

2014



## PIANO REGOLATORE CIMITERIALE COMUNE DI LINAROLO

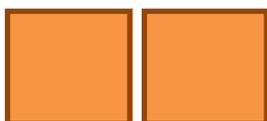
In attuazione del D.P.R. 10.09.1990 n. 285 e al Regolamento Regionale 9 novembre 2004 n. 6

### ALLEGATO C RELAZIONE GEOLOGICA/GEOTECNICA

Arch. Vittorio Federigo Rognoni



FEBBRAIO 2014





**EcoGIS S.r.l.**  
Viale Cremona, 112 - 27100 Pavia  
Telefax 0382/463424  
info.ecogis@ecogis.it - www.ecogis.it  
R.E.A. Pavia 234687 - R.I. Pavia 01963800188  
C.F./P.IVA 01963800188

**PROVINCIA DI PAVIA**  
**COMUNE DI LINAROLO**

*Committente : Amministrazione Comunale*

**INDAGINI GEOGNOSTICHE A SUPPORTO DEL  
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL  
CIMITERO COMUNALE**

**RELAZIONE GEOLOGICA - TECNICA**

*dott. geol. Gianluca Nasombene*



*Pavia, giugno 2003*

*rel.gt.36.03. - Linarolo (PV)*



## 1. PREMESSA

La presente relazione, richiesta a supporto del progetto di ampliamento del cimitero comunale di Linarolo (PV), illustra i risultati delle indagini geologico - tecniche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione delle opere in progetto.

Le indagini sono state finalizzate a:

- Illustrare i principali lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto e/o potenziali;
- definire le locali condizioni litologiche, la presenza di acque sotterranee e valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni indagati, definendo il carico unitario ammissibile finalizzato ad un corretto dimensionamento delle opere di fondazione;
- suggerire eventuali opere di salvaguardia al fine di assicurare la stabilità del complesso costruzione – terreno, tali da evitare gli impatti esercitati dalla edificazione in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica dell'area, e l'esecuzione (03 giugno '03) di n. 2 prove penetrometriche statiche, indicate rispettivamente CPT 1 ed CPT 2, utilizzando un penetrometro statico/dinamico, modello Pagani "Emilia TG 63-100, avente una spinta di infissione di 10t (manicotto sup. 150 mm<sup>2</sup>, punta diam. 36 mm), un maglio di 63,5 Kg (volata 75 cm, angolo di apertura 60°), aste lunghe 1 metro.

Tale indagine è stata suffragata da una ricerca bibliografica per la consultazione di studi pregressi e da un confronto con indagini geognostiche condotte in aree limitrofe.

Lo studio è stato condotto in osservanza alla normativa vigente, in particolare al D.M.LL.PP 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", ai sensi della Legge 2 febbraio 1974 n.64 e del D.P.R. n. 285 del 10/09/90 "Approvazione del regolamento di polizia mortuaria".

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 2.1. Aspetti geografici e geolitologici

Il territorio comprendente il comprensorio comunale di Linarolo si trova a nord del fiume Po, all'interno della zona di pianura della Pianura Pavese in prossimità della confluenza dei fiumi Ticino e Po.

Il territorio comunale di Linarolo risulta cartografato sulla Carta Geologica d'Italia in Scala 1 : 100.000 sul Foglio n.59 denominato "Pavia" e sulla Carta Tecnica Regionale in Scala 1 : 10.000 sul Foglio B7c4, dal punto di vista altimetrico l'area oggetto d'indagine risulta riferita ad una quota media di circa 73,90 m s.l.m..

La zona esaminata corrisponde alla fascia di pianura situata in sinistra orografica del fiume Po e risulta essere costituita da una successione di depositi alluvionali quaternari che poggiano direttamente su un substrato formato da sedimenti marini.

La morfologia di questa porzione di territorio, è caratterizzata da un piano campagna uniformemente degradante verso le sponde del fiume (le pendenze sono dell'ordine di circa 2÷3 ‰); tale superficie è il risultato della giustapposizione di più conoidi coalescenti, costituiti dal trasporto di materiali degli affluenti del Fiume Po e dei suoi affluenti.

La zona di pianura è interessata da una fitta rete di canali artificiali di scolo, cavi e rogge adibiti al drenaggio delle acque meteoriche. La morfologia pianeggiante è interrotta dal terrazzo fluviale che raccorda i depositi wurmiani dai depositi recenti ed attuali del Fiume Po che costituiscono essenzialmente l'area golenale.

Dal punto di vista litologico a partire dall'alveo del fiume Po e procedendo verso nord si incontrano dapprima alluvioni attuali (di epoca Olocene superiore), caratterizzate da depositi ghiaioso - sabbiosi e in parte anche limosi, che occupano il fondo dell'incisione del collettore padano e dei suoi affluenti di sinistra (Fiume Ticino, Olona e Lambro).

Frequenti sono i passaggi di facies, sia laterali che verticali, per interdigitazioni e variazioni di granulometria, in particolare nelle zone di contatto tra i depositi del fiume Ticino e le alluvioni del fiume Po.

Pertanto, la coltre alluvionale è complessivamente caratterizzata da uno sviluppo eterogeneo dei sedimenti che la costituiscono anche a causa delle alterne fasi di sedimentazione e di erosione del Fiume Po e del Fiume Ticino nonché delle ripetute migrazioni dei loro alvei.

Dal punto di vista geologico-strutturale la pianura pavese è costituita da una successione di depositi alluvionali, di età quaternaria, rilasciati dall'attività del fiume Po e dai suoi affluenti, che si poggia direttamente su un substrato formato da sedimenti marini (argille di età miopliocenica) coinvolti in peculiari strutture morfo - tettoniche, instauratesi nel corso delle ultime fasi dell'orogenesi alpina e, in alcuni casi, rimaste attive anche durante l'Era Quaternaria (Braga G. et al., 1987).

Elemento fondamentale della tettonica relativamente alla pianura pavese è la "faglia vogherese" (faglia diretta), che attraversa il territorio del Comune di Linarolo, con direzione NE-SW.

L'andamento della suddetta faglia è stato ricostruito mediante i dati elaborati sfruttando le prospezioni dell' Agip.

## **2.2. Aspetti pedologici**

Per la caratterizzazione dei suoli presenti nell'area oggetto di studio è stata consultata la carta pedologica "I suoli del Parco del Ticino settore meridionale" in scala 1 :37.500 realizzata dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Regione Lombardia (E.R.S.A.L.). La carta individua suoli aventi caratteristiche e proprietà diverse, che ne condizionano potenzialità, vulnerabilità e limitazioni d'uso.

Sono stati rilevati dati inerenti la tessitura, la litologia, la profondità, la granulometria, la permeabilità, il drenaggio, la profondità della falda, il ph, l'alluvionabilità, la "pietrosità" e la "rocciosità", il tasso di saturazione basica (TSB), il contenuto di carbonati, la capacità di scambio cationico (CSC), la sostanza organica e la salinità.

Viene di seguito riportata la descrizione dell'unità cartografica" (n. d'ordine, sigla e pedon) e la classificazione del suolo secondo USDA Keys 1994 e FAO 1990 dei terreni in esame :

### **Unità cartografica n. 22 (CRT1 P.1 A6e5 126)**

*Unità LF 6* : Aree debolmente ondulate, a volte a forma di dosso, poste ai bordi delle scarpate erosive principali dei solchi vallivi di corsi d'acqua attuali o fossili.

*Sottounità LF 6.2* : Aree subpianeggianti a buon drenaggio, con substrati sabbiosi o sabbiosi-ghiaiosi a sabbie grossolane; prevalenti seminativi, con aree circoscritte di risaia.

*Descrizione del suolo:*

CRT1: Complesso di suoli profondi su sabbie ghiaiose; scheletro scarso, frequente o abbondante in profondità, tessitura moderatamente grossolana o media, reazione subacida, saturazione in basi da bassa a media, talvolta alta in profondità, drenaggio buono;

*Classificazione Soil Taxonomy (1992):*

(CRT1) Typic Hapludalfs coarse-loamy, mixed, mesic

*FAO 1990:*

(CRT1) Haplic Luvisols.

Nella successiva Tabella 1 è associata alla suddetta unità pedogenetica la relativa classe di capacità d'uso del suolo:

**tabella 1** – Capacità d'uso dei suoli (LCC)

<i>Unità cartografiche</i>	<i>Classe LCC</i>
22 – CRT 1	<i>IIs</i>

s = caratteri intrinseci al suolo: pietrosità, scarso spessore, ecc.

Lo schema interpretativo per la classificazione della capacità d'uso dei suoli fornito dall'ERSAL, riportato di seguito, fornisce una corretta valutazione di LCC:

**tabella 2** – Schema per la classificazione della capacità d'uso dei suoli

<i>Classe LCC</i>	<i>Prof.</i> <i>(cm.)</i>	<i>Scheletro sup.</i> <i>(%)</i>
<i>IIs</i>	80 - 100	15 - 35

tabella 2.1

<i>Classe LCC</i>	<i>Tessitura sup. %</i>	<i>Rocciosità Pietrosità</i>	<i>Fertilità orizzonte sup.</i>	<i>Drenaggio</i>
<i>IIs</i>	<i>A &gt; 35 L + A &gt; 70</i>	<i>R &lt; 2 P &lt; 3</i>	<i>4,5 &lt; pH &lt; 5,5 5 &lt; CSC<sup>1</sup> &lt; 10 35 &lt; TSB<sup>2</sup> &lt; 50 CaCO<sub>3</sub> * &gt; 40%</i>	<i>Mediocre o moderatamente rapido</i>

*A = tessitura fine*

*L = tessitura media*

*1- CSC, (capacità di scambio cationico) in meq/100g suolo*

*2- TSB (tasso di saturazione in basi) valore espresso in %,*

*\*CaCO<sub>3</sub> valore espresso in %*

tabella 2.2

<i>Classe LCC</i>	<i>Rischio d'inondazione</i>	<i>Limitazioni climatiche</i>	<i>Pendenza %</i>	<i>Erosione</i>
<i>IIs</i>	<i>lieve &lt; 1v./10 A &lt; 2 gg</i>	<i>lievi</i>	<i>2-10</i>	<i>assente</i>

### 2.3. Aspetti idrogeologici

Il territorio comunale di Linarolo si trova nella zona di confluenza del Fiume Po con il Fiume Ticino ossia i due principali corsi d'acqua della pianura pavese; le loro attività di erosione e di deposito, nell'arco dei millenni hanno modificato e modellato il territorio che circonda le loro sponde.

La zona di meandreggiamento recente del Fiume Po e del Fiume Ticino (anche se quest'ultimo non attraversa fisicamente il territorio comunale) è caratterizzata da terreni attribuibili alla "unità dei depositi alluvionali incoerenti a permeabilità primaria elevata (per porosità)", tali depositi sono costituiti dall'alternanza di ghiaie sabbie, limi sabbiosi e limi. Per la difesa dal rischio di inondazioni, sulla sponda destra del Fiume Po è presente un'arginatura continua (Argine maestro) tale da consentire il contenimento degli episodi di piena mentre sulla sponda sinistra è stato realizzato in prossimità dell'abitato di Vaccarizza un argine di V° categoria che delimita tutta la zona golenale; quest'area funziona come "cassa di espansione" nelle fasi di piena.

Il territorio comunale di Linarolo è percorso da numerose rogge e canali irrigui in particolare nella zona del cimitero comunale sono presenti: il Cavo Pissona che scorre ad ovest rispetto il centro abitato del capoluogo sino a lambire la frazione di Ospitaletto e il Cavetto che scorre a nord del cimitero.

Dal punto di vista idrogeologico la porzione nord della Pianura pavese localizzata a nord dei fiumi Ticino e PO, è caratterizzata da un materasso alluvionale molto potente e differenziato in falde sovrapposte.

L'interpretazione del contesto idrogeologico di questa zona di pianura risulta dalla conoscenza della strutturazione geolitologica desunta da sondaggi realizzati in zona.

Le sequenze litologiche che caratterizzano gli acquiferi conseguono potenze di oltre 200 m e le perforazioni testimoniano la presenza di almeno quattro falde sovrapposte con caratteristiche idrogeologiche peculiari dipendenti dal mezzo che le contiene.

Circa l'alimentazione delle falde che permeano il sottosuolo di questa porzione di pianura si ritiene che l'apporto più consistente derivi da zone dell'alto milanese.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche reologiche dei terreni di fondazione dell'opera in progetto sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche, indicate rispettivamente CPT 1 e CPT 2, spinte rispettivamente alla profondità di 7,20 m e 5,60 m dall'attuale piano campagna, utilizzando un penetrometro statico/dinamico, modello Pagani "Emilia TG 63-100, avente una spinta di infissione di 10 t (manicotto sup. 150 mm<sup>2</sup>, punta diam. 36 mm), un maglio di 63,5 Kg (volata 75 cm, angolo di apertura 60°), aste lunghe 1 metro.

La *prova penetrometrica statica* (CPT) consiste nello spingere nel terreno, ad una velocità costante di 2 cm/sec., una serie di aste cilindriche con un cono alla base (punta meccanica Begemann) e misurarne continuamente o ad intervalli non superiori a 20 cm la resistenza alla penetrazione.

La resistenza viene misurata nel momento in cui manicotto e punta conica sono spinti verso il basso mentre gli altri elementi del penetrometro rimangono fermi.

- Resistenza alla punta conica  $q_c$ :

la resistenza al cono è letta direttamente sul display della cella di carico montata sul gruppo di spinta dell'attrezzatura:

$$q_c = R_p$$

misurata in kg/cm<sup>2</sup>.

- Attrito laterale o locale  $f_s$ :

l'attrito unitario locale che si ottiene sottraendo al valore di  $R_l$  (resistenza laterale letta sul display) il valore di  $R_p$ , diviso per la superficie laterale del manicotto ( $S_l$ ):

$$f_s = (R_l - R_p) / S_l$$

### 3.1. Posa piezometro

Durante l'indagine è stato installato un tubo piezometrico all'interno del foro geognostico eseguito sul lato meridionale del cimitero esistente in prossimità dell'accesso all'area agricola (vd Tav.3), per la misura ed il monitoraggio, anche prolungato nel tempo, del livello piezometrico superficiale della falda freatica.

Il piezometro è caratterizzato da un tubo aperto in PVC fenestrato di diametro 25 mm.

L'indagine ha permesso di rilevare la presenza di una falda superficiale alla profondità di circa 1,00 m dall'attuale piano campagna (09/06/03).

Le letture, effettuate con apposito freatimetro, sono riportate nella tabella seguente:

tabella 3

Data rilievo	Livello falda (m da p.c.)	Lunghezza piezometro (m da p.c.)
03/06/02	1,30	2,00
09/06/03	1,00	2,00

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le prove penetrometriche eseguite hanno consentito di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni individuati; l'elaborazione dei dati ha permesso di evidenziare una successione stratigrafica composta principalmente da una litozona in prevalenza argillosa - limosa suddivisa in quattro orizzonti litologici principali:

Orizzonte A: da p.c. ad una profondità variabile tra 0,80 ÷ 1,00 metri si individua il suolo agrario in matrice limosa-argillosa poco addensato.

I principali parametri geotecnici della litozona più superficiale sono riassunti nella tabella seguente:

tabella 4

$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Dr %	$\phi$ °	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	E Kg/cm <sup>2</sup>	Qc medio Kg/cm <sup>2</sup>
1,75	0,75	/	/	0,40	50÷70	16÷20

Orizzonte B: dalla profondità di 0,80 ÷ 1,00 metri fino alla massima profondità di investigazione 7,20 m da p.c. è presente un orizzonte caratterizzato da sabbia con rara ghiaia e localmente limoso (dalla profondità di 5,40 alla prof. di 6,60 m).

L'orizzonte si presenta addensato come dimostra il netto rifiuto all'avanzamento della punta nella prova penetrometrica CPT 1, la tabella seguente riporta le principali caratteristiche geotecniche :

tabella 5

$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Dr %	$\phi$ °	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	E Kg/cm <sup>2</sup>	Qc Kg/cm <sup>2</sup>
1,85÷1,95	0,85÷0,95	/	28÷ 31	/	120 ÷ 300	32 ÷ 110

Legenda relativa ai parametri geotecnici riportati nella tabella precedente :

$\gamma$  = peso di volume naturale del terreno

$\gamma'$  = peso di volume immerso del terreno

$D_r$  = densità relativa

$\phi$  = angolo d'attrito

$C_u$  = coesione non drenata

$E$  = modulo di deformabilità longitudinale

$Q_c$  = resistenza alla punta media della prova penetrometrica statica

## 5. CAPACITA' PORTANTE E CARICO UNITARIO AMMISSIBILE

In considerazione delle condizioni meccaniche reperite in loco, è stato eseguito lo studio della capacità portante unitaria ( $q_{ult}$ ) di supposte fondazioni superficiali, a platea, avente larghezza (B) pari a 3,40 m e di supposte fondazioni continue e rettangolari di larghezza ipotizzata, nelle considerazioni effettuate, pari a 0,80 m, assumendo come ipotesi di calcolo un piano di posa posto alla profondità variabile compresa nell'intervallo tra 0,40÷0,60 m dall'attuale piano campagna ed un carico normale centrato.

La capacità portante viene valutata secondo la seguente formula di B. Hansen :

$$q_{ult} = 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

in cui  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_{\gamma}$  sono fattori di capacità portante adimensionali,  $s$ ,  $d$ ,  $i$ ,  $b$  e  $g$  sono coefficienti che dipendono dal tipo di fondazione, dalla profondità del piano di posa, dall'inclinazione del carico, del piano di fondazione e del terreno,  $\gamma$  esprime il peso di volume del terreno interessato,  $c$  indica la coesione mentre  $B$  rappresenta la larghezza della fondazione e  $D$  indica la profondità del piano di posa.

Il carico unitario ammissibile ( $q_a$ ) è determinato dal rapporto tra il valore della capacità portante ed un fattore di sicurezza  $F_s \geq 3$  (D.M. 11/03/88, cfr.5.2.):

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s} = \text{Kg/cm}^2$$

Vengono di seguito riportati i parametri progettuali supposti e geotecnici individuati, oltre ai valori dei coefficienti adimensionali di fondazione adottati:

- Tipo di fondazione: *nastriforme*
- Profondità del piano di posa della fondazione (D): 0,40÷0,60 m da piano campagna.
- Orizzonte litologico interessato dal piano di posa della fondazione: litotipi limoso-argillosi (indicati orizzonte A).

tabella 6

$\phi$ (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub><math>\gamma</math></sub>
0	0,40	1,75	5,14	1,00	0,00

tabella 7

Fondazione	Sc	Sy
nastriforme	1,0	1,0

Nella successiva tabella 8 viene riportato il valore del carico unitario massimo ammissibile ( $q_a$ ), ottenuto per le ipotesi fondazionali adottate:

tabella 8

B (m)	D (m)	$q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$q_a$ (t/m <sup>2</sup> )
0,80	0,40	0,80	8,00
0,80	0,60	0,85	8,50

Legenda relativa ai parametri riportati nella tabella precedente:

*B* = Larghezza fondazione

*D* = Profondità di posa della fondazione da piano campagna

*q<sub>a</sub>* = carico unitario ammissibile

- Tipo di fondazione: *platea*
- Profondità del piano di posa della fondazione (D): 0,40 m da piano campagna
- Orizzonte litologico interessato dal piano di posa della fondazione: litotipi limoso-argillosi (indicati orizzonte A).

Nella successiva tabella 9 viene riportato il valore del carico unitario massimo ammissibile ( $q_a$ ), ottenuto per l' ipotesi fondazionale adottata:

tabella 9

B (m)	D (m)	$q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )
3,40	0,40	0,66

Legenda relativa ai parametri riportati nelle tabelle precedenti:

B = Larghezza fondazione

D = Profondità di posa della fondazione dal piano campagna

$q_a$  = carico unitario ammissibile

### 5.1. Cedimenti

La distribuzione delle pressioni indotte dal carico trasmesso dalla fondazione è stata calcolata tramite le formule di Boussinesq, nell'ipotesi che il terreno possa assimilarsi ad un mezzo elastico - lineare, isotropo ed omogeneo.

Il cedimento totale (S) si determina facendo la somma del cedimento immediato ( $S_i$ ) e di quello di consolidazione ( $S_{ed}$ ) secondo quanto proposto da Skempton e Bjerrum:

$$S = S_i + \mu_r \cdot S_{ed}$$

$\mu_r$  = coefficiente di riduzione

Il cedimento immediato risulta dalla formula :

$$S_i = Q \cdot B' \cdot ((1 - \mu^2) / E)$$

In cui

Q = carico applicato

B' = larghezza fondazione

$\mu$  = modulo di Poisson

E = modulo di deformabilità

Il cedimento di consolidazione risulta dalla formula :

$$S_{ed} = H \cdot \Delta\sigma / E$$

In cui

H = spessore strato

( $\Delta\sigma$ ) = incremento di pressione dovuto al sovraccarico applicato dalla fondazione

E = modulo di deformabilità

Dall'analisi stratigrafica risulta evidente che il cedimento totale è imputabile sia al cedimento di consolidamento dell'orizzonte limoso argilloso di spessore pari a circa 0,80÷1,00 m sia al cedimento immediato di tipo elastico dei terreni sabbiosi costituenti i terreni d'imposta delle fondazioni del manufatto in progetto.

- **Fondazione nastriforme**

Nella successiva tabella si riporta il valore del cedimento totale (S) indotto nel sottosuolo utilizzando il carico unitario ammissibile, nell'ipotesi di fondazione superficiale nastriforme:

tabella 10

<b>B</b> (m)	<b>D</b> (m)	<b>q<sub>a</sub></b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>S</b> (cm)
0,80	0,40	0,80	<b>1,20</b>
0,80	0,60	0,85	<b>1,50</b>

Legenda relativa ai parametri riportati nella tabella precedente:

B = larghezza fondazione nastriforme

D = Profondità di posa della fondazione dal piano campagna

q<sub>a</sub> = carico unitario ammissibile indotto sul piano di fondazione

S = cedimento totale

- **Fondazione a platea**

Nella successiva tabella si riporta il valore del cedimento totale (S) indotto nel sottosuolo utilizzando il carico unitario previsto in fase progettuale e pari a circa 4000 Kg/mq (0,40 Kg/cm<sup>2</sup>) nell'ipotesi di fondazione superficiale a platea:

tabella 11

<b>B</b> (m)	<b>D</b> (m)	<b>q<sub>a</sub></b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>S</b> (cm)
3,40	0,40	0,40	<b>2,40</b>

Legenda relativa ai parametri riportati nella tabella precedente:

B = larghezza fondazione nastriforme

D = Profondità di posa della fondazione dal piano campagna

q<sub>a</sub> = carico unitario ammissibile indotto sul piano di fondazione

S = cedimento totale

L'analisi condotta ha permesso inoltre di valutare a titolo indicativo l'entità dei cedimenti differenziali da considerare con particolare attenzione poiché sono quelli in grado di provocare danni alle strutture portanti.

Di norma si preferisce (cfr. P. Colombo), per definire tale cedimento, riferirsi al rapporto tra il cedimento differenziale  $\Delta$  di due punti alla distanza  $L$ , cioè alla distorsione angolare  $\Delta / L$ . Dall'analisi delle due prove penetrometriche eseguite e dalla ricerca bibliografica risulta che i terreni (orizzonte litologico indicato A-B) sottoposti al carico ammissibile generato dalle fondazioni ipotizzate nel capitolo precedente, presentano caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche omogenee tali da ridurre al minimo i cedimenti differenziali.

E' opportuno ricordare che le valutazioni geotecniche effettuate assumono come ipotesi di calcolo parametri desunti da prove geotecniche in sito; informazioni più dettagliate sono normalmente desunte da prove geotecniche di laboratorio quali prove edometriche e triassiali, pertanto la verifica dei cedimenti di consolidazione dei litotipi coesivi è da considerare puramente indicativa.

## 6. CONCLUSIONI

L'indagine geologico - tecnica eseguita, ai sensi del D.M.LL.PP. 11/03/88, sul terreno interessato dal progetto di ampliamento del cimitero di Linarolo (PV), ha permesso di valutare le caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione dei nuovi manufatti in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica dell'area e l'esecuzione (03 giugno '03) di n. 2 prove penetrometriche statiche.

L'elaborazione dei dati ha permesso di individuare una successione stratigrafica composta principalmente da una litozona superficiale di spessore limitato (0,80-1,00) limosa - argillosa poco addensata e da un sottostante orizzonte sabbioso mediamente addensato.

La falda freatica più superficiale, soggetta alle variazioni stagionali legate perlopiù a pratiche irrigue, è stata individuata alla profondità di circa 1,00 m dall'attuale piano campagna e pertanto da considerare con particolare attenzione in fase di progettazione.

Una previsione riguardo la futura evoluzione dell'andamento della superficie piezometrica sarebbe azzardata, a breve termine, perché la dinamica della superficie freatica ha un equilibrio precario essendo influenzata da una serie di fenomeni instabili e imprevedibili che concorrono a costituire il bilancio apporti - perdite.

Al fine di individuare il reale comportamento della falda superficiale occorrerebbe predisporre un monitoraggio della durata minima di 1 anno; possiamo comunque ipotizzare che l'escursione annua della superficie freatica in tali terreni è normalmente di circa 1,0 metro con il massimo innalzamento in corrispondenza del periodo estivo ( maggio-giugno) e la massima depressione in inverno.

Il carico unitario ammissibile del terreno di fondazione, ipotizzando una fondazione superficiale nastriforme posta alla profondità variabile nell'intervallo compreso tra 0,40÷0,60 metri dall'attuale piano campagna, di larghezza ipotizzata, nelle considerazioni effettuate, pari a 0,80 m, risulta essere uguale rispettivamente a 0,80 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,85 Kg/cm<sup>2</sup>. Dall'analisi dei cedimenti eseguita risulta che utilizzando i suddetti carichi si generano nel terreno cedimenti inferiori a 2,00 cm, tali da essere considerati come naturale assestamento dell'opera in progetto.

Il carico unitario ammissibile del terreno di fondazione, ipotizzando una fondazione superficiale a platea di larghezza ipotizzata, nelle considerazioni effettuate, pari a 3,40 m, posta alla profondità di 0,40 metri dal piano campagna, risulta uguale a  $0,66 \text{ Kg/cm}^2$ .

Dalla valutazione sui cedimenti risulta che utilizzando il carico di esercizio previsto in fase progettuale (circa  $4000 \text{ Kg/mq} - 0,40 \text{ Kg/cm}^2$ ) si generano nel terreno cedimenti da considerarsi come naturale assetamento del complesso costruzione terreno, tale valore è imputabile sia al cedimento immediato dei terreni di natura sabbiosa, che al cedimento di consolidamento dell'orizzonte superficiale limoso-argilloso.

Al fine di non alterare l'attuale equilibrio dell'area investigata nonché la stabilità dell'area circostante, si raccomanda di:

- verificare l'omogeneità del terreno d'imposta delle fondazioni durante le fasi di scavo;
- adottare una scrupolosa raccolta e regimazione di tutte le acque di scolo superficiali entro recapiti autorizzati, come pure eventuali intercettazioni di passaggi d'acqua durante gli scavi per la posa delle fondazioni.

In conformità a quanto emerso si lascia il compito al progettista di una razionale scelta del tipo di fondazione da adottare e conseguente carico unitario da applicare al terreno di fondazione; tale carico non dovrà in ogni caso essere maggiore del valore massimo ammissibile calcolato, tenuti in debita considerazione i cedimenti totali individuati dall'indagine geologica – tecnica eseguita.

Pavia, giugno '03

dott. geol. Gianluca Nascimbene



## BIBLIOGRAFIA

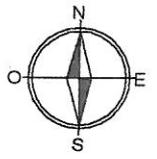
1. Boni A. (1967) – Note illustrative della Carta geologica d'Italia: Foglio 59 – Pavia. Serv. Geol. Italia – Roma.
2. Braga G., Bellinzona G., Berdardelli R., Casnedi R., Castoldi E., Cerro A., Cotta Ramusino S., Gianotti R., Marchetti G., Peloso G.F. (1976) – Indagini preliminari sulle falde acquifere profonde della porzione di Pianura Padana compresa nelle provincie di Brescia, Milano, Piacenza, Pavia e Alessandria. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, 28 (2) – Roma.
3. Braga G., Cerro A. – Le strutture sepolte della pianura pavese e le relative influenze sulle risorse idriche sotterranee. Atti Tic. Sc. Terra, 31, 421-433.
4. Carta Tecnica Regionale in scala 1 : 10.000 - Fogli B7c4.
5. Carta pedologica in scala 1 : 37.500 “I suoli del parco del Ticino Settore meridionale” ERSAL Milano 2 – Segrate.
6. Colombo P. “Elementi di Geotecnica”, Zanichelli – Bologna.
7. Servizio geologico d'Italia Foglio n° 59 “Pavia” Carta Geologica d'Italia” in scala 1 : 100.000., Roma.
8. Pieri M., Groppi G. (1981) Subface geological structure of the Po Plain, Italy. CNR, pubbl. n. 414, Prog. Fin. Geod..
9. Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Interventi sulla rete idrografica e sui versanti – Relazione di sintesi – Autorità di bacino del fiume Po – Parma.

## ELABORATI GRAFICI

<i>TAVOLA 1 :</i> COROGRAFIA GENERALE	SCALA 1 : 10.000
<i>TAVOLA 2 :</i> CARTA GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA	SCALA 1 : 10.000
<i>TAVOLA 3 :</i> PLANIMETRIA – UBICAZIONE PROVE	NON IN SCALA
<i>TAVOLA 4 :</i> SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA	SCALA VERT 1 : 100

## ALLEGATI

<i>ALLEGATO 1 :</i> PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE TABELLE E GRAFICI
--



LEGENDA

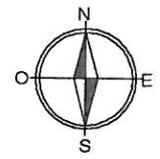
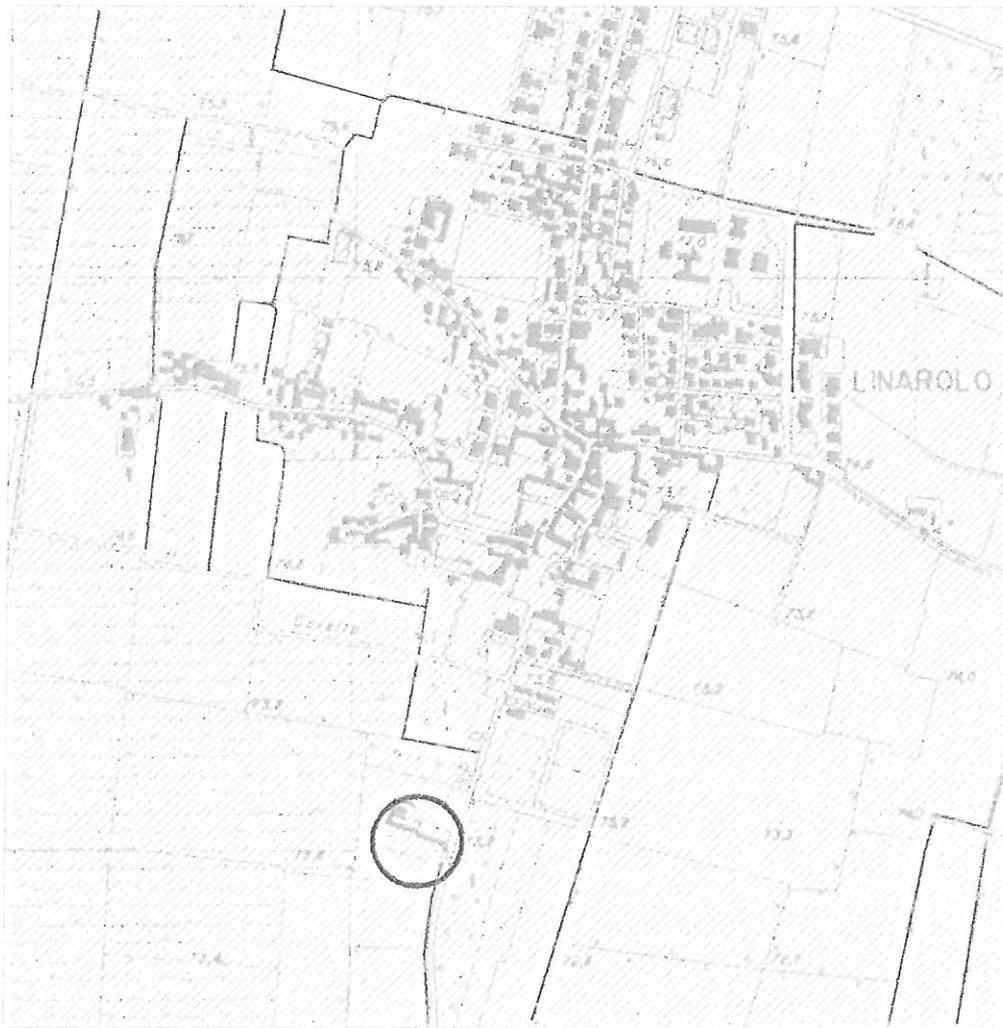


Area d'indagine

COROGRAFIA GENERALE

SCALA 1: 10.000

Tavola 1



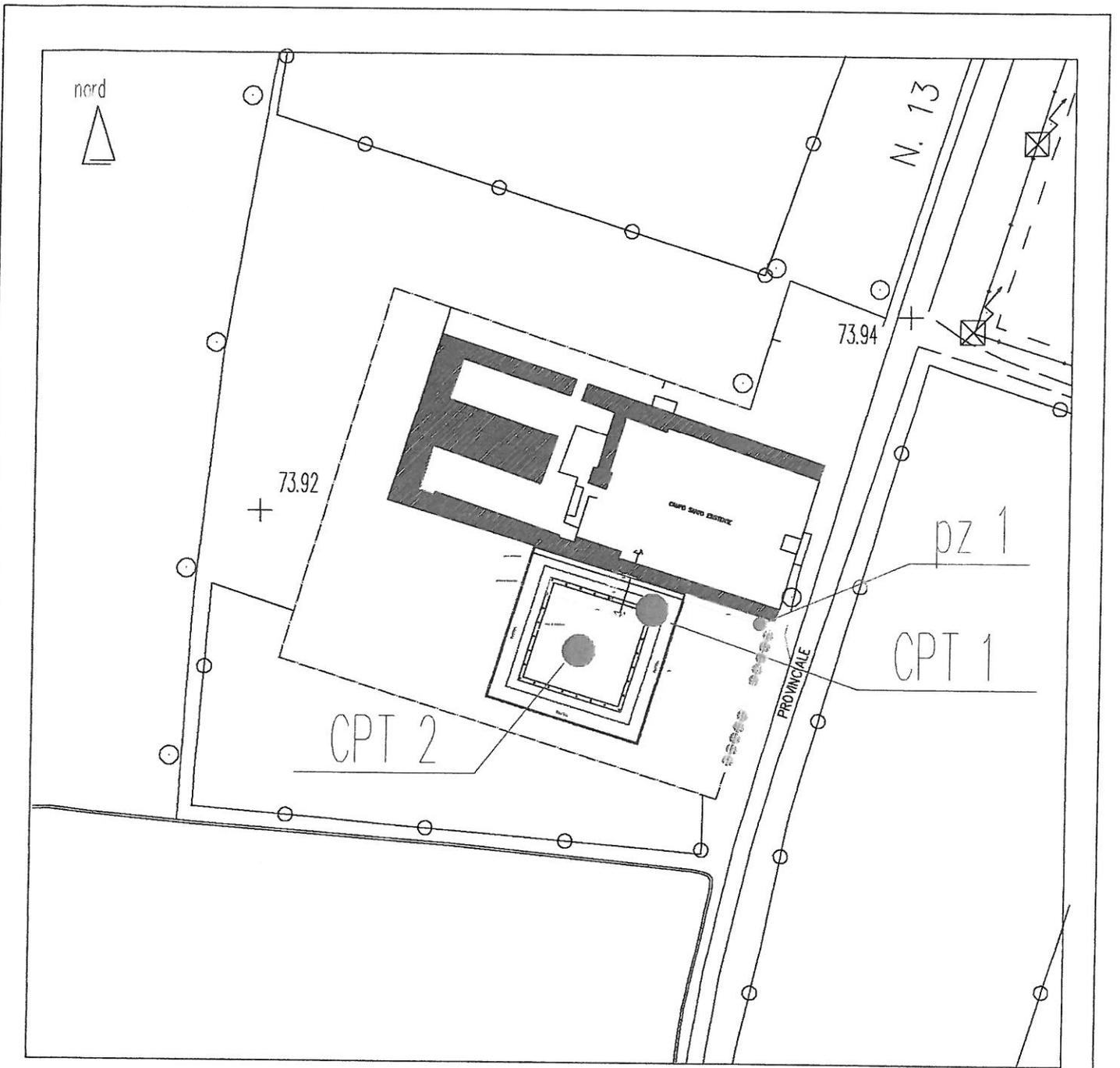
### LEGENDA

-  Area d'indagine
-  Fluviale wurm (Pleistocene sup.)
-  Cavi e rogge

### CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

SCALA 1: 10.000

Tavola 2



### LEGENDA

- CPT 1      Prova penetrometrica statica
- PZ 1      Piezometro

PLANIMETRIA – UBICAZIONE PROVE

disegno non in scala

Tavola 3



**ALLEGATO 1**  
**Prove penetrometriche eseguite**

prof. m	Rp kg/cm2	Rl kg/cm2	fs kg/cm2	Rf %
0,20	0	0	0,00	0,00
0,40	25	46	1,40	5,60
0,60	20	38	1,20	6,00
0,80	16	27	0,73	4,58
1,00	19	29	0,67	3,51
1,20	38	54	1,07	2,81
1,40	61	79	1,20	1,97
1,60	57	79	1,47	2,57
1,80	61	90	1,93	3,17
2,00	75	106	2,07	2,76
2,20	76	109	2,20	2,89
2,40	78	114	2,40	3,08
2,60	66	112	3,07	4,65
2,80	75	105	2,00	2,67
3,00	79	110	2,07	2,62
3,20	78	116	2,53	3,25
3,40	75	108	2,20	2,93
3,60	78	102	1,60	2,05
3,80	83	98	1,00	1,20
4,00	76	106	2,00	2,63
4,20	59	97	2,53	4,29
4,40	96	123	1,80	1,88
4,60	109	156	3,13	2,87
4,80	84	120	2,40	2,86
5,00	87	123	2,40	2,76
5,20	74	104	2,00	2,70
5,40	38	68	2,00	5,26
5,60	36	58	1,47	4,07
5,80	36	52	1,07	2,96
6,00	32	52	1,33	4,17
6,20	32	52	1,33	4,17
6,40	30	49	1,27	4,22
6,60	39	55	1,07	2,74
6,80	66	89	1,53	2,32
7,00	101	138	2,47	2,44
7,20	134	185	3,40	2,54

rifiuto

**ALLEGATO 1**

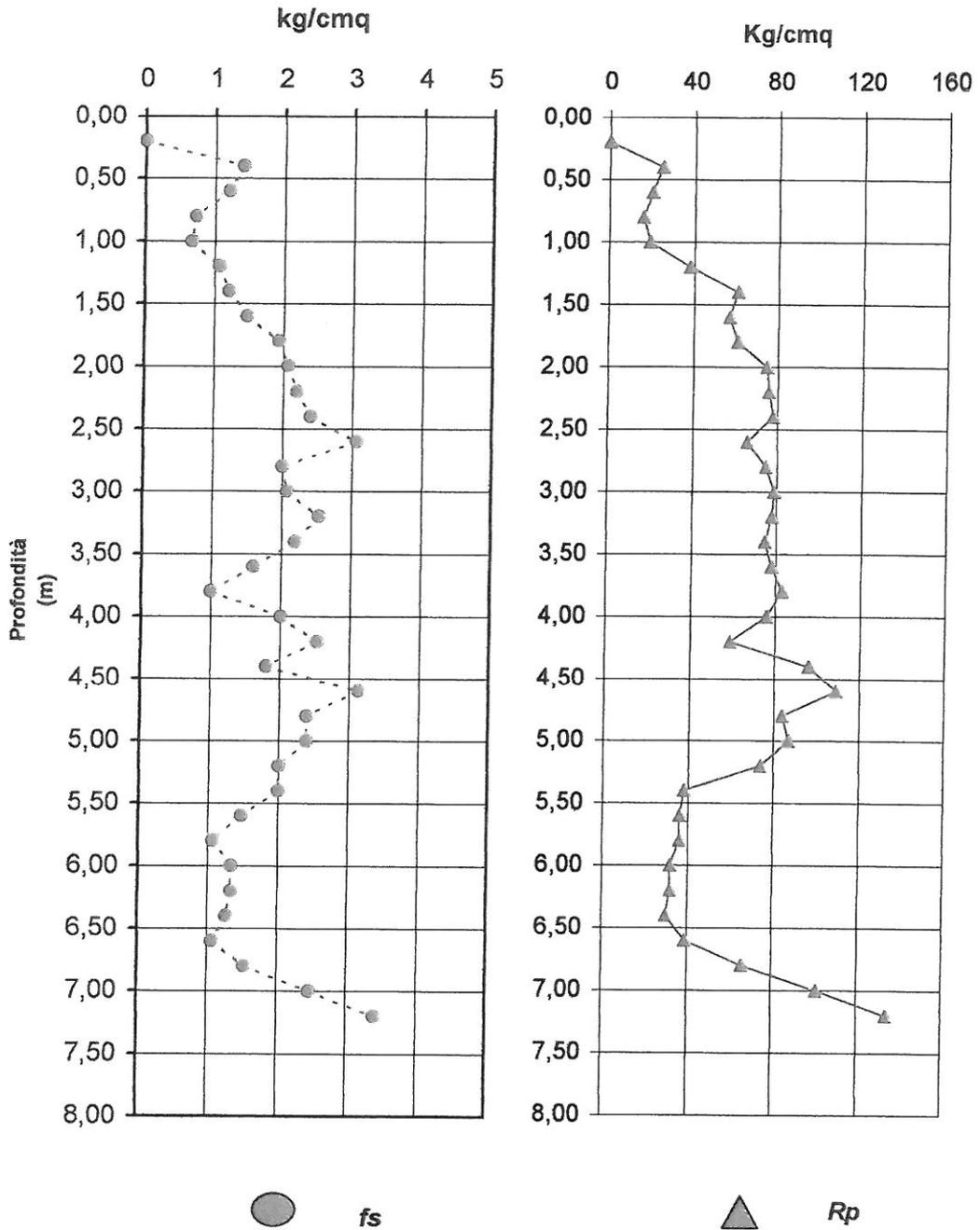
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
CPT 1**

**LEGENDA**

Rp = Resistenza alla punta  
 Rl = Resistenza laterale  
 fs = Attrito laterale locale  
 Rf = rapporto delle resistenze

Località : Cimitero Linarolo  
 data: 03 giugno 2003

Cantiere Cimitero Linarolo: CPT 1



Allegato 1  
Prove penetrometriche eseguite  
Grafici

ALLEGATO 1  
Prove penetrometriche eseguite

prof. m	Rp kg/cm2	Rl kg/cm2	fs kg/cm2	Rf %
0,20	0	0	0,00	0,00
0,40	21	31	0,67	3,17
0,60	13	26	0,87	6,67
0,80	27	45	1,20	4,44
1,00	38	51	0,87	2,28
1,20	46	66	1,33	2,90
1,40	53	71	1,20	2,26
1,60	47	64	1,13	2,41
1,80	45	67	1,47	3,26
2,00	40	68	1,87	4,67
2,20	46	68	1,47	3,19
2,40	51	79	1,87	3,66
2,60	69	91	1,47	2,13
2,80	78	106	1,87	2,39
3,00	72	86	0,93	1,30
3,20	84	123	2,60	3,10
3,40	151	178	1,80	1,19
3,60	124	160	2,40	1,94
3,80	109	146	2,47	2,26
4,00	104	141	2,47	2,37
4,20	102	151	3,27	3,20
4,40	94	131	2,47	2,62
4,60	68	108	2,67	3,92
4,80	80	110	2,00	2,50
5,00	51	81	2,00	3,92
5,20	61	82	1,40	2,30
5,40	88	112	1,60	1,82
5,60	90	124	2,27	2,52

fine esecuzione prova

<b>ALLEGATO 1</b>	<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2</b>
<p style="text-align: center;"><b>LEGENDA</b></p> <p>Rp = Resistenza alla punta Rl = Resistenza laterale fs = Attrito laterale locale Rf = rapporto delle resistenze</p>	<p>Località : Cimitero Linarolo data: 03 giugno 2003</p>

Cantiere Cimitero Linarolo: CPT 2

