	91	137	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	10	12	2/III	0,90	0,40	0,50	8,2	96	145	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	23	23	4/E	0,94	0,42	0,87	15,4	148	221	69	42	34	36	39	41	34	28	0,086	38	58	69	--
4,00	18	9	2/III	0,98	0,44	0,75	12,1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	40	24	4/E	1,00	0,46	1,33	23,6	227	340	120	59	36	38	40	43	36	30	0,129	67	100	120	--
4,40	69	27	4/E	1,02	0,48	2,30	44,2	391	586	207	77	39	40	42	44	39	32	0,180	115	173	207	--
4,60	34	19	4/E	0,98	0,50	1,13	17,4	193	289	102	52	35	37	40	42	35	29	0,108	57	85	102	--
4,80	21	31	3/III	0,85	0,52	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	32	27	0,067	35	53	63	--
5,00	10	14	2/III	0,90	0,54	0,50	5,7	144	216	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,20	20	37	4/E	0,93	0,56	0,80	9,9	136	204	60	31	32	35	38	40	31	27	0,060	33	50	60	--
5,40	7	17	2/III	0,84	0,57	0,35	3,4	161	241	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	11	11	2/III	0,91	0,59	0,54	5,6	160	240	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	14	10	2/III	0,94	0,61	0,64	6,6	156	234	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	18	10	2/III	0,98	0,63	0,75	7,8	152	228	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	21	26	4/E	0,93	0,65	0,82	8,5	154	231	63	29	32	35	37	40	31	27	0,056	35	53	63	--
6,40	18	34	4/E	0,91	0,67	0,75	7,3	165	247	56	23	31	34	37	40	30	27	0,044	30	45	54	--
6,60	8	17	2/III	0,86	0,68	0,40	3,2	190	285	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	11	24	2/III	0,91	0,70	0,54	4,5	196	294	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	14	23	2/III	0,94	0,72	0,64	5,4	196	294	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	11	27	2/III	0,91	0,74	0,54	4,2	206	309	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	24	33	3/III	0,86	0,76	--	--	--	--	--	30	32	35	38	40	31	28	0,057	40	60	72	--
7,60	12	15	2/III	0,92	0,77	0,57	4,3	216	324	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	34	64	3/III	0,89	0,79	--	--	--	--	--	41	34	36	39	41	32	29	0,081	57	85	102	--
8,00	15	28	2/III	0,95	0,81	0,67	4,9	224	336	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,20	7	15	1/III	0,46	0,82	0,35	2,2	41	62	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	7	13	1/III	0,46	0,83	0,35	2,1	41	62	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	11	10	2/III	0,91	0,85	0,54	3,5	239	359	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,80	15	17	2/III	0,95	0,87	0,67	4,5	242	362	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,00	15	17	2/III	0,95	0,89	0,67	4,4	247	371	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,20	21	26	4/E	0,93	0,90	0,82	5,6	244	366	63	21	31	34	37	40	29	27	0,040	35	53	63	--
9,40	12	14	2/III	0,92	0,92	0,57	3,5	260	390	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,60	16	11	2/III	0,96	0,94	0,70	4,3	263	394	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	57	15	4/E	1,01	0,96	1,90	14,7	323	485	171	54	36	38	40	42	34	31	0,113	95	143	171	--
10,00	71	71	3/III	0,95	0,98	--	--	--	--	--	61	36	39	41	43	35	32	0,132	118	178	213	--
10,20	13	19	2/III	0,93	1,00	0,60	3,3	280	421	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,40	18	21	2/III	0,98	1,02	0,75	4,3	285	427	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,60	28	35	3/III	0,87	1,04	--	--	--	--	--	27	32	35	37	40	30	28	0,052	47	70	84	--
10,80	37	24	4/E	0,99	1,06	1,23	7,6	257	386	111	36	33	36	38	41	31	30	0,072	62	93	111	--
11,00	18	5	2/III	0,98	1,08	0,75	4,0	300	450	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11,20	96	38	3/III	0,99	1,10	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	36	34	0,154	160	240	288	--
11,40	79	28	4/E	1,03	1,12	2,63	18,4	448	672	237	72	37	39	41	43	35	33	0,134	132	198	237	--
11,60	111	45	3/III	1,02	1,14	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	37	34	0,166	185	278	333	--
11,80	110	31	3/III	1,02	1,16	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	37	34	0,164	183	275	330	--
12,00	129	60	3/III	1,04	1,18	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	37	35	0,180	215	323	387	--
12,20	121	42	3/III	1,03	1,20	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	35	0,172	202	303	363	--
12,40	67	26	4/E	1,02	1,22	2,23	13,4	380	570	201	53	35	38	40	42	34	32	0,113	112	168	201	--
12,60	53	27	4/E	1,01	1,24	1,77	9,8	302	452	159	45	34	37	39	42	32	31	0,091	88	133	159	--
12,80	24	13	4/E	0,94	1,26	0,89	4,1	351	527	72	17	30	33	36	39	28	28	0,033	40	60	72	--
13,00	29	26	4/E	0,96	1,28	0,98	4,5	356	534	87	23	31	34	37	40	29	29	0,045	48	73	87	--
13,20	53	21	4/E	1,01	1,30	1,77	9,2	309	463	159	44	34	37	39	42	32	31	0,089	88	133	159	--
13,40	130	24	4/E	1,07	1,32	4,33	27,8	737	1105	390	74	38	40	42	44	37	35	0,172	217	325	390	--
13,60	180	20	4/E	1,11	1,34	6,00	40,9	1020	1530	540	85	40	41	43	45	38	37	0,206	300	450	540	--
13,80	238	--	3/III	1,15	1,36	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	40	39	0,238	397	595	714	--



**ALLEGATO 5**

**INDAGINE SISMICA**

## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. DATI SISMOSTRATIGRAFICI – MODELLO GEOFISICO .....	2
2.1 Acquisizione dati .....	2
2.2 Cenni sulla metodologia MASW .....	2
2.3 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW .....	4
2.4 Profili sismostratigrafici .....	5

## **1. PREMESSA**

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni è stato eseguito, in data 18/09/2009 a Schio (VI), n° 1 **stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali**, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la **procedura tipo MASW**.

Mediante tale metodologia è possibile eseguire la valutazione delle velocità  $V_{S30}$  di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08.

## **2. DATI SISMOSTRATIGRAFICI – MODELLO GEOFISICO**

L'andamento delle onde  $V_s$  lungo la verticale, è stato determinato mediante l'esecuzione di n° 1 stendimento di sismica multicanale con registrazione delle onde superficiali, anche a bassa frequenza.

La linee 1 è stata eseguita in prossimità del Lotto di Via Tito.

### **2.1 Acquisizione dati**

L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità “*common-shot gathers*”, utilizzando strumentazione “Geometrics” costituita da un sismografo modulare GEODE 3-1000 a 24 canali, con collegati 24 geofoni verticali GEOSPACE (GS11D) con frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3”.

L'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente, collocata all'esterno dello stendimento dei geofoni.

E' stata quindi utilizzata la procedura di analisi MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*); i dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software winMASW 4.0 (creato dalla EliaSoft).

Il risultato finale è la determinazione, in corrispondenza di ciascuno stendimento sismico del **profilo verticale medio della  $V_s$**  (velocità delle onde di taglio), necessario per la classificazione nelle categorie di suolo previste dalle normative tecniche.

### **2.2 Cenni sulla metodologia MASW**

La procedura di analisi MASW utilizza la propagazione nel sottosuolo delle onde di superficie. Infatti le onde di Rayleigh (o di superficie) in un mezzo non stratificato si propagano in maniera lineare in funzione della distanza del geofono, al contrario in un mezzo stratificato subiscono il fenomeno della dispersione.

La curva di dispersione permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza, è infatti influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di  $\lambda-\lambda/2$ .

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Particolare attenzione nell'interpretazione dei dati deriva dalla considerazione che gli spostamenti indotti dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi* (frequenze diverse), che possono sovrapporsi, soprattutto nel dominio f-k, in funzione dei seguenti fattori:

- distribuzione dell'energia tra i vari modi
- particolari conformazioni geologiche
- *array* utilizzato in fase di acquisizione.

Se avviene tale sovrapposizione, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione e quindi nella successiva inversione. Al fine di individuare i *modi* non correlabili alla successione stratigrafica si eseguono numerosi scoppi a distanze variabili rispetto allo stendimento. Tutte le curve di dispersione vengono quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e non costituiscono un "disturbo".

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, la cui validità tecnica e scientifica risulta oramai consolidata, risulti pienamente idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. L'ampiezza delle *Surface Waves* dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le *Body Waves*.
3. Il metodo MASW non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.
4. Il metodo MASW è contraddistinto da una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione.
5. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

### 2.3 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale, viene ottenuta tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura prevede la possibilità di considerare tanto il modo fondamentale che quelli superiori e consta di due fasi operative principali:

- Determinazione dello spettro di velocità - Individuazione delle curve di dispersione
- Determinazione dell'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) sulla verticale – Inversione e/o *modelling* diretto della curva di dispersione

La **determinazione delle curve di dispersione e quindi dello spettro di velocità** può essere eseguita mediante tre metodi:

- f-k
- $\tau$ -p
- *Phase Shift*

Il metodo *Phase Shift* non è influenzato dal processing dei dati, mantiene ottime performance, in termini di chiarezza del segnale, anche con un numero di tracce estremamente ridotto e ha tempi di calcolo minori rispetto al metodo  $\tau$ -p. La riduzione del numero di tracce provoca invece un sensibile scadimento della qualità dello spettro calcolato tramite trasformata  $\tau$ -p e forte *aliasing* nello spettro f-k. E' spesso utile determinare le curve di dispersione attraverso più metodi, al fine di enfatizzare porzioni di segnale più facilmente poste in evidenza da un metodo piuttosto che da un altro.

La **ricostruzione della distribuzione verticale delle  $V_s$**  rappresenta quindi il passo successivo, cruciale, e comporta alcuni passaggi piuttosto articolati.

La curva di dispersione dipende infatti, oltre che dalla velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), anche dallo spessore degli strati, dalla velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e dalla densità del terreno.

$$V(f) = F(V_s, \text{spessore}, V_p, \text{densità})$$

Ciò implica che la determinazione delle  $V_s$  a partire dalla curva di dispersione e quindi dalla Velocità di fase  $[V(f)]$ , costituisce un problema spiccatamente non lineare. Per la sua risoluzione bisogna quindi procedere ad una linearizzazione del problema (che comporta un certo grado di approssimazione) o all'utilizzo di algoritmi basati su un approccio non lineare (e.g. Algoritmi Genetici).

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global-search methods* o *soft computing*). Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare, basati sul gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza. I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente imporre. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) offrono un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

L'elaborazione dei dati mediante il programma winMASW, che prevede l'utilizzo degli algoritmi genetici, ha quindi il vantaggio di fornire risultati molto più affidabili rispetto a quelli possibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità dei dati.

Tali risultati vengono ottenuti a prezzo di un notevole sforzo computazionale che si riflette in tempi macchina più lunghi rispetto a quelli comunemente necessari coi metodi di inversione lineare.

Il *modelling* diretto può in ogni caso essere utilizzato, mediante il programma di elaborazione, per una verifica finale del modello di velocità ottenuto mediante inversione con algoritmi.

## **2.4 Profili sismostratigrafici**

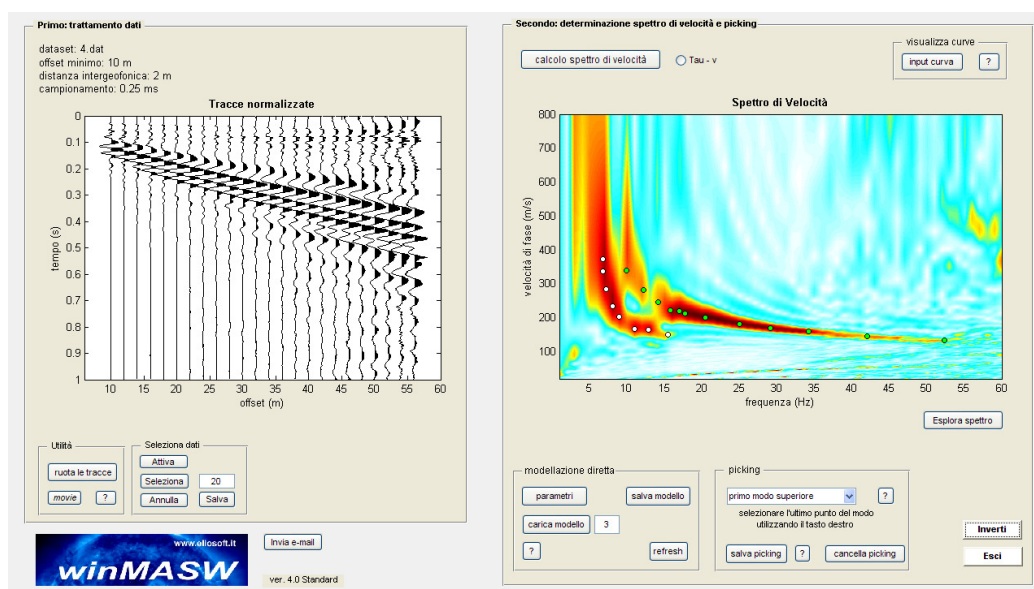
Vengono qui di seguito riportati i dati, le procedure ed i risultati relativi allo stendimento sismico predisposto entro l'area di progetto. L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi.

## LINEA 1

### Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione

L'allineamento ha previsto una distanza tra geofoni pari a 2 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-10-15 m) e diversa intensità di energizzazione.

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 4.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame sono stati individuati un modo principale e un modo superiore, utilizzati per la successiva inversione della curva di dispersione.

### Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non dovrebbe subire variazioni drastiche è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). Il programma utilizza in questi casi strategie di calcolo differenti. I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi. Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 6 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

Dati relativi all'elaborazione dello shot 2:

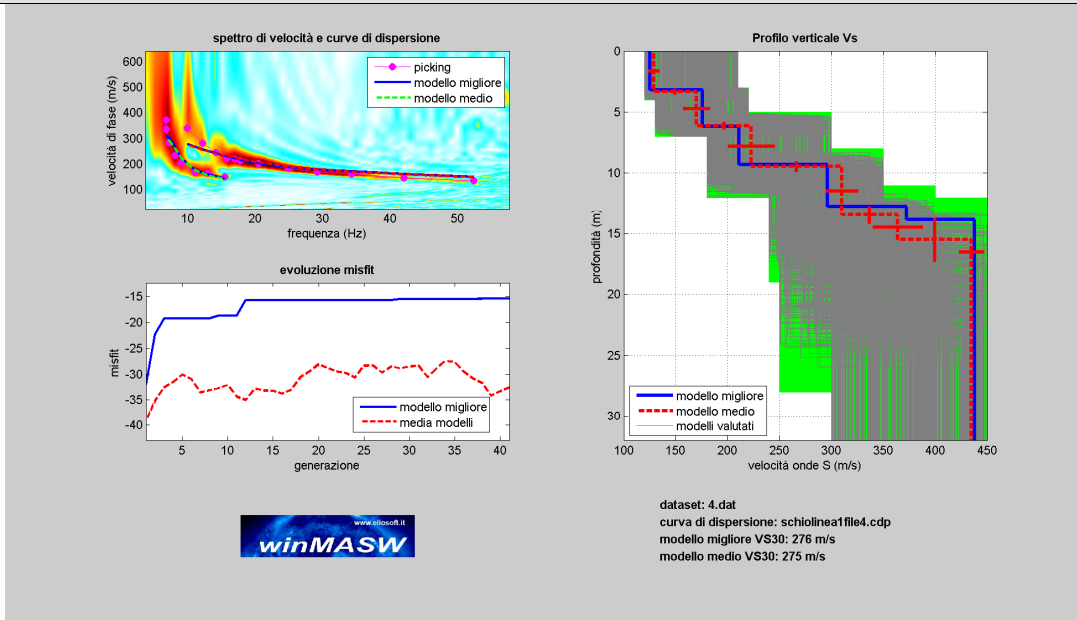
dataset: 4.dat - offset minimo (m): 10

distanza intergeofonica (m): 2 - campionamento (ms): 0.25

curva di dispersione: schiolinea1file4.cdp

Numero di individui: 40 - Numero di generazioni: 41

Numero di modelli utilizzati per il calcolo del modello medio: 1596



**Velocità medie stimate:**

VS (m/s):	129	170	223	310	364	435
Deviazione standard (m/s):	5	13	22	16	24	12
Spessore (m):	3.3	2.8	3.3	4.0	2.1	
Deviazione standard (m):	0.2	0.3	0.4	0.7	1.8	

**Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici**

Stima della Vp (m/s):	271	376	448	639	797	830
Stima della densità (gr/cm3):	1.74	1.82	1.86	1.95	2.00	2.01
Rapposto VP/VS:	2.10	2.21	2.01	2.06	2.19	1.91
Modulo di Poisson:	0.35	0.37	0.34	0.35	0.37	0.31
Modulo di Young (MPa):	78	144	247	503	725	996
Modulo di Taglio (MPa):	29	53	92	187	265	380
Costante di Lamé (MPa):	70	152	188	420	740	624
Modulo di compressione (MPa):	89	187	250	545	917	877

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati, superiori di circa un ordine di grandezza rispetto a quelli ottenibili, per lo stesso tipo di terreno, in situazione di grandi deformazioni. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante.

**Modello Medio: VS20 del modello medio: 232 m/sec - VS30 del modello medio: 275 m/sec**

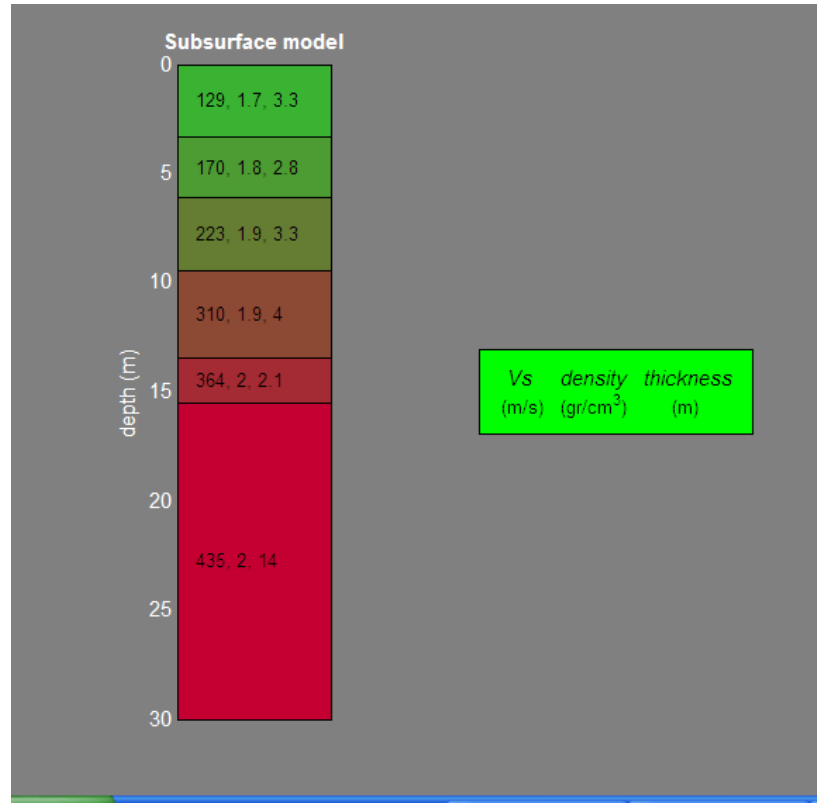
**Possibile Tipo di Suolo: C** (stimato sulla base del modello medio)

**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.**

winMASW 4.0 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves [www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)



Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base alla Tabella 3.2 II del D.M. 14/01/08, deve essere definita dal Geologo in base ai dati sismostratigrafici, alle indagini geotecniche nonchè ai dati progettuali.

Desenzano del Garda, 06/10/2009

Dott. Geol. Rosanna Lentini