

ELABORATO **ADOTTATO**
CON DELIBERAZIONE
 Giunta Comunale
 Consiglio Comunale
n° 114 ..del 27 MAR. 2001

ALLEGATO 17

COMUNE DI PISA



**RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA
INDAGINI GEOLOGICO -TECNICHE RELATIVE ALLA PREVISIONE
DI PIANO ATTUATIVO "AREA CANTIERISTICA NAVICELLI"
ZONA DI SVILUPPO DELL'INDUSTRIA CANTIERISTICA E
ATTREZZATURE COMPLEMENTARI"
(L.R. 17 Aprile 1984, n.21)**

Committente: S.P.A. NAVICELLI DI PISA

Dr. Geol. Lorenza Bianchi

Lorenza Bianchi



Dr. Geol. Marcello Ghigliotti



MAGGIO 2000

INDICE GENERALE

1. Caratteristiche dell'intervento	pag. 3
2. Assetto geologico e geomorfologico	pag. 8
3. Caratterizzazione geotecnica dei terreni	pag. 9
3.1. Prove geotecniche in situ	pag. 10
3.2. Sezioni del substrato.....	pag. 15
3.3. Calcolo della capacità portante e dei cedimenti per fondazioni superficiali.....	pag. 18
3.4. Indicazioni e orientamenti geotecnici per le opere di fondazioni profonde (pali).....	pag. 20
4. Assetto idrogeologico dell'area	pag. 25
4.1. Le caratteristiche dell'acquifero freatico.....	pag. 25
4.2. Cenni sugli acquiferi confinati profondi	pag. 26
4.3. Interpretazione idrogeologica dell'area	pag. 27
5. Inquadramento sui sistemi idraulici	pag. 28
6. Considerazioni conclusive	pag. 31

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Corografia	scala 1:25.000
Figura 2	Carta geomorfologica della Pianura di Pisa	scala 1:50.000
Figura 3	Carta geologica	scala 1:10.000
Figura 4	Carta idrogeologica del primo acquifero (falda freatica)	Scala 1:10.000

INDICE DELLE TAVOLE ALLEGATE

Tavola 1	Ubicazione delle prove geognostiche e traccia sezioni	scala 1:5000
Tavola 2a	Sezione geomeccanica A-A'	scala orizz. 1:2500 vert. 1:100
Tavola 2b	Sezione geomeccanica B-B'	scala orizz. 1:2500 vert. 1:100

1 - Caratteristiche dell'intervento

La Relazione di Fattibilità geologica illustra i risultati delle indagini geologiche a supporto della previsione di Piano Attuativo "Area cantieristica Navicelli".

L'area in esame destinata ad ospitare attività cantieristiche e complementari, si trova compresa tra il Canale dei Navicelli ad ovest e la Statale Aurelia ad est, nel Comune di Pisa (Fig. 1 Corografia).

La zona, in gran parte ad uso agricolo e/o produttivo, sarà oggetto di importanti trasformazioni. Queste interessano in particolare gli assi idraulici esistenti, che saranno riconfigurati e ridimensionati secondo il nuovo progetto elaborato dall'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi di Pisa, la terminazione del canale navigabile, che sarà dotato di un'ampia darsena interna, collegata al canale attraverso un ampio varco di accesso, ed un serie di nuove edificazioni (a differenti tipologie e dimensioni come meglio precisato di seguito) destinate ad ospitare le attività produttive connesse con la cantieristica.

Un'altra ampia parte verrà destinata a capannoni di taglia leggermente più contenuta, oltre ad edifici a servizi, uffici ecc. Tutta la zona sarà corredata di nuovi assi viari interni e di ampi spazi a parcheggio, stoccaggio e piazzali di manovra.

La tavola Planimetria Generale del Progetto (scala 1:2000) distingue l'area in due comparti:

1. il comparto meridionale (mq 458.707), per il quale è stata realizzata la variante urbanistica al P.R.G., e che accoglierà la maggioranza degli interventi infrastrutturali ed edificatori previsti dal programma di sviluppo cantieristica;
2. il comparto settentrionale, denominato area a nord (mq 66.765), destinazione 4i di P.R.G. che sarà oggetto di parziale trasformazione a corredo/complemento del comparto meridionale.

Per il comparto meridionale sono previste:

1. un'area (1) di mq 42.400 destinata alla darsena interna,
2. un'area (3) di mq 49.000 destinata a cantieri/capannoni di grandi dimensioni (Hmax 15m, superficie coperta 28.000 mq),
3. un'area (4) di mq 61.390 destinata a piazzali di lavoro e manovra,
4. un'area (5) di mq 36.084 destinata a laboratori per attività complementari o rimessaggi (Hmax 10m, superficie coperta mq 28.500),
5. un'area (5A) di mq 22.444 destinata a laboratori per attività complementari o rimessaggi (Hmax 7 m, superficie coperta mq 17.500),
6. un'area (7) di mq 3.000 per un edificio a servizi, di piani due,

7. un'area (8) di mq 706 per un edificio a servizi di piani sei (*la torre*),
8. un'area (14) di mq 11.244 destinata allo stoccaggio,
9. un'area di mq 24.708 destinata a parcheggio,
10. un'area di mq 165.551 destinata a verde
11. nuova viabilità di servizio alla zona (per mq 42.180).

Per il comparto settentrionale sono previste:

1. un'area di mq 18.190 destinata allo stoccaggio dei materiali a cielo aperto,
2. un'area di mq 14.880 destinata a laboratori per attività complementari o rimessaggi (Hmax 10m, superficie coperta mq 12.000),
3. un'area di mq 4.995 destinata a parcheggio,
4. un'area di mq 19.500 destinata a verde,
5. nuova viabilità di servizio alla zona (per mq 9.200).

Il progetto a corredo dello SUA definisce le tipologie e le dimensioni, di massima, dei fabbricati e manufatti previsti, le caratteristiche della rete viaria/parcheggi, delle nuove linee idrauliche e delle opere marittime senza entrare nel contesto della progettazione esecutiva che viene rimandata ai successivi progetti diretti.

La relazione geologica a supporto dello SUA descrive i risultati dell'indagine geologico-tecnica eseguita nell'area in esame con particolare riferimento alla verifica del quadro geologico-morfologico, geotecnico, idrogeologico ed idraulico, il tutto nel rispetto delle prescrizioni generali indicate nella Relazione di fattibilità geologica dell'Ottobre 1998, prodotta a supporto della precedente Variante urbanistica.

Nel capitolo 3 vengono inoltre evidenziate alcune possibili scelte progettuali, in materia di fondazioni superficiali e profonde, in funzione delle caratteristiche del terreno, che potranno orientare i progettisti nell'elaborazione degli esecutivi.

Di seguito vengono riportate, per estratto, le conclusioni/prescrizioni a carattere geologico ed idraulico dello studio precedente (*Relazione di fattibilità geologica a supporto della Previsione di Variante Urbanistica Area Cantieristica, ottobre 1998*) a cui il presente studio fa espresso riferimento.

Indicazioni sulla classe di pericolosità

La quasi totalità della zona in esame è compresa nella **sottoclasse di pericolosità 3c** (della classe media 3) ossia a pericolosità medio-elevata in quanto soggetta a frequenti

allagamenti sia per la vicinanza di aree depresse, sia per la inefficienza del sistema di scolo della bonifica idraulica.

Sono altresì presenti modeste porzioni di territorio depresse (a quote inferiori al livello del mare) classificate a pericolosità elevata (classe 4).

L'indagine geologica a supporto della previsione di Variante conferma pienamente la classe di pericolosità 3c (medio elevata) e localmente 4 (elevata), assegnata all'area dagli studi di base del Piano Strutturale.

Indicazioni sulla classe di fattibilità

La fattibilità dell'intera area cantieristica NAVICELLI risulta essere condizionata (classe 3).

Gli interventi previsti sono classificati a fattibilità 3, condizionata, e subordinati ad un progetto locale di riassetto della rete idraulica, da inserire nel contesto generale del sistema della bonifica.

La classe di fattibilità 3 condizionata viene estesa anche per le due aree classificate a pericolosità 4 a causa della loro limitata estensione areale e della possibilità di bonifica, a mezzo di riempimenti artificiali, il tutto come meglio illustrato nella relazione di verifica idraulica.

Per la classe 3 di fattibilità, condizionata, sono richieste indagini di dettaglio condotte a livello di area complessiva a supporto della redazione di strumenti urbanistici attuativi e/o di interventi diretti.

In particolare il Piano Attuativo (S.U.A.) dovrà prevedere:

- la realizzazione di interventi finalizzati al ripristino dell'efficienza del sistema di bonifica idraulica. Si rende necessario uno studio che identifichi i possibili fenomeni di ristagno/allagamento ipotizzati nell'area di studio e dal quale dovranno derivare le conseguenti soluzioni progettuali tese ad eliminare/contenere i possibili danni alle cose e/o alle persone;
- in riferimento alle caratteristiche geotecniche dei terreni dovranno essere ipotizzate tecniche fondazionali idonee ad attenuare il non trascurabile fenomeno dei cedimenti del terreno in corrispondenza del sedime di fondazione delle strutture.
- dovranno inoltre essere previste delle opere finalizzate alla bonifica dei dissesti attualmente censiti sulle sponde del canale dei Navicelli in corrispondenza dell'area in esame.
- accertata l'eventualità che si possano verificare locali episodi di ristagno in caso di precipitazioni particolarmente intense, e nel caso in cui la situazione plano-altimetrica

dell'area dovesse permanere nelle attuali condizioni (sfavorevoli) rispetto ai limitrofi rilevati stradali ed il canale Navicelli, è fortemente sconsigliata qualsiasi opera al di sotto del p.c. attuale (quali parcheggi sotterranei, cantine e locali tecnici, ecc).

Indicazioni sul quadro normativo del Piano Attuativo "Area Cantieristica Navicelli".

L'indagine geologica a supporto del Piano Attuativo ottempera a quanto prescritto dalla L.R. 17.4.84 n.21 "Norme per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico" e dalla Deliberazione del C.R. 12.2.85 n.94 "Direttiva sulle indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica, in attuazione della LR 21/84", integrata, per gli aspetti relativi al rischio idraulico, dalla Deliberazione del C.R. 21.6.94 n.230 "Prescrizioni e vincoli e direttive sul rischio idraulico".

Il Piano Strutturale del Comune di Pisa in cui l'intervento si inquadra e' corredato delle indagini geologico-tecniche di supporto come richieste dalla legge.

Verifica idraulica sul Canale dei Navicelli per una piena con tempo di ritorno centennale Q[100], in applicazione della D.C.R. 230/94

Il Piano Attuativo in oggetto ricade, ai sensi della D.C.R. 230/94, all'interno della fascia di Ambito "B" (Art.5 della D.C.R. 230/94) del canale navigabile dei Navicelli.

L'attuale previsione di Piano Attuativo dovrà essere pertanto corredata da un'indagine idraulica nella quale il tratto di canale Navicelli in corrispondenza dell'area di intervento sia verificato per una piena con tempo di ritorno centennale [Q100].

Per il Canale Navicelli si fa riferimento, ai sensi dell'art.79 comma 6 punto c del P.I.T. approvato con DCR n.12/2000, allo studio di verifica idraulica, già effettuato preliminarmente in sede di approvazione della Variante di P.R.G. e depositato al Genio Civile di Pisa per l'area Cantieristica Navicelli:

"Studio idrologico ed idraulico ai sensi della D.C.R.T. n° 230/94 finalizzato alla valutazione delle condizioni di rischio idraulico dell'area soggetta a Previsione di Variante Urbanistica al P.R.G. per l'area cantieristica lungo il Nuovo Canale Navigabile dei Navicelli" (Ottobre 98), a cura degli Ing. Silvia Lucia e Stefano Scorrano.

Tale studio ha accertato che le sezioni idrauliche del Canale Navicelli in corrispondenza dell'area di studio, sono in grado di contenere eventi di piena con tempo di ritorno duecentennale, Q[200].

Il tratto di canale Navicelli in esame non ha subito trasformazioni degne di nota negli ultimi anni e le condizioni idrauliche/idrologiche generali evidenziate dallo Studio idraulico del 1998 sono rimaste inalterate.

Pertanto le sezioni idrauliche del Canale Navicelli, verificate per la piena di ritorno duecentennale Q[200] sono implicitamente in grado di contenere la piena di ritorno centennale, Q[100], di portata sensibilmente minore.

La relazione geologica, a supporto del Piano Attuativo Area Cantieristica Navicelli, viene depositata presso l'Ufficio del Genio Civile di Pisa per i controlli di legge [Del. 11/3/96 n.304, in attuazione delle disposizioni di cui all'Art 32 della LR 5/95].

2. Assetto geologico e geomorfologico

La zona in esame, subpianeggiante, è ubicata nella pianura alluvionale dell'Arno, ad ovest del centro urbano di Pisa, a quote variabili comprese tra circa 0 e +2,6 m sul livello del mare (fig. 2). Nella zona sono presenti due piccole aree, poste a quote inferiori al livello del mare, ed inserite nella classe 4 della carta di Pericolosità geologica.

Gli unici elementi geomorfologici di rilievo sono il Canale Navigabile ed il reticolo idraulico della bonifica. Lungo la sponda sinistra del Canale dei Navicelli sono stati cartografati alcuni dissesti di sponda. Si tratta in genere di locali episodi di franamento del ciglio di sponda per scalzamento della base a seguito del moto ondoso. Questo fenomeno, se non bonificato, tende progressivamente ad allargarsi ed arretrare, generando progressive nicchie di distacco che arrivano ad interessare porzioni di terreno retrostante.

Da un punto di vista geologico l'area è caratterizzata da terreni classificati con la sigla **at**.

at - Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene)

Questi terreni sono costituiti da sedimenti molto fini localizzati, in genere, nelle zone soggette a passati fenomeni di sovralluvionamento.

Si tratta prevalentemente di argille, argille organiche, talvolta con torbe. Talora, all'interno degli strati argillosi sono intercalati sottili livelli limosi e, subordinatamente, da sabbioso-limosi.

Dall'esame della Carta geologica, riportata in estratto in fig. 3, in un intorno significativo della zona di intervento, affiorano i seguenti litotipi:

a - Sedimenti limo-argillosi e sabbiosi delle aree golenali (Attuale)

I sedimenti presenti nelle aree golenali sono depositi dall'Arno nel suo alveo attuale e sue zone contermini, raggiungibili dalle piene ordinarie del fiume con tempi di ritorno generalmente inferiori a due anni. Si tratta di sedimenti a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbiosa in funzione del regime dinamico (energia) delle piene che li hanno depositi.

la - Depositi alluvionali prevalentemente limosi e con intercalazioni sabbiose ed argillose (Olocene)

Questi depositi presentano una granulometria mediamente più grossolana. Si tratta infatti di depositi prevalentemente limosi e argillosi con intercalazioni sabbiose più o meno frequenti.

Le zone il cui substrato è costituito da questi litotipi risultano morfologicamente più rilevate rispetto alle ex-aree palustri in cui si sono depositati litotipi mediamente più fini.

Altri elementi morfologici: tracciati di paleoalvei

Nella carta geomorfologica di Fig 2 sono distinti gli alvei tagliati in epoca storica, gli alvei abbandonati in tempi più antichi riconoscibili da foto aeree o da immagini da satellite (paleoalvei) ed altri elementi morfologici rilevanti.

I paleoalvei sono generalmente caratterizzati da terreni più sabbiosi ad andamento lenticolare alternati a sedimenti più fini limo-argillosi. In superficie possono essere presenti depositi più fini talvolta organici dovuti a locali impaludamenti verificatesi in seguito al taglio del meandro.

3. Caratterizzazione geotecnica dei terreni

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata ricostruita attraverso l'esecuzione di cinque prove penetrometriche statiche C.P.T. (P1, P2, P3, P4 e P5) integrata dai risultati di un sondaggio meccanico a carotaggio continuo (S1) effettuato sul terreno di costruzione di un capannone nella Darsena Pisana, a cura del Geol. Giuseppe Pippi.

Le prove suddette sono state distribuite secondo due direttrici principali (Tav. 1), delle quali una parallela all'asse del Canale, lato occidentale dell'area di studio, e l'altra, sempre longitudinale pero' piu' spostata nella parte centrale.

Le prove sono state spinte a differenti profondita'. Le prove P1, P2, P3 hanno raggiunto i 15 m. dal pdc. rispettivamente ed hanno permesso di ricostruire il quadro litostratigrafico piu' superficiale. Le prove P4 e P5 si sono attestate invece a circa 25 m. dal pdc, ed hanno permesso di definire la geometria dei litotipi piu' profondi (limi sabbiosi).

3.1. Prove geotecniche in situ

Le prove penetrometriche statiche C.P.T. sono state effettuate dalla Ditta Geoindagini s.a.s.. Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico modello IG 63/100 kN Pagani, con punta meccanica tipo Begemann.

Le prove penetrometriche statiche hanno fornito i valori di resistenza alla punta ("Rp" in kg/cmq), resistenza laterale locale ("Rl" in kg/cmq) e spinta totale ("Rt" in kg) ogni 20 cm di profondità e hanno permesso una stima puntuale dei parametri geotecnici del terreno.

Tra le informazioni fornite dalla prova C.P.T., assume notevole rilevanza l'analisi dell'andamento della resistenza alla punta con la profondità i cui valori permettono di definire con buona approssimazione le caratteristiche distintive dei terreni.

Di seguito vengono analizzati i risultati delle penetrometrie relative al presente studio e dei risultati del sondaggio geognostico S1 e delle prove di laboratorio effettuate sui campioni indisturbati prelevati durante il sondaggio stesso.

Prova penetrometrica statica P1

Da 0,00 a - 1,00 m	Terreno agricolo vegetale
Da -1,00 a -2,40 m	Argille dalle proprietà meccaniche migliori rispetto alle argille sottostanti. La resistenza alla punta Rp si mantiene intorno a valori compresi tra 11,1 e 16,1 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,86 e 0,68 kg/cmq (valore medio $c_u = 0,75$ kg/cmq), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica mv varia tra un minimo di 0,021 cmq/kg ed un massimo di 0,025 cmq/kg
Da -2,40 a -3,80 m	Argille ed argille limose la cui Rp è bassa variando tra 6,52 e 9,39 kg/cmq. La coesione c_u è compresa tra 0,40 e 0,57 kg/cmq (valore medio $c_u = 0,42$ kg/cmq) ed il coefficiente di compressibilità volumetrica mv varia tra 0,021 cmq/kg ed un massimo di 0,061 cmq/kg.
Da -3,80 a -11,60 m	Argille plastiche compressibili con intercalazioni di strati torbosi. Dalla osservazione del log penetrometrico, riportato in appendice, si può osservare che la Rp di questi terreni si mantiene intorno a valori molto bassi oscillanti tra 3,8 e 5,6 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,23 e 0,34 kg/cmq (valore medio $c_u = 0,29$ kg/cmq). Il coefficiente mv è più alto rispetto ai terreni sovrastanti ed è compreso tra 0,071 cmq/kg e 0,102

cmq/kg. All'interno di questo livello argilloso si trovano due lenti costituite da limo argilloso a partire dalla profondità di -7,60 m dal p.c. (spessore 80 cm) e dalla profondità di -9,60 m dal p.c. (spessore 40 cm).

Da -11,60 a -15,00 m **Sabbie sciolte con sottili intercalazioni limose.** Questi terreni sono caratterizzati da una resistenza alla punta R_p bassa come i terreni sovrastanti compresa tra 5,6 e 8,9 kg/cmq. L'angolo di attrito interno ϕ della frazione limo-sabbiosa varia tra 25 e 26° (valore medio di $\phi = 25^\circ$). Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,059 cmq/kg ed un massimo di 0,090 cmq/kg.

Prova penetrometrica statica P2

- Da 0,00 m a - 1,00 m **Terreno agricolo vegetale**
- Da -1,00 m a -2,40 m **Argille** caratterizzate da proprietà meccaniche migliori rispetto alle argille sottostanti. La resistenza alla punta R_p si mantiene intorno a valori compresi tra 10,4 e 21,3 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,63 e 1,29 kg/cmq (valore medio $c_u = 1,08$ kg/cmq), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,017 cmq/kg ed un massimo di 0,035 cmq/kg
- Da 2,40 a -5,00 m **Argille con rare intercalazioni limo-argillose** la cui R_p varia tra 5,6 e 11,4 kg/cmq. La coesione varia tra 0,34 e 0,69 kg/cmq (valore medio $c_u = 0,45$ kg/cmq) mentre m_v è compreso tra 0,052 cmq/kg e 0,071 cmq/kg
- Da -5,00 a - 11,80 m **Argille plastiche compressibili** che possono eventualmente contenere anche strati torbosi. La R_p di questi terreni assume valori molto bassi variabili generalmente tra 3,9 e 7,6 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,25 e 0,46 kg/cmq (valore medio $c_u = 0,34$ kg/cmq). Il coefficiente m_v è più alto rispetto ai terreni sovrastanti, essendo questi terreni più suscettibili ai cedimenti, ed è compreso tra 0,021 cmq/kg e 0,102 cmq/kg. All'interno di questo livello argilloso sono inoltre presenti intercalazioni limose molto rare e molto sottili
- Da -11,80 a -15,00 m **Sabbie e sabbie limose** caratterizzate da una resistenza alla punta R_p mediamente elevata compresa tra 8,6 e 82,9 kg/cmq. L'angolo di attrito interno ϕ di questi terreni varia tra 25° e 32° (valore medio di $\phi = 28^\circ$). Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v indica una scarsa compressibilità mantenendosi intorno a valori generalmente bassi (varia

tra un minimo di 0,004 cmq/kg ed un massimo di 0,047 cmq/kg).

Prova penetrometrica statica P3

- Da 0,00 a - 1,00 m **Terreno agricolo vegetale**
- Da -1,00 a -2,60 m **Limi e argille** dalle proprietà meccaniche migliori rispetto alle argille sottostanti. La resistenza alla punta R_p assume valori compresi tra 11,1 e 20,3 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,81 e 1,23 kg/cmq (valore medio $c_u = 1,03$ kg/cmq), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,015 e un massimo di 0,044 cmq/kg.
- Da -2,60 a -3,60 m **Argille ed argille limose** la cui R_p varia tra 4,52 e 8,39 kg/cmq. La coesione è compresa tra 0,27 e 0,51 kg/cmq, mentre m_v varia tra 0,048 e 0,091 cmq/kg.
- Da -3,60 fa -10,00 m **Argille plastiche compressibili** che possono eventualmente contenere anche strati torbosi. La R_p di questi terreni assume valori molto bassi compresi tra 2,78 e 6,65 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,18 e 0,40 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,060 e un massimo di 0,144 cmq/kg.
- All'interno di questo livello sono presenti due intercalazioni di argille limose e sabbiose a partire dalla profondità di -7,2 m dal p.c. (spessore 80 cm) e 8,4 m dal p.c. (spessore 140 cm).

Prova penetrometrica statica P4

- Da 0,00 a -1,0 m **Terreno di riporto** costituito da materiale limoso ed argilloso al cui interno sono presenti frammenti di materiale litoide e di laterizi
- Da -1,00 a -2,60 m **Argille consistenti** la cui resistenza alla punta R_p ha una tendenza a decrescere con la profondità e varia tra 11,39 e 29,26 kg/cmq. La coesione c_u è compresa tra 0,81 e 1,35 kg/cmq, (valore medio $c_u = 1,13$ kg/cmq), il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,017 e un massimo di 0,025 cmq/kg (valore medio $m_v = 0,020$ cmq/kg). Il peso di volume dello strato corrisponde a $\gamma = 2,0$ kg/dmc

- Da -2,60 a -5,20 m **Argille plastiche** caratterizzate da una resistenza alla punta R_p poco elevata compresa tra 6,65 e 17,39 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,40 e 0,69 kg/cmq, (valore medio $c_u=0,55$ kg/cmq). Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,029 e un massimo di 0,129 cmq/kg (valore medio $m_v= 0,061$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,8$ kg/dmc
- Da -5,20 a -6,00 m **Sabbie (da sciolte a mediamente addensate)**. La resistenza alla punta R_p risulta compresa tra 6 e 35 kg/cmq. L'angolo di attrito interno ϕ varia tra 29° e 34° (valore medio $\phi=31^\circ$), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,014 e un massimo di 0,074cmq/kg (valore medio $m_v=0,029$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,8$ kg/dmc
- Da -6,00 a -17,80 m **Argille molli e plastiche con intercalazioni di limi e sabbie**. In tutto lo strato la resistenza alla punta R_p assume valori bassi compresi tra 5,43 e 10,34 kg/cmq. La coesione c_u dei terreni argillosi e limosi si varia tra 0,33 e 0,63 kg/cmq, (valore medio $c_u=0,43$ kg/cmq), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v di tutto lo strato varia tra un minimo di 0,031 e un massimo di 0,180 cmq/kg (valore medio $m_v=0,070$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,8$ kg/dmc
- Da -17,80-23,40 m **Alternanze di strati costituiti da argille consistenti e limi e livelli di sabbie (mediamente addensate)**. La R_p di questi terreni assume valori compresi tra 17,99 e 69,60 kg/cmq. Per quanto riguarda i terreni argillosi e limosi, la coesione c_u varia tra 0,94 e 1,9 kg/cmq, (valore medio $c_u=1,33$ kg/cmq); per quanto riguarda gli strati sabbiosi, l'angolo di attrito interno medio corrisponde a $\phi=30^\circ$. Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v , relativamente a tutto lo strato, è generalmente basso e varia tra un minimo di 0,009 ed un massimo di 0,023 cmq/kg (valore medio $m_v=0,016$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,9$ kg/dmc

Prova penetrometrica statica P5

- Da 0,00 a -1,00 m **Terreno vegetale** costituito prevalentemente da materiale limoso ed argilloso.

- Da -1,00 a -2,40 m **Alternanza di argille consistenti e plastiche** la cui resistenza alla punta R_p varia tra 10,26 e 19,13 kg/cmq. La coesione c_u è compresa tra 0,62 e 1,16 kg/cmq, (valore medio $c_u=0,81$ kg/cmq), il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,019 e un massimo di 0,071 cmq/kg (valore medio $m_v=0,034$ cmq/kg). Il peso di volume dello strato corrisponde a $\gamma=1,9$ kg/dmc
- Da -2,40 a -13,60 m **Argille molli e plastiche compressibili** caratterizzate da una resistenza alla punta R_p poco elevata compresa tra 3,65 e 9,39 kg/cmq. La coesione c_u è bassa variando tra 0,23 e 0,57 kg/cmq, (valore medio $c_u=0,31$ kg/cmq). Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,043 cmq/t e un massimo di 0,274 cmq/kg (valore medio $m_v=0,102$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,8$ kg/dmc
- Da -13,60 -18,80 m **Argille consistenti con intercalazioni limose e sabbiose.** In tutto lo strato la resistenza alla punta R_p assume valori compresi tra 6,95 e 43,34 kg/cmq. La coesione c_u varia tra 0,90 e 1,77 kg/cmq, (valore medio $c_u= 1,19$ kg/cmq), mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra un minimo di 0,012 e un massimo di 0,042 cmq/kg (valore medio $m_v=0,020$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,9$ kg/dmc
- Da -18,80 -20,60 m **Sabbie da mediamente a molto addensate.** La resistenza alla punta R_p è elevata risultando compresa tra 14,60 e 307,73 kg/cmq. L'angolo di attrito interno ϕ varia tra 27° e 34° (valore medio $\phi=31^\circ$). Il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra 0,002 e 0,021 cmq/kg, (valore medio $m_v=0,011$ cmq/kg). Il peso di volume medio dello strato corrisponde a $\gamma=1,9$ kg/dmc.
- La presenza di sabbie dense e/o ghiaie, impenetrabili alla punta del penetrometro statico, ha provocato il rifiuto alla profondità di -22,60 m dal p.c

Sondaggio geognostico S1

Di seguito viene descritta la successione stratigrafica per quello che concerne i tipi litologici fondamentali che sono stati riscontrati:

- da 0 a -1,0 m dal p.c. di terreno di riporto e vegetale;
- da -1,00 a -3,00 m dal p.c. argilla beige;
- Da -3,00 a -4,50 m dal p.c. argilla limosa grigia;
- Da -4,50 a -15,00 m dal p.c. limo palustre plastico con livelli sabbiosi.

Nel corso del sondaggio a carotaggio continuo sono stati prelevati dei indisturbati campioni (C1, C2 e C3) negli strati argillosi più rappresentativi i cui parametri geotecnici più rappresentativi sono riassunti nella tabella che segue:

TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO			
Campione	C1 da m -1,90	C2 da m -2,70	C3 da m -3,70
Peso di volume γ (kg/cm ³)	1,924	1,884	1,743
Angolo di attr. int. ϕ	3°	5°	3°
Coesione c (kg/cm ²)	0,700	0,400	0,170
Umidità naturale w (%)	31,55	37,7	46
Indice dei pori e_0	0,851	1,06	1,217

3.2. Sezioni del substrato in esame

Dall'analisi delle caratteristiche geotecniche dei terreni indagati dalle prove sopra descritte, si osserva che il sottosuolo dell'area in esame presenta un'alternanza di strati dalle proprietà meccaniche molto simili. La situazione litostratigrafica della zona si presenta quindi abbastanza omogenea e ben correlabile.

Sono state elaborate due sezioni geomeccaniche del substrato dell'area di studio, le cui tracce sono osservabili in Tav.1:

- la sezione A-A', di direzione circa S-N, correla le prove P2, P3, P1 (proiettato), S1 e P4;
- la sezione B-B', di direzione circa SE-NW, correla le prove P1, P5 e S1.

La ricostruzione litostratigrafica, rappresentata in Tav. 2a (sezione A-A') e Tav. 2b (sezione B-B'), e' la seguente:

1. Superficialmente è presente uno strato di terreno vegetale dello spessore di circa 1,00 m nei punti indagati; in corrispondenza della prova P4 (margine settentrionale) e' presente un'estesa copertura (metrica) di riporto formata da macerie e materiale vario adiacente ad alcuni dei fabbricati esistenti. Lo spessore di questa coltre in genere e' sub-metrico, localmente puo' arrivare a superare il metro, in corrispondenza di deboli rilevati morfologici.
2. Al di sotto, è presente uno strato costituito prevalentemente da argille la cui base, in tutta l'area indagata, si trova tra -2,60 e -3,00 m dal p.c. Questo terreno è caratterizzato da proprietà meccaniche migliori rispetto ai livelli sottostanti in quanto dotato, ad esempio, da minore compressibilità e da coesione relativamente elevata. Il valore medio di c_u è stato valutato in $c=0,8$ kg/cmq, mentre il peso di volume dello strato corrisponde mediamente a 1,9 kg/dmc)
3. Inferiormente si trova un livello costituito da argille limose plastiche compressibili, la cui base si trova tra -3,60 e -5,20 m dal p.c. Si tratta di terreni dotati di coesione bassa ($c=0,4$ kg/cmq) ed angolo di attrito interno è molto basso (valutato variabile tra 3° e 5° nei tagli rapidi eseguiti su campioni prelevati in questo livello nel corso del sondaggio S1). L'angolo di attrito interno viene cautelativamente rappresentato uguale a zero negli schema di Tav.2a e 2b (sezioni geomeccaniche).
4. Al di sotto e' presente un notevole spessore di argille molli e plastiche dotate di elevata compressibilità e coesione molto bassa ($c=0,3$ kg/cmq). La base di questo livello si trova a profondità variabili tra -11,60 m dal p.c. in prossimità della prova P1, e -17,80 m dal p.c. in corrispondenza della prova penetrometrica P4.
5. Ancora al di sotto, è stata riscontrata la presenza di uno strato costituito prevalentemente da sabbie e sabbie limose.

Questo terreno, intercettato nelle prove P1 e P2 e P4 e P5, è tuttavia caratterizzato in ciascuna di esse da differenti andamenti della R_p del penetrometro statico che rappresentano un diverso grado di addensamento. Nella parte Sud e a Sud-Ovest dell'area, in prossimità della prova P2 al di sotto delle argille molli e plastiche si trovano delle sabbie mediamente addensate, in prossimità della prova P5 inferiormente ai terreni compressibili è presente invece uno strato di argille consistenti seguito da sabbie mediamente e molto addensate a partire da -18,8 m dal p.c.; mentre in corrispondenza di tutte le altre prove a Nord e a Nord-Ovest dell'area in esame, al di sotto degli stessi terreni compressibili, si trovano sabbie da sciolte a mediamente addensate con intercalazioni limo-argillose molto frequenti.

I valori della coesione sopra indicati sono stati ottenuti come valori medi relativamente a ciascun livello in cui il terreno è stato suddiviso. Tali parametri geotecnici sono stati ottenuti ogni 20 cm di profondità, mediante l'esecuzione delle prove CPT e dai risultati delle prove di laboratorio (tagli rapidi non drenati) sui campioni C1 e C2 e C3 (prelevati nel sondaggio S1).

Schematicamente si può riassumere:

	<i>Profondità (m dal p.c.)</i>	<i>Descrizione stratigrafica</i>
strato n.1	0,00 - 1,00	Terreno vegetale e/o di riporto
strato n.2	1,00 - 2,60/3,00	Argille
strato n.3	2,60/3,00 - 3,60/5,20	Argille limose
strato n.4	3,60/5,20 - 11,60/17,80	Argille plastiche compressibili
strato n.5	11,60/17,80 - 23,40	Sabbie limose sciolte/med. addensate con intercalaz. Limo argillose passanti lateralmente a sabbie med./molto addensate e localmente ad argille consistenti

3.3. Calcolo della capacità portante e dei cedimenti per fondazioni superficiali (fabbricati minori, accessori e di supporto)

Calcolo della capacità portante

Per i fabbricati minori, accessori e di supporto, previsti dal Piano Attuativo, potranno essere adottate fondazioni dirette superficiali a plinto, a platea e/o a trave continua.

A titolo di esempio, per avere una verifica della capacità portante del terreno e la sua suscettibilità ai cedimenti è stata presa in esame una fondazione su trave rovescia in c.a. di larghezza pari a $B = 120$ cm con piano di imposta alla profondità $D = 120$ cm dal p.c.

Per il calcolo della pressione limite di rottura viene utilizzata la seguente formula di Terzaghi:

$$q_r = c \cdot N_c + \gamma' \cdot D \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

in cui:

c = coesione del terreno (kg/cmq)

γ' = peso di volume del terreno al di sopra del piano di fondazione (kg/cm³)

γ = peso di volume del terreno al di sotto del piano di fondazione (kg/cm³)

D = profondità del piano di imposta della fondazione (cm)

" B " = larghezza della fondazione (cm)

N_c - N_q - N_γ = fattori di capacità portante del terreno (adim.)

Per quanto riguarda i parametri geotecnici del terreno sono stati presi in esame i dati relativi alla prova P1 riassunti come segue:

Coesione c_u (Kg/cmq)	Angolo d'attrito ϕ	Peso di volume γ (t/mc)
0,75	0°	1,90

In base ai criteri sopra specificati, il carico di rottura del terreno è $q_r = 4,08$ kg/cmq

mentre il carico ammissibile calcolato con un coefficiente di sicurezza $K=3$ risulta essere:

$$q_a = 1,36 \text{ kg/cmq.}$$

Calcolo dei cedimenti del terreno di fondazione

Il terreno eventualmente interessato dai cedimenti è stato suddiviso in n.6 strati ciascuno dello spessore di 1 metro a partire da una profondità di 1,20 m dal piano di campagna.

I parametri caratteristici dei vari livelli sono osservabili nella Tab.2.

Il cedimento complessivo è stato ottenuto come somma dei cedimenti parziali relativi agli strati in cui il terreno è stato suddiviso, mentre il calcolo è stato effettuato fino alla profondità di -6,70 m dal piano di campagna.

Il cedimento S di ogni singolo strato è stato calcolato in base alla relazione:

$$S = H_0 \cdot \Delta P \cdot m_v$$

dove:

H_0 = spessore dello strato (cm)

ΔP = variazione di pressione sullo strato in seguito alla applicazione del carico (kg/cmq)

m_v = coefficiente di compressibilità di volume (cmq/t).

Per ciascun strato in cui il terreno è stato suddiviso, il coefficiente di compressibilità di volume è stato ottenuto come media dei valori registrati ogni 20 cm di profondità nella prova penetrometrica statica P1.

Viene assunto un carico di esercizio pari a $q_e = 1,0$ kg/cmq. Ai fini del calcolo del cedimento si è tenuto conto della riduzione di pressione al piano di posa della fondazione per effetto dello sbancamento.

Dall'esame della Tab.2, che riporta i risultati dei calcoli effettuati, si può rilevare che il cedimento totale può essere stimato pari a

$$S = 7,71 \text{ cm}$$

Indicazioni costruttive sulla massicciata industriale

Per la costruzione della massicciata di tipo industriale che costituirà la base per il pavimento interno dei fabbricati e dei piazzali esterni e assi viari si suggerisce di interporre un telo geotessuto tra pietrame di riporto e terreno in posto onde evitare una indesiderata compenetrazione tra i due materiali con conseguente riduzione dello spessore utile della massicciata. I terreni di fondazione dovranno essere preventivamente costipati per raggiungere opportuni livelli di addensamento

3.4. Indicazioni e orientamenti geotecnici per le opere di fondazione profonde (pali)

I fabbricati principali (capannoni di altezza variabile compresa tra 10 e 15 m) poggeranno su pilastri con notevole interasse. Per le caratteristiche geotecniche scadenti del terreno in corrispondenza di tali pilastri sono ipotizzabili fondazioni indirette (su pali), in modo tale che i carichi agenti sul terreno possano essere distribuiti in modo tale da garantire la stabilità alle strutture.

Tipologie delle fondazioni profonde

A titolo indicativo il palo di tipo trivellato può costituire una soluzione generale valida considerato che in questa ipotesi non esistono limitazioni esecutive in ordine alla lunghezza o al diametro.

In alternativa possono essere ipotizzati dei pali battuti. In questa tipologia di pali dovrebbero essere esclusi i pali prefabbricati a vantaggio di quelli gettati in opera. Tra questi ultimi si raccomandano in particolare i pali gettati in opera eseguiti con tuboforma successivamente estratto mediante vibrazione del medesimo. Tale tecnica consente infatti di ottenere superfici scabrose al contatto tra palo e terreno, tali da garantire un'elevata aderenza e quindi resistenze laterali specifiche superiori a quelle raggiungibili con altre metodologie.

Capacità portante di un singolo palo (metodi analitici)

La capacità portante del palo (cfr. Capo C.5.3., comma 3, DM 11/3/88) è il risultato di due contributi distinti:

1. portata alla punta (Q_p)
2. portata laterale dovuta all'attrito terreno-palo (Q_l)
3. al netto del peso proprio del palo W_p il cui modulo è dato dal peso specifico unitario del cls ($\gamma_{cls} = 2.500 \text{ kg/mq}$) moltiplicato per il volume del palo

la portata limite è uguale a:

$$Q_{lim} = Q_p + Q_l - W_p.$$

La portata di punta

Il calcolo della portata di punta è dato dalla seguente relazione:

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

Dove:

1. Q_p e' la resistenza alla punta del palo offerta dal terreno di fondazione
2. A_p la superficie di base del palo ($A_p = \pi r^2$ con r raggio del palo).

Nei terreni granulari la portata alla base assume in genere una rilevanza maggiore di quella laterale. La portata alla base e' determinata da:

$$Q_p = \sigma_v' N_{qp}$$

ossia la tensione litostatica efficace alla punta moltiplicata per un fattore di capacita' portante N_{qp} , funzione dell'angolo di attrito interno del terreno.

N_{qp} rappresenta il fattore di capacita' portante di un terreno dotato di attrito interno e sottoposto all'azione di un carico litostatico, e sempre inferiore rispetto all'analogo fattore adottato per le fondazioni dirette (N_q).

La seguente relazione (Berezantzev, 1965) esplicita il legame tra N_{qp} e l'angolo di attrito interno ϕ del terreno:

$$N_{qp} = 0.48 e^{(4.97 \tan \phi')}$$

Nei terreni coesivi la portata di base (punta) viene effettuata in termini di tensioni totali, ovvero la portata alla punta e' data dal solo contributo della resistenza non drenata ($\tau = C_u$) moltiplicata per il fattore di capacita' portante N_{cp} in condizioni di angolo di attrito nullo ($\phi_u=0$) ossia:

$$q_p = C_u N_{cp} + \sigma_v$$

dove:

- N_{cp} assume il valore costante di 9
- σ_v e' la pressione litostatica in termini di tensioni totali
- ($\sigma_v = \gamma_n z$ con γ_n peso di volume del terreno e z la profondita' della base del palo).

La portata laterale

La portata laterale rappresenta la resistenza offerta dal terreno lungo la superficie laterale del fusto del palo ed e' il prodotto della resistenza per attrito laterale (q_l) moltiplicata la superficie laterale del palo $A_l = \pi D L$ (D =diametro e L =lunghezza del palo).

$$Q_l = q_l \cdot A_l$$

La portata per attrito laterale (q_l) e' funzione della tensione geostatica agente lungo la superficie laterale del palo nonche' dell'angolo di attrito terra/palo (δ).

La resistenza laterale specifica lungo la superficie del palo dipende dai seguenti parametri (coesione non drenata c , angolo di attrito Φ , peso di volume γ), e varia in funzione della

tecnica impiegata per la perforazione che determina un'azione di disturbo nei confronti del terreno circostante il palo e della tecnica di realizzazione del palo stesso, che consente di ottenere superfici con maggiore o minore scabrosita'.

Nel caso di pali trivellati durante la perforazione si ha un rimaneggiamento del terreno, con asportazione del volume interno al foro e quindi un richiamo di acqua verso il foro, tale da produrre un decadimento delle caratteristiche geotecniche del terreno. La superficie di perforazione che si ottiene non e' comunque perfettamente liscia ed il palo presenta lungo il fusto una discreta ma disordinata scabrosita'.

Con la tecnica della battitura si ha invece un parziale rimaneggiamento positivo del terreno intorno al palo, determinando un consolidamento per effetto dell'infissione del tuboforma che sposta lateralmente i terreni per formare il foro desiderato. La superficie del foro ottenuta e' decisamente piu' liscia di quella ottenuta con la tecnica precedente ma la possibilita' di realizzare scabrosita' e corrugamenti durante il getto del palo (battitura e vibratura del calcestruzzo) in maniera controllata e sistematica consente di raggiungere risultati piu' che soddisfacenti e sicuri.

Alcune indicazioni per il dimensionamento dei pali.

L'eterogeneita' litologica osservata a piccola scala puo' essere considerata trascurabile a scala maggiore ed il litotipo puo' essere considerato omogeneo.

Per il calcolo indicativo dei coefficienti di portata di un palo standard (lungo 18 m e diametro 60 cm) e' stata considerata quindi la litologia ed i parametri geotecnici desunti dalla prova P5. I risultati che derivano dai calcoli basati su tali parametri sono rappresentativi soltanto della zona indicata (ubicazione della prova penetrometrica statica P5 osservabile in Tav.1) ed andranno quindi verificati localmente e in modo puntuale per ogni intervento diretto in fase di progetto esecutivo.

I parametri geotecnici assunti per la stratigrafia considerata sono i seguenti:

-2,0/-13,5 m dal p.c.	<i>argille molli e plastiche</i>	coesione non drenata $c_u = 0,31$ kg/cmq peso di volume $\gamma = 1,8$ kg/dmc angolo di attrito interno $\phi=0$
-13,5/-18,0 m dal p.c.	<i>argille consistenti</i>	coesione non drenata $c_u = 1,19$ kg/cmq peso di volume $\gamma = 1,9$ kg/dmc angolo di attrito interno $\phi=0$
-18,0/-20,0 m dal p.c.	<i>sabbie</i>	coesione non drenata $c_u = 0$ peso di volume $\gamma = 1,9$ kg/dmc angolo di attrito interno $\phi=31^\circ$

Il coefficiente moltiplicativo della coesione applicato per la determinazione della portata laterale specifica e'

$\alpha = 0.75$ per pali trivellati

$\alpha = 0.90$ per pali battuti, gettati in opera

inoltre la profondita' dalla testa del palo dalla quale si considera attivo e' stata posta a (m) = 2.00 ed il peso specifico (cls) del palo = 2500 kg/mc.

PORTATA DI UN PALO (TRIVELLATO/GETTATO IN OPERA)

In queste premesse, per un palo lungo 18 m e diametro 60 cm, intestato per 2 m nelle sabbie, risulta essere:

portata di punta del palo = 127 t

portata laterale del palo (dovuta alla coesione) = 128 t

portata utile del palo = 82 t

ove $P \text{ utile} = (P_{\text{punta}} + P_{\text{lat}} - \text{Peso proprio (palo-terreno asportato} = 8,6 \text{ t)}) / C.s.$

Con C.s. = coeff sicurezza = 3

PORTATA DI UN PALO (BATTUTO/GETTATO IN OPERA)

Nelle stesse ipotesi di calcolo, per un palo lungo 18 m e diametro 60 cm, intestato per 2 m nelle sabbie, risulta essere:

portata di punta del palo = 127 t

portata laterale del palo (dovuta alla coesione) = 153 t

portata utile del palo = 90 t

ove $P \text{ utile} = (P_{\text{punta}} + P_{\text{lat}} - \text{Peso proprio (palo-terreno asportato} = 8,6 \text{ t)}) / C.s.$

Con C.s. coeff sicurezza = 3

Cenni sulla modalita' di costruzione del palo

La capacita' portante di ogni palo nella pratica e' funzione della cura nella costruzione dello stesso. I singoli pali dovranno essere posati a scacchiera, evitando di costruire un nuovo palo in corrispondenza di altri appena realizzati ancora in fase di consolidamento.

Nel caso di pali trivellati, data la presenza di terreni plastici e di livelletti limosi (possibilmente saturi di acqua), si consiglia di eseguire la perforazione utilizzando un'apposita colonna di rivestimento del perforo in modo di evitare interruzioni di continuita' (perturbazioni) nel getto del calcestruzzo.

Nel caso di pali battuti-gettati in opera sarà bene procedere al sollevamento del tuboforma con sufficiente lentezza in modo da garantire la formazione di una sviluppata rugosità e quindi la massima aderenza del calcestruzzo al terreno circostante.

Cenni sulla capacità portante dei pali in gruppo

La capacità portante di un gruppo di pali viene comunemente definita come la somma dei contributi di capacità portante di ogni singolo palo facente parte della palificata.

Più in dettaglio la capacità portante di una palificata (con questo termine si intende un gruppo minimo di almeno 10 pali) è funzione del tipo di terreno e della spaziatura tra i pali.

L'efficienza (η) della palificata è il rapporto tra capacità portante media del singolo palo e quella che lo stesso avrebbe se operasse isolatamente dal resto del gruppo.

Sarà inoltre opportuno mantenere tra coppie di pali un interasse minimo pari a tre volte il diametro del palo, questo per evitare ogni possibile interferenza tra pali e perdita di capacità portante.

4. Assetto idrogeologico dell'area

4.1 Le caratteristiche dell'acquifero freatico

L'acquifero freatico della piana di Pisa, pur essendo limitatamente sfruttato per scopi idropotabili assume una certa rilevanza nelle valutazioni geotecniche.

La caratterizzazione dell'acquifero freatico risulta alquanto complessa per l'estrema variabilità granulometrica e tessiturale dei litotipi più superficiali.

Ad ovest della zona di studio (fascia compresa tra linea di costa ed il limite orientale delle dune costiere affioranti) l'acquifero freatico è residente nei depositi sabbiosi dotati di buona permeabilità. Gli spessori di queste sabbie nel tratto a Sud dell'Arno sono variabili e stimabili in 20 m. Spostandosi verso est, nella parte più interna della pianura, l'acquifero freatico è scarsamente produttivo ed il suo spessore raramente supera i 10m. In corrispondenza di paleoalvei o meandri abbandonati tuttavia la permeabilità tende ad aumentare.

Nella carta idrogeologica riportata in fig. 4 sono rappresentate le due superfici piezometriche relative ai periodi di massima e di minima ricarica dell'acquifero freatico superficiale. La geometria della superficie piezometrica è stata ricostruita sulla base di due campagne di misura, una primaverile e l'altra estiva, svolte rispettivamente nel mese di maggio e di agosto del 1994 (da Vieri 1995).

La zona in esame presenta le caratteristiche che vengono di seguito descritte:

- nel periodo estivo il livello freatico raggiunge i valori minimi; il tetto della falda si attesta a valori oscillanti intorno a -1,0 m s.l.m;
- nel periodo invernale il livello freatico raggiunge i valori massimi, il tetto della falda acquifera è variabile tra +1 e +0,5 m s.l.m.

Le deboli direzioni di flusso della falda freatica hanno direzioni variabili da NE verso SW e da NW verso SE.

Il reticolo superficiale non sembra influenzare in maniera rilevante influenza la geometria e l'andamento delle linee di flusso della prima falda. La falda presenta un gradiente modestissimo ed è ospitata all'interno di successioni limose a moderata/bassa permeabilità. Gli unici movimenti degni di nota sono le escursioni verticali osservate in concomitanza dei periodi di ricarica.

L'escursione minima e massima della falda acquifera può essere stimata in circa 75 e 150 cm a seconda dei punti in esame.

La qualità delle acque freatiche è in media scarsa, con presenza di maggiori quantità di sostanze inquinanti in prossimità dei centri urbani, zone industriali ed aree sottoposte a coltura intensiva.

Misura diretta del livello della falda freatica in corrispondenza dell'area di studio

Il perforo della prova P1 è stato attrezzato con un piezometro aperto in PVC. In data 08/10/98 è stata misurata la falda libera alla profondità, osservata a -1,16 m dal pdc. La misura eseguita è stata preceduta da un periodo di intense precipitazioni.

Il dato di profondità della falda osservato risulta in accordo con quanto riportato nella Carta idrogeologica (fig. 4) secondo la quale il livello massimo della falda acquifera superficiale si trova, nell'intorno della prova P1, a +1 m s.l.m., e ossia a circa -1 m di profondità dal pdc. (la quota del p.c. in quel punto è stimata a circa +2 m s.l.m.).

In data 22/4/2000 è stato misurato il livello della falda freatica superficiale in corrispondenza del perforo della prova P5. Il livello misurato si trova alla profondità di -0,50 m dal pdc. Anche in questo caso la misura è stata preceduta da un periodo di precipitazioni diffuse che hanno contribuito a saturare i primi strati di terreno agricolo/riporto moderatamente più permeabili dei litotipi sottostanti.

4.2 Cenni sugli acquiferi profondi

Poco a nord dell'area di studio, in corrispondenza della zona industriale di Porta a Mare, sono stati perforati pozzi profondi per acqua a supporto degli stabilimenti Piaggio e Saint Gobain.

I pozzi realizzati negli anni '50 risultano incompleti (successione stratigrafica e schemi di completamento). I pozzi più recenti dispongono invece di un corredo tecnico sufficiente. Per la caratterizzazione idrogeologica del substrato profondo è stato utilizzato il pozzo 1001 di via del Nugolaio, trivellato dalla Ditta Landi Franco per conto della PIAGGIO SPA nell'ottobre 1980 (*banca dati: studi di base a supporto del Piano Strutturale del Comune di Pisa*).

Caratteristiche costruttive del pozzo 1001

Il pozzo, a circolazione inversa, raggiunge la profondità massima di 223,00 m dal pdc., con un diametro nominale di perforazione di 600 mm. Il diametro della colonna di rivestimento e' invece 323 mm.

Un filtro inox punzonato di ml 6,00 e diametro di 323mm e' stato posizionato tra 203,17 e 209,17 m dal pdc in corrispondenza di un livello permeabile di ghiaie. La portata di acqua erogata dal pozzo ed emunta da questo livello e' di circa 2000 l/min

Il Log litostratigrafico del pozzo 1001 (ed indicazioni sulla permeabilita'):

pdc- 26.00m: alternanze di livelli limosi ed argillosi (*permeabilita' ridotta*)

26.00-35.50m livello sabbioso (*permeabilita' media/buona*)

35,50-41.00m alternanze di limi sabbiosi e limi (*permeabilita' media/bassa*)

41.00-55.00m livello sabbioso (*permeabilita' media/buona*)

55.00-138.00m alternanza di livelli argillosi con locali passate di limi sabbiosi (*impermeabile*)

138.00-143.90m livello ghiaioso (*permeabilita' elevata*)

143.90-177.20m successione di livelli sabbiosi dominanti (*permeabilita' media*)

177.20-199.30m strati argillosi con locali intercalazioni limose (*impermeabile*)

199.30-210.00m livello ghiaioso e sabbioso (*permeabilita' elevata*)

210.00-223.00m (f.p.) alternanza di sabbie dominanti e limi argillosi (*permeabilita' media*).

4.3 Interpretazione idrogeologica

Considerata la ridotta distanza esistente tra il pozzo 1001 (nella zona industriale di Porta a Mare, a nord) e la zona di studio, immediatamente a sud, il quadro idrogeologico (superficiale e profondo) non subisce variazioni rilevanti. Pertanto:

1. L'acquifero freatico, presente nei terreni piu' superficiali, e' privo di importanza per possibili utilizzi idropotabili.
2. I tre acquiferi confinati sottostanti si ritrovano, seppur in situazioni geometriche (quote dal pdc) leggermente modificate, anche in funzione dell'andamento morfologico/topografico, nel substrato profondo dell'area di studio.

Primo acquifero confinato in sabbie e primo/secondo acquifero confinati in ghiaie

Il primo acquifero confinato (in un orizzonte sabbioso) e' presente a partire da circa 25 m dal pdc, ed in particolare nell'intervallo 40-50 m dal pdc.

In questo tratto della pianura la sua zona di ricarica principale e' ad ovest (nella zona delle dune sabbiose costiere dove esiste un collegamento idraulico verticale diretto tra questo acquifero e quello superiore freatico).

Sicuramente piu' produttivo e' il primo acquifero confinato nelle ghiaie presente a 135-145m dal pdc. Si tratta di un acquifero esteso e noto, ampiamente sfruttato per scopi idropotabili.

Questo acquifero ha uno spessore che raramente supera i 10 m. La geometria del tetto delle ghiaie ha un aspetto accidentato, con dossi e valli, lineamenti ereditati dalla antica paleogeografia del Wurm II.

Al di sotto di questo si trova il secondo acquifero confinato nelle ghiaie (a -200 m dal pdc, sfruttato dal pozzo 1001), anch'esso ampiamente sfruttato da numerosi pozzi della pianura di Pisa.

Le distanze tra i pozzi attuali (a nord) e quello/i che potrebbero essere trivellati nell'area di studio sono tali da non prevedere significativi fenomeni di interferenza.

In questa fase preliminare delle indagini si raccomanda di ubicare l'eventuale nuovo pozzo/campo pozzi nella zona centrale dell'area di studio.

5. Inquadramento sui sistemi idraulici

Le acque di precipitazione meteorica, condizionano l'idrologia della zona. Le stesse afferiscono alla rete di bonifica idraulica della piana di Pisa. Tale rete si articola in due sistemi distinti, quello dei canali a scolo naturale e quello dei canali a scolo meccanico.

Il fiume Arno, completamente arginato nel tratto pisano, costituisce un sistema idraulico isolato ed indipendente dalla rete di deflusso locale.

Il sistema a "scolo naturale" (o detto ad "acque alte") smaltisce le acque meteoriche che provengono da zone morfologicamente più alte, viceversa il sistema a "scolo meccanico" (o di "acque basse") smaltisce, attraverso un prosciugamento per esaurimento meccanico e sollevamento all'impianto idrovoro, le acque meteoriche che altrimenti tenderebbero a ristagnare, senza deflusso, nelle parti del territorio morfologicamente più depresse.

Alla rete delle "acque basse" si allacciano i fossi in uscita da Pisa che, in alcuni quartieri cittadini rivestono ancora il ruolo improprio di collettori fognari.

I canali ricettori del sistema a scolo naturale e di quello meccanico sono detti delle "acque medie".

Il reticolo idraulico, progettato per prosciugare la bassa piana pisana dagli apporti di pioggia, riceve attualmente anche aliquote consistenti provenienti dalle aree urbane, talora reflui non trattati, e quindi in molti tratti puo' risultare sottodimensionato.

La bonifica che interessa l'area in esame è denominata la Bonifica delle Venticinque. Si tratta di un sottocomparto della rete di bonifica compreso tra il F. Arno a Nord, la bonifica di S. Giusto a Est, l'ultimo tratto del "Canale delle Venticinque" a Sud, il Canale dei Navicelli a Ovest.

Il comprensorio è costituito da due sottobacini a scolo naturale e meccanico:

sottobacino a scolo meccanico comprende la porzione sud-occidentale del comprensorio di bonifica. La linea idraulica principale è la "Carraia d'Orlando-Canale delle Venticinque" che confluisce all'idrovora dell'aeroporto, impianto che solleva le acque basse e le recapita nel Canale dei Navicelli. Nell'area in esame la Carraia d'Orlando descrive un'ampia curva da NE verso SW.

Nella parte occidentale dell'area in esame scorre lo Scolo di Pisa (sistema a scolo naturale) per un tratto parallelo al Canale dei Navicelli e quindi confluyente nello stesso un poco più a valle.

In occasione di eventi piovosi intensi il sistema di bonifica sopra descritto puo' essere soggetto ad episodi di crisi generalizzata. I corsi d'acqua alti infatti possono dare origine a fenomeni di tracimazione. Le stesse idrovore che scaricano le acque basse non possono lavorare al meglio in quanto i loro canali recettori (mandrocchi) sono colmi e prossimi alla tracimazione. Tutte queste concause possono generare casi di allagamento erratici o, piu' frequentemente, episodi generalizzati di ristagni per difficolta' locale di smaltimento.

Cenni sul progetto di riassetto idraulico della zona Navicelli (est)

In considerazione dell'ampiezza dell'intervento in esame, l'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi, insieme alla Committenza, hanno eseguito uno studio generale volto al riassetto idraulico della rete (locale) della bonifica interessata dal progetto della cantieristica.

Il nuovo asse idraulico principale che andra' a sostituire la rete esistente si articola su un canale principale che si innesta a nord con il collettore esistente in corrispondenza dello Stabilimento Saint Gobain, aggira lo svincolo autostradale avvicinandosi al tracciato della ferrovia PI-LI. Per alcune centinaia di metri il nuovo canale scorre nella fascia di terreno compresa tra ferrovia e Statale Aurelia, quindi devia a SO, sottopassa quest'ultima, e si dispone parallelo alla Statale in corrispondenza del margine orientale dell'area cantieristica. Piu' a sud il nuovo canale, oltrepassata l'area del nuovo depuratore, si collega ad un vecchio fosso esistente (attualmente in disuso) il cui tracciato, ortogonale, termina nel Canale Navicelli.

Il recapito finale delle acque basse della bonifica (ed in uscita dall'area urbana) sarà quindi il canale Navicelli, previo loro sollevamento mediante un nuovo impianto idrovoro da posizionare in testa al fosso.

All'asse principale confluiranno una serie di fossi minori che dreneranno, in modo efficace, il comparto. Un "bypass" diretto tra nuovo asse ed il canale Navicelli è previsto nella parte settentrionale dell'area da utilizzare per smaltire i *troppopieni* in occasione di precipitazioni intense.

Si rimanda al progetto in corso di realizzazione a cura dell'Ufficio dei Fiumi e Fossi per maggiori approfondimenti e dettagli.

6. Considerazioni conclusive

La Relazione di fattibilità geologica a supporto del Piano Attuativo (e contestuale verifica idraulica per la piena centennale) ottempera alla normativa vigente in materia di relazioni geologiche a supporto di strumenti urbanistici.

L'intervento Piano Attuativo *Area Cantieristica Navicelli* e' un intervento complesso. La zona, in parte ad uso agricolo (comparto meridionale) e in parte occupata da attivita' produttive legate alla cantieristica (comparto settentrionale), subira' profonde trasformazioni.

Queste interessano gli assi idraulici esistenti, che saranno riconfigurati e ridimensionati secondo il nuovo progetto elaborato dall'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi di Pisa, la terminazione dell'attuale canale navigabile, canale che sara' dotato di un'ampia darsena interna, collegata al canale da un largo varco di accesso, intorno alla quale verranno realizzati numerosi capannoni destinati ad ospitare attivita' cantieristiche.

Un'altra ampia parte della zona sara' destinata a capannoni di taglia leggermente piu' contenuta, ad edifici a servizi, uffici ecc. Tutta la zona in esame sara' corredata di nuovi assi viari interni e di ampi spazi a parcheggio, stoccaggio e piazzali di manovra.

Il progetto predisposto per il P.A. definisce le tipologie e le dimensioni di tutti i fabbricati e manufatti previsti, le caratteristiche della rete viaria/parcheggi, delle nuove linee idrauliche e delle opere marittime senza entrare nello specifico della loro progettazione.

I dettagli progettuali sono rimandati ai successivi progetti esecutivi.

L'indagine ha approfondito il livello conoscitivo geologico-litotecnico dell'area attraverso l'analisi delle caratteristiche litotecniche dei terreni, desunte da due nuove prove penetrometriche statiche spinte sino a 25 m dal pdc che integrano le tre precedenti prove CPT realizzate per la variante urbanistica.

Nel capitolo 3 vengono evidenziate alcune possibili scelte progettuali, in materia di fondazioni in funzione del terreno, che orienteranno i progettisti al momento della preparazione degli esecutivi.

La prima scelta fondazionale, del tipo diretto, superficiale a plinti, a trave rovescia o a platea, potra' rivelarsi idonea per gli edifici minori ed i fabbricati accessori,.

La seconda tipologia fondazionale, indiretta, con fondazioni profonde (su pali) dovra' essere utilizzata per i grandi capannoni, costruiti su pilastri isolati con notevole interesse, e per le opere d'arte piu' complesse, (darsena interna e moli armati) per le quali non sono ammessi cedimenti e/o movimenti relativi.

Il supplemento di indagine geotecnica ha confermato la validità delle parametrizzazioni geotecniche indicate per i terreni più superficiali, come descritte nella relazione a supporto della Variante urbanistica. Il quadro geotecnico è stato inoltre arricchito da indicazioni sulla profondità, geometria, spessore e caratteristiche geotecniche dello strato sabbioso sul quale potranno essere attestate le fondazioni indirette.

In media a partire da circa 12/18 m dal pdc, e per tutta l'estensione del comparto, è presente un livello limo/sabbioso, caratterizzato da buone risposte meccaniche, idoneo per le fondazioni indirette. Questo strato sabbioso (paleoduna sepolta o paleoalveo) sembra avere un asse preferenziale NNW/SSE, approfondendosi (leggermente) verso E e verso N-NE.

I terreni superficiali sono caratterizzati da una capacità portante pari a $q_a = 1,36 \text{ kg/cm}^2$, e da sensibili cedimenti, non trascurabili, dell'ordine di 7-8 cm per un carico di esercizio $q_e = 1 \text{ kg/cm}^2$ e dalla presenza della falda freatica misurata osservata a circa -1,00 m dal p.c.

Il capitolo 4 descrive il quadro idrogeologico della zona con riferimento alla geometria (ed escursioni) della prima falda (freatica) e delle falde confinate sottostanti (in sabbie ed in ghiaie) suscettibili d'uso per scopi idropotabili/irrigui.

La relazione ottempera alle prescrizioni indicate nella Relazione di Variante e connesse con la classe di fattibilità 3 (condizionata) assegnata all'intervento.

Lo SUA Piano attuativo è completato dalla relazione di verifica idraulica già depositata, al Genio Civile (Ottobre 1998) elaborata per la variante Urbanistica (a cura degli Ing. S. Lucia e S. Scorrano), e da un progetto di riassetto generale e di modifica funzionale della rete locale di bonifica idraulica elaborato contestualmente al presente studio (a cura dell'Ufficio dei Fiumi e Fossi di Pisa).

Per quanto riguarda la verifica idraulica, ai sensi della D.C.R. 230/94, lo studio ha accertato il basso livello di rischio idraulico a cui è esposta l'area in esame ed ha dimostrato che la piena con ricorrenza duecentennale $Q[200]$ (e implicitamente la centennale $Q[100]$) può essere contenuta dal Canale dei Navicelli nel tratto corrispondente, con un franco di sicurezza sufficiente ad impedirne la tracimazione dagli argini attuali.

Permanendo la possibilità teorica che si possano verificare locali episodi di allagamento/ristagno in caso di precipitazioni particolarmente intense, possibilità implicitamente ammessa dallo schema della rete di bonifica, dimensionato per smaltire piene con tempi di ritorno di pochi anni, e nel caso in cui la situazione plano-altimetrica dell'area permanga nelle attuali condizioni sfavorevoli rispetto ai rilevati stradali ed al

canale Navicelli contigui, sono fortemente sconsigliate opere al di sotto del p.d.c. attuale (ovvero parcheggi sotterranei, cantine e locali tecnici) senza che sia allegato alle stesse un contestuale progetto (a carattere esecutivo) di contenimento e mitigazione del rischio idraulico (locale),

Al riguardo si suggerisce di utilizzare parte del materiale di risulta dall'escavazione della nuova darsena, debitamente costipato, per sopraelevare l'attuale piano di campagna e mettere in sicurezza i fabbricati dal rischio idraulico sopradescritto.

Pisa, maggio 2000

Dr. Geol. Lorenza Bianchi

Dr. Geol. Marcello Ghigliotti

TRAVE ROVESCIA IN C.A (B=120 cm, D=120 cm)

Tab. 1 - Calcolo della capacità portante del terreno di fondazione in prossimità della penetrometria P1

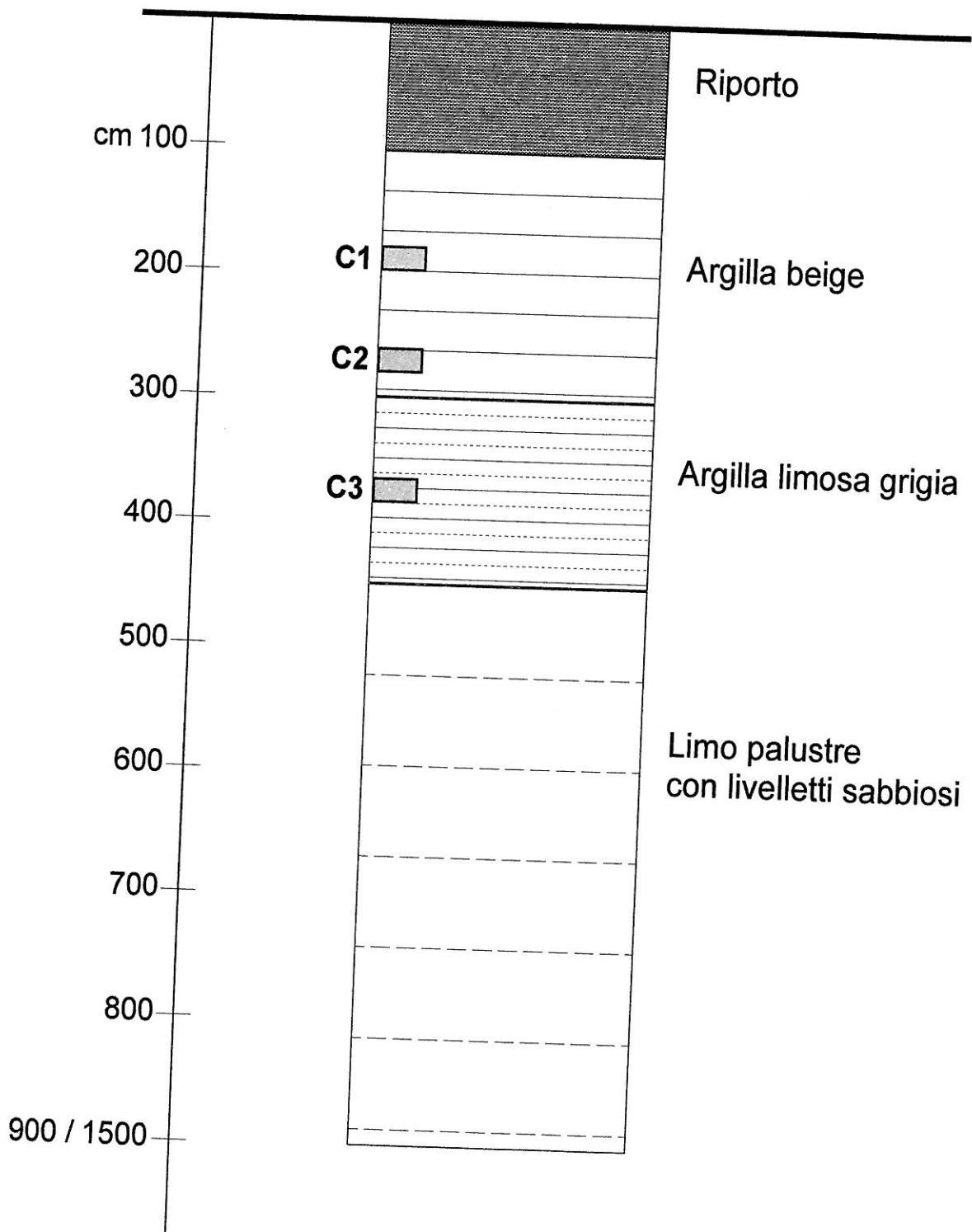
Angolo di attrito interno	ϕ (gradi)	0
Angolo di attrito interno	ϕ (rad.)	0,00
Coesione	c (kg/cmq)	0,75
Peso di volume sopra il p.d.f.	γ (kg/dmc)	1,9
Peso di volume sotto il p.d.f.	γ' (kg/dmc)	0,9
Profondità del piano di posa	D (cm)	120
Larghezza della trave rovescia	B (cm)	120
Fattori di capacità portante	N_c (adim.)	5,14
	N_q (adim.)	1,00
	N_γ (adim.)	0,00
Profondità falda	(cm)	116
Carico di rottura	q_r (kg/cmq)	4,08
Carico ammissibile	q_a (kg/cmq)	1,36

Tab.2 - Cedimento del terreno di fondazione in prossimità della penetrometria P1

n° strato	Ho (cm)	prof. dal p.d.f. (cm)	Δp (kg/cmq)	mv (cmq/t)	S (cm)
1	100	50	0,58	23,8	1,38
2	100	150	0,30	40,4	1,22
3	100	250	0,23	70,8	1,63
4	100	350	0,17	76,6	1,34
5	100	450	0,13	92,0	1,23
6	100	550	0,11	85,8	0,91
Cedimento totale (cm)					7,71

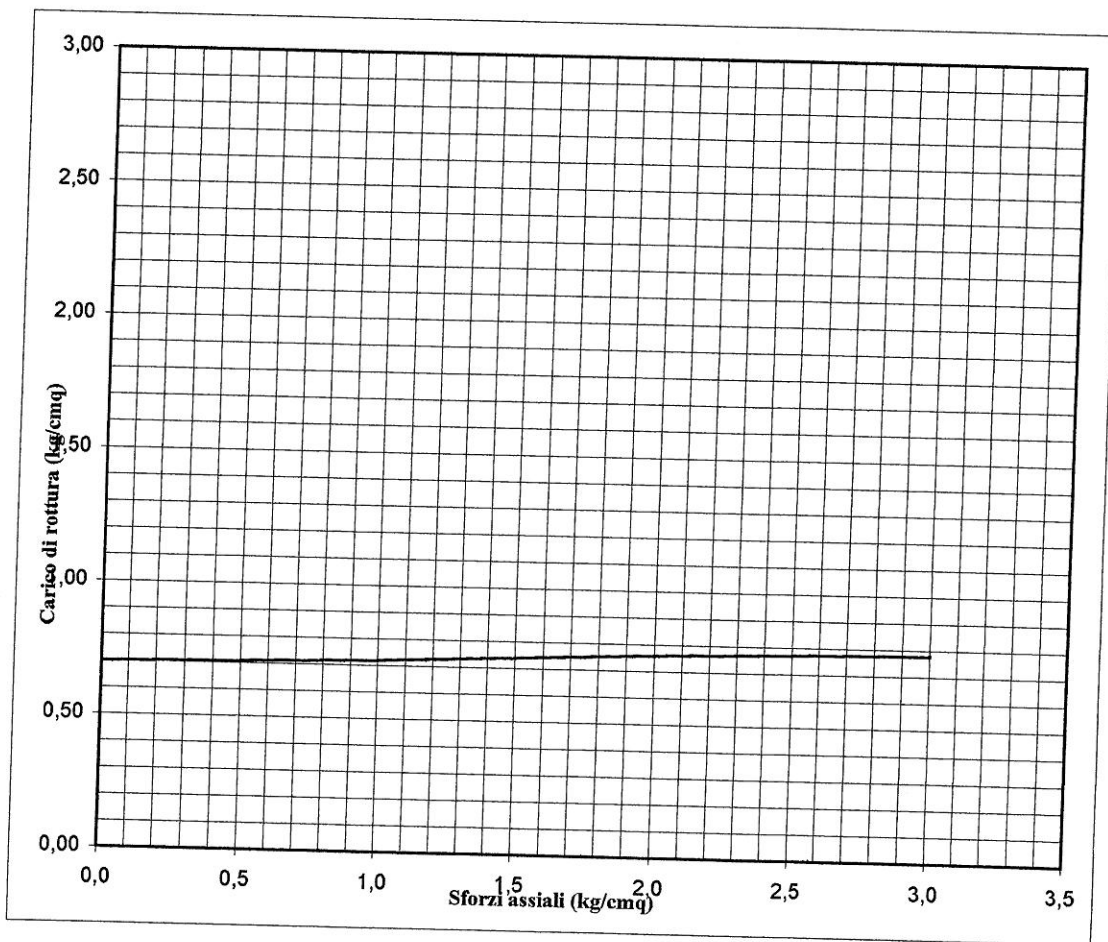
largh. fondaz.	prof. dal p.c.	q (kg/cmq)	q' (kg/cmq)
B (cm)	D (cm)	carico di es.	carico incid.
120	120	1,0	0,772

SONDAGGIO MECCANICO S1 STRATIGRAFIA TIPO

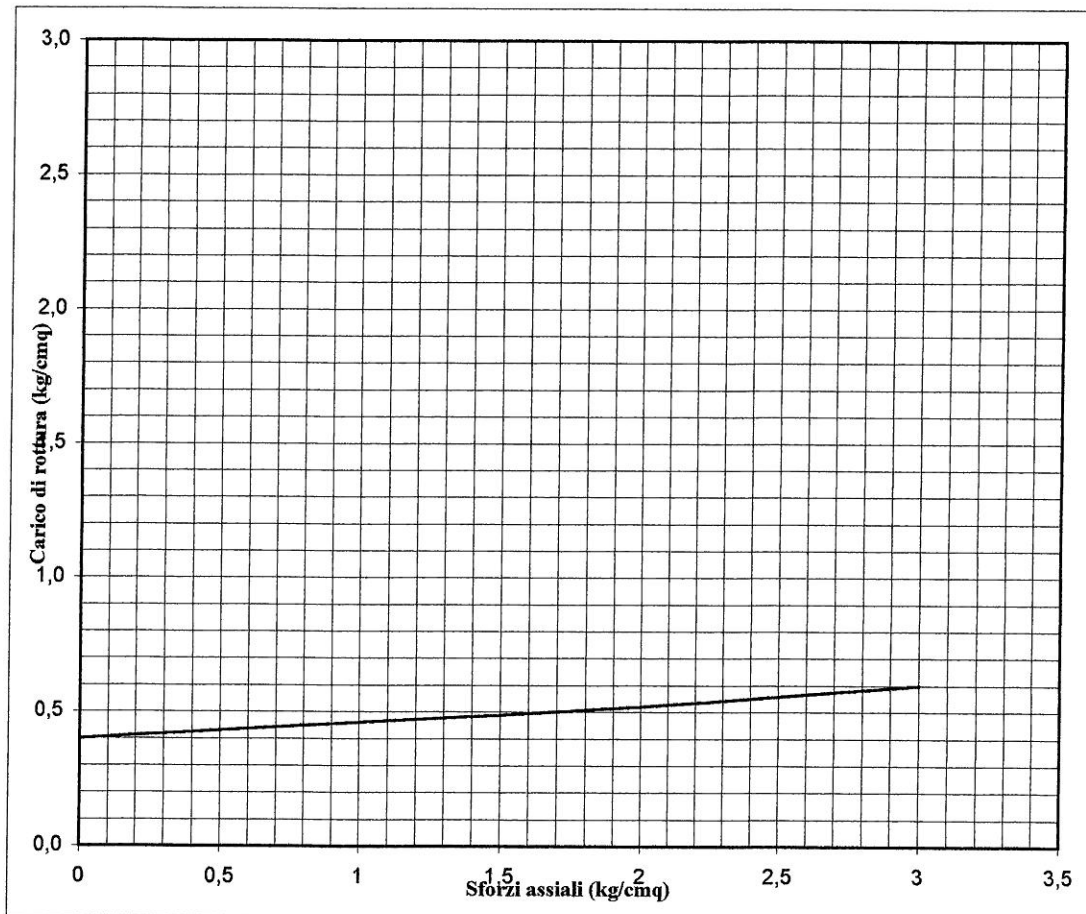


Terreno Argilla beige con ossidi	
Data	luglio 1990
Località	Cantieri navali Darsena Pisana
Campione	C1
Profondità (m)	1,9
Peso specifico (g/dm³)	1,924
τ	σ
0,72	1
0,76	2
0,78	3

Condizioni di prova:	
Taglio rapido non drenato	
Umidità	31,55%
ϕ	3°
c	0,700

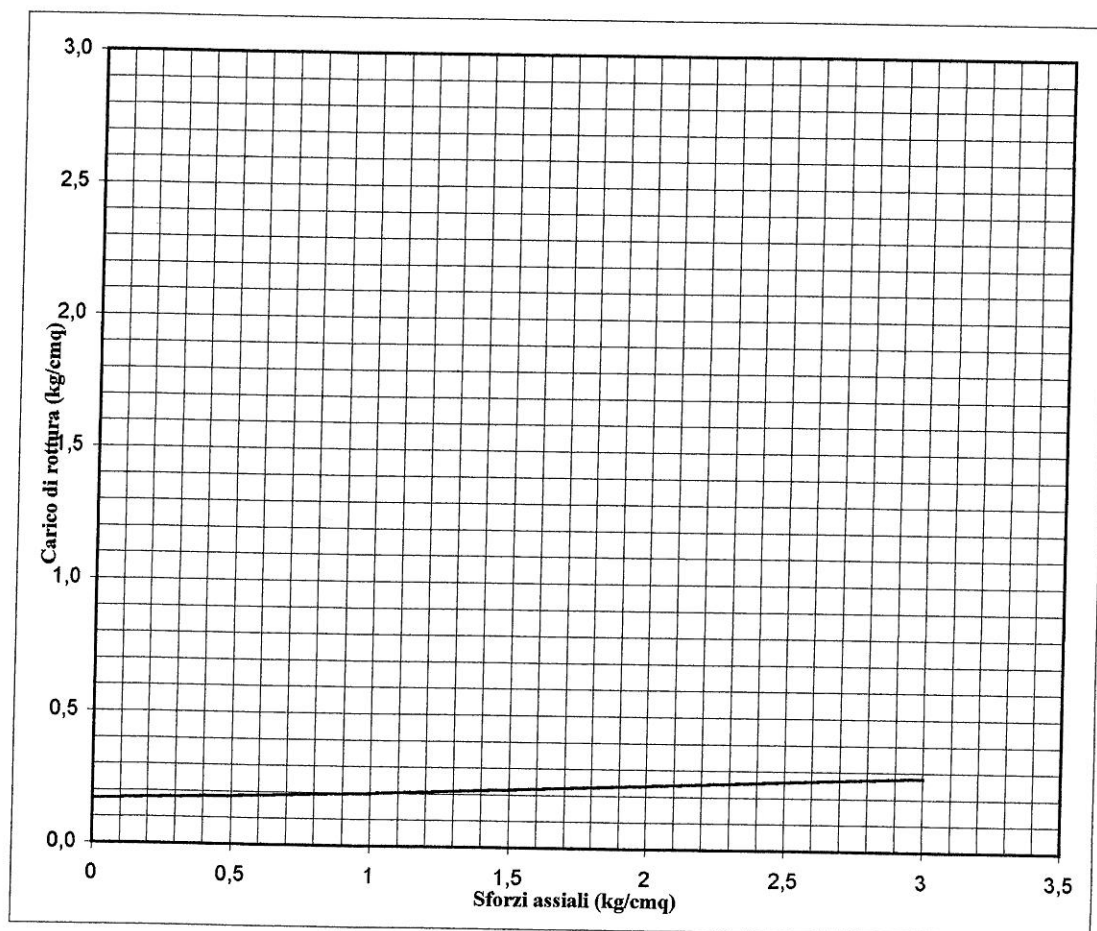


Terreno Argilla beige plastica		Condizioni di prova: Taglio rapido non drenato <table border="1"> <tr> <td>Umidità</td> <td>37,7%</td> </tr> <tr> <td>ϕ</td> <td>5°</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>0,4</td> </tr> </table>	Umidità	37,7%	ϕ	5°	c	0,4
Umidità	37,7%							
ϕ	5°							
c	0,4							
Data	luglio-90							
Località	Cantieri navali Darsena Pisana							
Campione	C2							
Profondità (m)	2,7							
Peso specifico (g/dm³)	1,884							
τ	σ							
0,46	1							
0,52	2							
0,6	3							



Terreno Argilla beige plastica	
Data	luglio-90
Località	Cantieri navali Darsena Pisana
Campione	C3
Profondità (m)	3,7
Peso specifico (g/dmc)	1,743
τ	σ
0,2	0,5
0,24	1
0,28	1,5

Condizioni di prova:	
Taglio rapido non drenato	
Umidità	46,0%
ϕ	3°
c	0,17



PENETROMETRIA STATICA "CPT"^{RM}
STANDARD ASTM 1979

data prove di campagna	21/04/00
committente	
località	Darsena Pisana
comune	Pisa (PI)

PENETROMETRO STATICO
PAGANI IG 63/100 kN cingolato con motore 15 Hp

tiro in estrazione	11000 kg
spinta di infissione	10000 kg
corsa utile cilindri	1.25 m
peso aste	8.00 kg
peso astine	1.38 kg
lunghezza aste	1.00 m
diametro aste	36.00 mm
diametro astine	15.00 mm
penetrazione standard	20.00 cm
punta (Begemann)	meccanica
angolo di apertura punta	60°
superficie punta	10.00 cm ²
superficie laterale manicotto	150.00 cm ²

GEOINDAGINI
di L. FRANCESCHI & C. s.a.s.



elaborazione

CPTXLS

Nella prova *PENETROMETRICA STATICA STANDARD "CPT"* con punta di tipo meccanico (*Begemann*) si infiggono nel terreno la punta e la batteria d'aste ad una velocità costante di 2 ± 0.5 cm/sec, indipendentemente dalla resistenza incontrata durante l'infissione. Durante la prova ogni 20 cm di avanzamento con un sistema di acquisizione dati elettronico (errore fondo scala di ± 0.2 %) si procede con le seguenti letture:

- resistenza alla punta
- resistenza alla punta più manicotto
- resistenza totale (punta più manicotto più la batteria d'aste)

La precisione delle letture è massima in depositi omogenei, media in terreni teneri, scarsa in depositi con stratificazioni inferiori a 20-30 cm (uguale o inferiore alla differenza di quota tra punta e manicotto). In terreni dove la resistenza totale (R_t) è molto elevata, per limitare gli attriti vengono utilizzate aste dotate di anello allargatore.

L'interpretazione dei dati, riportate nelle pagine seguenti, è stata eseguita utilizzando le seguenti esperienze:

- De Beer '67 (c_u)
- Searle '72 (D_r , stato di consistenza e ϕ)
- Ladd & Foot '77 (O.C.R.)
- Terzaghi & Peck '67 e Bowles '82 (γ)
- Mitchell & Gardner '75 (m_v)
- Schmertmann '69, Begemann '65 e A.G.I. '77 (stratigrafia)

Le informazioni ricavate sono di tipo:

- empirico (stratigrafie, c_u , stato di consistenza, ϕ , D_r , γ e m_v)
- semi empirico (O.C.R.)
- semi empirico/empirico (capacità portante alla punta)

Nella lettura dei risultati si ricorda che:

1. Nella valutazione di R_p , RL e R_p/RL , si è considerata la differenza di quota tra punta e manicotto (20 cm)
2. la stratigrafia proposta è ricavata da Searle '72 e modificata secondo Begemann '65. I tre campi del grafico indicano: terreni prevalentemente argillosi e torbosi ($R_p/RL < 27,5$); terreni prevalentemente limosi (R_p/RL compreso tra 27,5 e 60); terreni prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi ($R_p/RL > 60$)
3. per i valori di RL in terreni coesivi, Schmertmann '69 suggerisce una riduzione di 0.5-0.3
4. in terreni incoerenti solo parzialmente drenati (per effetto di percentuali non trascurabili di materiali fini) il valore di resistenza di punta (R_p) e dei parametri geotecnici ad esso correlati (ϕ , D_r , stato di consistenza e m_v) sono sottostimati ad eccezione del m_v (sovrastimato)
5. il valore dell'angolo di attrito interno in terreni coesivi e non drenati risulta sovrastimato
6. i valori di D_r sono maggiormente attendibili se relativi a depositi sabbiosi NC, non cementati, con granuli costituiti da quarzo feldspati e modeste frazioni di minerali micacei
7. il peso di volume, ricavato da esperienze di Terzaghi & Peck '67 - Bowles '82 è da ritenersi indicativo (correlazioni dirette su n. 50 campioni prelevati tra la piana di Lucca, la Versilia e la piana Pisana hanno rilevato variazioni superiori al 20%)
8. il rapporto di sovraconsolidazione (O.C.R.), ricavato ipotizzando la presenza di falda freatica, è da ritenersi indicativo

legenda		litologia interpretativa	
R_p (kg/cm^2)	resistenza statica alla punta	torba	v v v v v
RL (kg/cm^2)	resistenza laterale	argilla	- - - - -
R_t (kg/cm^2)	resistenza totale	limo	~ ~ ~ ~ ~
R_p/RL	rapporto di Begemann	sabbia
$100 * R_p/RL$	rapporto di Schmertmann	sabbia grossolana - ghiaietto	• • • • •
c_u (kg/cm^2)	coesione non drenata	ghiaia	o o o o o
O.C.R.	rapporto di sovraconsolidazione		
ϕ (°)	angolo di attrito interno		
D_r (%)	densità relativa		
γ (t/m^3)	peso di volume		
m_v (cm^2/kg)	coeff. di compressibilità volumetrica		

Prova n. :

4

riferimento:

04darsena4

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (t/m^3)	m_v (cm^2/Kg)
	c_u (Kg/cm^2)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	stato di addens.		
10,20							27°	17	sciolta	1,75	0,044
10,40				0,4	25°	23				1,75	0,044
10,60				0,4	25°	23				1,75	0,044
10,80	0,33	molle	1,3							1,80	0,092
11,00	0,33	molle	1,3							1,80	0,092
11,20				0,4	26°	23				1,75	0,044
11,40				0,4	26°	23				1,75	0,044
11,60	0,34	molle	1,2							1,80	0,180
11,80	0,34	molle	1,2							1,80	0,072
12,00	0,40	molle	1,4							1,80	0,061
12,20	0,41	plastica	1,4							1,80	0,060
12,40	0,41	plastica	1,4							1,80	0,060
12,60	0,41	plastica	1,4							1,80	0,060
12,80	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
13,00	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
13,20	0,35	molle	1,1							1,80	0,069
13,40	0,35	molle	1,1							1,80	0,069
13,60	0,35	molle	1,1							1,80	0,069
13,80	0,35	molle	1,0							1,80	0,069
14,00	0,35	molle	1,0							1,80	0,069
14,20	0,36	molle	1,0							1,80	0,067
14,40	0,42	plastica	1,2							1,80	0,058
14,60	0,36	molle	1,0							1,80	0,067
14,80	0,42	plastica	1,2							1,80	0,058
15,00	0,42	plastica	1,2							1,80	0,058
15,20	0,43	plastica	1,2							1,80	0,056
15,40	0,43	plastica	1,2							1,80	0,056
15,60	0,43	plastica	1,1							1,80	0,141
15,80	0,49	plastica	1,3							1,80	0,050
16,00	0,49	plastica	1,3							1,80	0,050
16,20	0,50	plastica	1,3							1,80	0,049
16,40	0,50	plastica	1,3							1,80	0,049
16,60	0,50	plastica	1,3							1,80	0,049
16,80				0,6	26°	31				1,75	0,031
17,00	0,56	plastica	1,4							1,80	0,043
17,20	0,63	plastica	1,6							1,95	0,032
17,40	0,63	plastica	1,6							1,95	0,032
17,60	0,63	plastica	1,6							1,95	0,032
17,80	0,57	plastica	1,4							1,80	0,043
18,00							30°	36	med. add.	1,80	0,023
18,20				1,8	27°	60				1,85	0,011
18,40	1,20	consist.	3,3							2,00	0,017
18,60	1,28	consist.	3,6							2,00	0,016
18,80	1,12	consist.	3,0							2,00	0,018
19,00	1,24	consist.	3,4							2,00	0,016
19,20				1,5	27°	59				1,80	0,013
19,40				1,6	27°	59				1,80	0,013
19,60	1,49	consist.	4,1							2,00	0,014
19,80							30°	47	med. add.	1,80	0,013
20,00							32°	54	med. add.	1,90	0,010

Prova n. :

4

riferimento:

04darsena4

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (t/m ³)	m_v (cm ² /Kg)
	c_u (Kg/cm ²)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm ²)	ϕ (°)	Dr (%)	ϕ (°)	Dr (%)	stato di addens.		
20,20				1,9	28°	60				1,85	0,011
20,40							29°	52	med. add.	1,80	0,013
20,60	1,34	consist.	3,3							2,00	0,015
20,80	1,21	consist.	2,9							2,00	0,017
21,00				1,3	27°	56				1,80	0,015
21,20				1,1	27°	52				1,80	0,018
21,40				1,0	26°	50				1,80	0,020
21,60							28°	44	med. add.	1,80	0,021
21,80	1,32	consist.	3,1							2,00	0,023
22,00				1,2	26°	46				1,75	0,014
22,20	0,94	consist.	1,9							2,00	0,022
22,40							28°	39	med. add.	1,75	0,016
22,60	1,59	m. cons.	3,7							2,00	0,013
22,80				0,9	27°	47				1,80	0,022
23,00				1,5	28°	56				1,80	0,014
23,20							32°	31	sciolta	1,80	0,018
23,40							30°	58	med. add.	1,80	0,009
23,60							30°	50	med. add.	1,80	0,014
23,80											
24,00											
24,20											
24,40											
24,60											
24,80											
25,00											
25,20											
25,40											
25,60											
25,80											
26,00											
26,20											
26,40											
26,60											
26,80											
27,00											
27,20											
27,40											
27,60											
27,80											
28,00											
28,20											
28,40											
28,60											
28,80											
29,00											
29,20											
29,40											
29,60											
29,80											
30,00											

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
0,20								
0,40								
0,60								
0,80								
1,00								
1,20	25	31		25,26	1,00		25,26	3,96
1,40	29	44		29,26	1,67		17,52	5,71
1,60	21	46		21,26	1,20		17,72	5,64
1,80	22	40		22,26	1,47		15,14	6,60
2,00	19	41	130	19,26	1,33	1300	14,48	6,91
2,20	17	37		17,39	1,20		14,49	6,90
2,40	13	31		13,39	0,93		14,40	6,95
2,60	17	31		17,39	1,00		17,39	5,75
2,80	11	26		11,39	0,73		15,60	6,41
3,00	8	19	179	8,39	0,47	1790	17,85	5,60
3,20	9	16		9,52	0,47		20,26	4,94
3,40	9	16		9,52	0,33		28,85	3,47
3,60	9	14		9,52	0,60		15,87	6,30
3,80	10	19		10,52	0,60		17,53	5,70
4,00	8	17	196	8,52	0,67	1960	12,72	7,86
4,20	9	19		9,65	0,60		16,08	6,22
4,40	9	18		9,65	0,53		18,21	5,49
4,60	8	16		8,65	0,47		18,40	5,43
4,80	9	16		9,65	0,53		18,21	5,49
5,00	6	14	209	6,65	0,53	2090	12,55	7,97
5,20	7	15		7,78	0,60		12,97	7,71
5,40	6	15		6,78	0,13		52,15	1,92
5,60	19	21		19,78	0,27		73,26	1,37
5,80	24	28		24,78	0,73		33,95	2,95
6,00	35	46	185	35,78	0,40	1850	89,45	1,12
6,20	14	20		14,91	0,60		24,85	4,02
6,40	25	34		25,91	1,27		20,40	4,90
6,60	8	27		8,91	0,53		16,81	5,95
6,80	7	15		7,91	0,53		14,92	6,70
7,00	6	14	195	6,91	0,53	1950	13,04	7,67
7,20	6	14		7,04	0,60		11,73	8,52
7,40	6	15		7,04	0,60		11,73	8,52
7,60	6	15		7,04	0,53		13,28	7,53
7,80	6	14		7,04	0,53		13,28	7,53
8,00	6	14	205	7,04	0,60	2050	11,73	8,52
8,20	6	15		7,17	0,47		15,26	6,56
8,40	5	12		6,17	0,20		30,85	3,24
8,60	5	8		6,17	0,27		22,85	4,38
8,80	5	9		6,17	0,27		22,85	4,38
9,00	5	9	45	6,17	0,20	450	30,85	3,24
9,20	5	8		6,30	0,47		13,40	7,46
9,40	6	13		7,30	0,27		27,04	3,70
9,60	5	9		6,30	0,33		19,09	5,24
9,80	5	10		6,30	0,33		19,09	5,24
10,00	5	10	45	6,30	0,20	450	31,50	3,17

q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
10,20	5	8		6,43	0,20			
10,40	5	8		6,43	0,27		32,15	3,11
10,60	5	9		6,43	0,27		23,81	4,20
10,80	4	8		5,43	0,27		23,81	4,20
11,00	4	8	53	5,43	0,27		20,11	4,97
11,20	5	9		6,56	0,27	530	20,11	4,97
11,40	5	9		6,56	0,27		24,30	4,12
11,60	4	8		5,56	0,40		24,30	4,12
11,80	4	10		5,56	0,33		13,90	7,19
12,00	5	10	57	6,56	0,33	570	16,85	5,94
12,20	5	10		6,69	0,40		19,88	5,03
12,40	5	11		6,69	0,40		16,73	5,98
12,60	5	11		6,69	0,33		16,73	5,98
12,80	4	9		5,69	0,33		20,27	4,93
13,00	4	9	54	5,69	0,33		17,24	5,80
13,20	4	9		5,82	0,33	540	17,24	5,80
13,40	4	10		5,82	0,40		14,55	6,87
13,60	4	10		5,82	0,33		14,55	6,87
13,80	4	9		5,82	0,40		17,64	5,67
14,00	4	10	74	5,82	0,40	740	14,55	6,87
14,20	4	10		5,95	0,33		14,55	6,87
14,40	5	10		6,95	0,40		18,03	5,55
14,60	4	10		5,95	0,33		17,38	5,76
14,80	5	10		6,95	0,33		18,03	5,55
15,00	5	10	90	6,95	0,33	900	21,06	4,75
15,20	5	10		7,08	0,40		21,06	4,75
15,40	5	11		7,08	0,40		17,70	5,65
15,60	5	11		7,08	0,53		17,70	5,65
15,80	6	14		8,08	0,47		13,36	7,49
16,00	6	13	95	8,08	0,53	950	17,19	5,82
16,20	6	14		8,21	0,53		15,25	6,56
16,40	6	14		8,21	0,53		15,49	6,46
16,60	6	14		8,21	0,40		15,49	6,46
16,80	7	13		9,21	0,40		20,53	4,87
17,00	7	13	99	9,21	0,53	990	23,03	4,34
17,20	8	16		10,34	0,60		17,38	5,75
17,40	8	17		10,34	0,73		17,23	5,80
17,60	8	19		10,34	0,53		14,16	7,06
17,80	7	15		9,34	0,60		19,51	5,13
18,00	19	28	112	21,34	0,53	1120	15,57	6,42
18,20	42	50		44,47	1,80		40,26	2,48
18,40	27	54		29,47	1,67		24,71	4,05
18,60	29	54		31,47	1,40		17,65	5,67
18,80	25	46		27,47	1,67		22,48	4,45
19,00	28	53	190	30,47	1,73	1900	16,45	6,08
19,20	35	61		37,60	1,67		17,61	5,68
19,40	36	61		38,60	1,67		22,51	4,44
19,60	34	59		36,60	1,93		23,11	4,33
19,80	35	64		37,60	0,93		18,96	5,27
20,00	67	81	330	69,60	1,27	3300	40,43	2,47
							54,80	1,82

q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. :

4

riferimento:

04darsena4

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (ν/m^3)	m_v (cm^2/Kg)
	c_u (Kg/cm^2)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	stato di addens.		
0,20											
0,40											
0,60											
0,80											
1,00											
1,20				1,03	27°	49				1,80	0,020
1,40	1,19	consist.	1,5							2,00	0,017
1,60	1,29	consist.	1,5							2,00	0,024
1,80	1,35	consist.	1,5							2,00	0,022
2,00	1,17	consist.	1,2							1,95	0,017
2,20	1,05	consist.	1,0							1,95	0,019
2,40	0,81	consist.	0,7							1,95	0,025
2,60	1,05	consist.	1,0							1,95	0,019
2,80	0,69	plastica	0,6							1,95	0,029
3,00	0,51	plastica	0,4							1,80	0,048
3,20	0,58	plastica	0,5							1,80	0,042
3,40							27°	27	sciolta	1,75	0,030
3,60	0,58	plastica	0,6							1,80	0,042
3,80	0,64	plastica	0,7							1,95	0,032
4,00	0,52	plastica	0,6							1,80	0,117
4,20	0,58	plastica	0,2							1,80	0,041
4,40	0,58	plastica	0,4							1,80	0,041
4,60	0,52	plastica	3,4							1,80	0,046
4,80	0,58	plastica	7,4							1,80	0,041
5,00	0,40	plastica	4,4							1,80	0,150
5,20	0,47	plastica	5,1							1,80	0,129
5,40							30°	9	m. sciol.	1,75	0,074
5,60							32°	23	sciolta	1,75	0,025
5,80							29°	43	med. add.	1,80	0,020
6,00							34°	31	sciolta	1,80	0,014
6,20				0,90	26°	39				1,75	0,019
6,40	1,06	consist.	10,8							2,00	0,019
6,60	0,54	plastica	4,5							1,80	0,045
6,80	0,48	plastica	3,7							1,80	0,051
7,00	0,42	plastica	3,0							1,80	0,145
7,20	0,43	plastica	3,0							1,80	0,142
7,40	0,43	plastica	2,9							1,80	0,142
7,60	0,43	plastica	2,8							1,80	0,142
7,80	0,43	plastica	2,7							1,80	0,142
8,00	0,43	plastica	2,6							1,80	0,142
8,20	0,43	plastica	2,6							1,80	0,056
8,40							27°	17	sciolta	1,75	0,046
8,60				0,37	25°	23				1,75	0,046
8,80				0,37	25°	23				1,75	0,046
9,00							27°	17	sciolta	1,75	0,046
9,20	0,38	molle	1,9							1,80	0,159
9,40				0,44	26°	23				1,75	0,039
9,60	0,38	molle	1,8							1,80	0,063
9,80	0,38	molle	1,8							1,80	0,063
10,00							27°	17	sciolta	1,75	0,045

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
20,20	44	63		46,73	1,80		25,96	3,85
20,40	36	63		38,73	1,20		32,28	3,10
20,60	30	48		32,73	1,73		18,92	5,29
20,80	27	53		29,73	1,67		17,80	5,62
21,00	30	55	348	32,73	1,40	3480	23,38	4,28
21,20	25	46		27,86	1,20		23,22	4,31
21,40	22	40		24,86	1,07		23,23	4,30
21,60	21	37		23,86	0,80		29,83	3,35
21,80	19	31		21,86	1,27		17,21	5,81
22,00	17	36	380	19,86	0,87	3800	22,83	4,38
22,20	20	33		22,99	1,27		18,10	5,52
22,40	15	34		17,99	0,60		29,98	3,34
22,60	36	45		38,99	2,20		17,72	5,64
22,80	20	53		22,99	0,93		24,72	4,05
23,00	34	48	411	36,99	1,40	4110	26,42	3,78
23,20	25	46		28,12	0,40		70,30	1,42
23,40	54	60		57,12	1,60		35,70	2,80
23,60	45	69		48,12	1,07		44,97	2,22
23,80	54	70		57,12				
24,00								
24,20								
24,40								
24,60								
24,80								
25,00								
25,20								
25,40								
25,60								
25,80								
26,00								
26,20								
26,40								
26,60								
26,80								
27,00								
27,20								
27,40								
27,60								
27,80								
28,00								
28,20								
28,40								
28,60								
28,80								
29,00								
29,20								
29,40								
29,60								
29,80								
30,00								

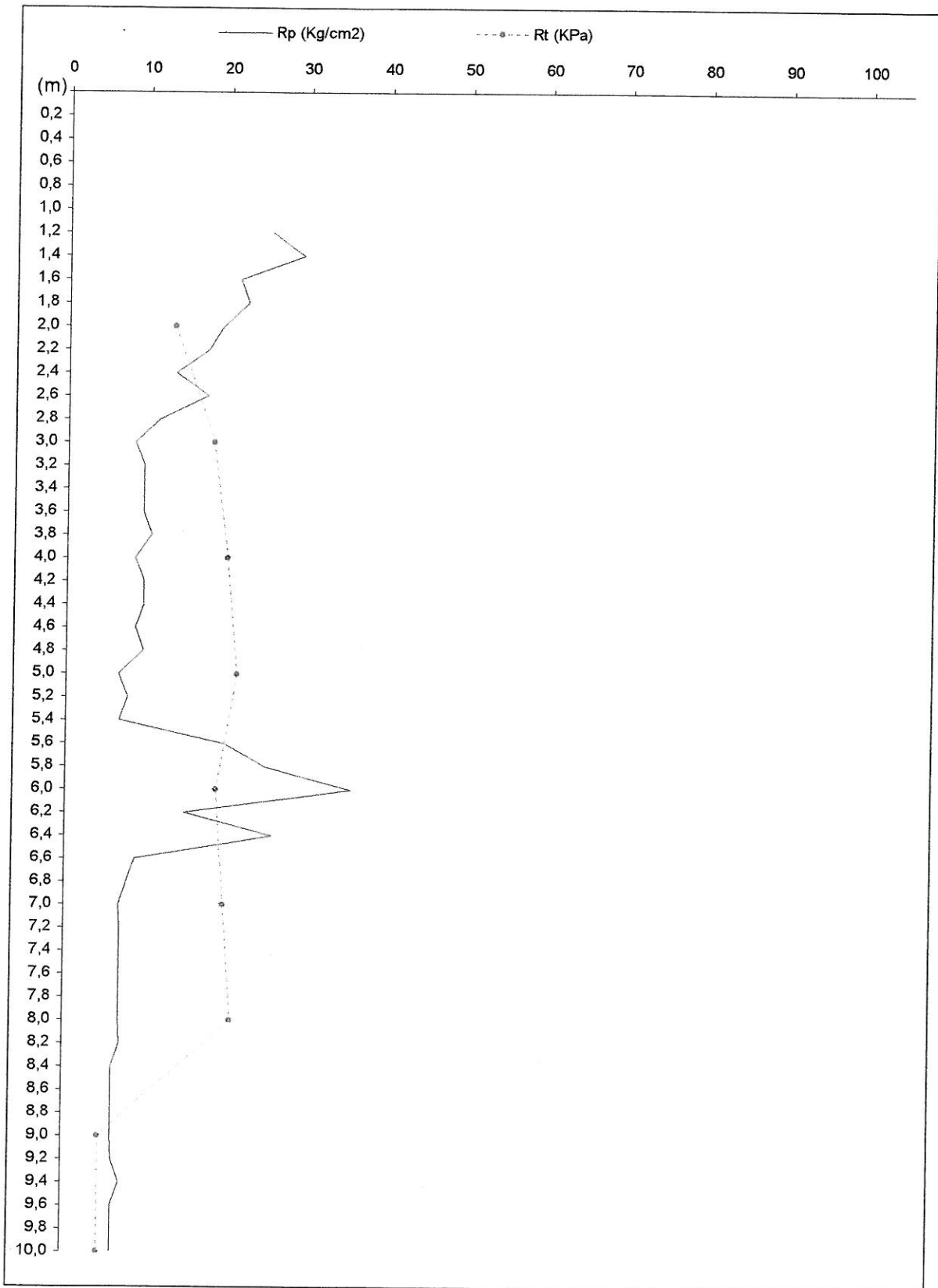
q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento:

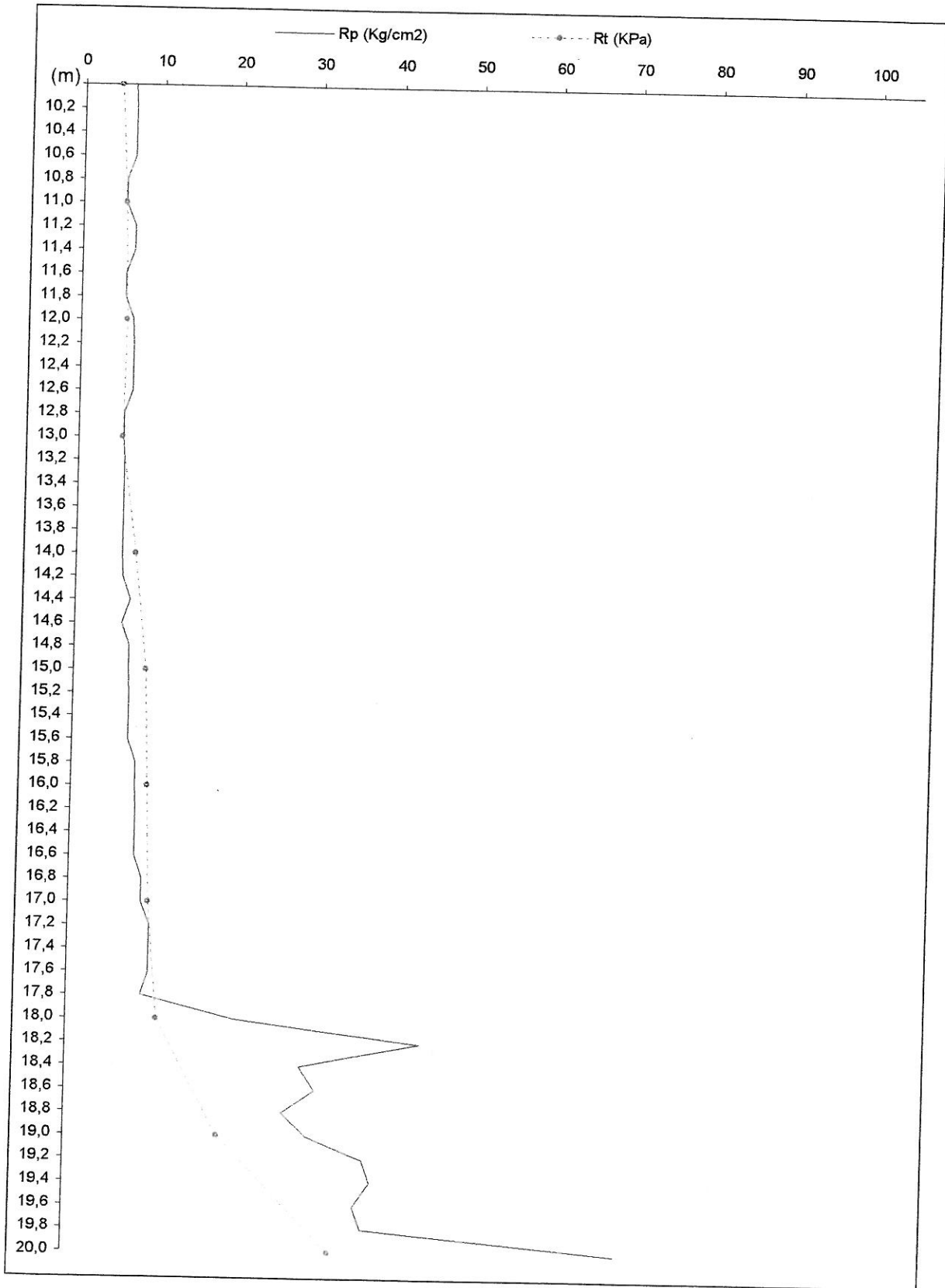
04darsena4



quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento: 04darsena4

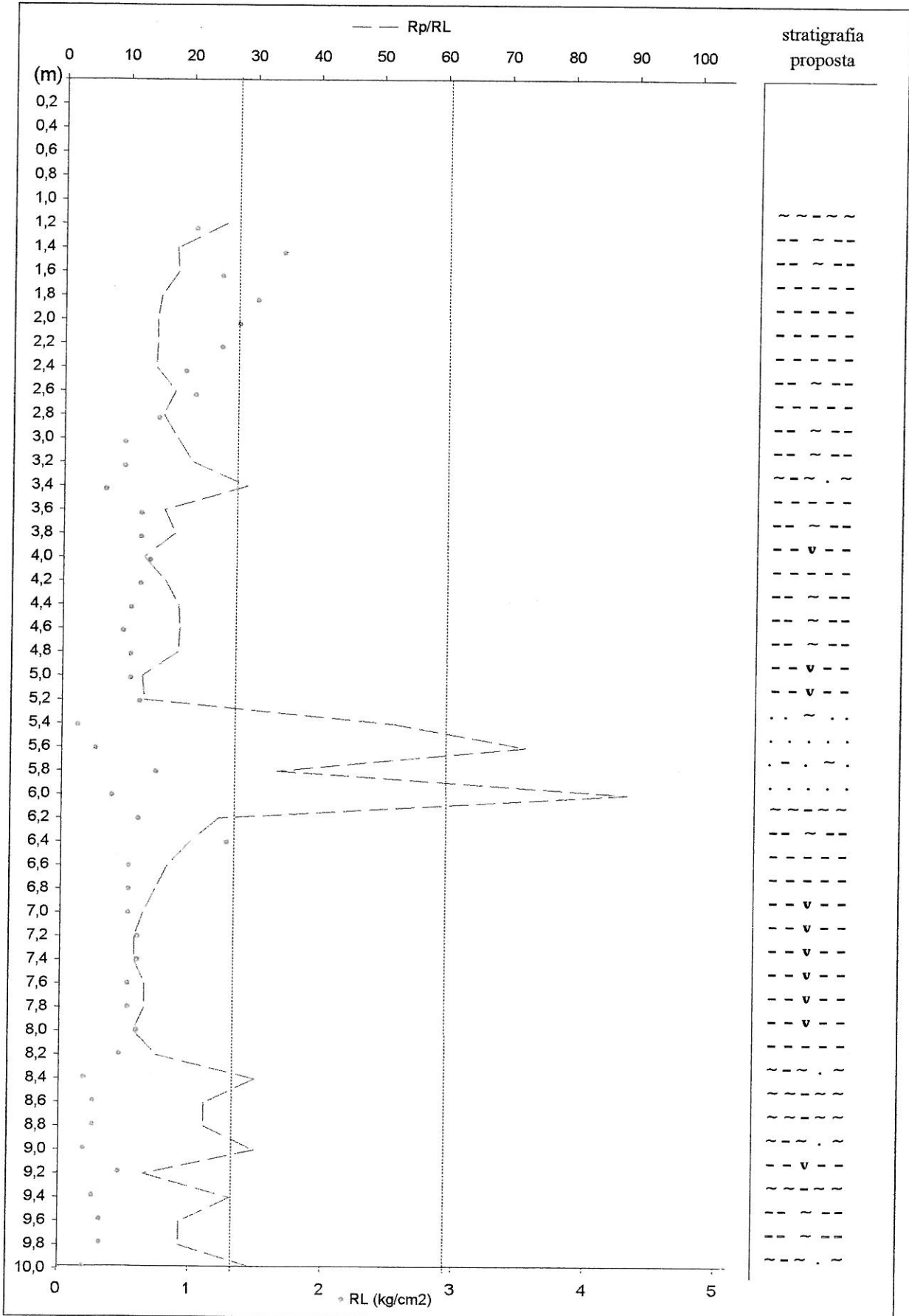


quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

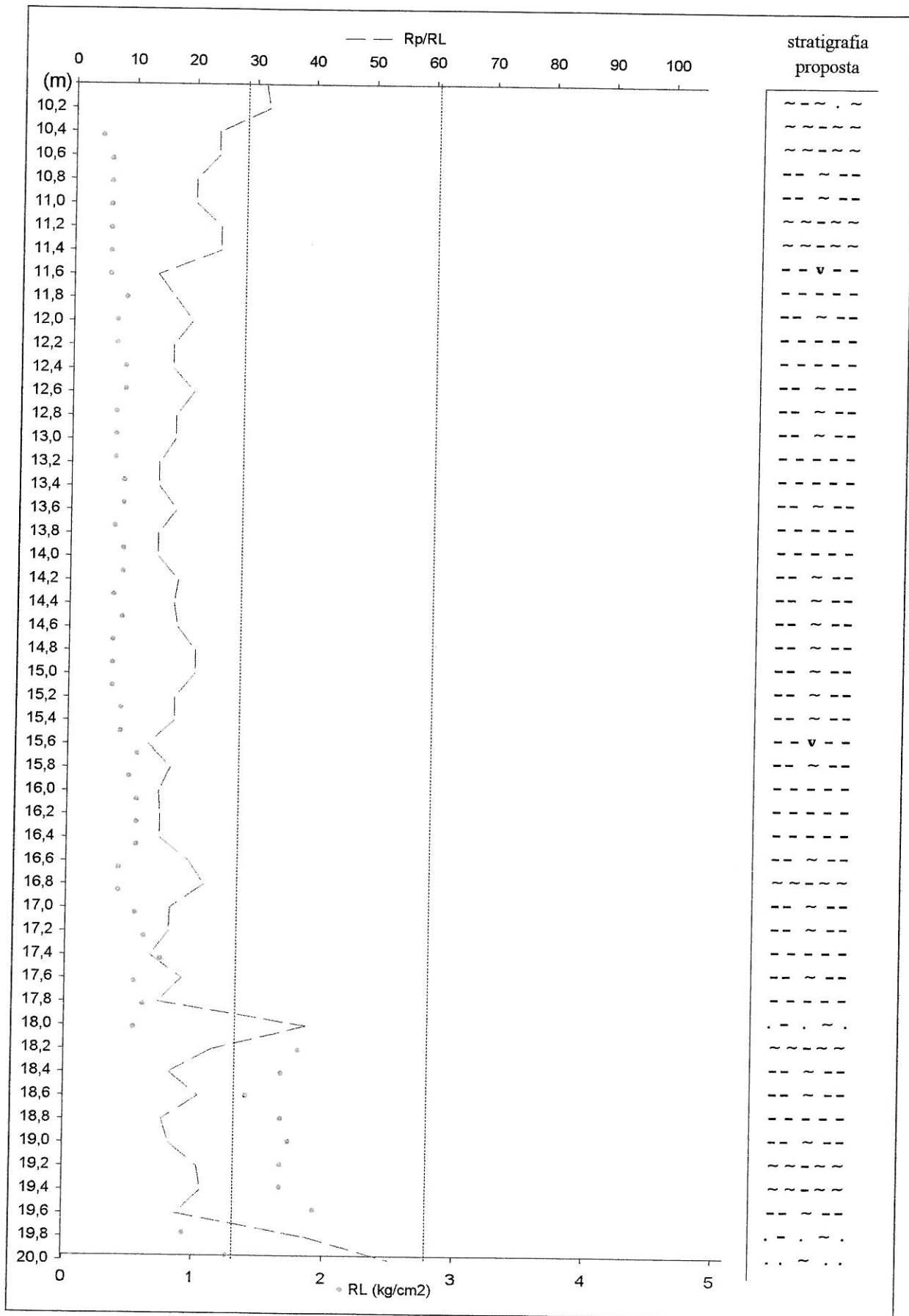


quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

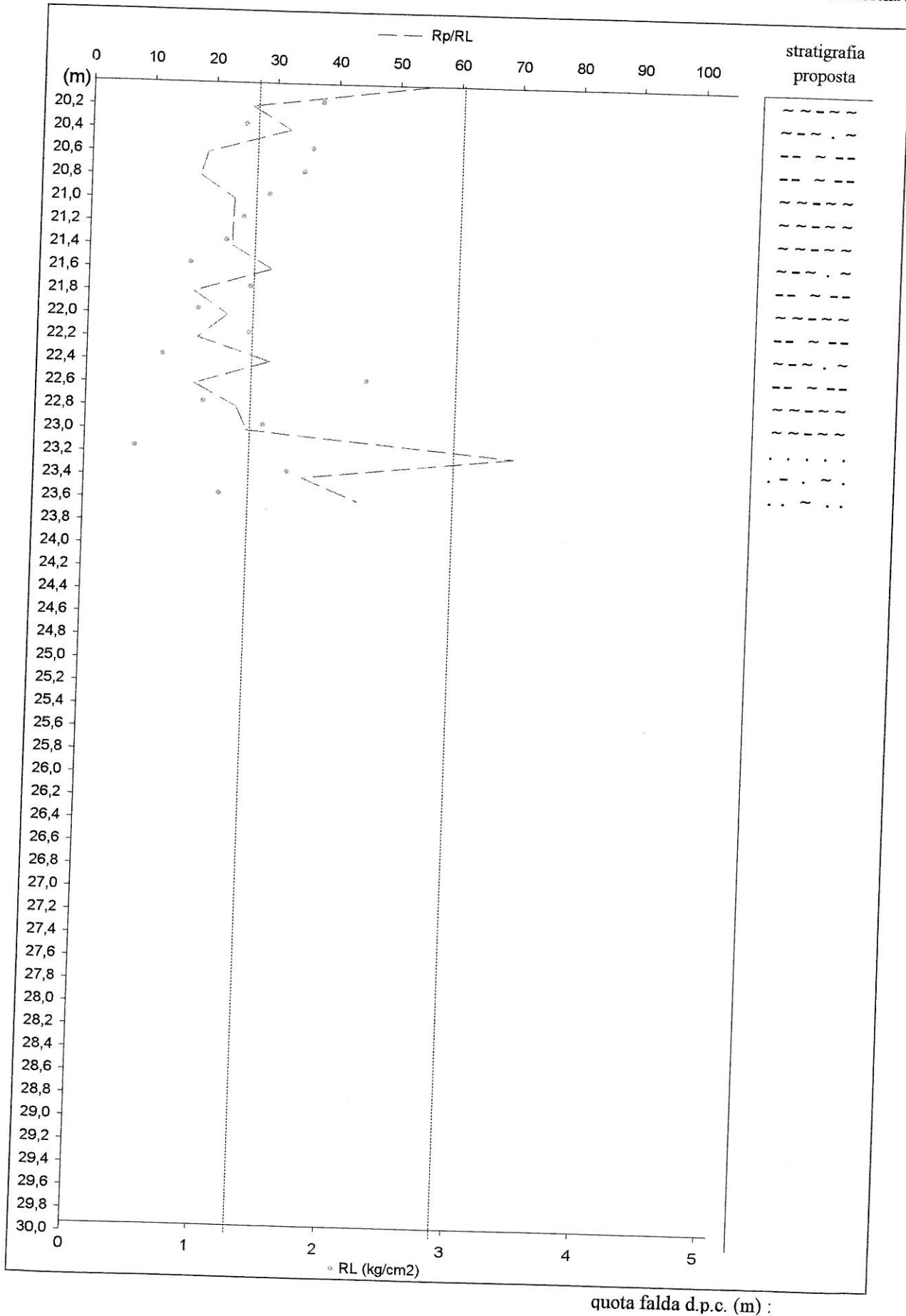


quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4



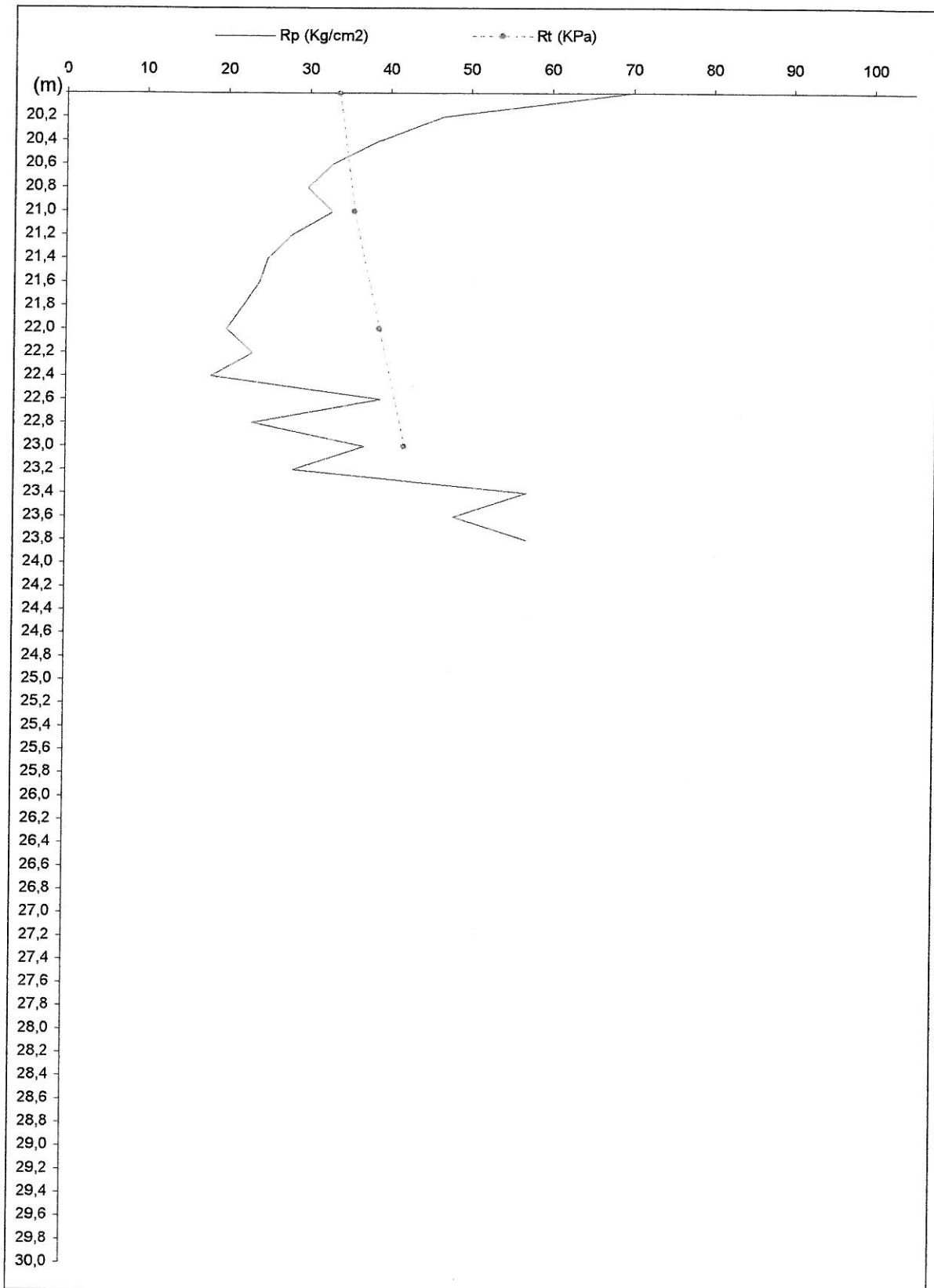
quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. :

4

riferimento:

04darsena4

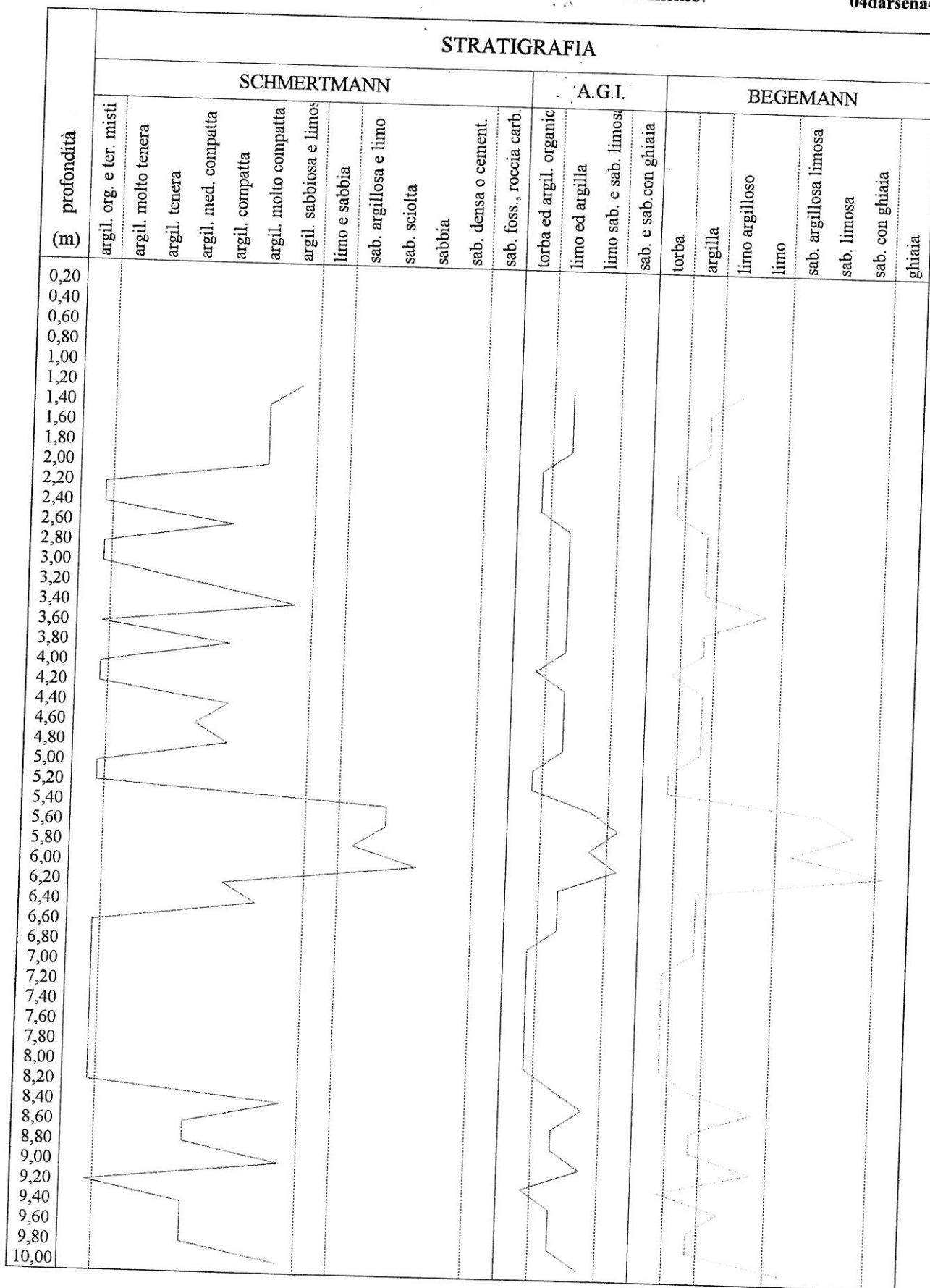


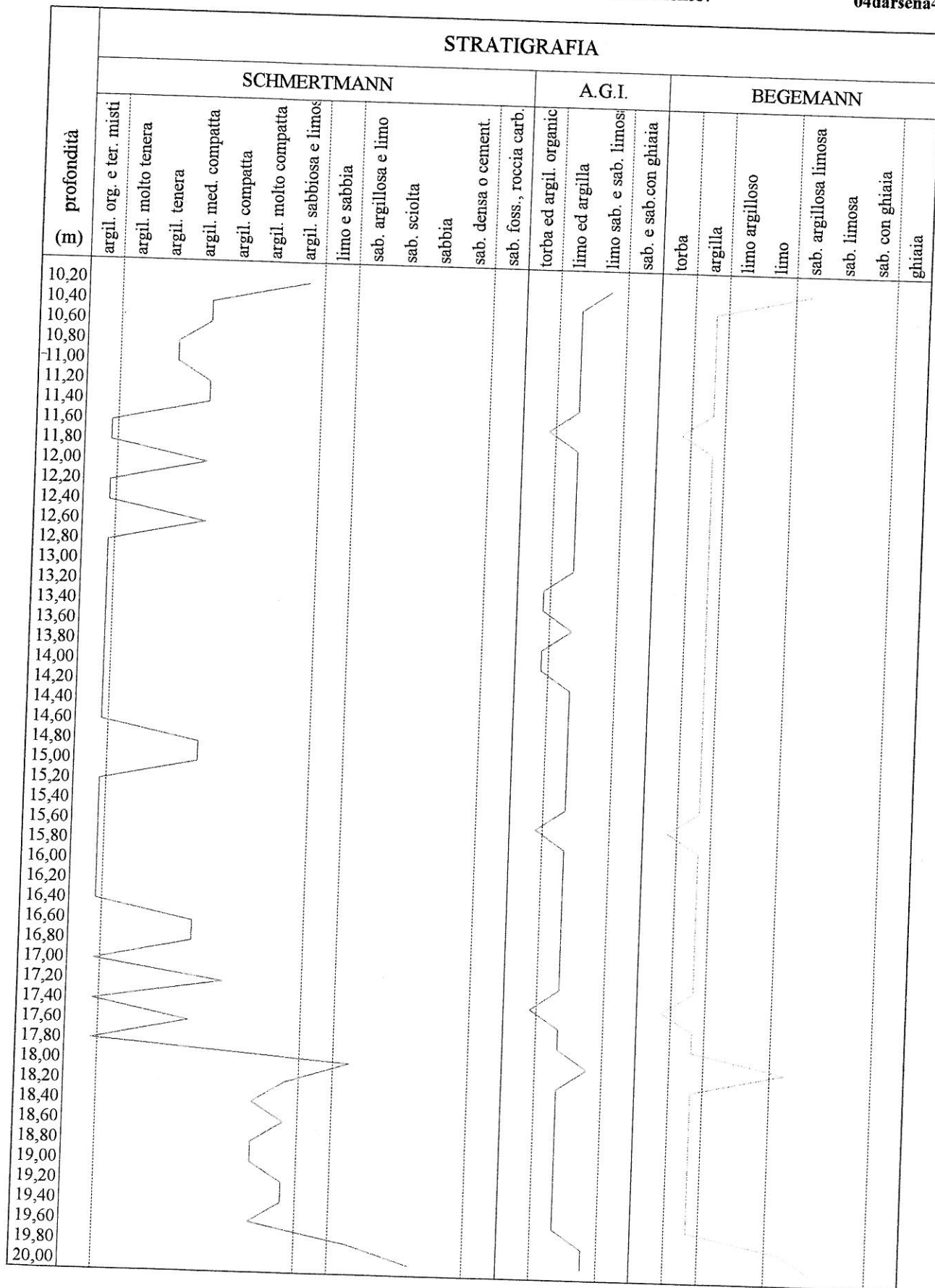
quota falda d.p.c. (m) :

Prova n. : 4

referimento:

04darsena4





Prova n. : 4

riferimento:

04darsena4

profondità (m)	STRATIGRAFIA																									
	SCHMERTMANN						A.G.I.			BEGEMANN																
	argil. org. e ter. misti	argil. molto tenera	argil. tenera	argil. med. compatta	argil. compatta	argil. molto compatta	argil. sabbiosa e limos	limo e sabbia	sab. argillosa e limo	sab. sciolta	sabbia	sab. densa o cement.	sab. foss., roccia carb.	torba ed argil. organic	limo ed argilla	limo sab. e sab. limos	sab. e sab. con ghiaia	torba	argilla	limo argilloso	limo	sab. argillosa limosa	sab. limosa	sab. con ghiaia	ghiaia	
20,20																										
20,40																										
20,60																										
20,80																										
21,00																										
21,20																										
21,40																										
21,60																										
21,80																										
22,00																										
22,20																										
22,40																										
22,60																										
22,80																										
23,00																										
23,20																										
23,40																										
23,60																										
23,80																										
24,00																										
24,20																										
24,40																										
24,60																										
24,80																										
25,00																										
25,20																										
25,40																										
25,60																										
25,80																										
26,00																										
26,20																										
26,40																										
26,60																										
26,80																										
27,00																										
27,20																										
27,40																										
27,60																										
27,80																										
28,00																										
28,20																										
28,40																										
28,60																										
28,80																										
29,00																										
29,20																										
29,40																										
29,60																										
29,80																										
30,00																										

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
0,20								
0,40	10	27		10,13	1,13		8,96	11,15
0,60	14	31		14,13	1,40		10,09	9,91
0,80	19	40		19,13	1,60		11,96	8,36
1,00	17	41	68	17,13	1,07	680	16,01	6,25
1,20	10	26		10,26	0,53		19,36	5,17
1,40	12	20		12,26	0,53		23,13	4,32
1,60	13	21		13,26	0,60		22,10	4,52
1,80	13	22		13,26	0,80		16,58	6,03
2,00	11	23	104	11,26	0,67	1040	16,81	5,95
2,20	11	21		11,39	0,60		18,98	5,27
2,40	11	20		11,39	0,73		15,60	6,41
2,60	9	20		9,39	0,53		17,72	5,64
2,80	7	15		7,39	0,40		18,48	5,41
3,00	5	11	99	5,39	0,40	990	13,48	7,42
3,20	5	11		5,52	0,33		16,73	5,98
3,40	6	11		6,52	0,40		16,30	6,13
3,60	5	11		5,52	0,33		16,73	5,98
3,80	5	10		5,52	0,27		20,44	4,89
4,00	5	9	120	5,52	0,33	1200	16,73	5,98
4,20	5	10		5,65	0,40		14,13	7,08
4,40	5	11		5,65	0,33		17,12	5,84
4,60	4	9		4,65	0,33		14,09	7,10
4,80	3	8		3,65	0,27		13,52	7,40
5,00	3	7	106	3,65	0,27	1060	13,52	7,40
5,20	3	7		3,78	0,27		14,00	7,14
5,40	3	7		3,78	0,20		18,90	5,29
5,60	3	6		3,78	0,27		14,00	7,14
5,80	3	7		3,78	0,27		14,00	7,14
6,00	3	7	118	3,78	0,27	1180	14,00	7,14
6,20	3	7		3,91	0,27		14,48	6,91
6,40	4	8		4,91	0,33		14,88	6,72
6,60	3	8		3,91	0,27		14,48	6,91
6,80	3	7		3,91	0,27		14,48	6,91
7,00	4	8	114	4,91	0,27	1140	18,19	5,50
7,20	4	8		5,04	0,33		15,27	6,55
7,40	4	9		5,04	0,27		18,67	5,36
7,60	4	8		5,04	0,27		18,67	5,36
7,80	4	8		5,04	0,20		25,20	3,97
8,00	4	7	105	5,04	0,27	1050	18,67	5,36
8,20	3	7		4,17	0,27		15,44	6,47
8,40	4	8		5,17	0,27		19,15	5,22
8,60	3	7		4,17	0,27		15,44	6,47
8,80	3	7		4,17	0,27		15,44	6,47
9,00	4	8	103	5,17	0,27	1030	19,15	5,22
9,20	4	8		5,30	0,27		19,63	5,09
9,40	4	8		5,30	0,27		19,63	5,09
9,60	3	7		4,30	0,20		21,50	4,65
9,80	4	7		5,30	0,27		19,63	5,09
10,00	3	7	100	4,30	0,27	1000	15,93	6,28

q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

0,50

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
10,20	3	7		4,43	0,20		22,15	4,51
10,40	3	6		4,43	0,20		22,15	4,51
10,60	3	6		4,43	0,20		22,15	4,51
10,80	3	6		4,43	0,27		16,41	6,09
11,00	3	7	102	4,43	0,20	1020	22,15	4,51
11,20	3	6		4,56	0,27		16,89	5,92
11,40	3	7		4,56	0,27		16,89	5,92
11,60	4	8		5,56	0,20		27,80	3,60
11,80	4	7		5,56	0,27		20,59	4,86
12,00	4	8	112	5,56	0,27	1120	20,59	4,86
12,20	4	8		5,69	0,27		21,07	4,75
12,40	4	8		5,69	0,27		21,07	4,75
12,60	4	8		5,69	0,27		21,07	4,75
12,80	4	8		5,69	0,27		21,07	4,75
13,00	4	8	110	5,69	0,33	1100	17,24	5,80
13,20	4	9		5,82	0,27		21,56	4,64
13,40	5	9		6,82	0,40		17,05	5,87
13,60	5	11		6,82	0,40		17,05	5,87
13,80	5	11		6,82	0,20		34,10	2,93
14,00	17	20	128	18,82	0,33	1280	57,03	1,75
14,20	5	10		6,95	0,27		25,74	3,88
14,40	12	16		13,95	0,60		23,25	4,30
14,60	19	28		20,95	1,07		19,58	5,11
14,80	21	37		22,95	1,53		15,00	6,67
15,00	26	49	171	27,95	1,73	1710	16,16	6,19
15,20	36	62		38,08	0,47		81,02	1,23
15,40	28	35		30,08	2,13		14,12	7,08
15,60	26	58		28,08	1,80		15,60	6,41
15,80	25	52		27,08	1,93		14,03	7,13
16,00	25	54	271	27,08	1,93	2710	14,03	7,13
16,20	27	56		29,21	2,07		14,11	7,09
16,40	26	57		28,21	1,80		15,67	6,38
16,60	34	61		36,21	1,87		19,36	5,16
16,80	41	69		43,21	1,87		23,11	4,33
17,00	41	69	343	43,21	1,60	3430	27,01	3,70
17,20	41	65		43,34	2,13		20,35	4,91
17,40	33	65		35,34	1,73		20,43	4,90
17,60	27	53		29,34	1,80		16,30	6,13
17,80	23	50		25,34	1,47		17,24	5,80
18,00	23	45	379	25,34	1,40	3790	18,10	5,52
18,20	21	42		23,47	1,13		20,77	4,81
18,40	19	36		21,47	1,13		19,00	5,26
18,60	18	35		20,47	1,13		18,12	5,52
18,80	13	30		15,47	0,67		23,09	4,33
19,00	25	35	405	27,47	0,67	4050	41,00	2,44
19,20	12	22		14,60	0,53		27,55	3,63
19,40	14	22		16,60	1,13		14,69	6,81
19,60	21	38		23,60	0,47		50,21	1,99
19,80	251	258		253,60	5,40		46,96	2,13
20,00	169	250	604	171,60	4,40	6040	39,00	2,56

q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

0,50

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	punta	punta più manicotto	totale	Rp kg/cm ²	RL kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/RL	(RL/Rp)*100
20,20	290	356		292,73	6,87		42,61	2,35
20,40	305	408		307,73	6,87		44,79	2,23
20,60	305	408		307,73				
20,80								
21,00								
21,20								
21,40								
21,60								
21,80								
22,00								
22,20								
22,40								
22,60								
22,80								
23,00								
23,20								
23,40								
23,60								
23,80								
24,00								
24,20								
24,40								
24,60								
24,80								
25,00								
25,20								
25,40								
25,60								
25,80								
26,00								
26,20								
26,40								
26,60								
26,80								
27,00								
27,20								
27,40								
27,60								
27,80								
28,00								
28,20								
28,40								
28,60								
28,80								
29,00								
29,20								
29,40								
29,60								
29,80								
30,00								

q.ta inizio (m) : p.c.

quota falda d.p.c. (m) :

0,50

Prova n. :

5

riferimento:

04darsena5

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (t/m^3)	m_v (cm^3/Kg)
	c_u (Kg/cm^2)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	stato di addens.		
0,20											
0,40	0,61	plastica	1,9							1,95	0,099
0,60	0,86	consist.	1,6							1,95	0,071
0,80	1,16	consist.	1,9							1,95	0,052
1,00	1,04	consist.	1,4							1,95	0,019
1,20	0,62	plastica	0,5							1,95	0,032
1,40				0,74	26°	36				1,75	0,023
1,60	0,80	consist.	0,6							1,95	0,025
1,80	0,80	consist.	0,6							1,95	0,025
2,00	0,68	plastica	0,5							1,95	0,030
2,20	0,69	plastica	0,5							1,95	0,029
2,40	0,69	plastica	0,5							1,95	0,029
2,60	0,57	plastica	0,4							1,80	0,043
2,80	0,45	plastica	0,3							1,80	0,054
3,00	0,33	molle	0,2							1,80	0,186
3,20	0,33	molle	0,2							1,80	0,072
3,40	0,40	molle	0,3							1,80	0,061
3,60	0,33	molle	0,2							1,80	0,072
3,80	0,33	molle	0,3							1,80	0,072
4,00	0,33	molle	0,3							1,80	0,072
4,20	0,34	molle	0,1							1,80	0,071
4,40	0,34	molle	0,2							1,80	0,071
4,60	0,28	molle	1,4							1,80	0,108
4,80	0,22	molle	2,0							1,80	0,274
5,00	0,22	molle	1,9							1,80	0,274
5,20	0,23	molle	1,9							1,80	0,132
5,40	0,23	molle	1,8							1,80	0,132
5,60	0,23	molle	1,7							1,80	0,132
5,80	0,23	molle	1,7							1,80	0,132
6,00	0,23	molle	1,6							1,80	0,132
6,20	0,24	molle	1,6							1,80	0,128
6,40	0,30	molle	2,1							1,80	0,102
6,60	0,24	molle	1,5							1,80	0,128
6,80	0,24	molle	1,4							1,80	0,128
7,00	0,30	molle	1,8							1,80	0,102
7,20	0,31	molle	1,8							1,80	0,099
7,40	0,31	molle	1,8							1,80	0,099
7,60	0,31	molle	1,7							1,80	0,099
7,80				0,31	26°	17				1,75	0,057
8,00	0,31	molle	1,6							1,80	0,099
8,20	0,25	molle	1,2							1,80	0,120
8,40	0,31	molle	1,6							1,80	0,097
8,60	0,25	molle	1,2							1,80	0,120
8,80	0,25	molle	1,1							1,80	0,120
9,00	0,31	molle	1,5							1,80	0,097
9,20	0,32	molle	1,5							1,80	0,094
9,40	0,32	molle	1,4							1,80	0,094
9,60	0,26	molle	1,1							1,80	0,116
9,80	0,32	molle	1,4							1,80	0,094
10,00	0,26	molle	1,0							1,80	0,116

Prova n. :

5

riferimento:

04darsena5

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (t/m^3)	m_v (cm^2/Kg)
	c_u (Kg/cm^2)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm^2)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	ϕ ($^\circ$)	Dr (%)	stato di addens.		
10,20	0,27	molle	1,0							1,80	0,113
10,40	0,27	molle	1,0							1,80	0,113
10,60	0,27	molle	1,0							1,80	0,113
10,80	0,27	molle	1,0							1,80	0,113
11,00	0,27	molle	0,9							1,80	0,113
11,20	0,28	molle	1,0							1,80	0,110
11,40	0,28	molle	0,9							1,80	0,110
11,60							26°	17	sciolta	1,75	0,051
11,80	0,34	molle	1,1							1,80	0,072
12,00	0,34	molle	1,1							1,80	0,072
12,20	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
12,40	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
12,60	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
12,80	0,34	molle	1,1							1,80	0,070
13,00	0,34	molle	1,0							1,80	0,070
13,20	0,35	molle	1,1							1,80	0,069
13,40	0,41	plastica	1,3							1,80	0,059
13,60	0,41	plastica	1,2							1,80	0,059
13,80							27°	17	sciolta	1,75	0,042
14,00							30°	27	sciolta	1,75	0,027
14,20				0,4	26°	23				1,75	0,041
14,40				0,8	26°	39				1,75	0,020
14,60	1,27	consist.	4,6							2,00	0,024
14,80	0,94	consist.	3,1							2,00	0,022
15,00	1,14	consist.	3,9							2,00	0,018
15,20							34°	34	sciolta	1,80	0,013
15,40	1,23	consist.	4,2							2,00	0,017
15,60	1,15	consist.	3,8							2,00	0,018
15,80	1,11	consist.	3,5							2,00	0,018
16,00	1,11	consist.	3,5							2,00	0,018
16,20	1,19	consist.	3,8							2,00	0,017
16,40	1,15	consist.	3,6							2,00	0,018
16,60	1,48	consist.	4,8							2,00	0,014
16,80				1,8	27°	61				1,85	0,012
17,00				1,8	28°	58				1,85	0,012
17,20	1,77	m. cons.	5,7							2,10	0,012
17,40	1,44	consist.	4,4							2,00	0,014
17,60	1,20	consist.	3,4							2,00	0,017
17,80	1,03	consist.	2,8							2,00	0,020
18,00	1,03	consist.	2,8							2,00	0,020
18,20	0,96	consist.	2,5							2,00	0,021
18,40	1,30	consist.	3,6							2,00	0,023
18,60	1,24	consist.	3,3							2,00	0,024
18,80				0,9	26°	41				1,75	0,018
19,00							30°	41	med. add.	1,80	0,018
19,20							27°	36	med. add.	1,75	0,020
19,40	1,01	consist.	2,4							1,95	0,020
19,60							30°	34	sciolta	1,80	0,021
19,80							34°	82	addensata	1,95	0,003
20,00							32°	78	addensata	1,95	0,003

Prova n. :

5

riferimento:

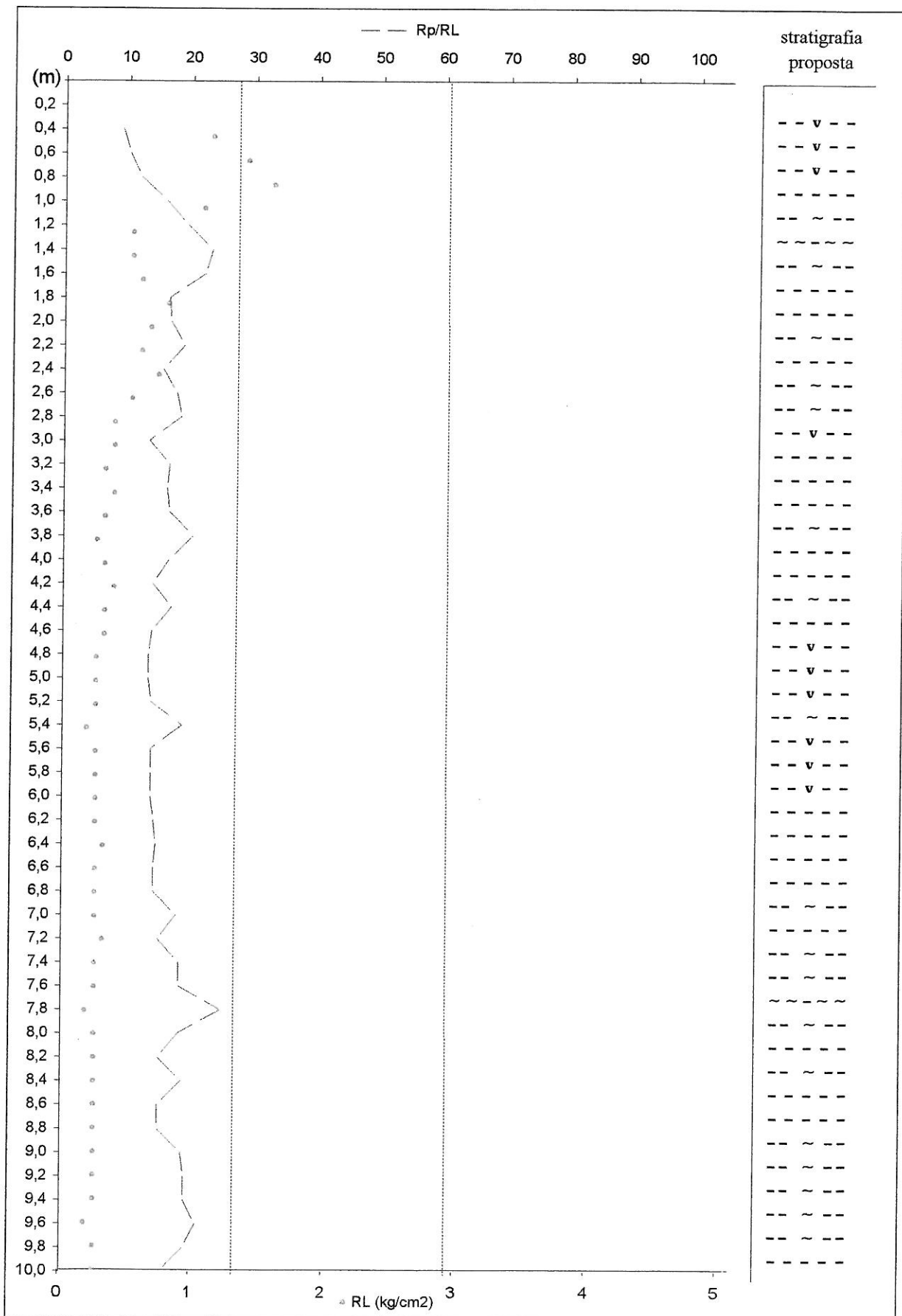
04darsena5

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			γ (t/m ³)	m_v (cm ² /Kg)
	c_u (Kg/cm ²)	stato di consisten.	O.C.R.	c_u (Kg/cm ²)	ϕ (°)	Dr (%)	ϕ (°)	Dr (%)	stato di addens.		
20,20							33°	87	molt.add.	1,80	0,002
20,40							34°	87	molt.add.	1,80	0,002
20,60											
20,80											
21,00											
21,20											
21,40											
21,60											
21,80											
22,00											
22,20											
22,40											
22,60											
22,80											
23,00											
23,20											
23,40											
23,60											
23,80											
24,00											
24,20											
24,40											
24,60											
24,80											
25,00											
25,20											
25,40											
25,60											
25,80											
26,00											
26,20											
26,40											
26,60											
26,80											
27,00											
27,20											
27,40											
27,60											
27,80											
28,00											
28,20											
28,40											
28,60											
28,80											
29,00											
29,20											
29,40											
29,60											
29,80											
30,00											

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5

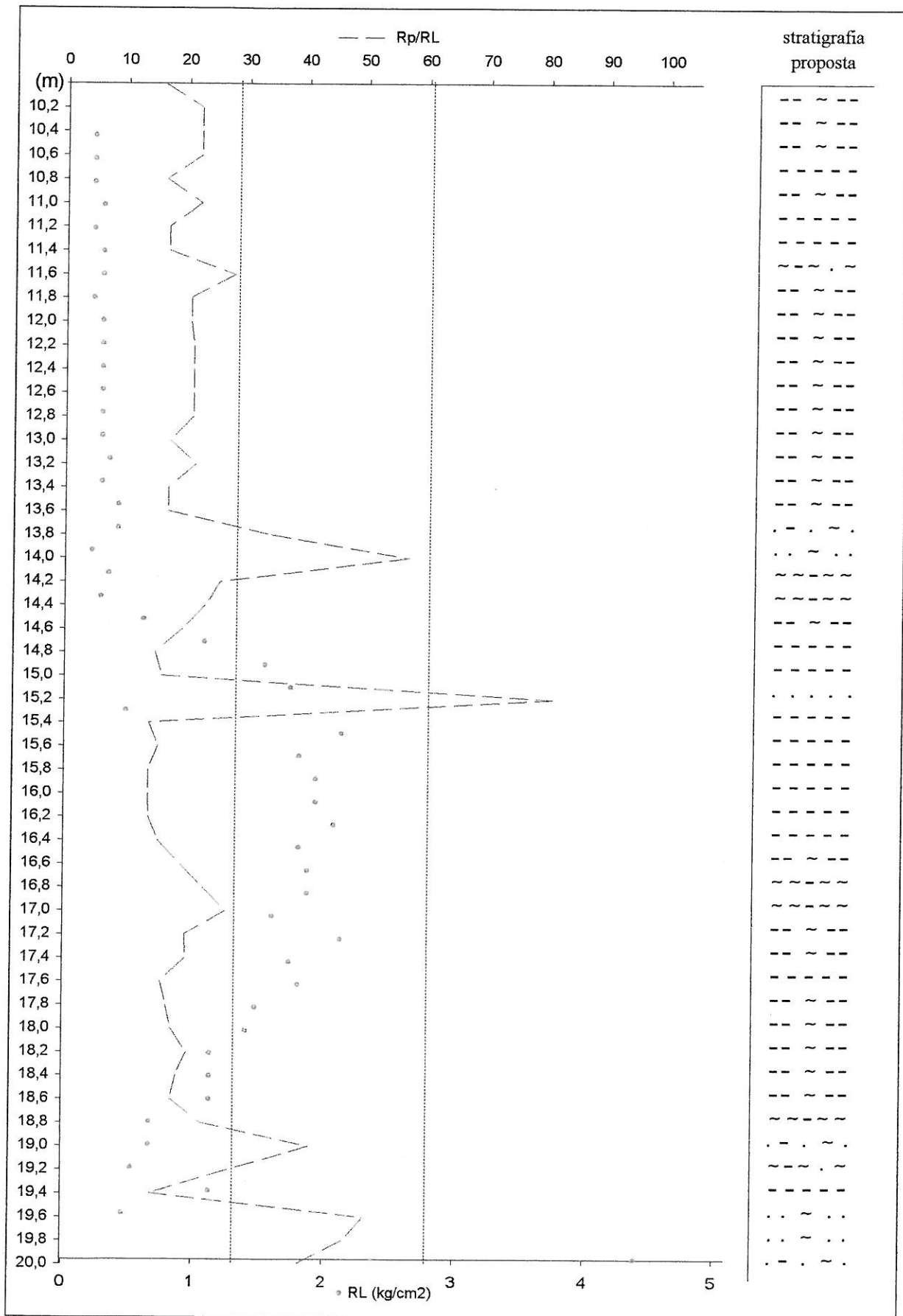


quota falda d.p.c. (m) : 0,50

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5

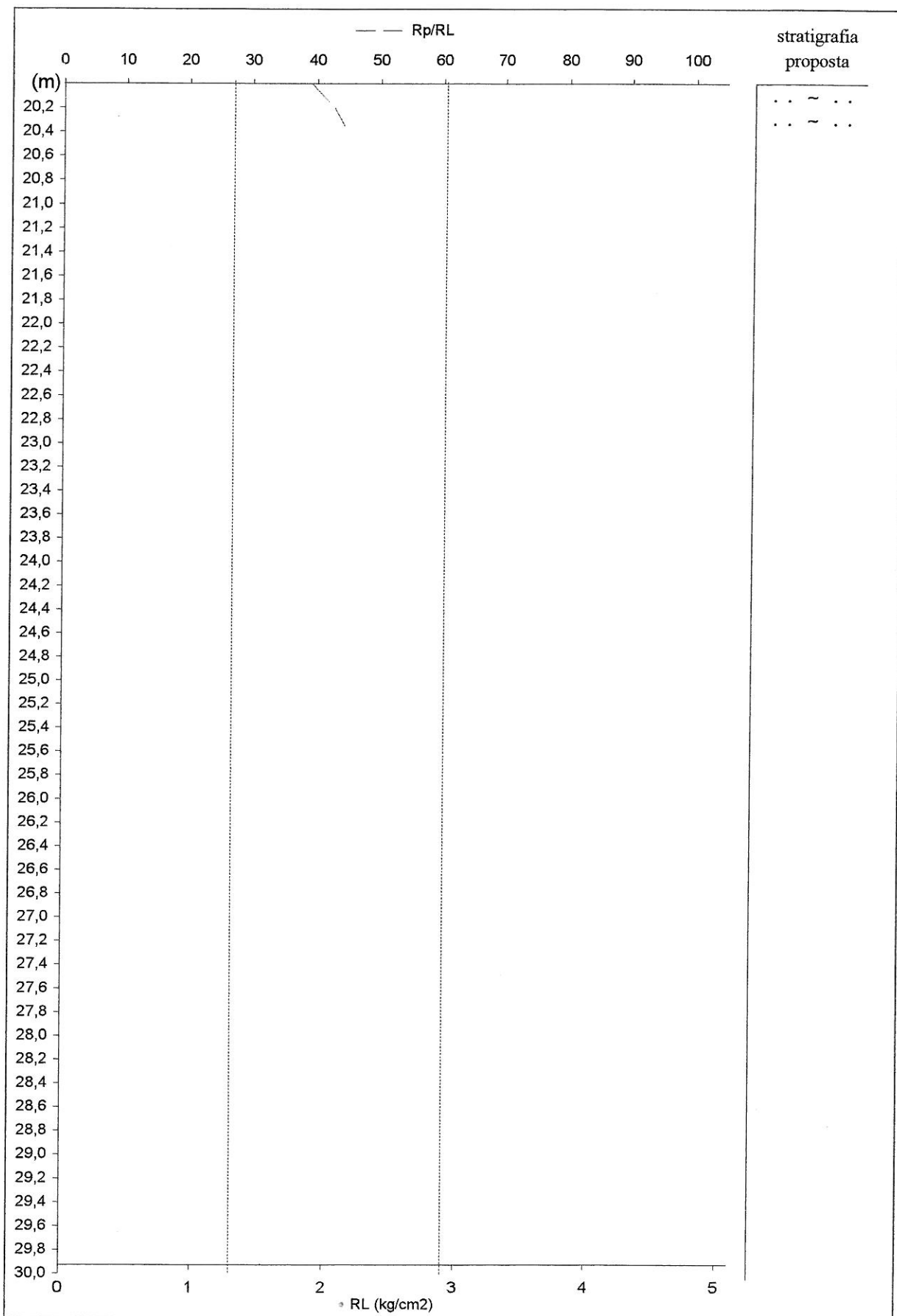


quota falda d.p.c. (m) : 0,50

Prova n. : 5

riferimento:

04darsena5



quota falda d.p.c. (m) : 0,50

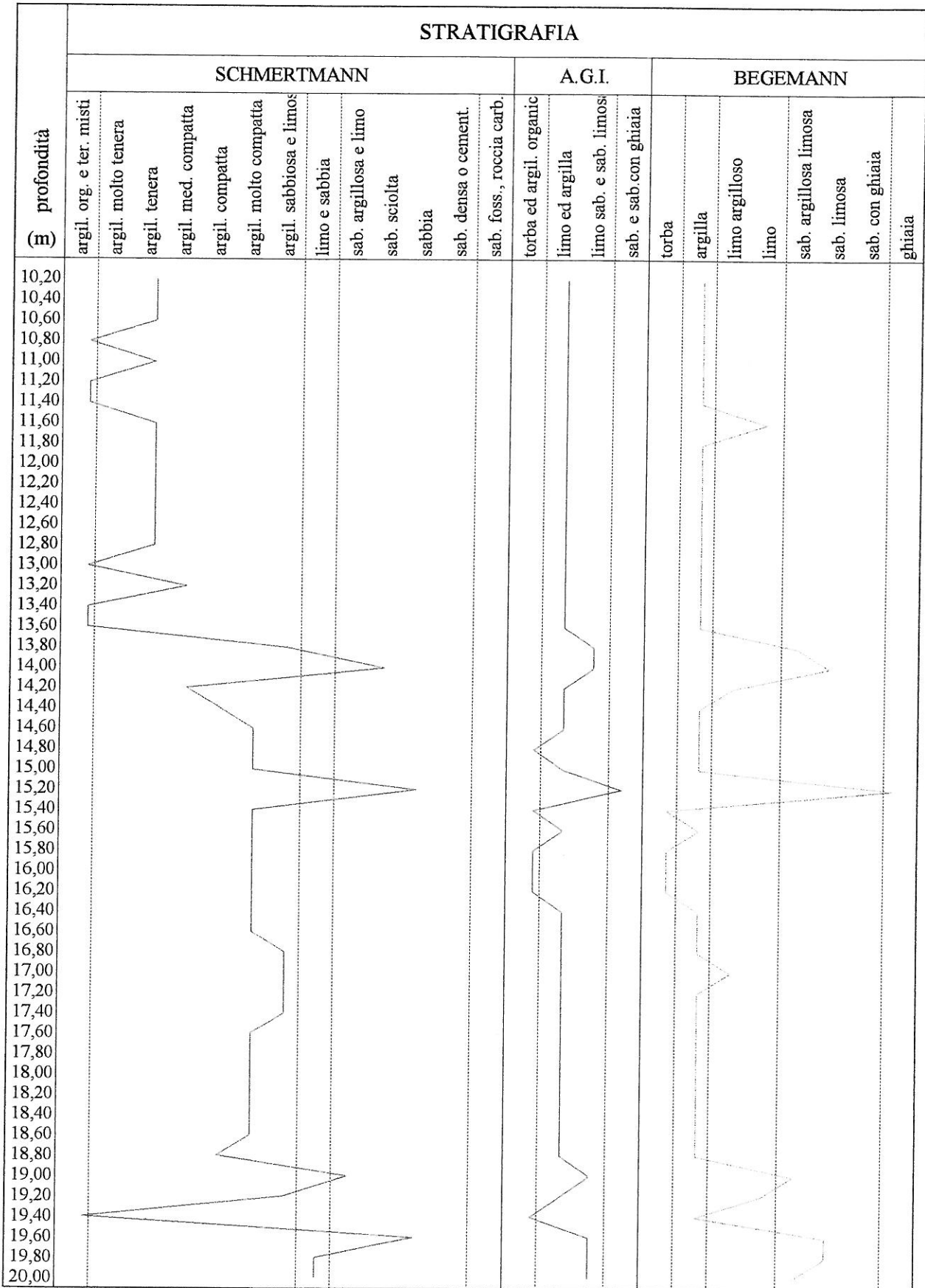
Prova n. :

5

riferimento:

04darsena5

profondità (m)	STRATIGRAFIA																								
	SCHMERTMANN						A.G.I.			BEGEMANN															
	argil. org. e ter. misti	argil. molto tenera	argil. tenera	argil. med. compatta	argil. compatta	argil. molto compatta	argil. sabbiosa e limos	limo e sabbia	sab. argillosa e limo	sab. sciolta	sabbia	sab. densa o cement.	sab. foss., roccia carb.	torba ed argil. organic	limo ed argilla	limo sab. e sab. limos	sab. e sab. con ghiaia	torba	argilla	limo argilloso	limo	sab. argillosa limosa	sab. limosa	sab. con ghiaia	ghiaia
0,20																									
0,40																									
0,60																									
0,80																									
1,00																									
1,20																									
1,40																									
1,60																									
1,80																									
2,00																									
2,20																									
2,40																									
2,60																									
2,80																									
3,00																									
3,20																									
3,40																									
3,60																									
3,80																									
4,00																									
4,20																									
4,40																									
4,60																									
4,80																									
5,00																									
5,20																									
5,40																									
5,60																									
5,80																									
6,00																									
6,20																									
6,40																									
6,60																									
6,80																									
7,00																									
7,20																									
7,40																									
7,60																									
7,80																									
8,00																									
8,20																									
8,40																									
8,60																									
8,80																									
9,00																									
9,20																									
9,40																									
9,60																									
9,80																									
10,00																									



profondità (m)	STRATIGRAFIA																									
	SCHMERTMANN					A.G.I.			BEGEMANN																	
	argil. org. e ter. misti	argil. molto tenera	argil. tenera	argil. med. compatta	argil. compatta	argil. molto compatta	argil. sabbiosa e limosa	limo e sabbia	sab. argillosa e limo	sab. sciolta	sabbia	sab. densa o cement.	sab. foss., roccia carb.	torba ed argil. organic	limo ed argilla	limo sab. e sab. limosa	sab. e sab. con ghiaia	torba	argilla	limo argilloso	limo	sab. argillosa limosa	sab. limosa	sab. con ghiaia	ghiaia	
20,20																										
20,40																										
20,60																										
20,80																										
21,00																										
21,20																										
21,40																										
21,60																										
21,80																										
22,00																										
22,20																										
22,40																										
22,60																										
22,80																										
23,00																										
23,20																										
23,40																										
23,60																										
23,80																										
24,00																										
24,20																										
24,40																										
24,60																										
24,80																										
25,00																										
25,20																										
25,40																										
25,60																										
25,80																										
26,00																										
26,20																										
26,40																										
26,60																										
26,80																										
27,00																										
27,20																										
27,40																										
27,60																										
27,80																										
28,00																										
28,20																										
28,40																										
28,60																										
28,80																										
29,00																										
29,20																										
29,40																										
29,60																										
29,80																										
30,00																										

SONDAGGI PENETROMETRICI

statici

PENETROMETRO (STANDARD ASTM '79)

tipo Pagani IG 63/100 kN		
cingolato con motore da 15 Hp		
tipo tiro in estrazione	STATICO	DINAMICO
spinta di infissione	11000 kg	
corsa utile cilindri	10000 kg	
corsa del maglio	1.25 m	
peso del maglio		0.75 m
peso aste	8.00 kg	63.5 kg
peso astine	1.38 kg	6.25 kg
diametro aste	36.0 mm	
diametro astine	15.0 mm	32.0 mm
diametro del rivestimento		48.0 mm
punta (statica Begemann)	10.0 cmq	
punta (dinamica)		20.0 cmq
angolo di apertura	60°	60°
manicotto laterale	150 cmq	
peso manicotto	2.00 kg	

data prove di campagna
committente
località
comune

06.10.98
Comune di PISA
Navicelli
Pisa

GEOINDAGINI
di **FRANCESCO**

elaborazione

neogeo

Nella prova **PENETROMETRICA STATICA STANDARD (CPT)** si infiggono la punta e la batteria di aste del penetrometro nel terreno alla velocità costante di 2 cm/sec, con tolleranza di +/- 0.5 cm/sec, indipendentemente dalla resistenza incontrata durante l'infissione.

La punta utilizzata è di tipo meccanico (Begemann).

Il sistema di acquisizione dati è elettronico, con errore fondo scala del +/- 0.2%.

Durante la prova, ogni cm 20 di avanzamento, si procede secondo la seguente successione di letture:

1° resistenza di punta

2° resistenza laterale locale (manicotto più punta)

3° resistenza totale (manicotto più punta più batteria di aste).

L'interpretazione dei dati riportata nelle pagine seguenti è stata eseguita secondo le esperienze di:

- Begemann/Searle (stratigrafia)
- Searle (angolo di attrito - densità relativa)
- Mitchell Gardener (coefficiente di compressibilità volumetrica)
- De Beer (coesione non drenata)

Nel calcolo R_p/R_f di "neogeo" si tiene conto della differenza di quota tra punta e manicotto (cm 20 circa); nell'elaborazione "neogeo-2" il rapporto viene eseguito con i valori di campagna (1°) e (2°) ricavati sullo stesso piano.

Indicativamente, per l'interpretazione stratigrafica di terreni immersi in falda, secondo le raccomandazioni AGI '77 si può assumere:

R_p/R_f	interpretazione litologica	caratteristiche terreno
< 15	torbe/argille organiche	coesivo
15-30	limi/argille	coesivo
30-60	limi sabbiosi/sabbie	granulare
>60	sabbie/sabbie con ghiaia	granulare

In casi dubbi, sempre secondo le raccomandazioni AGI, con rapporto $R_p/R_f > 30$ si permane nel campo dei terreni coesivi quando $R_p \leq 20$ kg/cmq.

In terreni coesivi, per la resistenza laterale Schmertmann suggerisce una riduzione di 0.5/0.33.

L'affidabilità dei risultati è massima in depositi omogenei; media in terreni teneri; scarsa in depositi con stratificazioni inferiori a cm 20/25 circa (causa la differenza di quota delle due letture punta/manicotto).

Le informazioni ricavate sono di tipo:

empirico (stratigrafia - densità relativa)

semi-empirico (resistenza al taglio)

semi-empirico/empirico (capacità portante alla punta)

legenda

letture di campagna (P.TA/LAT./TOT.):

R_p (kg/cmq)

R_t (kg)

R_f (kg/cmq)

R_p/R_f

ϕ (°)

D_r (%)

c_u (kg/cmq)

m_v (cmq/kg)

alla punta/laterale/totale

resistenza statica di punta

resistenza totale

resistenza laterale

rapporto Begemann

angolo di attrito

densità relativa

coesione non drenata

coeff. di compressibilità

litologia interpretativa

torba

V V V V V V

argilla

limo

~~~~~

sabbia medio fine

.....

sabbia grossolana - ghiaietto

■ ■ ■ ■

ghiaietto e ghiaia

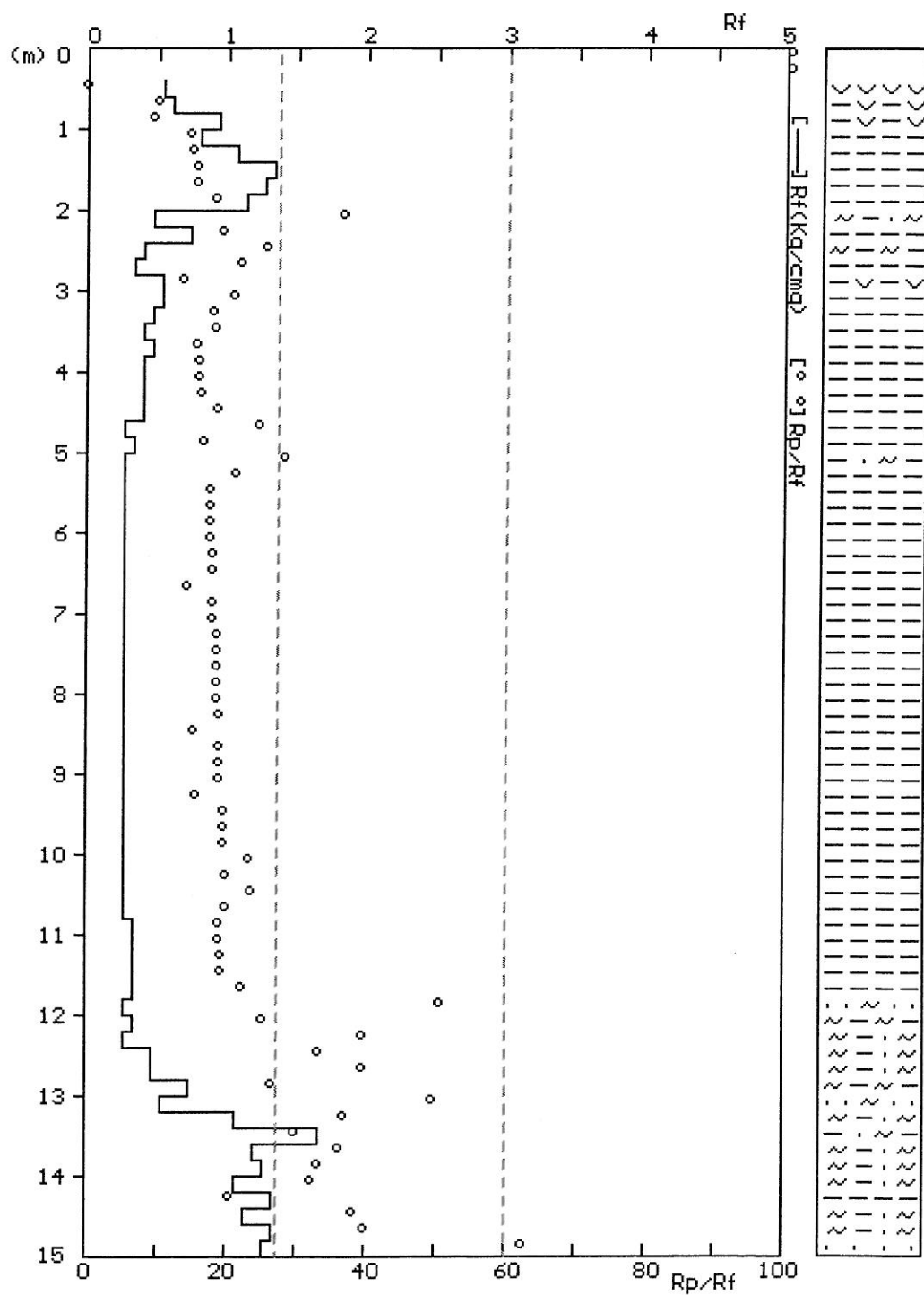
o o o o

bed-rock

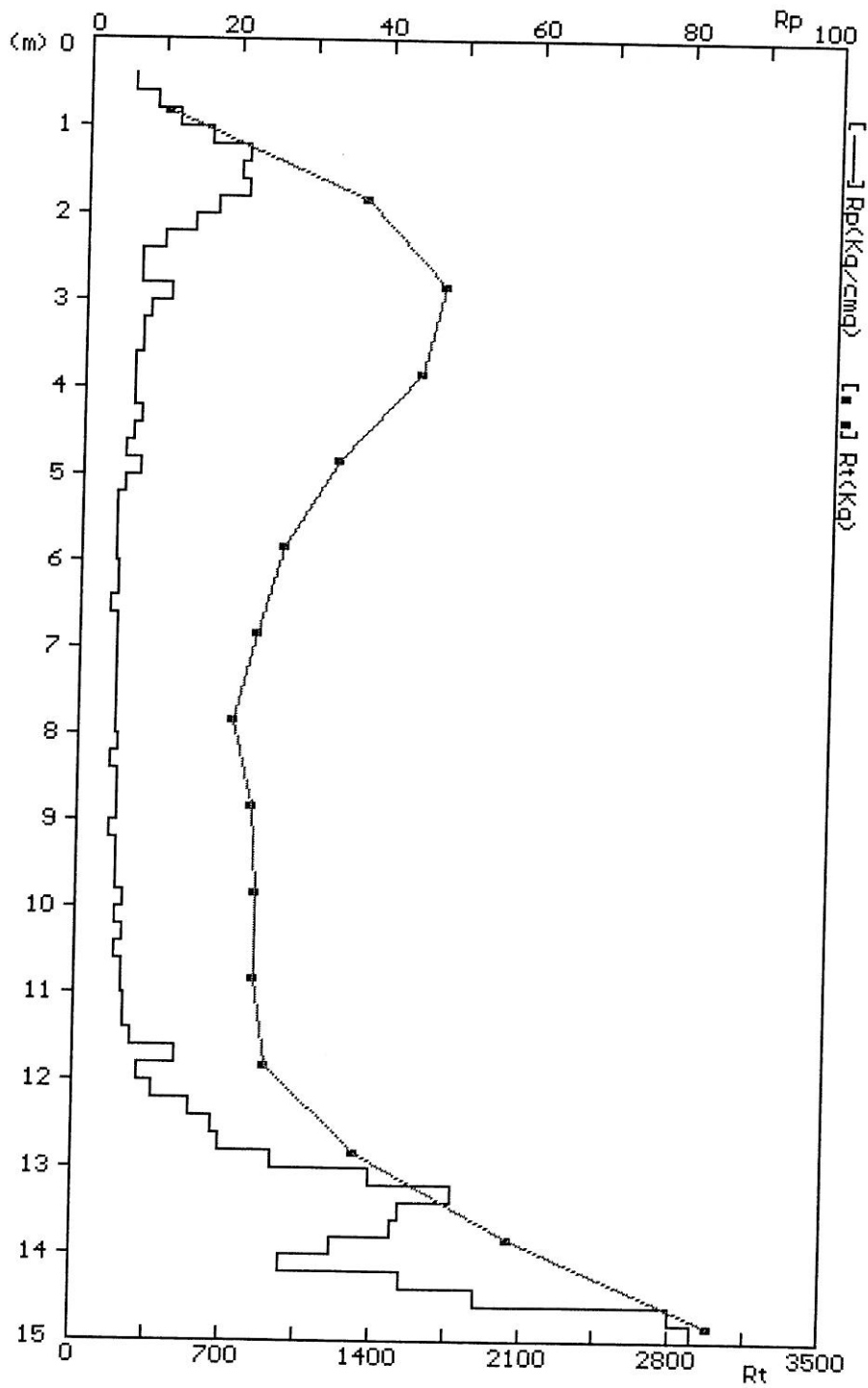
□ □ □ □

| RILIEVI DI CAMPAGNA |               |      |      | V A L O R I D E R I V A T I |      |      |       |    |    |      |       |
|---------------------|---------------|------|------|-----------------------------|------|------|-------|----|----|------|-------|
| Prof<br>(m)         | L E T T U R E |      |      | Rp                          | Rt   | Rf   | Rp/Rf | Φ  | Dr | cu   | mv    |
|                     | P.TA          | LAT. | TOT. |                             |      |      |       |    |    |      |       |
| 0.2                 | 0             | 0    | 0    | 0.13                        | 0    | 0.00 | 0.00  | 0  | 0  | 0.01 | 7.692 |
| 0.4                 | 0             | 0    | 0    | 0.13                        | 0    | 0.00 | 0.00  | 0  | 0  | 0.01 | 7.692 |
| 0.6                 | 13            | 21   | 0    | 13.13                       | 0    | 0.53 | 0.24  | 0  | 0  | 0.80 | 0.076 |
| 0.8                 | 11            | 25   | 0    | 11.13                       | 0    | 0.93 | 14.07 | 0  | 0  | 0.67 | 0.026 |
| 1.0                 | 16            | 29   | 47   | 16.13                       | 470  | 0.87 | 12.84 | 0  | 0  | 0.98 | 0.018 |
| 1.2                 | 14            | 28   | 0    | 14.26                       | 0    | 0.93 | 17.28 | 0  | 0  | 0.86 | 0.020 |
| 1.4                 | 12            | 25   | 0    | 12.26                       | 0    | 0.87 | 16.45 | 0  | 0  | 0.74 | 0.023 |
| 1.6                 | 11            | 24   | 0    | 11.26                       | 0    | 0.87 | 14.15 | 0  | 0  | 0.68 | 0.025 |
| 1.8                 | 11            | 23   | 0    | 11.26                       | 0    | 0.80 | 14.07 | 0  | 0  | 0.68 | 0.025 |
| 2.0                 | 12            | 22   | 92   | 12.26                       | 920  | 0.67 | 16.89 | 0  | 0  | 0.74 | 0.023 |
| 2.2                 | 12            | 23   | 0    | 12.39                       | 0    | 0.73 | 16.72 | 0  | 0  | 0.75 | 0.023 |
| 2.4                 | 13            | 26   | 0    | 13.39                       | 0    | 0.87 | 14.30 | 0  | 0  | 0.81 | 0.021 |
| 2.6                 | 9             | 22   | 0    | 9.39                        | 0    | 0.87 | 15.45 | 0  | 0  | 0.57 | 0.043 |
| 2.8                 | 8             | 18   | 0    | 8.39                        | 0    | 0.67 | 14.08 | 0  | 0  | 0.51 | 0.048 |
| 3.0                 | 9             | 18   | 128  | 9.39                        | 1280 | 0.60 | 13.98 | 0  | 0  | 0.57 | 0.043 |
| 3.2                 | 8             | 19   | 0    | 8.52                        | 0    | 0.73 | 12.80 | 0  | 0  | 0.52 | 0.047 |
| 3.4                 | 8             | 19   | 0    | 8.52                        | 0    | 0.73 | 11.62 | 0  | 0  | 0.52 | 0.047 |
| 3.6                 | 6             | 15   | 0    | 6.52                        | 0    | 0.60 | 14.20 | 0  | 0  | 0.40 | 0.061 |
| 3.8                 | 5             | 13   | 0    | 5.52                        | 0    | 0.53 | 12.22 | 0  | 0  | 0.33 | 0.072 |
| 4.0                 | 4             | 9    | 127  | 4.52                        | 1270 | 0.33 | 16.56 | 0  | 0  | 0.27 | 0.088 |
| 4.2                 | 4             | 10   | 0    | 4.65                        | 0    | 0.40 | 11.30 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 4.4                 | 4             | 9    | 0    | 4.65                        | 0    | 0.33 | 13.95 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 4.6                 | 5             | 10   | 0    | 5.65                        | 0    | 0.33 | 13.95 | 0  | 0  | 0.34 | 0.071 |
| 4.8                 | 5             | 10   | 0    | 5.65                        | 0    | 0.33 | 16.95 | 0  | 0  | 0.34 | 0.071 |
| 5.0                 | 5             | 10   | 124  | 5.65                        | 1240 | 0.33 | 16.95 | 0  | 0  | 0.34 | 0.071 |
| 5.2                 | 4             | 9    | 0    | 4.78                        | 0    | 0.33 | 16.95 | 0  | 0  | 0.29 | 0.084 |
| 5.4                 | 4             | 8    | 0    | 4.78                        | 0    | 0.27 | 17.92 | 0  | 0  | 0.29 | 0.084 |
| 5.6                 | 3             | 7    | 0    | 3.78                        | 0    | 0.27 | 17.92 | 0  | 0  | 0.23 | 0.106 |
| 5.8                 | 4             | 7    | 0    | 4.78                        | 0    | 0.20 | 18.90 | 0  | 0  | 0.29 | 0.084 |
| 6.0                 | 4             | 8    | 120  | 4.78                        | 1200 | 0.27 | 17.92 | 0  | 0  | 0.29 | 0.084 |
| 6.2                 | 3             | 7    | 0    | 3.91                        | 0    | 0.27 | 17.92 | 0  | 0  | 0.24 | 0.102 |
| 6.4                 | 4             | 8    | 0    | 4.91                        | 0    | 0.27 | 14.66 | 0  | 0  | 0.30 | 0.081 |
| 6.6                 | 4             | 8    | 0    | 4.91                        | 0    | 0.27 | 18.41 | 0  | 0  | 0.30 | 0.081 |
| 6.8                 | 4             | 8    | 0    | 4.91                        | 0    | 0.27 | 18.41 | 0  | 0  | 0.30 | 0.081 |
| 7.0                 | 3             | 7    | 119  | 3.91                        | 1190 | 0.27 | 18.41 | 0  | 0  | 0.24 | 0.102 |
| 7.2                 | 4             | 7    | 0    | 5.04                        | 0    | 0.20 | 19.55 | 0  | 0  | 0.31 | 0.079 |
| 7.4                 | 4             | 8    | 0    | 5.04                        | 0    | 0.27 | 18.90 | 0  | 0  | 0.31 | 0.079 |
| 7.6                 | 4             | 7    | 0    | 5.04                        | 0    | 0.20 | 25.20 | 25 | 19 | 0.31 | 0.099 |
| 7.8                 | 4             | 7    | 0    | 5.04                        | 0    | 0.20 | 25.20 | 25 | 19 | 0.31 | 0.099 |
| 8.0                 | 4             | 7    | 114  | 5.04                        | 1140 | 0.20 | 25.20 | 25 | 19 | 0.31 | 0.099 |
| 8.2                 | 4             | 7    | 0    | 5.17                        | 0    | 0.20 | 25.20 | 25 | 19 | 0.31 | 0.097 |
| 8.4                 | 3             | 7    | 0    | 4.17                        | 0    | 0.27 | 19.39 | 0  | 0  | 0.25 | 0.096 |
| 8.6                 | 3             | 7    | 0    | 4.17                        | 0    | 0.27 | 15.64 | 0  | 0  | 0.25 | 0.096 |
| 8.8                 | 3             | 7    | 0    | 4.17                        | 0    | 0.27 | 15.64 | 0  | 0  | 0.25 | 0.096 |
| 9.0                 | 3             | 7    | 119  | 4.17                        | 1190 | 0.27 | 15.64 | 0  | 0  | 0.25 | 0.096 |
| 9.2                 | 3             | 7    | 0    | 4.30                        | 0    | 0.27 | 15.64 | 0  | 0  | 0.26 | 0.093 |
| 9.4                 | 4             | 7    | 0    | 5.30                        | 0    | 0.20 | 21.50 | 0  | 0  | 0.32 | 0.075 |
| 9.6                 | 4             | 7    | 0    | 5.30                        | 0    | 0.20 | 26.50 | 25 | 19 | 0.32 | 0.094 |
| 9.8                 | 4             | 7    | 0    | 5.30                        | 0    | 0.20 | 26.50 | 25 | 19 | 0.32 | 0.094 |
| 10.0                | 3             | 7    | 118  | 4.30                        | 1180 | 0.27 | 19.88 | 0  | 0  | 0.26 | 0.093 |

PENETROMETRIA STATICA n. 2  
 località : Navicelli

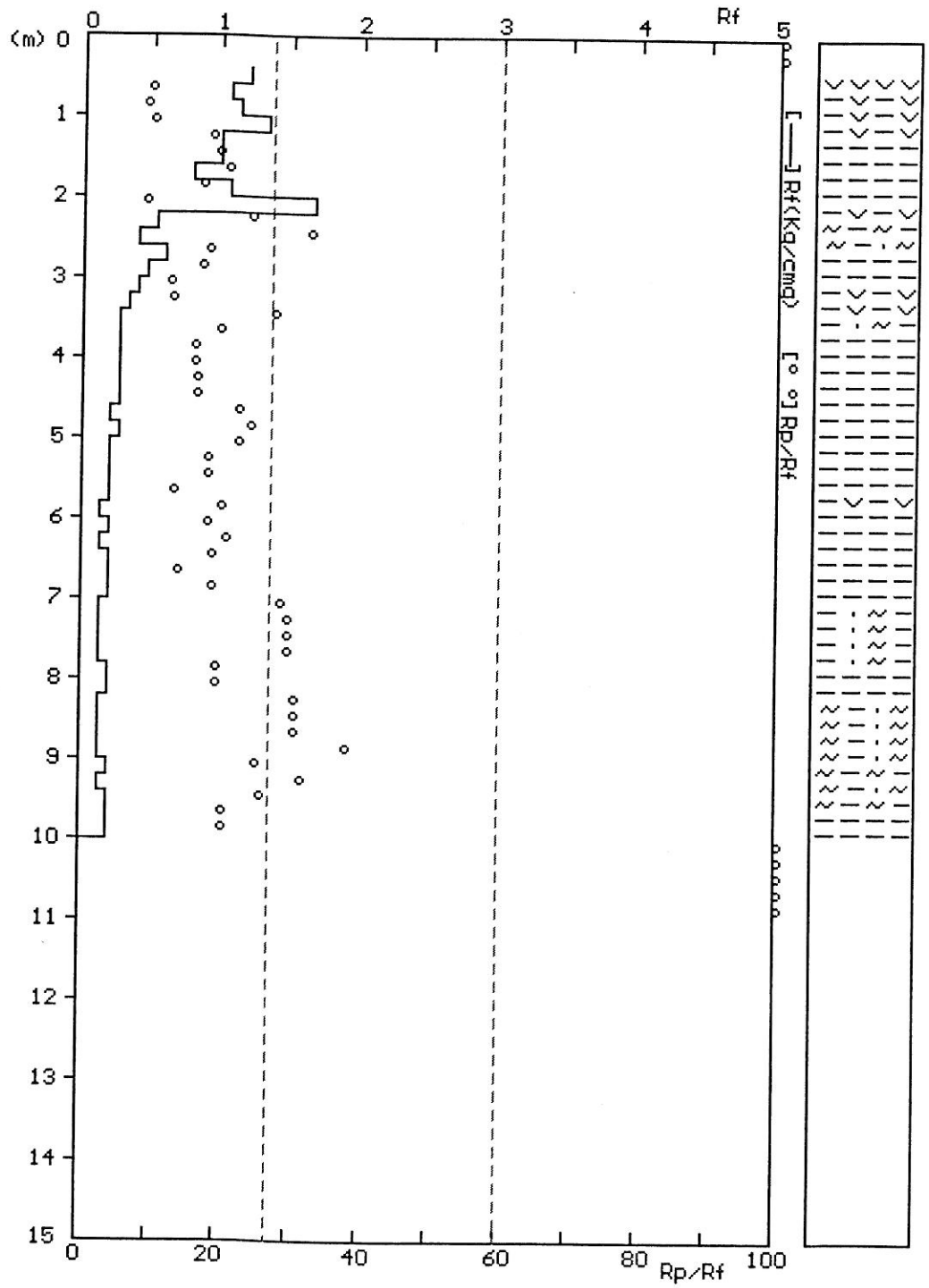


PENETROMETRIA STATICA n. 2  
località : Navicelli



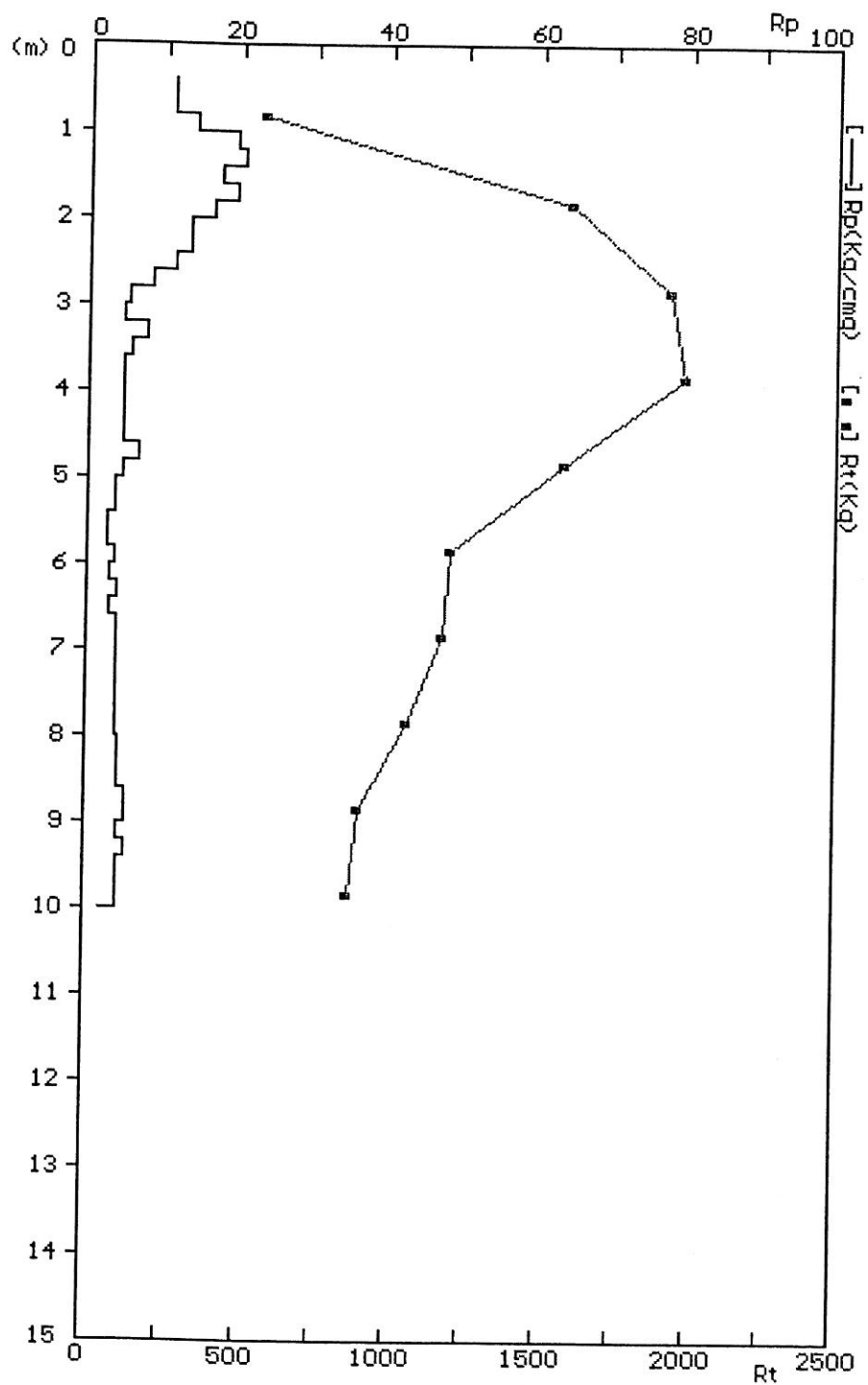
| RILIEVI DI CAMPAGNA |               |      |      | V A L O R I   D E R I V A T I |      |      |       |    |    |      |       |
|---------------------|---------------|------|------|-------------------------------|------|------|-------|----|----|------|-------|
| Prof<br>(m)         | L E T T U R E |      |      | Rp                            | Rt   | Rf   | Rp/Rf | Φ  | Dr | cu   | mv    |
|                     | P.TA          | LAT. | TOT. |                               |      |      |       |    |    |      |       |
| 0.2                 | 0             | 0    | 0    | 0.13                          | 0    | 0.00 | 0.00  | 0  | 0  | 0.01 | 7.692 |
| 0.4                 | 0             | 0    | 0    | 0.13                          | 0    | 0.00 | 0.00  | 0  | 0  | 0.01 | 7.692 |
| 0.6                 | 11            | 29   | 0    | 11.13                         | 0    | 1.20 | 0.11  | 0  | 0  | 0.67 | 0.090 |
| 0.8                 | 11            | 27   | 0    | 11.13                         | 0    | 1.07 | 10.43 | 0  | 0  | 0.67 | 0.026 |
| 1.0                 | 14            | 31   | 61   | 14.13                         | 610  | 1.13 | 9.82  | 0  | 0  | 0.86 | 0.020 |
| 1.2                 | 19            | 39   | 0    | 19.26                         | 0    | 1.33 | 10.60 | 0  | 0  | 1.17 | 0.015 |
| 1.4                 | 20            | 35   | 0    | 20.26                         | 0    | 1.00 | 19.26 | 0  | 0  | 1.23 | 0.025 |
| 1.6                 | 17            | 32   | 0    | 17.26                         | 0    | 1.00 | 20.26 | 0  | 0  | 1.05 | 0.017 |
| 1.8                 | 19            | 31   | 0    | 19.26                         | 0    | 0.80 | 21.58 | 0  | 0  | 1.17 | 0.015 |
| 2.0                 | 16            | 32   | 163  | 16.26                         | 1630 | 1.07 | 18.06 | 0  | 0  | 0.99 | 0.018 |
| 2.2                 | 13            | 38   | 0    | 13.39                         | 0    | 1.67 | 9.76  | 0  | 0  | 0.81 | 0.021 |
| 2.4                 | 13            | 21   | 0    | 13.39                         | 0    | 0.53 | 25.11 | 25 | 36 | 0.81 | 0.037 |
| 2.6                 | 11            | 17   | 0    | 11.39                         | 0    | 0.40 | 33.47 | 27 | 29 | 0.00 | 0.044 |
| 2.8                 | 8             | 17   | 0    | 8.39                          | 0    | 0.60 | 18.98 | 0  | 0  | 0.51 | 0.048 |
| 3.0                 | 5             | 12   | 197  | 5.39                          | 1970 | 0.47 | 17.98 | 0  | 0  | 0.33 | 0.074 |
| 3.2                 | 4             | 10   | 0    | 4.52                          | 0    | 0.40 | 13.47 | 0  | 0  | 0.27 | 0.088 |
| 3.4                 | 7             | 12   | 0    | 7.52                          | 0    | 0.33 | 13.56 | 0  | 0  | 0.46 | 0.053 |
| 3.6                 | 5             | 9    | 0    | 5.52                          | 0    | 0.27 | 28.20 | 25 | 18 | 0.00 | 0.091 |
| 3.8                 | 4             | 8    | 0    | 4.52                          | 0    | 0.27 | 20.70 | 0  | 0  | 0.27 | 0.088 |
| 4.0                 | 4             | 8    | 202  | 4.52                          | 2020 | 0.27 | 16.95 | 0  | 0  | 0.27 | 0.088 |
| 4.2                 | 4             | 8    | 0    | 4.65                          | 0    | 0.27 | 16.95 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 4.4                 | 4             | 8    | 0    | 4.65                          | 0    | 0.27 | 17.44 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 4.6                 | 4             | 8    | 0    | 4.65                          | 0    | 0.27 | 17.44 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 4.8                 | 6             | 9    | 0    | 6.65                          | 0    | 0.20 | 23.25 | 0  | 0  | 0.40 | 0.060 |
| 5.0                 | 4             | 8    | 162  | 4.65                          | 1620 | 0.27 | 24.94 | 0  | 0  | 0.28 | 0.086 |
| 5.2                 | 3             | 6    | 0    | 3.78                          | 0    | 0.20 | 23.25 | 0  | 0  | 0.23 | 0.106 |
| 5.4                 | 3             | 6    | 0    | 3.78                          | 0    | 0.20 | 18.90 | 0  | 0  | 0.23 | 0.106 |
| 5.6                 | 2             | 5    | 0    | 2.78                          | 0    | 0.20 | 18.90 | 0  | 0  | 0.17 | 0.144 |
| 5.8                 | 2             | 5    | 0    | 2.78                          | 0    | 0.20 | 13.90 | 0  | 0  | 0.17 | 0.144 |
| 6.0                 | 3             | 5    | 124  | 3.78                          | 1240 | 0.13 | 20.85 | 0  | 0  | 0.23 | 0.106 |
| 6.2                 | 2             | 5    | 0    | 2.91                          | 0    | 0.20 | 18.90 | 0  | 0  | 0.18 | 0.137 |
| 6.4                 | 3             | 5    | 0    | 3.91                          | 0    | 0.13 | 21.82 | 0  | 0  | 0.24 | 0.102 |
| 6.6                 | 2             | 5    | 0    | 2.91                          | 0    | 0.20 | 19.55 | 0  | 0  | 0.18 | 0.137 |
| 6.8                 | 3             | 6    | 0    | 3.91                          | 0    | 0.20 | 14.55 | 0  | 0  | 0.24 | 0.102 |
| 7.0                 | 3             | 6    | 122  | 3.91                          | 1220 | 0.20 | 19.55 | 0  | 0  | 0.24 | 0.102 |
| 7.2                 | 3             | 5    | 0    | 4.04                          | 0    | 0.13 | 29.32 | 25 | 11 | 0.00 | 0.124 |
| 7.4                 | 3             | 5    | 0    | 4.04                          | 0    | 0.13 | 30.30 | 25 | 11 | 0.00 | 0.124 |
| 7.6                 | 3             | 5    | 0    | 4.04                          | 0    | 0.13 | 30.30 | 25 | 11 | 0.00 | 0.124 |
| 7.8                 | 3             | 5    | 0    | 4.04                          | 0    | 0.13 | 30.30 | 25 | 11 | 0.00 | 0.124 |
| 8.0                 | 3             | 6    | 110  | 4.04                          | 1100 | 0.20 | 20.20 | 0  | 0  | 0.24 | 0.099 |
| 8.2                 | 3             | 6    | 0    | 4.17                          | 0    | 0.20 | 20.20 | 0  | 0  | 0.25 | 0.096 |
| 8.4                 | 3             | 5    | 0    | 4.17                          | 0    | 0.13 | 31.27 | 25 | 11 | 0.00 | 0.120 |
| 8.6                 | 3             | 5    | 0    | 4.17                          | 0    | 0.13 | 31.27 | 25 | 11 | 0.00 | 0.120 |
| 8.8                 | 4             | 6    | 0    | 5.17                          | 0    | 0.13 | 31.27 | 26 | 15 | 0.00 | 0.097 |
| 9.0                 | 4             | 6    | 94   | 5.17                          | 940  | 0.13 | 38.77 | 27 | 11 | 0.00 | 0.097 |
| 9.2                 | 3             | 6    | 0    | 4.30                          | 0    | 0.20 | 25.85 | 25 | 15 | 0.26 | 0.116 |
| 9.4                 | 4             | 6    | 0    | 5.30                          | 0    | 0.13 | 32.25 | 26 | 15 | 0.00 | 0.094 |
| 9.6                 | 3             | 6    | 0    | 4.30                          | 0    | 0.20 | 26.50 | 25 | 15 | 0.26 | 0.116 |
| 9.8                 | 3             | 6    | 0    | 4.30                          | 0    | 0.20 | 21.50 | 0  | 0  | 0.26 | 0.093 |
| 10.0                | 3             | 6    | 91   | 4.30                          | 910  | 0.20 | 21.50 | 0  | 0  | 0.26 | 0.093 |

PENETROMETRIA STATICA n. 3  
 località : Navicelli





PENETROMETRIA STATICA n. 3  
località : Navicelli



# LEGGENDA

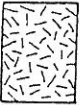


Paleovalvei sepolti  
rilevati solo con  
immagini da  
satellite

## OLOCENE



Coni di deiezione



Detriti



Alluvioni terrazzate



Lidi e dune  
litoranei



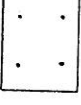
Alvei e greti  
attuali e abbandonati



Limbi, argille, torbe  
palustri e depositi  
di colmata



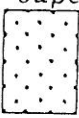
Limbi e argille  
alluvionali



Sabbie argillose  
di le Rone



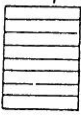
Sabbie  
dell'Isola di Coltano  
e di Vicarello



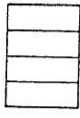
Sabbie di Ardenza



Conglomerati di  
Casa Poggio ai Lecci



Sabbie e argille ad  
Arctica e  
Sabbie di Nugola Vecchia



Sedimenti del  
Miocene sup. e del  
Pliocene inf. e medio



Rocce pre-mioceniche

Consulenze archeologiche storiche di:

M.L. CECCARELLI LEMUT, G. GARZELLA, R. GRIFONI, CREMONESI, S. MENCHELLI, M. PASQUINUCCI, AM. PULI QUAGLIA, F. REDI, F. SAMMARTINO, C. TOZZI, A. VAGGIOLI



Cave Grotte

Fortezze e torri della Guardia costiera

Torri

Castelli

Monasteri

Chiese

Ceramica

Ia.C. - Vd.C.

Ellenistici

Arcaici e

Ferro

Bronzo

Eneolitico

Neolitico

Mesolitico

Sup.

Medio

Inf.

Paleolitico

Preistorico

I numeri romani nei dintorni di Cascina si riferiscono alla toponomastica militare ancora in uso nel Medioevo

Resti di  
centuratio

Insedimenti  
Arcaici e  
Tardoarcaici

I numeri accanto ai simboli indicano le profondità in metri rispetto al piano di campagna dei reperti; l'assenza di numeri ne indica la corrispondenza



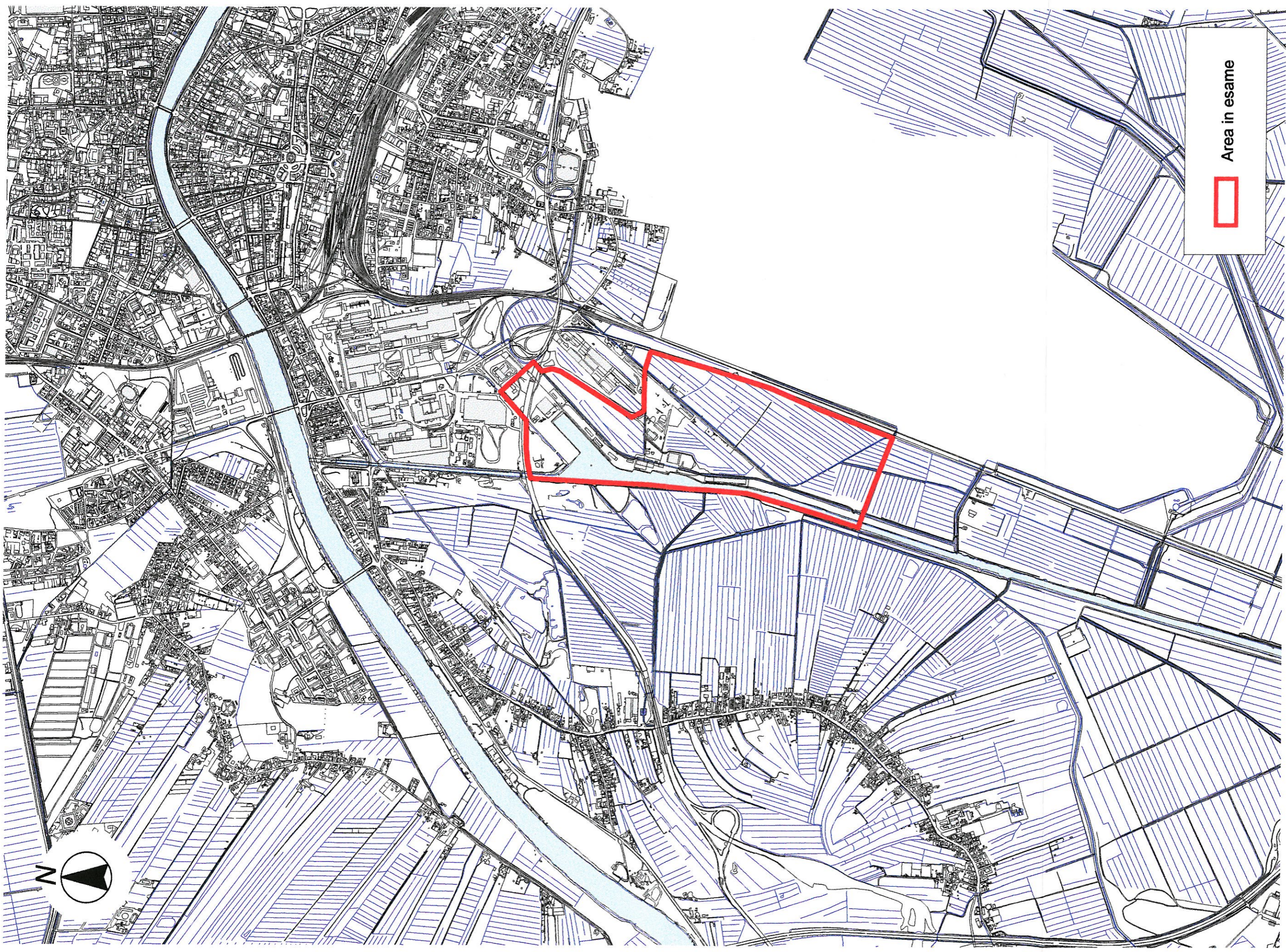
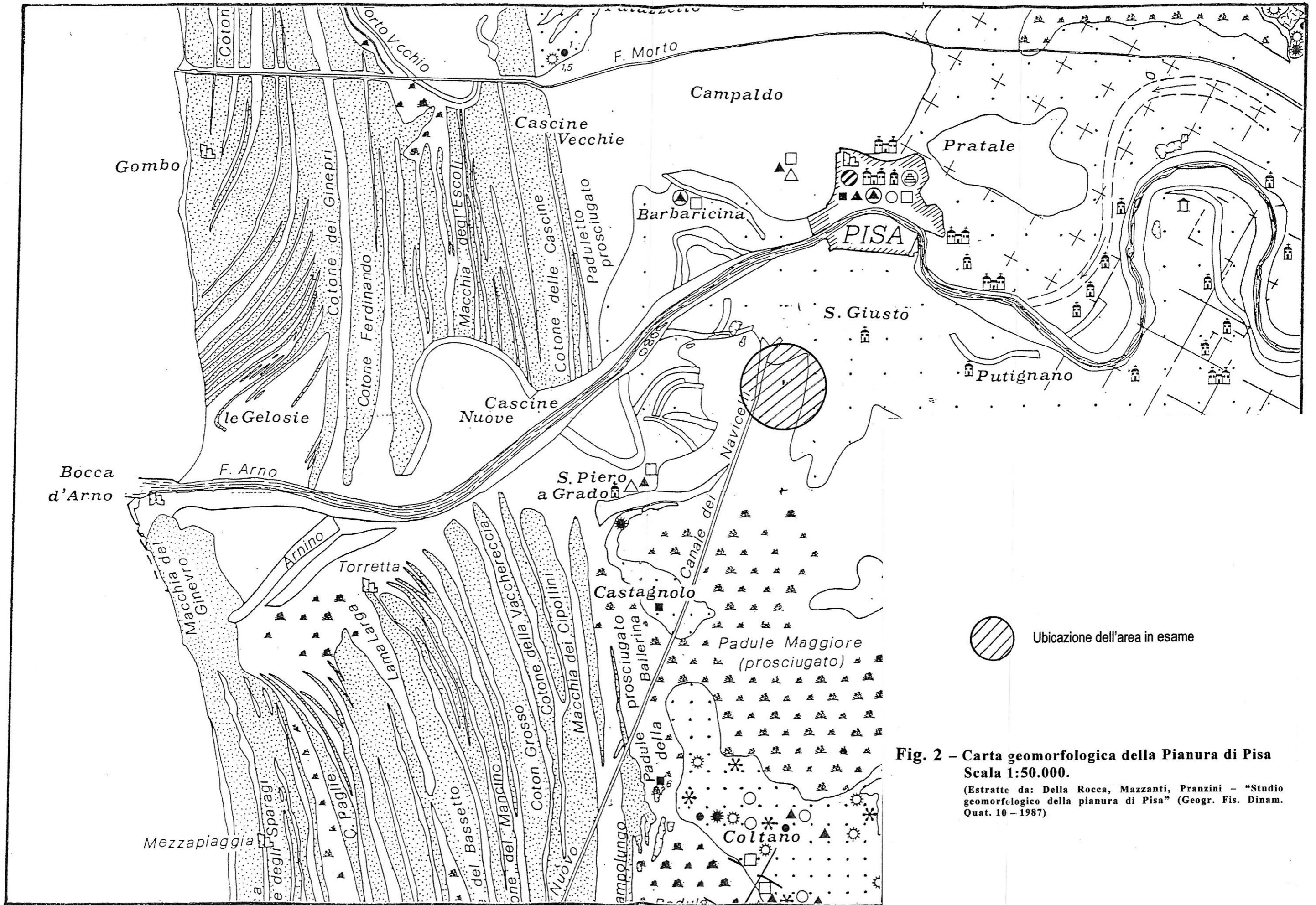
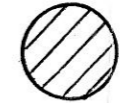


Fig.1 - Corografia (Scala 1:25.000)

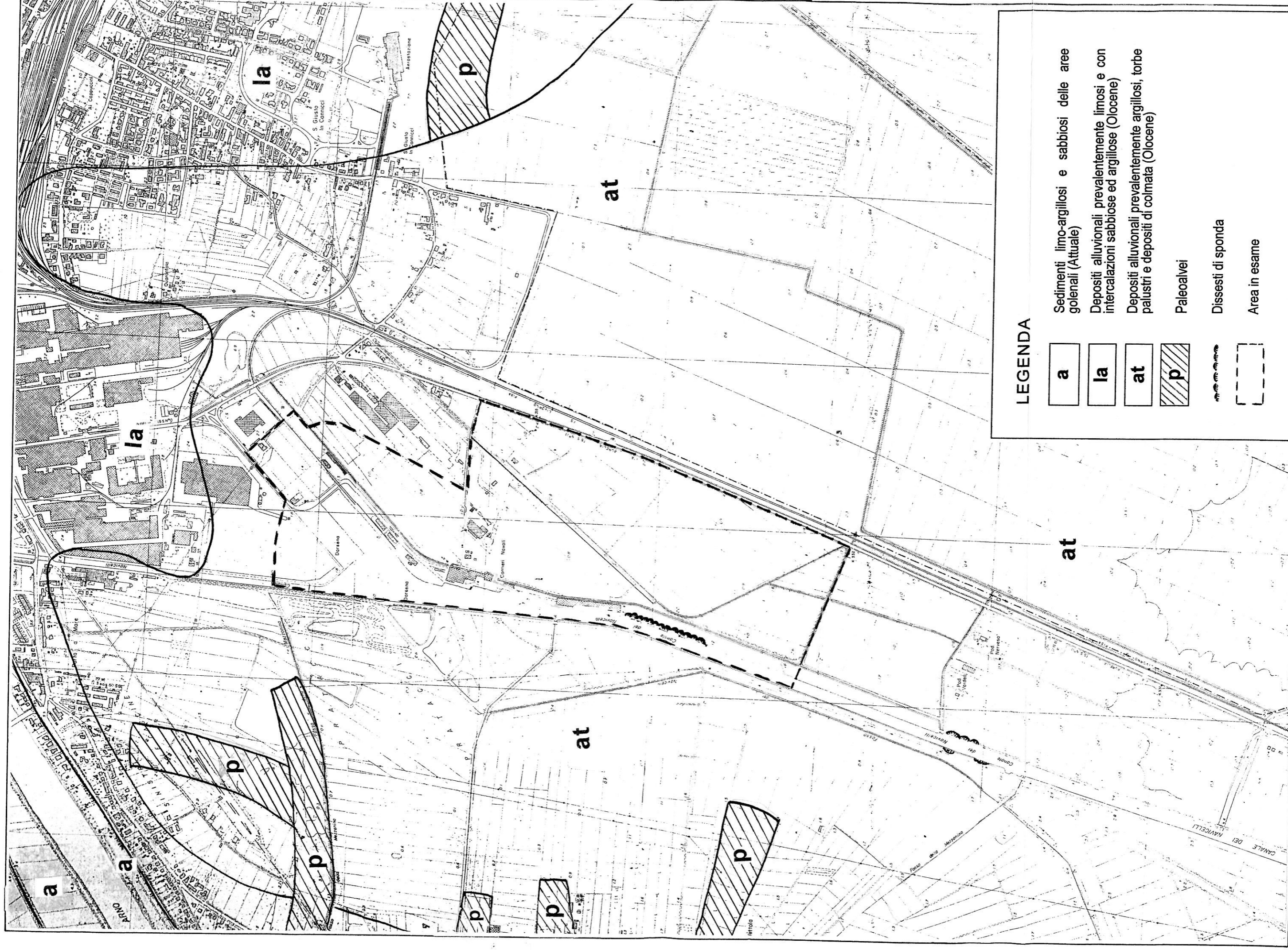




 Ubicazione dell'area in esame

**Fig. 2 - Carta geomorfologica della Pianura di Pisa**  
**Scala 1:50.000.**  
 (Estratte da: Della Rocca, Mazzanti, Pranzini - "Studio geomorfologico della pianura di Pisa" (Geogr. Fis. Dinam. Quat. 10 - 1987)





**LEGENDA**

- a** Sedimenti limo-argillosi e sabbiosi delle aree golenali (Attuale)
- la** Depositi alluvionali prevalentemente limosi e con intercalazioni sabbiose ed argillose (Olocene)
- at** Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene)
- p** Paleovalvei
- Dissesti di sponda
- Area in esame

**Fig. 3 - Carta geologica (Scala 1:10.000)**



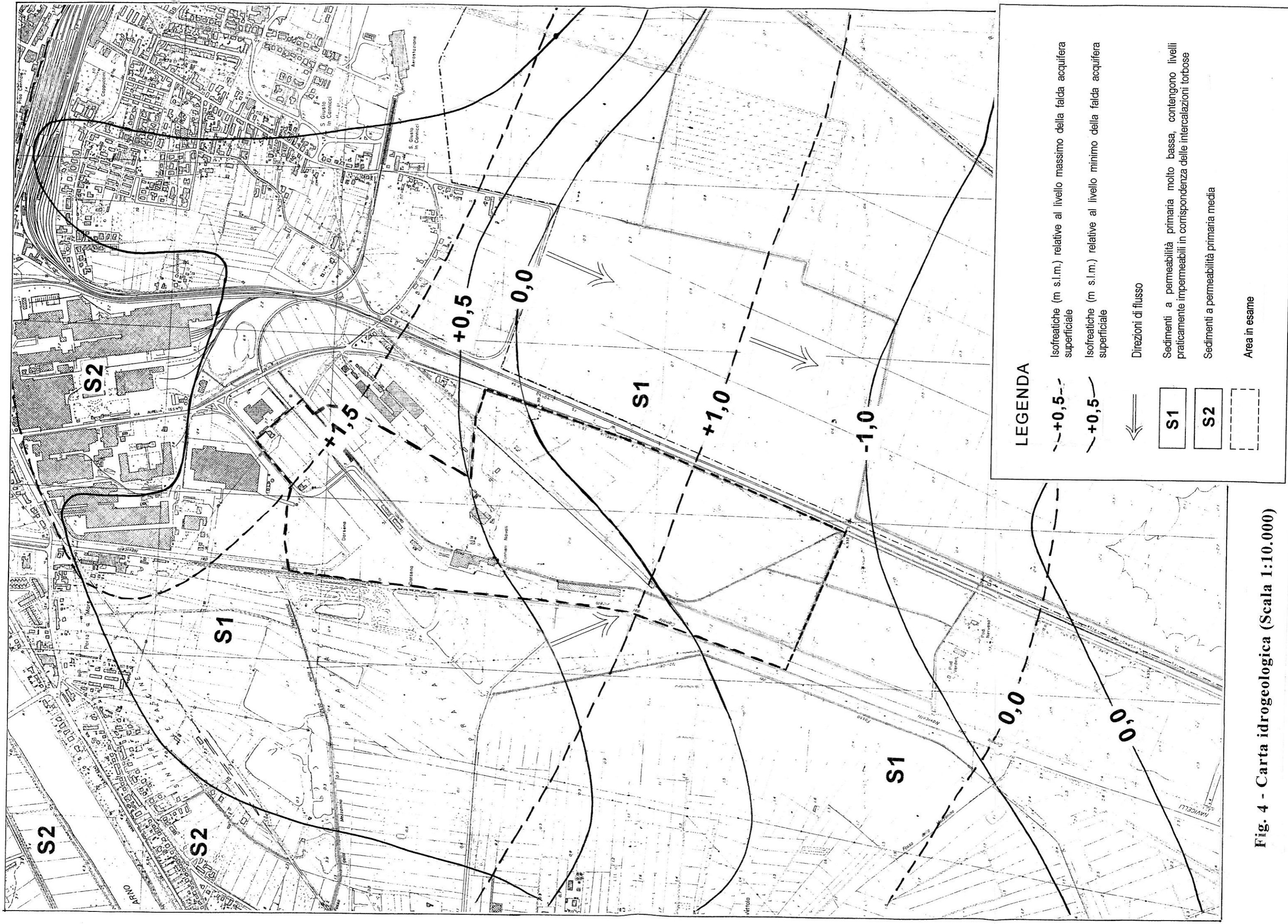
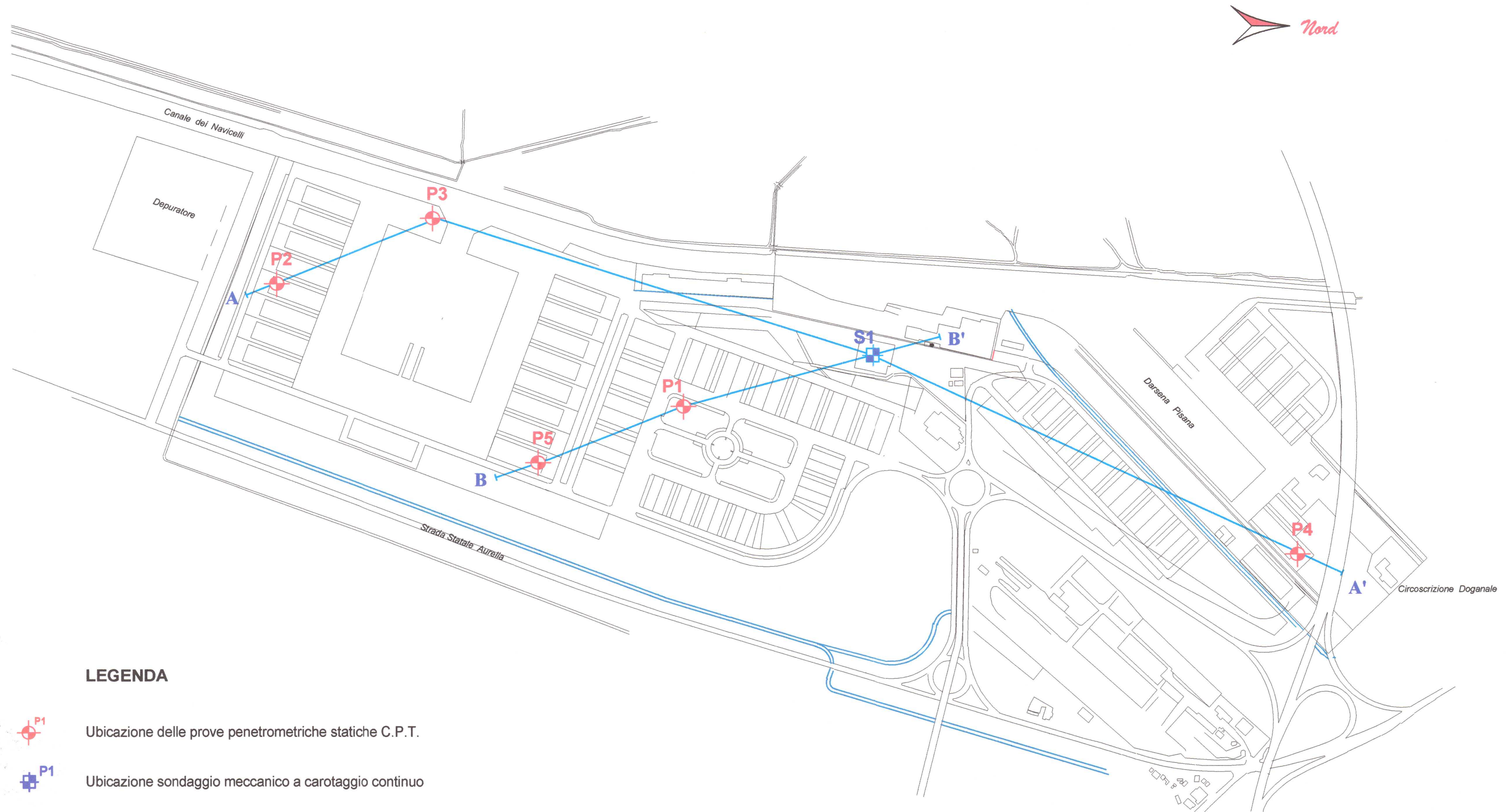





Fig. 4 - Carta idrogeologica (Scala 1:10.000)





**LEGENDA**

-  Ubicazione delle prove penetrometriche statiche C.P.T.
-  Ubicazione sondaggio meccanico a carotaggio continuo
-  Tracce delle sezioni geomeccaniche

**COMUNE DI PISA**



PREVISIONE DI PIANO ATTUATIVO  
 "AREA CANTIERISTICA NAVICELLI"  
 ZONA DI SVILUPPO DELLA INDUSTRIA  
 CANTIERISTICA E DELLE ATTREZZATURE  
 COMPLEMENTARI

Committente: S.P.A. Navicelli di PISA

**INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE**

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| TAVOLA N. | Ubicazione delle indagini<br>geognostiche e tracce delle sezioni |
| <b>1</b>  | SCALA 1:5000                                                     |

Dr. geol. *Marcello Ghigliotti*  

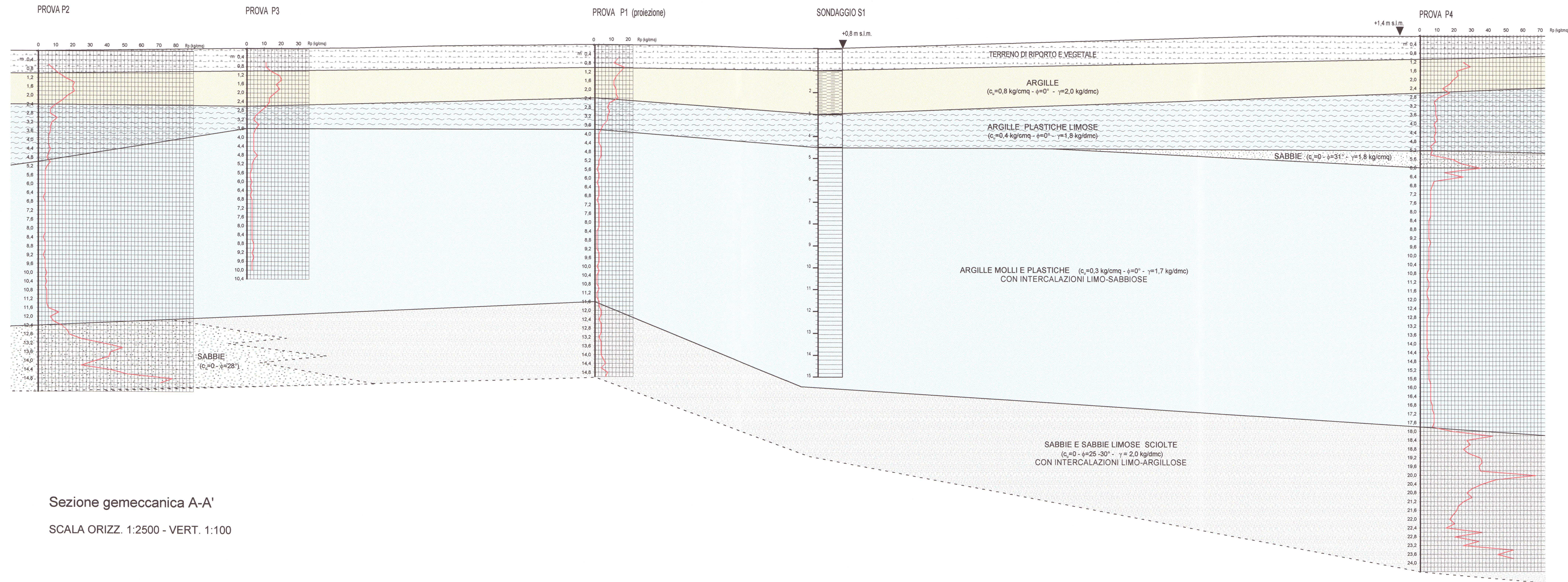

Dr. geol. *Lorenza Bianchi*  
  


Maggio 2000



Sud

Nord



Sezione gemeccanica A-A'

SCALA ORIZZ. 1:2500 - VERT. 1:100

### COMUNE DI PISA

PREVISIONE DI PIANO ATTUATIVO  
 "AREA CANTIERISTICA NAVICELLI"  
 ZONA DI SVILUPPO DELLA INDUSTRIA  
 CANTIERISTICA E DELLE ATTREZZATURE  
 COMPLEMENTARI

Committente: S.P.A. Navicelli di PISA

### INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

TAVOLA N.

# 2a

Sezione gemeccanica A-A'

SCALA ORIZZ. 1:2500 - VERT. 1:100

Dr. geol. *Marcello Ghigliotti*



Dr. geol. *Lorenza Bianchi*

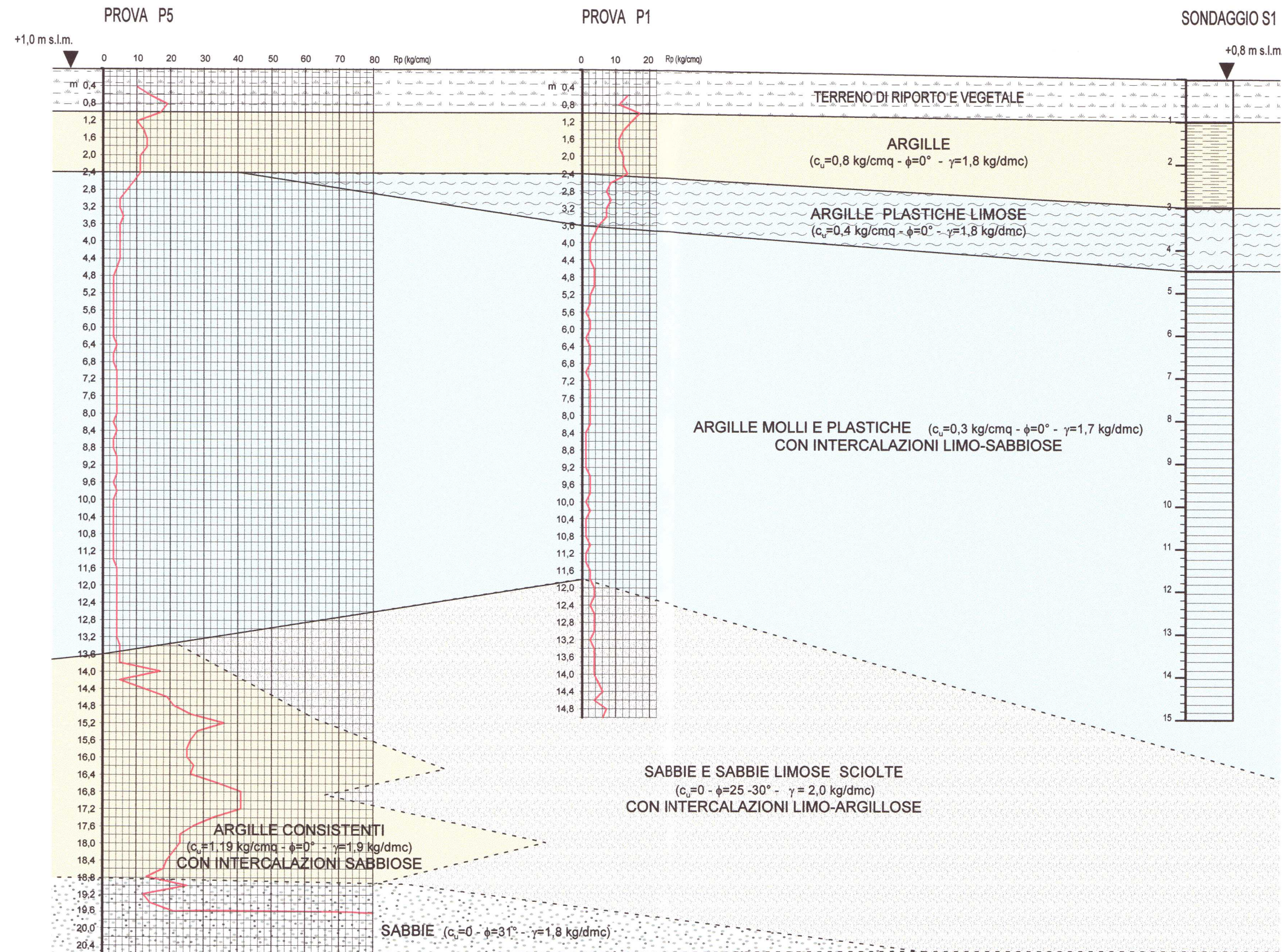


Maggio 2000



Sud-Ovest

Nord-Est



Sezione gemeccanica B-B' - SCALA ORIZZ. 1:2500 - VERT. 1:100

## COMUNE DI PISA

PREVISIONE DI PIANO ATTUATIVO  
"AREA CANTIERISTICA NAVICELLI"  
ZONA DI SVILUPPO DELLA INDUSTRIA  
CANTIERISTICA E DELLE ATTREZZATURE  
COMPLEMENTARI

Committente: S.P.A. Navicelli di PISA

### INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

TAVOLA N.

# 2b

Sezione gemeccanica B-B'

SCALA ORIZZ. 1:2500 - VERT. 1:100



Dr. geol. Lorenza Bianchi



Maggio 2000