

CITTÀ DI LODI



PIANO CIMITERIALE

COMUNE DI LODI

Studio Geologico

DATA: 5 dicembre 2011

REDATTO DA
dott. geologo Marco Daguati

IL DIRIGENTE

ADOTTATO CON DELIBERA DEL C.C. N°...DEL

APPROVATO CON DELIBERA DEL C.C. N°...DEL..

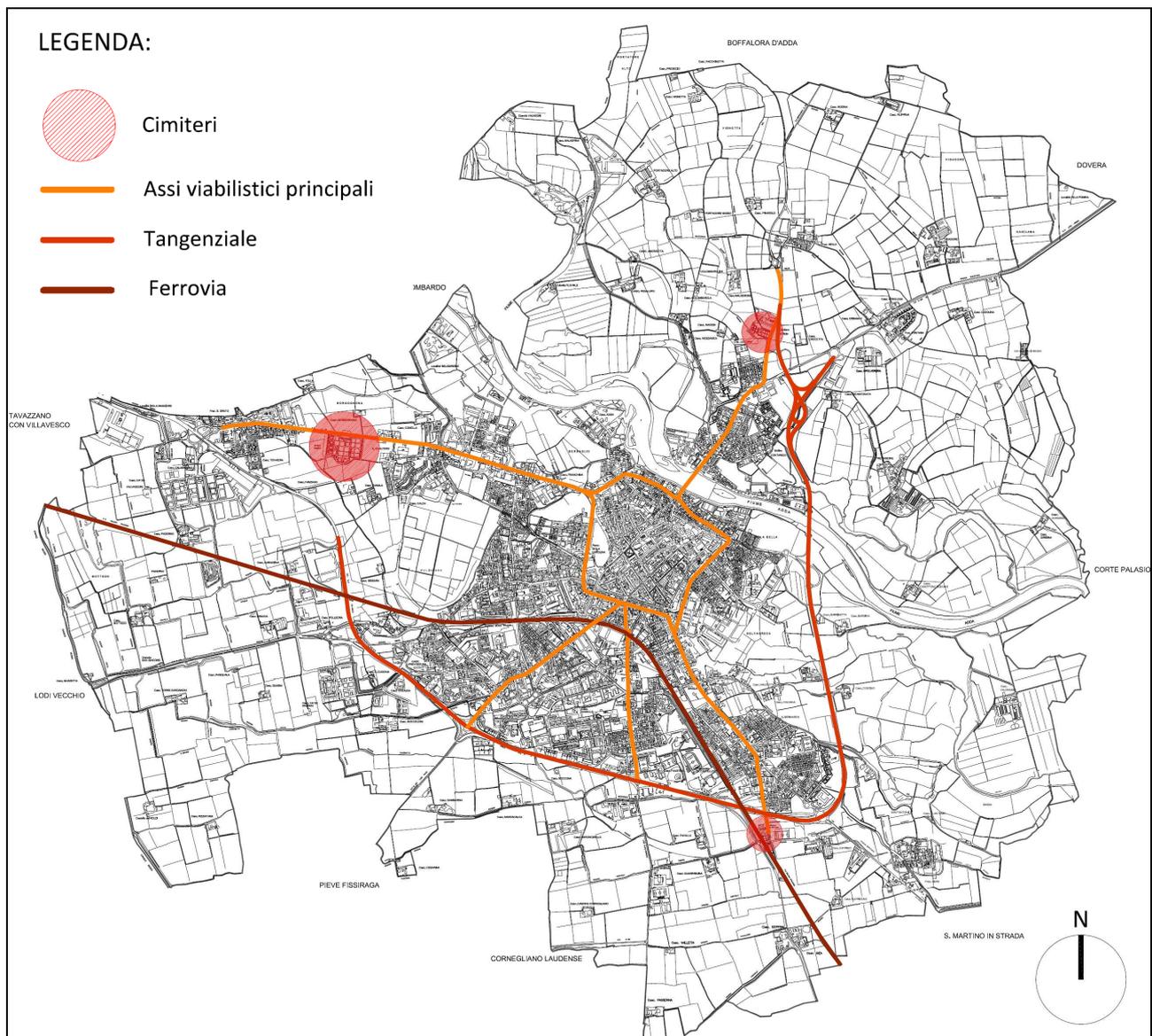
Sommario

1. Premessa
2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale
3. Caratteristiche idrogeologiche e piezometria
4. Indagini geotecniche: modalità esecutive e criteri interpretativi
 - 4.1 Prove penetrometriche del tipo statico a punta meccanica (CPT)
 - 4.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)
5. Cimiteri di Lodi
 - 5.1 Il Cimitero Maggiore
 - 5.1.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali
 - 5.1.2 Litologia dei terreni superficiali
 - 5.1.3 Modello geotecnico di riferimento e prime valutazioni in merito alla risposta geotecnica dei terreni di fondazione
 - 5.1.4 Considerazioni geologiche e geotecniche
 - 5.2 Il Cimitero di San Bernardo
 - 5.2.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali
 - 5.2.2 Litologia dei terreni superficiali
 - 5.2.3 Modello geotecnico di riferimento
 - 5.2.4 Valutazioni geologiche
 - 5.3 Il Cimitero di Riolo
 - 5.3.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali
 - 5.3.2 Litologia dei terreni superficiali
 - 5.3.3 Modello geotecnico di riferimento
 - 5.3.4 Valutazioni geologiche

1. Premessa

In seno al piano cimiteriale della Città di Lodi, lo scrivente ha ricevuto l'incarico di redigere lo studio geologico previsto dal Regolamento Regionale 9.11.2004, n. 6 "Regolamento in materia di attività funebri e cimiteriali".

Per ciascuno dei tre cimiteri sono state definite le caratteristiche geologiche, litostratigrafiche e idrogeologiche locali; lo studio è stato anche integrato con i risultati di indagini geotecniche in conformità a quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 e ss.mm.ii., esprimendo così giudizi oggettivi sulla fattibilità in termini geologici, idrogeologici e geotecnici degli interventi cimiteriali previsti nelle tre aree.



Corografia e individuazione dei cimiteri comunali

2. Inquadramento geologico e geomorfologico del territorio comunale

Il territorio in esame si inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: nel raggio di alcuni chilometri affiorano solo depositi continentali di origine fluviale e fluvioglaciale caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi, al di sotto dei quali si sviluppa un basamento di origine marina interessato da una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico.

Sin dal tardo Cretacico, la Pianura Padana ha rappresentato la parte frontale di due catene di opposta convergenza: l'Appennino settentrionale (N-vergente) e le Alpi meridionali (S-vergenti). Lo scontro tra le due catene ha strutturato una serie di bacini di piggy-back, ospitati sui thrust embriciati che costituiscono il fronte della placca Adria (un promontorio della zolla africana), dove una potente successione sin-orogenetica è andata progressivamente depositandosi.

Lo sviluppo geologico di questo lembo di Pianura Padana è quindi strettamente legato all'evoluzione della catena appenninica in una fase tardiva della sua storia tettonogenetica e rappresenta il risultato del riempimento cominciato nel Pliocene, dapprima marino e poi continentale, dei bacini ampiamente subsidenti delle avansosse padane. Studi sulla base della sequenza plio-quadernaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981) mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte più avanzato della struttura appenninica settentrionale: l'Arco del Monferrato (Elter e Pertusati, 1973), l'Arco Emiliano e l'Arco Ferrarese-Romagnolo.

In tale contesto, il Comune di Lodi si sviluppa a N del fronte settentrionale dell'Arco Emiliano; sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase tettonica pliocenica media-inferiore (databile dalla discordanza esistente tra i sedimenti plio-pleistocenici marini ed il substrato più antico), è opinione sempre più diffusa che i depositi alluvionali quadernari siano stati coinvolti in fasi neotettoniche, condizionando così anche la morfogenesi più recente (Braga et al., 1976; Pieri e Groppi, 1981; Burrato et al., 2003).

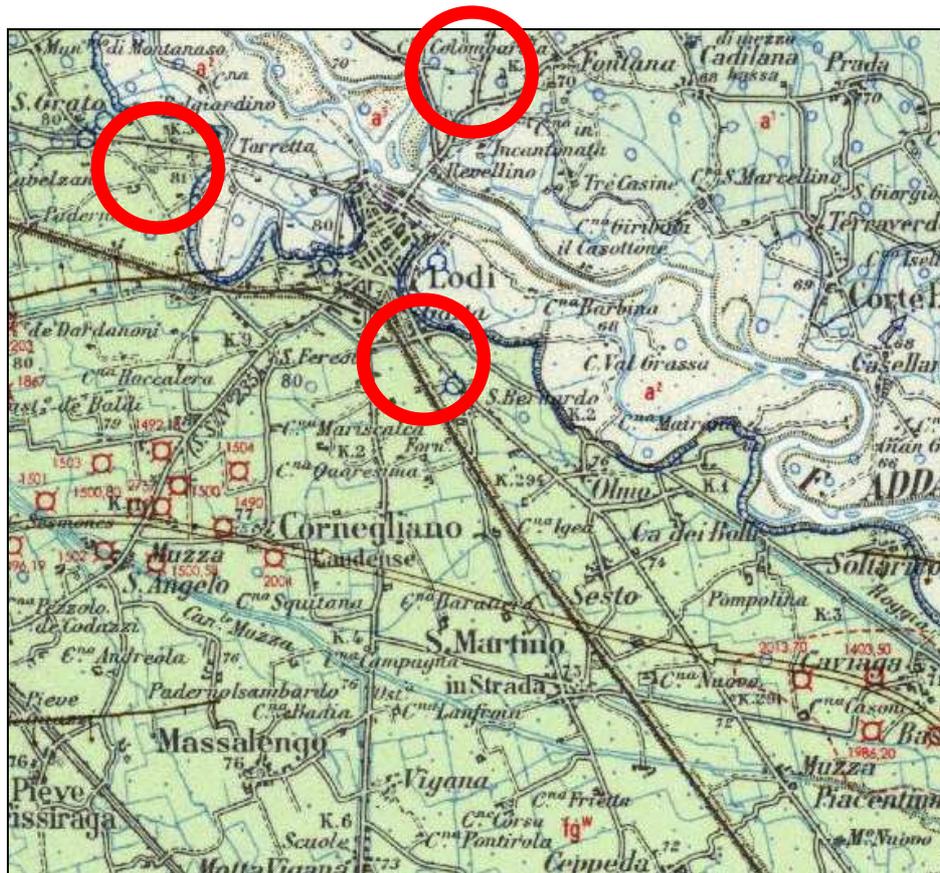
A sostegno di questo fatto, molti Autori indicano sia gli affioramenti di sedimenti pre-würmiani che emergono sul "Livello Fondamentale della Pianura" in prossimità degli assi di alcune strutture positive del substrato, sia alcune sintomatiche "anomalie" che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d'acqua, tra cui lo stesso Adda. A tal proposito va rilevato come la direzione media N-S del fiume subisca una netta deviazione a partire proprio dalla latitudine di Lodi, in corrispondenza degli assi strutturali sepolti dell'Appennino sepolto a cui si dispone sub-parallelo per lunghi tratti.

A conferma di un probabile condizionamento neotettonico della copertura quadernaria si rammenta come, anche recentemente (1951), i cataloghi sismici ricordino un evento con epicentro nel Lodigiano (a S di Lodi), localizzato esternamente ad importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di un fenomeno di rilascio tensionale legato alle strutture profonde sopra menzionate. A tale proposito va considerato che anche nelle aree sismicamente più attive della penisola italiana, i tempi di ritorno per i grandi terremoti sono superiori a 1000 anni, mentre l'attuale catalogo storico dei terremoti (considerato completo per eventi di magnitudo superiore a 5.5 solo dopo il 17° secolo) potrebbe non coprire adeguatamente il ciclo sismico della maggior parte delle aree sismogenetiche padane. Tuttavia, il confronto tra le deformazioni verticali a lungo termine (a partire dal Pleistocene superiore) e quelle a breve termine, calcolato utilizzando correlazioni geomorfologiche e misure geodetiche (De Martini et al., 1998), dimostra come per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico: tale fattore giustificherebbe comunque l'attività neotettonica e il condizionamento della sedimentazione e dei lineamenti morfologici di superficie (Burrato et al., 2003), riducendo il rischio sismico a cui è esposto questo settore padano.

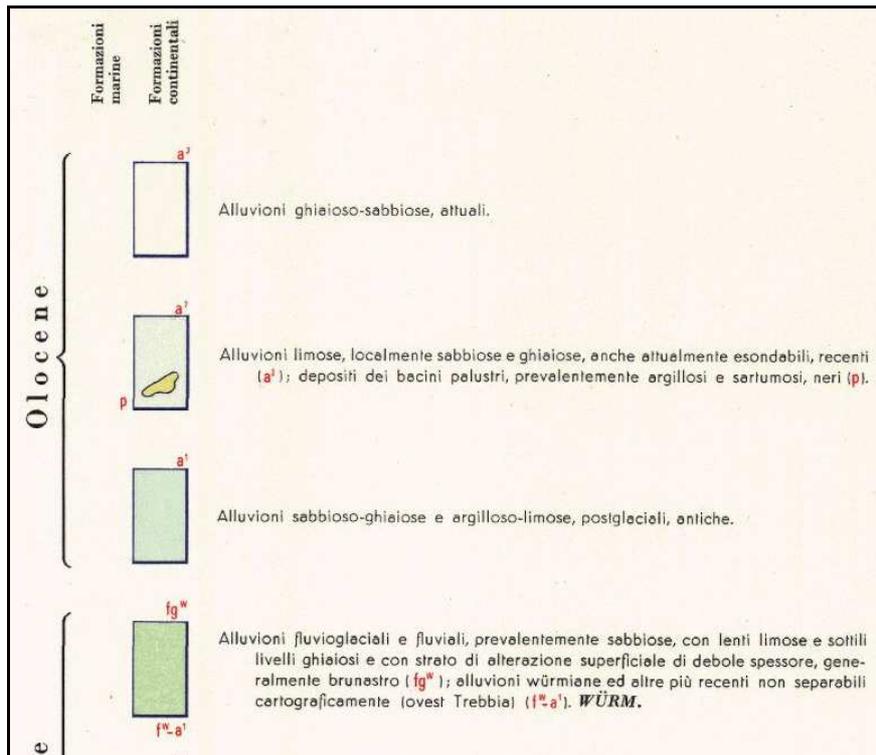
Come evidenziato dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Lombardia scala 1:250.000 e Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000), tutte le unità affioranti nel territorio comunale di Lodi sono di origine continentale.

Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali e di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene, sono:

- Alluvioni attuali (Olocene superiore) - si tratta di forme deposizionali in evoluzione, poste all'interno dell'alveo inciso del Fiume Adda (isole, barre di accrescimento ecc.) e sono costituite da depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi.
- Alluvioni medio-recenti (Olocene medio- superiore) – sono i depositi che costituiscono il substrato del principale ripiano posto all'interno della valle dell'Adda, terrazzati sui corsi d'acqua attuali e parzialmente inondabili in caso di piene straordinarie.
- Alluvioni antiche (Olocene inferiore) – si tratta dei depositi olocenici più antichi, presenti isolatamente ai margini della valle dell'Adda, posti ad una quota intermedia tra il Livello Fondamentale della Pianura e la piana alluvionale recente del corso d'acqua, da tempo indisturbati dai fenomeni sedimentari e morfogenetici del corso d'acqua.
- Fluviale Wurm (Pleistocene superiore) - è costituito da depositi prevalentemente sabbiosi, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro, affioranti nel substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato) a valle della linea delle risorgive.



Carta Geologica d'Italia, Foglio 60 "Piacenza" - in rosso i tre cimiteri della Città di Lodi



Dal punto di vista morfologico, il territorio di Lodi si sviluppa su una serie di ripiani sub-pianeggianti, fra loro altimetricamente sfalsati e degradanti verso l'Adda. Quest'ultimi derivano da una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione ad opera del fiume Adda che oggi scorre all'interno della propria valle alluvionale dalla tipica forma "a cassetta". Nel dettaglio si riconoscono due sistemi morfologici differenti:

- Il "Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento post-glaciale dell'Adda" (che ospita la frazione di **Riolo e il suo cimitero**).
- Il "Livello Fondamentale della Pianura" (sul quale sorge il nucleo antico della Città di Lodi, ivi compreso il **Cimitero Maggiore** e il **Cimitero di San Bernardo**). I depositi terrazzati tardo pleistocenici formano un ripiano debolmente immergente verso S, caratterizzato da una marcata omogeneità planoaltimetrica e non più interessato dall'idrografia principale, nonostante sia caratterizzato da tracce di idrografia abbandonata. I processi che condussero alla formazione di questa superficie sono indubbiamente polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi; la superficie continua ed arealmente estesa del Livello Fondamentale della Pianura testimonia l'arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell'instaurarsi di condizioni fortemente erosive negli affluenti di sinistra del Po, in particolare l'Adda.

3. Caratteristiche idrogeologiche e piezometria

La geologia del sottosuolo comprende notevoli variazioni laterali e verticali in funzione degli eventi neotettonici e sedimentari che hanno coinvolto l'area nel Quaternario. La successione idrogeologica a scala regionale è definita, sulla base dei dati di cui si dispone, da tre unità ben distinte anche se non sempre individuabili altrettanto chiaramente. Dalla più superficiale alla più profonda le unità affioranti sono le seguenti:

- Unità ghiaioso-sabbiosa: è costituita nella parte più settentrionale del territorio padano dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud alle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti. Questa unità è costituita da depositi alluvionali (recenti ed antichi) e da quelli fluvioglaciali wurmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano più limitate. Essa rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione tipicamente continentale, fluviale e fluvio-glaciale. E' costituita da granulometrie progressivamente più fini da N a S; il colore dei sedimenti fini denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più importante e tradizionalmente utilizzata in quanto caratterizzata da valori di trasmissività molto elevati. L'elevata permeabilità consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione da corsi d'acqua o canali artificiali; la conducibilità idraulica che caratterizza questa unità è compresa tra valori di 10^{-3} e 10^{-4} m/s mentre la trasmissività è, in linea generale, superiore a 10^{-2} m²/s.
- Unità sabbioso-argillosa: sottostante alla litozona ghiaioso-sabbiosa, è da questa separata da un contatto graduale e di difficile ubicazione. E' suddivisibile in due sub-unità, la prima costituita da argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitosi e caratteristica di ambienti fluvio-palustri, la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità è molto variabile nelle due sub-unità in funzione delle differenze granulometriche. Trattandosi di litotipi a granulometria estremamente fine, i valori di conducibilità idraulica sono piuttosto bassi e dell'ordine di 10^{-5} – 10^{-6} m/s nei livelli più produttivi; anche la trasmissività risulta mediocre ed in genere inferiore a 10^{-3} m²/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee, questa unità rappresenta il substrato dell'acquifero tradizionale; l'acqua è contenuta in livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.
- Unità argillosa: è l'unità più profonda e più antica nell'ambito dei sedimenti quaternari e corrisponde a condizioni di sedimentazione tipicamente marine. Presenta permeabilità scarsa o nulla con rari livelli acquiferi; viene generalmente considerata il substrato idrogeologico delle unità soggette ad eventuali captazioni.

L'intera successione quaternaria, dunque, viene interpretata come fase terminale del progressivo riempimento del bacino padano, con condizioni di sedimentazione da marine a continentali.

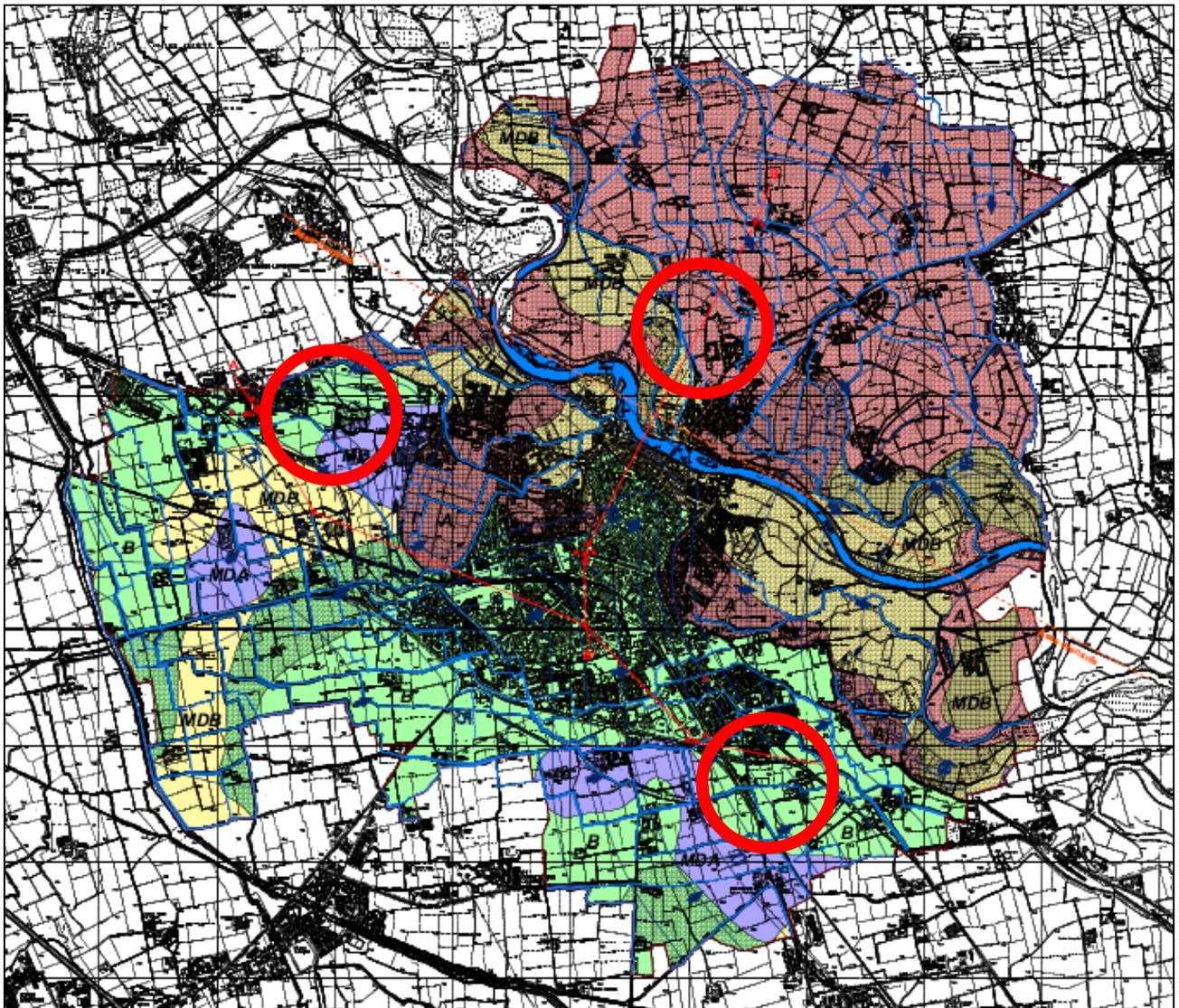
Dall'esame delle stratigrafie disponibili si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale in cui i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, sono ospitati entro potenti successioni impermeabili. A scala sovracomunale si sviluppa un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale si riconoscono due circuiti chiaramente separati:

- Un circuito superficiale, che a scala locale assume caratteristiche da freatiche a semiconfinate (in presenza di terreni limosi di copertura) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua).

- Un circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo il deflusso avviene solo in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Per quanto concerne le linee di flusso della falda ospitata nel circuito idrogeologico più superficiale (ovvero quello per il quale sono possibili interferenze con le attività antropiche di superficie), esse sono sostanzialmente influenzate dal fiume Adda che costituisce l'asse di drenaggio del territorio lodigiano (figura seguente); la soggiacenza della falda è fortemente condizionata sia dai livelli idrometrici del fiume (che costituisce il livello di base delle acque sotterranee di questo settore) soprattutto nella pianura olocenica, sia dalle alte scarpate morfologiche che terrazzano il Livello Fondamentale della Pianura.

Ne derivano direzioni di flusso orientate verso quadranti N-orientali per il territorio sul quale sorgono il Cimitero Maggiore e il Cimitero di San Bernardo, con soggiacenza dell'ordine della decina di metri per il primo e di oltre 5 m per il secondo. Per il Cimitero di Riolo, invece, la direzione di flusso è invertita (orientata verso quadranti S-orientali) e la soggiacenza è limitata a pochi metri dal piano campagna, con significative escursioni connesse con l'idrometria dell'Adda.



Carta idrogeologica del Comune di Lodi (allegata al vigente PGT); nei cerchi rossi i tre cimiteri.

4. Indagini geotecniche: modalità esecutive e criteri interpretativi

Come accennato in premessa, per ciascuno dei cimiteri è stata eseguita una campagna di indagini volta a definire un modello di riferimento del sottosuolo, con lo scopo di valutare preliminarmente la compatibilità geotecnica dei terreni con le strutture di fondazione degli ampliamenti previsti. Ciascuna indagine si è avvalsa di alcune prove penetrometriche del tipo statico a punta meccanica (CPT) (Cimitero Maggiore e Cimitero di San Bernardo) o del tipo dinamico continuo (SCPT) (Cimitero di Riolo).

Nella ricostruzione della stratigrafia e del contesto geologico e geotecnico di ogni singola area cimiteriale sono emersi i seguenti aspetti, da mantenere in debita considerazione anche durante la progettazione strutturale delle future opere:

- il substrato di ciascuna area è costituito da unità geologico-tecniche che presentano caratteristiche differenti;
- l'articolazione stratigrafica e geotecnica si manifesta con variazioni, sia in senso verticale che orizzontale, tipiche dell'ambiente deposizionale che ha dato origine ai depositi di substrato;
- facendo riferimento a quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 ed alla Circolare Esplicativa del C.S.L.P., per ciascuna unità che compone il modello geotecnico vanno adottati i valori caratteristici dei parametri geotecnici ($\gamma(fk)$, $D_r(fk)$, $\phi(fk)$ e $E(fk)$), definiti come media probabilistica della distribuzione dei risultati ottenuti (ovvero il valore al di sotto del quale si colloca il 50% dei risultati).

4.1 Prove penetrometriche del tipo statico a punta meccanica (CPT)

L'indagine mediante penetrometro statico consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno.

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta che agisce in modo alternato sulla punta e su un manicotto collegato: la prova è quindi discontinua e le misure di resistenza sono eseguite ed annotate ogni 20 cm di penetrazione.

Sulle aste è stato installato un dispositivo (anello allargatore) per ridurre l'effetto dell'attrito del terreno, facilitando l'approfondimento a parità di spinta disponibile.

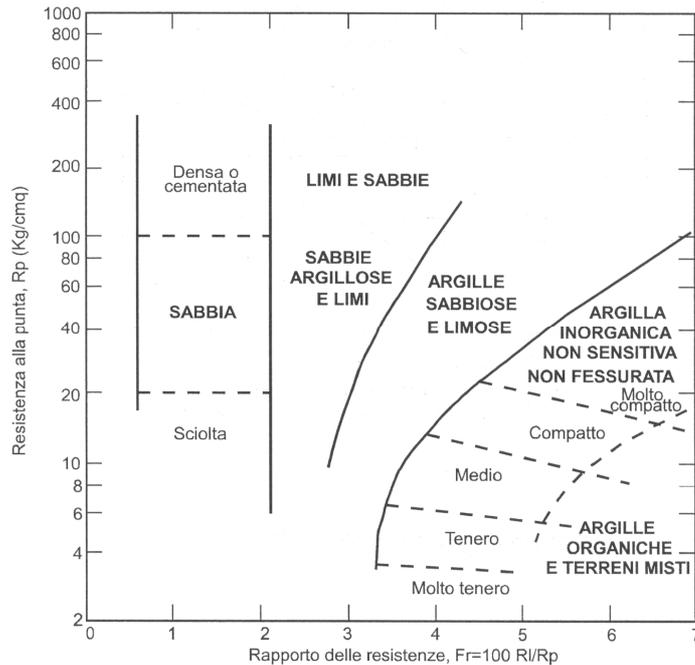
Vengono così rilevati ad intervalli costanti (20 cm):

- la R_p o resistenza all'avanzamento della sola punta;
- la R_l tot , ovvero la resistenza complessiva all'avanzamento della punta e del manicotto di dimensioni note.

La documentazione allegata comprende sia copia delle letture eseguite direttamente dallo strumento penetrometrico, sia i grafici secondo le seguenti coppie di valori:

- R_p (o q_c) / profondità;
- R_l / profondità.

Dall'analisi dei risultati ed attraverso il rapporto R_p/R_l è possibile risalire con una certa approssimazione alla natura litologica dei terreni attraversati, utilizzando come discriminante il metodo suggerito da Schmertmann (1978); quest'ultimo considera come indicativo della litologia il rapporto fra la resistenza alla punta ed il rapporto F_r (figura seguente).



Tuttavia, si rammenta che, sebbene l'indagine penetrometrica tipo CPT fornisca dati geotecnici attendibili, le informazioni sulla natura litologica e granulometrica dei terreni derivano sostanzialmente da correlazioni del tipo empirico.

Nell'interpretazione dei risultati, le prove penetrometriche sono state assimilate a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito e, nella definizione del comportamento geotecnico, è stata adottata una distinzione fondamentale fra terreni incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

Per quanto concerne la definizione dei parametri geotecnici, utilizzando le più note e diffuse correlazioni basate sui dati CPT si è proceduto al calcolo di:

- coesione non drenata (C_u) e modulo edometrico (E_d) per i terreni coesivi;
- angolo di attrito interno (ϕ), densità relativa (D_r) e modulo di deformazione (E) per i terreni incoerenti.

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici (i cui risultati sono stati successivamente rivisti in modo critico) sono i seguenti :

ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO ϕ .

Per stimare questo fondamentale parametro sono stati utilizzati differenti metodi in cui l'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace, successivamente confrontati fra loro; in particolare:

Metodo di CAQUOT:

$$\phi = 9,8 + 4,96 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)$$

Metodo di KOPPEJAN:

$$\phi = 5,8 + 5,21 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)$$

Metodo di DE BEER:

$$\phi = 5,9 + 4,76 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)$$

DENSITÀ RELATIVA DR.

Definisce il grado di addensamento dei terreni attraversati; sono stati utilizzati i seguenti metodi:

HARMAN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di sabbia e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace.

$$D_r = 34.36 \cdot \ln \left(\frac{q_c}{12,3 \cdot \sigma'_v{}^{0,7}} \right)$$

In cui:

σ'_v : tensione verticale efficace

q_c : resistenza alla punta

SCHMERTMANN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace.

$$D_r = -97,8 + 36,6 \cdot \ln q_c - 26,9 \cdot \ln \sigma'_v$$

MODULO DI DEFORMAZIONE E.

Definisce il valore del modulo di Young utilizzando la seguente correlazione empirica (Schmertmann):

$$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 2,5 * Rp$$

COESIONE NON DRENATA CU.

E' stato utilizzato il metodo empirico proposto da Lunne e Eide (valido, ovviamente solo per i terreni coesivi) :

$$Cu \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = (Rp - \sigma_v) / K$$

con K = costante compresa fra 12 e 19 (in funzione della plasticità)

MODULO EDOMETRICO E.

E' stato calcolato attraverso la correlazione empirica Rp-Cu definita dalla seguente relazione, valida come stima di primo riferimento per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille):

$$Ed \text{ (kg * cm}^{-2}\text{)} = e^{3,12+1,08Cu}$$

PESO DI VOLUME NATURALE γ_n .

Per i terreni coesivi, è stata utilizzata la seguente formula di confronto:

$$\gamma_n \text{ (t/m}^3\text{)} = 2 + 0,515 * \text{Log (Cu)}$$

Per i terreni incoerenti, invece, è stato assunto un valore medio di γ_n variabile tra 1,8 e 1,9 t/m³.

4.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

L'indagine mediante penetrometro dinamico continuo (SCPT) pesante (DPSH) si concretizza nell'infissione di una massa battente che esercita una energia costante; l'infissione avviene per tratti

consecutivi di 30 cm, durante la quale vengono misurati il numero di colpi (N_p) necessari alla penetrazione della punta. Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura impiegata sono le seguenti:

- Peso massa battente (Maglio) $M = 73 \text{ Kg}$
- Altezza di caduta libera del maglio $H = 0,75 \text{ m}$
- Punta conica : diametro $D_p = 50,8 \text{ mm}$ angolo apertura $= 60^\circ$
- Aste: peso $= 4,6 \text{ Kg/m}$

Poiché le correlazioni esistenti in letteratura ed utilizzate per l'interpretazione delle prove penetrometriche fanno riferimento essenzialmente alle prove tipo "S.P.T." (N_{spt}), i valori di N_p misurati sono stati debitamente trasformati in funzione delle modalità esecutive adottate. Per il penetrometro DPSH la relazione tra il numero di colpi N_{spt} (normalizzati al 60%) e i dati N_p (anch'essi normalizzati) misurati alle medesime quote è:

$$N_{spt}(60\%) = C \cdot N_p(60\%)$$

In cui

$$C = 1.5 - 2.0 \text{ Terreni con ghiaie}$$

$$C = 2.0 - 2.8 \text{ Terreni sabbiosi}$$

$$C = 2.8 - 4.0 \text{ Argille +/- limose}$$

La documentazione allegata comprende sia copia delle letture delle grandezze registrate a campagna (N_p), sia i grafici dei valori opportunamente rielaborati ($N_{spt} = C \cdot N_p$). In fase di rielaborazione, tuttavia, i risultati sono stati rivisti in modo critico: è bene non scordare, infatti, sia i limiti operativi dello strumento, sia la possibilità di errore insita nella misura dei valori di N_p , soprattutto nel caso di ghiaie a granulometria grossolana che possono produrre valori ben più elevati della effettiva resistenza del terreno.

Per quanto concerne l'esecuzione delle prove, si rammenta che l'utilizzo del rivestimento nelle prove S.C.P.T. serve essenzialmente a ridurre l'attrito sulla batteria delle aste nel caso di terreni coesivi: non esiste in letteratura una correlazione ufficialmente adottata fra il numero di colpi di punta e di rivestimento misurati e la litologia degli strati attraversati.

Pertanto, sebbene l'indagine penetrometrica tipo S.C.P.T. fornisca dati geotecnici attendibili, le informazioni sulla natura litologica e granulometrica dei terreni attraversati non trovano in letteratura un supporto scientifico e derivano soprattutto dal tipo di risposta allo strumento adottato.

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici sono i seguenti (successivamente rivisti in modo critico):

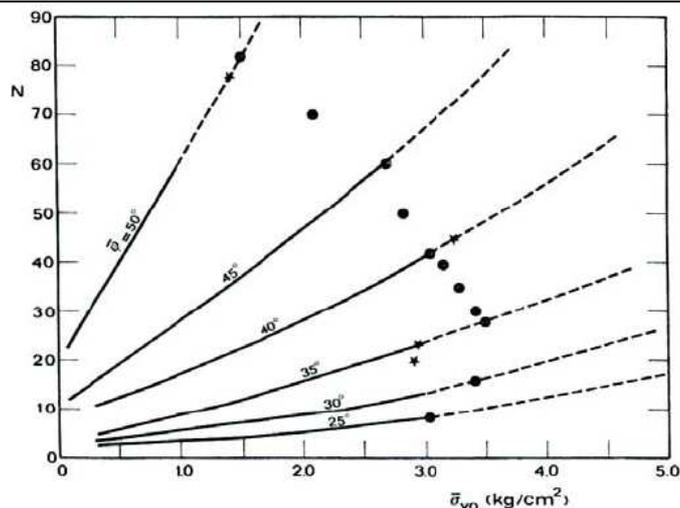
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO ϕ .

Per stimare questo fondamentale parametro sono stati utilizzati i seguenti metodi, confrontandone i risultati:

SHIOI & FUKUNI o "Road Bridge Specification" (1982), valido per tutti i tipi di suolo, in cui l'angolo è pari a

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{spt}} + 15$$

DE MELLO (1971): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l'angolo si ricava da un grafico in funzione di N_{spt} e σ_{vo} [kg/cm^2].



MALCEV (1964): questa correlazione è valida per i terreni sabbiosi e per qualsiasi profondità, tranne che per i primi 2 m sotto il piano campagna. L'angolo è funzione del numero di colpi e della pressione litostatica efficace, valutata in kg/cm^2 .

$$\phi = 20 - 5 \cdot \log(\sigma_v') + 3,73 \cdot \log(N_{spt})$$

DENSITÀ RELATIVA DR.

Sono stati utilizzati in modo integrato i metodi di *Gibbs e Holtz (1957)*, di *Schultze e Mezenback (1961)* e di *Skempton (1986)*.

MODULO DI DEFORMAZIONE E.

E' stato calcolato attraverso diversi metodi, confrontati tra loro criticamente:

BURLAND & BURBIDGE (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione di N_{spt}

$$\begin{aligned} \text{Per } N_{spt} = 4 & \quad E = (1,6 \div 2,4) * N_{spt} \\ \text{Per } N_{spt} = 10 & \quad E = (2,2 \div 3,4) * N_{spt} \\ \text{Per } N_{spt} = 30 & \quad E = (3,7 \div 5,6) * N_{spt} \\ \text{Per } N_{spt} = 60 & \quad E = (4,6 \div 7,0) * N_{spt} \end{aligned}$$

D'APOLLONIA ET AL.: questa correlazione è valida per le sabbie con ghiaia e per le sabbie sovraconsolidate. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità.

$$\begin{aligned} \text{Per ghiaia + sabbia} & \quad E = 7,71 * N_{spt} + 191 \\ \text{Per sabbia SC} & \quad E = 10,63 * N_{spt} + 375 \end{aligned}$$

WEBB: questa correlazione è valida solo per le sabbie sotto falda e per le sabbie con fine plastico:

$$\begin{aligned} \text{Per sabbia satura} & \quad E = 4,87 * N_{spt} + 73 \\ \text{Per sabbia con fine plastico} & \quad E = 3,22 * N_{spt} + 16 \end{aligned}$$

SCHMERTMANN (1978): Definisce il valore del modulo di Young utilizzando la seguente correlazione empirica:

$$E \text{ (t/mq)} = 2 \times B \times N_{spt}$$

con

N_{spt} = numero di colpi medio nello strato.

B = costante variabile in funzione della litologia

5. Cimiteri di Lodi

Il Comune di Lodi è dotato di tre Cimiteri:

- il Cimitero Maggiore;
- il Cimitero di San Bernardo;
- il Cimitero di Riolo;

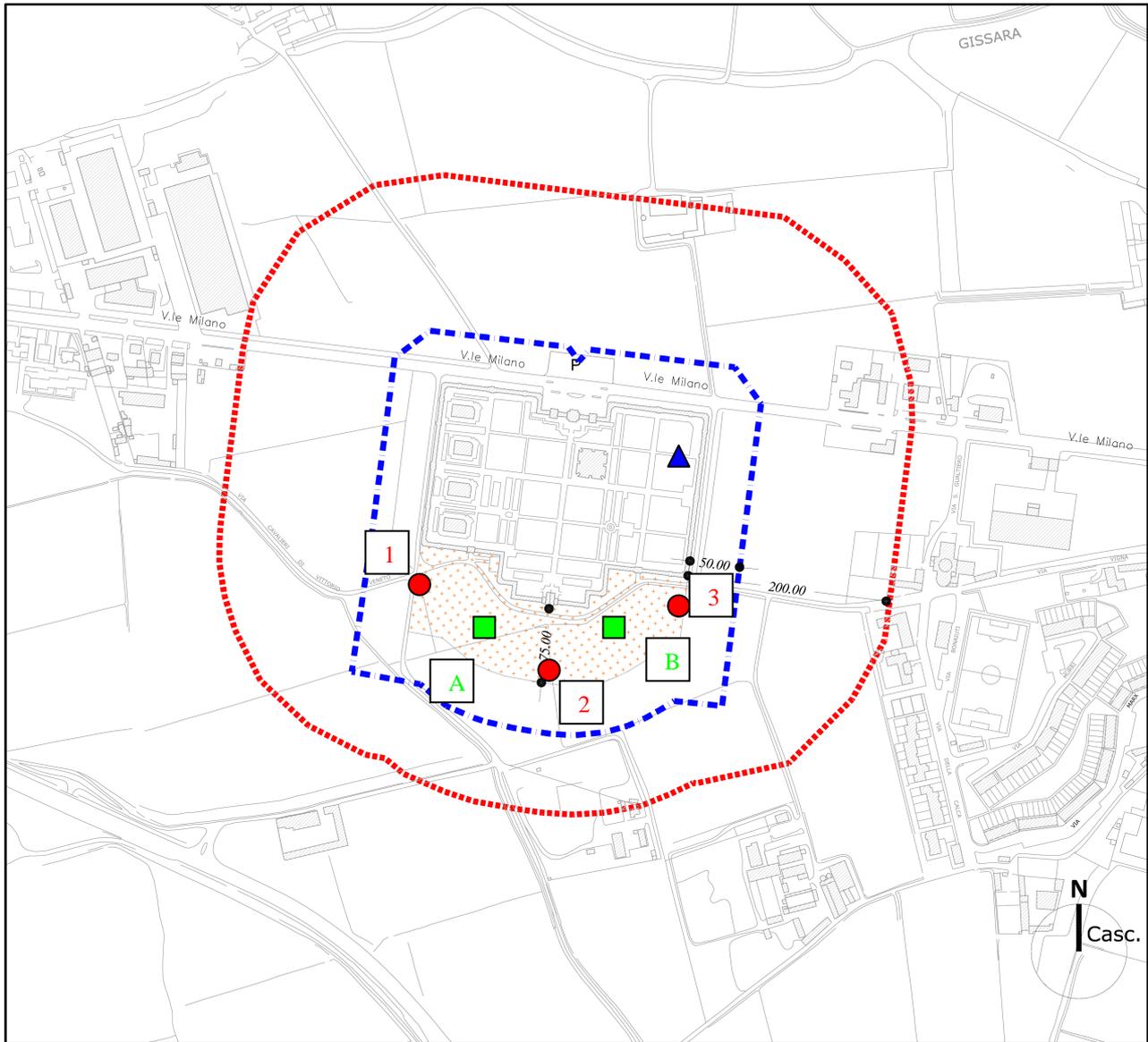
Mentre i primi due si sviluppano a S dell'Adda sul ripiano pleistocenico noto come "Livello Fondamentale della Pianura", il terzo occupa un ripiano alluvionale olocenico posto a N dello stesso Fiume.

5.1 Il Cimitero Maggiore

Il **Cimitero Maggiore** è ubicato in Viale Milano all'esterno del contesto urbano consolidato, in prossimità di antichi cascinali che in parte hanno perso la loro natura per trasformarsi in residenza. Il Cimitero si estende su di un'area di mq. 49.049 ed è delimitato sui lati da una cinta muraria di natura monumentale di particolare pregio; la previsione è quella di un ampliamento dello stesso su area di proprietà del Comune per una superficie pari a mq. 24.488.

Al fine di definire le caratteristiche dei terreni di substrato, sono stati utilizzati i dati disponibili di un microsondaggio realizzato all'interno del Cimitero e sono stati eseguiti alcuni pozzetti esplorativi nella prevista area di espansione; all'interno di quest'ultimi è stata condotta una prova di permeabilità sui terreni naturali allo scopo sia di meglio caratterizzare il comportamento dei terreni naturali nei confronti delle acque di infiltrazione, sia di contribuire al dimensionamento delle future opere di smaltimento delle acque meteoriche.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella seguente figura.



LEGENDA

- Prova penetrometrica e relativa numerazione
- Pozzetto esplorativo e relativa numerazione
- ▲ Sondaggio geognostico

5.1.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali

All'interno del nucleo storico del Cimitero Maggiore è stato eseguito un microsondaggio finalizzato a ricostruire il profilo stratigrafico locale e valutare l'eventuale presenza di corpi acquiferi sotterranei che potessero inficiare la pratica delle inumazioni. Nel dettaglio dell'area è emersa la presenza di terreni di natura prevalentemente limosa sino a circa 4-5 m di profondità, seguiti a quote inferiori da depositi sabbiosi. Entro le profondità raggiunte non è stata rinvenuta acqua sotterranea in accordo con i dati più generali dell'area che collocano la superficie piezometrica del primo acquifero a oltre 10 m di soggiacenza, condizionata dall'effetto drenante esercitato dall'Adda e dalla presenza delle alte scarpate morfologiche che delineano la valle alluvionale olocenica del Fiume a breve distanza in direzione N dal Cimitero.

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

<i>profondità (m. da p.c.)</i>				<i>Classificazione USCS</i>	<i>Natura dei terreni</i>
Da	0.00	a	0.20		Ghiaietto
Da	0.20	a	1.40	SM	Sabbia molto fine limosa di colore nocciola
Da	1.40	a	1.50	ML	Limo molto consistente plastico con sabbia fine di colore nocciola
Da	1.50	a	2.35	SW	Sabbia fine di colore nocciola
Da	2.35	a	4.55	ML-CL	Limo argilloso molto consistente plastico di colore nocciola
Da	4.55	a	5.43	SW	Sabbia da fine a media di colore grigio
Da	5.43	a	5.46	SM	Sabbia limosa rossastra
Da	5.46	a	6.40	SW	Sabbia da fine a media di colore grigio
Da	6.40	a	6.43	SM	Sabbia limosa rossastra
Da	6.43	a	7.20	SW	Sabbia da fine a media di colore grigio
<i>falda: assente</i>					



Sondaggio S1 da 0.00 a 5.40 m



Sondaggio S1 da 5.40 a 7.20 m

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

Dott. Geol. Marco Daguati Via A. Diaz, 22 26845 Codogno (LO) Tel. Fax: 0377.433021	Committente: Comune di Lodi Località: Cimitero Maggiore Lodi (LO), Viale Milano	Scala: <input type="text" value="1:100"/>	Data: <input type="text" value="20/07/2011"/> Sondaggio n. <input type="text" value="S1"/>
---	--	---	--

Attrezzatura e metodo di perforazione		
<input checked="" type="checkbox"/> Campione rimaneggiato	<input type="checkbox"/> Campione a percussione	<input type="checkbox"/> LEFRANC
<input type="checkbox"/> Campione S.P.T.	<input type="checkbox"/> Campione ind. a percussione	prova di permeabilità
<input type="checkbox"/> Campione da Vane Test	<input type="checkbox"/> Campione ind. rotativo	<input type="checkbox"/> LUGEON

Quota di riferimento (m)	Profondità (m)	Sezione terreno	Campione	Descrizione litologica	Piezometro	Completamento	Max	Vane test	Residuo	Profondità (m)	S.P.T.	Falda	% Carotaggio
	0.20			Ghiaietto									
	1.40			Sabbia molto fine limosa di colore nocciola									
	1.50			Limo molto consistente plastico con sabbia fine di colore nocciola									
	2.35			Sabbia fine di colore nocciola									
	4.55			Limo argilloso molto consistente plastico di colore nocciola									
	5.43			Sabbia da fine a media di colore grigio									
	5.46			Sabbia limosa rossastra									
	6.40			Sabbia da fine a media di colore grigio									
	6.43			Sabbia limosa rossastra									
	7.20			Sabbia da fine a media di colore grigio									

5.1.2 Litologia dei terreni superficiali

Sulla verticale del previsto ampliamento sono state eseguiti due pozzetti esplorativi con pala meccanica e una prova di permeabilità (all'interno del pozzetto A) alla profondità di 1.90 m. All'interno dei pozzetti esplorativi sono stati osservati i seguenti profili stratigrafici:

Pozzetto A					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	1.50	ML	Limo sabbioso leggermente argilloso con ciottoli millimetrici di colore nocciola
Da	1.50	a	2.20	SW	Sabbia fine con limo di colore nocciola
<i>falda: assente</i>					

Pozzetto B					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.90	ML	Limo con argilla consistente plastico di colore nocciola
Da	0.90	a	1.40	SW	Sabbia fine di colore nocciola
Da	1.40	a	2.00		Sabbia da fine a media con ciottoli da millimetrici a centimetrici di colore grigio
Da	2.00	a	2.80	SW	Sabbia media con ciottoli da millimetrici a centimetrici di colore grigio
<i>falda: assente</i>					



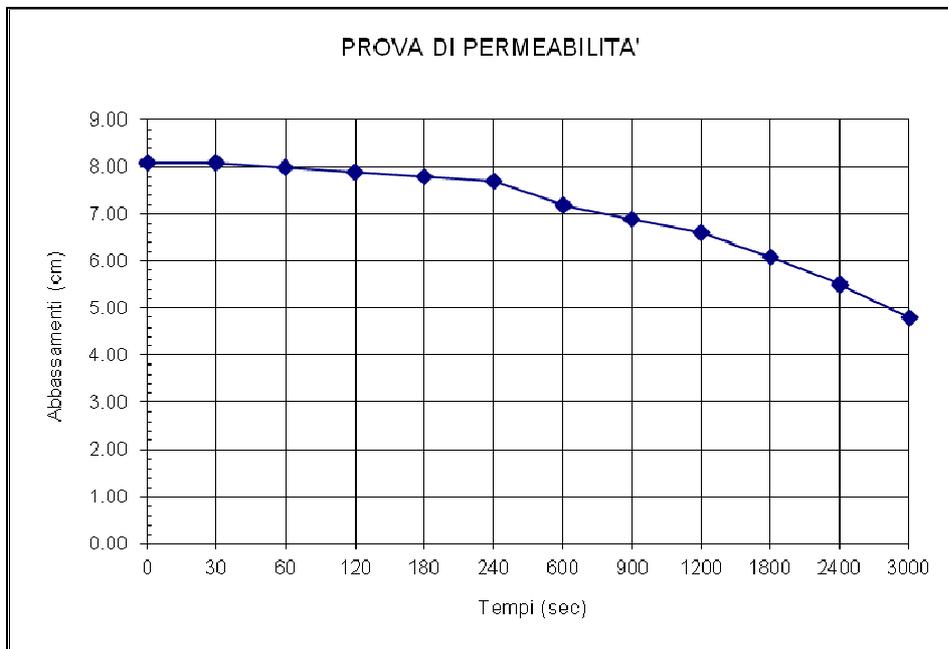
Pozzetto A



Pozzetto B

Nella tabella seguente si riportano le misure registrate durante la prova di permeabilità a carico variabile, eseguita a circa 1.90 m di profondità, ed il relativo grafico “abbassamenti/tempi”:

PROVA DI PERMEABILITÀ			
Tempo (secondi)	Tempo (minuti)	Livello (cm)	Abbassamento (cm)
0	0.0	8.10	0.00
30	0.5	8.10	0.00
60	1.0	8.00	0.10
120	2.0	7.90	0.20
180	3.0	7.80	0.30
240	4.0	7.70	0.40
600	10.0	7.20	0.90
900	15.0	6.90	1.20
1200	20.0	6.60	1.50
1800	30.0	6.10	2.00
2400	40.0	5.50	2.60
3000	50.0	4.80	3.30



Attraverso la prova è stato possibile ricavare la capacità di assorbimento del terreno, definendo il coefficiente di permeabilità-filtrazione K [m/s] con la seguente espressione (Civita M., 2005):

$$K = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot 1 + \frac{2h_m}{b} / 27 * \frac{h_m}{b} + 3$$

dove

h_1, h_2 = altezze dell'acqua in due istanti di tempo differenti, rispettivamente t_1 e t_2 ;

b = lato della trincea;

h_m = altezza dell'acqua (media tra h_1 e h_2)

Svolgendo opportunamente i calcoli si ottiene un valore di permeabilità $K = 1.54 * 10^{-6}$ m/s: il valore calcolato per la prova di permeabilità viene confermato da quelli noti in letteratura per depositi costituiti da miscele di sabbie e limi a bassa permeabilità, come indicato nella seguente tabella:

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

5.1.3 Modello geotecnico di riferimento e prime valutazioni in merito alla risposta geotecnica dei terreni di fondazione

Utilizzando i dati ottenuti dalla specifica indagine è stato possibile discretizzare il seguente profilo geotecnico verticale:

Unità A	Sotto l'orizzonte vegetale più superficiale e il sottostante orizzonte pedogenizzato a matrice limosa (spessore variabile tra 1 e 2 m) si riconosce un deposito sabbioso-limoso di modeste proprietà geotecniche; rielaborando i valori penetrometrici per quest'ultimo sono stati calcolati un angolo di attrito che varia tra un minimo $\Phi=25-26^\circ$ (fra 3 e 4 m di profondità) e un massimo di 28° (fra 2 e 3 m), al quale corrisponde rispettivamente un modulo di deformazione minimo $E=50-60 \text{ kg/cm}^2$ e un massimo $E=80 \text{ kg/cm}^2$. Va tuttavia segnalata una singolare anomalia sulla verticale n. 1, in corrispondenza della quale si sviluppa un deposito con una elevata componente limo-argillosa sino a 2.5 m di profondità.
Unità B	Alla base dell'unità A si rileva un netto incremento delle resistenze penetrometriche, caratteristiche di un deposito incoerente (sabbia prevalente) mediamente addensato, per il quale sono stati calcolati un angolo di attrito medio $\Phi=30^\circ$ e un modulo di deformazione $E=250 \text{ kg/cm}^2$.

Sulla base del profilo geotecnico innanzi descritto si è proceduto ad una verifica preliminare della risposta dei terreni ipotizzando fondazioni nastriformi impostate nei terreni dell'Unità A ma evitando qualsiasi interazione con i terreni pedogenizzati più superficiali. Nella verifica si è fatto ricorso alla nota ed ampiamente verificata formula di Terzaghi (1943), ulteriormente controllata con altri metodi (Meyerhof, Brinch-Hansen). Dai risultati delle ipotesi preliminari emerge una discreta risposta geotecnica dei terreni ammettendo carichi strutturali in misura di $1-1.5 \text{ kg/cm}^2$.

Si precisa tuttavia che con tale valore si vuole esprimere solo una preliminare valutazione circa la compatibilità dei terreni con strutture fondazionali di tipo diretto; sarà quindi necessario, in una successiva fase di progettazione, eseguire specifici studi di dettaglio per dimensionare correttamente le fondazioni (in termini di resistenze geotecniche e azioni strutturali) in funzione degli stati limiti geotecnici (SLU e SLE) previsti dal D.M. 14.01.2008 e s.m.i.

5.1.4 Considerazioni geologiche e geotecniche

Le indagini sito-specifiche hanno definito un profilo stratigrafico caratterizzato dalla presenza di coperture limose nei primi metri, seguite in profondità da depositi incoerenti di natura prevalentemente sabbiosa.

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista geologico-tecnico i terreni di fondazione dell'area del previsto ampliamento, sono state eseguite specifiche prove di tipo diretto e indiretto: gli esiti indicano la presenza di terreni superficiali di mediocri proprietà geotecniche, giudicati compatibili con strutture di fondazione di tipo diretto da dimensionare adeguatamente ai sensi del D.M. 14.01.2008 e s.m.i.. In fase progettuale dovrà essere individuata la corretta profondità di posa al fine di evitare interferenze negative e potenzialmente insidiose con gli orizzonti di scarse caratteristiche più superficiali (presenti nei primi 1.5-2.0 m di profondità).

Dall'analisi geologica è emersa l'assenza di una falda s.s. entro le profondità investigate (ovvero nei primi 7 m di profondità): tale fattore, unitamente alla natura dei terreni di substrato, rende l'area compatibile con la realizzazione di fosse per inumazione.

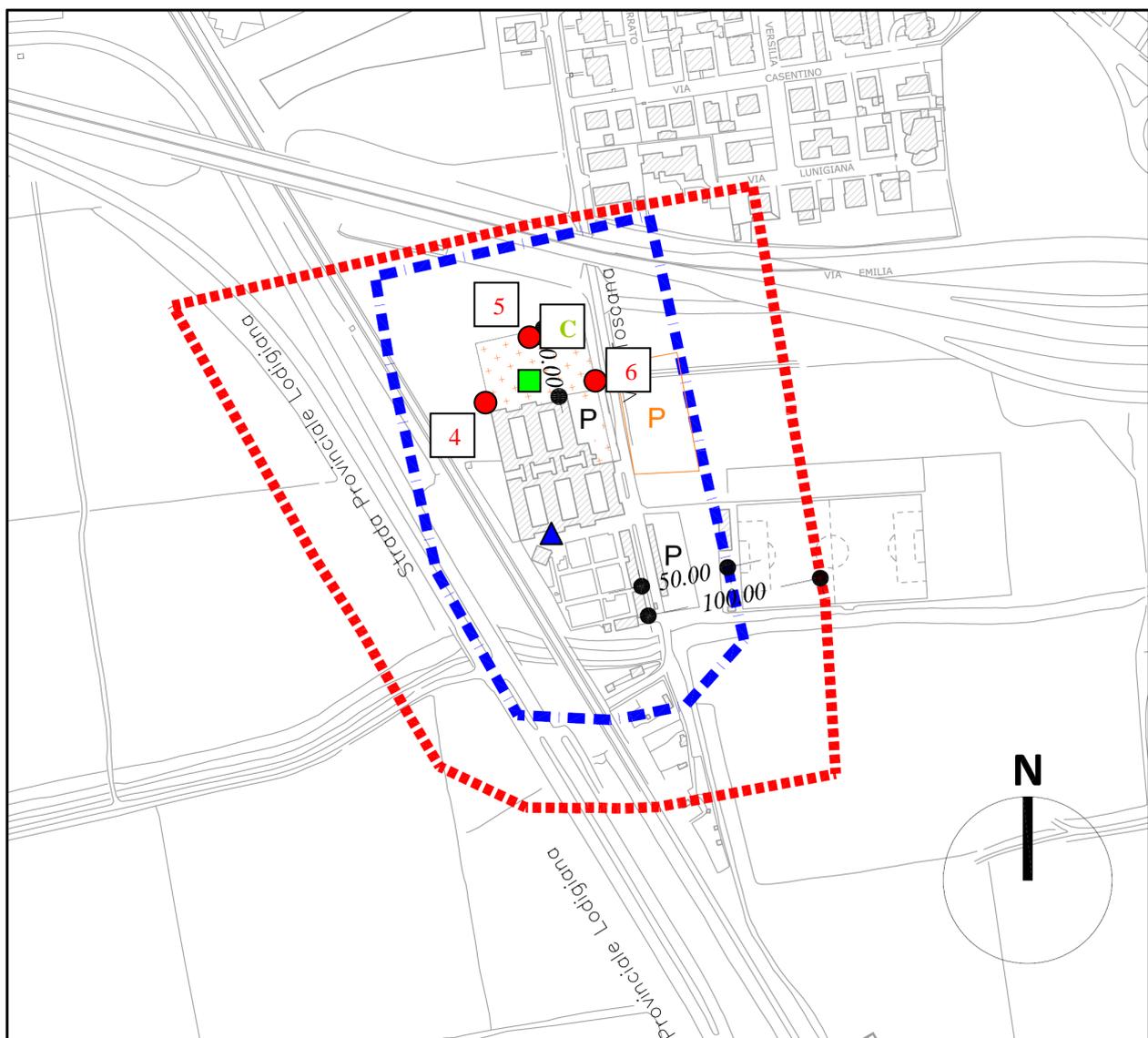
Particolare attenzione, tuttavia, dovrà essere posta per lo smaltimento delle acque meteoriche: la presenza di un substrato limoso nei primi metri di profondità, infatti, potrebbe essere causa del ristagno di acque provenienti dalla superficie a danno delle strutture cimiteriali interrato.

5.2 Il Cimitero di San Bernardo

Il Cimitero di **San Bernardo** è ubicato al di là della tangenziale ma è direttamente raggiungibile da via Toscana. La struttura comprende una porzione originaria dell'impianto cimiteriale ed un recente ampliamento destinato unicamente a loculi. Il Cimitero si estende su di un'area di mq. 9.852 ed è delimitato sui lati da una cinta muraria superiore a 2 m; è in previsione un ampliamento dello stesso su area di proprietà del Comune per una superficie pari a mq. 3.269.

Per le caratteristiche geologiche locali è stato realizzato un piezometro, un pozzetto esplorativo e una prova di permeabilità, seguiti per la prima caratterizzazione geotecnica dei terreni da alcune prove penetrometriche.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella seguente figura.



LEGENDA

- Prova penetrometrica e relativa numerazione
- Pozzetto esplorativo e relativa numerazione
- ▲ Piezometro

5.2.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali

All'interno del Cimitero di San Bernardo è stato eseguito un piezometro finalizzato a valutare la soggiacenza della falda. Il profilo stratigrafico redatto durante la perforazione, meglio rappresentato nella figura seguente, evidenzia la presenza di una copertura superficiale di natura argillosa, seguita in profondità da depositi incoerenti sabbiosi. All'interno del piezometro è stata rilevata una soggiacenza della falda di 7.5 m dal piano campagna.



Perforazione del sondaggio successivamente allestito a piezometro

5.2.2 Litologia dei terreni superficiali

Sulla verticale dell'area che ospiterà il previsto ampliamento è stato realizzato un pozzetto esplorativo, all'interno del quale è stata eseguita una prova di permeabilità alla profondità di 1.90 m.

All'interno del pozzetto è stato osservato il seguente profilo stratigrafico:

Pozzetto C					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.10		Terreno vegetale
Da	0.10	a	0.60		Materiale di riporto
Da	0.60	a	0.80	SW	Sabbia fine di colore nocciola
Da	0.80	a	1.30	ML	Limo con sabbia di colore nocciola
Da	1.30	a	1.50	SW	Sabbia media di colore ocra
Da	1.50	a	1.70	SW	Sabbia molto fine di colore ocra
Da	1.70	a	2.50	SW	Sabbia media di colore ocra
<i>falda: assente</i>					

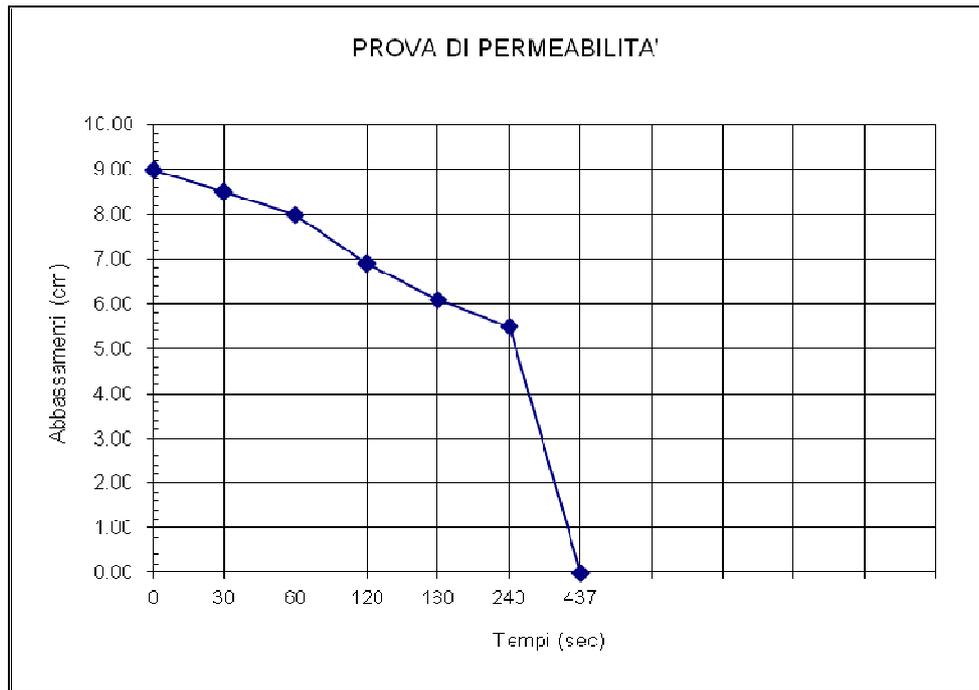


Pozzetto C



Prova di permeabilità

Prova di permeabilità			
Tempo (secondi)	Tempo (minuti)	Livello (cm)	Abbassamento (cm)
0	0.0	9.00	0.00
30	0.5	8.50	0.50
60	1.0	8.00	1.00
120	2.0	6.90	2.10
180	3.0	6.10	2.90
240	4.0	5.50	3.50
437	7.2	0.00	9.00



Dalla prova è stata calcolata una permeabilità $K = 3.3 \cdot 10^{-5}$ m/s, caratteristica dei depositi di natura sabbiosa rilevati nell'osservazione macroscopica.

5.2.3 Modello geotecnico di riferimento

Utilizzando i dati ottenuti dall'indagine penetrometrica è stato definito il seguente profilo geotecnico:

Unità A	Sviluppata sotto l'orizzonte vegetale più superficiale e/o eventuali riporti artificiali, l'unità A è costituita da terreni con una significativa matrice limosa (da limosa a limo-sabbiosa) in cui la componente fine potrebbe essere responsabile, almeno a scala locale, di un comportamento coesivo o semi-coesivo. Nel complesso sono state definite mediocri proprietà geotecniche, calcolando un angolo di attrito $\Phi=24-26^\circ$ e un modulo di deformazione minimo $E=60-80$ kg/cm ² .
Unità B	Alla base dell'unità A (profondità massima ca. 2.5 m) le maggiori resistenze penetrometriche descrivono un deposito incoerente (sabbia prevalente) mediamente addensato e di buone caratteristiche geotecniche ($\Phi=30-32^\circ$; $E=250-300$ kg/cm ²) con orizzonti di esile spessore meno addensati e di proprietà più modeste.

Valutazioni preliminari delineano una modesta risposta geotecnica nel caso di fondazioni dirette impostate entro l'unità A (ovvero nei primi 2.5 m di profondità), con carichi da mantenere entro valori di 0.8-1.0 kg/cm². Approfondendo la fondazione (per esempio in caso di piani interrati) sino a raggiungere i terreni dell'unità B, la risposta geotecnica in termini di capacità portante e di cedimento (SLU e SLE geotecnici) assumerà connotati decisamente migliori. Si precisa tuttavia che i valori rappresentano solo una valutazione preliminare circa la compatibilità tra terreni e strutture, da definire nel dettaglio della progettazione definitiva ed esecutiva ai sensi del D.M. 14.01.2008 e s.m.i.

5.2.4 Valutazioni geologiche

Le indagini sito-specifiche hanno definito un profilo stratigrafico caratterizzato dalla presenza di coperture limose nei primi metri, seguite in profondità da depositi incoerenti di natura sabbiosa.

La campagna geotecnica e la successiva rielaborazione dei profili penetrometrici evidenzia una compatibilità tra fondazioni dirette e depositi naturali, nonostante la modesta risposta geotecnica stimata.

La soggiacenza della falda (circa 7.5 m) unitamente alla granulometria dei terreni di substrato definisce un quadro geologico idoneo alla realizzazione di sepolture per inumazione.

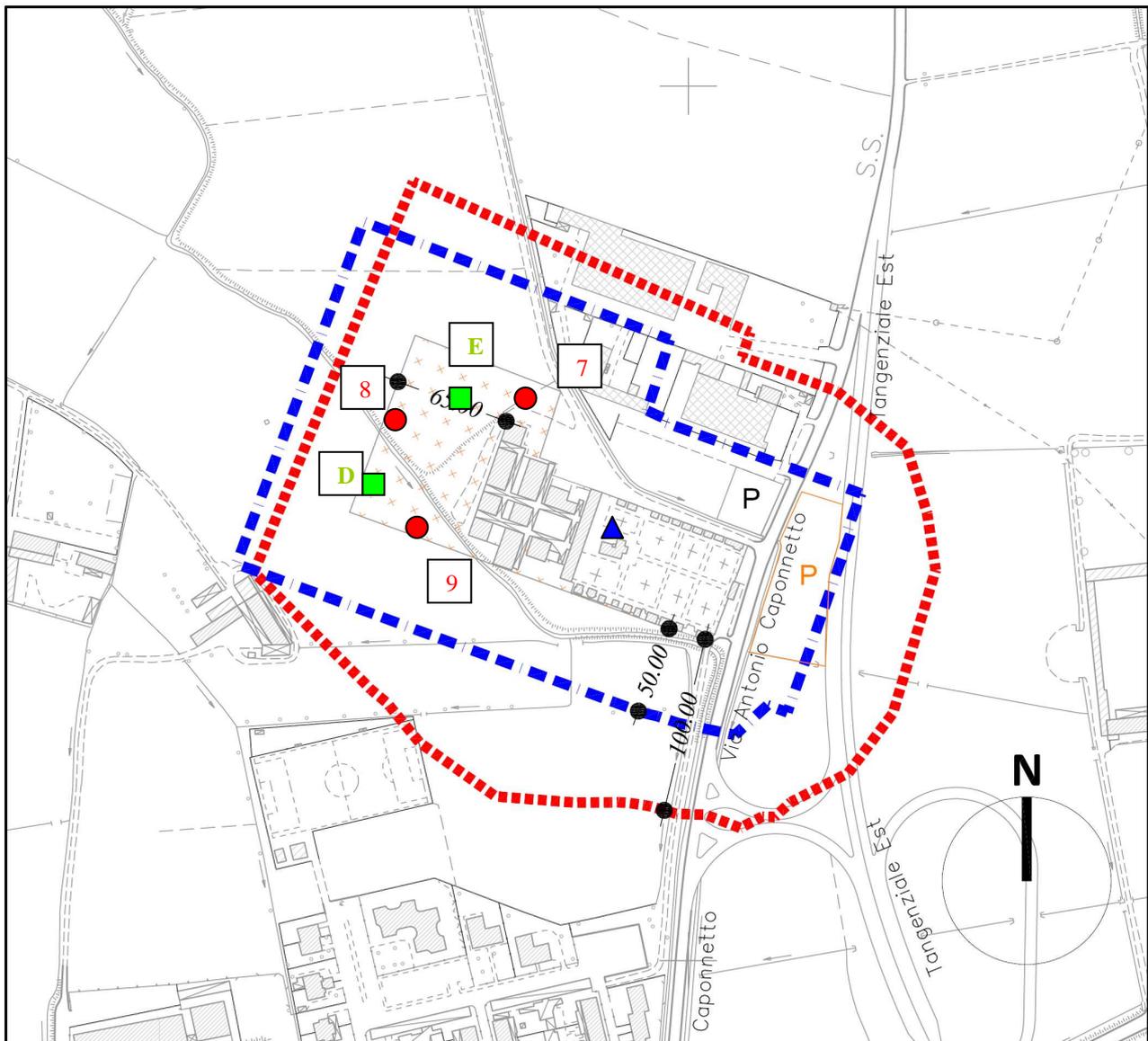
Particolare attenzione, tuttavia, dovrà essere posta al reticolo idrografico adiacente al lato W del cimitero che potrebbe essere responsabile di fenomeni di infiltrazione potenzialmente dannosi per le strutture interrato ad esso vicine.

5.3 Il Cimitero di Riolo

Il Cimitero di **Riolo** è un impianto storico che ha subito un recente ampliamento destinato unicamente a colombari. Il Cimitero si estende su di un'area di mq. 8.655 per il quale è in previsione un ampliamento su area di proprietà del Comune per una superficie pari a mq. 8.574.

Per definire le caratteristiche geologiche locali è stato realizzato un piezometro, due pozzetti esplorativi e una prova di permeabilità, seguiti da alcune prove penetrometriche.

L'ubicazione delle indagini è rappresentata nella seguente figura.



LEGENDA

- Prova penetrometrica e relativa numerazione
- Pozzetto esplorativo e relativa numerazione
- ▲ Piezometro

5.3.1 Profilo stratigrafico di riferimento e caratteristiche idrogeologiche locali

All'interno del Cimitero di Riolo è stato eseguito un sondaggio finalizzato a ricostruire il profilo stratigrafico locale e misurare la soggiacenza della falda. Il profilo stratigrafico, meglio rappresentato nella figura seguente, evidenzia la presenza di una copertura superficiale di natura argillosa, seguita in profondità da depositi granulari (ghiaia e sabbia). All'interno del piezometro è stata rilevata una soggiacenza della falda di 3.5 m dal piano campagna.



Perforazione del sondaggio successivamente allestito a piezometro

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

Dott. Geol. Marco Daguati
Via A. Diaz, 22
26845 Codogno (LO)
Tel. Fax: 0377.433021

Committente: Comune di Lodi
Località: Cimitero Riolo
Scala: 100 Data: 28/10/2011 Sondaggio n. P01

Attrezzatura e metodo di perforazione

- | | | |
|--|--|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato | <input type="checkbox"/> Campione a percussione | <input type="checkbox"/> LEFRANC |
| <input type="checkbox"/> Campione S.P.T. | <input type="checkbox"/> Campione ind. a percussione | prova di permeabilità |
| <input type="checkbox"/> Campione da Vane Test | <input type="checkbox"/> Campione ind. rotativo | <input type="checkbox"/> LUGEON |

Quota di riferimento (m)	Profondità (m)	Sezione terreno	Campione	Descrizione litologica	Piezometro	Completamento	Max Vane test Residuo	Profondità (m)	S.P.T.	Falda	% Carotaggio
0.00	0.20	ghiaietto cemento		ghiaietto cemento	cemento						
	1.80	limo consistente poco plastico di colore marrone		limo consistente poco plastico di colore marrone	tubazione in PVC ø 3"						
	5.00	sabbia con ghiaia		sabbia con ghiaia	campioni con argilla idrogonfiante					3.50	
	7.50	ghiaia		ghiaia	dreno con ghiaietto siliceo						
	8.00	sabbia fine		sabbia fine	filtri tipo microfessurati luce 0.25 mm						
	10.00	ghiaia		ghiaia	10.00						

5.3.2 Litologia dei terreni superficiali

Sulla verticale del previsto ampliamento sono stati realizzati due pozzetti esplorativi, all'interno di uno dei quali (pozzetto E) è stata eseguita una prova di permeabilità alla profondità di 1.80 m. I profili stratigrafici osservati sono i seguenti:

Pozzetto D					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.70	CL	Argilla limosa consistente plastica di colore marrone
Da	0.70	a	1.80	ML	Limo sabbioso di colore grigio
Da	1.80	a	2.30	SW	Sabbia fine di colore grigio
<i>falda: -1.90 m da p.c.</i>					

Pozzetto E					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	2.30	GW	Ghiaia (ciottoli da millimetrici a centimetrici) con sabbia grossolana
<i>falda: assente</i>					



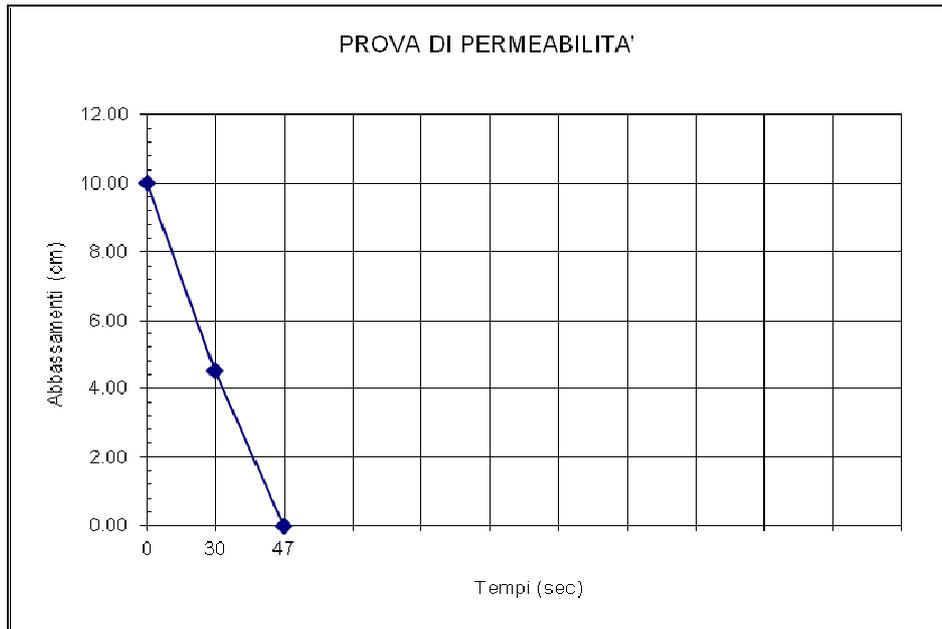
Pozzetto D



Pozzetto E

Nella tabella seguente si riportano le misure registrate durante l'esecuzione della prova di permeabilità a carico variabile eseguita a circa 1.80 m di profondità nel pozzetto E ed il relativo grafico "abbassamenti/tempi":

Prova di permeabilità			
Tempo (secondi)	Tempo (minuti)	Livello (cm)	Abbassamento (cm)
0	0.0	10.00	0.00
30	0.5	4.50	5.50
47	0.8	0.00	10.00



Svolgendo opportunamente i calcoli si ottiene un valore di permeabilità $K = 3.54 * 10^{-4}$ m/s, caratteristico dei depositi di natura sabbioso-ghiaiosa rilevati dall'osservazione macroscopica.

5.3.3 Modello geotecnico di riferimento

Utilizzando i dati ottenuti dall'indagine penetrometrica è stato definito il seguente modello geotecnico. Va tuttavia precisato che l'area oggetto di ampliamento si sviluppa su due quote differenti, interrotta da una modesta scarpata morfologica. Tutte le profondità, pertanto, sono riferite alla quota di postazione dello strumento penetrometrico.

Unità A	Si tratta di terreni da limo-argillosi a limo-sabbiosi, in cui la componente fine è responsabile di un comportamento che varia tra il coesivo e il semi-coesivo. Lo spessore del deposito varia tra un minimo di 1.5 m (verticali n. 7 e 8) e un massimo di ca. 2.5 m (verticale n. 9): quest'ultimo spessore, tuttavia, rappresenta un'anomalia sia per la minor quota dell'area sulla quale è stata eseguita la prova, sia per i risultati del vicino pozzetto esplorativo. Poiché le caratteristiche geotecniche e la disomogeneità del terreno lo rendono scarsamente compatibile con fondazioni dirette, sarà necessario eseguire specifiche indagini di approfondimento in corrispondenza della verticale n. 9 sulla quale è stata riscontrata l'anomalo spessore.
Unità B	Alla base dell'unità A si registra un marcato incremento dei valori di N_p , rappresentativi di un deposito incoerente di buone caratteristiche geotecniche; in

	particolare: <ul style="list-style-type: none">- da 1.8-3.0 m a 5 m: $\Phi=33-35^\circ$; $E=300-500 \text{ kg/cm}^2$;- da 5 a 7.5-8.0 m: $\Phi=28-30^\circ$; $E=150-250 \text{ kg/cm}^2$;- 7.5-8.0 a 10 m: $\Phi=30-32^\circ$; $E=250-300 \text{ kg/cm}^2$.
--	--

Causa l'anomalia registrata sulla verticale n. 9 sarà necessario verificare puntualmente lo spessore dell'unità A, evitando interferenze del terreno più superficiale con le previste strutture di fondazione. Valutazioni preliminari circa la risposta dei terreni nel caso di fondazioni dirette impostate entro l'unità B (ovvero oltre i primi 2.5 m di profondità), delineano buone prestazioni geotecniche, compatibili con carichi in misura di $1.2-1.8 \text{ kg/cm}^2$. Anche in questo caso si precisa che i valori rappresentano una valutazione preliminare circa la compatibilità tra terreni e strutture, da affinare nel dettaglio della progettazione strutturale definitiva ed esecutiva ai sensi del D.M. 14.01.2008 e s.m.i.

5.3.4 Valutazioni geologiche

Gli esiti delle indagini indicano la presenza di terreni superficiali di scarse caratteristiche geotecniche ma di modesto spessore, con una anomalia in corrispondenza della verticale n. 9. Superato l'orizzonte coesivo più superficiale, affiorano depositi incoerenti (sabbia e ghiaia) la cui risposta geotecnica ai previsti carichi strutturali è sicuramente positiva sia in termini di capacità portante che di cedimenti. Dovrà essere tuttavia cura del Progettista e della Direzione Lavori verificare l'esatto sviluppo verticale dei terreni indesiderati adottando adeguate soluzioni progettuali (approfondimento dei piani di posa delle fondazioni, interventi di bonifica geotecnica ecc.).

Si rammenta, inoltre, come l'area d'ampliamento sia interrata da una scarpata morfologica di modesta altezza: il riflesso in termini geotecnici e stratigrafici, pertanto, è quello di differenti spessori dei terreni di copertura e di differenti soggiacenze della falda. Sarà quindi necessario circostanziare gli interventi previsti per l'ampliamento in funzione del differente sviluppo planoaltimetrico dell'area.

Dall'analisi geologica, inoltre, è emersa una soggiacenza della falda decisamente ridotta (compresa fra 2 e 3 m) e soggetta ad escursioni anche significative (correlabili con le quote idrometriche del vicino Adda): causa la mancanza di un adeguato franco di sicurezza, pertanto, non sarà possibile prevedere interventi di sepoltura per inumazione.

ALLEGATO 1:

Indagine geotecnica relativa all'area di ampliamento del Cimitero Maggiore

A1.1 -REGISTRAZIONI STRUMENTALI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

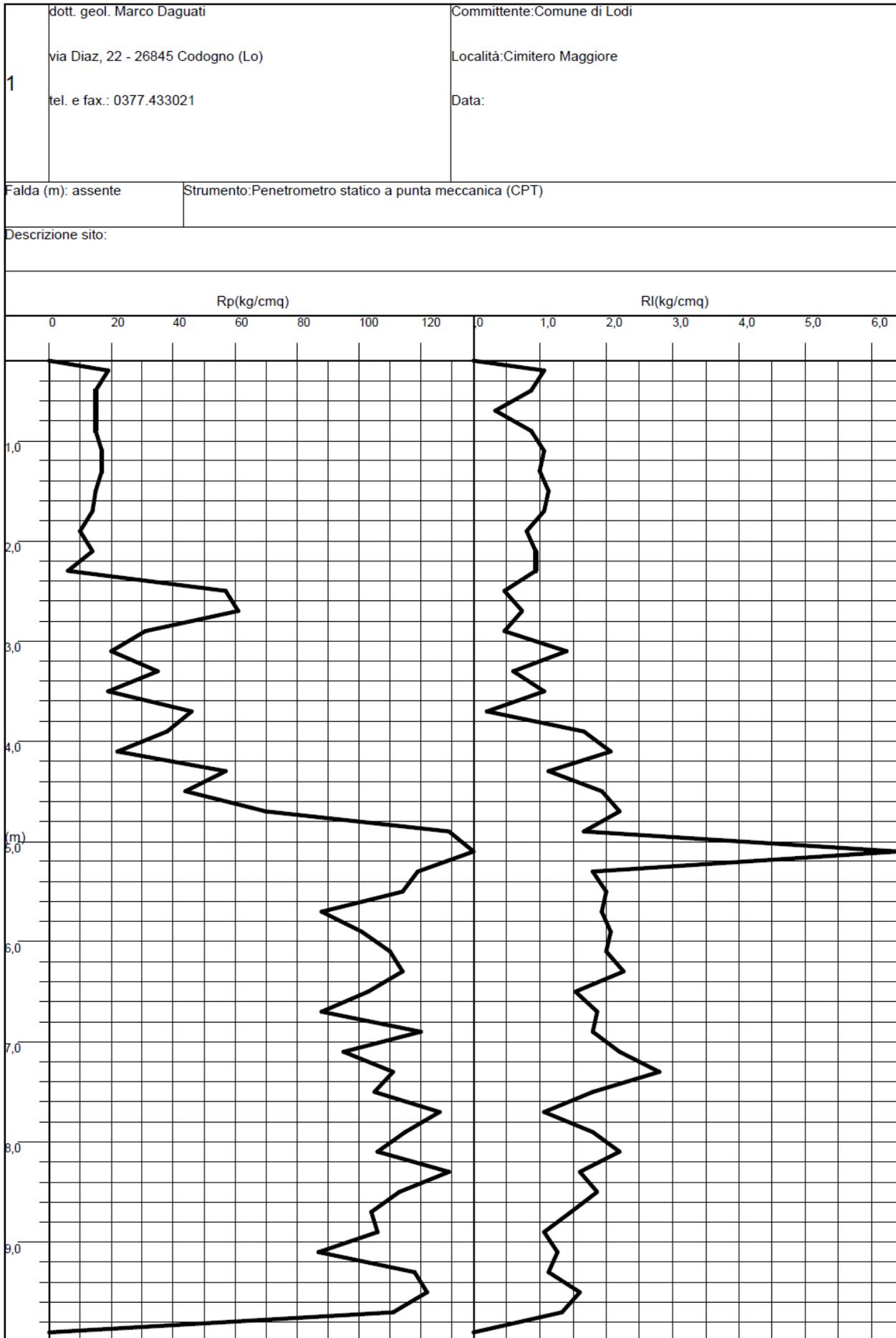
CPT n. 1			CPT n. 2			CPT n. 3		
Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot
m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq
0,20	---	---	0,20	---	---	0,20	---	---
0,40	19	35	0,40	14	28	0,40	13	27
0,60	15	28	0,60	13	26	0,60	12	25
0,80	15	20	0,80	22	39	0,80	13	25
1,00	15	28	1,00	22	37	1,00	19	27
1,20	17	33	1,20	22	33	1,20	19	29
1,40	17	32	1,40	14	24	1,40	18	24
1,60	15	32	1,60	14	22	1,60	15	21
1,80	14	30	1,80	15	20	1,80	10	14
2,00	10	22	2,00	27	42	2,00	25	36
2,20	14	28	2,20	59	68	2,20	86	103
2,40	6	20	2,40	84	100	2,40	83	90
2,60	57	64	2,60	96	124	2,60	62	81
2,80	61	72	2,80	65	77	2,80	65	78
3,00	31	38	3,00	20	38	3,00	42	53
3,20	20	41	3,20	28	47	3,20	38	61
3,40	35	44	3,40	41	50	3,40	21	46
3,60	19	35	3,60	20	46	3,60	29	43
3,80	46	49	3,80	28	47	3,80	29	58
4,00	38	63	4,00	16	36	4,00	20	29
4,20	22	53	4,20	95	111	4,20	21	31
4,40	57	74	4,40	122	145	4,40	56	85
4,60	44	73	4,60	111	148	4,60	128	150
4,80	70	103	4,80	110	150	4,80	146	170
5,00	129	154	5,00	148	183	5,00	135	178
5,20	137	233	5,20	133	174	5,20	144	202
5,40	119	146	5,40	98	132	5,40	158	182
5,60	114	144	5,60	112	125	5,60	133	184
5,80	88	117	5,80	71	102	5,80	118	149
6,00	101	132	6,00	115	138	6,00	103	145
6,20	110	140	6,20	99	132	6,20	137	168
6,40	114	148	6,40	88	115	6,40	158	202
6,60	103	126	6,60	79	88	6,60	142	182
6,80	88	116	6,80	66	94	6,80	124	155
7,00	120	147	7,00	112	137	7,00	145	179
7,20	95	128	7,20	90	128	7,20	114	148
7,40	111	153	7,40	140	191	7,40	98	138
7,60	105	132	7,60	111	137	7,60	115	147

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

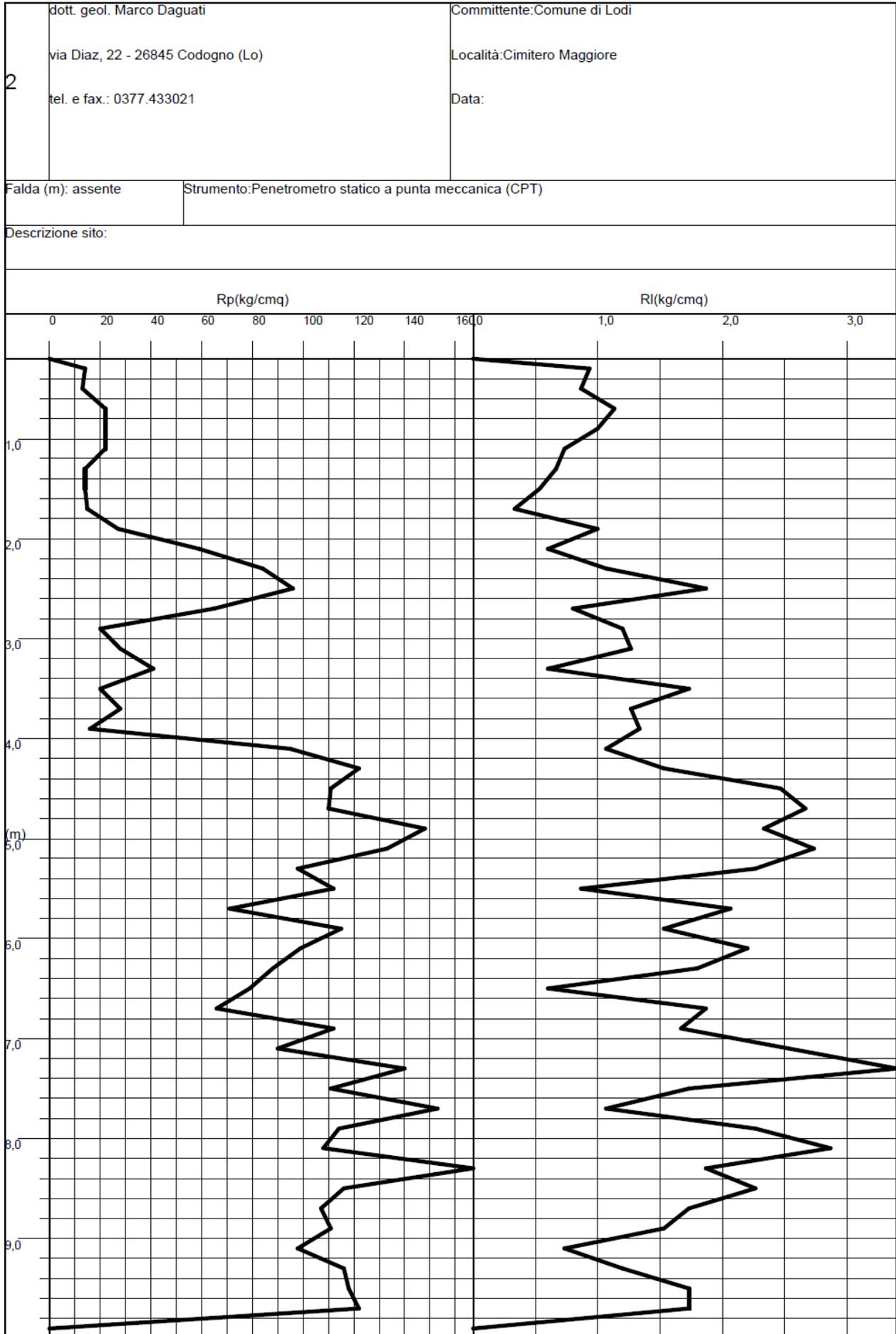
7,80	126	142	7,80	153	169	7,80	117	136
8,00	115	142	8,00	114	148	8,00	133	156
8,20	106	139	8,20	108	151	8,20	121	148
8,40	129	153	8,40	167	195	8,40	110	133
8,60	113	141	8,60	116	150	8,60	128	152
8,80	104	126	8,80	107	133	8,80	117	138
9,00	106	122	9,00	111	134	9,00	85	112
9,20	87	106	9,20	98	109	9,20	90	119
9,40	118	135	9,40	116	134	9,40	137	156
9,60	122	146	9,60	118	144	9,60	144	170
9,80	111	131	9,80	122	148	9,80	117	134

A1.2 -PROFILI INTERPRETATIVI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

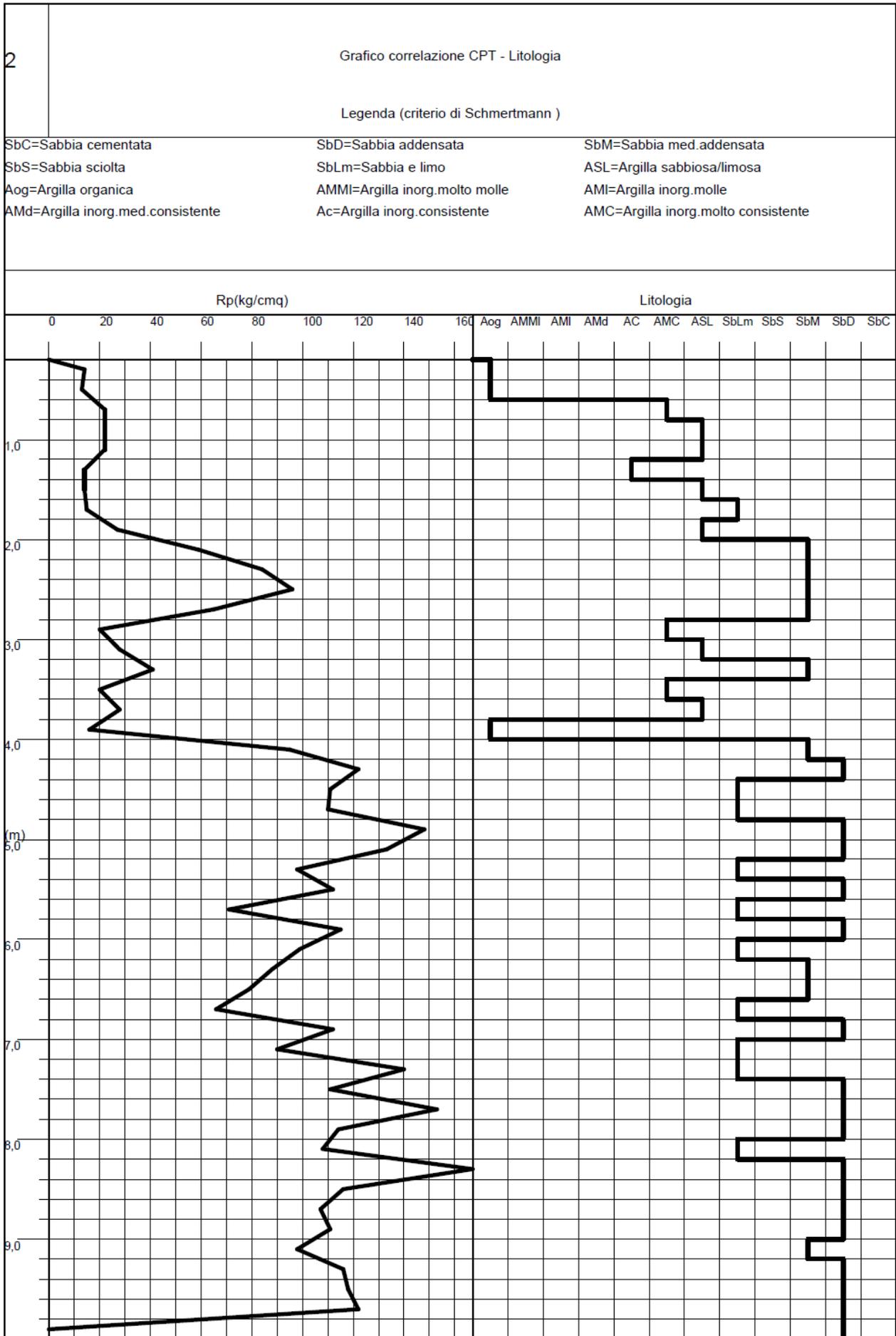
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



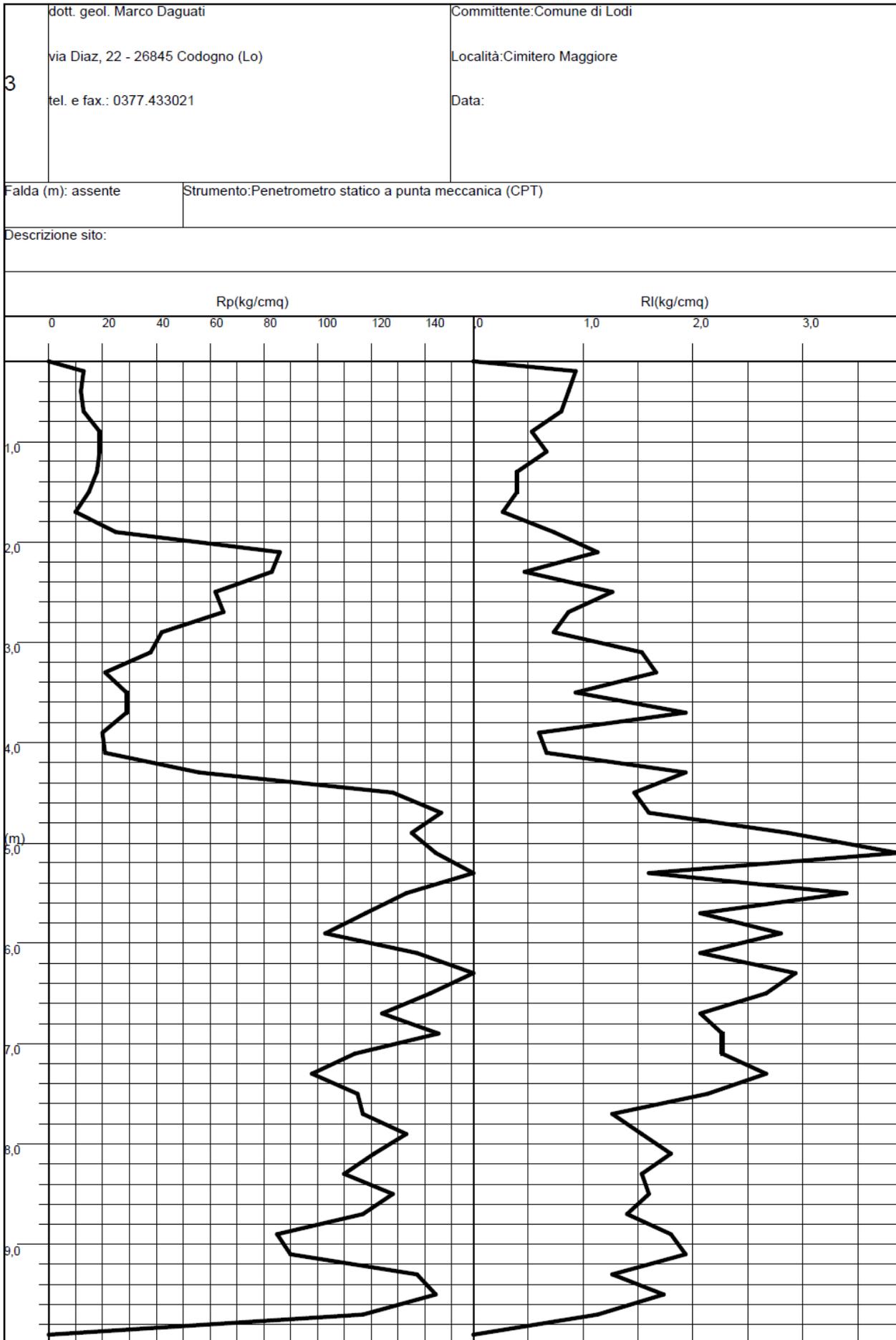
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



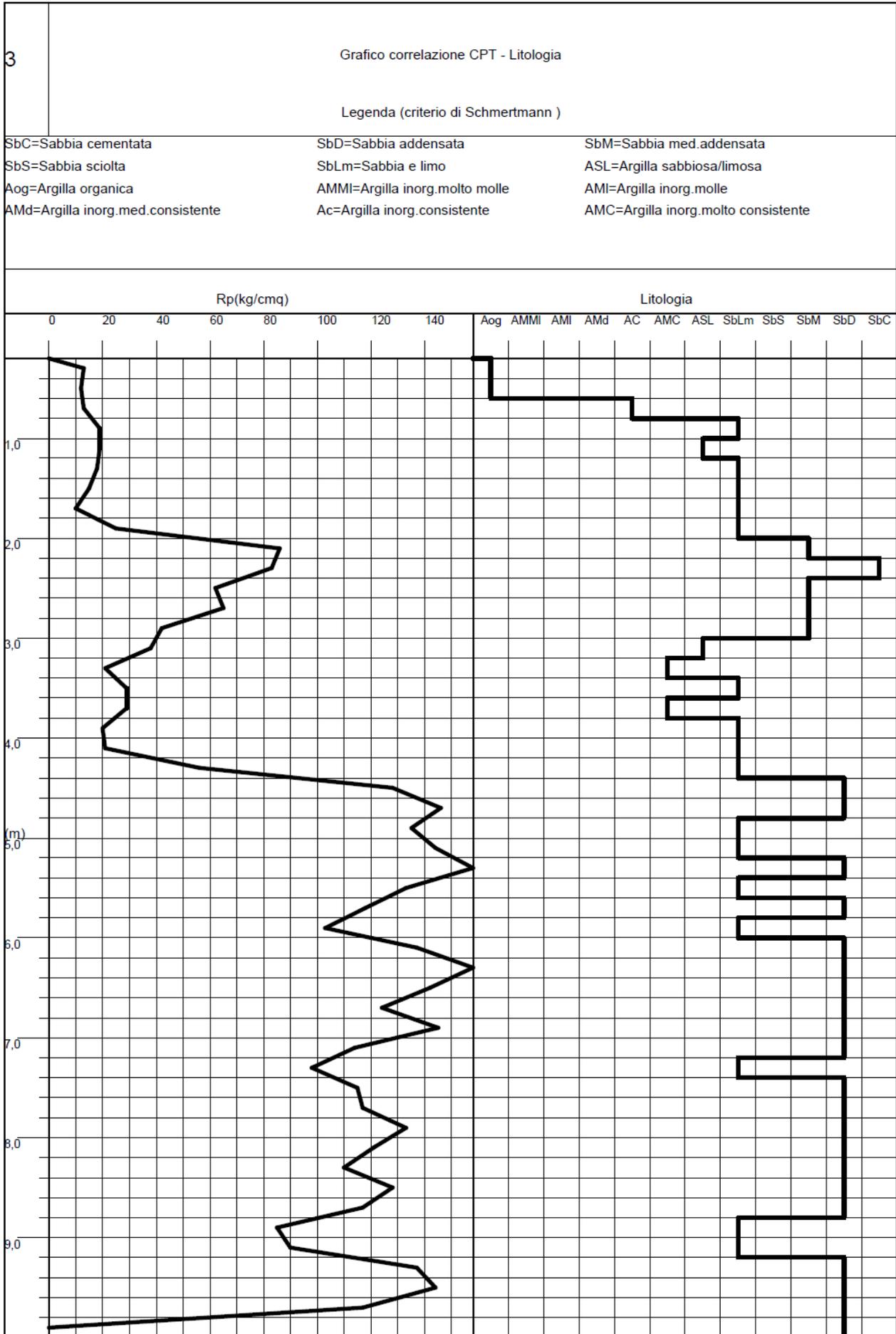
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



ALLEGATO 2:

Indagine geotecnica relativa all'area di ampliamento del Cimitero di San Bernardo

A2.1 -REGISTRAZIONI STRUMENTALI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

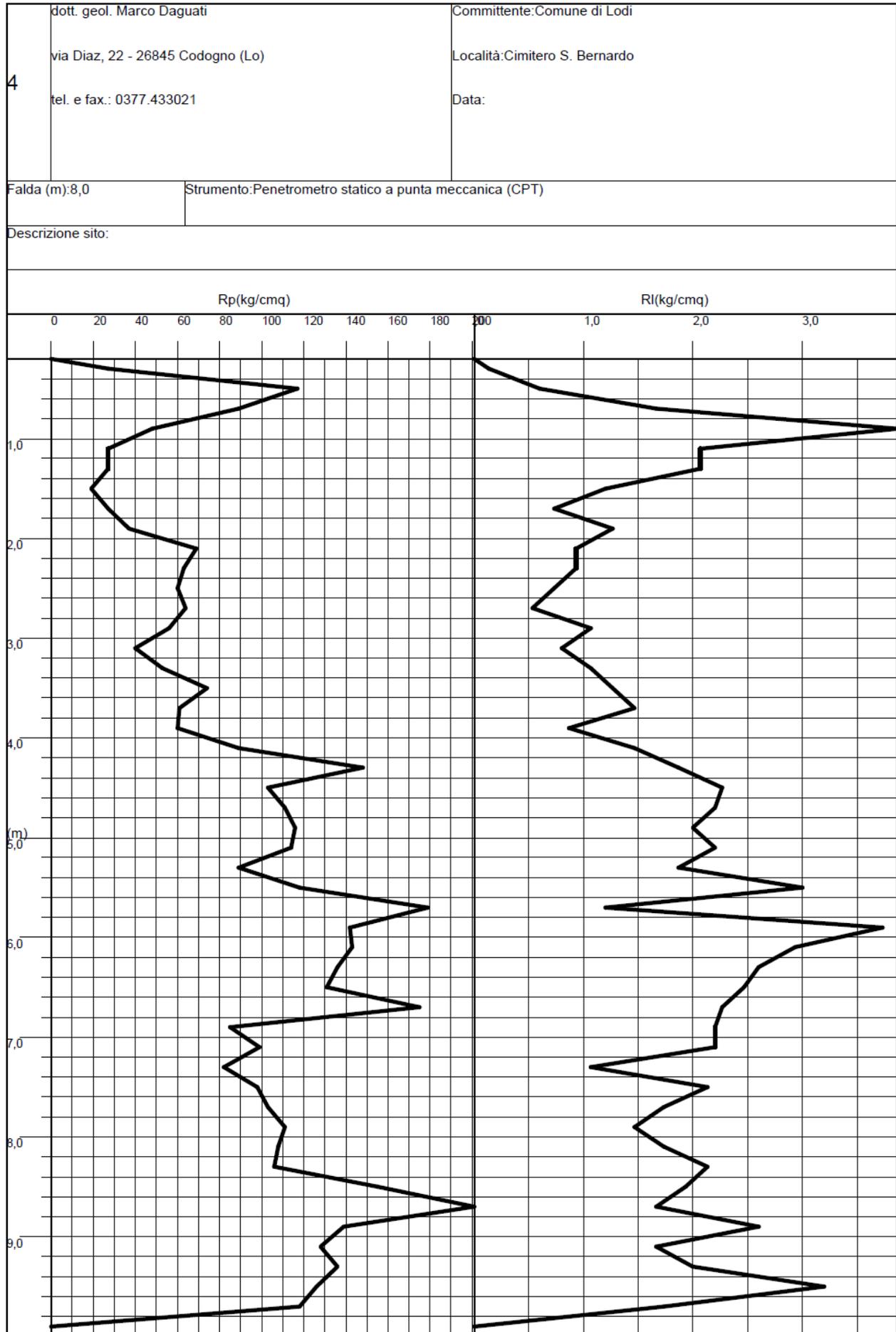
CPT n. 4			CPT n. 5			CPT n. 6		
Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot	Prof.	Rp	Rl tot
m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq	m	Kg/cmq	Kg/cmq
0,20	---	---	0,20	---	---	0,20	---	---
0,40	27	29	0,40	28	35	0,40	33	66
0,60	117	126	0,60	27	42	0,60	88	105
0,80	89	114	0,80	16	21	0,80	105	124
1,00	48	106	1,00	22	35	1,00	114	148
1,20	27	58	1,20	22	39	1,20	80	122
1,40	27	58	1,40	29	53	1,40	44	80
1,60	19	37	1,60	29	52	1,60	53	85
1,80	27	38	1,80	39	56	1,80	43	66
2,00	37	56	2,00	51	60	2,00	30	46
2,20	69	83	2,20	35	45	2,20	30	47
2,40	63	77	2,40	27	37	2,40	26	37
2,60	60	71	2,60	23	30	2,60	22	36
2,80	64	72	2,80	13	17	2,80	86	113
3,00	56	72	3,00	29	37	3,00	139	151
3,20	40	52	3,20	58	65	3,20	100	140
3,40	53	69	3,40	50	60	3,40	70	95
3,60	74	93	3,60	65	83	3,60	49	68
3,80	61	83	3,80	117	136	3,80	50	69
4,00	60	73	4,00	108	145	4,00	87	100
4,20	89	111	4,20	108	135	4,20	88	119
4,40	148	176	4,40	123	154	4,40	142	157
4,60	103	137	4,60	157	1985	4,60	131	170
4,80	111	144	4,80	131	144	4,80	128	159
5,00	116	146	5,00	106	136	5,00	112	144
5,20	114	147	5,20	104	133	5,20	108	137
5,40	89	117	5,40	91	118	5,40	107	135
5,60	118	163	5,60	96	131	5,60	88	117
5,80	179	197	5,80	111	132	5,80	59	86
6,00	142	198	6,00	114	152	6,00	101	127
6,20	143	187	6,20	182	229	6,20	245	303
6,40	136	175	6,40	164	213	6,40	215	279
6,60	131	168	6,60	170	212	6,60	233	284
6,80	175	209	6,80	174	211	6,80	197	242
7,00	85	118	7,00	137	169	7,00	207	244
7,20	99	132	7,20	129	164	7,20	178	219
7,40	82	98	7,40	80	97	7,40	89	110
7,60	98	130	7,60	85	117	7,60	84	120

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

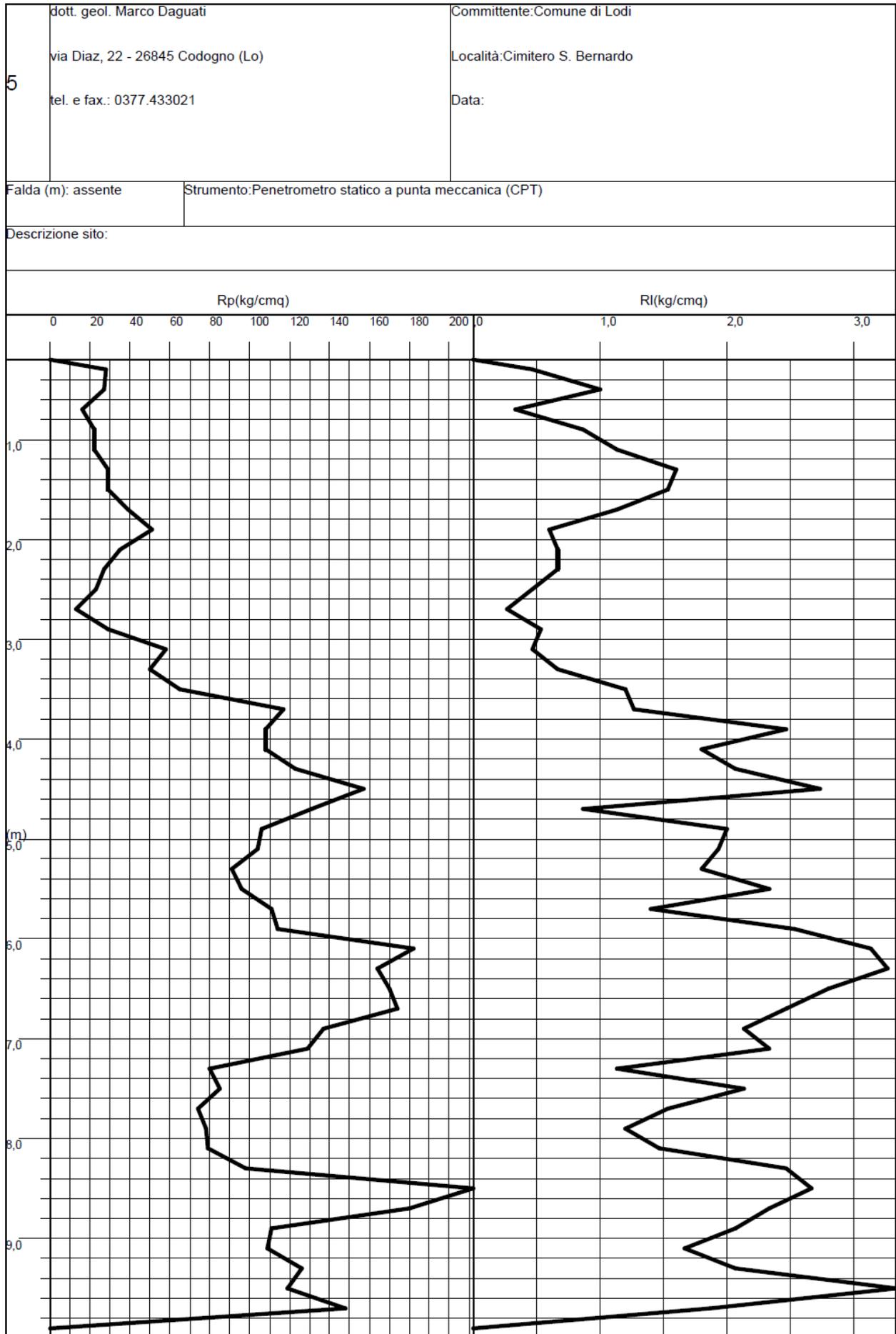
7,80	103	129	7,80	74	97	7,80	55	78
8,00	111	133	8,00	78	96	8,00	56	72
8,20	108	134	8,20	79	101	8,20	61	83
8,40	106	138	8,40	98	135	8,40	104	150
8,60	155	184	8,60	212	252	8,60	297	355
8,80	201	226	8,80	180	215	8,80	184	233
9,00	139	178	9,00	111	142	9,00	99	125
9,20	128	153	9,20	109	134	9,20	105	134
9,40	136	166	9,40	126	157	9,40	133	169
9,60	126	174	9,60	119	169	9,60	128	187
9,80	118	144	9,80	148	176	9,80	198	233

A2.2 -PROFILI INTERPRETATIVI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

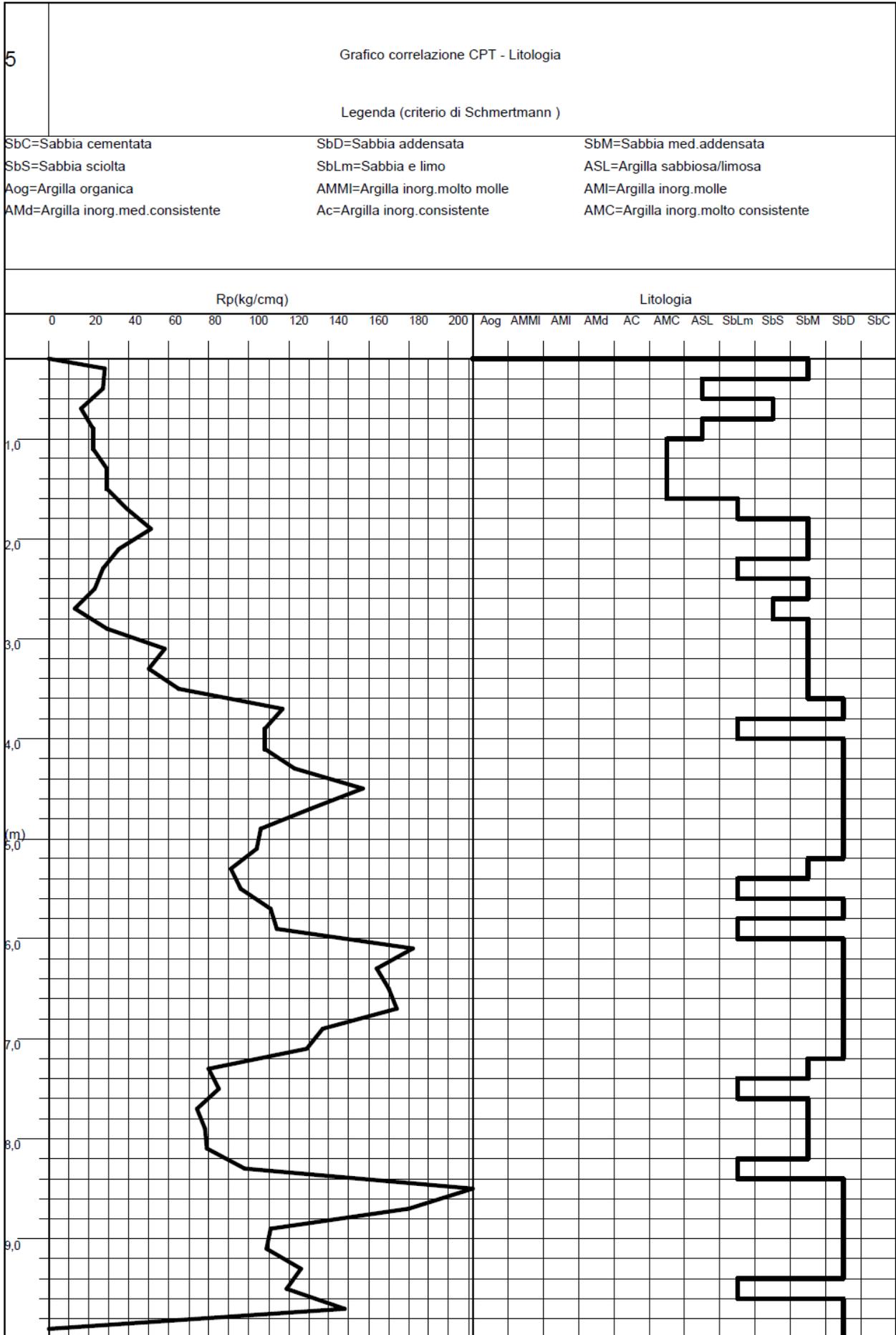
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



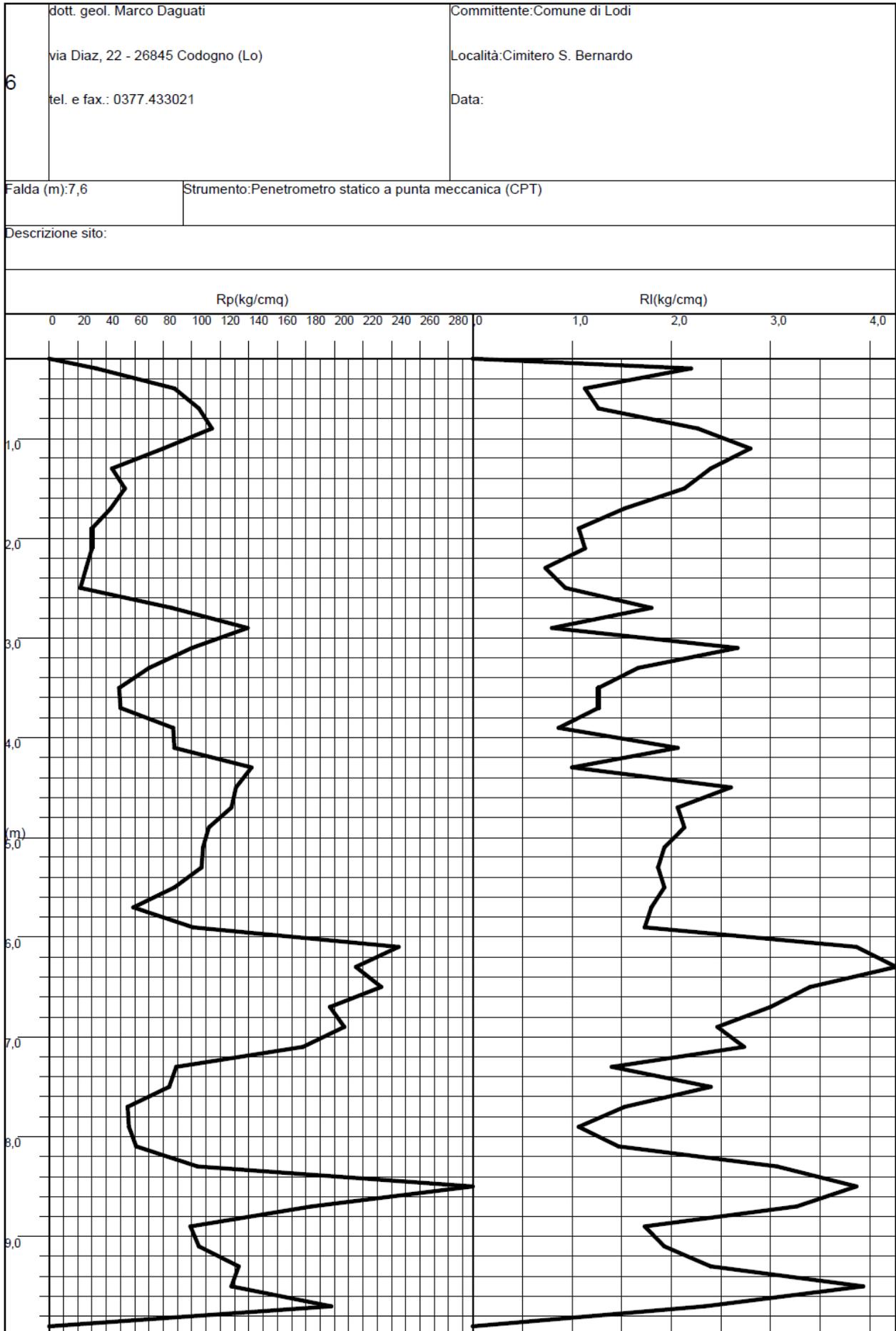
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



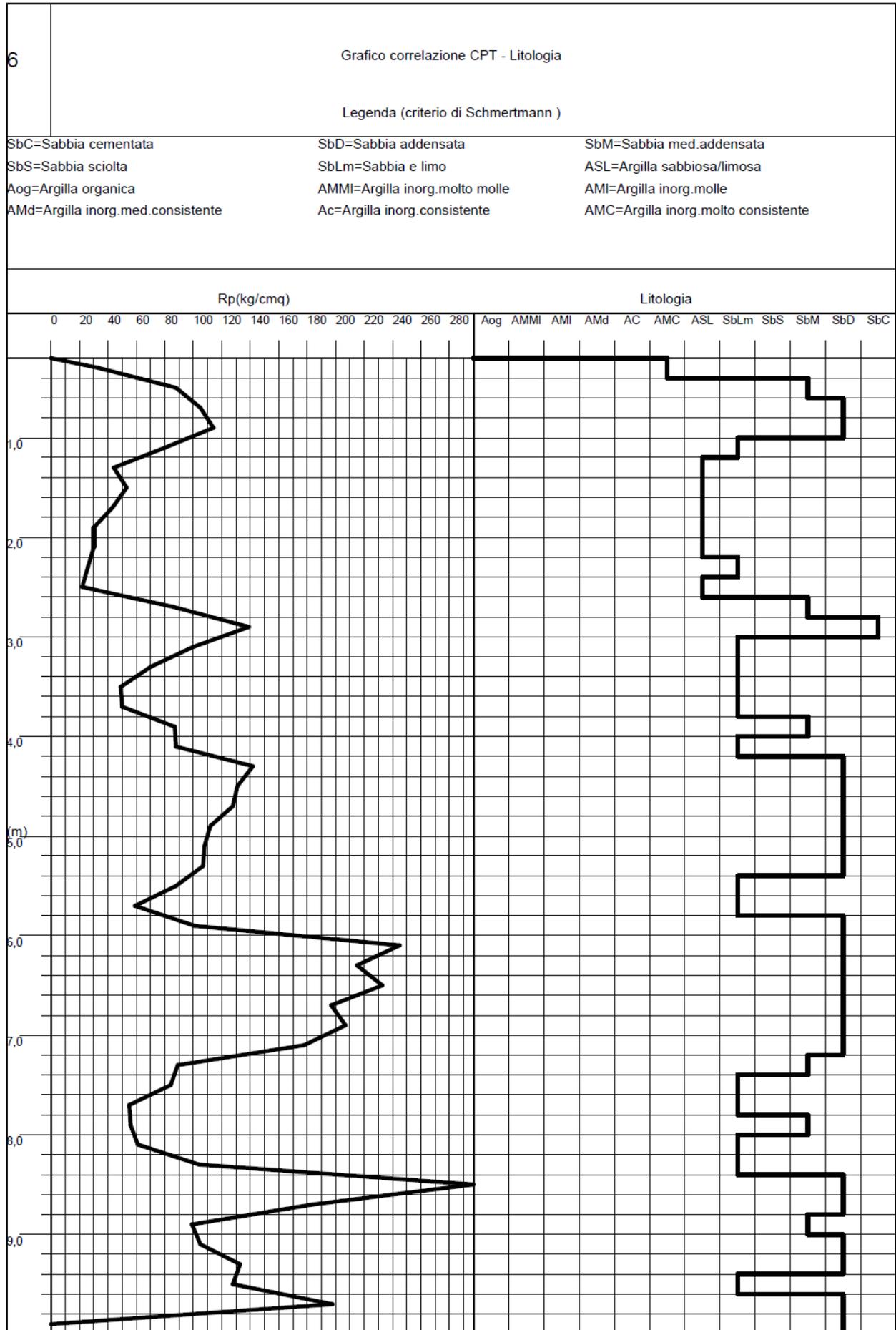
Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



ALLEGATO 3:

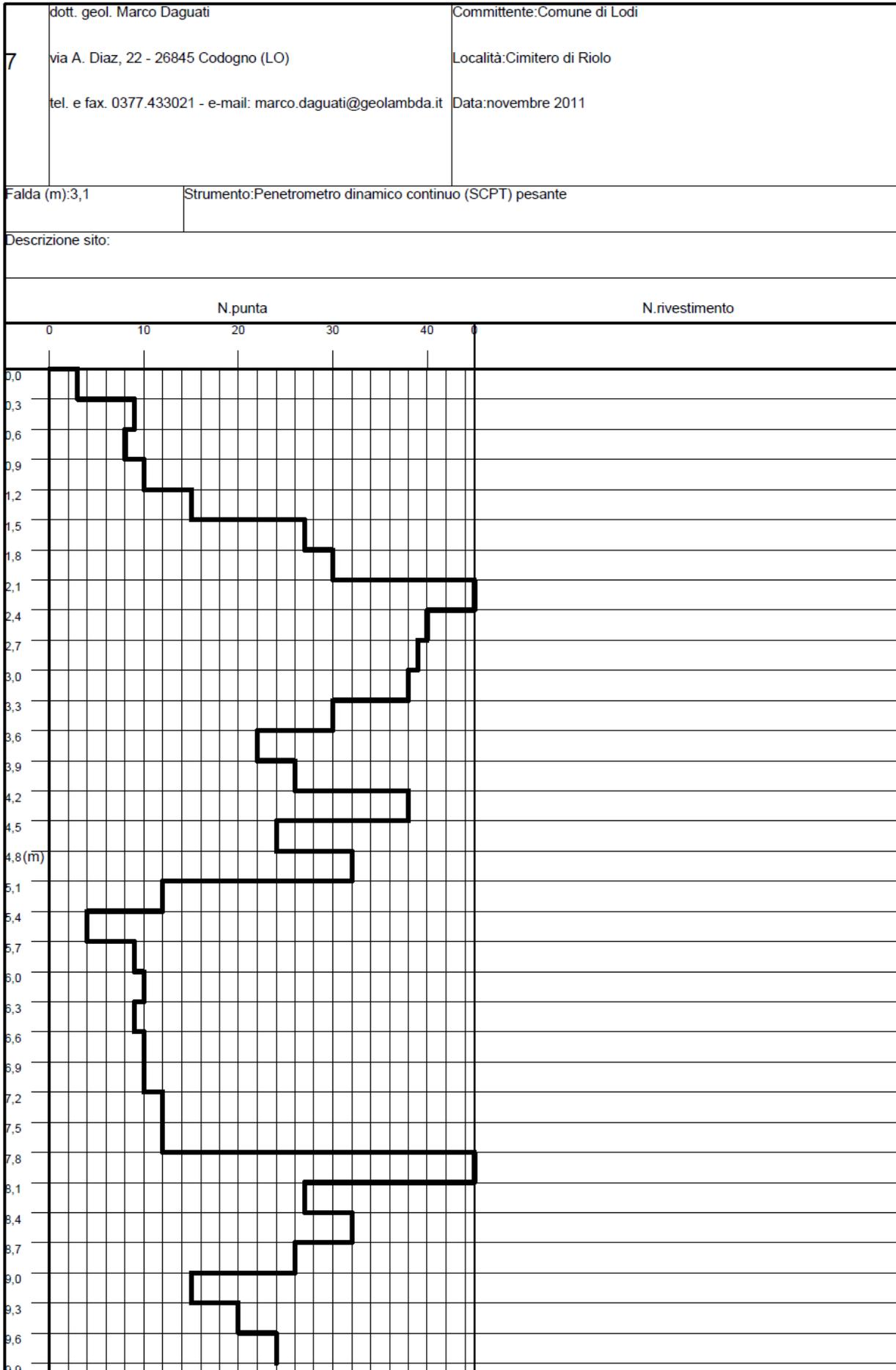
Indagine geotecnica relativa all'area di ampliamento del Cimitero di Riolo

A3.1 -REGISTRAZIONI STRUMENTALI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

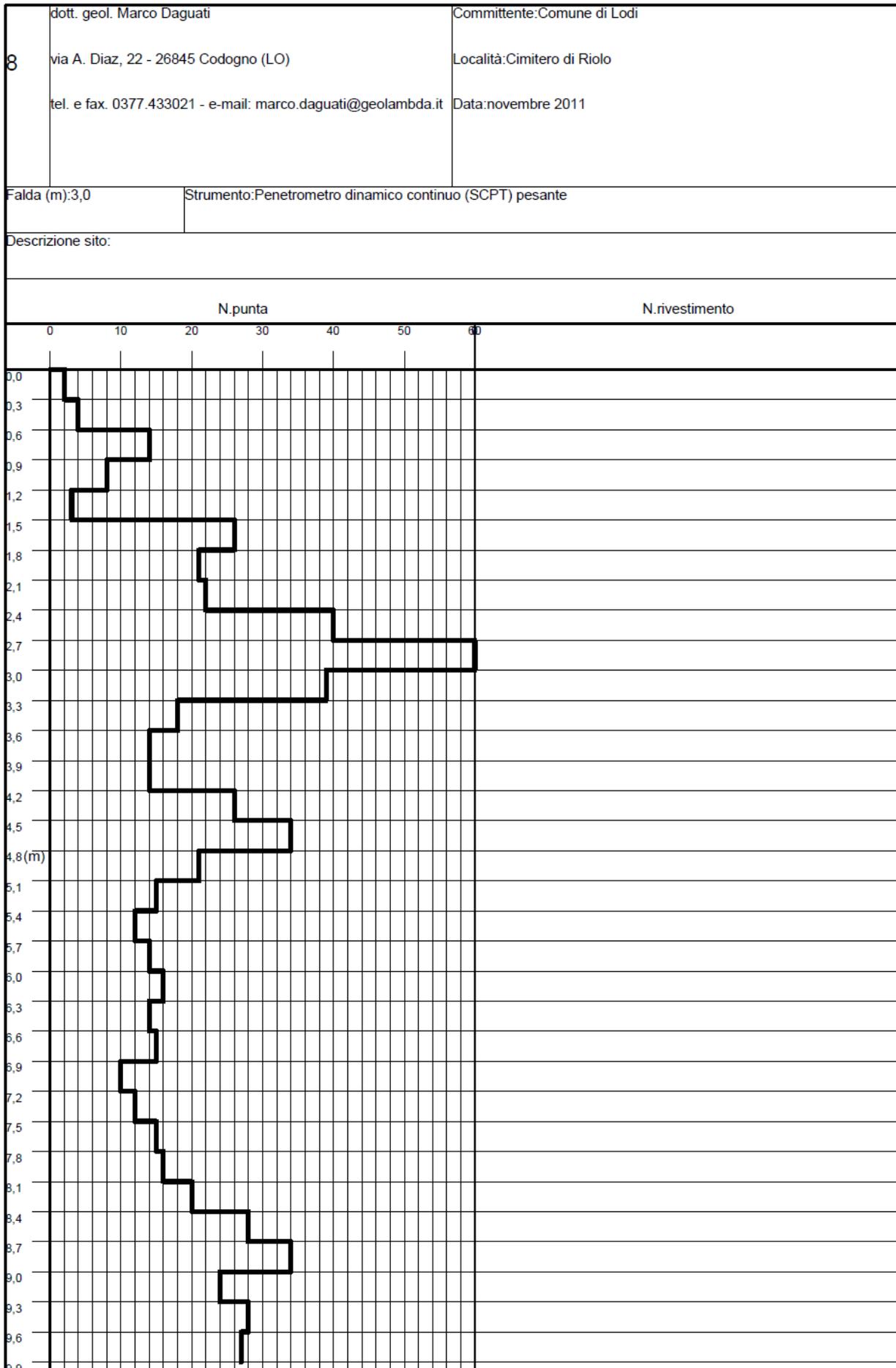
prof.	SCPT n.7	prof.	SCPT n.8	prof.	SCPT n.9
(m)	Np	(m)	Np	(m)	Np
0,30	2	0,30	1	0,30	2
0,60	6	0,60	3	0,60	9
0,90	5	0,90	9	0,90	9
1,20	7	1,20	5	1,20	2
1,50	10	1,50	2	1,50	2
1,80	18	1,80	17	1,80	4
2,10	20	2,10	14	2,10	5
2,40	30	2,40	15	2,40	4
2,70	27	2,70	27	2,70	5
3,00	26	3,00	40	3,00	17
3,30	25	3,30	26	3,30	24
3,60	20	3,60	12	3,60	31
3,90	15	3,90	9	3,90	34
4,20	17	4,20	9	4,20	30
4,50	25	4,50	17	4,50	28
4,80	16	4,80	23	4,80	18
5,10	21	5,10	14	5,10	10
5,40	8	5,40	10	5,40	8
5,70	3	5,70	8	5,70	8
6,00	6	6,00	9	6,00	7
6,30	7	6,30	11	6,30	11
6,60	6	6,60	9	6,60	12
6,90	7	6,90	10	6,90	8
7,20	7	7,20	7	7,20	9
7,50	8	7,50	8	7,50	13
7,80	8	7,80	10	7,80	11
8,10	30	8,10	11	8,10	10
8,40	18	8,40	13	8,40	16
8,70	21	8,70	19	8,70	18
9,00	17	9,00	23	9,00	22
9,30	10	9,30	16	9,30	20
9,60	13	9,60	19	9,60	10
9,90	16	9,90	18	9,90	9
10,20	22	10,20	16	10,20	18

A3.2 -PROFILI INTERPRETATIVI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico



Comune di Lodi
Piano cimiteriale: Studio geologico

