

COMUNE DI MALEO

(Provincia di Lodi)

indagine geologico- tecnica

per l'ampliamento del cimitero esistente

ai sensi degli artt. 55 e 57 del D.P.R. 10 settembre 1990 n° 285

Luglio 2004



Esecuzione prove penetrometriche Cpt 1



e Cpt 2

GEOLOGO	SINDACO	SEGRETARIO
Dott. Angelo Scotti Via Lungo Adda, 24 Pizzighettone (Cr) n° 763 Ordine dei Geologi della Lombardia		

sommario

1	PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
2	CENNI SUI METODI D'INDAGINE	3
3	RIFERIMENTI TOPOGRAFICI.....	4
4	LINEAMENTI MORFOLOGICI ED IDROLOGICI	5
5	CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE E LITOLOGICHE GENERALI.....	6
6	ASPETTI IDROGEOLOGICI	7
7	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE LOCALI	10
8	CONCLUSIONI.....	13
9	ALLEGATI.....	15

1 Premessa e riferimenti normativi

La presente relazione è redatta in esecuzione alla determina n° 189 del 06/05/04 del Comune di Maleo (Lo), al fine di descrivere, secondo le prescrizioni del D.P.R. 285/90 le caratteristiche morfologiche, geotecniche ed idrogeologiche dei terreni del cimitero comunale interessati dai progetti d'estensione dell'area d'inumazione e di costruzione di nuovi loculi ed ossari, su superfici rispettivamente di circa 130 e 116 m². L'area coinvolta, la cui ubicazione è indicata nella Figura 1, è già inclusa nel perimetro cimiteriale ed è parzialmente utilizzata da alcuni anni, ma appartiene ad un appezzamento (campo "E"), di circa 1780 m², per il quale non erano state effettuate le verifiche richieste dalla citata normativa.

Quest'ultima prescrive in particolare che i progetti d'ampliamento e di costruzione di nuovi cimiteri, debbano essere preceduti da uno studio tecnico delle località, *"..specialmente per quanto riguarda l'ubicazione, l'orografia, l'estensione dell'area e la natura chimico-fisica del terreno, nonché la profondità e la direzione della falda..."* (art. 55).

Affinché il sito sia idoneo, inoltre, occorre accertare che il terreno sia sciolto ed asciutto fino alla profondità di 2,5 m, e che la porosità e la capacità di ritenzione idrica siano tali da favorire il processo di mineralizzazione della sostanza organica. La falda infine deve trovarsi a profondità tale che il più alto livello della zona di assorbimento capillare risulti, anche in condizioni di piena, a distanza di almeno 0,5 m dalla fossa di inumazione (art. 57), che deve avere una profondità non inferiore a 2 metri (art. 72 e 73).

Poiché in alcuni casi sono state osservate infiltrazioni d'acqua al fondo delle tombe già costruite, nella presente relazione è stata posta particolare attenzione nel ricercare l'origine di tale fenomeno ed i possibili rimedi.

2 Cenni sui metodi d'indagine

L'indagine è consistita nella raccolta della documentazione idrogeologica e geotecnica riguardante l'area (*studio geologico per la variante generale del PRG - 1998- e Indagini ambientali ex discarica di Maleo - Aspetti Idrogeologici - rapporto tecnico*), e nell'esecuzione di n° 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann, denominante **Cpt 1** e **Cpt 2**, estese alla profondità rispettivamente di **11,8** e **3,8** m dal piano campagna. Queste hanno consentito di accertare la natura e la consistenza dei depositi sotto la quota di scavo delle tombe, e di posare nei fori delle prove stesse n° **2 micropiezometri aperti (P1 e P2)** per la verifica del livello freatico (v allegato 1). Si è scelto di approfondire in modo limitato la prova Cpt 2 perchè l'osservazione nel micropiezometro P2 risultasse significativa del comportamento idraulico dei terreni appena sotto la quota di scavo

delle tombe.

Per ottenere un maggiore dettaglio sulla tessitura dei terreni nei primi metri, è stato eseguito un sondaggio manuale (**S1**) in prossimità della prova Cpt 2 fino alla profondità di 2,6 m, prelevando campioni che sono stati esaminanti in dettaglio ed in parte sottoposti ad analisi granulometrica (v. allegato 2).

Per valutare le fluttuazioni stagionali del livello freatico sono state utilizzati i dati delle misure effettuate dal Consorzio Acqua Potabile nel pozzo Maleo n° 2, sito presso il municipio, circa 570 m a SSE dell'area cimiteriale. Tale pozzo, benché in disuso, fa parte della rete di rilevamento della falda freatica che il C.A.P. mantiene in territorio lodigiano.

3 Riferimenti topografici

L'area cimiteriale è sita poco a sud della linea ferroviaria Codogno Cremona, essendo nel punto più settentrionale a circa 70 m dalla scarpata che delimita il tracciato ferroviario, e dista circa 250 m dal limite nord del centro abitato di Maleo.

La superficie topografica risulta complessivamente piana sia nell'area cimiteriale, sia in quella agricola circostante, con quote comprese tra 58,0 e 59,7 m s.l.m. e dislivelli connessi alla presenza di modeste infrastrutture, come meglio si evidenzia nella Figura 1, che riporta la base topografica in scala 1:2.000 tratta dalla restituzione aerofotogrammetrica del Comune di Maleo.

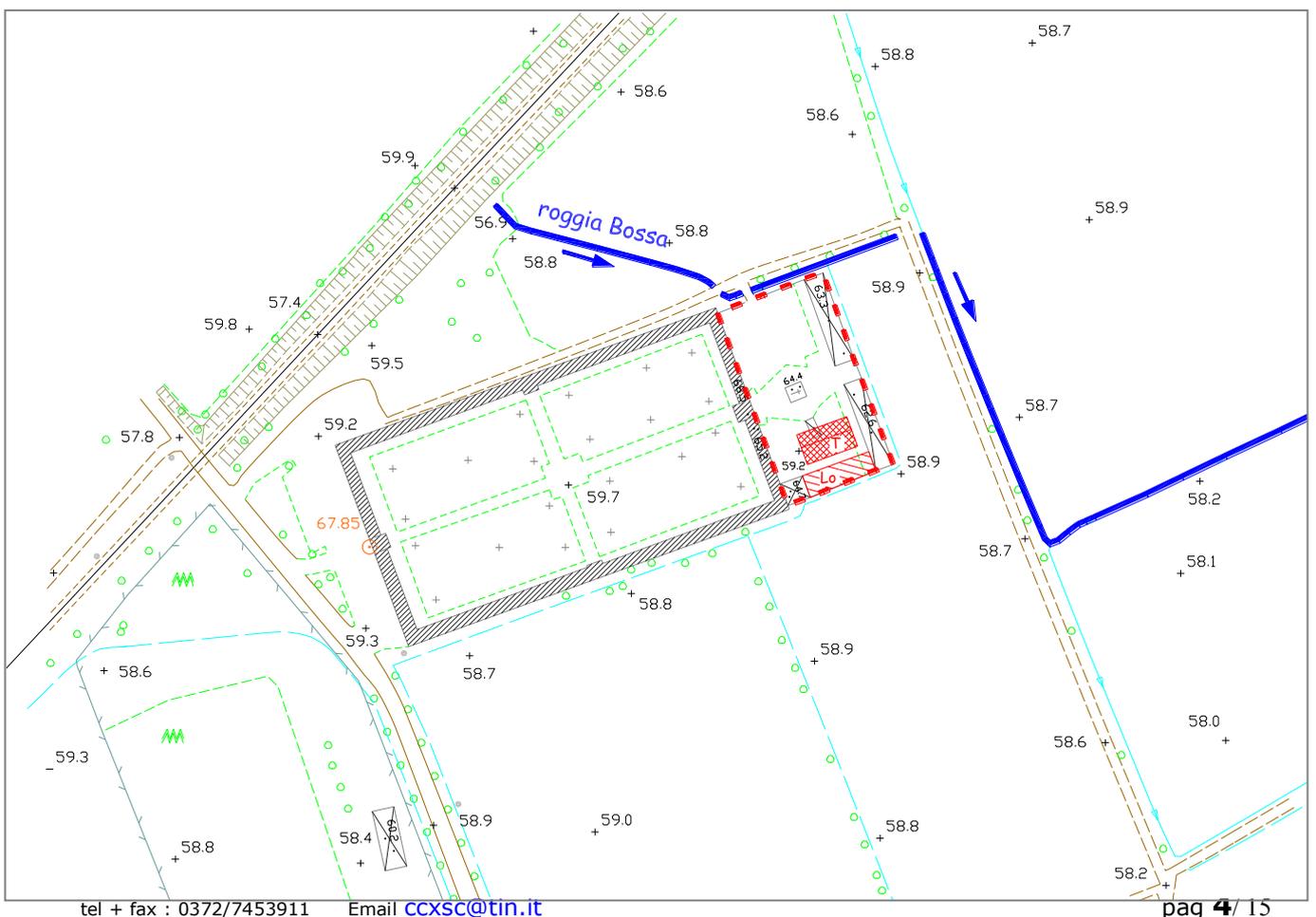


Figura 1 : planimetria dell'area cimiteriale in scala 1:2.000 tratta dalla restituzione aerofotogrammetrica comunale. In evidenza con **linea tratteggiata rossa** il campo cimiteriale "E". T = tombe di famiglia ; Lo = loculi. La Roggia Bossa, che scorre poco a nord, è ripresa nella successiva Figura 2.

4 Lineamenti morfologici ed idrologici

L'area dell'intervento, e quasi tutto l'abitato di Maleo, si collocano al margine della fascia di pianura attribuita dagli autori del foglio geologico n° 60 - Piacenza - alle deposizioni fluviali e fluvioglaciali della fase finale della glaciazione würmiana, distinta come unità morfologica con il nome di "Livello fondamentale della pianura " o "Piano Generale Terrazzato". Quest'unità si sviluppa con ampiezza variabile da 10 a 12 Km nella parte centrale del territorio lodigiano, e si estende in direzione NW-SE risultando delimitata a NE e SW da accentuate ed ampie depressioni formate dagli alvei e dai depositi più recenti del Lambro e dell'Adda, ai quali si raccorda mediante scarpate di 5 -15 m di altezza.

Le scarpate continue più prossime al cimitero che delimitano la "valle fluviale dell'Adda" sono chiaramente osservabili circa 350 m ad est dello stesso, dove sono presenti gradini e tratti acclivi che occupano una fascia di 150 ÷ 250 m d'ampiezza, che definiscono un dislivello totale di circa 14 m, e circa 750 m a nord dove la scarpata è quasi singola e raggiunge altezze di oltre 10 m (v. Figura 4).

Alla distanza minima di 200 m in direzione SE, è presente un'incisione lineare delimitata da scarpate di 4 ÷ 8 m di altezza generata dall'erosione regressiva lungo il margine del terrazzo, e che ospita lo scarico verso la depressione olocenica dell'Adda della roggia "Bossa".

Dal punto di vista idrologico l'area è interessata da un sistema di derivatori secondari e terziari del canale Muzza sviluppati da NW verso SE, i quali presentano



numerose diramazioni drenanti in direzione della valle dell'Adda.

Localmente si rileva la presenza lungo il perimetro NE ed E del cimitero della roggia Bossa, alimentata come quasi tutto il sistema idrografico dal tratto terminale della roggia Codogna in località Cà dell'Acqua.

Figura 2 :roggia Bossa nel tratto tra

la ferrovia ed il limite nord dell'area cimiteriale

La roggia ha la concessione di una portata estiva di 0,55 m³/s, e di 0,43 m³/s in periodo invernale. Durante i rilievi è risultato costantemente presente un tirante d'acqua di circa 80 cm.

5 Caratteristiche pedologiche e litologiche generali

Nella recente pubblicazione dell'ERSAL SSR 30 "I suoli del Codognese" (giugno 2002), la porzione di territorio a settentrione dell'abitato di Maleo sino alla scarpata principale è collocata nella sottounità di paesaggio LF2.3, definita come "superfici pianeggianti o lievemente ondulate poste per lo più in prossimità del margine del terrazzo, talora in posizione altimetrica lievemente ribassata, costituite da depositi in cui prevale la frazione sabbiosa".

Si tratta di alfisuoli a tessitura franco sabbiosa moderatamente profondi (95 cm), con orizzonte argillico poco espresso, limitati in profondità da un orizzonte riconosciuto come fragipan, che si spinge fino a circa 135 cm. Quest'ultimo è definito come un orizzonte pedologico diagnostico subsuperficiale a densità apparente superiore a quella degli orizzonti soprastanti ed a tessitura generalmente limosa, con drenaggio molto lento;. Nell'Europa occidentale la formazione dell'orizzonte sembra correlata alle glaciazioni pleistoceniche, soprattutto a quella würmiana, generandosi per la compattazione fra il sottosuolo, permanentemente gelato, e la parte superficiale, soggetta a gelo e disgelo.

La struttura pedologica descritta è probabilmente la principale causa della formazione di locali ristagni d'acqua negli strati superficiali del suolo, e conseguentemente delle infiltrazioni lungo le pareti perimetrali in corrispondenza dei giunti.

Per quanto riguarda le caratteristiche litostratigrafiche delle prime decine di metri, queste appaiono sufficientemente descritte dai dati del sondaggio eseguito presso la discarica di Maleo circa 850 m a nord dell'area cimiteriale (*Geoinvest per E.A.L. (1996): Indagini ambientali ex discarica di Maleo - Aspetti Idrogeologici - rapporto tecnico*) e da quelli del pozzo C.A.P. n° 3 di Maleo, attualmente in disuso, posto in Piazza XXV aprile, circa 650 m a sud. Nella successiva tabella sono evidenziati con fondo grigio gli intervalli coesivi.

sondaggio E.A.L. presso discarica	pozzo CAP 3
0.0-1.0 m: terreno di riporto	0-1.5 m: terreno di riporto
1.0-7.7 m: sabbia fine limosa marrone	1.5-4.5 m: sabbia fine gialla
7.7-9.3 m: sabbia limosa con ghiaietto	4.5-6.5 m : argilla marrone

9.3-11,8 m: sabbia media	6.5-14.5 m: sabbia medio fine
11,8-13,3 m : sabbia limosa con ghiaietto	14,5-24,0 m : sabbia medio fine con ghiaia
13,3-15.8 m : sabbia media nocciola	24,0-31.0 m : sabbia medio fine con poco ghiaietto
15.8-23,0 m : sabbia debolmente limosa grigia	31,0-48.5 m: sabbia media fine azzurra
23,0-26.0 m: argilla	Il pozzo prosegue fino a-95 m con intercalazioni di argille per circa il 25% profilo
26.0-31.0 m : limi e sabbie	

Le rappresentazioni fornite delineano la sicura predominanza di litologie permeabili nei primi 30÷40 m, con intervalli impermeabili molto rari (< 6,5%) e presumibilmente di limitato sviluppo laterale.

La successione litostratigrafica è confermata dai dati della prova penetrometrica Cpt n° 1 (v. allegato 1) che sotto una copertura pedologica limo sabbiosa dello spessore di circa 1,3 m, individua un profilo esclusivamente sabbioso fino alla profondità esplorata di 12 m dal piano campagna.

La falda non è stata intercettata nel micropiezometro posato alla profondità di - 11,2 m foro della prove Cpt n° 1, ed i dati bibliografici disponibili ne indicano la presenza alla profondità di circa 13 m, come dettagliatamente illustrato nel paragrafo seguente.

6 Aspetti idrogeologici

Il deflusso della falda freatica è illustrato nella successiva Figura 4, ripresa dai rilievi eseguiti per la redazione dello studio geologico per il PRG comunale (1998), il cui andamento è parso confermato sia da successive indagini nell'area, sia dai rilievi eseguiti per il presente lavoro.

La conformazione delle isopiezometriche nell'area è fortemente influenzata dalla presenza della depressione olocenica dell'Adda, che localmente presenta profondi arretramenti del margine del terrazzo principale (Adda Morta di Cavacurta). Il generale deflusso verso SE che caratterizza il basso lodigiano, subisce localmente una rotazione in direzione NE e Nord nella fascia di territorio più a settentrione del cimitero, mentre in corrispondenza dell'abitato di Maleo il flusso avviene da Ovest verso Est.

Nella porzione intermedia dove è posto il cimitero si può ipotizzare la formazione di uno spartiacque sotterraneo, e questa circostanza rende praticamente impossibile definire in ambito locale la direzione di flusso prevalente, che potrebbe variare stagionalmente principalmente in relazione all'entità ed all'ubicazione degli apporti irrigui. Nella Figura 4 è indicato il gradiente ritenuto più probabile, del 2,5 ‰ in direzione circa WNW-WSE.

La **soggiacenza** desumibile dalla cartografia è di circa **13 m**, e certamente non è inferiore a 11,2 m, come confermato dall'osservazione ripetuta nel piezometro **P1**. L'oscillazione stagionale della falda freatica è ben descritta dai dati delle misure eseguite nel pozzo 2 del Consorzio Acqua Potabile di Milano, sito in prossimità dell'edificio comunale ed indicato nella Figura 4, che presenta filtri esclusivamente nella falda freatica ed una quota di riferimento a 57,73 m s.l.m.

I dati riferiti nella Figura 3 mostrano che nei 19 anni di osservazione l'oscillazione stagionale media annua (linea rossa più spessa) risulta di 0,49 m, e che l'andamento dei livelli mostra una ciclicità tipica delle pianura irrigua, con minimo nei mesi tardo primaverili, quando si effettua l'asciutta dei fossi, e massimi nei mesi tardo estivi, al termine della stagione irrigua.

La maggiore escursione annua registrata nel periodo considerato è di 0,8 m, osservata nel 2002 e nel 2003 (i dati del 2004 indicano un'escursione di 1,3 m, ma devono essere verificati), e l'intervallo massimo d'escursione nei 20 anni considerati è di 1,74 m. La massima elevazione assoluta è stata osservata a settembre e ad ottobre 2003 (soggiacenza 12,0 m), mentre a febbraio 2004 il valore è di poco inferiore a tale massimo assoluto (12,1 m).

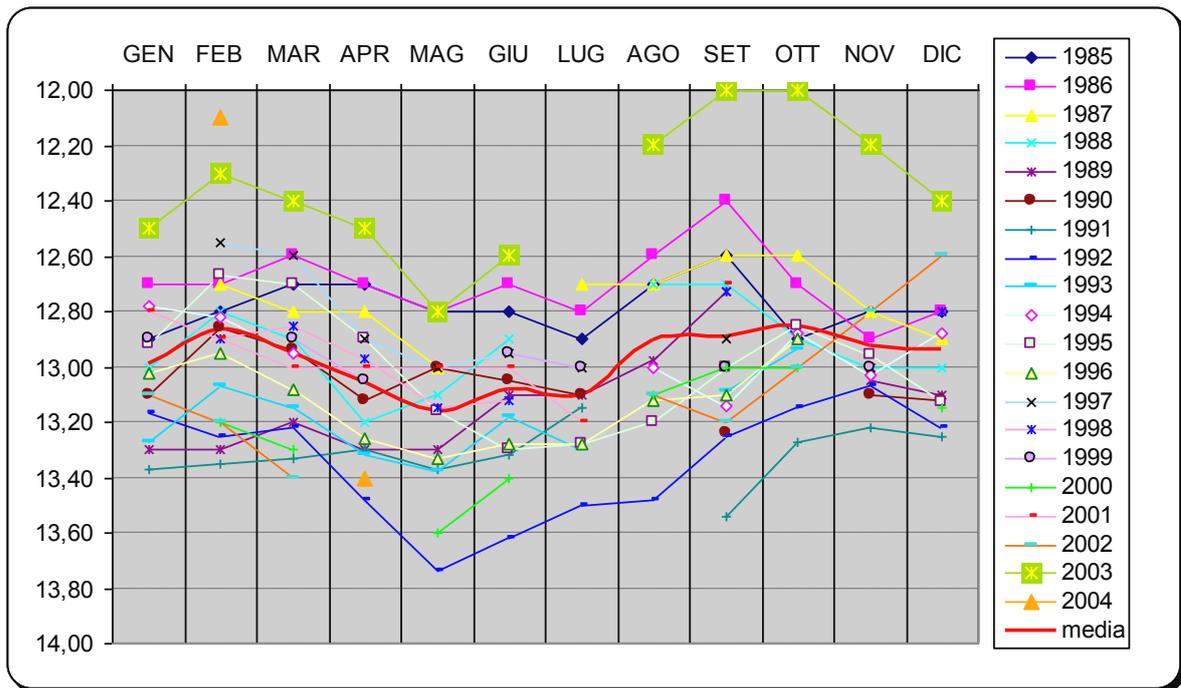


Figura 3 : livelli freatici misurati presso il pozzo CAP n° 2 di Maleo (misure in m dal riferimento a 57,73 m s.l.m.)

In ogni caso l'ampio intervallo temporale delle osservazioni attesta in modo eloquente che il livello freatico si mantiene costantemente a profondità superiori ai 10 m dal piano campagna, e che conseguentemente non vi sono rischi di interferenze con strutture approfondite circa 3 m dal piano campagna.

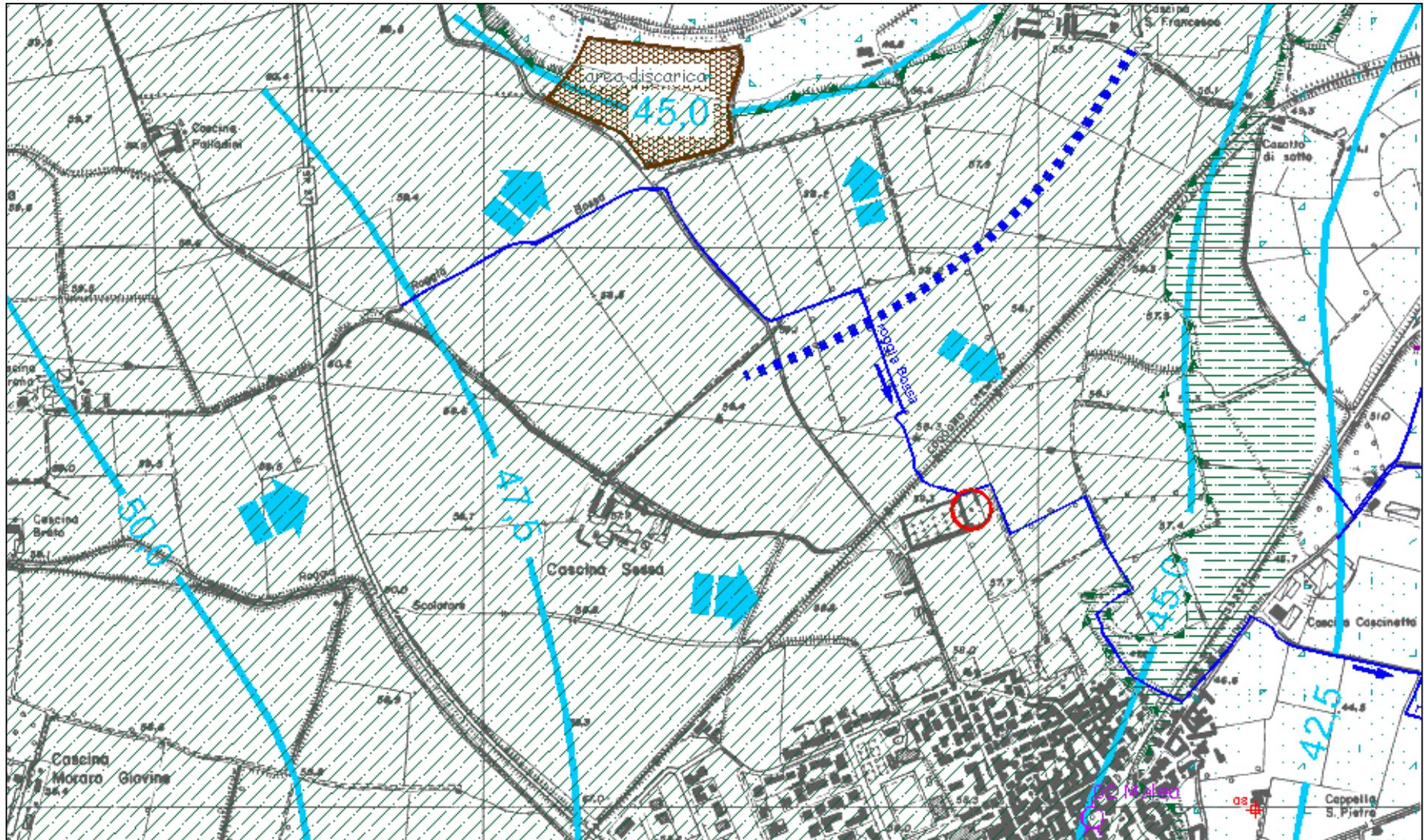


Figura 4 : lineamenti morfologici ed idrogeologici dell'area circostante la superficie cimiteriale tratto dallo studio geologico per il PRG comunale (1998), con lievi modifiche. Scala 1:10.000. Retino con linee-punto oblique verdi : livello fondamentale della pianura e margini di scarpata (Triangoli verdi); Retino a righe linea-punto orizzontali verdi: aree di scarpata ; Retino con puntini azzurri: depressione olocenica dell'Adda ai piedi della scarpata principale; **isolinee e freccie**

grosse azzurre isopiezometriche della falda freatica in m s.l.m. e direzione di flusso stimato. **02 Maleo** = Pozzo Cap n°02, dove sono eseguite le misure del livello freatico riportate nella Figura 3.

Si osserva che l'area è interessata da un andamento divergente, con flusso verso le aree depresse poste a Nord e a SE, e ciò determina la probabile presenza di uno spartiacque sotterraneo disposto parallelamente alla linea ferroviaria Codogno Cremona, rappresentato in figura con **linea spessa a tratto** di colore **blù**.

7 Caratteristiche litostratigrafiche locali

La **successione litostratigrafica** definita dai dati delle due **prove penetrometriche Cpt 1 e Cpt 2 e del sondaggio S1** eseguito in prossimità della Cpt 2, è illustrata nell'allegato 1. L'ubicazione delle prove e dei rispettivi micropiezometri (**P1, P2**) collocati entro i fori delle stesse è riferita nella seguente figura:

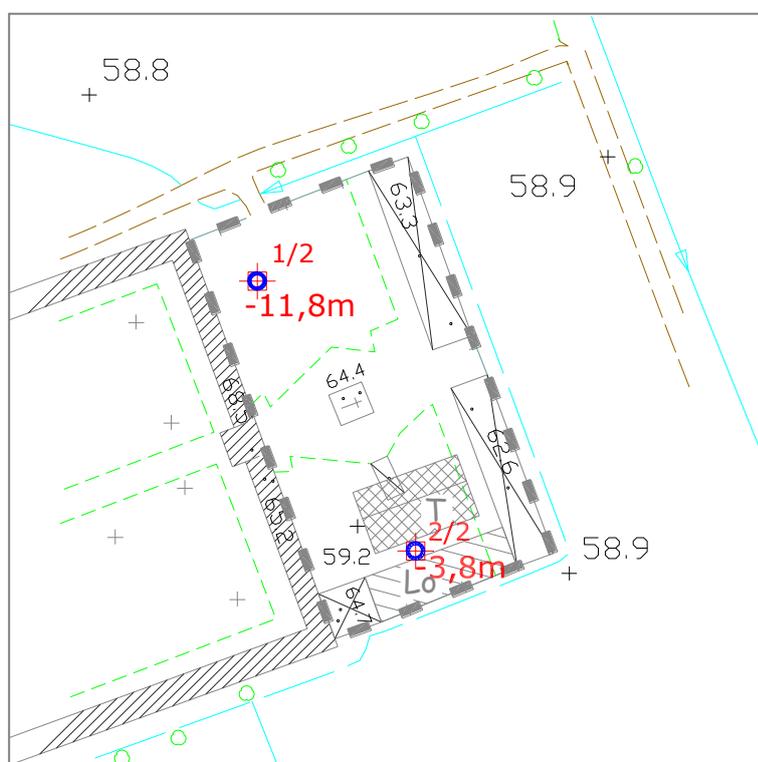


Figura 5: Ubicazione delle prove penetrometriche **Cpt 1/2 e Cpt 2/2** e rispettiva profondità di esplorazione. Scala 1:1000

In superficie è distinguibile un suolo limo sabbioso di circa 130 cm di spessore le cui caratteristiche pedologiche generali sono state illustrate nel § 5. Il campionamento eseguito in prossimità della prova Cpt 2 ha consentito di definire con maggiore dettaglio le caratteristiche tessiturali dei primi metri, che sono riassunte nella seguente tabella, dove con

sfondo grigio sono evidenziati i campioni sottoposti ad esame granulometrico.

quota intervallo di prelievo in metri		litologia	colore	Shaking test (dilatanza)	plasticità	contenuto d'acqua Wn %
0,60	0,80	limo debolmente sabbioso	10YR 4/4	immediata	non plastico	10,5%
0,80	1,00	limo con sabbia fine	7.5YR 4/6	immediata	bassa plasticità	12,9%
1,00	1,20	limo con sabbia fine	7.5YR 4/6	immediata	bassa plasticità	13,7%
1,20	1,40	limo con sabbia fine	7.5YR 4/6	immediata	bassa plasticità	15,4%
1,40	1,60	limo con sabbia fine	7.5YR 4/6	immediata	bassa plasticità	17,1%
1,60	1,80	sabbia fine uniforme limosa	10YR 5/6	immediata	non plastico	14,9%
1,80	2,00	sabbia fine uniforme limosa	10YR 5/6	immediata	non plastico	10,9%
2,00	2,20	sabbia fine uniforme deb. limosa	10YR 6/4	immediata	non plastico	9,4%
2,20	2,40	sabbia fine uniforme deb. limosa	10YR 6/4	immediata	non plastico	5,3%
2,40	2,60	sabbia fine uniforme deb. limosa	10YR 6/4	immediata	non plastico	7,2%

Tabella 1 : descrizione dei terreni campionati nel sondaggio S1

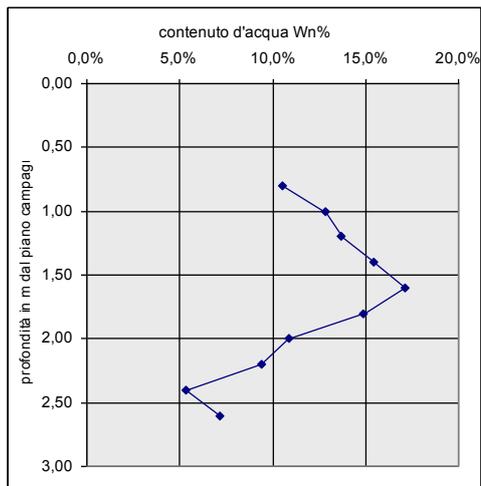


Figura 6: andamento del contenuto d'acqua con la profondità

I dati descrivono la predominanza di limi di bassa plasticità fino alla profondità di -1,6 m circa, seguiti da termini più sabbiosi nel tratto da -1,6 circa -2,0 m, e da sabbie fini uniformi con basso contenuto di limo nella parte inferiore del profilo.

L'andamento del contenuto d'acqua Wn con la profondità, riferito in Figura 6, riflette in modo coerente la litologia descritta, dove si manifesta una maggiore ritenzione idrica in presenza di una più abbondante

frazione fine.

L'esito dell'analisi granulometrica riportata nell'allegato 2 indica che in senso stretto il campione dell'intervallo -1,0/-1,2 m è definibile con il termine AGI "sabbia con limo", ma dato il comportamento lievemente plastico manifestato e la probabile presenza di una percentuale di argilla non trascurabile nei campioni a maggior contenuto d'acqua (2÷5%), pare più corretto far prevalere nella descrizione il termine "limo".

I campioni prelevati a profondità maggiori di 2 metri appaiono praticamente identici tra loro, formati da sabbie uniformi ben descritte dall'andamento della curva granulometrica riportata nell'allegato 2.

In base alla relazione empirica di Hazen, è possibile ottenere una stima della permeabilità di questi depositi: $K \text{ (cm/s)} = C * \phi_{10}^2$, con $C = 40 \div 80$ in presenza di sabbia fine con apprezzabile % di passante al setaccio n° 200 (0,075 mm). La relazione è ritenuta valida solo se $0,1 < \phi_{10} < 3,0 \text{ mm}$, e quindi a rigore non è applicabile al caso specifico, dove $\phi_{10} \cong 0,052 \text{ mm}$, ma accettando una certa approssimazione, pare sufficiente a fornire un ordine di grandezza utile. Si precisa che in ogni caso le maggiori divergenze da tale stima derivano dall'anisotropia e dalle disomogeneità del deposito, ed una misura abbastanza accurata di k potrà essere ottenuta solo mediante l'esecuzione di prove di permeabilità dirette in foro o in pozzetti superficiali, la cui realizzazione non pare al momento indispensabile.

La permeabilità dei terreni sotto la quota di scavo delle tombe risulta in conclusione di circa $1,1 * 10^{-3} < k < 2,2 * 10^{-3} \text{ cm/s}$, e quindi consentirà il drenaggio di circa $0,65 \div 1,3 \text{ l/min al m}^2$. Di tale valore si dovrà tenere conto per dimensionare i pozzetti di dispersione delle acque infiltratise dalla superficie, o attraverso le discontinuità laterali in caso di ristagno sopra gli orizzonti poco permeabili del suolo (fragipan, v § 5).

Le considerazioni sopra espresse possono essere ritenute valide per tutta la porzione di

indagata, e probabilmente anche per l'intera area cimiteriale, soprattutto perché il profilo litostratigrafico individuato con le due prove Cpt pare sostanzialmente identico fino alla profondità comune di -3,8 m.

A profondità maggiori il profilo litostratigrafico è descritto dalla sola prova Cpt 1, che evidenzia la prosecuzione del deposito di sabbia fine sopra descritto in condizioni di addensamento medio o elevato fino alla profondità di circa -6,0 m, seguito da un breve strato di sabbie limose o limi sabbiosi sciolti, e successivamente da alternanze di sabbie dense e sabbie di media densità probabilmente poco limose, con qualche lente di ghiaia fine, fino alla profondità esplorata di - 11,8 m.

La presenza di uno strato limo-sabbioso di 40÷60 cm di spessore intorno ai -6 m, non costituisce un reale impedimento al drenaggio delle acque accumulate al fondo delle tombe, sia perché il volume di vuoti nelle sabbie sovrastanti, pari a circa il 30%, garantisce una capacità di accumulo elevata, sia perché strati di limitato spessore sono di solito poco sviluppati lateralmente, e l'infiltrazione verso il basso in pratica non può essere impedita.

La permeabilità dei depositi posti a profondità superiori ai -6 m dovrebbe essere superiore a quella dei depositi sabbiosi sovrastanti.

8 Conclusioni

L'analisi condotta sull'area di sviluppo cimiteriale ha consentito di evidenziare l'assenza di problematiche di carattere geologico e idrogeologico per la destinazione prevista.

In riferimento a quanto richiesto dalla normativa circa la distanza tra la profondità della fossa di inumazione e la quota massima raggiungibile dalla falda freatica con la zona di assorbimento capillare, sulla base di quanto esposto ai paragrafi 6 e 7 si può concludere che:

1. Il livello freatico (zona satura) non supererà in condizioni di massima piena la quota di circa 46,0 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza di circa 13 m dall'attuale piano campagna (59,2 m s.l.m.). La posa del piezometro **P1** e le osservazioni ripetute nei mesi di giugno e luglio (v allegato 1) hanno peraltro verificato l'assenza della falda almeno fino alla profondità di -11,2 m dal piano campagna;
2. L'altezza della zona di assorbimento capillare in terreni sabbioso-limosi può essere teoricamente molto elevata, e secondo Terzaghi per una stima è utilizzabile la relazione $h_{cr}(cm) = 0,1 \div 0,5 / e * d_{10}$, dove "e" rappresenta l'indice dei vuoti, e d_{10} il diametro passante al 10%. Introducendo il valore $d_{10} = 0,052$ cm del campione prelevato a -2,6 m dal p.c. (allegato 2), ed ipotizzando $e = 0,4$, si ottiene $h_{cr} = 50 \div 240$ cm. Tale stima è coerente con i valori caratteristici forniti da Lane & Washburn (1946), che in sabbia media indicano un'altezza di 165 cm ed in sabbia fine di 239 cm.

In pratica anche assumendo l'ipotesi più sfavorevole, la distanza tra la il fondo della fossa di inumazione a -3 m dal piano campagna e la massima elevazione raggiunta dalla frangia capillare risulterà di almeno 7,8 m [$59,2 - 3,0 - (46,0 + 2,4)$].

Ciò fornisce garanzie di un adeguato svolgimento dei processi di mineralizzazione della sostanza organica, e consente di concludere che le caratteristiche tessiturali, strutturali (porosità e aggregazione dei clasti) e mineralogiche rilevate nel corso della presente indagine, indicano che la superficie è adatta all'utilizzo come area cimiteriale.

In merito al problema rappresentato dalla occasionale presenza di acqua al fondo delle tombe esistenti, si richiama quanto discusso al § 5 circa la possibilità di temporanei ristagni d'acqua sopra gli orizzonti a "fragipan" del suolo (orizzonti poco permeabili nell'intervallo 95 - 135 cm circa dalla superficie), ed al § 7 in merito alla possibilità di ottenere una adeguata dispersione delle acque nei depositi sabbiosi presenti a maggiore profondità.

In concreto si suggerisce di posare sotto le tombe un materasso drenante in sabbia media e grossolana con ghiaia fine dello spessore di almeno 15 cm, collegandolo mediante pozzetto all'interno della tomba stessa. Se si accerterà che l'origine dell'acqua riscontrata al fondo delle tombe esistenti è da ascrivere principalmente ad infiltrazioni lungo le pareti, sarà

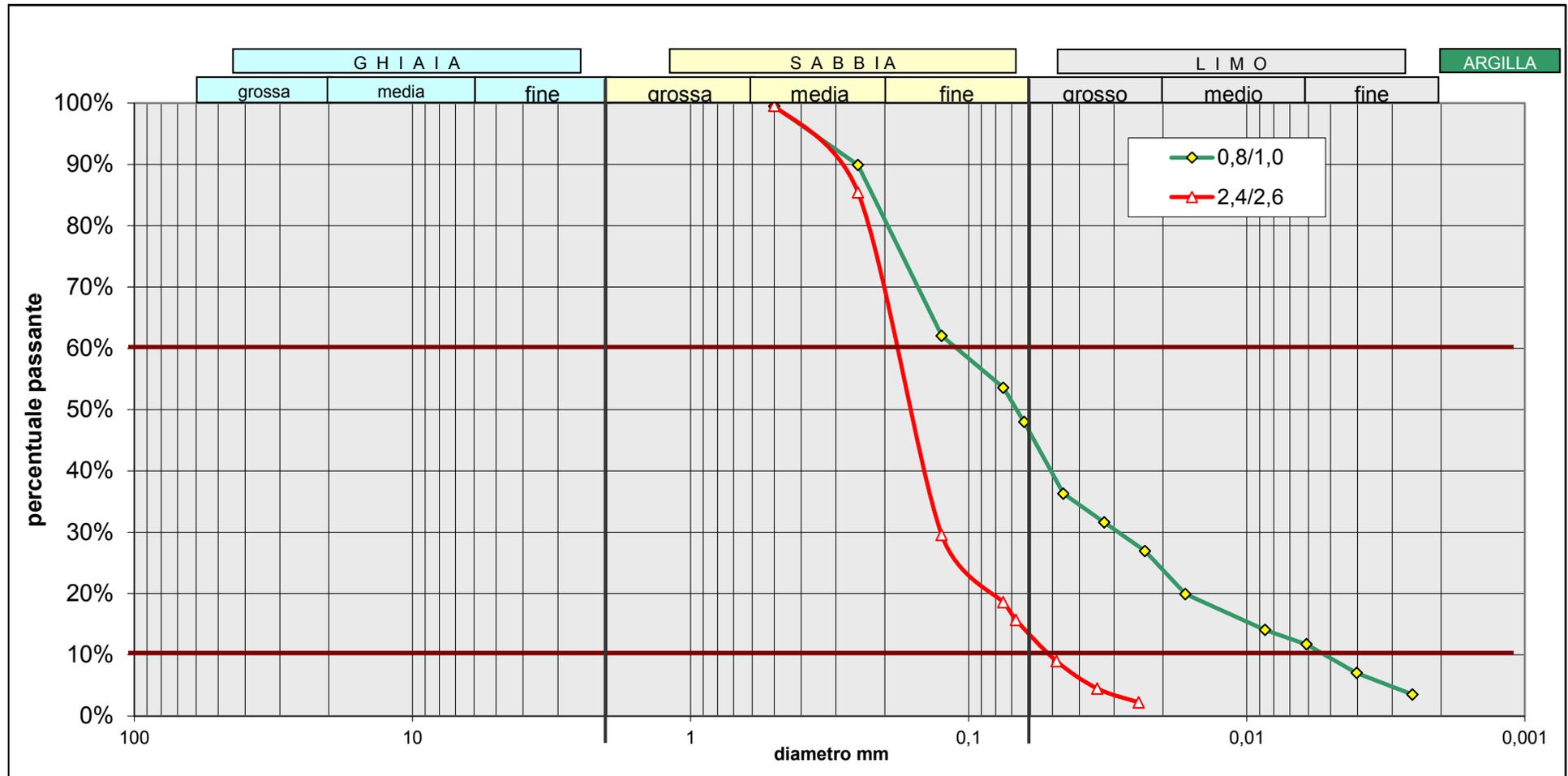
opportuno provvedere anche ad un'impermeabilizzazione delle pareti esterne (es. mediante pannelli di bentonite), ed alla posa di un dreno verticale (in materiale granulare o in geotessile), esteso fino al sottostante materasso drenante.

9 Allegati

1. tabella dati e diagrammi delle prove penetrometriche statiche (Cpt 1 e 2) ed interpretazione litostratigrafica.
2. Tabelle di calcolo e grafici delle analisi granulometriche su due campioni;
3. Prima stima del carico ammissibile e dei cedimenti per la costruzione della struttura per nuovi loculi ed ossari.

profondità (m)	Cpt 1			Cpt 2		
	p.c.= qc Kg/cmq	59,2 Rt Kg/cmq	s.l.m f _s Kg/cmq	p.c.= qc Kg/cmq	59,2 Rt Kg/cmq	s.l.m f _s Kg/cmq
0,2			0,47			0,67
0,4	32	39	1,40	22	32	2,00
0,6	30	51	2,07	18	48	1,33
0,8	22	53	1,60	27	47	1,13
1	16	40	1,47	20	37	1,53
1,2	19	41	2,00	20	43	1,40
1,4	45	75	1,40	48	69	1,20
1,6	33	54	2,13	35	53	1,53
1,8	33	65	1,33	46	69	1,13
2	49	69	1,93	46	63	1,87
2,2	56	85	1,80	41	69	1,27
2,4	55	82	1,60	84	103	2,07
2,6	49	73	1,13	66	97	2,00
2,8	75	92	1,67	75	105	2,20
3	78	103	2,00	64	97	1,93
3,2	72	102	1,60	78	107	2,40
3,4	77	101	1,53	97	133	2,53
3,6	93	116	2,87	77	115	1,33
3,8	118	161	1,87	70	90	
4	131	159	1,67			
4,2	104	129	3,33			
4,4	83	133	2,47			
4,6	106	143	2,80			
4,8	76	118	2,40			
5	78	114	1,60			
5,2	89	113	2,40			
5,4	73	109	1,93			
5,6	86	115	2,00			
5,8	78	108	1,73			
6	35	61	1,33			
6,2	29	49	1,20			
6,4	57	75	2,60			
6,6	72	111	0,27			
6,8	177	181	6,00			
7	200	290	4,07			
7,2	152	213	4,27			
7,4	134	198	5,07			
7,6	129	205	0,67			
7,8	200	210	2,20			
8	288	321	2,60			
8,2	197	236	0,93			
8,4	225	239	3,13			
8,6	98	145	2,47			
8,8	115	152	0,93			
9	109	123	7,67			
9,2	117	232	3,00			
9,4	126	171	3,00			
9,6	188	233	3,27			
9,8	88	137	3,20			
10	92	140	2,87			
10,2	106	149	2,67			
10,4	90	130	2,87			
10,6	90	133	3,00			
10,8	114	159	2,40			
11	132	168	2,93			
11,2	163	207	5,07			
11,4	166	242	2,40			
11,6	200	236	3,53			
11,8	228	281				
12						
	falda			falda		
		da p.c.	s.l.m		da p.c.	s.l.m
	24/05/04	--		24/05/04	--	
	12/06/04	--		12/06/04	--	
	10/07/06	--		10/07/06	--	
	26/07/04	--		26/07/04	--	

tabella dati delle prove penetrometriche statiche Cpt



Prof. dal p.c. in m	W_N %	W_L %	IP	DESCRIZIONE AGI	COLORE (Munsell soil chart)	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO %	ARGILLA %	CaCO ₃	ϕ_{60} %	ϕ_{10} %	Coeff. Unif. ϕ_{60}/ϕ_{10}	PERMEABILITA' cm/s $K = 40 \div 150 \phi_{10}(\text{cm})^2$	NOTE: permeabilità è correttamente stimata solo per sabbie con $0,1 < \phi_{10} < 3 \text{ mm}$
-1,0 -1,2	13,7	-	-	limo con sabbia marrone scuro	7.5YR 4/6	0,0	52	46	2	n.r.	0,11	0,0050	22,0	-	
-2,4 -2,6	7,2	-	-	sabbia limosa marrone giallastro chiaro	10YR 6/4	0,0	87	13	0	n.r.	0,18	0,052	3,5	1,62E-03	

1. Prima stima del carico ammissibile e dei cedimenti per la costruzione della struttura per nuovi loculi ed ossari

Le caratteristiche geotecniche dell'area d'espansione cimiteriale sono sufficientemente individuate dai dati delle due prove penetrometriche statiche (v allegato 1), che delineano nei primi metri una successione litostratigrafica formata da depositi con ampia continuità laterale.

La presenza nei primi 1,3 ÷ 1,6 m di sedimenti limo sabbiosi, pur di discreta consistenza, seguiti da sabbie fini decisamente più addensate e di minor compressibilità, suggerisce di approfondire le fondazioni superficiali fino alla quota di comparsa di questo secondo deposito, operando indirettamente mediante parziale sostituzione del terreno in posto con calcestruzzo magro. Per evitare i costi di tale operazione sarà comunque possibile posare le fondazioni a quote più superficiali, accettando un lieve aumento dei cedimenti.

Nella relazione di calcolo che segue, i carichi ammissibili ed i cedimenti sono valutati nelle ipotesi, ritenute verosimili, di fondazioni continue di larghezza $B = 0,5$ m che trasmettono al terreno un carico di 60 kN/m , posate rispettivamente alle profondità di $-0,5$ e $-1,5$ m dal piano campagna:

1.1 CARICO AMMISSIBILE CON FONDAZIONI A $-0,5$ M DAL PIANO CAMPAGNA

Geometria fondazione e carichi

Fondazione nastriforme		
Base fondazione	[m]	0.50
Profondità piano di posa	[m]	0.50
Piano di posa orizzontale		
Pendio orizzontale		
Carichi applicati		
Carico verticale	[kN]	60.00
Eccentricità lungo la base	[m]	0.00
Carico orizzontale	[kN]	0.00
Caratteristiche di aderenza terreno-fondazione		
Angolo di attrito terreno-fondazione	[°]	20
Adesione terreno-fondazione	[kPa]	2

Descrizione strati terreno e falda

Simbologia adottata

Come sopra

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ	c	S
1	limo con sabbia	19,00	20,00	0	75	1,40
2	sabbia fine	19,50	20,00	33	0	5,00
Falda assente						

Analisi della portanza

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Brinch - Hansen

La relazione adottata è la seguente :

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c + qN_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

dove i vari coefficienti sono stati definiti precedentemente.

Il calcolo è stato eseguito tenendo conto dei seguenti parametri :

Larghezza fondazione	$B = 0,50$	[m]
Larghezza ridotta $B' = B - 2e = 0,50$	[m]	
Profondità piano di posa	$D = 0,50$	[m]
Coefficiente di profondità (D/B)	$k = 1.00$	
Peso di volume	$\gamma = 19,00$	[kN/mc]
Angolo d'attrito	$\phi = 0,00$	[°]
Coesione	$c = 75$	[kPa]
Pressione geostatica sul piano di posa	$q = 10$	[kPa]
Coefficiente di spinta passiva	$K_p = 1.00$	

$$N_c = 5.140 \quad N_q = 1.000 \quad N_\gamma = 0.000$$

$$s_c = 1.100 \quad s_q = 1.000 \quad s_\gamma = 1.000$$

$$d_c = 1.400 \quad d_q = 1.000 \quad d_\gamma = 1.000$$

$$bc = 1.000 \quad bq = 1.000 \quad b\gamma = 1.000$$

$$gc = 1.000 \quad gq = 1.000 \quad g\gamma = 1.000$$

Pertanto il valore della capacità portante è dato da

$$q_u = q_u = 594 + 0,10 = 603 \text{ kPa}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza, $\eta=3.00$, otteniamo per la tensione ammissibile il seguente valore

$$q_{amm} = 603/3,00 = \mathbf{200 \text{ kPa}}$$

Il carico ultimo della fondazione si ottiene moltiplicando la capacità portante, q_u , per l'area ridotta. Se indichiamo con B ed L la larghezza e la lunghezza della fondazione e con e_b ed e_l l'eccentricità nella direzione di B ed L , le dimensioni ridotte sono espresse come $B' = B - 2e_b$ ed $L' = L - 2e_l$.

Nel caso presente otteniamo $B' = 0,50$ m ed $L' = 1,00$ m

$$Q_u = 301,58 \text{ kN}$$

Il coefficiente di sicurezza calcolato è

$$\mu = 301,58 / 60,00 = 5,03$$

Essendo il coefficiente di sicurezza richiesto $\eta=3.00$ e risultando $\eta < \mu$ la verifica è soddisfatta.

1.2 CEDIMENTI STIMATI CON IL METODO DI SCHMERTMANN (TERRENI SABBIOSI) E CARICHI DI 120 KPA

Profondità del piano di posa : -0,50 m dal piano campagna

Quota di falda : -13 m dal piano campagna

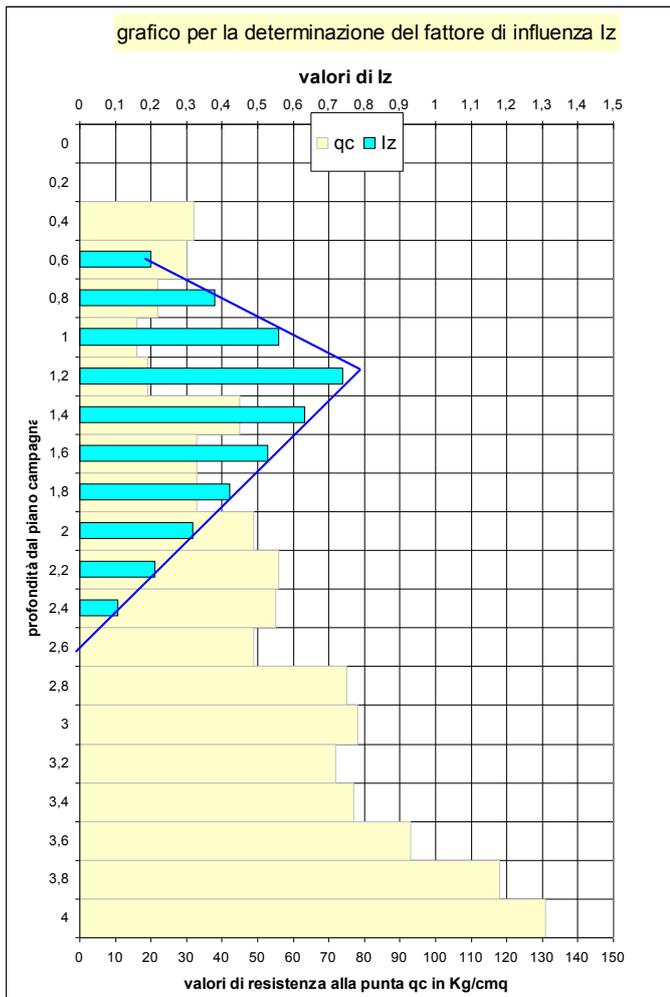
Spessore strato compressibile (m): **2,0**

Pressione efficace naturale a -B dalla quota di posa della fondazione (KPa): **19,5**

1.2.1 Risultati

Fattore d'influenza I_z massimo alla profondità -B: **0,74**

I singoli valori di I_z sono ottenuti per via grafica sulla base del diagramma riportato a



fianco a titolo di esempio:

S immediato = 0,9 cm

decorso del cedimento nel tempo:

anni	0,1	1	3	5	10	30
cm	0,92	1,10	1,19	1,23	1,29	1,37

1.3 CARICO AMMISSIBILE CON FONDAZIONI A -1,5 M DAL PIANO CAMPAGNA

Geometria fondazione e carichi

Fondazione nastriforme		
Base fondazione	[m]	0.50
Profondità piano di posa	[m]	1.50
Piano di posa orizzontale		
Pendio orizzontale		
Carichi applicati		
Carico verticale	[kN]	60.00
Eccentricità lungo la base	[m]	0.00
Carico orizzontale	[kN]	0.00
Caratteristiche di aderenza terreno-fondazione		
Angolo di attrito terreno-fondazione	[°]	20
Adesione terreno-fondazione	[kPa]	2

Descrizione strati terreno e falda

Simbologia adottata

Nr.	numero d'ordine dello strato a partire dal piano campagna
γ	peso di volume del terreno espresso in kN/mc
γ_w	peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in °

c coesione del terreno espressa in kPa
 S spessore dello strato espresso in m

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ	c	S
1	limo con sabbia	19,00	20,00	0	75	1,40
2	sabbia fine	19,50	20,00	33	0	5,00

Falda assente

Analisi della portanza

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Brinch - Hansen

La relazione adottata è la seguente :

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c + qN_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

dove i vari coefficienti sono stati definiti precedentemente.

Il calcolo è stato eseguito tenendo conto dei seguenti parametri :

Larghezza fondazione	$B = 0,50$	[m]
Larghezza ridotta $B' = B - 2e = 0,50$	[m]	
Profondità piano di posa	$D = 1,50$	[m]
Coefficiente di profondità (arctan(D/B))	$k = 1.25$	
Peso di volume	$\gamma = 19,50$	[kN/mc]
Angolo d'attrito	$\phi = 33,00$	[°]
Coesione	$c = 0$	[kPa]
Pressione geostatica sul piano di posa	$q = 29$	[kPa]
Coefficiente di spinta passiva	$K_p = 3.39$	

I fattori calcolati sono i seguenti :

$N_c = 38.638$	$N_q = 26.092$	$N_\gamma = 35.188$
$s_c = 1.000$	$s_q = 1.000$	$s_\gamma = 1.000$
$d_c = 1.350$	$d_q = 1.336$	$d_\gamma = 1.000$
$b_c = 1.000$	$b_q = 1.000$	$b_\gamma = 1.000$
$g_c = 1.000$	$g_q = 1.000$	$g_\gamma = 1.000$

Pertanto il valore della capacità portante è dato da

$$q_u = 0 + 996 + 172 = 1167 \text{ kPa}$$

Applicando il coefficiente di sicurezza, $\eta=3.00$, otteniamo per la tensione ammissibile il seguente valore

$$q_{amm} = 1117/3,00 = \mathbf{389 \text{ kPa}}$$

Il carico ultimo della fondazione si ottiene moltiplicando la capacità portante, q_u , per l'area ridotta. Se indichiamo con B ed L la larghezza e la lunghezza della fondazione e con e_b ed e_l l'eccentricità nella direzione di B ed L , le dimensioni ridotte sono espresse come $B' = B - 2e_b$ ed $L' = L - 2e_l$.

Nel caso presente otteniamo $B' = 0,50$ m ed $L' = 1,00$ m

$$Q_u = 583,52 \text{ kN}$$

Il coefficiente di sicurezza calcolato è

$$\mu = 583,52 / 60,00 = 9,73$$

Essendo il coefficiente di sicurezza richiesto $\eta=3.00$ e risultando $\eta < \mu$ la verifica è soddisfatta.

1.4 CEDIMENTI STIMATI CON IL METODO DI SCHMERTMANN (TERRENI SABBIOSI) E CARICHI DI 120 KPA

Profondità del piano di posa : -1,50 m dal piano campagna

Quota di falda : -13 m dal piano campagna

Spessore strato compressibile (m): **2,0**

Pressione efficace naturale a -B dalla quota di posa della fondazione (KPa): **39,0**

1.4.1 Risultati

Fattore d'influenza I_z massimo alla profondità -B: **0,65**

I singoli valori di I_z sono ottenuti per via grafica.

$$s_{\text{immediato}} = 0,3 \text{ cm}$$

decorso del cedimento nel tempo:

anni	0,1	1	3	5	10	30
cm	0,30	0,36	0,39	0,40	0,42	0,45

2. conclusione

Le analisi effettuate consentono di escludere problemi statici nelle condizioni geometriche e di carico sopra ipotizzate ($B= 0,5 \text{ m}$, $q = 120 \text{ KPa}$, $D= 0,5 \text{ e } 1,5 \text{ m}$)

La posa delle fondazioni a profondità limitate, entro i depositi limo sabbiosi presenti nel primo metro, porta ad un fattore di sicurezza alla rottura generalizzata $\cong 5$, ben superiore al limite prescritto dalla normativa (D.M. 11 marzo 1988), mentre in caso di sostituzione del deposito fine con calcestruzzo magro fino alla profondità di circa -1,5 m, il fattore di sicurezza risulterà circa doppio del caso precedente.

I cedimenti si stimano nel primo caso intorno al centimetro, mentre nel secondo si possono ritenere irrilevanti. La buona continuità laterale dei depositi, evidenziata con le prove penetrometriche, porta a giudicare molto limitato il rischio di cedimenti differenziali.

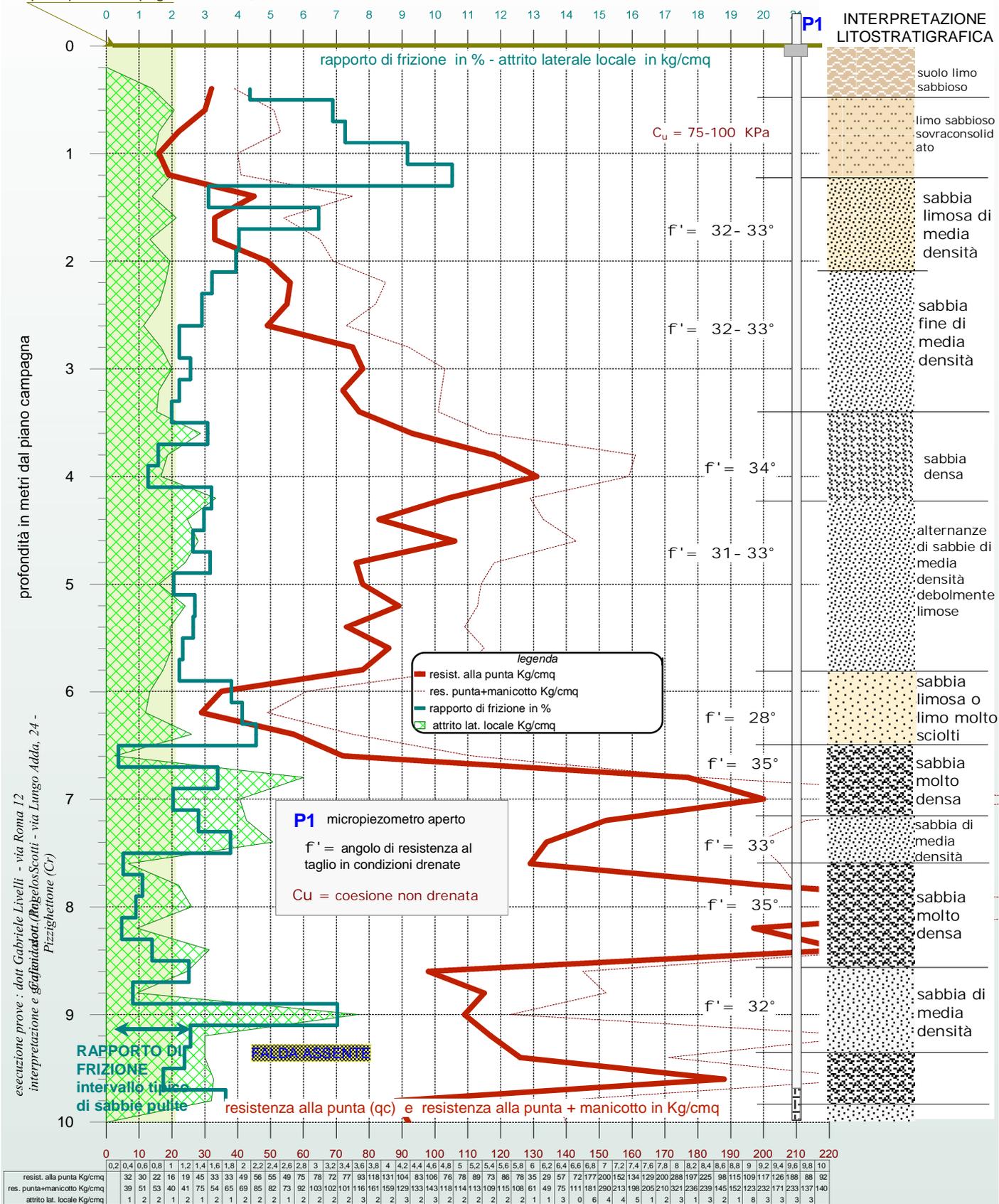
I carichi prodotti dalla sola fondazione a platea posta alla base dei loculi sono indicativamente stimati in circa 13 KPa, e quindi sono molto inferiori al carico ammissibile per fondazioni posate in superficie indicato nel § 1.1. I cedimenti in questo caso si possono ritenere praticamente nulli, o comunque inferiori alle capacità di risoluzione dei metodi d'indagine adottati.

In tutte le circostanze la posa delle fondazioni, o del basamento in calcestruzzo magro, dovrà avvenire a profondità non inferiori a 30 cm dal piano campagna.

prova penetrometrica statica (CPT) n° 1/2

data esecuzione delle prove : 24/05/2004

quota piano campagna = ca 59,2 m s.l.m.



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220

resist. alla punta Kg/cm ²	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8	8,2	8,4	8,6	8,8	9	9,2	9,4	9,6	9,8	10
res. punta+manicotto Kg/cm ²	32	30	22	16	19	45	33	33	49	56	55	49	75	78	72	77	93	118	131	104	83	106	76	78	89	73	86	78	35	29	57	72	177	200	152	134	129	200	288	197	225	98	115	109	117	126	188	88	92	
attrito lat. locale Kg/cm ²	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	0	6	4	4	5	1	2	3	1	3	2	1	8	3	3	3	3	

