

ELABORATO **ADOTTATO**
CON DELIBERAZIONE

- Giunta Comunale
- Consiglio Comunale

n° 22 ..del...2.9...MAR...2006



COMUNE DI PISA



PIANO DI RECUPERO AREA EX MOTOFIDES IN LOCALITA' MARINA DI PISA

Scheda 38 C del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa, approvato il 28/07/2001
Scheda 39 del Il Piano di Gestione del Parco di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli, approvato il 10/05/2002

Titolo elaborato :

RAPPORTO GEOLOGICO-TECNICO E IDROGEOLOGICO

Scala:

<input type="checkbox"/>										
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Proponente:

BORELLO S.p.A.

R5

PROGETTISTI:

OPERE ARCHITETTONICHE:

ISOLARCHITETTI S.r.l.
STUDIO 3C+T - CAPOLEI CAVALLI ARCHITETTI ASSOCIATI

OPERE MARITTIME:

MODIMAR S.r.l.

RAPPORTO GEOLOGICO-TECNICO:

GETAS PETROGEO S.r.l.



COORDINAMENTO TECNICO AMMINISTRATIVO
DIREZIONE URBANISTICA DEL COMUNE DI PISA

COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE
Prof. Ing. PAOLO SAMMARCO

COORDINAMENTO TECNICO DELLA SOCIETA' PROPONENTE
IPI Spa-MARARNO Srl

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Arch. GABRIELE BERTI

Marzo 2006	0	DESCRIZIONE	DISEGNATORE	VERIFICATORE	APPROVAZIONE
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Disegnato:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio:

Visto del Committente:



COMUNE DI PISA

**PIANO DI RECUPERO
AREA EX MOTOFIDES
IN LOCALITA' MARINA DI PISA**

**Scheda 38 C del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa, approvato il 28/07/2001
Scheda 39 del II Piano di Gestione del Parco di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli,
approvato il 10/05/2002**

RAPPORTO GEOLOGICO–TECNICO E IDROGEOLOGICO

Proponente: BORELLO S.p.A.

Marzo 2006

Emesso da: Dr. Giuseppe Ghezzi

Rivisto da: Dr. Giuseppe Ghezzi

INDICE

	<u>Pagina</u>
1. - <u>PREMESSA</u>	5
2. - <u>VARIANTE ALLO STRUMENTO URBANISTICO</u>	6
2.1. - Carta geo-morfo-litotecnica (Tav. 5A)	6
2.2.- Carta idrogeologica (Tav. 5B)	9
2.2.1. - Lineamenti idrogeologici e permeabilità	9
2.2.2. - Freatimetria	9
2.3. - Carta della Pericolosità Geologica (Tav. 5C)	10
2.4. - Carta della Pericolosità Idraulica (Tav. 5D)	10
2.4.1. - Premessa	10
2.4.2. - Pericolosità dell'area	11
2.5. - Carta della Fattibilità Geologica (Tav. 5E)	12
2.5.1. - Nuove Edificazioni	14
2.5.2. - Ristrutturazioni	27
3. - <u>QUADRO GEOLOGICO-TECNICO</u>	28
3.1. - Campagna geognostica	28
3.2. - Quadro geotecnico	32
3.2.1. - Stratigrafia dei terreni	32
3.2.2. - Caratterizzazione geologica-geotecnica dell'area	33
3.3. - Problematiche geologico-tecniche	34
3.3.1. - Stabilità in fase di scavo	35
3.3.2. - Opere di fondazione	36
3.4. - Sismicità dell'area	46

4. - <u>QUADRO IDROGEOLOGICO</u>	49
4.1. - Censimento dei punti d'acqua	49
4.2. - Falde idriche sotterranee	51
4.2.1. - La falda freatica	52
4.2.2. - Parametri idraulici della falda freatica	53
4.3. - Salinità generale dell'area	54
4.3.1. - Geometria dell'interfaccia. Stato attuale	54
4.3.2. - Geometria dell'interfaccia. Stato di progetto	56
4.3.3. - Suggerimenti	57

N. 25 Figure nel Testo

N. 11 Tabelle

Annesso 1 : a) Logs dei sondaggi S10÷S17
 b) Prove geotecniche di laboratorio
 c) Granulometrie

Hanno collaborato:

Dr. Massimo Pellegrini, geologo

Dr. Giuseppe Bellomo, geologo

Dr.ssa Chiara Beconcini

Dr. Pietro Anelli

LISTA DELLE TAVOLE

	Scala
TAV. 5A - CARTA GEO-MORFO-LITOTECNICA	1:2.000
TAV. 5B - CARTA IDROGEOLOGICA	1:2.000
TAV. 5C - CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA	1:2.000
TAV. 5D - CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	1:2.000
TAV. 5E - CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA	1:2.000

1. - PREMESSA

Nel 1994 e 1998, sempre su incarico della Borello S.p.A., la nostra Società ha redatto un rapporto geologico ed uno idrogeologico sull'area ex Motofides sulla quale era stato presentato un progetto per la realizzazione di un porto turistico.

L'obiettivo era:

- a) definire la stratigrafia dei terreni presenti nell'area e valutarne le caratteristiche geologico tecniche, fornendo ai progettisti le indicazioni necessarie per la scelta più idonea della tipologia delle fondazioni dei fabbricati di progetto e per valutare le problematiche inerenti agli scavi per la realizzazione del porto (rapporto geologico);
- b) valutare le possibili interferenze che l'apertura di nuovi specchi d'acqua avrebbero potuto creare sulla geometria dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata (rapporto idrogeologico).

Il progetto non ebbe seguito.

Recentemente Borello S.p.a ha presentato un nuovo progetto per il porto di Marina di Pisa, sempre sulla stessa area.

Nel quadro dell'accordo di programma relativo alla realizzazione del progetto, la Conferenza dei Servizi interna agli effetti dell'art. 13 della L.R. 76/96, tenutasi a Pisa il 3.12.04 presso l'Ufficio Regionale per la tutela del territorio di Pisa, in vista del deposito del nuovo progetto del porto ha chiesto (lettera prot. C.I. 253 del 9.12.2004) una serie di valutazioni per l'adeguamento del precedente rapporto alle nuove normative in vigore.

Il presente documento risponde alle nuove richieste in materia di fattibilità del progetto sotto l'aspetto geologico-tecnico ed affronta le problematiche connesse alle possibili modifiche dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata.

In merito alla fattibilità idraulica si rimanda il parere alle conclusioni dei progettisti che hanno affrontato il problema in altro documento.

2. - VARIANTE ALLO STRUMENTO URBANISTICO

In merito alle indicazioni ed alle direttive dell'Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Pisa, cui si fa riferimento in premessa, e sulla base della scheda-norma per le aree di trasformazione soggette a Piano Attuativo (R.U. Comune di Pisa – Scheda N. 38.C - Zona Di Recupero Edilizio Urbanistico Complementare Al Porto Turistico Di Marina Di Pisa), sono state eseguite indagini e valutazioni per la definizione della fattibilità delle opere previste dal P.A..

La ricostruzione del quadro ambientale è stata operata mediante l'analisi di materiale bibliografico (essenzialmente il Piano Strutturale comunale), integrato da verifiche di campagna. Di seguito vengono descritti gli elaborati prodotti e viene definita la fattibilità delle principali tipologie di interventi in progetto.

2.1. - Carta geo-morfo-litotecnica (Tav. 5A)

L'area in esame è situata in località Marina di Pisa nel settore compreso tra la costa, il F. Arno e la Via G. Da Verrazzano ad Est. Nella carta di Tav. 5A sono rappresentati i litotipi significativi per caratteristiche litologiche e sviluppo areale. L'attuale assetto geologico e stratigrafico degli strati superficiali di terreno dell'area di indagine è principalmente legato agli effetti della presenza di vaste aree paludose in rapporto alle variazioni eustatiche del livello marino e dei variabili equilibri della dinamica costiera. Si tratta quindi essenzialmente di depositi eolico transizionali dei lidi e dune litoranee. La successione stratigrafica dei terreni affioranti può essere descritta come segue:

Sedimenti delle spiagge (Attuale)

I sedimenti delle spiagge attuali sono costituiti in generale da sabbie fini, mentre i sedimenti di battigia sono leggermente più grossolani (sabbie medie). I sedimenti più distanti dalla linea di battigia sono da considerare di origine eolica vista le loro dimensioni e la loro elevata classazione. Per quanto riguarda invece la variazione granulometrica nel senso parallelo all'andamento della spiaggia, da studi sedimentologici recenti (Pranzini 1996) è stata verificata una evidente riduzione delle dimensioni dei clasti a partire dalla foce dell'Arno e procedendo verso Livorno. Nell'area di Marina di Pisa la costa è soggetta

a fenomeni erosivi ed è quindi protetta da opere di difesa trasversale o longitudinali in prossimità delle quali non è presente o è molto scarso un accumulo di tali sedimenti.

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

I sedimenti presenti nelle aree golenali sono depositi dai corsi d'acqua attuali negli alvei e nelle aree laterali raggiunte dalle piene ordinarie. Per quanto riguarda l'Arno si tratta di sedimenti a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbiosa in corrispondenza dell'energia delle acque che li hanno depositi.

Depositi sabbiosi dei lidi e dune litoranee (Olocene)

Si tratta di depositi sabbiosi che si sviluppano lungo una fascia della larghezza di circa 7 km posta in direzione nord-sud che separa la pianura alluvionale di Pisa dal mare. Tale disposizione spaziale rappresenta gli antichi andamenti del litorale che è andato espandendosi fino al secolo scorso.

I lidi e le dune litoranee sono costituiti da depositi sabbiosi su cui prevalgono composizionalmente i granuli quarzosi. Tali sabbie si presentano sciolte in superficie e mediamente addensate in profondità. I lidi, chiamati localmente "Cotoni", non raggiungono quote molto elevate. Corrispondono a barre emerse per sovraccumulo di sedimenti trasportati dall'azione marina litoranea, scaricati sulle spiagge dalle onde e, in tempi successivi, stabilizzati dalla vegetazione (Mazzanti, 1994b). Le dune sabbiose, dette "Tomboli", si sono formate invece in seguito ad accumuli di origine eolica. Si presentano mediamente più elevate rispetto ai lidi ed hanno una forma allungata prevalentemente nel senso del litorale. In generale la loro formazione è legata al prevalere di un vento costante ed hanno per questo un profilo asimmetrico che rimane visibile dove non è stato alterato dall'azione antropica.

Sedimenti interdunali (Olocene)

Sono depositi costituiti da limi e sabbie limose talvolta con orizzonti superficiali argilloso-torbosi. I sedimenti interdunali presentano un andamento parallelo ai lidi e sono stati depositi nelle depressioni comprese tra i lidi e le dune. Anche questi terreni, come quelli precedentemente descritti, si sono originati in prossimità di linee costiere dei secoli scorsi e di conseguenza sono costituiti da depositi sabbiosi in particolare arricchiti della frazione più fine. Nelle aree interdunali, in quanto morfologicamente depresse, si sono verificati ristagni d'acqua nei periodi di maggiore piovosità. Di conseguenza, in queste zone si è spesso notevolmente sviluppata una vegetazione igrofila, la cui alterazione ha dato origine a depositi organici e torbosi negli strati più superficiali di terreno.

Dal punto di vista geomorfologico non sono stati osservati elementi di rilievo; l'area indagata è generalmente piatta ad eccezione delle aree dunali in corrispondenza delle quali le quote possono raggiungere e superare i 2-3 m s.l.m. Nella Tav. 5A è stata inoltre riportata la linea di costa riferita al XVII sec d.c..

Relativamente all'aspetto litotecnico, prendendo spunto dall'analogica carta del P.S., i litotipi presenti sulla carta geologica sono stati raggruppati sulla base delle caratteristiche

litotecniche, delle proprietà fisicomeccaniche coesione, angolo di attrito interno, densità relativa, e coefficiente di compressibilità volumetrica. In base ai criteri sopra specificati, dal punto di vista litotecnico, sono stati riconosciuti i termini descritti di seguito:

Terreni di riporto

I terreni di riporto sono stati rappresentati sulla carta nelle zone in cui il loro spessore presenta una certa rilevanza. Si ritrovano notevoli quantità di terreni di riporto soprattutto lungo il corso dell'Arno esternamente agli argini. In generale si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche molto variabili, quindi la coesione può variare molto in relazione al contenuto locale di argilla o limo e l'angolo di attrito interno al tenore di materiale sabbioso o ghiaioso grossolano. Sono terreni eterogenei rimaneggiati che in generale non offrono garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la loro asportazione in caso di costruzione di manufatti o di posizionare il piano di imposta delle fondazioni al di sotto di essi.

Terreni argilloso-limoso-sabbiosi delle aree golenali

Si tratta di sedimenti limo argillosi e sabbiosi depositi principalmente nelle aree comprese tra gli argini dei fiumi in tempi anche molto recenti durante le fasi di piena dei corsi d'acqua. Si tratta comunque di terreni caratterizzati da proprietà meccaniche da mediocri a scadenti quando la composizione argillosa prevale su quella sabbiosa.

Sabbie

In questa categoria litotecnica sono comprese le sabbie superficialmente sciolte delle spiagge attuali e le sabbie dei lidi e le dune litoranee. Queste ultime sono caratterizzate da una granulometria da media a medio fine e dal fatto che le dimensioni dei granuli aumentano procedendo verso la linea di battigia e verso le zone di spiaggia alta di accumulo eolico. Questi sedimenti mostrano inoltre una classazione in senso verticale, sono notevolmente sciolti in superficie mentre in profondità si presentano mediamente addensati.

Le sabbie sono dotate di una coesione nulla, mentre l'angolo di attrito interno, in base a dati di prove penetrometriche statiche, è risultato variabile tra un minimo di 28° e massimi intorno a 43° . Nei primi 10 metri di profondità la resistenza alla punta (R_p) del penetrometro statico è generalmente maggiore di 45 km/cm² con punte massime intorno a 250 km/cm². Il peso di volume varia tra minimi intorno a 1,80 km/dmc per le sabbie con contenuto limoso, fino a 2,08 per le sabbie pure più addensate. La densità relativa (D_r) varia tra minimi intorno al 52% e massimi che in rari casi possono raggiungere il 100%. Il colore di questi terreni si presenta marrone chiaro-nocciola negli strati più superficiali e grigio in quelli più profondi.

Sabbie fini limose

Questi terreni si ritrovano lungo la fascia costiera in prossimità delle depressioni comprese tra i lidi e le dune. Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose. Per quanto riguarda le sabbie, l'angolo di attrito interno varia generalmente tra 25° e 33° , mentre la coesione c è nulla. La densità relativa D_r è compresa tra 10 e 50 % e il coefficiente di compressibilità volumetrica m_v varia tra circa 0,013 e 0,040 kg/cm².

2.2. - Carta idrogeologica (Tav. 5B)

2.2.1. - Lineamenti idrogeologici e permeabilità

Da un punto di vista litologico è importante distinguere tutti i litotipi presenti nell'area sia in affioramento che in sottosuolo, poiché le differenze litologiche e tessiturali determinano sostanziali differenze nel comportamento idrogeologico, influenzando in particolare la permeabilità.

Procedendo da Ovest verso Est sono presenti (Tav. 5B):

- terreni di riporto; permeabilità variabile
- sabbie delle spiagge attuali, sabbie eoliche dei lidi e delle dune litoranee; permeabilità primaria media;
- depositi di interduna; permeabilità medio bassa;
- depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi-limosi delle aree golenali; permeabilità primaria medio-bassa.

Nel sottosuolo dell'area in esame, da un punto di vista litostratigrafico si alternano sedimenti di ambiente continentale e di ambiente marino che consentono di definire un sistema acquifero multistrato. Tale assetto litostratigrafico è il risultato dell'alternanza degli effetti delle trasgressioni e delle regressioni che si sono succedute nel tempo. Sulla base di queste considerazioni a carattere generale, la successione idrostratigrafica del sottosuolo del territorio studiato può essere così sintetizzata:

- I° orizzonte acquifero sede di falda freatica-semiconfinata, contenuto in sedimenti prevalentemente sabbiosi superficiali. Lo spessore è variabile da 12 a 14 m.
- II° orizzonte acquifero sede di falda confinata, costituito da depositi di origine alluvionale composti da livelli ciottolosi e ghiaiosi separati da strati a prevalentemente composizione sabbiosa. Nell'area di studio il suo spessore non è definibile, comunque è di oltre 10 metri a partire dalla profondità di circa 25 m.

I due orizzonti acquiferi sono separati da un livello impermeabile di argilla limoso-sabbiosa il cui spessore è valutabile in circa 8-10 m e la cui estensione areale è continua in tutta l'area studiata.

2.2.2. - Freatimetria

Nel periodo Maggio-Giugno 2005 è stata eseguita una campagna di misure di livello sui pozzi e piezometri presenti nella porzione di territorio studiato.

Il quadro freatimetrico risultante è visibile nella Tav. 5B in cui si nota un alto piezometrico allungato in direzione NNO-SSE secondo lo sviluppo dei depositi di duna. Le quote freatimetriche sono generalmente di poco superiori al livello medio mare. Verso Est, probabilmente per effetto del pompaggio da parte dell'idrovora presente sul Canale Nuovo Lamone, le quote freatimetriche tendono a diminuire e si portano al di sotto del livello mare .

2.3. - Carta della Pericolosità Geologica (Tav. 5C)

La carta della pericolosità rappresenta la sintesi di tutti gli elaborati redatti e di tutte le conoscenze geologico-tecniche acquisite sul territorio investigato. Lo scopo della carta della pericolosità è di delimitare quelle aree nelle quali i parametri geomorfologici, sismici e geotecnici sono tali da richiedere o meno un approfondimento di indagini e particolari tecniche di intervento. Di conseguenza nella carta si prevede la delimitazione di aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di elementi critici.

Il grado di pericolosità del territorio studiato è determinato sulla base delle indicazioni presenti nella Del. C.R. 94/85 ed integrate con le indicazioni del Piano Strutturale Comunale.

Seguendo questi criteri, le classi di pericolosità individuate sulla carta di Tav. 5C sono:

CLASSE 2 - PERICOLOSITA' BASSA

Individua le situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili sulle quali però possono localmente permanere dubbi che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.

CLASSE 3 - PERICOLOSITA' MEDIA

Corrisponde alle aree nelle quali non sono presenti fenomeni attivi, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trovi al limite dell'equilibrio. In queste zone ogni intervento edilizio è fortemente limitato e le indagini di approfondimento dovranno essere condotte a livello dell'area nel suo complesso; sono inoltre da prevedersi interventi di bonifica localizzati.

Come si può osservare in Tav. 5C l'area oggetto della variante comprende entrambe le classi di pericolosità.

2.4. - Carta della Pericolosità Idraulica (Tav. 5D)

2.4.1. - Premessa

Gli elementi idrografici di rilievo presenti nell'area in esame sono il F. Arno e la rete di canali minori di scolo che solcano le aree non ancora urbanizzate.

Le acque che condizionano l'idrologia del settore di studio non sono comunque quelle dell'Arno che, essendo totalmente arginato, costituisce un sistema idraulico a se stante, ma quelle dei fossi e canali che costituiscono i sistemi di bonifica, unite alle acque meteoriche.

A causa sia della bassa pendenza, sia delle condizioni altimetriche, sia della presenza di falde a pelo libero e della situazione idrologica sopra accennata, ne deriva una diffusa presenza di acque stagnanti e lentamente fluenti verso il mare. Nelle aree più depresse (zone delle "lame") si verificano frequenti episodi di ristagno delle acque per difficoltoso drenaggio

2.4.2. - Pericolosità dell'area

Nella carta della pericolosità idraulica sono state delimitate le aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di elementi critici correlati con il rischio idraulico. Il grado di pericolosità è determinato sulla base delle indicazioni della normativa vigente. In particolare questo elaborato è stato redatto secondo quanto prescritto dagli articoli 6 e 7 della Del. C.R. 230/94, successivamente modificate con l'adozione del PAI emanato nel novembre 2004 dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Le classi di pericolosità individuate sono le seguenti:

CLASSE 1 - AREA A PERICOLOSITÀ MODERATA: comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $200 < TR \leq 500$ anni. Interessa un piccolo settore a sud dell'area in esame, compreso tra il viale D'Annunzio, via della Foce e via Barbolani. Gli interventi consentiti in questa classe sono descritti nell'Art. 8 delle Norme di attuazione del PAI a cui si rimanda.

CLASSE 2 - AREA A PERICOLOSITÀ MEDIA: comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $100 < TR \leq 200$ anni. Interessa tutta l'area ex Motofides e si estende verso Est lungo il viale D'Annunzio fino all'incrocio con via Da Verrazzano. Gli interventi consentiti in questa classe sono descritti nell'Art. 8 delle Norme di attuazione del PAI a cui si rimanda.

CLASSE 3 - AREA A PERICOLOSITÀ ELEVATA: comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h \geq 30$ cm. Riguarda la porzione di territorio delimitata, a Nord e ad Ovest dal viale D'Annunzio, ad Est da via Da Verrazzano e a Sud da via della Foce. Gli interventi consentiti in questa classe sono descritti nell'Art. 7 delle Norme di attuazione del PAI a cui si rimanda.

CLASSE 4 - AREE A PERICOLOSITÀ MOLTO ELEVATA: comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni e con battente $h \geq 30$ cm. Sono inserite in questa classe le zone di pertinenza fluviale (aree golenali) e un limitato settore ad Est in cui le quote del p.c. sono prossime al livello mare. Gli interventi consentiti in questa classe sono descritti nell'Art. 6 delle Norme di attuazione del PAI a cui si rimanda.

2.5. - Carta della Fattibilità Geologica (Tav. 5E)

Come già detto in premessa, il presente documento affronta la fattibilità del progetto dal punto di vista geologico-tecnico, mentre riguardo alla fattibilità idraulica si rimanda alle conclusioni dei progettisti che hanno affrontato il problema in altro documento.

L'attribuzione delle classi di fattibilità degli interventi in progetto è conseguenza diretta della carta della pericolosità geologica e della tipologia di intervento ed è riportata in Tav. 5E. La definizione di ogni classe discende dalla Delibera Regionale n° 94/85 adeguata alle esigenze del territorio dal R.U. del Comune di Pisa; in particolare questo ultimo fornisce le seguenti prescrizioni e indirizzi:

Indicazioni sulle classi di fattibilità delle trasformazioni

Articolo 1.0.1.1. - Classi di fattibilità

1. Per tutte le trasformazioni, indipendentemente dalla classe di fattibilità, deve essere redatta una specifica relazione geologica ai sensi delle vigenti disposizioni.

2. Sono definite le seguenti quattro classi di fattibilità:

A. **Classe I - Fattibilità senza particolari limitazioni**: equivale a livelli di rischio irrilevante, quali si pongono nei casi di:

- costruzioni di modesto rilievo in rapporto alla stabilità globale dell'insieme opera-terreno che ricadano in aree stabili note (classe 1 di pericolosità);
- interventi a carattere conservativo e/o di ripristino purché non comportino ampliamenti od altri aumenti di carico.

La caratterizzazione geotecnica del terreno, in sede di progetto delle trasformazioni, può essere ottenuta per mezzo di raccolta di notizie; i calcoli geotecnici di stabilità e la valutazione degli spostamenti possono essere omessi ma la validità delle soluzioni progettuali adottate deve essere motivata con una apposita relazione geologico-tecnica con elementi idraulici.

B. **Classe II - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto**: equivale a livelli di rischio basso. Non sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva. Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica/idraulica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dalla Carta di Pericolosità del Piano strutturale del Comune di Pisa.

La relazione geologica e la relazione geotecnica/idraulica possono formare un unico elaborato nel quale la ricostruzione geologica del sito e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo debbono essere reciprocamente coerenti: la relazione geotecnica/idraulica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

C. **Classe III - Fattibilità condizionata**: equivale a livelli di rischio medio-alto.

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi che nel caso di intervento in diretta attuazione del presente strumento generale.

In particolare deve essere effettuato uno studio idraulico, esteso ad un congruo intorno dell'area di intervento, che illustri lo stato di efficienza e lo schema di funzionamento delle opere idrauliche relative ai corsi d'acqua che possono trascinare nella zona di intervento. I risultati di tale studio devono essere la base per indicare, ove necessario, soluzioni progettuali tese a ridurre al minimo possibile il livello di rischio idraulico ed i danni che è possibile derivino, agli interventi previsti, da episodi di sormonto o di esondazione. Deve

inoltre essere effettuato uno studio sui fenomeni di ristagno dal quale devono essere ricavate le opportune soluzioni progettuali tese ad eliminare i danni che è possibile derivino, agli interventi previsti, da episodi di ristagno.

Per ciò che attiene lo studio geotecnico, dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari. L'esecuzione di questi studi costituisce un vincolo specifico all'effettuabilità delle trasformazioni che, in ogni caso, dovranno tenere conto delle conclusioni degli studi stessi. La relazione geologica e la relazione geotecnica ed idrologico-idraulica possono formare un unico elaborato nel quale la ricostruzione geologica del sito e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo debbono essere reciprocamente coerenti: la relazione geotecnica ed idrologico-idraulica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa.

D. Classe IV - Fattibilità limitata: equivale a livelli di rischio elevato.

Sono richieste specifiche indagini. In particolare deve essere effettuato uno studio idraulico, esteso ad un congruo intorno dell'area di intervento, e comprensivo di verifiche idrauliche relative ai corsi d'acqua che possono tracimare nella zona di intervento. I risultati di tale studio devono essere la base per indicare, ove necessario, soluzioni progettuali tese a ridurre al minimo possibile il livello di rischio idraulico ed i danni che è possibile derivino, agli interventi previsti, da episodi di sormonto o di esondazione. Deve inoltre essere effettuato uno studio sui fenomeni di ristagno dal quale devono essere ricavate le opportune soluzioni progettuali, tese ad eliminare i danni che è possibile derivino, agli interventi previsti, da episodi di ristagno.

Per ciò che attiene lo studio geotecnico, dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

Deve infine essere effettuata una valutazione degli effetti prodotti dall'intervento sull'equilibrio idrologico-idraulico e geomorfologico nell'ambiente circostante.

In base ai risultati di tali studi deve essere predisposto un esauriente progetto degli interventi di consolidamento e/o di bonifica idraulica, di miglioramento dei terreni e di tecniche fondazionali particolari, ed un programma di controlli necessari a valutare l'esito di tali interventi.

La realizzazione del progetto di bonifica o consolidamento costituisce un vincolo specifico alla effettuabilità delle trasformazioni.

Articolo 1.0.1.2. - Particolari disposizioni relative alle opere sotto il piano di campagna

1. *Per ogni previsione di trasformazione sotto il piano di campagna devono essere effettuati:*
 - *uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali;*
 - *uno studio idrologico-idraulico riferito al bacino/sottobacino sotteso alla previsione di trasformazione ed alla porzione di rete idraulica superficiale corrispondente, e comprendente l'analisi della consistenza della rete fognaria (per l'area urbana) ovvero del comparto della bonifica (per la cintura suburbana). Per la definizione dell'area di studio dovrà essere consultata la carta del reticolo idraulico superficiale del Piano strutturale del Comune di Pisa;*
2. *Il progetto della trasformazione deve tenere conto dei risultati degli studi di cui al comma 1. La trasformazione può essere effettuata soltanto a seguito dell'esecuzione degli eventuali interventi di bonifica idraulica, che si rendessero necessari, previsti dai medesimi studi.*

Sulla base dei criteri precedentemente citati per ogni intervento previsto dal progetto, in termini di U.M.I., sono state predisposte le seguenti schede riassuntive nelle quali si riportano le principali caratteristiche per l'attribuzione della relativa classe di fattibilità, visibile anche in Tav. 5E.

2.5.1. - Nuove Edificazioni

U.M.I. n. 1

Destinazione d'uso: Mista

Il piano a quota strada è costituito da una piastra con destinazione commerciale e/o servizi (funzioni miste), mentre al piano superiore sono previste delle residenze.

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4 (*)
Piano interrato	SI

(*) I fabbricati prospicienti le banchine devono rispettare un'altezza media di 8,20 m.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata in parte su terreni di riporto, in parte su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 2

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 3

Destinazione d'uso: Mista

Il piano a quota strada è costituito da una piastra con destinazione commerciale e/o servizi (funzioni miste), mentre al piano superiore sono previste delle residenze.

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4 (*)
Piano interrato	SI

(*) I fabbricati prospicienti le banchine devono rispettare un'altezza media di 8,20 m.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 4

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 5

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area in oggetto è posta sui sedimenti limosi e limoso-sabbiosi interdunali. Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose con caratteristiche litotecniche mediocri.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 6

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area in oggetto è posta sui sedimenti limosi e limoso-sabbiosi interdunali. Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose con caratteristiche litotecniche mediocri.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 7

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 8

Destinazione d'uso: Residenziale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	SI

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata su sedimenti limoso-sabbiosi delle aree golenali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da mediocri a scadenti soprattutto quando prevale la componente limosa.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 3 – Pericolosità media

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 9a – 9d

Destinazione d'uso: 9a-9b Residenziale
9c-9d Mista

Al piano terreno sono previste Attività Commerciali, di servizio (funzioni miste), artigianali e Parcheggi coperti pertinenziali e di standard dei posti barca.

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	2 (*)
Piano interrato	SI

(*) I fabbricati prospicienti le banchine devono rispettare un'altezza media di 8,20 m.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

Le aree sono ubicate:

U.M.I. 9a – 9c, su terreni di riporto e, marginalmente, sui depositi di duna; U.M.I. 9d sui sedimenti limosi e limoso-sabbiosi interdunali. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da buone a mediocri.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 10

Destinazione d'uso: Artigianale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	1,5 ^(*)
Piano interrato	NO

(*) I fabbricati prospicienti le banchine devono rispettare un'altezza media di 8,20 m.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata sui terreni di riporto. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da variabili in funzione della composizione del riporto e del relativo grado di addensamento.

Grado di sismicità dell'area: Zona 2 S = 9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe II - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto

Prescrizioni:

Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dalla Carta della Pericolosità del Piano Strutturale del Comune di Pisa.

U.M.I. n. 11

Destinazione d'uso: Ricettiva

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	2 (*)
Piano interrato	SI

(*) I fabbricati prospicienti le banchine devono rispettare un'altezza media di 8,20 m.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata sui terreni di riporto. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche variabili in funzione della composizione del riporto e del relativo grado di addensamento.

Grado di simicità dell'area: Zona 2 S=9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

U.M.I. n. 12

Destinazione d'uso: Ricettiva

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	3-4
Piano interrato	NO

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata sui terreni sabbiosi si duna. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche buone.

Grado di simicità dell'area: Zona 2 S=9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe III - Fattibilità condizionata

Prescrizioni:

Sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva sia come supporto alla redazione di piani attuativi. Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari.

U.M.I. n. 13

Destinazione d'uso: Area portuale

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra

-

Piano interrato

Scavi a profondità variabile da - 3 m a - 4 m dall'attuale p.c.

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area è ubicata sui terreni di riporto. Dal punto di vista litotecnico i terreni in oggetto hanno caratteristiche da variabili in funzione della composizione del riporto e del relativo grado di addensamento.

Grado di simicità dell'area: Zona 2 S=9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe IV - Fattibilità limitata

Prescrizioni:

Dovrà essere accertata la necessità di interventi di bonifica, di miglioramento dei terreni e/o di tecniche fondazionali particolari. Deve essere inoltre effettuata una valutazione degli effetti prodotti dall'intervento sull'equilibrio idrologico-idraulico e geomorfologico nell'ambiente circostante.

In base ai risultati di tali studi deve essere predisposto un esauriente progetto degli interventi di consolidamento e/o di bonifica idraulica, di miglioramento dei terreni e di tecniche fondazionali particolari, ed un programma di controlli necessari a valutare l'esito di tali interventi.

La realizzazione del progetto di bonifica o consolidamento costituisce un vincolo specifico alla effettuabilità delle trasformazioni..

2.5.2. - Ristrutturazioni

**Villa Romboli
Casa Ceccherini
Ex Dogana**

Parametri Urbanistici:

Piani fuori terra	2
Piano interrato	NO

Caratteristiche geologico-tecniche dell'area:

L'area in oggetto è posta sui sedimenti limosi e limoso-sabbiosi interdunali. Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose con caratteristiche litotecniche mediocri.

Grado di simicità dell'area: Zona 2 S=9 (dell'Ord. del P.C.M. del Marzo 2003 N. 3274)

Classe di Pericolosità geologica:

Classe 2 – Pericolosità bassa

Classe di Fattibilità geologica:

Classe II - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto

Prescrizioni:

Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dalla Carta della Pericolosità del Piano Strutturale del Comune di Pisa.

In merito alla realizzazione di vani interrati, deve essere effettuato uno studio idrogeologico inerente la falda freatica, finalizzato alla ricostruzione delle sue caratteristiche, della geometria e delle escursioni stagionali.

3. - QUADRO GEOLOGICO-TECNICO

3.1. - Campagna geognostica

Una prima indagine geologica conoscitiva sull'area era stata eseguita nel Novembre 1993 con l'esecuzione di 9 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 20 metri dal p.c., finalizzati prevalentemente ad una ricostruzione geostratigrafica dell'area ¹.

Una seconda campagna geognostica è stata eseguita nel 1994 con esecuzione di:

- 6 sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità variabili da 19.50 a 36 metri;
- esecuzione di prove SPT in foro sui livelli sabbiosi;
- prelievo di campioni indisturbati nei livelli argillosi e/o limoso argillosi attraversati.

I risultati di questa campagna sono stati riportati nei documenti eseguiti per Borello S.p.a., da Geotecnica Pisana ² (sondaggi ed analisi geotecniche di laboratorio) e da Getas Petrogeo³ (interpretazioni e valutazioni geologico-tecniche).

Agli inizi del 2004 l'area dell'ex Motofides è stata oggetto di ulteriori sondaggi finalizzati alla sola bonifica ambientale dell'area dello stabilimento con controllo piezometrico ⁴.

Nel Maggio 2005 a supporto del nuovo progetto preliminare e su espressa richiesta della Conferenza interna (vedi Premessa) è stata eseguita un'ulteriore campagna di accertamenti geognostici su una zona carente come quadro conoscitivo geotecnico stratigrafico, ma dove le nuove ipotesi progettuali prevedono interventi significativi.

In questa area sono stati eseguiti due nuovi sondaggi, spinti fino a profondità di 25-26 metri dal p.c., che, integrati agli elementi già noti, hanno consentito di coprire l'intera area interessata dal recente progetto del porto.

Il quadro riassuntivo di tutte le indagini geognostiche eseguite sull'area, a fini geotecnici geostratigrafici, è il seguente:

¹ - Tirrena Scavi S.p.A. Indagini geognostiche di campagna. Prove di laboratorio. Cantiere ex Motofides Marina di Pisa. Geotecnica Pisana, Dicembre 1993;

² - Borello S.p.A. Indagini geognostiche di campagna. Prove geotecniche di laboratorio. Cantiere ex Motofides Marina di Pisa. Geotecnica Pisana, Luglio 1994.

³ - Borello S.p.A. Rapporto geologico. Getas Petrogeo srl, Luglio 1994.

⁴ - Borello S.p.A. Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99- ENSR Italia, srl, febbraio 2004

Tab. 3.1 – Campagne geognostiche

Campagna	N° sondaggi
1993	9
1994	6
2005	2

Sia durante la campagna del 1994 sia durante quella del 2005 in fase di perforazione dei sondaggi sono state eseguite prove SPT e prelevati campioni indisturbati, sui quali successivamente sono state eseguite prove di laboratorio geotecnico, consistite di:

- Prove di caratterizzazione fisica:
 - Peso di volume, contenuto naturale d'acqua ecc.;
 - Limiti di Atterberg;
 - Analisi granulometriche.

- Prove di caratterizzazione geotecnica:
 - Taglio lento consolidato drenato (CD);
 - Espansione laterale libera (ELL);
 - Compressione edometrica.

Un quadro sintetico dei parametri geotecnici e delle prove eseguite sui campioni della campagna 1994 è riassunto dalla Tab. 3.2, mentre i parametri derivati dalla recente campagna del Maggio 2005 sono riassunti in Tab. 3.3

Tab. 3.2 - Tabella riassuntiva parametri geotecnici (Campagna geognostica 1994)

Sondaggio	(n°)	S10	S13	S13	S14	S15	S15					
Campione	(n°)	C1	C1	C2	C1	C1	C2					
Profondità	(m)	22,5-23,0	18-18,5	22,5-23	22-22,50	15-15,50	22,5-23					
Cont.nat.acqua	(%)	38,330	37,840	38,970	42,070	42,310	35,760					
Peso di Volume	(KN/mc)	17,470	17,950	17,720	17,120	17,240	17,670					
Peso sp.grani	(KN/mc)	26,600	26,700	26,600	26,640	26,620	26,650					
Peso di Vol. sat.	(KN/mc)	17,880	18,150	17,960	17,530	17,560	18,130					
Ind. dei vuoti	(e)	1,106	1,050	1,086	1,211	1,198	1,048					
Porosità	(n)	0,525	0,512	0,521	0,548	0,545	0,512					
Grado di Satur.	(%)	92,167	96,192	95,441	92,569	94,063	90,975					
Limite Liquido	(%)	45,000	41,000	47,000	48,000	48,000	48,000					
Limite Plastico	(%)	24,000	19,000	24,000	24,000	24,000	24,000					
Indice di Plast.	(%)	21,000	22,000	23,000	24,000	24,000	24,000					
Indice di Consist.		0,32	0,14	0,35	0,25	0,24	0,51					
Classificazione	U.S.C.	CL	CL	CL	CL	CL	CL					
Attività												
Ghiaia	(%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
Sabbia	(%)	1,300	1,500	1,200	6,200	3,500	2,100					
Limo	(%)	93,770	83,630	65,290	69,110	81,750	64,420					
Argilla	(%)	4,930	14,870	33,510	24,690	14,570	33,480					
Coeff. [mv]	(cmq/Kg)	0,039	0,050	0,044	0,050	0,040	0,036					
Mod.Edom.[Mo]	(Kg/cmq)	25,000	20,000	23,000	20,000	25,000	28,000					
Coeff. [Cc]	Adimens.	0,315	0,279	0,333	0,342	0,342	0,342					
Coeff. [Cv]	(cmq/sec)	0,0003	0,0005	0,0007	0,0055	0,0009	0,0009					
Coeff. [Ca]												
Coeff.Permeabilità (K)	(cm/sec)	1,97x10 ⁻⁸	4,59x10 ⁻⁸	6,58x10 ⁻⁸	4,22x10 ⁻⁷	5,36x10 ⁻⁸	4,62x10 ⁻⁸					
Coesione interna	(KPa)	5,000	8,000	10,000	13,000	4,000	15,000					
Angolo di attrito	φ°	14,000	12,000	14,000	5,000	0,000	10,000					
Coesione n.d.	(KPa)											
Coesione residua	(KPa)											
Angolo residuo	φ°											
Coesione n.d.	(KPa)	6,00	14,00	16,00		5,50	19,00					

NOTE: I parametri di compressibilità edometrica si riferiscono all'intervallo 1,00-2,00 (Kg/cm²).

Tab. 3.3 - Parametri geotecnici (Campagna geognostica Maggio 2005)

Sondaggio	S16	S17
Campione	C1	C1
Profondità (m)	18.0-18.60	18.0-18.60
Peso di Volume naturale (kN/m³)	17.6	17.5
Peso di Volume secco (kN/m³)	12.8	12.6
Cont. natur. acqua (%)	38.83	39.18
Limite liquido (%)	41.6	52.2
Limite plastico (%)	20.8	21.6
Indice di Plast. (%)	20.9	30.7
Indice di Cons. (%)	0.13	0.43
Classific. Casagrande	CL	CH
Cu (kPa)	5.1	29.4
Eti (kPa)	12	554

Sui campioni raccolti durante le prove SPT con campionatore tipo Raymond, sono state eseguite delle prove granulometriche.

La Tab. 3.4 riassume i risultati di tali prove.

Tab. 3.4 - Prove granulometriche (Campagna geognostica Maggio 2005)

Sondaggio	S16	S16	S16	S16	S17
Campione	1	2	3	4	1
Profondità (m)	3.0-3.5	6.0-6.5	9.0-9.5	13.5-14.0	3.0-3.5
Ghiaia (%)	10	0	0	0	0
Sabbia (%)	89	92	96	98	96
Limo (%)	1	8	4	2	4
Argilla (%)	0	0	0	0	0
Ø 60%	0.40	0.31	0.30	0.26	0.35
Ø 10%	0.18	0.09	0.085	0.12	0.09
U	2.2	3.4	3.5	2.2	3.9

Per il dettaglio delle prove eseguite si rimanda ai certificati forniti in Annesso 1.

3.2. - Quadro geotecnico

3.2.1. - Stratigrafia dei terreni

Le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo nell'area sono note dai pozzi profondi per l'approvvigionamento idrico. Facendo riferimento al pozzo perforato nella proprietà ex Motofides, la successione dei terreni risulta la seguente:

da	a	
0	14 m	sabbie
14	24 m	argille blu
24	34 m	sabbie grigie
34	81 m	argille
81	84 m	ghiaie con sabbia
84	94 m	argille, torba e lignite
94	98 m	ghiaie
98	114 m	sabbie fini argillose

Le varie campagne geognostiche eseguite nel tempo confermano nei primi 30-35 metri dal p.c. il quadro noto dai pozzi mettendo, in particolare, in evidenza la seguente successione:

- 0 - 15 m sabbie da medie a fini di colore da nocciola a grigie, con lenti limose;
- 15 - 25 m limi e argille con intercalazioni centimetriche di sabbia fine;
- 25 - 35 m sabbie medie, a tratti grossolane, grigie chiare.

Il dettaglio stratigrafico dei terreni attraversati dalle perforazioni è illustrato dai logs dei sondaggi (Annesso 1). I nove sondaggi della campagna 1993, che avrebbero attraversato sempre sabbie fino alla profondità di 20 metri raggiunta dai fori, non modificano il modello geologico sopra descritto perché l'Impresa perforatrice ha chiarito, in una relazione tecnica, di avere estrapolato fino a 20 metri la litologia sabbiosa dei primi 15 metri non avendo recuperato carote significative nel tratto 15-20 metri di profondità. Il mancato recupero potrebbe spiegarsi con la perdita dei limi molli ed inconsistenti al di sotto dei 15 metri, perforando con acqua.

D'altra parte la presenza del livello limo-argilloso tra 15 e 25 metri è più che evidente con la successiva campagna 1994 e confermata anche dai due sondaggi eseguiti nel 2005, che peraltro dimostrano una evidente omogeneità litostratigrafica sull'intera area.

Il quadro geostratigrafico dell'area d'intervento è ben evidenziato dalle sezioni 1÷7 di Figg. 3.2- 3.8 e la relativa Pianta di Posizione è riportata in Fig. 3.1

3.2.2. - Caratterizzazione geologica-geotecnica dell'area

Le sezioni geologico-tecniche riportano anche i principali parametri geotecnici così come emersi dalle prove di laboratorio e ai dati ricavati dalle prove SPT (Fig. 3.9 e diagrammi dell'Annesso 1) e riproducono il modello geologico geotecnico-parametrico locale, caratterizzato dai seguenti livelli omogenei:

da	a	
p.c.	-1.0÷ - 3.0 m	Terreno di riporto: costituito da materiale di varia natura: macerie, pietrisco di diversa pezzatura, sabbia e/o limo, ha spessori variabili, fino a un massimo di 3 metri. E' per lo più presente nella zona dell'ex stabilimento Motofides. Caratteristiche variabili e generalmente scadenti.
-1.0 ÷ - 3.0 m	- 15.0 m	LIVELLO A - sabbie da medie a fini talora limose di colore da nocciola a grigie. Le prove SPT danno un numero di colpi N per 30 cm di avanzamento variabile da 3 a 27 a seconda della prevalenza della componente limosa (Fig. 3.9). Deposito da sciolto a poco addensato. $\phi' = 26^\circ \div 32^\circ$ (Angolo di attrito) $\gamma_{sat} = 1.85 \text{ t/m}^3$ Dr =25 %÷55% (Densità relativa) Ey = 70÷110 kg/cm ² (Modulo di Young)
- 15.0 m	- 25.0 m	LIVELLO B – limi e argille con intercalazioni centimetriche di sabbia fine limosa, generalmente molto plastiche e poco consistenti. $\gamma_{sat} = 1.80 \text{ t/m}^3$ Ip = 21 ÷ 30 (Indice di plasticità) Ic = 0.13 ÷ 0.51 (Indice di consistenza) Cu = 0.55 ÷ 2.2 t/mq (Coesione n.d.) C' = 0.4 ÷ 1.5 t/mq (Coesione d.) Cc = 0.279 ÷ 0.342 (Coeff. di Compressibilità)
	<- 25.0 m	LIVELLO C – sabbie medie a tratti grossolane. Le prove SPT danno un numero di colpi N per 30 cm di avanzamento variabile da un minimo di 40 fino al rifiuto a seconda dello stato di addensamento del deposito. Deposito da mediamente a molto addensato. $\phi' = 35^\circ \div >40^\circ$ $\gamma_{sat} = 1.95 \text{ t/m}^3$ Dr > 70 % Ey > 200 kg/cm ²

Sulla base dei parametri fisico meccanici il modello litologico del sottosuolo indica nel Livello C il migliore terreno sotto l'aspetto geomeccanico e in quello limoso-argilloso B il terreno più scadente in quanto presenta scarsa consistenza ed elevate plasticità e compressibilità.

Il livello sabbioso superiore A presenta invece caratteristiche di resistenza al taglio mediamente migliori a quello sottostante B ma, come mostrano le prove SPT, è generalmente molto meno addensato rispetto al Livello C.

Il Livello A, come mostrano le stesse prove SPT, evidenzia tuttavia una certa variabilità dello stato di addensamento, che tende ad aumentare con la profondità. Mediamente il numero di colpi N_{SPT} nei primi 7-8 metri dal p.c. si mantiene intorno ai 10. Per profondità maggiori invece tende ad aumentare fino oltre i 20 colpi.

L'indagine sismica a rifrazione fatta eseguire anche per caratterizzare ai fini sismici il deposito sabbioso (paragrafo 3.4) conferma tale quadro. La velocità delle Onde S nei primi 5-7 metri varia dai 100 ai 140 m/sec, mentre a profondità maggiori supera tali valori arrivando fino a oltre i 185 m/sec, confermando l'aumento dello stato di addensamento del deposito sabbioso con la profondità.

3.3. - Problematiche geologico-tecniche

La realizzazione del porto turistico all'interno della scogliera esistente in riva sx Arno richiede la creazione di uno specchio d'acqua il cui fondale varia da -3,00 a -4,00 metri.

Il progetto prevede in particolare la realizzazione di banchine per l'attracco delle imbarcazioni; parcheggi seminterrati; strutture per la cantieristica, per il commercio e abitative; infrastrutture viarie di servizio, parcheggi e sistemazioni a verde e parco pubblico.

Gli edifici previsti, saranno a 2 o massimo 3 piani fuori terra e spesso forniti di piano seminterrato adibito a parcheggio.

La realizzazione delle varie strutture in progetto (edifici in terraferma) richiederà in genere l'adozione di fondazioni di tipologia idonea in funzione dei carichi previsti e della natura dei terreni.

Viste le caratteristiche dei terreni e le probabili soluzioni progettuali che rendono fattibile l'opera, rimandando alla fase esecutiva i calcoli definitivi, di competenza del progettista, si ritiene utile anticipare alcune valutazioni quantitative preliminari sulla stabilità degli scavi e sul dimensionamento delle fondazioni secondo le tipologie ipotizzate.

3.3.1. - Stabilità in fase di scavo

Lo scavo andrà ad interessare, oltre allo strato di terreno di riporto, le sabbie del livello superiore A, sature con acqua a salinità differente da luogo a luogo (vedi Cap. 4).

Le pareti di scavo dovranno essere adeguatamente sostenute da diaframmi, o da palancole, opportunamente dimensionati, tenendo conto anche dei carichi trasmessi dalle eventuali infrastrutture che si andranno a realizzare in adiacenza.

A titolo orientativo si è proceduto ad un calcolo di massima della profondità d'infissione di un diaframma a palancole libere e/o ancorate, considerando, in via semplificativa, assenza di sovraccarichi e uno scavo totale pari a 6 metri dal p.c., secondo lo schema di Fig. 3.10.

a) Palanca libera:

considerando per le sabbie del Livello A un angolo di attrito ϕ' medio su tutto l'intervallo pari a 30° e applicando la teoria di Rankine si ottiene una profondità di infissione pari a 13 metri circa. Volendo per sicurezza imporre uno sviluppo della resistenza passiva su una maggiore area si aumenta l'infissione di almeno il 20%: la lunghezza reale d'infissione diviene circa 15 metri e la palanca si attesterebbe al tetto delle argille scadenti del Livello B.

b) Palanca ancorata:

considerando per le sabbie del Livello A ancora un angolo di attrito ϕ' pari a 30° e applicando la teoria di Rankine, adottando cautelativamente un coefficiente riduttivo pari a 2 per la spinta passiva e utilizzando lo schema di calcolo "a supporto libero", si ottiene una profondità di infissione pari a 10.1 metri.

Il "tiraggio" calcolato per l'ancoraggio, previsto a circa 1 metro dalla testa della palanca, non dovrà essere inferiore a circa 8.75 t/m.

La presenza della falda a debole profondità può comportare il rischio di cedimenti negli eventuali edifici adiacenti e di sifonamento del fondo scavo.

Relativamente al primo rischio la diminuzione della pressione interstiziale nei terreni vicini che comporterebbe un assestamento del terreno, verrebbe compensata dalla palancolata.

La spinta di filtrazione dell'acqua del fondo scavo può invece provocare problemi di instabilità a causa dell'alleggerimento dovuto alla rimozione del terreno, innescando possibili sifonamenti.

E' quindi necessario che gli abbassamenti piezometrici lateralmente allo scavo siano effettuati in condizione di sicurezza: nel caso che l'abbattimento della falda avvenga tramite well points, si dovrà fare in modo che la differenza di livello tra l'esterno e l'interno dello scavo sia la minima compatibile con le necessità costruttive per evitare possibili sifonamenti.

3.3.2. - Opere di fondazione

3.3.2.1. - Fondazioni superficiali

Le infrastrutture più impegnative, quali gli edifici multipiano (max 3 fuori terra) spesso con parcheggi seminterrati, i rimessaggi per natanti etc., richiederanno, in funzione dei carichi prevedibili, l'adozione di fondazioni superficiali, quali travi rovesce/plinti e/o platee.

Tenuto conto, quindi, di tali possibili tipologie di fondazione sono state eseguite le seguenti verifiche:

- Trave rovescia/plinto: dimensioni $B = 0.9 \div 1.5$ m, incastro $D = 1.0 \div 1.4$ m da p.c.;
- Platea: dimensioni $B = 5 \div 14$ m, incastro $D = 1.0 \div 2.5$ m da p.c.;

I calcoli sono stati eseguiti adottando la relazione generale suggerita da Brinch Hansen, nell'ipotesi di piano di fondazione orizzontale e di carichi di esercizio centrati, facendo riferimento al quadro geotecnico locale evidenziato, in particolare utilizzando cautelativamente un angolo di attrito $\phi = 28^\circ$:

$$Q_r = C N_c s_c d_c i_c b_c g_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5 \gamma_2 B N_y s_y i_y b_y g_y$$

in cui:

N_c, N_q, N_y = fattori adimensionali di portanza:

$$N_q = \exp[\pi \times \tan(\Phi)] \times \tan^2(45 + \Phi/2);$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \cotg(\Phi);$$

$$N_y = 1.5 \times (N_q - 1) \times \tan(\Phi);$$

s_c, s_q, s_y = fattori di forma, dati da:

$$s_c = 1 + (N_q/N_c) \times (B/L) \text{ per } \Phi > 0;$$

$$s_q = 1 + (B/L) \times \tan(\Phi);$$

$$s_y = 1 - 0.4 \times (B/L);$$

d_c, d_q = fattori correttivi per l'approfondimento, dati da:

dove $k = D/B$ per $D/B \leq 1$ e $k = \tan(D/B)$ per $D/B > 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \times k;$$

$$d_q = 1 + 2 \times \tan(\Phi) \times [1 - \sin(\Phi)]^2 \times k;$$

i_c, i_q, i_y = fattori correttivi per carichi inclinati, dati da:

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) \text{ per } \Phi > 0;$$

$$i_q = [1 - 0.5 \times H/(V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5;$$

$$i_y = [1 - 0.7 \times H/(V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5 \text{ per } b^\circ = 0;$$

$$i_y = [1 - (0.7 - b^\circ/450) \times H/(V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5 \text{ per } b^\circ > 0;$$

dove H = componente orizzontale del carico;

V = componente assiale del carico;

con $c = 0$, si assume $H/V = 0,1 \div 0,15$

b° = inclinazione della base della fondazione rispetto all'orizzontale;

A = area effettiva della fondazione;

bc, bq, by = fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione, dati da:

$bc = 1 - b^\circ/147$ per $\Phi > 0$;

$bq = \exp[-2 \times b(\text{rad}) \times \text{tg}(\Phi)]$;

$by = \exp[-2.7 \times b(\text{rad}) \times \text{tg}(\Phi)]$;

gc, gq, gy = fattori correttivi per fondazioni su pendio, dati da:

$gc = 1 - p^\circ/147$ per $\Phi > 0$;

$gq = gy = (1 - 0.5 \times \text{tg } p^\circ)^5$.

Il coefficiente di sicurezza adottato, come prescritto dal D.M. LL. PP. 11/03/88, è pari a 3.

L'intervallo litologico più interessato dalle tensioni di taglio indotte dai carichi d'esercizio è il Livello A superficiale.

Di seguito, in Tabb. 3.5 e 3.6, si riportano i risultati dei calcoli eseguiti.

Tab. 3.5 - Carichi ammissibili per fondazioni dirette plinto/trave rovescia

RISULTATI :		q_{amm} (kPa)				
B = 0,90 (m)	L	0,90	1,80	3,6	7,20	
	D					
	1,00	139	125	110	114	
	1,20	157	142	134	130	
	1,40	176	159	150	145	
B = 1,10 (m)	L	1,10	2,20	4,40	8,80	
	D					
	1,00	144	130	122	119	
	1,20	160	144	136	132	
	1,40	178	160	151	147	
B = 1,30 (m)	L	1,30	2,60	5,20	10,40	
	D					
	1,00	147	132	124	121	
	1,20	166	149	141	137	
	1,40	180	162	153	141	
B = 1,50 (m)	L	1,50	3,00	6,00	12,00	
	D					
	1,00	150	135	127	123	
	1,20	168	151	143	138	
	1,40	187	168	159	154	

Tab. 3.6 - Carichi ammissibili per fondazioni a platea

RISULTATI :	q_{amm} (kPa)			
	L	5,00	10,00	20,00
B = 5,00 (m)	D			
	1,00	229	205	193
	1,50	265	238	224
	2,50	335	301	285
B = 8,00 (m)	L	8,00	16,00	32,00
	D			
	1,00	303	271	256
	1,50	337	302	285
	2,50	403	362	341
B = 11,00 (m)	L	11,00	22,0	
	D			
	1,00	378	338	
	1,50	412	369	
	2,50	475	426	
B = 14,00 (m)	L	14,00	28,00	
	D			
	1,00	453	405	
	1,50	486	435	
	2,50	549	492	

Sostanzialmente i calcoli eseguiti evidenziano come con strutture di fondazione superficiali, tipo travi rovesce, le portanze ammissibili assicurate siano mediamente di poco superiori ai 115÷120 kN/m². La portanza aumenta aumentando il grado di ammorsamento: 140 kN/m² per aD = 1.4 metri. La tipologia a plinto per contro anche in caso di dimensioni minime (0.9 x 0.9 m) garantisce portanze ≥ 140 kN/m². L'utilizzo di tipologie a platea, a seconda della geometria e dell'incastro, assicura portanze variabili dai 190 kN/m² ai 500 kN/m².

3.3.2.2. - Fondazioni profonde

In qualche caso, in funzione delle strutture in progetto e dei carichi in giuoco, potrebbe rendersi necessaria l'adozione di fondazioni indirette profonde.

Per meglio indirizzare le scelte del progettista in questo ultimo caso, di seguito si è sviluppato un dimensionamento di massima di pali trivellati in cls cilindrici a diverso

diametro e per diverse profondità ma comunque sempre immorsati negli intervalli sabbiosi A e C.

Nel calcolo si sono utilizzate le relazioni:

$$\mathbf{Pp = Ap * \gamma * L * Nq}$$

dove:

Pp: portata di punta del palo;

Ap: area di punta del palo;

γ : peso di volume del terreno;

L : lunghezza del palo;

Nq: fattore di capacità portante (per $\phi' = 30^\circ$ $Nq = 27$, per $\phi' = 40^\circ$ $Nq = 140$ secondo Vesic).

$$\mathbf{Pl = Al * Ko * \sigma'z * tg\delta}$$

dove:

Pl : portata laterale del palo;

Al : area laterale del palo;

Ko : 0.7 ;

$\sigma'z$: tensione litostatica efficace.

$$\mathbf{Pam = \frac{Pp + Pl}{2.5} - W}$$

dove:

Pam: portanza ammissibile per coeff. di sicur. $F = 2.5$;

W : peso proprio del palo.

Nel calcolo si è trascurato qualsiasi contributo per attrito laterale da parte del Livello B che, date le scadenti caratteristiche geomeccaniche, può semmai dar luogo a fenomeni di attrito negativo, e da parte dello strato superficiale di riporto che presenta caratteristiche troppo variabili.

Nel calcolo della portata laterale dei pali, per gli intervalli sabbiosi si è sempre considerato cautelativamente un angolo di attrito ϕ pari a 30° , sebbene il Livello C sabbioso di base abbia un grado di addensamento che garantisce caratteristiche di attrito decisamente migliori.

Sviluppando le relazioni, si ottengono le portanze ammissibili alle diverse profondità per diametri di 300 e 500 mm.

Tab. 3.7 - portanza pali trivellati

a) Pali diametro 300 mm					
Prof. (m)	Pp (t)	Pl (t)	Pt (t)	W (t)	Pam (t)
10	13.23	10.67	23.9	1.75	7.81
13	17.19	22	39.2	2.27	13.4
28	192.1	56	248.1	4.3	94.9
30	205.8	68	273.8	5.25	104.3

b) Pali diametro 500 mm					
Prof. (m)	Pp (t)	Pl (t)	Pt (t)	W (t)	Pam (t)
10	37	17.8	54.8	4.3	17.62
13	48	31.8	79.8	6.37	25.55
28	537.8	93.32	631.1	13.72	238.73
30	576.2	113.32	689.52	14.70	261.10

I valori ottenuti devono comunque ritenersi indicativi. I calcoli andranno opportunamente ripetuti in funzione del tipo di palo effettivamente adottato (trivellato/infisso) e della geometria dello stesso (cilindrico, tronco conico ecc).

3.3.2.3. - Cedimenti

Considerando un carico di esercizio nell'ordine dei 130 kPa nel caso di trave rovescia e di 50÷80 kPa nel caso della piastra, si è proceduto ad un calcolo di massima dei prevedibili cedimenti.

Ipotizzando quindi carichi centrati e struttura di fondazione rigida, tenuto conto della litologia prevalentemente granulare incoerente dei terreni, si è fatto riferimento alla relazione seguente:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i \cdot \Delta \sigma_{zi}}{E_i}$$

dove:

- W** = cedimento totale;
- ΔH_i** = spessore dello strato iesimo per il quale si vuole calcolare il cedimento;
- $\Delta \sigma_{zi}$** = incremento di tensione trasmessa alla mezzeria dello strato iesimo dal carico agente sul terreno di fondazione;
- E_i** = Modulo Elastico dello strato iesimo.

Sono stati ottenuti i valori di cedimento riassunti dalle Tabelle 3.8, 3.9 e 3.10 che seguono.

I calcoli sono stati eseguiti ipotizzando alcune geometrie per trave rovescia e platea rigida, in particolare nelle seguenti ipotesi:

Trave:

$$\begin{aligned} B &= 1,0 \text{ m} \\ L &= 10 \text{ m} \\ D &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

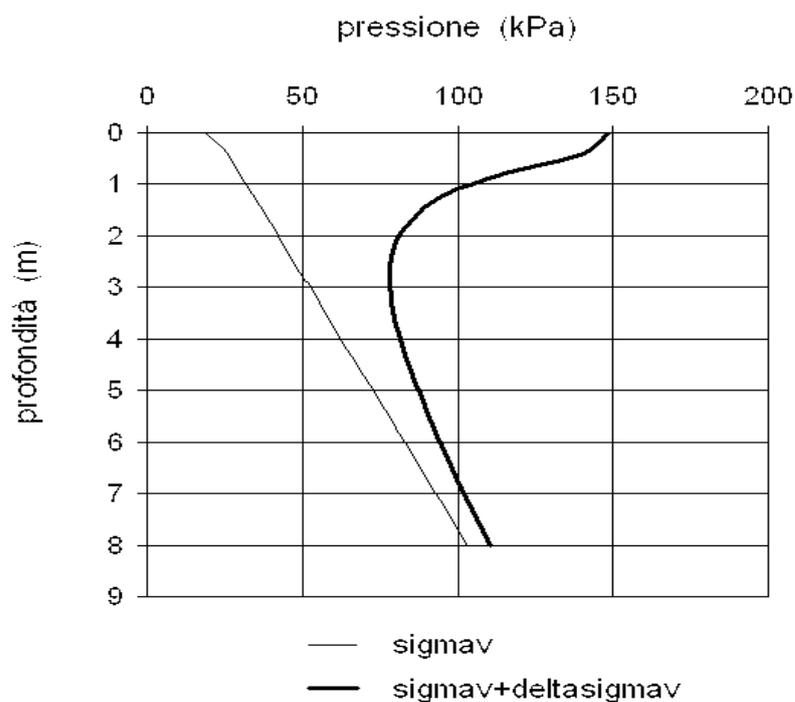
Piastra rigida:

$$\begin{aligned} B &= 8 \text{ m} \\ L &= 10 \text{ m} \\ D &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

I singoli diagrammi allegati, illustrano l'andamento dei carichi indotti dalle strutture di fondazione al sottosuolo in funzione della profondità.

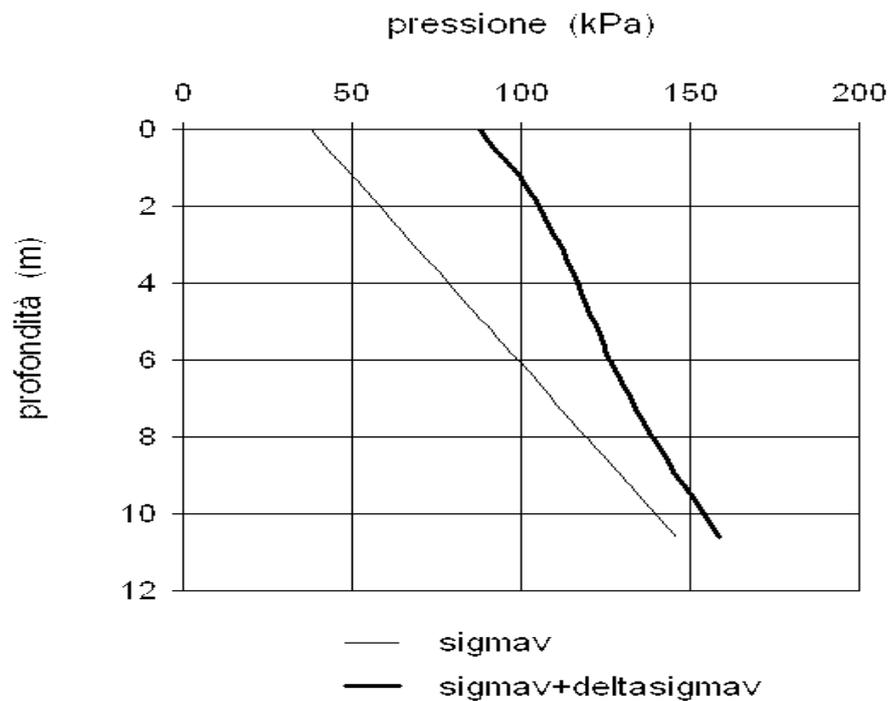
Tab. 3.8 - Cedimenti trave (B = 1,0m, L = 10m, $\sigma_e = 130$ kPa)

z (m)	σ'_{vo} (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sigma'_{vo}+\Delta\sigma_z$ (kPa)	Δw (cm)	w (cm)	ε (%)
0,00	19	130	149	0,5	2,4	1,2
0,40	26	114	140	0,4	1,9	1,0
0,80	30	84	114	0,3	1,5	0,7
1,20	34	62	96	0,2	1,2	0,6
1,50	37	51	88	0,2	1,0	0,5
2,00	42	39	81	0,1	0,8	0,4
2,40	46	33	79	0,1	0,7	0,3
2,80	50	28	78	0,1	0,5	0,3
3,00	52	26	78	0,1	0,5	0,1
3,60	59	21	80	0,0	0,4	0,1
4,00	63	19	81	0,0	0,4	0,1
4,40	67	17	84	0,0	0,3	0,1
4,80	71	15	86	0,0	0,3	0,1
5,00	73	15	87	0,1	0,3	0,1
5,60	79	12	91	0,0	0,2	0,1
6,00	83	11	94	0,1	0,1	0,1
6,40	87	10	97	0,0	0,1	0,1
6,80	91	9	100	0,0	0,0	0,1
7,20	95	9	104	-	-	-
7,60	99	8	107	-	-	-
8,00	103	7	111	-	-	-



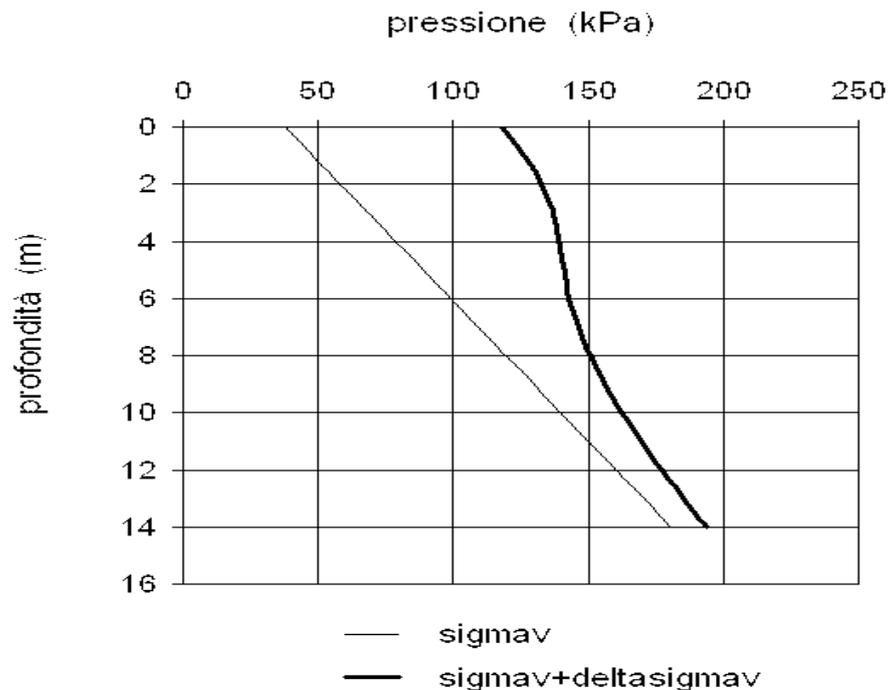
Tab. 3.9 - Cedimenti Platea (B = 8,0m, L = 10m, $\sigma_e = 50$ kPa)

z (m)	σ'_{vo} (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sigma'_{vo}+\Delta\sigma_z$ (kPa)	Δw (cm)	w (cm)	ϵ (%)
0,00	38	50	88	0,3	2,8	0,5
0,53	43	49	93	0,3	2,6	0,5
1,06	49	49	98	0,2	2,3	0,5
1,50	53	48	101	0,3	2,1	0,5
2,12	59	47	106	0,2	1,8	0,5
2,65	65	44	109	0,2	1,6	0,4
3,00	68	43	111	0,2	1,4	0,2
3,71	76	39	115	0,1	1,2	0,2
4,24	81	37	118	0,1	1,1	0,2
4,77	86	34	120	0,0	1,0	0,2
5,00	89	33	122	0,2	1,0	0,3
5,83	97	28	125	0,0	0,8	0,2
6,00	99	27	126	0,3	0,7	0,3
6,89	108	24	132	0,1	0,4	0,3
7,42	113	22	135	0,1	0,3	0,3
7,95	119	20	139	0,0	0,2	0,2
8,00	119	20	139	0,1	0,1	0,1
9,01	130	17	146	0,0	0,1	0,1
9,54	135	15	150	0,0	0,1	0,1
10,07	140	14	155	0,0	0,0	0,1
10,60	146	13	159	-	-	-



Tab. 3.10 - Cedimenti Platea (B = 8,0m, L = 10m, $\sigma_e = 80$ kPa)

z (m)	σ'_{vo} (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sigma'_{vo}+\Delta\sigma_z$ (kPa)	Δw (cm)	w (cm)	ϵ (%)
0,00	38	80	118	0,6	4,8	0,8
0,70	45	79	124	0,5	4,3	0,8
1,40	52	78	130	0,1	3,7	0,8
1,50	53	77	130	1,0	3,6	0,7
2,80	66	70	137	0,1	2,7	0,7
3,00	68	69	137	0,4	2,5	0,4
4,20	81	59	139	0,2	2,1	0,3
4,90	88	53	141	0,0	1,9	0,3
5,00	89	52	141	0,4	1,9	0,4
6,00	99	44	143	0,5	1,5	0,5
7,00	109	37	146	0,3	0,9	0,4
7,70	116	33	149	0,1	0,6	0,4
8,00	119	31	151	0,2	0,5	0,2
9,10	131	26	157	0,1	0,3	0,1
9,80	138	24	161	0,1	0,2	0,1
10,50	145	21	166	0,1	0,2	0,1
11,20	152	19	171	0,1	0,1	0,1
11,90	159	17	176	0,0	0,1	0,1
12,00	160	17	177	0,1	0,1	0,1
13,30	173	14	188	-	-	-
14,00	180	13	194	-	-	-

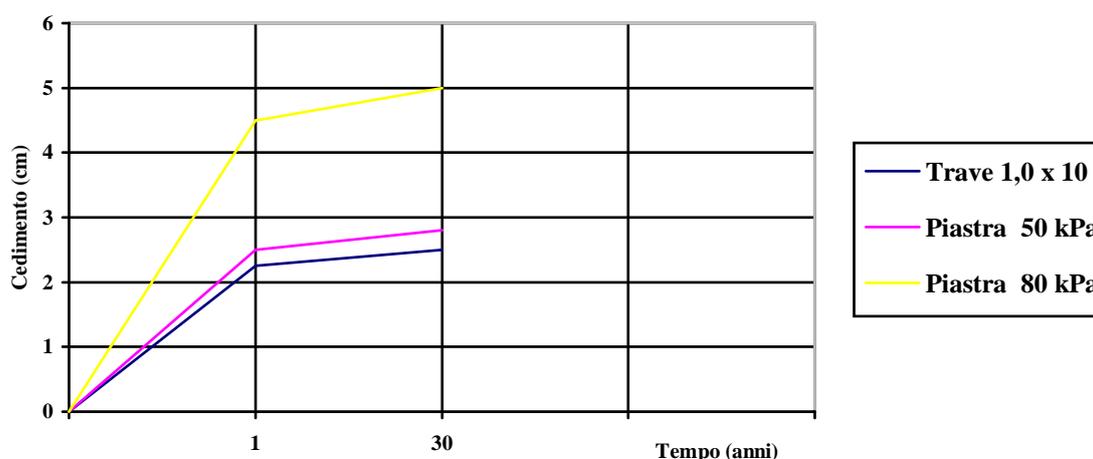


Il calcolo dei cedimenti, indotti da carichi d'esercizio variabili in entità da 50-80 a 130 kPa, rispettivamente nel caso di platea e di trave, evidenzia una relativa dispersione di valori con scarti, tra le due ipotesi, significativi. Nel caso di trave rovescia ci si devono attendere cedimenti non superiori ai 2,5 cm, mentre con la piastra i valori di cedimento atteso variano da un minimo dai 2,8 ai circa 5 cm.

Come è evidente, nel caso di adozione di fondazioni su platea, si dovrà cercare di contenere il carico d'esercizio in quanto lo stato di addensamento del Livello A è tale indurre cedimenti significativi, mentre tipologie quali travi rovesce o plinti sono ancora compatibili anche con carichi nell'ordine dei 150 kPa.

Il diagramma che segue illustra il probabile andamento dei cedimenti nel tempo, nelle ipotesi fondazionali verificate.

La buona permeabilità dei litotipi sabbiosi, tenderà comunque a favorire l'esaurimento degli assestamenti in tempi relativamente brevi. Il cedimento immediato, che si esaurirà per la quasi totalità durante la costruzione delle strutture, è stimabile pari a circa il 90% del cedimento calcolato al primo anno.



Qualora si dovessero adottare carichi d'esercizio che possono indurre cedimenti superiori a quelli calcolati si dovrà necessariamente ricorrere all'utilizzo di fondazioni profonde su pali e/o diaframmi.

3.4. - Sismicità dell'area

La nuova e recente normativa ha inserito il Comune di Pisa, tra quelli classificati sismici ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del Marzo 2003 N. 3274. Il Comune di Pisa, in particolare, è stato inserito in Zona 2, che corrisponde alla seconda categoria della vecchia Legge 64/74 (media sismicità), con coefficiente sismico $S = 9$, in cui peraltro Pisa era già inserita.

Come è noto, i principali effetti dei sismi riconducibili alla natura dei siti e dei terreni sono:

- l'amplificazione (o l'attenuazione) del moto sismico di superficie;
- la liquefazione dei terreni incoerenti fini saturi;
- la densificazione dei depositi granulari sciolti asciutti;
- la possibile rottura dei terreni con conseguenti dislocazioni e rigetti.

La risposta sismica è, comunque, funzione della composizione granulometrica, dell'addensamento dei depositi nonché dalla profondità della falda acquifera. Con riferimento al fenomeno della liquefazione, quello in linea teorica più probabile considerati terreni presenti, è necessario fare alcune valutazioni:

in linea generale, per terremoti di elevata magnitudo la liquefazione del deposito può essere indotta da un numero, anche ridotto, di cicli di carico poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di grande intensità; per contro, in terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene, chiaramente, solo con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva, quindi, una elevata magnitudo del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio applicati al terreno) e una lunga durata dello stesso (maggior numero di cicli di carico) rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito sabbioso saturo.

Tenendo conto di quanto sopra e considerando le stime effettuate da vari autori (Youd e Perkins, 1978) riguardanti valutazioni qualitative del grado di vulnerabilità alla liquefazione nel caso di pianure alluvionali costiere Oloceniche, sulla base del tipo di deposito sedimentario e della sua età, è ragionevole ritenere bassa la probabilità di liquefazione indotta da eventi sismici, anche tenendo conto delle non elevate accelerazioni sismiche indicate per il territorio del Comune di Pisa.

Il fenomeno della liquefazione richiede, ad ogni buon conto, oltre a depositi incoerenti sciolti, anche la presenza della falda entro i primi 5 metri dal piano campagna, condizione di fatto esistente nella zona d'intervento. Il tipo di deposito presente, caratterizzato in massima parte da sabbie medie e/o fini in genere molto pulite, con frazione fine limosa variabile tra il 5% e il 10%, ha un grado di addensamento tale da impedire episodi di filtrazione già entro 7-8 metri dal p.c., rende piuttosto bassa la possibilità di incidenza di questo fenomeno.

Considerazioni sul rischio liquefazione nell'ambito di pianura considerato, possono essere fatte anche sulla base dei valori di **N** e di **Dr** dei terreni, desunti direttamente dalle prove penetrometriche:

Parametro **NSPT**: Sherif-Ishibashi 1978 et Alii. fissano un numero di colpi pari a $N=2z$ (dove z è la profondità) come limite superiore oltre il quale non avviene liquefazione.

Nel caso delle sabbie presenti nell'area studiata si rileva come in effetti i valori di NSPT sono abbastanza variabili, seppur oltre i 7-8 metri di profondità tendano ad attestarsi oltre 15. La distribuzione dei valori di NSPT rapportata al grado di suscettibilità alla liquefazione è illustrata nel diagramma di Fig. 3.11

Parametro **Dr**: Seed-Idriss hanno dimostrato che solo con depositi sotto falda e $Dr < 45\%$ si ha una buona probabilità di liquefazione, con accelerazioni convenzionali pari a quelle massime competenti il territorio di Pisa.

La densità relativa dei depositi sabbiosi del Livello A, è risultata variabile in media dal 20% al 30%, nei primi 7-8 metri dal p.c.. A profondità maggiori, in genere, l'addensamento del deposito è superiore al 50% (con grado di addensamento difficilmente superiore al 70%).

Alla luce di quanto sopra e considerando che la presenza di una, seppur contenuta, frazione limosa porta a diminuire la suscettibilità dei depositi alla liquefazione (Shannon et Alii), il rischio verso tale fenomeno appare dunque poco significativo nell'area in esame.

Sempre in riferimento al parametro densità relativa, è bene precisare che gradi di addensamento superiori al 70% in caso di sisma possono indurre aumenti di volume per fenomeni di dilatanza fino all'indice dei vuoti critico, oltre il quale cessa il fenomeno, con conseguente diminuzione dell'angolo di attrito. Per quanto concerne il Livello A, come detto, il grado di addensamento appare mediamente inferiore a tale valore, anche negli strati basali più addensati. In ogni caso, secondo vari autori, tale diminuzione è sostanzialmente contenuta nell'ordine dei 2° (Vesic) e per tanto è da ritenersi, anche in questo caso poco sostanziale.

Da quanto esposto, emerge una relativa fragilità dei terreni costituenti il Livello A nei confronti di eventuali fenomeni sismici e di fenomenologie di liquefazione associate.

Tuttavia è bene precisare che la bassa sismicità dell'area, ufficialmente riconosciuta dalle normative regionali e nazionali, rende assai remota la possibilità di un sisma capace di innescare la liquefacibilità del terreno, anche se quest'ultimo è scadente.

Con lo scopo di ricavare le velocità delle onde di taglio orizzontali e quindi i parametri ai sensi dell'ordinanza OPCM 3274, nel maggio 2005 sono state eseguite due prospezioni sismiche a rifrazione, ubicate una sul sondaggio S16 e la seconda sul sondaggio S17.

I geofoni sono stati disposti con un'interdistanza di 5 metri e la lunghezza di ciascun profilo è stata di 55 m. Per avere una risoluzione quanto più possibile elevata sono stati acquisiti i dati relativi a sette punti di battuta. Ad ognuno di questi punti di battuta corrisponde una dromocrona, ossia una curva tragitto-tempo. Prendendo come riferimento il primo geofono i punti di battuta sono stati disposti in genere secondo le seguenti distanze progressive: -22.5 m, -2.5 m, 27.5 m, 57.5 m, 77.5 m. Le registrazioni sono state acquisite mediante il sismografo digitale DMT Summit a 24 canali con convertitore analogico-digitale, dotato di FFT e collegato ad un pc portatile per la visualizzazione immediata dello spettro lineare della frequenza del segnale.

I dati sono stati elaborati con sistema tomografico. La successione degli orizzonti individuati è risultata piuttosto omogenea in tutta l'area indagata (Figg. 3.12 e 3.13) e può essere sinteticamente schematizzata come costituita da litotipi con caratteristiche elastiche omogenee dato che le velocità delle onde di taglio sono risultate comprese tra 100 e 200 m/sec con $v_{s30}=160$ m/sec per la linea 1 e $v_{s30}=175$ m/sec per la linea 2.

Concludendo, in relazione alla normativa vigente ed in considerazione dei dati sullo stato di addensamento dei depositi sabbiosi sia rilevati dalle prove penetrometriche sia dalle velocità delle onde di taglio, si può ritenere valida una tipologia di suolo di fondazione di **Categoria D**: *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati....., con valori di $V_{S30}<180$ m/sec ($N_{SPT}<15$)*".

4. - QUADRO IDROGEOLOGICO

4.1. - Censimento dei punti d'acqua

Nel Giugno '94 è stato eseguito il censimento dei punti d'acqua significativi per la ricostruzione del quadro freaticometrico e per la ricostruzione dell'andamento della conducibilità in falda. Su tali punti, quelli ancora esistenti, e sui nuovi piezometri messi in opera negli anni successivi (vedi cap. 3.1.), è stata eseguita una nuova campagna di misure nel periodo 20-23 Aprile 2005.

La rete di controllo qualitativo e piezometrico utilizzata risulta composta di:

- 11 pozzi
- 14 piezometri
- 16 punti su acque superficiali (mare, Arno, rete idrografica locale) .

I dati relativi alla freaticometria e al chimismo dei punti d'acqua controllati sono riassunti nella Tab. 4.1.

In Figura 3.1 è riportata l'ubicazione di tutti i punti controllati che interessano l'area dell'ex stabilimento Motofides ed un ampio intorno.

Tab. 4.1 - Punti di controllo della falda superficiale e delle acque affioranti (20-23 Aprile 2005)

Punto di controllo	Ø (m)	Profondità (m da p.c.)	Quota p.c. (m, s.l.m.)	Quota p.r. (m da p.c.)	L.Stat. (m da p.r.)	L.Stat. (m da p.c.)	L.Stat. (m, s.l.m.)	T (°C) e EC (µS/cm) alle profondità di riferimento dal livello statico																					
								0,5 m		2 m		4 m		6 m		8 m		10 m		12 m		14 m		Valore medio					
								T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC	T	EC		
PIEZOMETRI	PZ1	0.11	12.20	0.97	0.35	1.30	0.95	0.02	14.8	1766	13.2	1755	13.1	1780	13.4	1777	14.0	2550	14.5	37600	14.7	44300							
	PZ2								Non rintracciabile																				
	PZ3	0.11	12.20	1.48	0.20	1.15	0.96	0.53	13.8	2600	12.2	2620	12.0	2640	12.2	2650	12.9	2630	12.9	2630	12.9	2650	13.2	2650					
	PZ4	0.11	13.80	1.45	0.35	1.35	1.00	0.45	15.6	2340	15.0	2340	15.2	3540	16.3	9270	16.6	39600	16.8	41200	17.5	44400							
	PZ5*	0.11	12.50	1.04	0.00	1.13	1.13	-0.09	14.0	2230	13.4	3550	14.1	12970	14.5	13800	15.6	16260	15.8	31400	15.9	41900							
	PZ6*	0.11	10.10	1.04	0.00	0.84	0.84	0.20	12.8	2450	12.6	1810	13.0	1695	13.6	1703	13.6	1731	13.7	1835									
	PZ7*	0.11	12.20	1.21	0.00	0.85	0.85	0.36	12.8	1093	12.5	1096	12.8	1083	13.5	1075	13.8	1079	14.0	1499	14.4	7580							
	PZ8	0.11	13.30	1.34	0.31	1.28	0.97	0.37	17.3	6710	16.2	6230	15.8	6250	15.9	7830	16.8	40000	16.6	40100	16.8	45000							
	S10								Non rintracciabile																				
	S11								Non rintracciabile																				
S14 bis								Non rintracciabile																					
S15 bis	0.08	10.00	1.00	0.00	0.84	0.84	0.16	12.7	1458	12.5	1492	12.6	1527	13.0	3950	13.7	16000	13.7	31400										
S16	0.11	17.00	1.90	0.51	2.14	1.63	0.27	13.3	1270	13.4	1383	13.5	1452	14.0	1460	14.3	1588	14.4	2160	14.6	3610	15.0	5510						
S17	0.11	14.00	0.70	0.42	1.03	0.61	0.09	18.5	7060	15.1	7760	14.3	7780	15.8	46300	16.2	47200	16.7	48500	16.5	45600	16.8	45000						
POZZI PRIVATI	16	0.02	4.00	0.90	0.32																			14.5	980				
	17	0.03	4.00	1.40	0.70																			15.3	2600				
	18	0.60	2.50	1.10	0.50	1.37	0.87	0.23	13.2	1505	12.3	2370																	
	19	0.03	5.00	2.10																					16.9	812			
	20	0.03	5.00	2.00	0.50																				15.1	1175			
	21	1.00	3.00	0.90	0.68	1.26	0.58	0.32	11.6	1350	11.3	1264																	
	22	0.58	4.00	0.80	0.70																								
	23	1.20	4.00	0.90	0.50	1.90	1.40	-0.50	15.5	1502	13.3	1495																	
	24	0.03	5.00	1.20																									
	25	0.03	5.00	2.90																									
26	0.03	4.00	0.90					Non accessibile																					
ACQUE SUPERFICIALI	1							15.2	6150	13.7	6180																		
	2							15.2	1765	14.1	1781																		
	3			1.75			1.55	0.20	14.7	3900	14.0	4050																	
	4			1.50			1.33	0.17	16.6	6610	16.8	6680																	
	5			1.00			secco	≤ 0.00	Secco																				
	6			1.80					15.5	6530	15.3	6700																	
	7			1.00	0.47	2.12	1.65	-0.65	Secco																				
	8			1.50			1.41	0.09	20.0	6860	19.0	7120																	
	8 bis			1.60			2.53	-0.93	21.1	9660	19.0	11850																	
	9										15.4	57700																	
	10								16.0	3660	14.7	4550																	
	11			1.30			2.21	-0.91	23.2	10370	23.8	10760																	
	12			1.60			2.19	-0.59	23.5	10410	23.7	11350																	
	13								20.8	51800	20.7	52600																	
	14								21.4	43500																			
15								21.9	8350			19.7	43500																

NOTE

□ : Dato non disponibile

p.r. : Dato riferito al chiusino quando presente altrimenti al testa tubo

* : Piezometri trovati gravemente danneggiati

Le quote assolute del piano campagna dei piezometri da Pz1 a Pz8 sono misurate strumentalmente. Per il resto dei punti sono stimate da CTR 2k e rilievo topografico Geom. Tonello.

4.2. - Falde idriche sotterranee

Nella fascia costiera di Marina di Pisa - S. Rossore il sistema idrogeologico è caratterizzato dalla presenza di alcuni livelli sabbioso-ghiaiosi, permeabili, intercalati tra le argille ed i limi del complesso sedimentario fluviale che è bene sviluppato in tutta la piana.

Si tratta di un sistema acquifero multistrato, ricaricato a monte e la cui base è il letto dell'orizzonte ghiaioso presente anche nel pozzo ex Motofides a partire dalla profondità di 94 m. In estrema sintesi la successione stratigrafica ricostruita nell'area è la seguente:

0 - 14 m	Sotto il terreno rimaneggiato: sabbie medie e fini, poco o moderatamente addensate, da marrone a grigio, con lenti limose;
14 - 25 m	Limi e argille, molli poco consistenti, di colore grigio, con straterelli centimetrici di sabbia fine grigia;
25 - 35 m	Sabbie medie, a tratti grossolane, grigio chiare, molto addensate.
35 - 81 m	Argilla
81 - 84 m	Ghiaia con sabbia
84 - 94 m	Argilla, torba, lignite
94 - 98 m	Ghiaia
98 - 114 m	Sabbia fine argillosa

Si possono quindi definire i seguenti orizzonti acquiferi:

- I° acquifero, superficiale, sede di falda freatica (a luoghi, semiconfinata), sviluppato nei sedimenti prevalentemente sabbiosi superficiali. Lo spessore è variabile da 12 a 14 m;
- II° acquifero, sede di falda confinata, costituito da depositi di origine alluvionale composti da strati sabbiosi addensati, il cui spessore è di circa 10 m; a partire dalla profondità media di 25 metri dal p.c.
- Orizzonti acquiferi ghiaioso-sabbiosi profondi sede di falde confinate, presenti a partire da circa ottanta metri dal p.c.

I diversi orizzonti acquiferi sono separati da livelli impermeabili di argilla limoso-sabbiosa la cui estensione areale, nel settore studiato, è continua ed impedisce la comunicazione tra le diverse falde

4.2.1. - La falda freatica

Ai fini dello studio specifico la falda più importante è quella freatica che si sviluppa tra piano campagna e circa -15 metri di profondità (Figg. 3.2 ÷ 3.8); è alimentata direttamente dalla pioggia, dal fiume, dalla rete idrografica minore e, nella fascia costiera, è interessata dal cuneo salino.

L'invasione di acqua salata all'interno dell'acqua dolce di falda è regolata dalla densità dei fluidi, dal pompaggio stagionale nei pozzi privati che attingono dalla stessa falda e dal gioco delle maree. Il rapporto tra i due fluidi avviene lungo una superficie di interfaccia la cui profondità dipende dall'altezza sul mare del carico idraulico dolce. La geometria dell'interfaccia è quindi strettamente legata alle condizioni dinamiche dell'acquifero: partendo dalla linea di costa essa tende ad approfondirsi con l'aumentare dei valori assoluti della quota freaticometrica.

Localmente, sulla base dei sondaggi eseguiti, la falda freatica si può considerare un sistema indipendente dai livelli acquiferi sottostanti, dal primo dei quali è separata da un orizzonte impermeabile di limi argillosi e di argille che ha uno spessore di circa una decina di metri.

E' invece netto e chiaro il rapporto diretto tra falda freatica e corpi idrici superficiali, cioè con il mare, con il fiume e con la rete idrografica minore.

Questa condizione era già stata dimostrata nei precedenti rapporti presentati sull'area⁵ ed è stata confermata dalla geometria della superficie freaticometrica ricostruita con la campagna di misure eseguite nella rete di punti di controllo alla fine di Aprile 2005, con l'inclusione anche dei nuovi piezometri, S16 e S17. Essa è bene espressa dalla carta di Fig. 4.1 che si può commentare come segue:

1. la falda presenta un massimo assoluto in prossimità della duna costiera, in corrispondenza dell'abitato di Marina di Pisa, dove la buona permeabilità delle sabbie eoliche consente un discreto tasso d'infiltrazione delle acque meteoriche e la morfologia più rilevata favorisce un battente di acqua dolce più elevato;
2. sui fianchi nord (Arno/mare) ed ovest (mare) in condizioni statiche la quota tende ad avvicinarsi allo zero mare cioè al livello di base del sistema dolce;
3. la falda presenta un'area di minimo piezometrico con valori inferiori al livello mare (valore minimo -0,93 m rispetto allo zero mare) in prossimità dell'idrovora di Marina di Pisa, giustificato dal pompaggio da parte dell'idrovora e facilitato da una depressione morfologica con quote del terreno prossime allo zero marino.

La geometria delineata in carta è soggetta a variazioni nell'arco stagionale ma anche nel breve periodo giornaliero come effetto delle escursioni di marea. In merito a queste ultime,

⁵ Borello spa – Area ex Motofides - Rapporto idrogeologico; Getas Petrogeo srl, luglio 1994.

le misure eseguite confermano un campo di variabilità dell'ordine di +/- 20-25 centimetri che, tuttavia, non modificano la geometria generale e, in particolare, non invertono la posizione del massimo freaticometrico sulla duna.

Sensibili variazioni si possono piuttosto verificare entro la zona della depressione dinamica, in conseguenza dell'interferenza esercitata dall'idrovora.

Questa falda alimenta la maggior parte dei pozzi romani e dei numerosi well points che sono utilizzati dai privati per la gestione dei giardini e degli orti domestici nella zona.

4.2.2. - Parametri idraulici della falda freatica

Completate le operazioni di messa in opera dei piezometri nei fori dei sondaggi S16 e S17, tra il 21 e il 23 Aprile 2005, è stato eseguito uno spurgo dei piezometri alla portata di 0,5 l/s e della durata di 40 minuti, al termine del quale è stata controllata la risalita del livello di falda e quindi valutati i parametri idraulici dell'acquifero.

I risultati ottenuti sono i seguenti (Figg. 4.2 – 4.3):

Piezometro S 16

Livello statico:	1,8 m dal p.c.
Portata:	0,5 l/s
Abbassamento:	2,20 m
Trammissività:	$1,3 \times 10^{-3}$ m ² /s
Spessore saturo:	15,7 m
Permeabilità:	$8,3 \times 10^{-5}$ m/s

Piezometro S 17

Livello statico:	1,59 m dal p.c.
Portata:	0,5 l/s
Abbassamento:	2,61 m
Trammissività:	$1,4 \times 10^{-3}$ m ² /s
Spessore saturo:	12,71 m
Permeabilità:	$1,1 \times 10^{-4}$ m/s

I parametri ottenuti nei due punti controllati indicano una buona omogeneità dell'acquifero, con normali variabilità tipiche degli acquiferi alluvionali con sabbie prevalenti a granulometria media, come confermato anche dalle analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati nei due sondaggi.

4.3. - Salinità generale dell'area

4.3.1. - Geometria dell'interfaccia. Stato attuale

Lo studio dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata è stato affrontato mediante misure di conducibilità elettrica dell'acqua, eseguite sia sulla rete dei pozzi/piezometri che nei corpi idrici superficiali. Le misure sono state eseguite, dove possibile, a intervalli di profondità di 2 metri, mediante campionatore ad apertura comandata, per consentire di rilevare la variazione della fascia di miscelamento tra la falda dolce e l'acqua salata del mare e/o del cuneo salino presente in Arno.

I pozzi privati visitabili in aprile sono stati pochi perché per la maggior parte dei casi essi servono villette stagionali che in quel periodo erano disabitate. La maggior parte di quelli visitabili erano di tipo "well-point" che non consentono la misura del livello statico e producono un fluido miscelato.

Fuori dall'area Motofides, dove la rete di monitoraggio è invece ben sviluppata con piezometri efficienti, la misura della salinità a diverse profondità è stata quindi possibile solo in pochi casi.

La geometria del quadro sotterraneo della conducibilità (quindi della salinità) viene espressa da tre carte (Figg. 4.4÷4.6), che riportano la salinità a tre profondità, e da tre sezioni schematiche (Figg. 4.7÷4.9) che tengono conto di tutti i dati disponibili.

Esse si possono commentare come segue:

1. - distribuzione della salinità a -0,50 metri sotto il pelo d'acqua (Fig. 4.4)

Si osserva che:

- il nucleo dolce (valore $< 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) è localizzato sulla duna, in corrispondenza dell'alto freaticometrico; anche l'area ex Motofides ha valori mediamente inferiori a $2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$;
- l'Arno ha valori estremamente variabili da $1.765 \mu\text{S}/\text{cm}$, all'altezza dello sbocco del Nuovo Lamone (punto 2), a $8.350 \mu\text{S}/\text{cm}$ (punto 15) fino a superare i $40.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ in corrispondenza della Foce (punto 14);
- il Nuovo Lamone presenta valori crescenti da $3.900 \mu\text{S}/\text{cm}$, in prossimità dello sbocco in Arno, fino a superare i $10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ in prossimità dell'idrovora dove la depressione freaticometrica indotta dal pompaggio richiama acqua salata ed incrementa i valori di salinità;
- il mare all'interno della scogliera (punto 9) ha valori superiori a $50.000 \mu\text{S}/\text{cm}$;

2. - distribuzione della salinità a -5 metri sotto il pelo d'acqua (Fig. 4.5)

- il nucleo dolce arretra notevolmente verso la duna e si allontana dalla costa rispetto alla carta precedente di Fig. 4.4;
- i valori sicuri di stratificazione indicano un marcato incremento di salinità con la profondità: soprattutto alla foce dell'Arno, dove il cuneo salino è praticamente acqua di mare a - 3.00 m sotto il pelo fiume e la fascia salmastra di raccordo tra mare e falda dolce si allarga bruscamente a spese di quest'ultima;
- nell'area ex Motofides la conducibilità è compresa tra 2.645 $\mu\text{S/cm}$ di PZ3 ad oltre 6.000 verso l'Arno (PZ4 e PZ8) e supera 13.000 $\mu\text{S/cm}$ verso la costa (PZ5);
- in Arno, dove il fondo non supera i 2 metri la conducibilità risulta inferiore ai 7.000 $\mu\text{S/cm}$, mentre dove la profondità del fondo raggiunge 5 metri, i valori superano abbondantemente i 40.000 $\mu\text{S/cm}$ (punti 14 e 15).

3. - distribuzione della salinità a -10 metri sotto il pelo d'acqua (Fig. 4.6)

- i pochi dati disponibili mostrano una marcata invasione dell'acqua salmastra sia dall'Arno che dal mare e la falda dolce (conducibilità $< 2.000 \mu\text{S/cm}$) ha estensione più ridotta rispetto alla fascia di profondità precedente. Il passaggio tra il fronte dolce ed il nucleo salino è brusco e la conducibilità si attesta su valori superiori a 30.000 $\mu\text{S/cm}$ e copre una fascia di oltre 200 metri sul lato Arno e di oltre 300 metri sul lato mare. In pratica, alla profondità di 10 metri l'unico settore dell'area ex Motofides con acqua poco salmastra rimane lo spigolo sudest, verso S16-PZ7.

Uno schema autoesplicativo delle attuali condizioni della distribuzione di salinità nella falda freatica e della geometria dell'interfaccia che tiene conto dei rapporti tra acqua di fiume/acqua di mare/falda freatica è ricostruito nelle sezioni di Figg. 4.7÷4.9.

Le tre sezioni coprono essenzialmente l'area destinata allo specchio idrico del porto e si estendono per un congruo intorno, sufficiente per le estrapolazioni dell'interfaccia nelle condizioni di progetto.

La geometria dell'interfaccia disegnata nelle sezioni riflette la situazione del momento delle misure (Aprile 2005): essa potrà variare nel tempo e nello spazio in funzione delle condizioni di marea, delle portate del corso d'acqua, della ricarica stagionale della falda freatica e dei pompaggi. La marea e la portata dei corsi d'acqua, dell'Arno in primis, hanno effetti immediati sulla salinità all'interno dei corpi idrici superficiali; nella falda gli spostamenti dell'interfaccia sono più lenti e controllati soprattutto dalla permeabilità dell'acquifero e dai pompaggi (pozzi privati ed idrovora).

Il quadro attuale riprodotto nelle sezioni ha raggiunto un suo equilibrio stagionale: esso presenterà un peggioramento estivo, fino alle piogge autunnali, aggravato dai pompaggi

dei pozzi privati. Seguirà un miglioramento in autunno-inverno che sarà tanto maggiore quanto migliore risulterà la ricarica dell' acquifero, cioè l'altezza freaticometrica della falda dolce.

Riferendosi alla sezione 3 (Fig. 4.9) si può osservare anche quanto pesantemente incida sulla dinamica dell'intrusione salina l'effetto localizzato dell'idrovora, combinato con una morfologia depressa. In Fig. 4.4 si può dimensionare la fascia invasa che interessa il corso del Lamone fino all'Arno: a soli 50 centimetri sotto il pelo acqua la salinità varia tra 3.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del ponte sul viale D'Annunzio agli oltre 10.000 del canale Lamone nuovo, a monte dell'idrovora.

4.3.2. - Geometria dell'interfaccia. Stato di progetto

Il progetto del porto prevede l'accesso al nuovo bacino da nord, dalla sponda sinistra del fiume con ingresso nei pressi della svolta verso sud del viale D'Annunzio, all'altezza del piezometro PZ8.

Sotto il profilo dell'interferenza sull'attuale geometria dell'interfacci, facendo riferimento alla Fig. 4.5, si osserva che

- * a valle dell'imbocco l'acqua dell'Arno nel punto 14 di controllo ha una conducibilità di 43.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a soli 50 centimetri sotto il pelo del fiume;

- * a monte dell'imbocco, nel punto di controllo 1, sotto riva, la conducibilità del fondo (misurato a- 2 metri sotto il pelo fiume) è circa 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ma poco più al largo, nel punto di controllo 15, dai circa 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a -50 centimetri di profondità si passa ai 43.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alla profondità di - 4 metri sotto il pelo acqua.

Naturalmente questi dati variano nell'arco della giornata per effetto delle maree e nell'arco della stagione per effetto delle portate dell'Arno: tuttavia, tenuto conto che la profondità del porto sarà di 3 - 4 metri, è evidente che l'acqua miscelata in entrata da nord sarà condizionata dal cuneo salino dell'Arno.

Ciò premesso, la previsione di interferenza esercitata dal porto sulla salinità della falda freatica è stata affrontata nell'ipotesi più critica di un bacino interamente colmato da acqua di mare.

Il metodo seguito è il più semplice: vista la buona omogeneità delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero freatico ed essendo nota la geometria dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata nelle condizioni attuali (sezione 3 Fig. 4.9), su questa stessa sezione (Fig. 4.10) è stato inserito il bacino di progetto, considerandolo colmato da acqua di mare, cioè nelle condizioni più critiche che, però, non saranno costanti nell'arco del tempo per effetto delle variabili prima citate.

La figura è di immediata comprensione: essa consente di stimare in circa 400 metri, al massimo, l'estensione del cuneo salino verso l'entroterra sui lati est e sud del bacino portuale.

In Fig. 4.11 si ricostruisce la nuova geometria della isolina di 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ che, confrontata con quella attuale a - 5 metri sotto p.c., consente di valutare in circa 80.000 mq l'area sottratta alla falda dolce.

4.3.3. - Suggerimenti

Nella ricerca di soluzioni tecniche progettuali di mitigazione si ritiene utile segnalare ai progettisti che le condizioni geologiche ed idrogeologiche che sono state ricostruite in questo rapporto fanno ritenere fattibile una diaframmatura/palancolata sui lati est e sud del nuovo porto. Spinta fino all'incastro nell'orizzonte argilloso continuo, presente mediamente a partire da 15 metri sotto il piano campagna, essa formerebbe una cinturazione continua ed impermeabile che confinerebbe l'acqua salmastra del porto al solo interno del nuovo bacino, senza ripercussioni sulla qualità della falda al di fuori della ristretta area portuale.

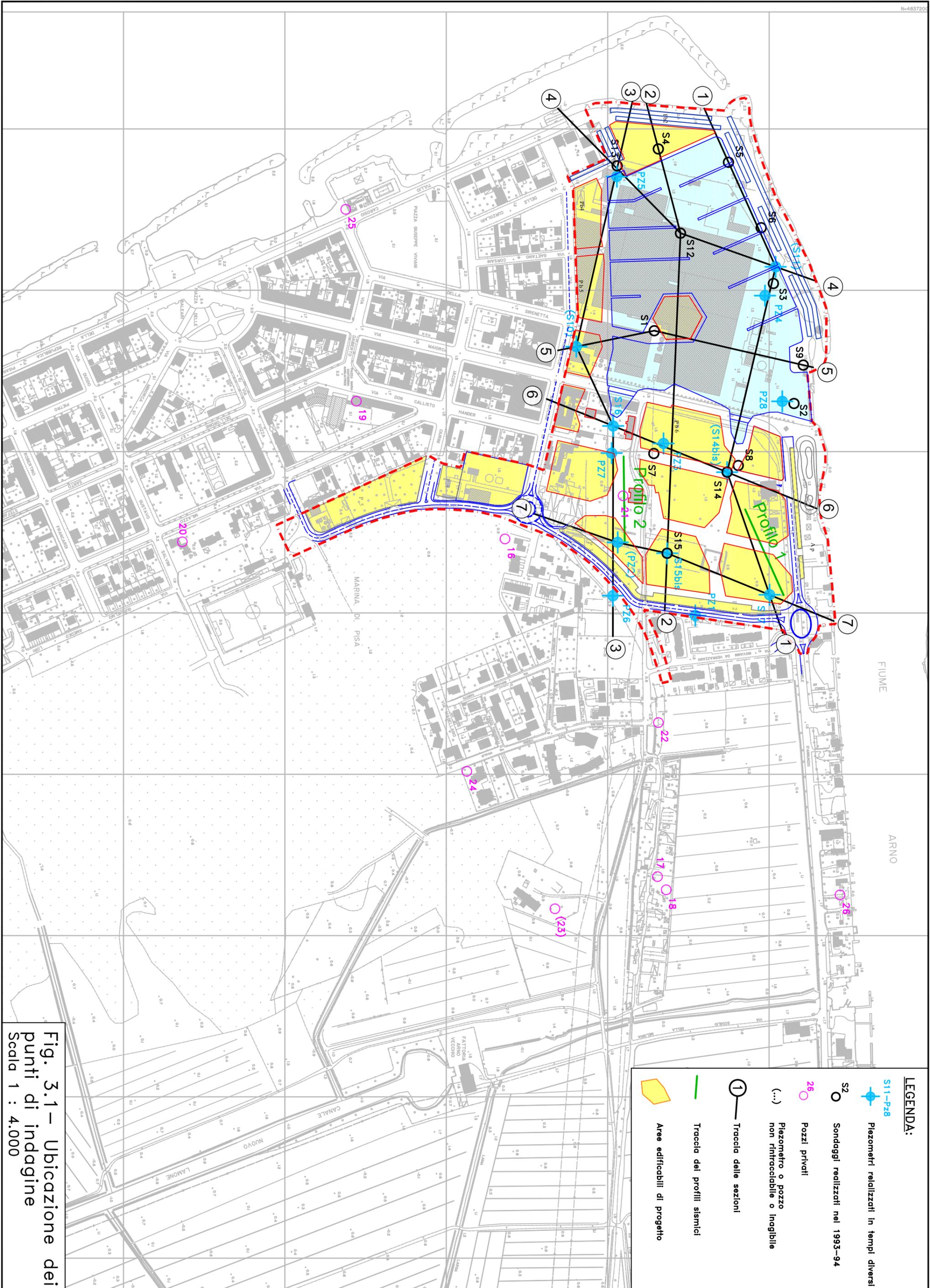
Inoltre sarebbe opportuno ripetere i controlli di livello e salinità nella rete di monitoraggio già esistente con frequenza trimestrale nel corso di un anno per definire il quadro qualitativo della falda freatica, come riferimento sia nelle condizioni di morbida che in quelle di magra.

GETAS-PETROGEO S.r.l.



Fig. 1.1 – Corografia

Scala 1 : 15.000

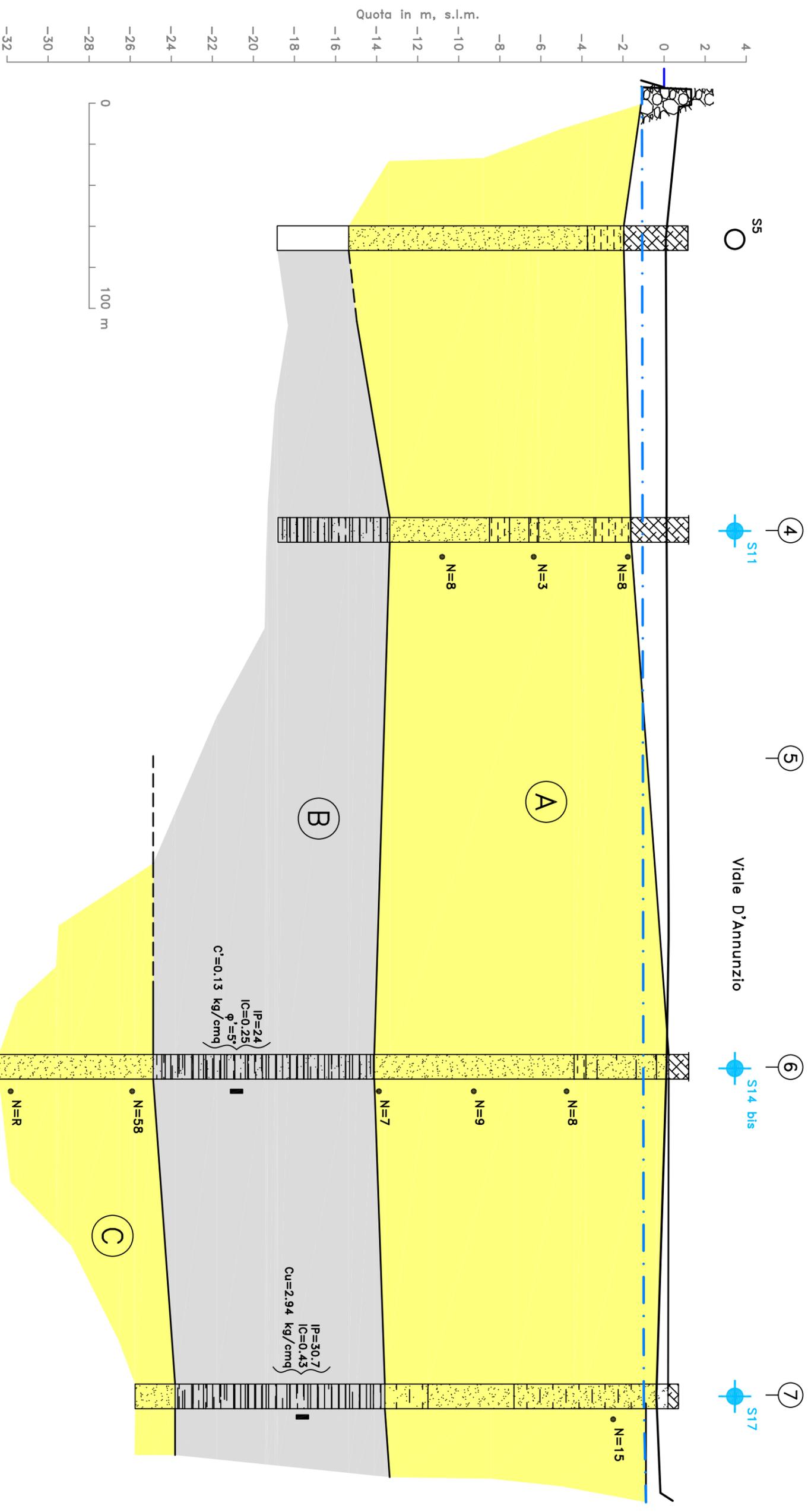


LEGENDA:

- S11-P28 Piezometri realizzati in tempi diversi
- S2 Sondaggi realizzati nel 1993-94
- 26 Pozzi privati
- (...) Piezometro o pozzo non rintracciabile o ingiugibile
- ① — Traccia delle sezioni
- Traccia dei profili sismici
- Aree edificabili di progetto

Fig. 3.1— Ubicazione dei punti di indagine
 Scala 1 : 4.000

SEZIONE 1

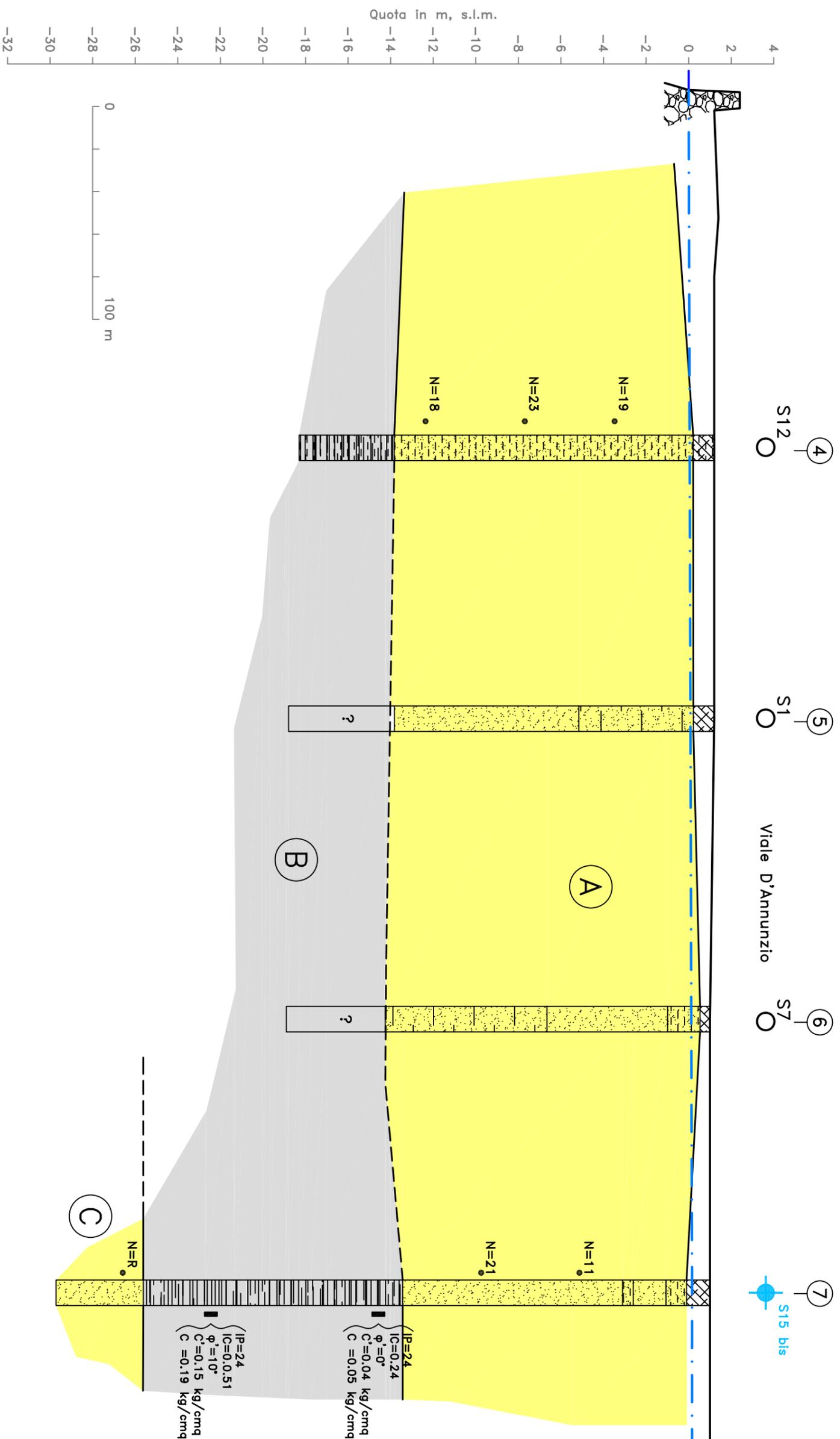


LEGENDA:

- S2 ○ Sondaggi realizzati nel 1993-94
- S11-Pz8 ● Piezometri realizzati in tempi diversi
- N=23 ● N SPT
- Campioni indisturbati
- Sabbia
- Limno
- Argilla
- Terreno di riporto
- · — · — Livello statico (Aprile 2005)
- A Orizzonti geotecnici

Fig. 3.2 – Sezione 1

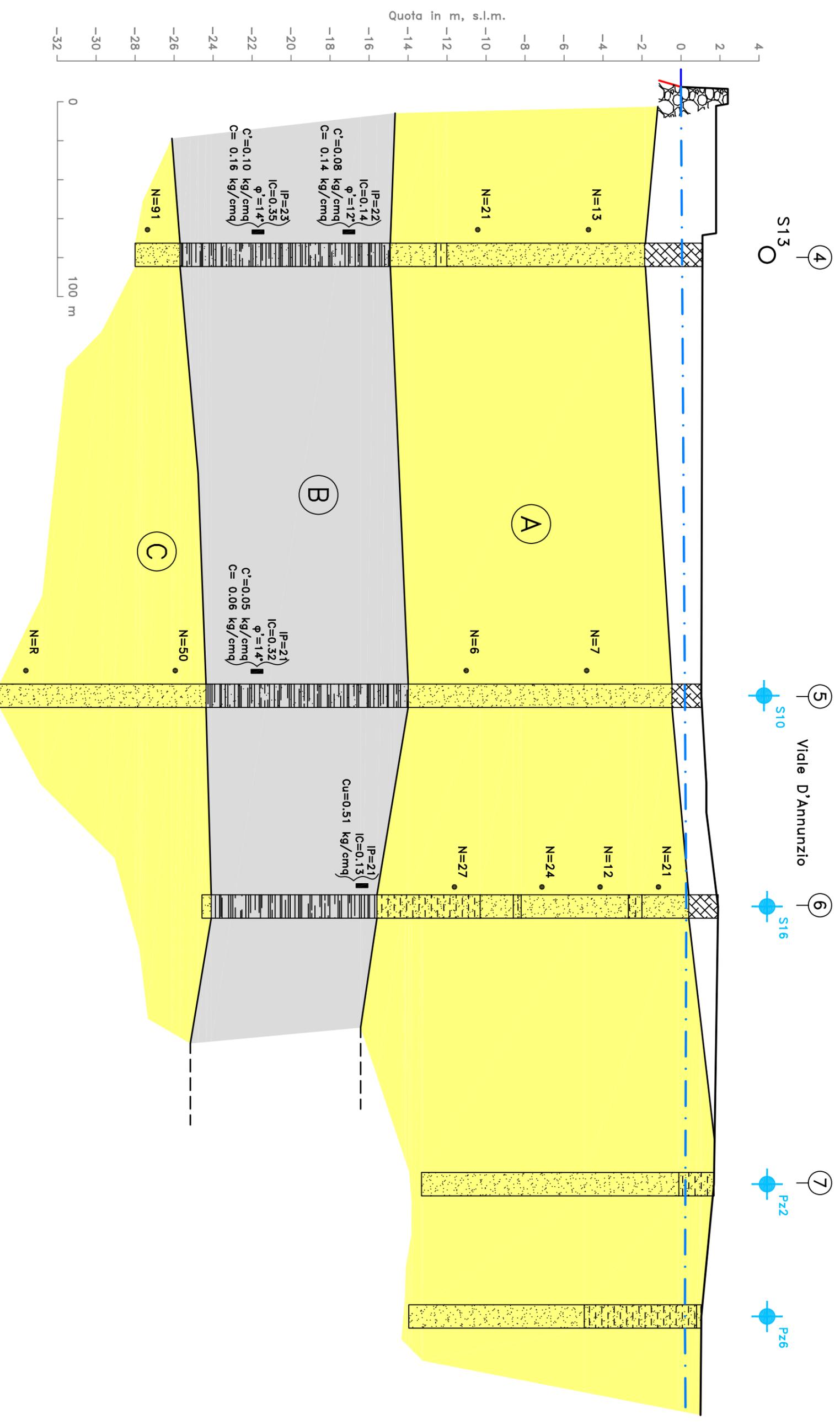
SEZIONE 2



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.3 – Sezione 2

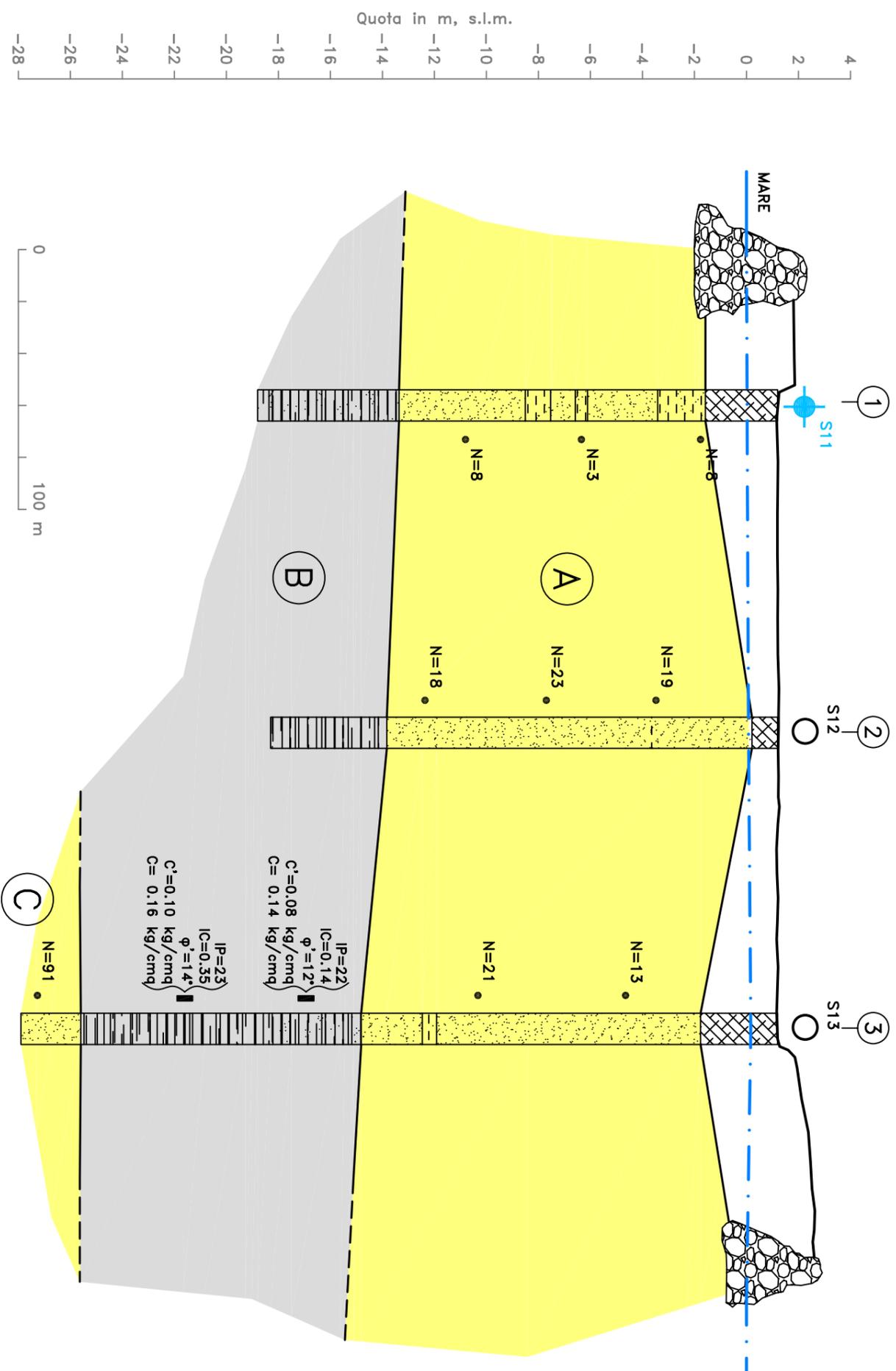
SEZIONE 3



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.4 – Sezione 3

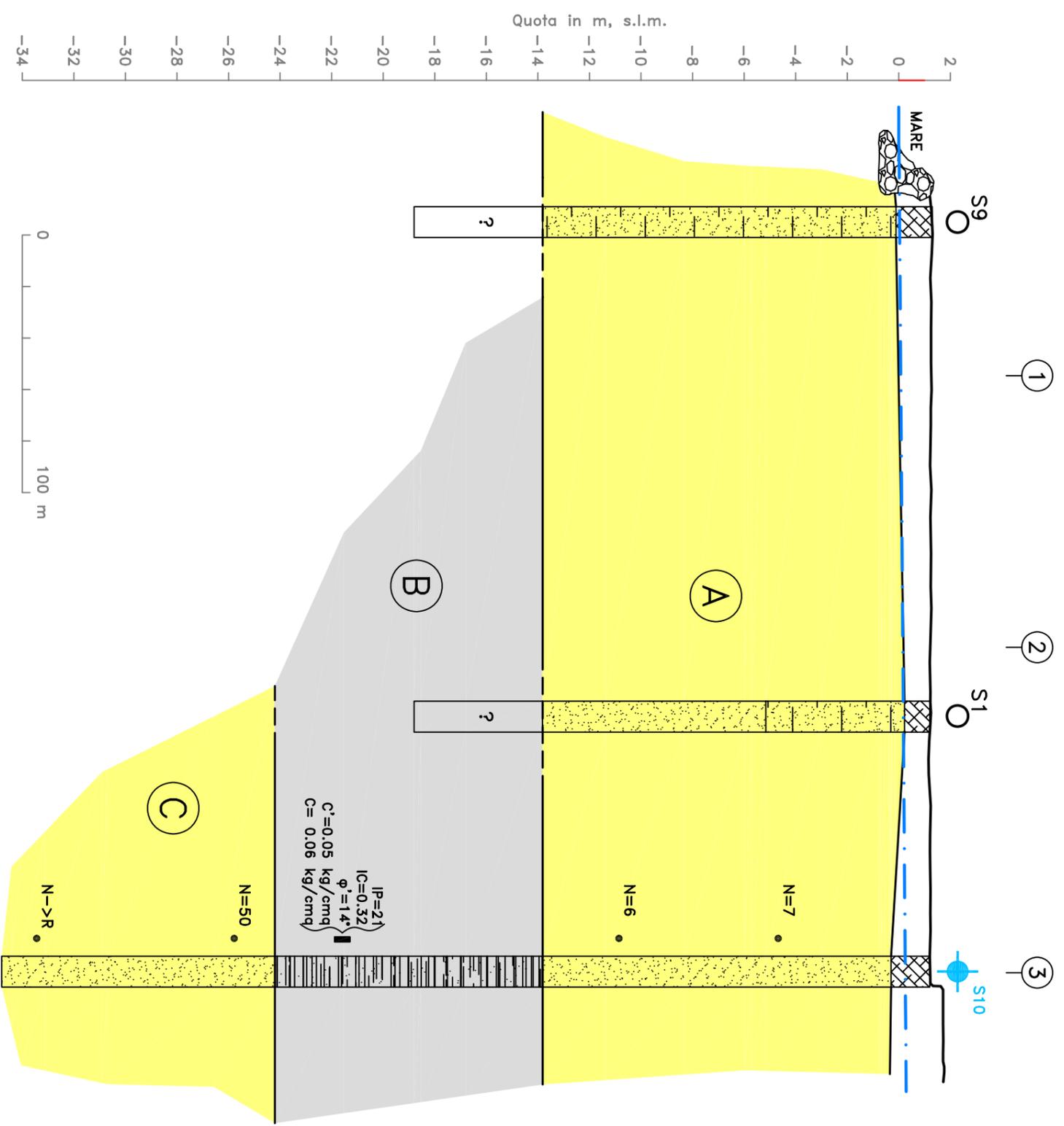
SEZIONE 4



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.5 – Sezione 4

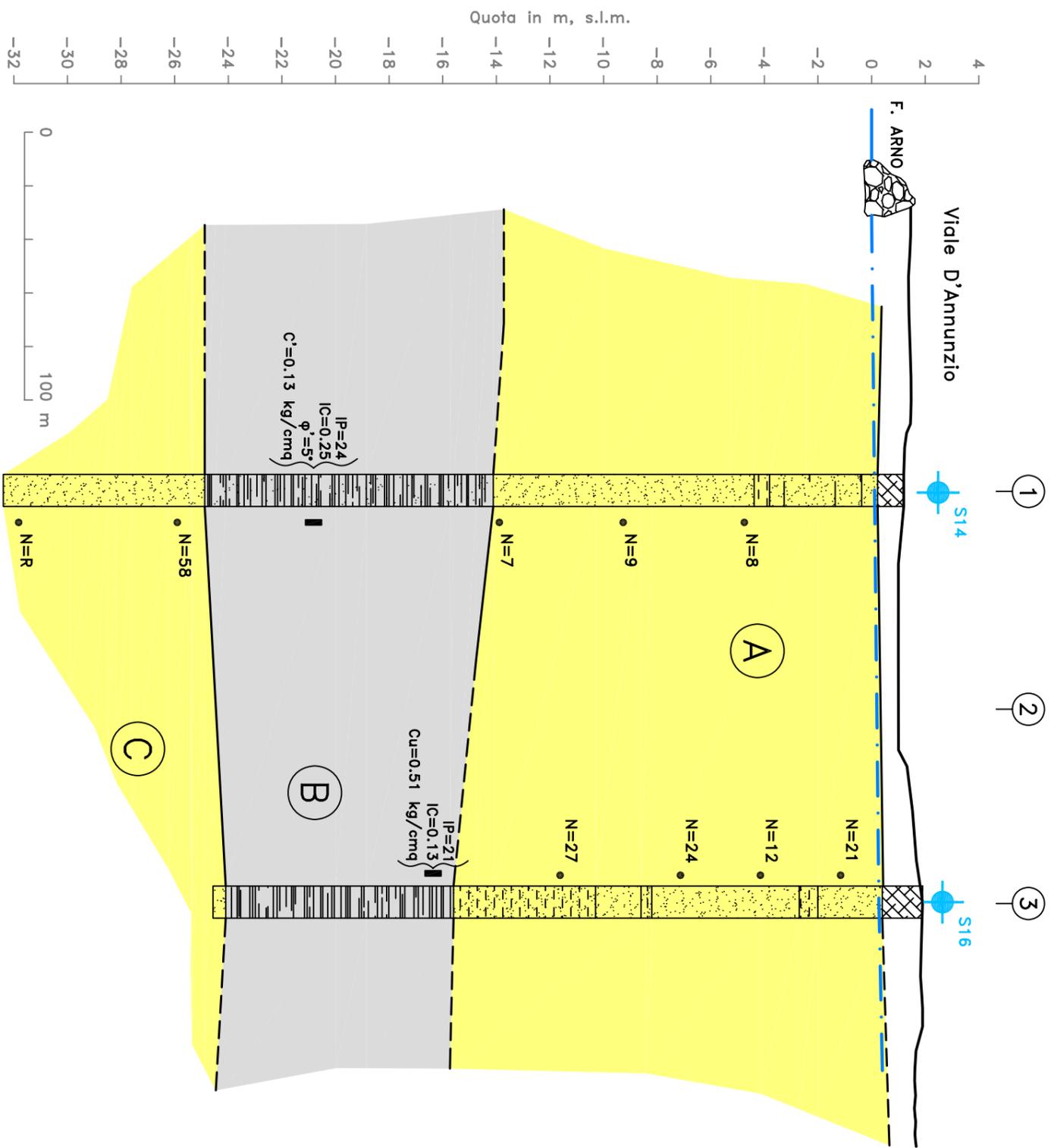
SEZIONE 5



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.6 – Sezione 5

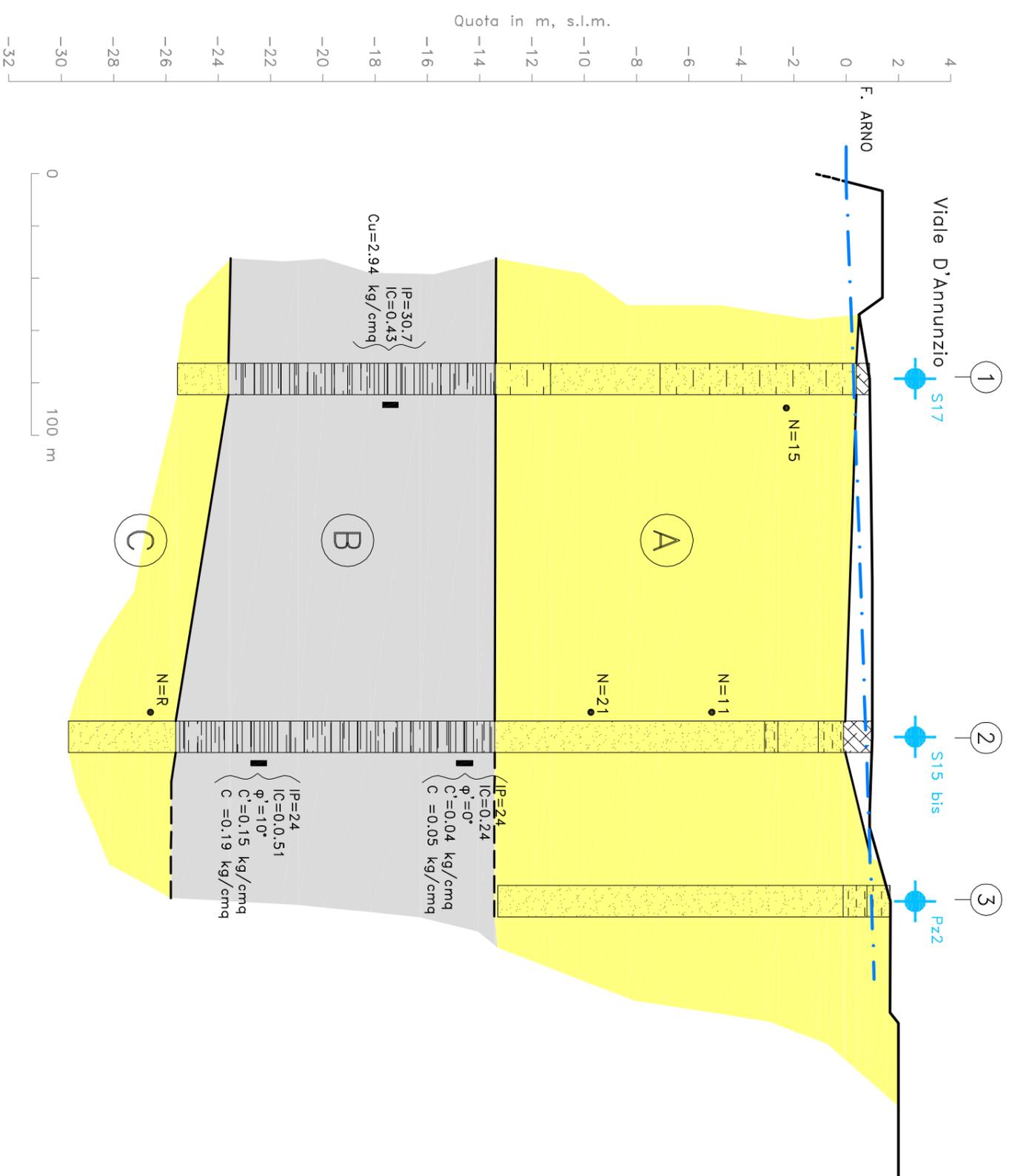
SEZIONE 6



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.7 – Sezione 6

SEZIONE 7



LEGENDA: Vedi Fig. 3.2

Fig. 3.8 – Sezione 7

FIG. 3.9 Andamento NSPT con la profondità

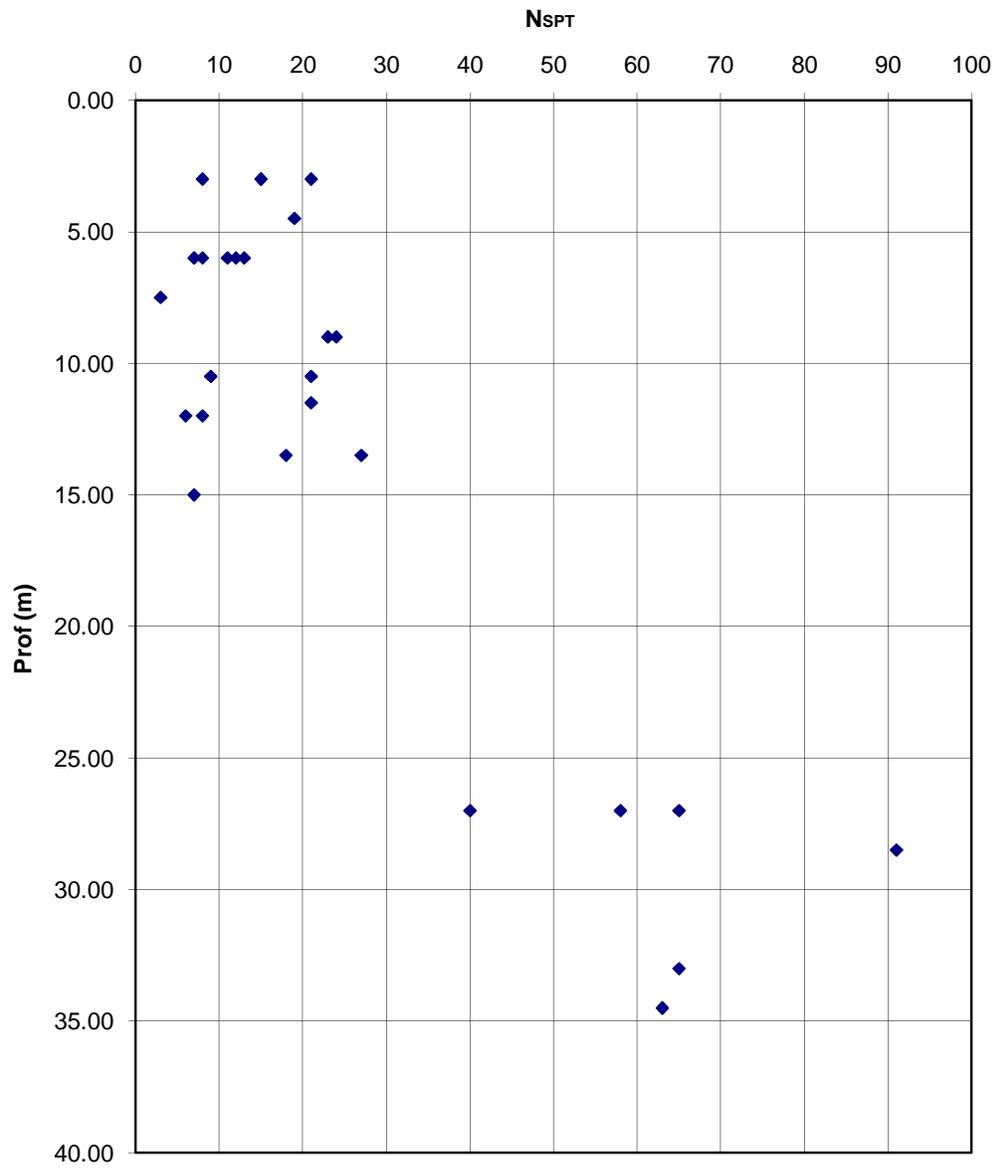


Fig. 3.10 - Schema infissione palancole

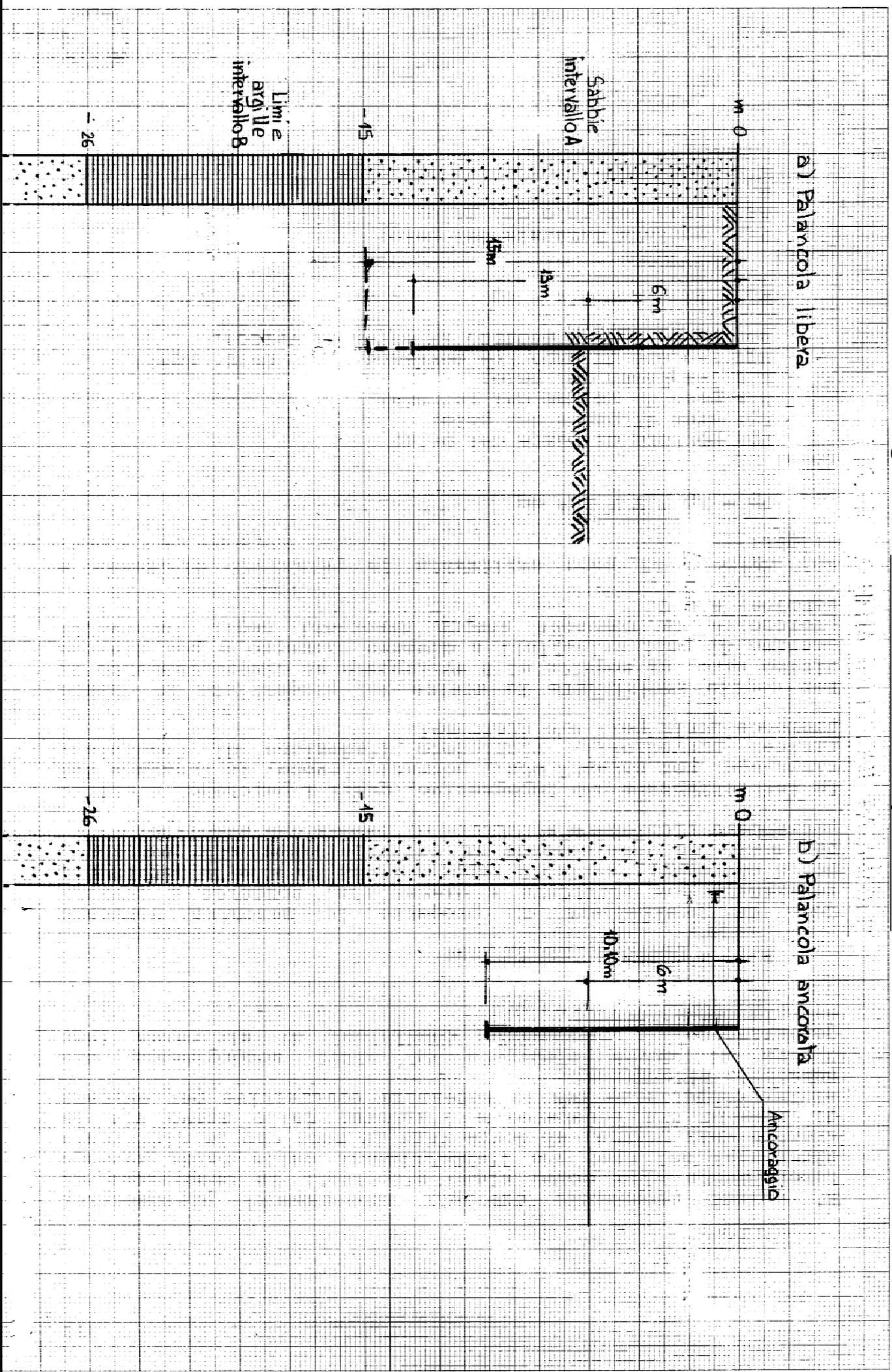
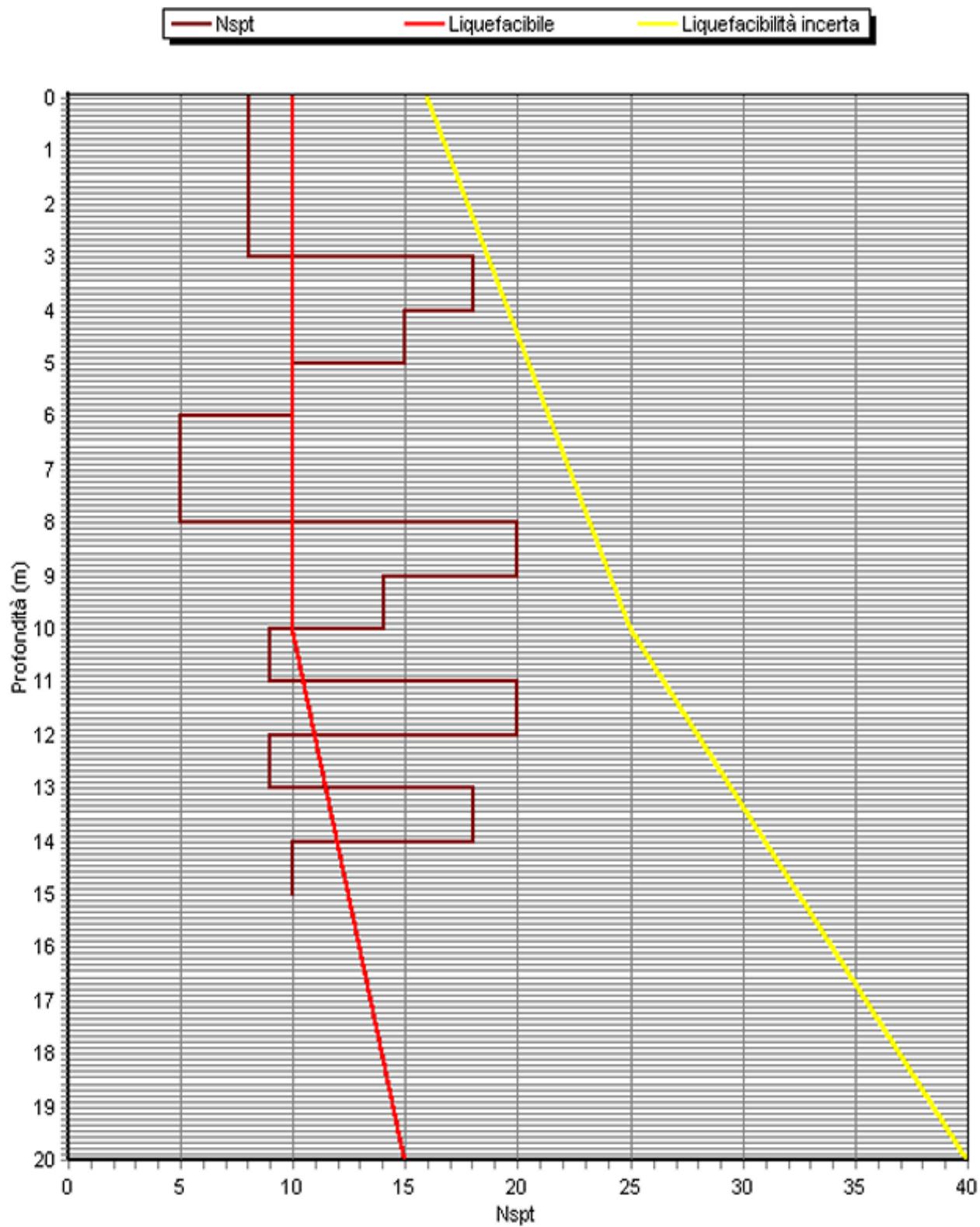


Fig. 3.11

Stima della liquefacibilità con il metodo di Sherif e Ishibashi (1987) – Profili SPT



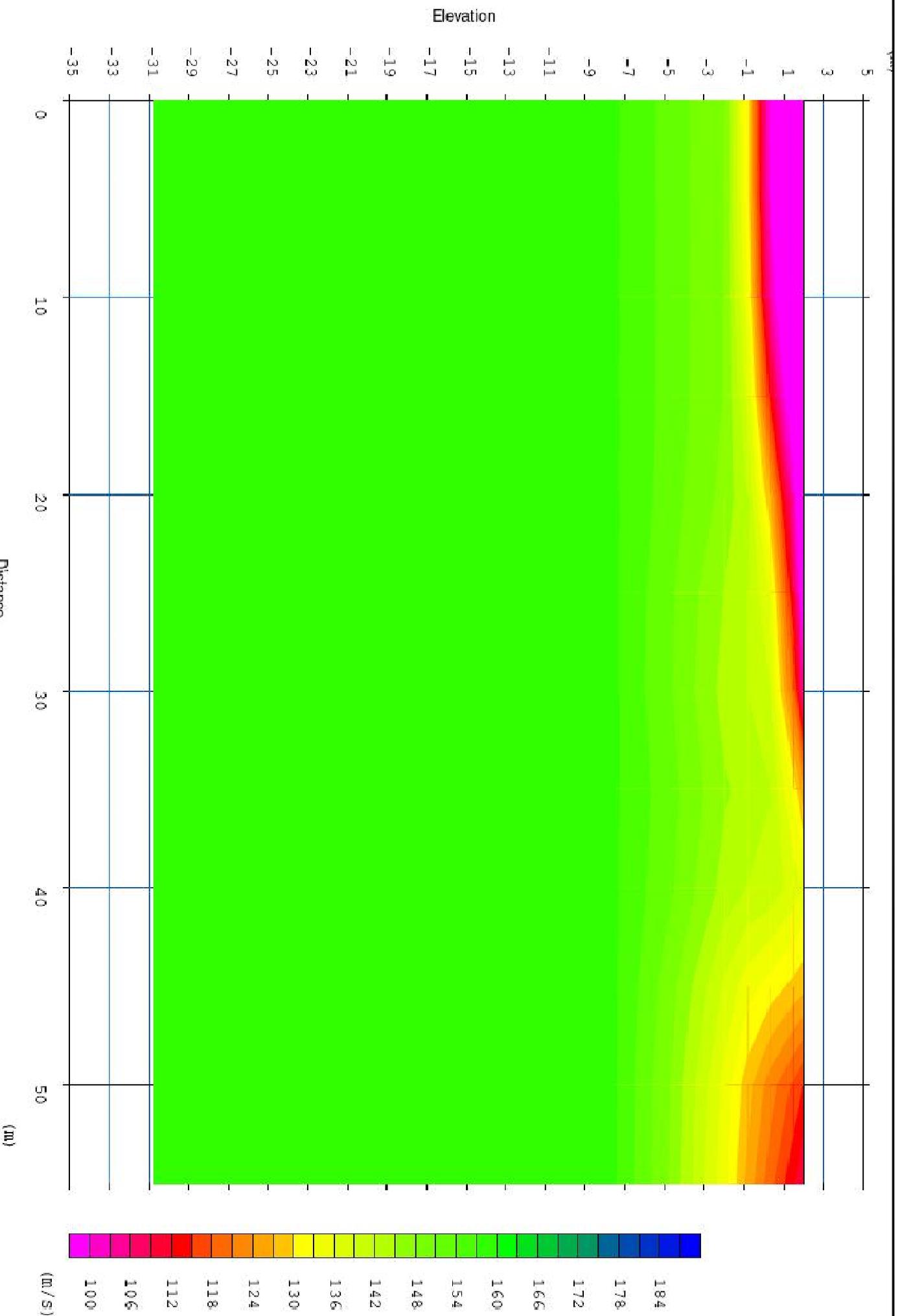


Fig. 3.12 - Profilo sismico 1 (Sondaggio S16) - Onde S

Scale = 1 / 250

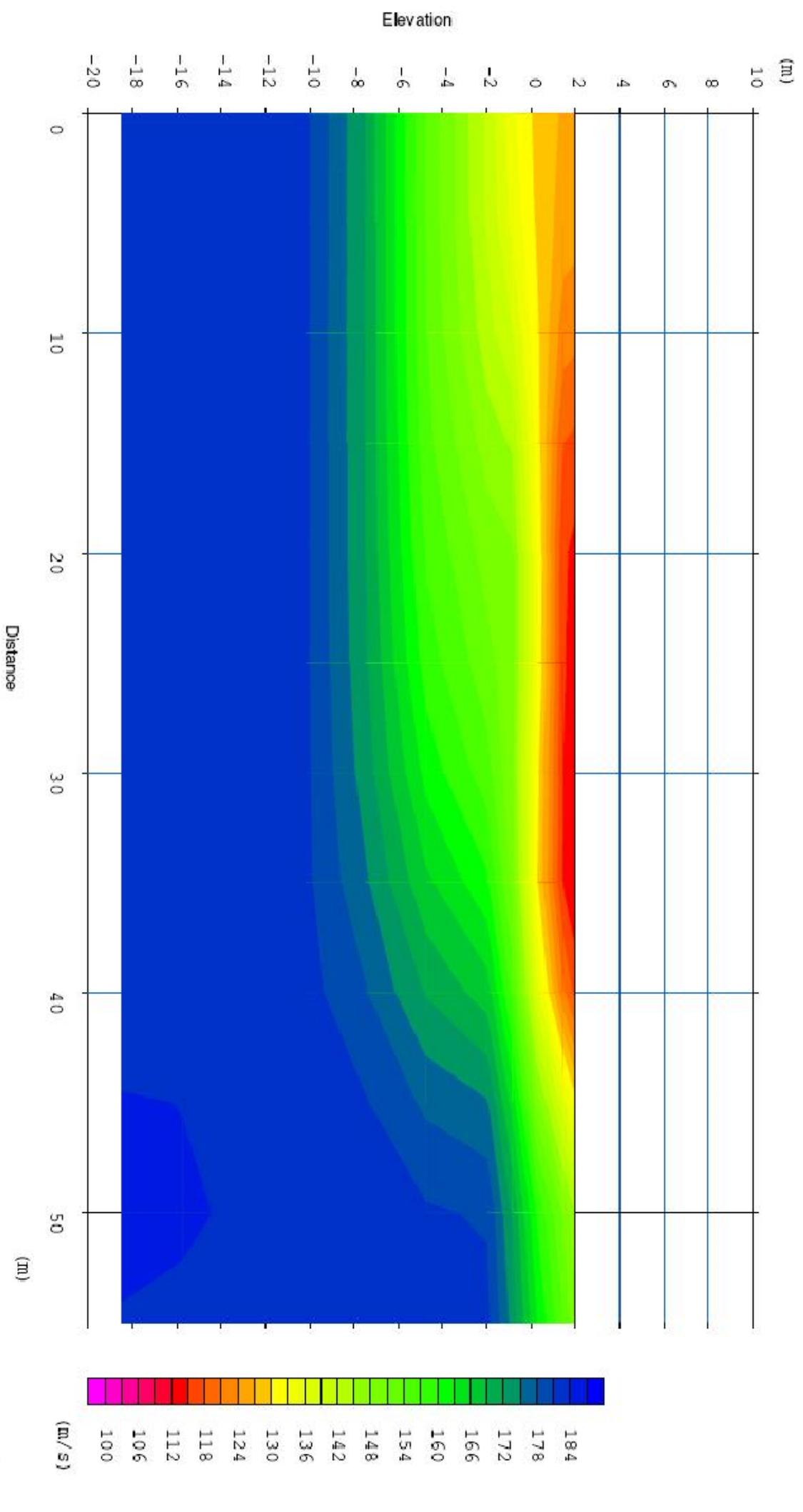


Fig. 3.13 - Profilo sismico 2 (Sondaggio S17) - Onde S

Fig. 4.2 - Porto Marina di Pisa - Piezometro S16
Risalita dopo 40 minuti di spurgo alla portata di 0.5 l/s
Data: 23/4/2005

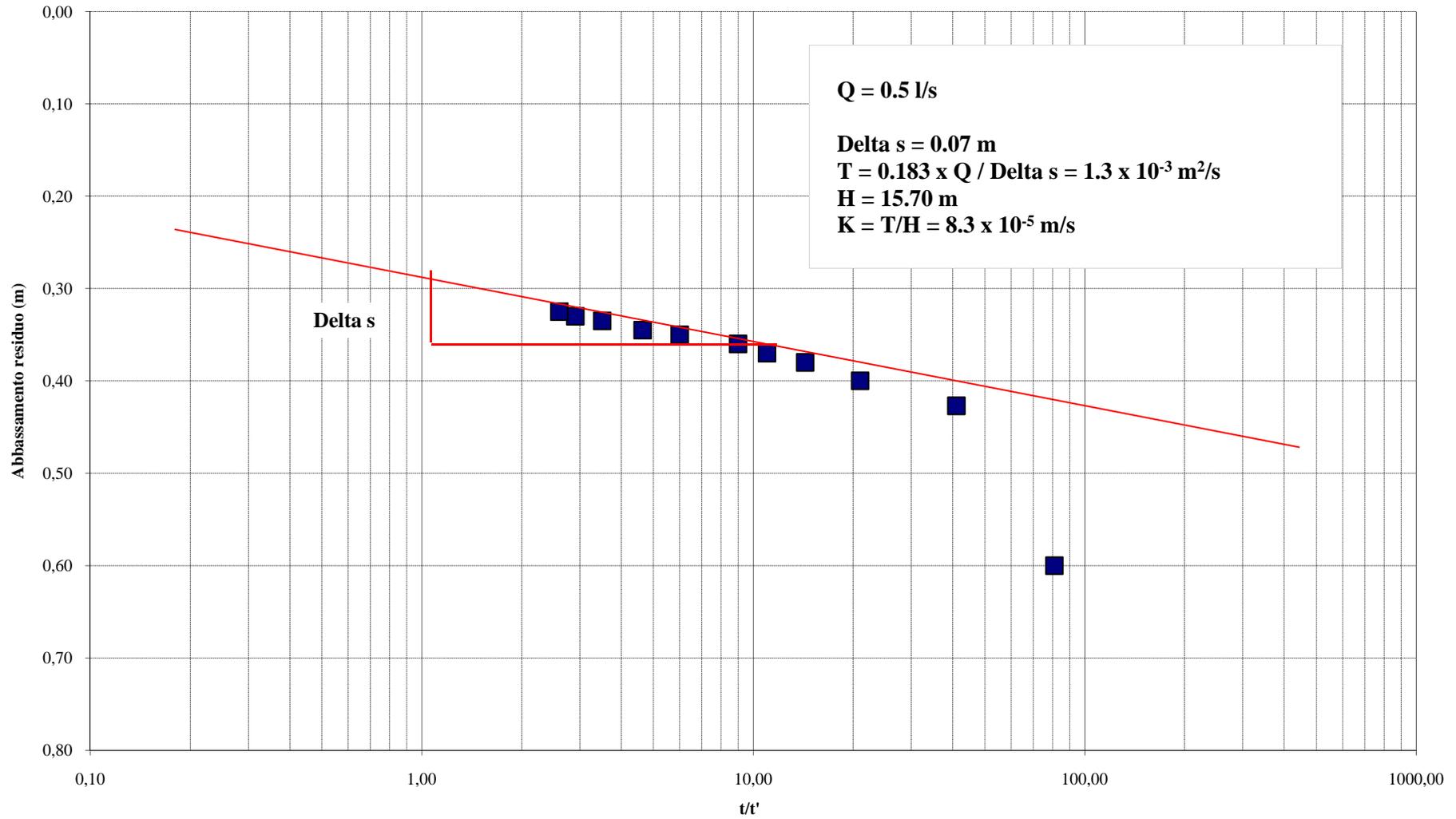
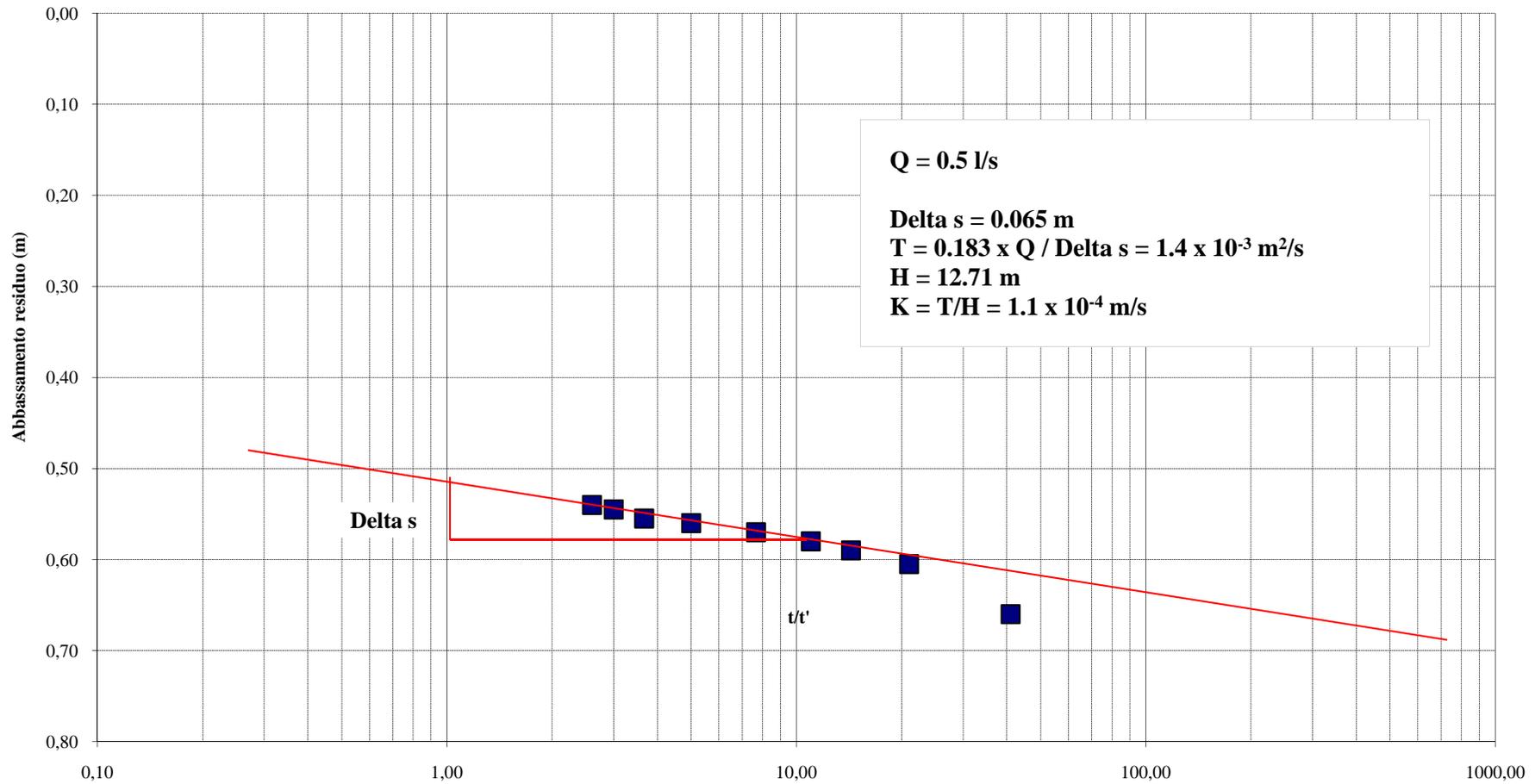


Fig. 4.3 - Porto Marina di Pisa - Piezometro S17
Risalita dopo 40 minuti di spurgo alla portata di 0.5 l/s
Data: 23/4/2005



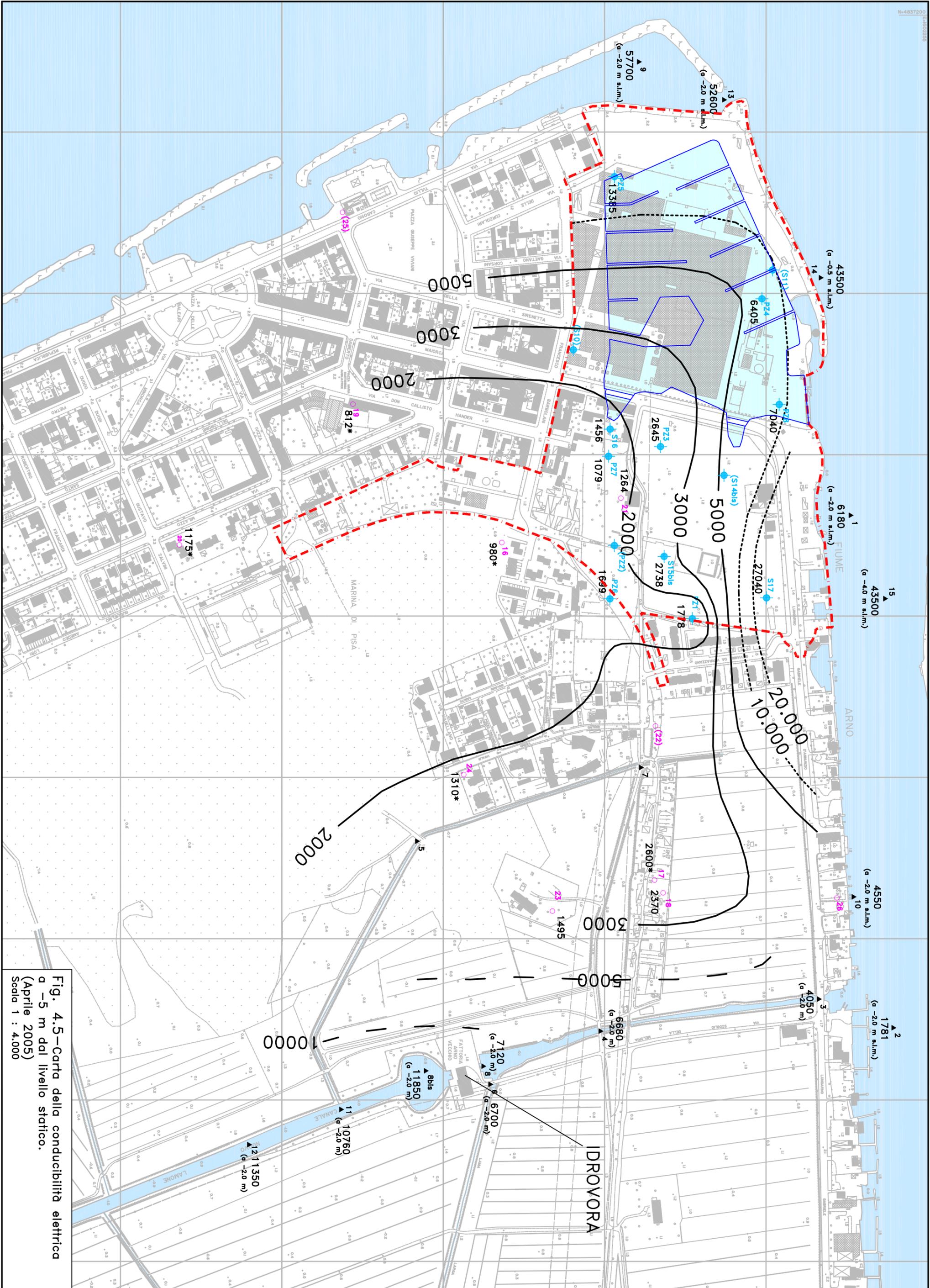
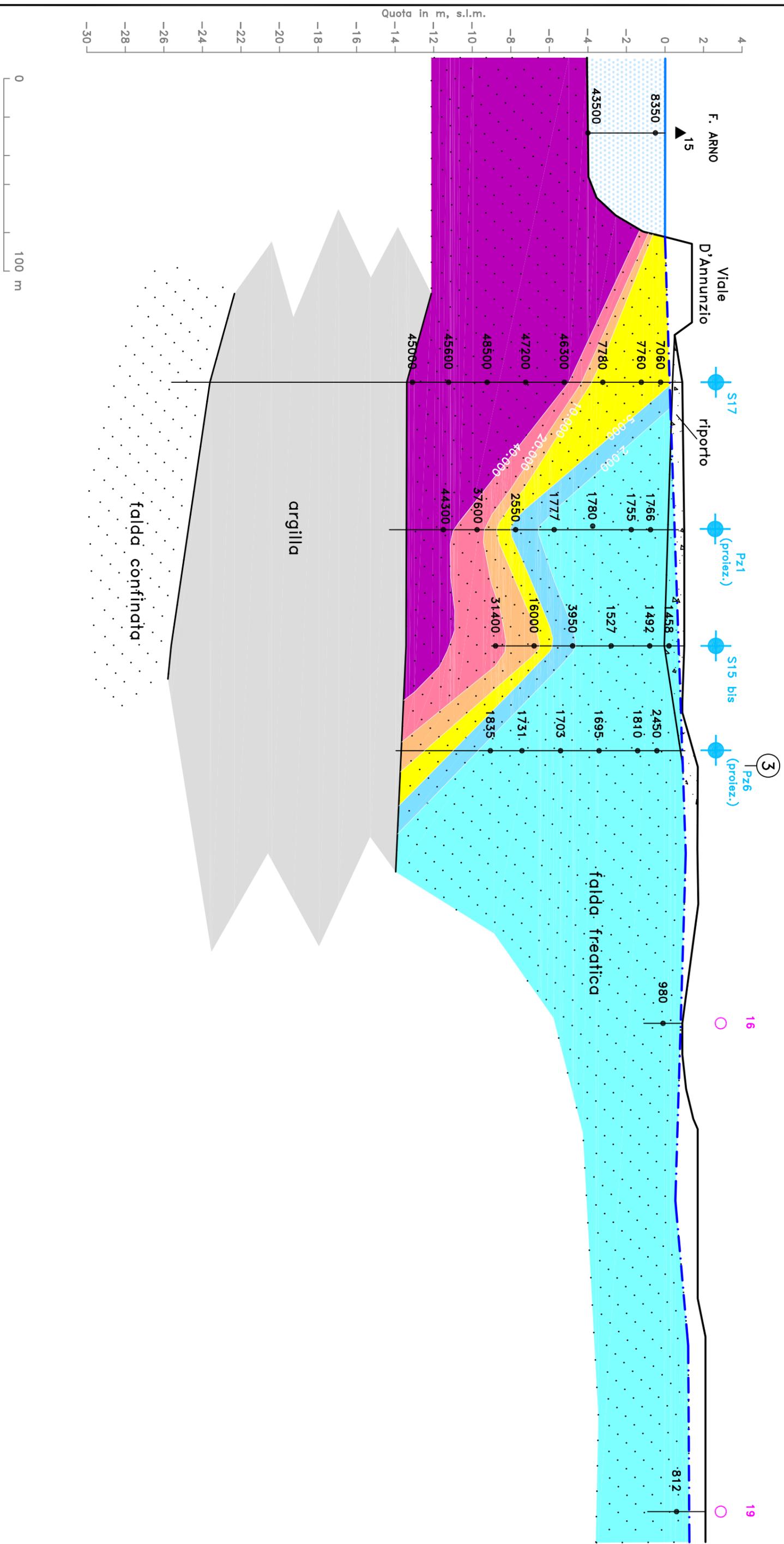
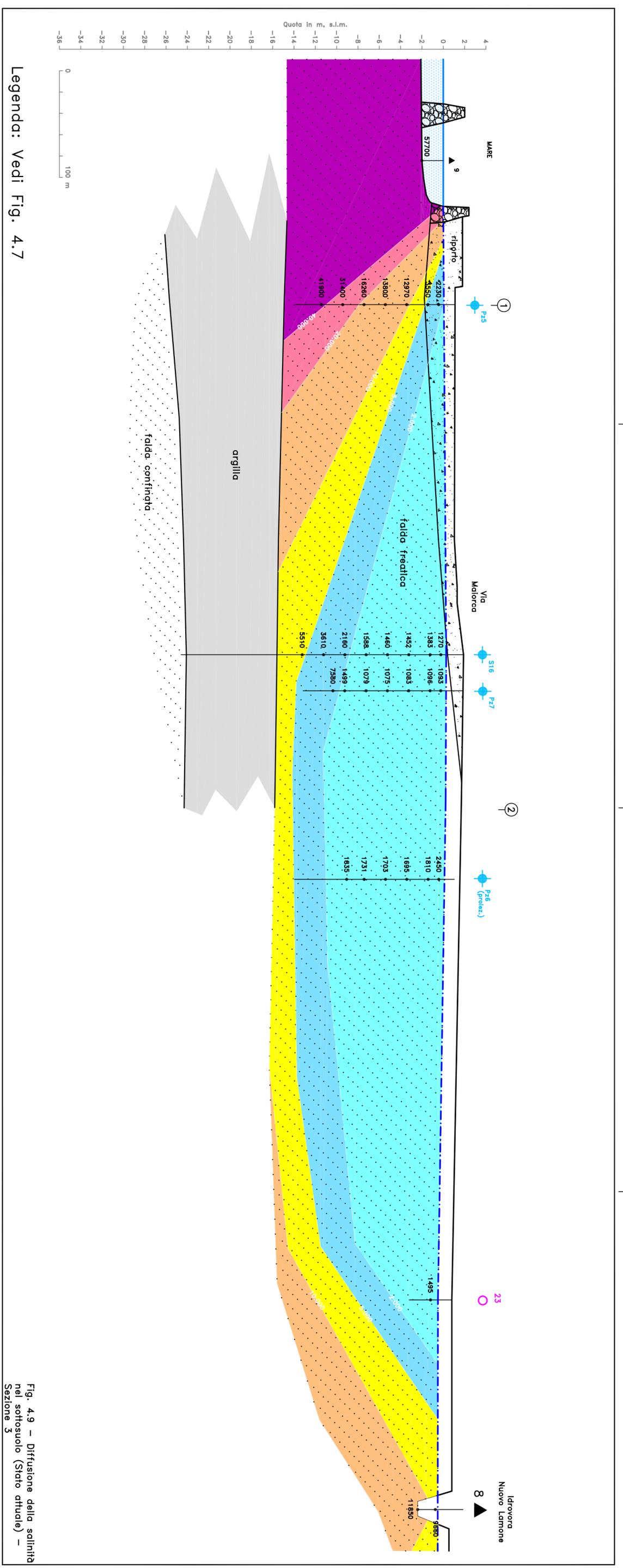


Fig. 4.5—Carta della conducibilità elettrica
a -5 m dal livello statico.
(Aprile 2005)
Scala 1 : 4.000



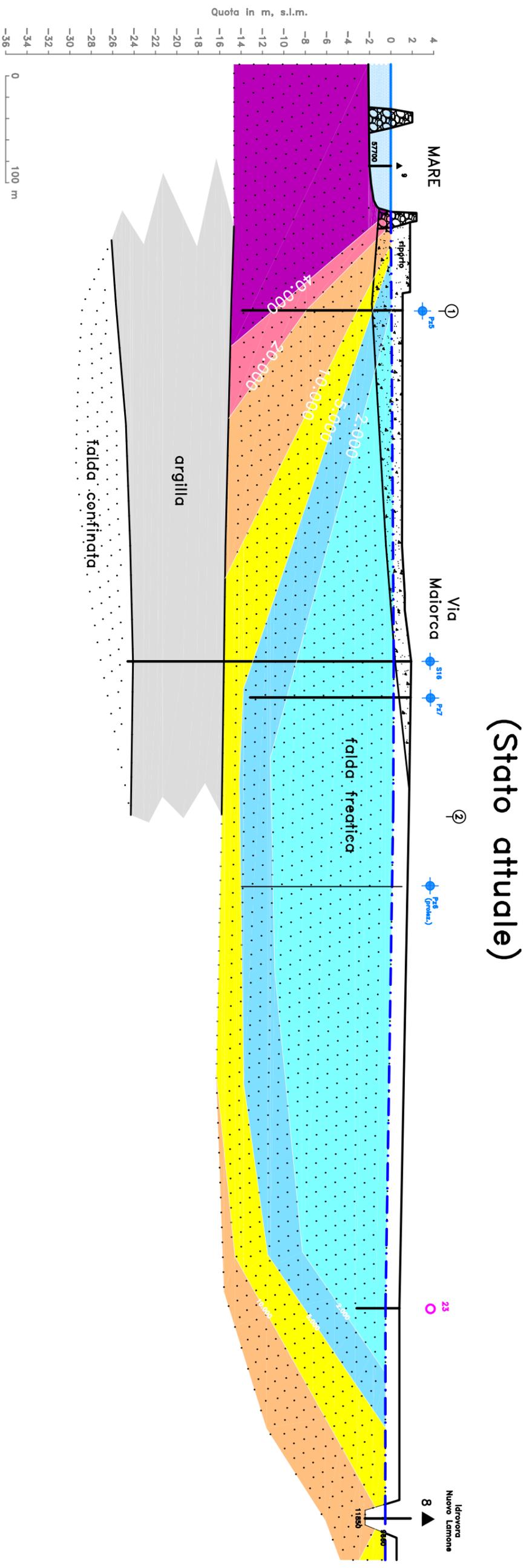
Legenda: Vedi Fig. 4.7

Fig. 4.8 – Diffusione della salinità nel sottosuolo (Stato attuale) – Sezione 2

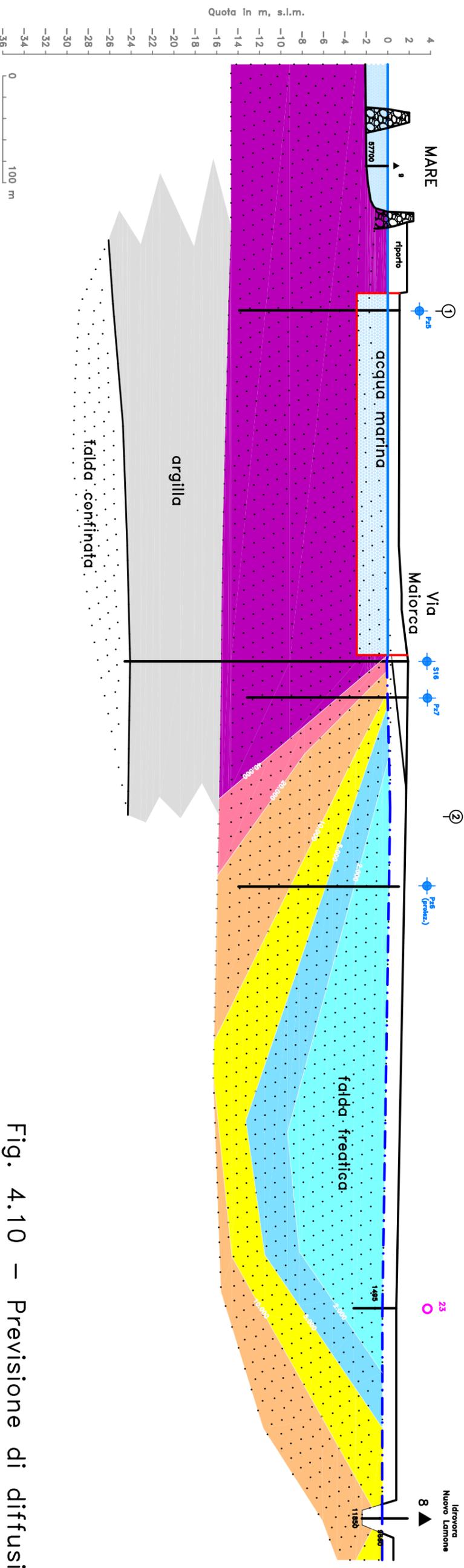


Legenda: Vedi Fig. 4.7

Fig. 4.9 – Diffusione della salinità nel sottosuolo (Stato attuale) – Sezione 3



(Stato di progetto)



Legenda: Vedi Fig. 4.7

Fig. 4.10 – Previsione di diffusione della salinità nel sottosuolo nello stato di progetto – Sezione 3

ANNESSO 1

- a) Logs dei sondaggi S10÷S17**
- b) Prove geotecniche di laboratorio**
- c) Granulometrie**

a) Logs dei sondaggi S10÷S17

SONDAGGIO S10

STRATIGRAFIA			CAMPIONI	
Profondità dal p.r. (m)	Potenza (m)	Simbolo grafico	Profondità prelievo (m)	Tipo di prelievo
		Terreno di riporto: sabbia e ghiaia.		
150	150	Sabbia media, marrone, passante verso il basso a grigiastro, poco addensata.		
5.00			6.00	2-2-5
10.00			12.00	3-2-4
15.00	13.50	Limo sabbioso, grigiastro, poco consistente, con frequenti intercalazioni di livelli centimetrici di sabbia fine limosa grigiastro.		
23.00			23.00	Fareli soliti Pressione
25.40	10.40	Sabbia media, a tratti grossolana, marrone-grigiastro, molto addensata, con frequenti resti di lamellibranchi.		
30.00			27.00	5-15-25
35.00			34.50	28-50-13
36.00	10.60			
				Ritrazione con conalere sem- plice a secco 1,00 g rinnestimento

SONDAGGIO S11

STRATIGRAFIA			DROLOGIA		METODO DI PERFORAZIONE	METODO DI STABILIZZAZIONE	PEZOMETRO
Profondità dal p.c. (m)	Potenza (m)	Simbolo grafico	Descrizione litologica	Profondità di rinvenim. (m)			
			Materiale di riporto.				
2.80	2.80			1.46			
3.00	0.20						
			Sabbia da fine a media, marrone, moderatamente addensata. Limo grigiastro, poco consistente.		● 3.00	4-4-4	
4.50	1.50						
5.00			Sabbia, da marrone a grigiastro, da fine a media, poco addensata.				
7.50	3.00				● 7.50	1-2-1	
8.00	0.50						
			Sabbia, da marrone a grigiastro, c/s, poco addensata.				
8.90	0.90						
			Limo grigiastro, debolembente sabbioso, a tratti torboso, poco consistente.				
9.70	0.80						
			Torba marrone-nerastra fibrosa. Sabbia fine grigiastro, poco addensata, a tratti debolembente limosa.		● 12.00	2-3-5	
14.50	4.80						
			Limo argiloso, da grigio a nerastro, a tratti debolembente sabbioso, poco consistente, intercalato a livelli centimetrici di sabbia fine grigiastro.				
20.00							
20.50	5.90						

SONDAGGIO S12

STRATIGRAFIA			● CPT (m) N° COLP ○ PT (m) kg/cm²	DIA METRO DEL FORO (mm)	METODO DI PERFORAZIONE	METODO DI STABILIZZAZIONE
Profondità dal p.c. (m)	Potenza (m)	Simbolo grafico				
		[Pattern: diagonal lines]				
1.50	1.50					
		[Pattern: dots]				
5.00			● 4.50 6-8-11			
6.66	5.00					
		[Pattern: horizontal lines]				
10.00			● 9.00 10-11-12			
		[Pattern: dots]				
15.00	8.40		● 13.50 6-8-10			
		[Pattern: horizontal lines]				
20.00	5.00					

SONDAGGIO S14

STRATIGRAFIA			CAMPIONI					
Profondità dal p.c. (m)	Potenza (m)	Simbolo grafico	Descrizione litologica	Profondità di prelievo (m)	N° colpi	DIAMETRO DEL FORO (mm)	METODO DI PERFORAZIONE	METODO DI STABILIZZAZIONE
		[Pattern: diagonal lines]	Terreno di riporto: sabbia e ciottoli					
1.00	1.00							
1.50	0.50	[Pattern: horizontal dashes]	Sabbia media, grigio-nerastra, debolmente torbosa, poco addensata.					
		[Pattern: vertical dashes]	Sabbia fine, grigia, debolmente limosa, poco addensata.					
4.50	3.00							
5.00	0.50	[Pattern: horizontal dashes]	Sabbia media, grigia, poco addensata.					
5.60	0.60	[Pattern: vertical dashes]	Limo sabbioso, grigio, poco consistente.					
		[Pattern: diagonal lines]	Sabbia media, a tratti grossolana, da grigiastro-marroncina a marroncina, poco addensata, debolmente limosa fra 9,00 e 9,40 m dal p.c.			● 5.00 2- 2- 6		
10.00								
11.00	5.40	[Pattern: horizontal dashes]	Sabbia fine, da marroncina a marroncino-grigiastro, decisamente grigia nei centimetri finali, poco addensata.			● 10.50 3- 4- 5		
		[Pattern: vertical dashes]	Limo sabbioso grigio, a tratti argilloso, poco consistente, con intercaiazioni di livelli centimetrici di sabbie fini grigiastre.					
15.30	4.30					● 15.00 4- 4- 3		
20.00		[Pattern: horizontal dashes]						
25.00		[Pattern: vertical dashes]						
26.10	10.80	[Pattern: diagonal lines]	Sabbia media, a tratti grossolana, da grigia a grigio-chiara, molto addensata.			● 27.00 18-22-36		
30.00								
33.00	6.90	[Pattern: horizontal dashes]				● 33.00 26-50-15	W	Indicazione con carattere semipale a secco
		[Pattern: vertical dashes]					Tubi di rivestimento	

COMMITTENTE: IPI spa
 CANTIERE: Porto Marina di Pisa
 SONDAGGIO: **S16**
 Quota p.c. (m, s.l.m.): 1.90
 Data inizio: 21/04/05
 Data fine: 22/04/05

Quota m s.l.m.	Profondità m, p.c.	Campioni Tipo Num. Profondità	Livello falda m, p.c.	Colonna Stratigrafica	Descrizione litologica	S.P.T.		Percentuale di recupero				Prove di Permeabilità <input type="checkbox"/> Lugeon (UL) <input checked="" type="checkbox"/> Lefranc k (cm/s)	Diametro perforazione mm	Metodo perforazione	Rivestimento mm	Schema di completamento	Note
						Num. Profondità	N	20%	40%	60%	80%						
1			1.63 (23/04)		Terreno di riporto sabbioso con scarsa ghiaia e frammenti di laterizi, marrone, asciutto												
2					Sabbia media, debolmente ghiaiosa, marrone, satura	1	9	9	12								
3	3.00	1			Sabbia medio-fine, limosa, scarsamente addensata, marrone grigiastra, satura												
4	3.45				Sabbia medio-fine, sciolta, marrone, satura	2	3	5	7								
5					Sabbia medio-fine, sciolta, marrone grigiastra, satura	3	9	10	14								
6	6.00	2			Sabbia fine, limosa, mediamente addensata, marrone grigiastra, satura												
7	6.45				Sabbia eterogranulare, sciolta, marrone grigiastra, satura	4	22	14	13								
8					Sabbia fine, limosa, scarsamente addensata, marrone grigiastra, satura												
9	9.00	3			Sabbia fine, limosa, scarsamente addensata, marrone grigiastra, satura												
10	9.45				Sabbia fine, limosa, scarsamente addensata, marrone grigiastra, satura												
11					Sabbia fine, limosa, mediamente addensata, grigia, satura												
12					Sabbia fine, limosa, mediamente addensata, grigia, satura												
13	13.50	4			Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
14	13.95				Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
15					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
16					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
17					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
18	18.0	1			Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
19	18.6				Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
20					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
21					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
22					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
23					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
24					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
25					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
26					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												
27					Argilla limosa, grigia, umida (orizzonte centimetrico sabbioso con torba a 18,80 m)												

Sistemazione esterna:
 Chiusino fuori terra

Cimentazione
 Tubo cieco
 Tubo fessurato
 Drenaggio
 Fondello
 Riempimento con argilla bentonitica

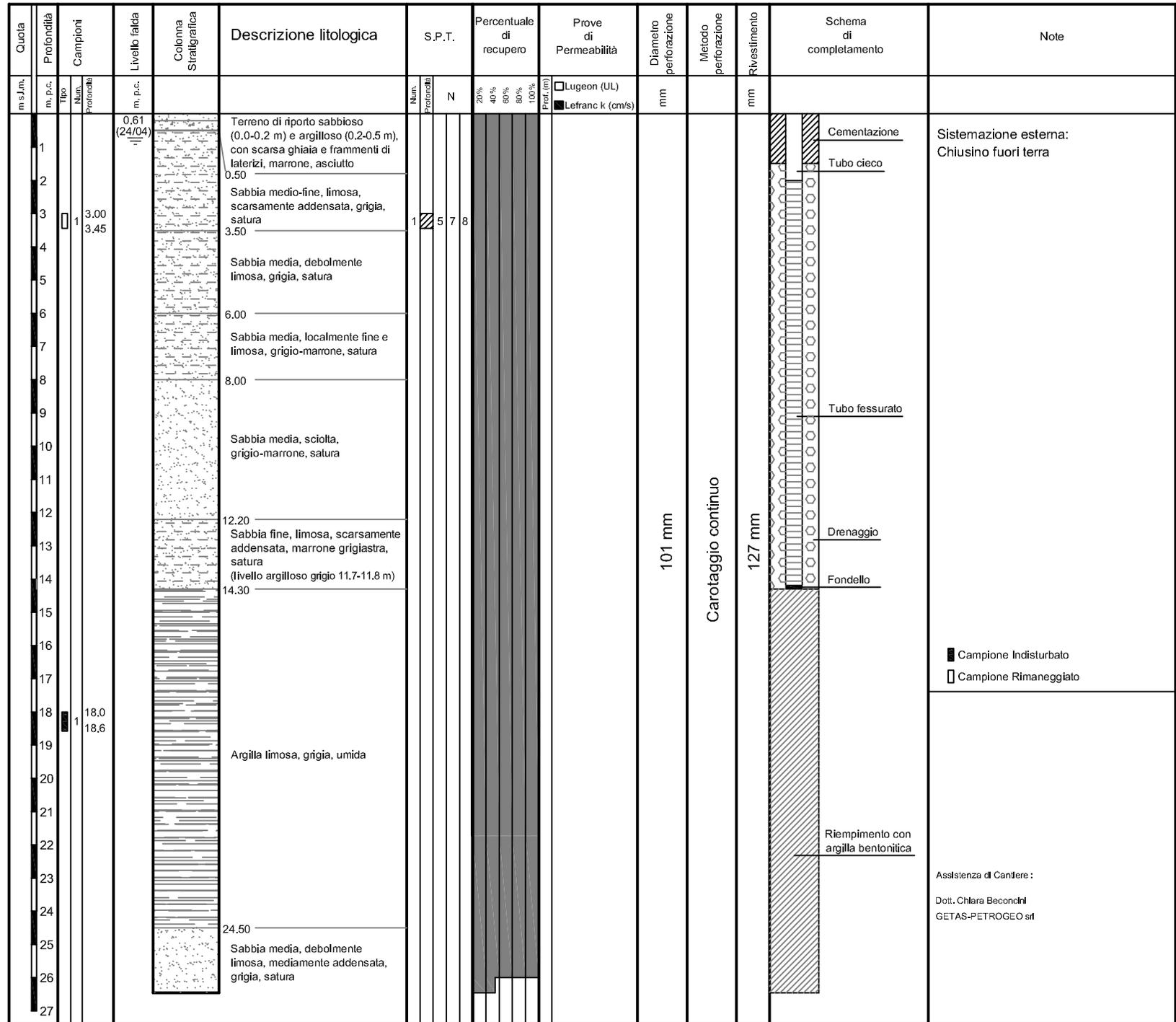
k = (cm/s)
 k = (cm/s)

101 mm
 Carotaggio continuo
 127 mm

Campione Indisturbato
 Campione Rimaneggiato

Assistenza di Cantiere:
 Dott. Chiara Beconchi
 GETAS-PETROGEO srl

COMMITTENTE: IPI spa
 CANTIERE: Porto Marina di Pisa
 SONDAGGIO: **S17**
 Quota p.c. (m, s.l.m.): 0.70
 Data inizio: 22/04/05
 Data fine: 23/04/05



b) Prove geotecniche di laboratorio

**DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI**

SONDAGGIO N. 510

COMMITTENTE : Borello S.p.A.
 CANTIERE : Marina di Pisa
 LAVORO : Sondaggi geognostici
 DATA :
 PESO ASTE : kg
 Ø CAMPIONATORE : mm
 H. DI CADUTA : m
 ATTREZZATURA : Rotary
 QUOTA :
 PROF. FALDA :
 DIAMETRO ASTE:
 PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	5.85 - 6.00 6.00 - 6.15 6.15 - 6.30	2 2 5	6.00 - 6.30	7	sabbia media
2	11.85 - 12.00 12.00 - 12.15 12.15 - 12.30	3 2 4	12.00 - 12.30	6	sabbia media
3	26.85 - 27.00 27.00 - 27.15 27.15 - 27.30	5 15 25	27.00 - 27.30	40	sabbia media a tratti grossolana
4	34.35 - 34.50 34.50 - 34.65 34.65 - 34.80	28 50 13	34.50 - 34.80	63	sabbia media a tratti grossolana

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cmc	μ	Vs m/sec	qc kg/cmq	ko kg/cmc	CLASSIFICA
1	7	29.00	26	110	1.42	0.62	145.52	32	1.44	POCO ADDENSATO
2	6	28.42	23	105	1.38	0.53	134.72	27	1.22	POCO ADDENSATO
3	40	38.25	72	138	2.00	0.32				ADDENSATO
4	63	45.00	94	390	2.11	0.13				MOLTO ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi
 Ø - Angolo di attrito
 Dr - Densita' relativa
 Es - Modulo di Young
 γ - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's
 Vs - Velocita' delle onde di taglio
 qc - Resistenza alla punta (CPT)
 Ko - Modulo di sottofondo

**DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI**

SONDAGGIO N. 511

COMMITTENTE : Borello S.p.A.
 CANTIERE : Marina di Pisa
 LAVORO : Sondaggi geognostici
 DATA :
 PESO ASTE : kg
 Ø CAMPIONATORE : mm
 H. DI CADUTA : m
 ATTREZZATURA : Rotary
 QUOTA :
 PROF. FALDA : 1.46
 DIAMETRO ASTE: mm
 PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	2.85 - 3.00 3.00 - 3.15 3.15 - 3.30	4 4 4	3.00 - 3.30	8	limo
2	7.35 - 7.50 7.50 - 7.65 7.65 - 7.80	1 2 1	7.50 - 7.80	3	limo deb.sabbioso
3	11.85 - 12.00 12.00 - 12.15 12.15 - 12.30	2 3 5	12.00 - 12.30	8	sabbia fine deb. sabbiosa

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cmc	μ	Vs m/sec	qc kg/cmq	ko kg/cmc	CLASSIFICA
1	8	29.17	28	115	1.46	0.64	155.56	36	1.67	POCO ADDENSATO
2	3	27.51	15	90	1.25	0.24	95.26	14	0.51	SCIOLTO
3	8	29.17	28	42	1.46	0.64				POCO ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi

Ø - Angolo di attrito

Dr - Densita' relativa

Es - Modulo di Young

y - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's

Vs - Velocita' delle onde di taglio

qc - Resistenza alla punta (CPT)

Ko - Modulo di sottofondo

**DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI**

SONDAGGIO N. 512

COMMITTENTE :

CANTIERE :

LAVORO :

DATA :

PESO ASTE : kg

Ø CAMPIONATORE : mm

H. DI CADUTA : m

ATTREZZATURA :

QUOTA :

PROF. FALDA : 1.50

DIAMETRO ASTE : mm

PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	4.35 - 4.50 4.50 - 4.65 4.65 - 4.80	6 8 11	4.50 - 4.80	19	sabbia da fine a media
2	8.85 - 9.00 9.00 - 9.15 9.15 - 9.30	10 11 12	9.00 - 9.30	23	sabbia da fine a media
3	13.35 - 13.50 13.50 - 13.65 13.65 - 13.80	6 8 10	13.50 - 13.80	18	sabbia da fine a media

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cm ³	μ	Vs m/sec	qc kg/cmq	ko kg/cm ³	CLASSIFICA
1	19	32.25	50	170	1.77	0.21	239.74	86	3.87	MODERATAMENTE ADDENSATO
2	23	33.34	55	190	1.85	0.06	263.77	104	4.56	MODERATAMENTE ADDENSATO
3	18	32.08	48	72	1.75	0.28				MODERATAMENTE ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi

Ø - Angolo di attrito

Dr - Densita' relativa

Es - Modulo di Young

Y - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's

Vs - Velocita' delle onde di taglio

qc - Resistenza alla punta (CPT)

Ko - Modulo di sottofondo

**DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI**

SONDAGGIO N. 513

COMMITTENTE : Borello S.p.A.
 CANTIERE : Marina di Pisa
 LAVORO : Sondaggi geognostici
 DATA :
 PESO ASTE : kg
 Ø CAMPIONATORE : mm
 H. DI CADUTA : m
 ATTREZZATURA : Rotary
 QUOTA :
 PROF. FALDA : 1.5
 DIAMETRO ASTE : mm
 PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	5.85 - 6.00 6.00 - 6.15 6.15 - 6.30	3 5 0	6.00 - 6.30	5	sabbia media
2	11.35 - 11.50 11.50 - 11.65 11.65 - 11.80	4 9 12	11.50 - 11.80	21	sabbia da media a fine deb. limosa
3	28.35 - 28.50 28.50 - 28.65 28.65 - 28.80	9 27 64	28.50 - 28.80	91	sabbia media a tratti grossolana

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cm ³	μ	Vs m/sec	qc kg/cmq	ko kg/cm ³	CLASSIFICA
1	5	28.25	21	100	1.34	0.49	122.98	23	0.99	POCO ADDENSATO
2	21	33.00	53	180	1.81	0.00	252.04	95	4.22	MODERATAMENTE ADDENSATO
3	91	53.00								MOLTO ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi
 Ø - Angolo di attrito
 Dr - Densita' relativa
 Es - Modulo di Young
 y - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's
 Vs - Velocita' delle onde di taglio
 qc - Resistenza alla punta (CPT)
 ko - Modulo di sottofondo

**DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI**

SONDAGGIO N. 514

COMMITTENTE : Borello S.p.A.
 CANTIERE : Marina di Pisa
 LAVORO : Sondaggi geognostici
 DATA :
 PESO ASTE : kg
 Ø CAMPIONATORE : mm
 H. DI CADUTA : m
 ATTREZZATURA : Rotary
 QUOTA :
 PROF. FALDA : 1.5
 DIAMETRO ASTE : mm
 PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	5.85 - 6.00 6.00 - 6.15 6.15 - 6.30	2 2 6	6.00 - 6.30	8	sabbia media a tratti grossolana
2	10.35 - 10.50 10.50 - 10.65 10.65 - 10.80	3 4 5	10.50 - 10.80	9	sabbia media
3	14.85 - 15.00 15.00 - 15.15 15.15 - 15.30	4 4 3	15.00 - 15.30	7	sabbia fine limo sabbioso
4	26.85 - 27.00 27.00 - 27.15 27.15 - 27.30	19 22 38	27.00 - 27.30	58	sabbia media a tratti grossolana
5	32.85 - 33.00 33.00 - 33.15 33.15 - 33.30	26 50 15	33.00 - 33.30	65	sabbia media a tratti grossolana

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cm ³	μ	Vs m/sec	qc kg/cmq	ko kg/cm ³	CLASSIFICA
1	8	29.17	28	115	1.46	0.64	155.56	36	1.67	POCO ADDENSATO
2	9	29.34	31	120	1.50	0.65	165.00	41	1.89	POCO ADDENSATO
3	7	29.00	26	39	1.42					POCO ADDENSATO
4	58	43.34	88	365	2.07					MOLTO ADDENSATO
5	65	45.34	96	213	2.13					MOLTO ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi
 Ø - Angolo di attrito
 Dr - Densita' relativa
 Es - Modulo di Young
 γ - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's
 Vs - Velocita' delle onde di taglio
 qc - Resistenza alla punta (CPT)
 ko - Modulo di sottofondo

DIAGRAMMA RIASSUNTIVO PROVE SPT
E PARAMETRI GEOTECNICI CALCOLATI

SONDAGGIO N. 515

COMMITTENTE : Borello S.p.A.
 CANTIERE : Marina di Pisa
 LAVORO : Sondaggi geognostici
 DATA :
 PESO ASTE : kg
 Ø CAMPIONATORE : mm
 H. DI CADUTA : m
 ATTREZZATURA : Rotary
 QUOTA :
 PROF. FALDA : 1.50
 DIAMETRO ASTE: mm
 PESO MAGLIO : kg

Prova N.	Profondita' (m)	N.colpi	Profondita' (m)	N/30 cm	NOTE
1	5.85 - 6.00 6.00 - 6.15 6.15 - 6.30	3 4 7	6.00 - 6.30	11	sabbia da media a fine
2	10.35 - 10.50 10.50 - 10.65 10.65 - 10.80	5 10 11	10.50 - 10.80	21	sabbia da media a fine
3	26.85 - 27.00 27.00 - 27.15 27.15 - 27.30	33 50 15	27.00 - 27.30	65	sabbia media a tratti grossolana sabbia media limosa

PROVA N.	Nspt	Ø gradi	DR %	Es kg/cmq	Y g/cm ³	μ	Vs m/sec	qc kg/cm ²	ko kg/cm ²	CLASSIFICA
1	11	30.08	35	130	1.56	0.66	182.41	50	2.31	MODERATAMENTE ADDENSATO
2	21	33.00	53	180	1.81		252.04	95	4.22	MODERATAMENTE ADDENSATO
3	65	45.34	96	213	2.13					MOLTO ADDENSATO

LEGENDA

Nspt - Numero di colpi

Ø - Angolo di attrito

Dr - Densita' relativa

Es - Modulo di Young

Y - Peso di volume

μ - Modulo di Poisson's

Vs - Velocita' delle onde di taglio

qc - Resistenza alla punta (CPT)

ko - Modulo di sottofondo



IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali

Certificati di prova n. 857-860/2005

Firenze li 17/05/2005

SETTORE: meccanica delle terre

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

COMMITTENTE: Getas Petrogeo

LOCALITA': Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)

DATA ESECUZIONE PROVE: 11/05/05 - 17/05/05

CAMPIONI:

S16C1 profondità 18.0 - 18.6 m

S17C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Prove eseguite

- 1 - Umidità naturale (CNR - UNI 10008)
- 2 - Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)
- 3 - Limiti di Atterberg (ASTM D 4318/84)
- 4 - Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166/85)

Lo sperimentatore

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi



Certificato di prova n. 857/2005

Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S16C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data apertura campione: 11/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali

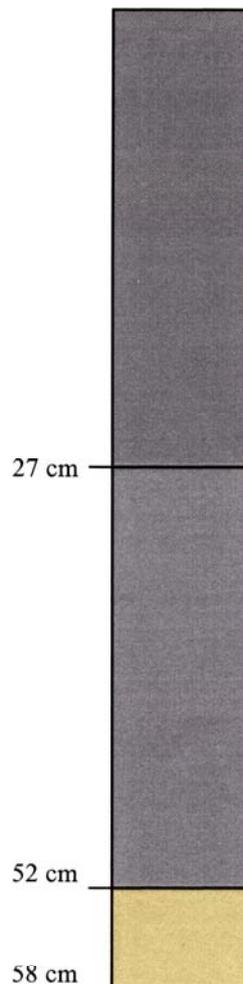
Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 27 cm: limo argilloso da inconsistente a poco consistente con presenza di materiale organico colore grigio bluastrò scuro a tratti grigio verdastro scuro

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, E.L.L.

27 - 52 cm: limo argilloso inconsistente con presenza di materiale organico colore grigio bluastrò scuro a tratti grigio verdastro scuro

52 - 58 cm: sabbia limosa colore marrone oliva



Lo sperimentatore

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi



Certificato di prova n. 857/2005

Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S16C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data prova: 11/05/05 - 17/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



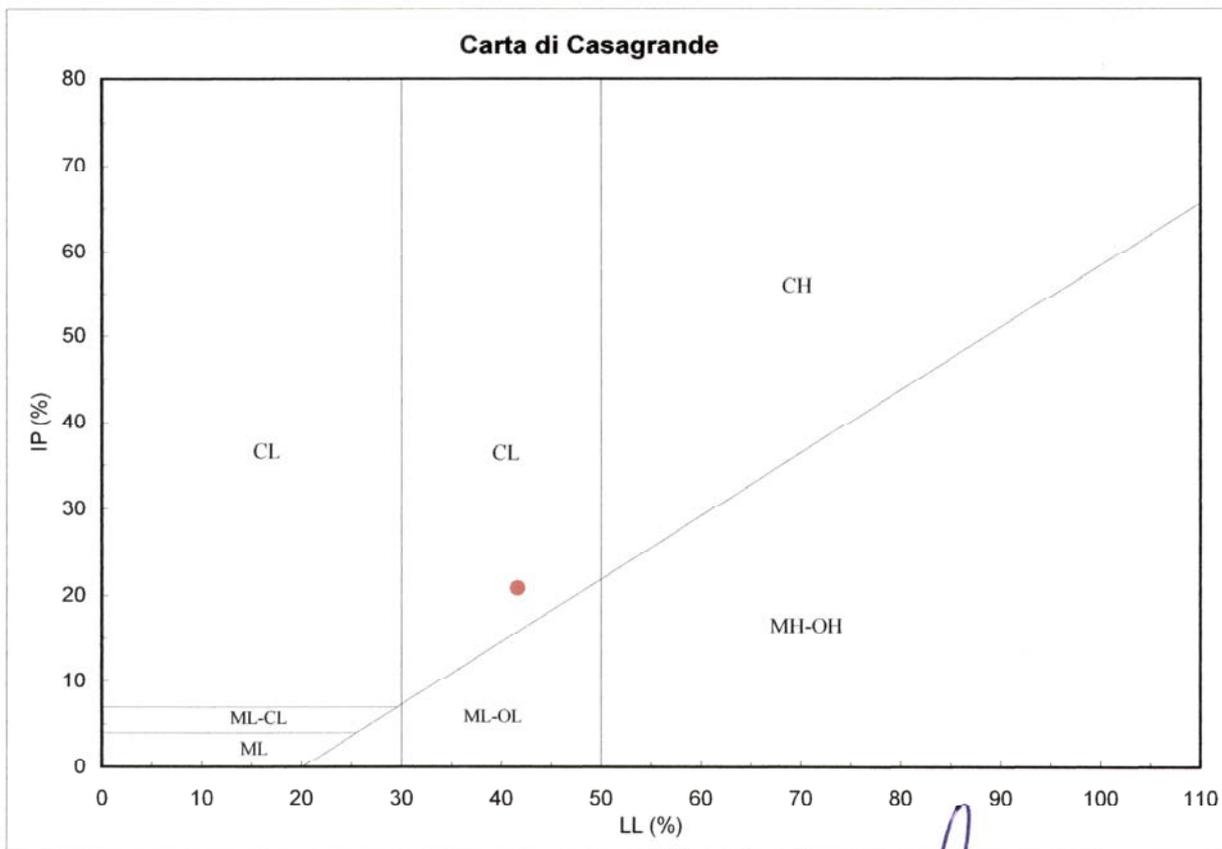
IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali

Contenuto d'acqua (CNR - UNI 10008)

Limiti di Atterberg (CNR-UNI 10014)

Contenuto d'acqua (Wn) =	38.83%	Limite di liquidità (LL) =	41.6%
Limite di plasticità (LP) =	20.8%	Indice di plasticità (IP) =	20.9%
Indice di consistenza (Ic) =	0.13		

CL = argille inorganiche di media plasticità



Lo sperimentatore

Il direttore del Laboratorio

Ing. Francesco Politi



Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S16C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data prova: 11/05/05 - 12/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali



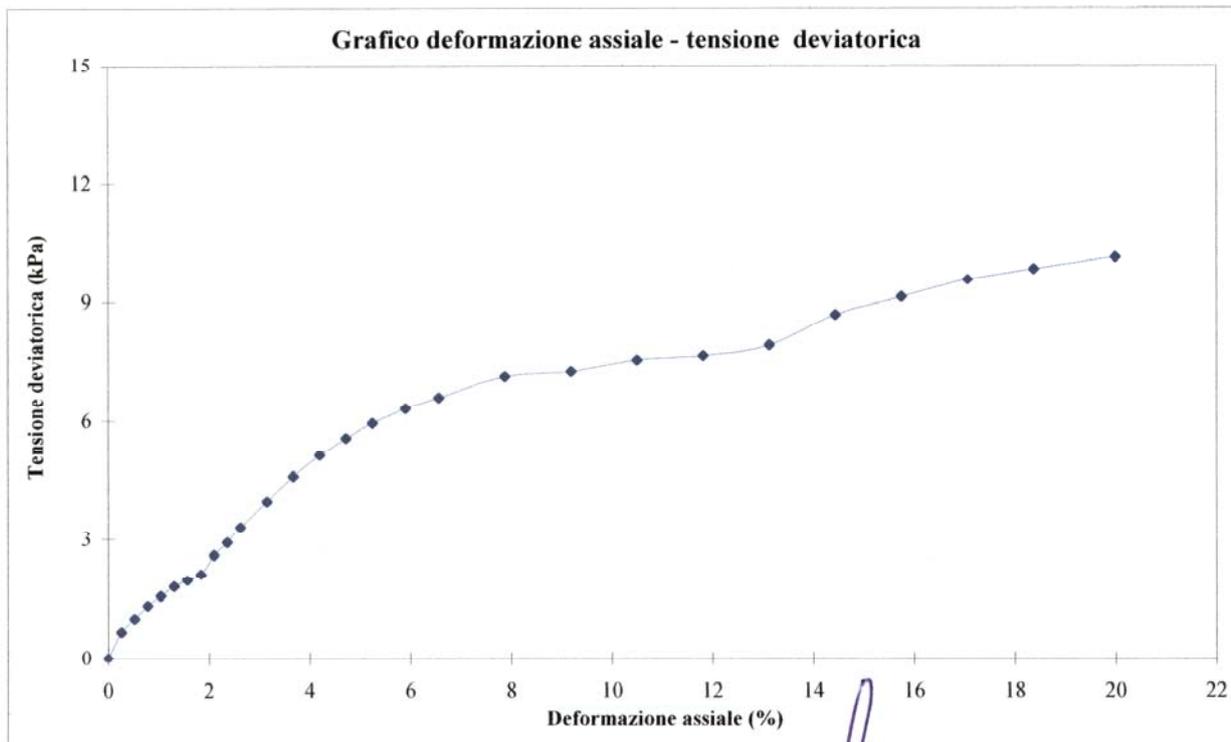
Contenuto d'acqua (ASTM D 2216)

Peso di volume (BS 1377 T15/e)

Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166)

Peso di volume naturale (kN/m ³)	17.6	Sigma a rottura (kPa)	10.1
Peso di volume secco (kN/m ³)	12.8	Coesione non drenata (kPa)	5.1
Contenuto d'acqua (%)	37.67	Modulo elastico	
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	12

ϵ	σ	ϵ	σ	ϵ	σ
(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(kPa)
0.26	0.7	2.63	3.3	9.19	7.2
0.53	1.0	3.15	3.9	10.50	7.5
0.79	1.3	3.68	4.6	11.81	7.6
1.05	1.6	4.20	5.1	13.13	7.9
1.31	1.8	4.73	5.6	14.44	8.7
1.58	2.0	5.25	5.9	15.75	9.1
1.84	2.1	5.91	6.3	17.06	9.6
2.10	2.6	6.56	6.6	18.38	9.8
2.36	2.9	7.88	7.1	19.99	10.1



Lo sperimentatore

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi



Certificato di prova n. 859/2005

Pag. 1 di 2

Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S17C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data apertura campione: 11/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali

Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 61 cm: limo argilloso a tratti con livelletti limo sabbiosi da poco consistente a consistente verso il basso colore grigio verdastro scuro

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, E.L.L.



61 cm

Lo sperimentatore
[Signature]

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

[Signature]



Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S17C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data prova: 11/05/05 - 17/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



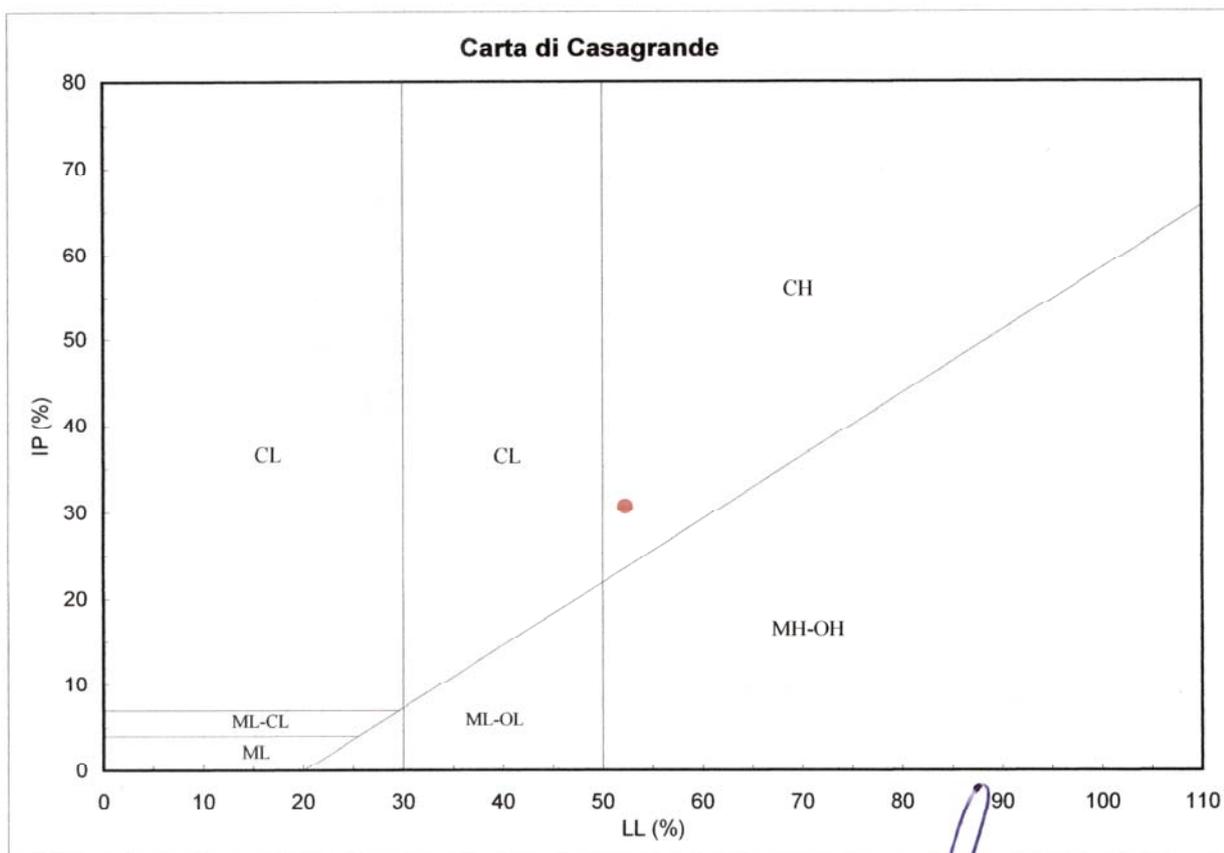
IGETECMA s.p.a.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali

Contenuto d'acqua (CNR - UNI 10008)

Limiti di Atterberg (CNR-UNI 10014)

Contenuto d'acqua (Wn) =	39.18%	Limite di liquidità (LL) =	52.2%
Limite di plasticità (LP) =	21.6%	Indice di plasticità (IP) =	30.7%
Indice di consistenza (Ic) =	0.43		

CH = argille inorganiche di alta plasticità



Lo sperimentatore
[Signature]

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi



Firenze li 17/05/2005

CAMPIONE: S17C1 profondità 18.0 - 18.6 m

Committente: Getas Petrogeo

Verbale d'accettazione n. 95/2005 del 04/05/05

Data prova: 11/05/05 - 12/05/05

Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)



IGETECMA s.a.s.
Istituto Sperimentale
di Geotecnica e Tecnologia
dei Materiali



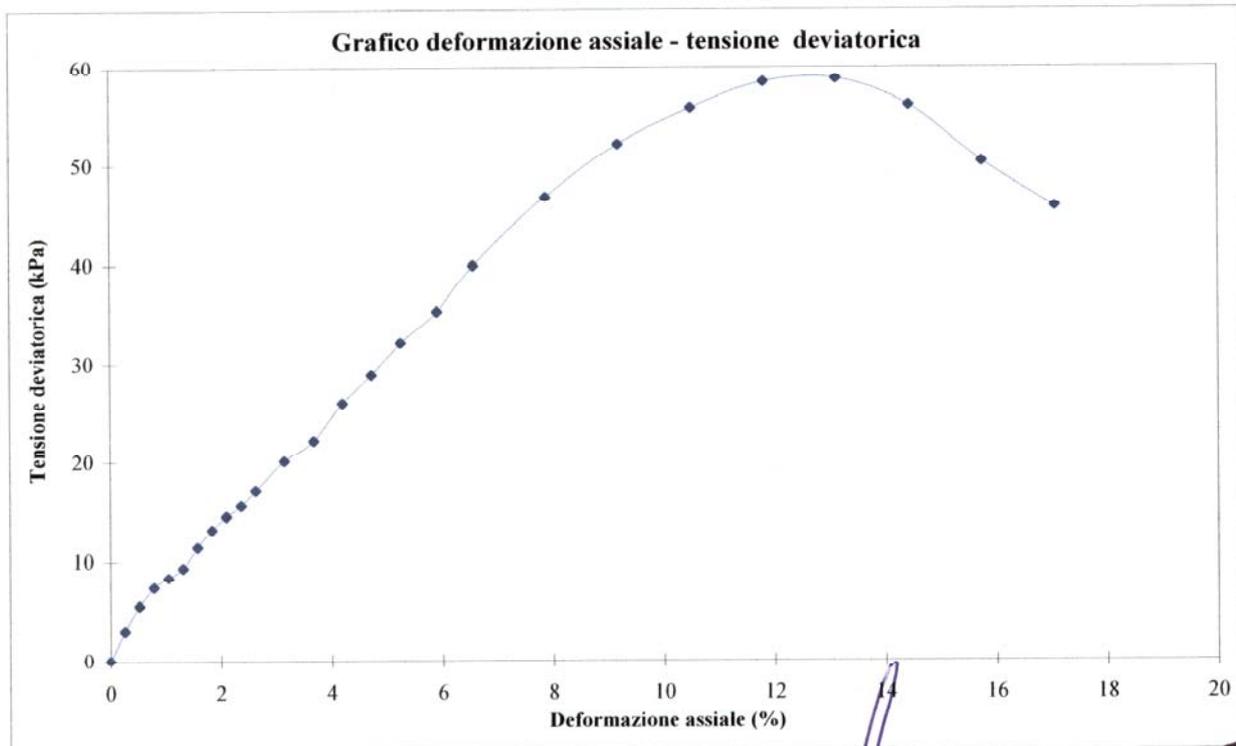
Contenuto d'acqua (ASTM D 2216)

Peso di volume (BS 1377 T15/e)

Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166)

Peso di volume naturale (kN/m ³)	17.5	Sigma a rottura (kPa)	58.7
Peso di volume secco (kN/m ³)	12.6	Coesione non drenata (kPa)	29.4
Contenuto d'acqua (%)	39.20	Modulo elastico	
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	554

ϵ (%)	σ (kPa)	ϵ (%)	σ (kPa)	ϵ (%)	σ (kPa)
0.26	3.0	2.63	17.2	9.19	52.1
0.53	5.5	3.15	20.1	10.50	55.7
0.79	7.3	3.68	22.3	11.81	58.4
1.05	8.3	4.20	26.0	13.13	58.7
1.31	9.3	4.73	28.8	14.44	56.0
1.58	11.3	5.25	32.0	15.75	50.3
1.84	13.2	5.91	35.3	17.06	45.7
2.10	14.5	6.56	39.9		
2.36	15.6	7.88	46.8		



Lo sperimentatore

Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi



TABELLA RIASSUNTIVA CERTIFICATI DI PROVA N. 857-860/2005

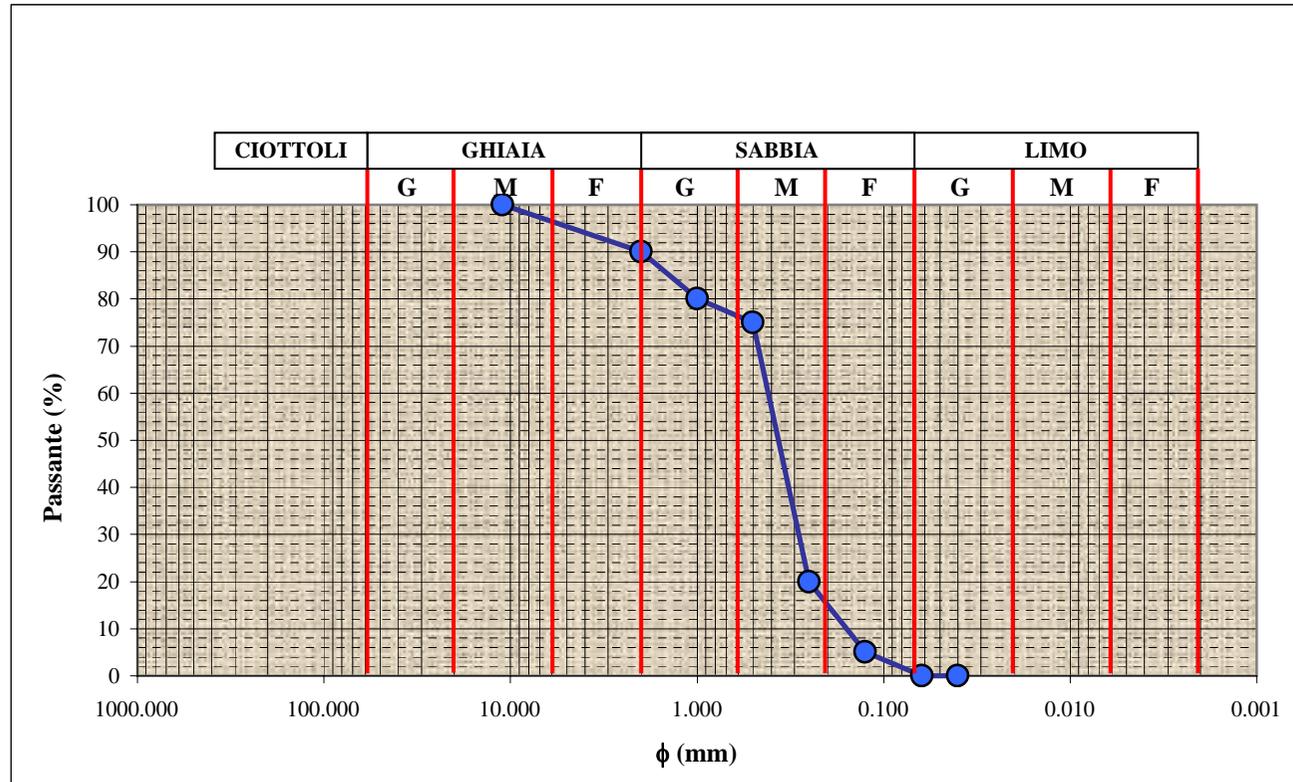
Località: Bocca dell'Arno, Marina di Pisa (PI)

CAMPIONE	S16C1	S17C1
Profondità metri	18.0 - 18.6	18.0 - 18.6
Prova E.L.L.		
Cu (kPa)	5.1	29.4
Eti (kPa)	12	554
Parametri fisici		
Peso volume naturale (kN/m ³)	17.6	17.5
Peso volume secco (kN/m ³)	12.8	12.6
Limiti di Atterberg		
Umidità naturale (%)	38.83	39.18
Limite liquido (%)	41.6	52.2
Limite plastico (%)	20.8	21.6
Indice plastico (%)	20.9	30.7
Indice di consistenza	0.13	0.43
Classificaz. Casagrande	CL	CH



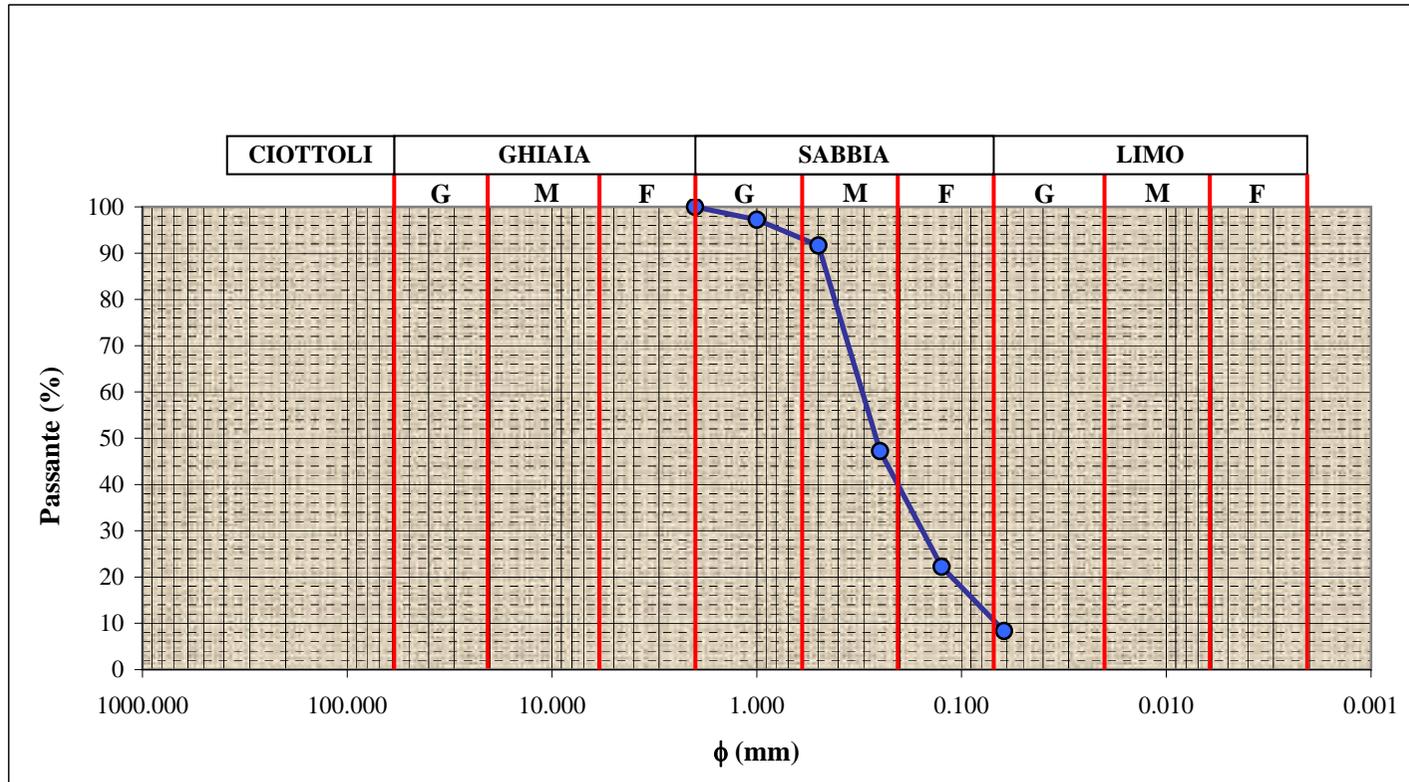
c) Granulometrie

S16 SPT1 3m



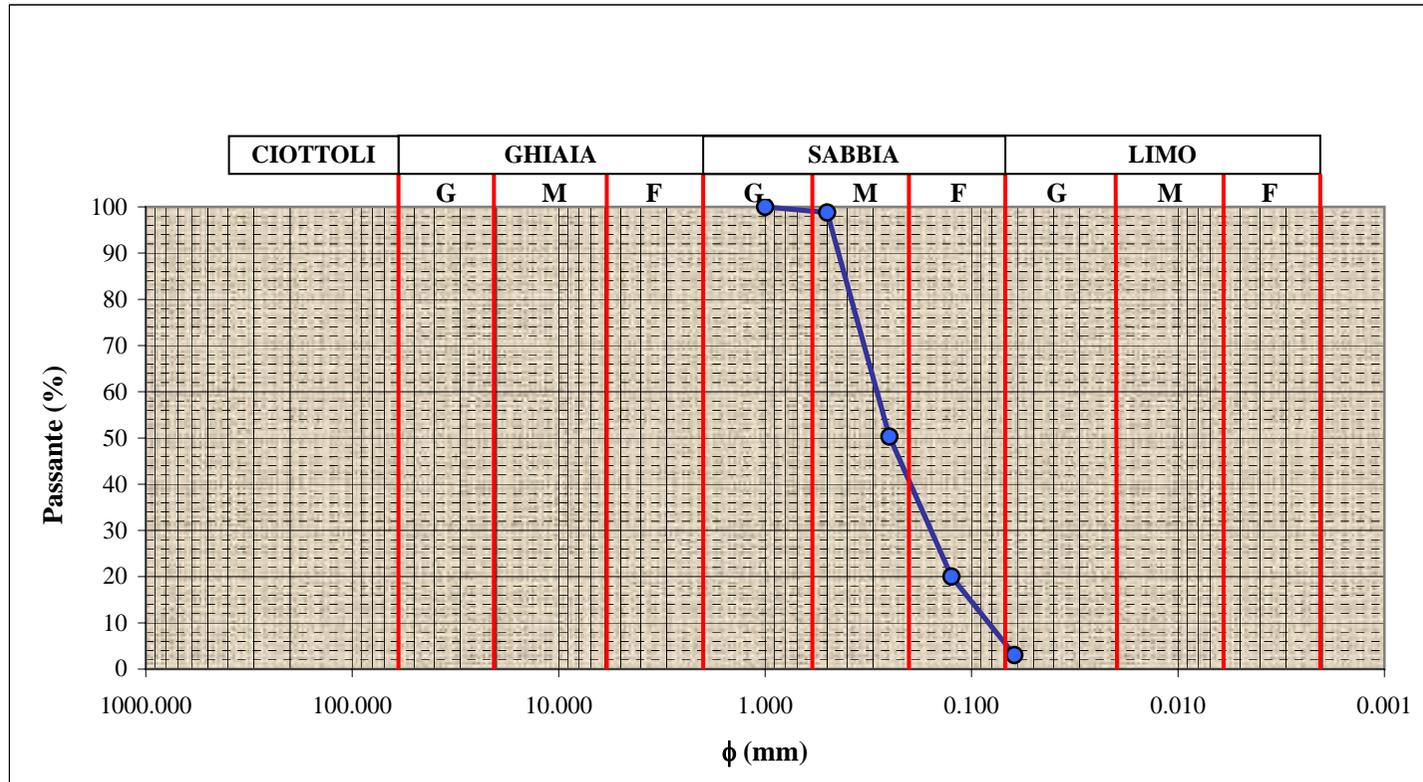
Sondaggio	N. camp.	Prof. dal p.c.		Descrizione	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	ϕ 60%	ϕ 10%	U
		da m	a m									
S16	1	3.0	3.5	Sabbia media deb. ghiaiosa	0	10	89	1	0	0.40	0.180	2.2

S16 SPT2 6m



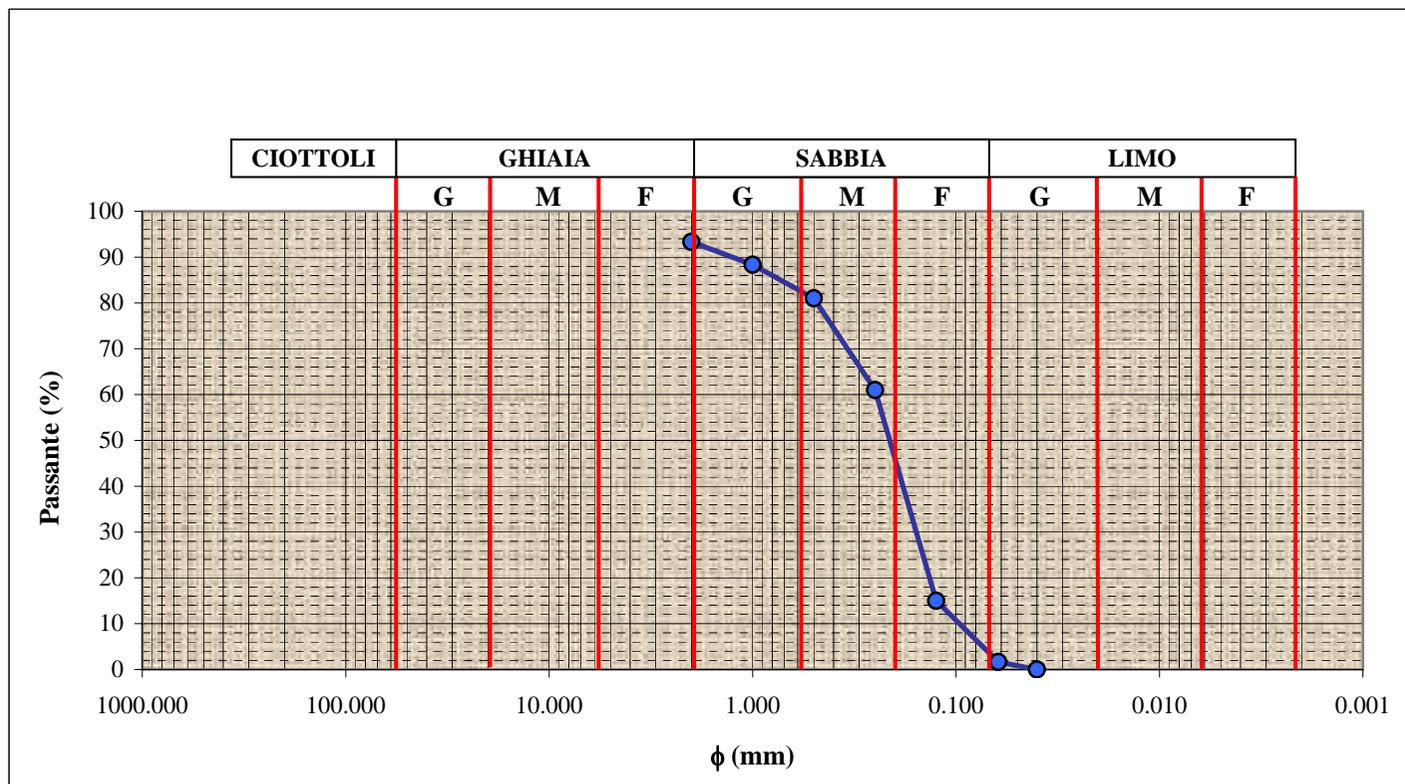
Sondaggio	N. camp.	Prof. dal p.c.		Descrizione	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	ϕ 60%	ϕ 10%	U
		da m	a m									
S16	2	6.0	6.5	Sabbia media	0	0	92	8	0	0.31	0.09	3.4

S16 SPT3 9m



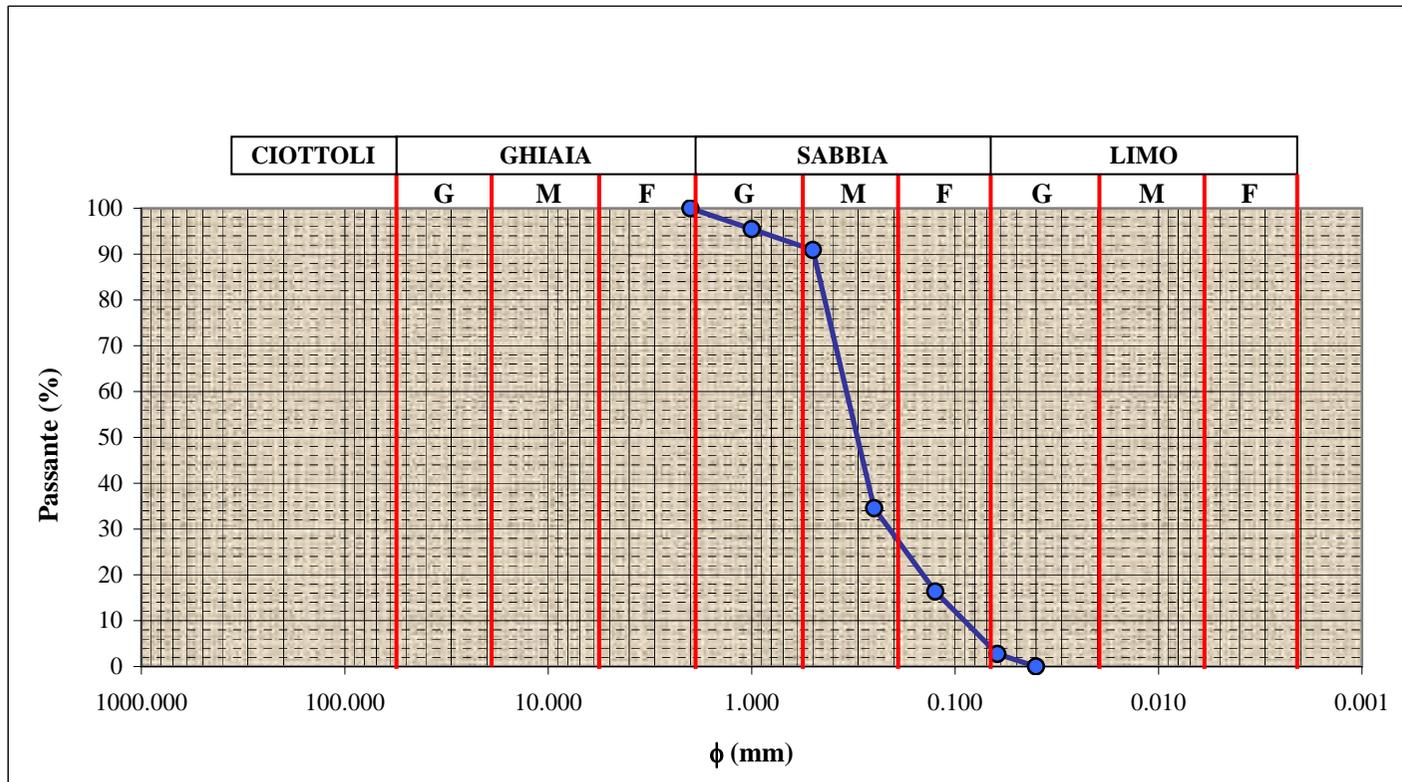
Sondaggio	N. camp.	Prof. dal p.c.		Descrizione	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	φ 60%	φ 10%	U
		da m	a m									
S16	3	9.0	9.5	Sabbia media con sabbia fine deb. limosa	0	0	96	4	0	0.30	0.085	3.5

S16 SPT4 13.5m



Sondaggio	N. camp.	Prof. dal p.c.		Descrizione	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	ϕ 60%	ϕ 10%	U
		da m	a m									
S2	3	13.5	14.0	Sabbia fine debolmente limosa	0	0	98	2	0	0.26	0.120	2.2

S17 SPT1 3m



Sondaggio	N. camp.	Prof. dal p.c.		Descrizione	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	ϕ 60%	ϕ 10%	U
		da m	a m									
S17	1	3.0	3.5	Sabbia media	0	0	96	4	0	0.35	0.090	3.9