



ALLEGATO 11/1

COMUNE DI PISA  
Direzione Urbanistica  
Ufficio Assetto del Territorio

e-mail: urbanistica@comune.pisa.it  
Tel: 050 910408  
Fax: 050 910456  
sito internet:  
www.comune.pisa.it/pianificazione

Palazzo Pretorio – Vicolo del Moro, 2

orario di apertura:  
martedì: 9.00 - 13.00  
giovedì: 15.00 - 17.00

*Titolo del progetto*

**VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO**

<p><i>Responsabile procedimento:</i> <b>Arch. Gabriele Berti</b></p>	<p><i>Titolo del documento</i> <b>RELAZIONE FATTIBILITÀ GEOLOGICA</b></p>			
<p><i>Relazione specialistica predisposta da:</i> Dott. Geol. Marco Redini</p> <p>Con la collaborazione per la</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ parte tecnica di: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Dott. Aldo Iannucci</li> <li>○ Geom. Maurizio Scaramelli</li> </ul> </li> <li>⊕ parte amministrativa di: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Dott.sa Sandra Bertini</li> <li>○ Sig.ra Patrizia Bartalini</li> </ul> </li> </ul> <div data-bbox="305 1496 738 1787" style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;"><b>ELABORATO ADOTTATO CON DELIBERAZIONE</b></p> <p><input type="checkbox"/> Giunta Comunale</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Consiglio Comunale</p> <p>nr° 58 ..del... <b>22 LUG. 2008</b></p> </div>	<div style="text-align: center;">      </div>			
	<p style="text-align: center;"><i>Progettista responsabile dell'elaborato</i> Dott. Geol. Marco Redini</p> <div style="text-align: center;">  </div>			
<p>Motivazione <b>PRIMA EMISSIONE AGGIORNAMENTO</b></p>	<p>Data 03.07.2008 03.07.2008</p>	<p>Pagine 1 di 75</p>	<p>Identif. 0002_112005</p>	<p>Elaborato <b>A.1</b></p>

Sommario

<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>1 INTERVENTI PREVISTI</b> .....	<b>5</b>
1.1 CASERMA BECHI LUSERNA .....	5
1.1.1 Localizzazione e dati generali .....	5
1.1.2 Descrizione delle condizioni di conservazione .....	6
1.2 NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE AD OSPEDALETTO .....	6
1.2.1 Localizzazione e dati generali .....	6
1.3 STATO ATTUALE E MODIFICATO DELLE AREE IN VARIANTE AL PS .....	7
<b>2 RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>13</b>
<b>3 SINTESI DELLE CONOSCENZE</b> .....	<b>13</b>
3.1 ASPETTI URBANISTICO – TERRITORIALI .....	13
3.2 CONSIDERAZIONI SULL’ ATTIVITÀ SISMICA .....	23
3.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO.....	24
3.3.1 Inquadramento geologico regionale ed evoluzione paleografica dell’ area .....	24
3.3.2 Aspetti geologici generali.....	26
3.3.3 Aspetti geomorfologici.....	30
3.3.4 Aspetti idraulici .....	33
3.3.5 Rischio idraulico.....	37
3.3.6 Aspetti idrogeologici.....	38
<b>I PRINCIPALI SISTEMI IDROGEOLOGICI</b> .....	<b>38</b>
<b>4 ANALISI E APPROFONDIMENTI</b> .....	<b>38</b>
4.1 ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI .....	39
4.2 ELEMENTI LITOLOGICO-TECNICI.....	39
4.3 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	62
4.4 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDRAULICI .....	62
4.5 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI .....	63
4.6 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI E DI SITO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO ....	63
4.6.1 CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE - Nuovo Insediamento militare - Ospedaletto .....	67
<b>5 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ</b> .....	<b>67</b>
5.1 AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA .....	67
5.2 AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	70
5.3 AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE .....	73
5.4 AREE A PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE.....	73
<b>6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	<b>75</b>

PREMESSA

---

Il 18 aprile 2001 fu sottoscritto, presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri un Protocollo di intesa tra:

- ✦ Presidenza del Consiglio dei Ministri
- ✦ Ministero della Difesa
- ✦ Ministero per i Beni e le Attività Culturali
- ✦ Regione Toscana
- ✦ Comune di Pisa
- ✦ Ministero del Tesoro, del Bilancio e della Programmazione Economica
- ✦ Ministero delle Finanze
- ✦ Agenzia del Demanio
- ✦ Comando Generale della Guardia di Finanza
- ✦ Università degli Studi di Pisa
- ✦ Azienda Regionale per il Diritto allo Studio Universitario di Pisa

relativo alla ridistribuzione di funzioni pubbliche e di interesse sovracomunale presenti nel centro storico, finalizzata al raggiungimento delle condizioni strutturali ed urbane necessarie per la realizzazione del Museo della Navi Antiche.

Il Protocollo di Intesa prevedeva, infatti:

1. il trasferimento di immobili tra Università e Demanio, allo scopo di consentire l'utilizzazione degli Arsenali Medicei come sede del Museo;
2. il trasferimento della caserma della Guardia di Finanza dalle immediate adiacenze del realizzando Museo alla zona, più periferica, di S. Cataldo;
3. il trasferimento dei reparti e delle funzioni ospitati dalle caserme Curtatone e Montanara, Artale e Bechi-Luserna in una nuova struttura da realizzare in località Ospedaletto.

Il Protocollo ufficializzava una serie di delocalizzazioni di funzioni che costituivano la necessaria integrazione delle previsioni già contenute negli strumenti urbanistici comunali, quali il completamento del nuovo polo ospedaliero-universitario di Cisanello, con il trasferimento delle funzioni ospedaliere e della facoltà di medicina ed il recupero dell'area di S. Chiara, adiacente la Piazza dei Miracoli, il trasferimento della sede della Provincia nel centro del quartiere di Cisanello, la realizzazione della nuova caserma dei Carabinieri in prossimità dell'area di S. Cataldo ed in adiacenza della nuova viabilità periferica;

In particolare, per quanto riguarda la nuova struttura della difesa, il Protocollo prevedeva:

*(omissis)*

**Art. 7- Riqualificazione urbana e valorizzazione del patrimonio storico-artistico - Impegni del Comune di Pisa e della Regione Toscana**

1. *Il Comune di Pisa si impegna a verificare la fattibilità tecnico-economica del riutilizzo e della valorizzazione degli spazi delle strutture militari di Via Giordano Bruno, Via Aurelia e Via Roma, e della realizzazione della nuova caserma nell'area in località "Ospedaletto", con particolare riferimento alle modalità di articolazione e finanziamento dell'operazione in relazione agli impegni assunti da parte delle amministrazioni interessate. Lo studio di fattibilità sarà compiuto entro il termine massimo di un anno dalla firma della presente intesa.*
2. *Il Comune di Pisa si impegna, altresì, in proprio o attraverso altro soggetto pubblico o pubblico - privato, che potrà assumere anche la forma di società di trasformazione urbana, a realizzare lo studio di fattibilità e la caserma in località "Ospedaletto", secondo il progetto preliminare predisposto al tal fine dal Ministero della Difesa. Il perfezionamento dell'impegno avverrà all'esito dello studio di fattibilità di cui al comma precedente ed alle condizioni del finanziamento risultanti dal medesimo.*
3. *La Regione Toscana si impegna ad individuare ed attivare, nell'ambito dello studio di fattibilità, le procedure idonee ad assicurare la formalizzazione delle varianti urbanistiche, eventualmente necessarie, nell'ambito dell'accordo di programma di cui all' art. 1, 3° comma.*

**Art. 8 – Riqualificazione urbana e valorizzazione del patrimonio storico - artistico – Impegni del Ministero della difesa**

- 1. Il Ministero della difesa, in considerazione anche della necessità di disporre di caserme in linea con il nuovo modello di difesa, nonché di disporre, al posto degli edifici attualmente in uso, di superfici adeguate alle norme di sicurezza vigenti, si impegna a dismettere a favore del Ministero delle finanze - Agenzia del demanio, in vista della successiva cessione in proprietà al Comune di Pisa, le caserme "Artale", "Bechi-Luserna" e "Curtatone e Montanara", trasferendo la propria operatività nella nuova caserma che verrà costruita a cura del Comune di Pisa in località "Ospedaletto".*
- 2. Il Ministero della difesa si impegna, peraltro, a rendere possibile la verifica degli studi di progettazione delle superfici delle tre caserme al fine di consentire al Comune di Pisa di definire la destinazione e la possibile immissione sul mercato degli immobili medesimi, fermi restando i relativi tempi di consegna.*

**Art. 9 - Modalità operative connesse alla realizzazione della nuova caserma in località Ospedaletto**

- 1. Il trasferimento delle attività operative dalle attuali sedi degli organismi appartenenti al Ministero della difesa avverrà contestualmente alla consegna degli immobili realizzati dal Comune di Pisa, secondo tempi e modalità da concordare nell'accordo di programma.*
- 2. L'accordo di programma definirà i ruoli e le responsabilità delle parti interessate nelle varie fasi di realizzazione della nuova caserma.*
- 3. La definizione delle scadenze temporali da rispettare sarà prevista nel sopraccitato accordo e terrà conto delle esigenze funzionali degli Organismi Militari, e delle esigenze del Comune di Pisa connesse con l'attuazione operativa del piano di fattibilità di cui all'art. 7, comma 1, della presente intesa.*

*(omissis)*

Il Comune di Pisa, facendo seguito agli impegni assunti, commissionava lo studio di fattibilità, concluso nel 2002, mentre il Ministero della Difesa produceva il progetto preliminare della nuova caserma.

Dallo studio emergeva una sostanziale differenza di valori tra le strutture militari che sarebbero state cedute al Comune di Pisa e la nuova caserma, ragione che ha reso necessaria una lunga trattativa con i progettisti del Ministero, finché si è giunti ad una revisione del progetto preliminare e ad un sostanziale allineamento dei valori di permuta.

Con la firma dell'Accordo di Programma già previsto dagli articoli del Protocollo sopra riportati, avvenuta il 13 luglio 2007 tra Comune di Pisa, Ministero della Difesa ed Agenzia del Demanio, si è data conclusione alla prima parte del procedimento e si è avviata la parte di competenza più direttamente comunale, in particolare relativa alla progettazione definitiva della nuova struttura militare in Ospedaletto, all'acquisizione delle aree necessarie ed alla predisposizione delle varianti agli strumenti urbanistici necessarie alla definizione della nuova destinazione dell'area di Ospedaletto e delle strutture militari da dismettere.

Gli edifici che non sono più idonei ad ospitare le strutture militari poste nel centro storico dovranno trovare nuove utilizzazioni compatibili con la localizzazione, mentre la caserma Bechi-Luserna, immediatamente all'esterno della cinta muraria medievale e vicina alla grande viabilità dovrà assumere la funzione, prevista a corredo della realizzazione del Museo delle Navi, di terminal turistico della città.

Per dare attuazione operativa al Protocollo di Intesa del 18 aprile 2001, al conseguente Accordo di Programma del 13 luglio 2007 ed al recupero delle strutture

militari esistenti poste nel centro storico o nelle immediate adiacenze è necessario procedere ad una variante al Piano Strutturale ed al Regolamento Urbanistico.

La presente relazione di Fattibilità Geologica è predisposta a supporto di due varianti al P.S. definendo le diverse condizioni di fattibilità e le relative norme attuazione.

Questo elaborato sintetizza i risultati delle indagini eseguite e degli elaborati già prodotti valutando la pericolosità insita del settore di studio, puntualizzando eventuali condizionamenti alla trasformabilità del territorio da assumere nella successiva redazione del Regolamento urbanistico, distinguendo i caratteri geomorfologici, sismici ed idraulici riportati in cartografia.

A partire dalle indagini geologiche a supporto del Piano Strutturale comunale vigente integrati con ulteriori indagini, in questa sede, vengono riconsiderati gli elementi di pericolosità per ciascuna variante alla luce della nuova normativa in materia di indagini geologiche, cioè secondo le direttive contenute nel D.P.G.R. n. 26/R del 27.04.07 (Regolamento di attuazione dell'art.62, L.R. n. 1 del 03.01.05, "Norme per il governo del territorio").

Sulla base di tale normativa si è quindi pervenuti alla determinazione della fattibilità degli interventi previsti nell'ambito di ciascuna variante.

## 1 INTERVENTI PREVISTI

---

La proposta di variante riguarda le aree occupate dalle tre caserme militari (attualmente collocate nel pieno centro storico della città, UTOE. 1 Caserma Curtatone e Montanara - UTOE 3 Caserma Artale, e immediatamente al di fuori del perimetro delle storiche mura urbane, UTOE 16 Caserma Bechi Luserna) destinate al trasferimento, nonché l'area - UTOE 33 nella periferia di Ospedaletto - individuata per la realizzazione della nuova struttura militare. Si precisa che la presente relazione di Fattibilità Geologica è predisposta a supporto di due varianti al P.S., ed esattamente all'area della Caserma BECHI LUSERNA e all'area Nuovo Insediamento Militare - Ospedaletto, le rimanenti due aree in aggiunta a quelle oggetto della variante al PS, costituiscono oggetto di variante al Regolamento Urbanistico.

### 1.1 CASERMA BECHI LUSERNA

---

#### 1.1.1 LOCALIZZAZIONE E DATI GENERALI

---

La Caserma Bechi Luserna non ha una sua specifica rappresentatività storico-architettonica, benché sotto il profilo urbanistico sia certamente quella che riveste un maggiore interesse. La caserma attualmente occupa un'area di circa 120 mila mq e confina a nord con la sede del Consorzio Agrario e con l'area del Palazzetto dello sport, ad ovest con il quartiere residenziale Barbaricina, ad est con il centro storico e a sud con il fiume Arno, da cui risulta separata dal tratto del lungarno Cosimo I. L'area è quindi esterna al centro storico, ma ne risente la diretta vicinanza in quanto collocata appena ad ovest rispetto a via Bonanno ed al vecchio tracciato delle mura cittadine. Oltre la linea ferroviaria si conservano le mura cittadine con annessa porta ad arco a tutto sesto e rifinita con ampie bugne in pietra. Oltre le mura si trovano i resti di antiche strutture della Cittadella vecchia, e, a diretto contatto i capannoni degli Arsenali medicei. Sul versante nord, infine, i vecchi Macelli. Si tratta di una zona di rilevante interesse storico, a cui l'area della caserma è molto prossima, sia pure indirettamente collegata. Indirettamente poiché l'asse di via Bonanno e la linea sopraelevata della ferrovia Tirrenica non ne consentono un diretto collegamento e costituiscono una barriera visiva e fisica che lega piuttosto la caserma al quartiere Barbaricina, posto sul versante ovest, e all'adiacente Via Aurelia nel suo tratto urbano. Sotto il profilo architettonico non si rileva nell'area nulla di significativo. Diverse sono state infatti le aggiunte legate alla sua principale funzione di tipo logistico: depositi, magazzini, officine, tettoie per parcheggi, area sportiva e quant'altro necessario per il

regolare svolgimento delle attività delle Forze armate. Per contro l'area risulta essere in una posizione strategica rispetto al contesto infrastrutturale. Sorge infatti in prossimità di una serie di rilevanti assi infrastrutturali: ad Ovest della linea ferroviaria Tirrenica (Livorno - Ventimiglia), a Est dell'Aurelia e dell'autostrada Livorno - Genova, a Nord della superstrada Pisa - Firenze, dell'area aeroportuale Galileo Galilei, del fiume Arno e del canale Navicelli, diretto collegamento fluviale per Livorno. In poco più di un Km<sup>2</sup> si concentra una realtà infrastrutturale di notevole interesse, un valore aggiunto da considerare nella rivalutazione funzionale dell'area. Non va dimenticata inoltre la vicinanza con il parco di S. Rossore, con l'area dell'ippodromo e con la zona della stazione di S. Rossore, interessata dai recenti ritrovamenti archeologici delle navi antiche. L'area del Consorzio Agrario, posta immediatamente a nord, è stata oggetto di variante nell'ambito del Piano di Recupero collegato al bando per i "Contratti di Quartiere II", con nuova destinazione ricettiva.

Caratteristiche dell'area			
Parametri urbanistici		Stato attuale	Stato variato
		Carta 2000	massimo ammissibile
Superficie area	mq.	119.800	invariabile
Superficie coperta	mq.	17.100	22.000
Volumetria esistente	mc.	77.590	132.000
Superficie utile	mq.	17.100	44.000
Parcheggi interrati	mq.	0	20.000

### 1.1.2 DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE

L'area della caserma è attualmente caratterizzata da tre corpi di fabbrica prospicienti l'Aurelia. All'interno dell'area sono state realizzate una serie di tettoie con strutture in ferro con funzioni di deposito e magazzini. Al suo interno si trova inoltre una casa adibita alla guardiania e sul versante sud un capannone di deposito materiali. Infine volumi di scarso valore sono collocati lungo il perimetro dell'area che confina con il Consorzio agrario. Unici volumi consistenti sono i tre corpi di fabbrica prospicienti l'Aurelia e che definiscono anche una sorta di "filtro" tra la strada statale e l'area interna. Tali edifici presentano una tipologia costruttiva molto semplice con tetto a doppia falda e volumi interni molto ampi. Questi, come quelli posti all'interno, non presentano fenomeni di dissesto e versano in uno stato di conservazione sufficiente. Diversamente, i piccoli volumi realizzati lungo il perimetro, oltre a non avere alcuna valenza architettonica, sono in uno stato di totale abbandono. Anche gli spazi esterni e l'area sportiva non sono particolarmente curati.

## 1.2 NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE AD OSPEDALETTO

### 1.2.1 LOCALIZZAZIONE E DATI GENERALI

L'area del nuovo insediamento ha una forma romboidale con superficie di circa 315.000 mq e perimetro totale di 3,5 Km. Confina a nord con via delle Rene, a sud con il Fosso Caligi, ad est con la via Emilia e ad ovest con la linea ferroviaria Pisa - Collesalveti - Livorno.

L'area è morfologicamente riferibile a terreni di deposito alluvionale, palustri e di colmata. Attualmente completamente pianeggiante, con pendenze inferiori al 1%. Dal punto di vista geomorfologico l'area risulta ad una quota variabile compresa tra 1,8 e 2,50 metri sul livello del mare. In riferimento alla Carta della pericolosità a corredo del Piano strutturale del Comune di Pisa, il lotto si colloca all'interno della zona classificata "classe 3a", a grado di pericolosità geologica medio bassa, ossia "zone in cui il tetto delle argille compressibili è posto a profondità superiori a 2 metri dal piano di campagna". Dal punto di vista sismico, invece, l'area risulta avere grado di sismicità S=9 e non sussistono al contorno condizioni tali da aumentare questo rischio sismico. Valutando l'area dal punto di vista dei collegamenti, questa è situata a sud del centro storico, a circa 3 Km da Pisa, ed è ben collegata con la Strada grande comunicazione (SGC) Pisa-Livorno-Firenze, da cui sulla A11 Firenze - Mare e sulla A12

Rosignano - Genova, e con l'aeroporto internazionale Galileo Galilei, da cui dista circa 4 Km. Va rilevata, inoltre, la presenza delle seguenti infrastrutture: termovalorizzatore, mercato ortofrutticolo, zona artigianale e linea ferroviaria Pisa - Collesalveti. Come ribadito nell'Intesa del 18 aprile 2001 firmata dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri e dai diversi ministeri interessati tra cui il Ministero della Difesa, l'area è destinata alla realizzazione di una nuova caserma a fronte della dismissione delle tre caserme urbane.

Il progetto preliminare del nuovo insediamento è stato predisposto dallo Stato maggiore dell'esercito Reparto logistico - Ufficio infrastrutture e dall'ispettorato dell'Esercito, Ufficio programmazione e gestione.

Il Comune di Pisa, sulla base dell'Accordo di Programma sta redigendo il progetto definitivo. I dati dimensionali desumibili dal progetto preliminare, sono i seguenti

Caratteristiche dell'area		
Superficie complessiva area di variante	mq.	315.000
Superficie utile	mq.	48.000
Volume edifici	mc.	206.000
Superficie in pianta edifici	mq.	28.000
Superfici esterne (piazze)	mq.	83.900
Personale militare accasermato	unità	696
Personale militare non accasermato	unità	184

### 1.3 STATO ATTUALE E MODIFICATO DELLE AREE IN VARIANTE AL PS

Area di intervento	Sistema e subsistema – Stato attuale	Sistema e subsistema – Stato modificato
CASERMA BECHI LUSERNA	Insediativo - Parchi urbani	Insediativo – Aree residenziali
NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE AD OSPEDALETTO	Insediativo – Area a prevalente funzione agricola	Insediativo – Aree per servizi urbani e territoriali





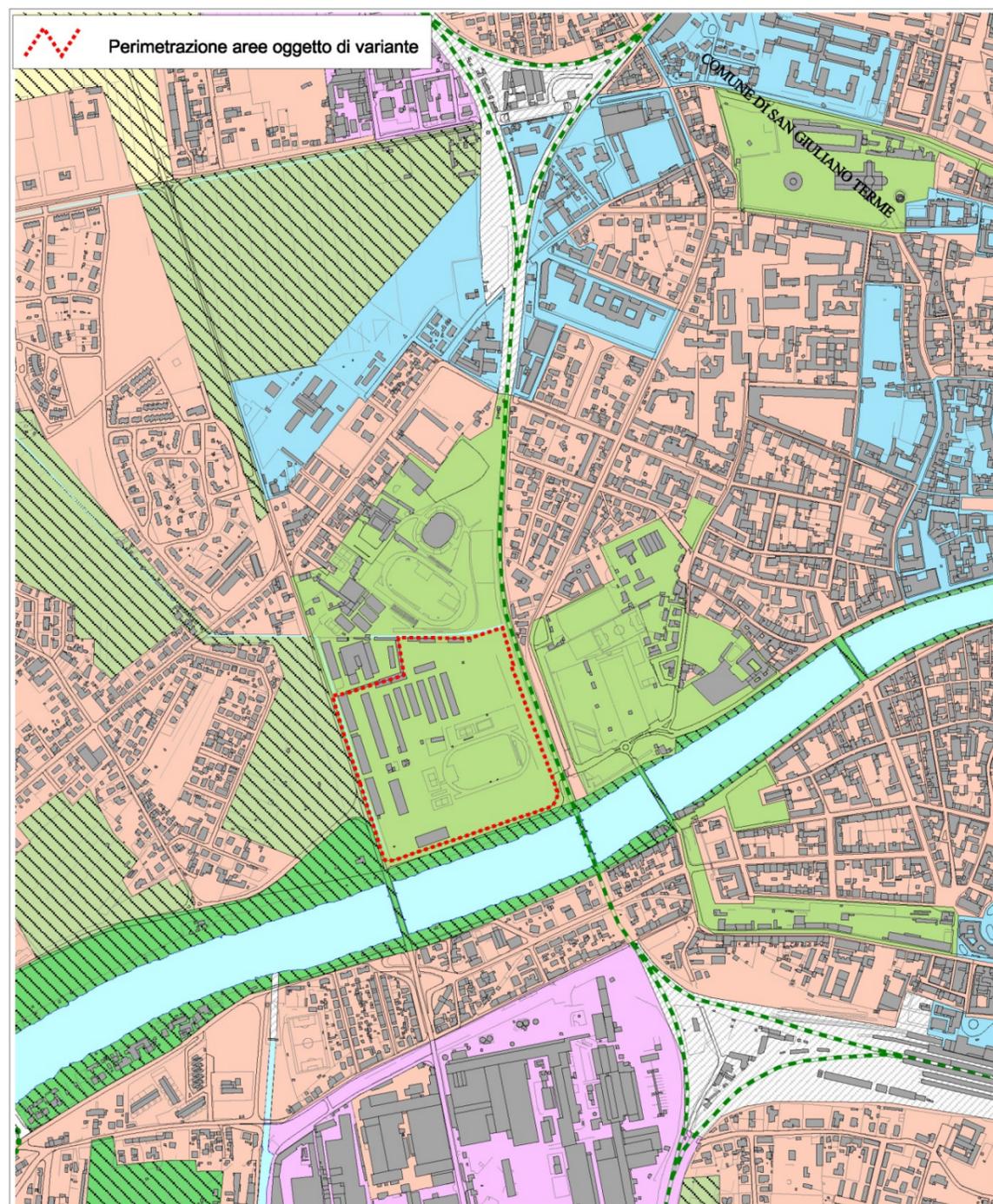
**COMUNE DI PISA**  
DIREZIONE URBANISTICA  
Ufficio Pianificazione

### Variante al Piano Strutturale

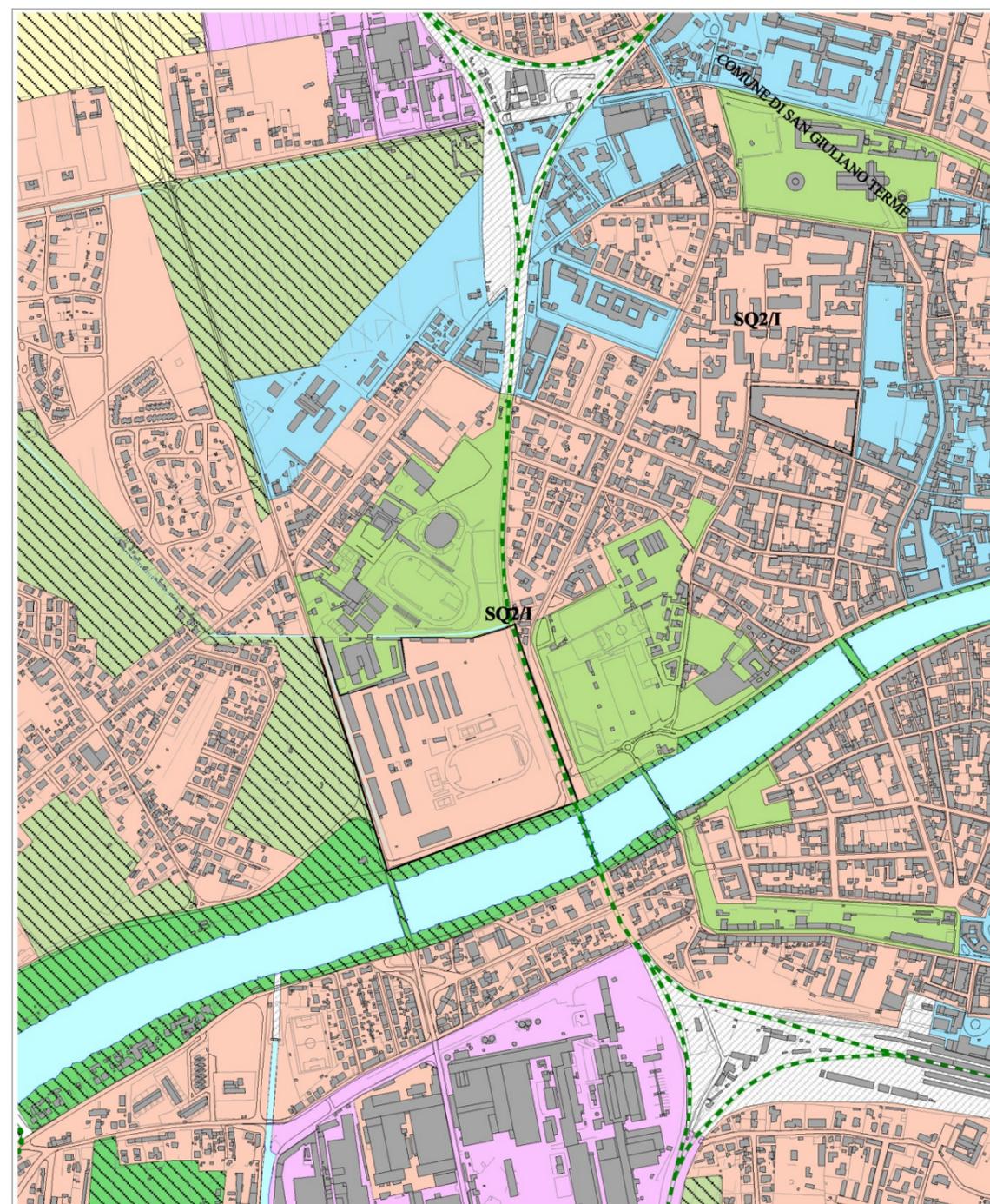
**Trasformazione destinazione d'uso aree caserme storiche e  
realizzazione nuovo insediamento in località Ospedaletto**

**Bechi Luserna: da Parco Urbano a residenziale**

**P.S. APPROVATO**



**P.S. VARIANTE**



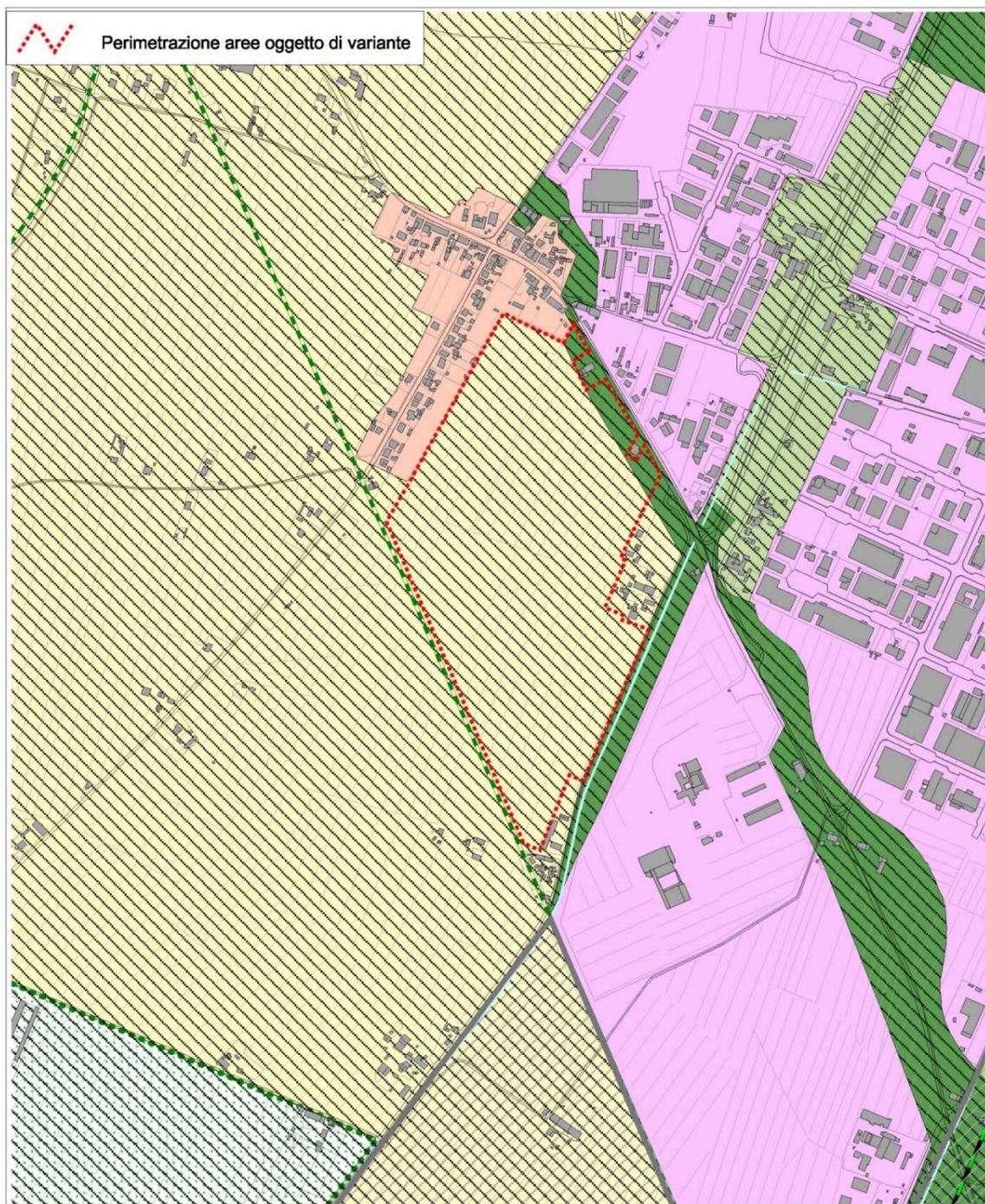




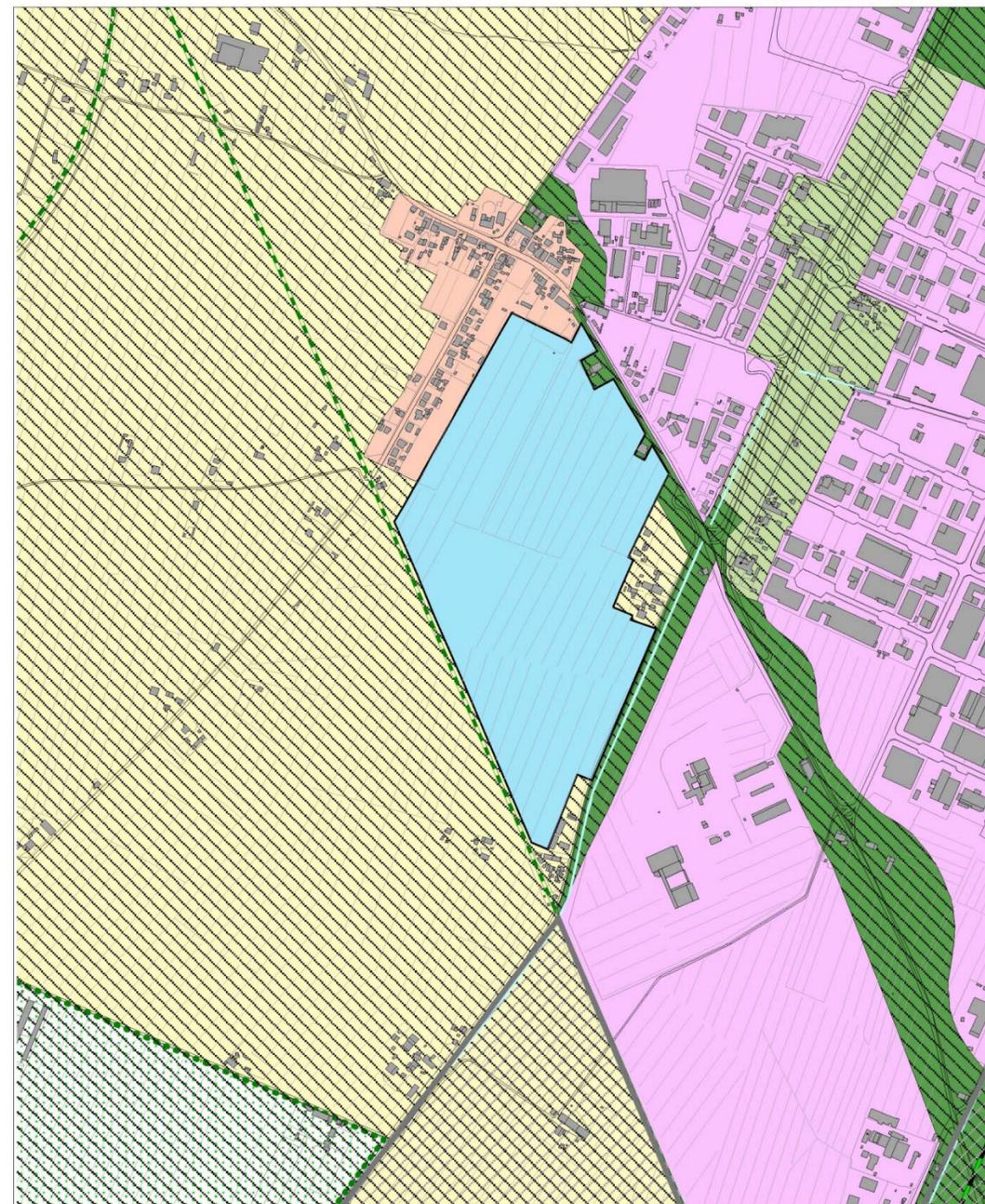
**COMUNE DI PISA**  
DIREZIONE URBANISTICA  
Ufficio Pianificazione

**Variante al Piano Strutturale**  
Variante cartografica e destinazione d'uso dell'area  
sita in località Ospedaletto per realizzazione di nuova caserma

**P.S. APPROVATO**



**P.S. VARIANTE**





## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

---

Tali indagini sono conformi a quanto prescritto:

- dalla L.R. 17.4.1984 n. 21 "Norme per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione dal rischio sismico", in attuazione dell'art. 20 della L. 10.12.1981 n. 741,
- dalla D.C.R.T. 12.02.1985 n. 94 "Direttiva sulle indagini geologico tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica" in attuazione della L.R. 21/84,
- dalla Legge Regionale 3 gennaio 2005, n°1 "Norme per il Governo del Territorio" (art. 62 e art. 100),
- dalla L.R. 26 gennaio 2005, n°15,
- dalla D.P.G.R.T. 27.04.07 n. 26/R (Regolamento di attuazione dell'art.62, L.R. n. 1 del 03.01.05, "Norme per il governo del territorio" in materia di indagini geologiche)
- dalla D.C.R.T. 24 luglio 2007 n. 72 "Approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale", l'avviso relativo all'approvazione del PIT è stato pubblicato sul BURT n. 42 del 17 ottobre 2007 e quindi da questa data il piano ha acquistato efficacia,
- dalla Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (Ord. 20 marzo 2003, n. 3274) (G.U. n. 105 del 8 maggio 2003), modificata dall'Ord. N. 3316 del 2/10/03,
- dalla delibera Giunta Regionale n. 604 del 16/06/03 "Indirizzi generali e prime disposizioni sulla riclassificazione sismica della Regione Toscana in applicazione dell'Ord. PCM n. 3274 del 20/03/03.

e sono integrate per gli aspetti relativi alle classi di pericolosità, con riferimento al rischio idraulico:

- dalle misure di salvaguardia di cui al Titolo 2 della D.C.R.T. n°72 del 24 luglio 2007 "Piano di Indirizzo Territoriale", vigenti dal 17 ottobre 2007.
- dalle indicazioni del Piano Territoriale di Coordinamento (PTC) della Provincia di Pisa (approvato con Del. C.P. 100/06) e vigente dal 06.09.06.
- dalla normativa di piano entrata in vigore con D.P.C.M. 5 novembre 1999. "Approvazione del Piano Stralcio relativo alla Riduzione del Rischio Idraulico del Bacino del fiume Arno". (GU n. 226 del 22-12-1999),
- dalla normativa di piano entrata in vigore con D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio Assetto Idrogeologico" (GU n. 230 del 3-10-2005)

Lo studio di fattibilità geologico-tecnica ha lo scopo di approfondire le conoscenze sui caratteri geologici, geomorfologici e idrogeologici ed idraulici, del territorio in cui è inserita la variante, mediante rilievi ed indagini di campagna, l'analisi delle fonti bibliografiche e cartografiche disponibili tra cui la Relazione geologica di supporto allo Strumento Urbanistico generale comunale Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico.

## 3 SINTESI DELLE CONOSCENZE

---

### 3.1 ASPETTI URBANISTICO – TERRITORIALI

---

Di seguito sono esaminati i principali vincoli territoriali che insistono nelle aree in oggetto.

#### *VINCOLO IDROGEOLOGICO*

---

Le aree di interesse non si trovano in zone soggette al vincolo idrogeologico ai sensi della Legge n°3267 del 30.12.1923 e degli artt. 21 e 22 del R.D.L. 1126/1926.

#### *PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ – PRI – PAI – PIT – PTC – PS*

---

Di seguito sono descritti gli aspetti legati alla pericolosità e vulnerabilità, in relazione agli stralci di Piano di Bacino attualmente approvati, al PIT e al PTC delle aree oggetto di variante. La pericolosità e vulnerabilità contenute nel Piano Strutturale (PS) sono illustrate in apposito capitolo.

Tenuto conto che:

- ✓ dalle misure di salvaguardia di cui al Titolo 2 della D.C.R.T. n°72 del 24 luglio 2007 “Piano di Indirizzo Territoriale”, vigenti dal 17 ottobre 2007;
- ✓ il PTC a seguito dell’adeguamento al PIT, è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n.100 del 27 luglio 2006 "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale: Variante di adeguamento al Piano di Indirizzo Territoriale ed alla Legge Regionale n.01/2005 - Approvazione". Tale piano ha acquistato efficacia a partire dal giorno 6 settembre 2006 data in cui la Provincia ha pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n.36 parte IV, l'avviso della Deliberazione. Le nuove norme prevedono che tutta la parte della disciplina del PTC riguardante le aree a differenti classi di pericolosità geomorfologica ed idraulica e la relativa cartografia sia sostituita dalle disposizioni del P.A.I.. Per quanto attiene la vulnerabilità idrogeologia la disciplina approvata nel PTC del 2006 mantiene la sua validità, non essendo al momento oggetto di disciplina specifica da parte dei piani di assesto idrogeologico.

Gli aspetti da analizzare per quanto attiene, la pericolosità idraulica sono legati al Piano di Bacino stralcio “Riduzione del rischio idraulico”, al Piano di Bacino stralcio “Assetto idrogeologico” e al Piano Strutturale (PRI+PAI+PIT+PS).

Per la pericolosità geomorfologica gli aspetti da analizzare sono legati al Piano di Bacino stralcio “Assetto idrogeologico” e al Piano Strutturale (PAI+PS).

Per la vulnerabilità idrogeologica gli aspetti da analizzare sono legati al Piano Territoriale di Coordinamento e al Piano Strutturale (PTC+PS).

### *Pericolosità idraulica*

---

Secondo le vigenti normative in materia di pericolosità e rischio idraulico, dettate dall’Autorità di Bacino del fiume Arno e dalla Regione Toscana, le aree di interesse risultano essere sottoposte in parte a particolari vincoli e direttive.

Nel Piano Stralcio relativo alla Riduzione del Rischio Idraulico del Bacino del fiume Arno, approvato con D.P.C.M. 5 novembre 1999, le aree di variante risultano:

- nella “Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell’Arno”. (Scala 1:25.000) non essere interessata da aree destinate a casse di espansione di tipo A o B.

- nella “Carta guida delle aree allagate redatte sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966 - 1999)” (Scala 1:25.000) le aree di variante risultano essere tra quelle interessate da “inondazioni eccezionali”.

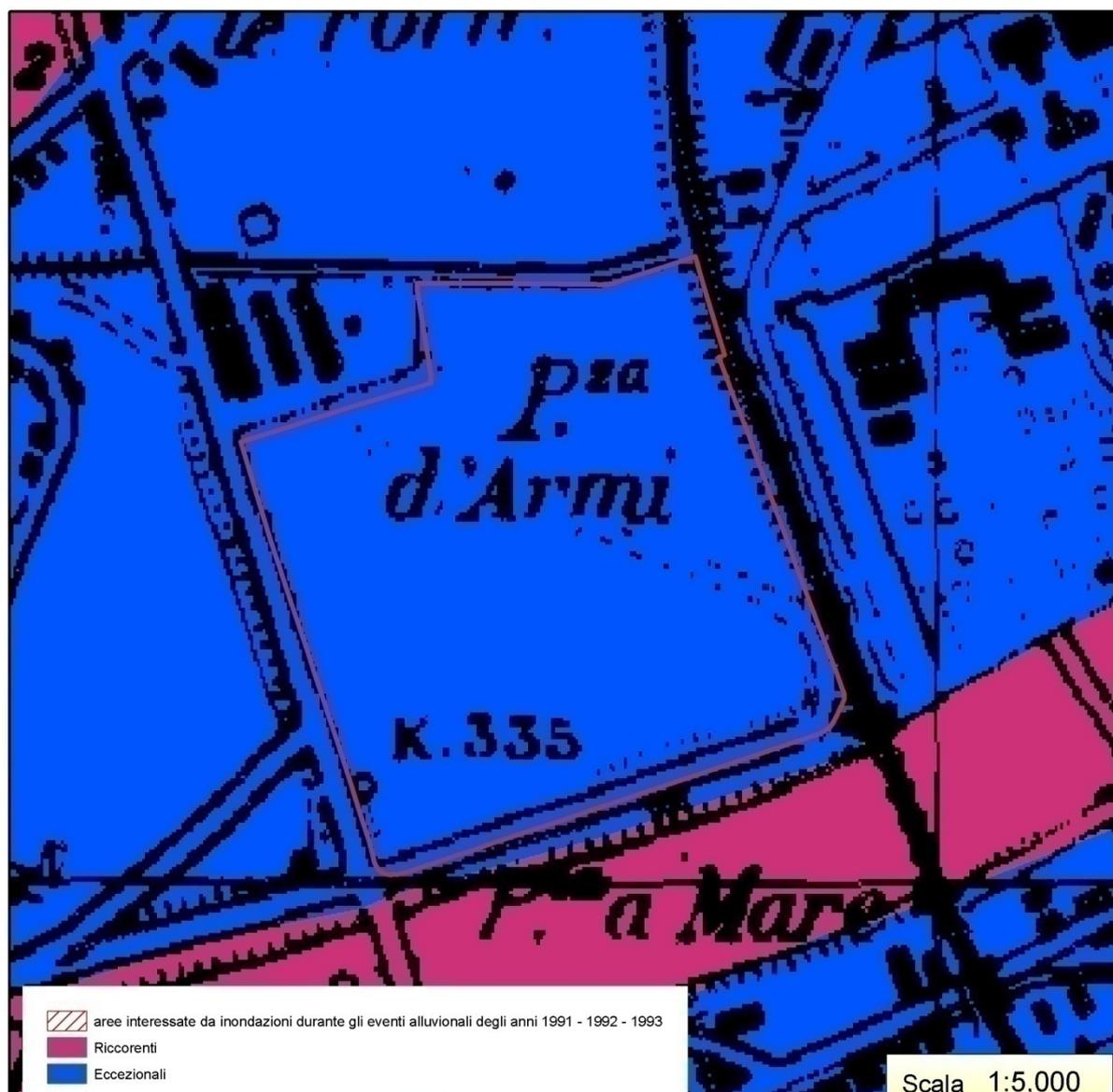


Fig. 1 PRI- Carta guida delle aree allagate. In blu aree soggette ad alluvioni eccezionali ed in rosso aree soggette ad inondazioni ricorrenti (Caserma BECHI LUSERNA)

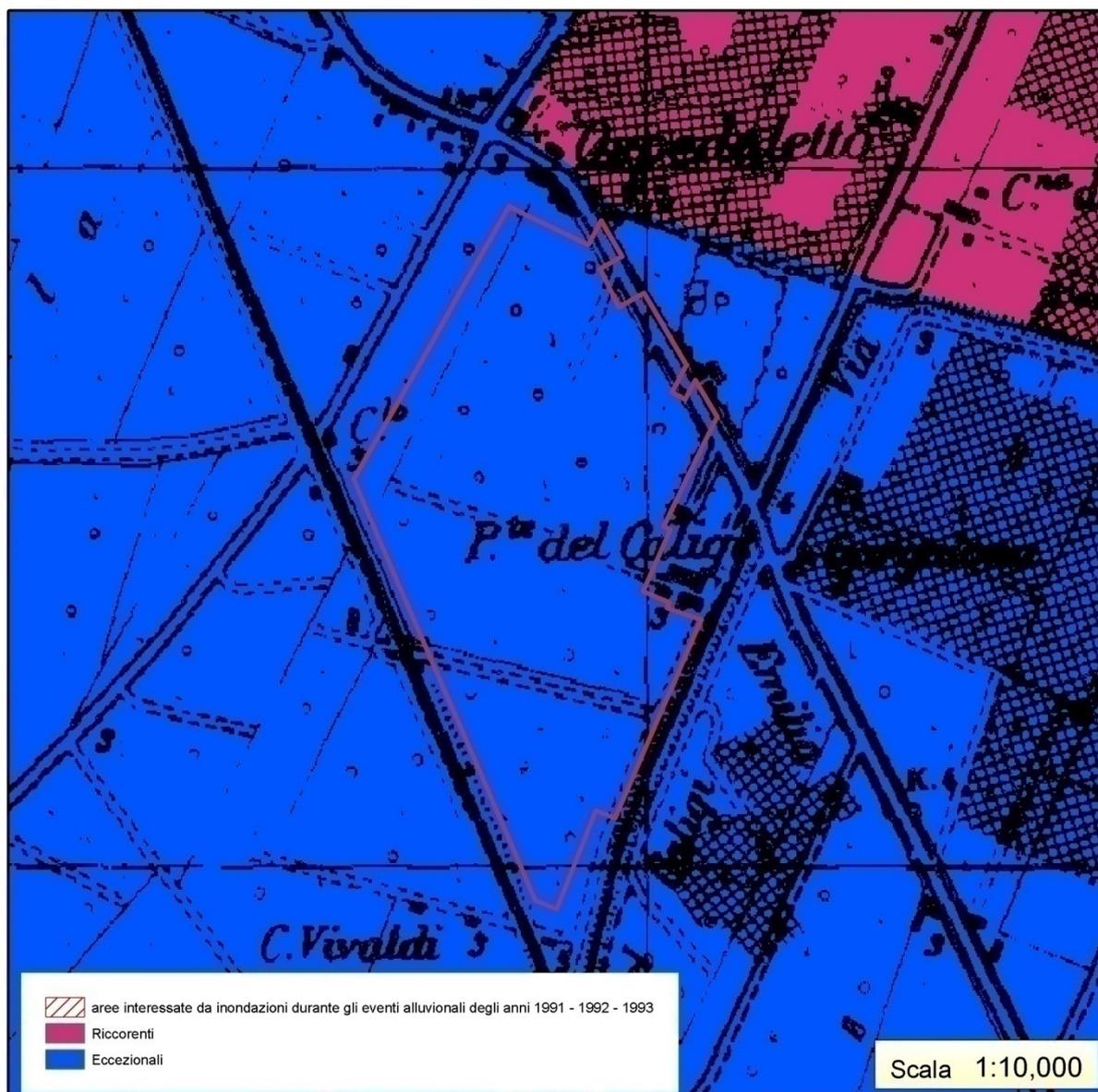


Fig. 2 PRI- Carta guida delle aree allagate. In blu aree soggette ad alluvioni eccezionali ed in rosso aree soggette ad inondazioni ricorrenti (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

- nella "Carta delle aree di pertinenza fluviale dell'Arno e degli affluenti" (Scala 1:25.000), le varie aree in variante risultano non essere interessate dalla norma n. 5.

Nel Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico adottato nella seduta di Comitato Istituzionale dell'11 novembre 2004 ed entrato in vigore con il D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3-10-2005) l'area "Caserma BECHI LUSERNA" è individuata nella Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica - livello di dettaglio" (scala 1:10.000), tra quelle "a pericolosità idraulica media" (P.I.2); l'area "Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto" risulta individuata sia nella Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica - livello di dettaglio" (scala 1:10.000) sia nella Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica - livello di sintesi" (scala 1:25.000), tra quelle "a pericolosità idraulica media" (P.I.2).

Al Titolo II, Capo I, art. 5 delle Norme di Attuazione del Progetto di piano si legge che, al livello di dettaglio, le aree P.I.2 corrispondono alle:

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 ;

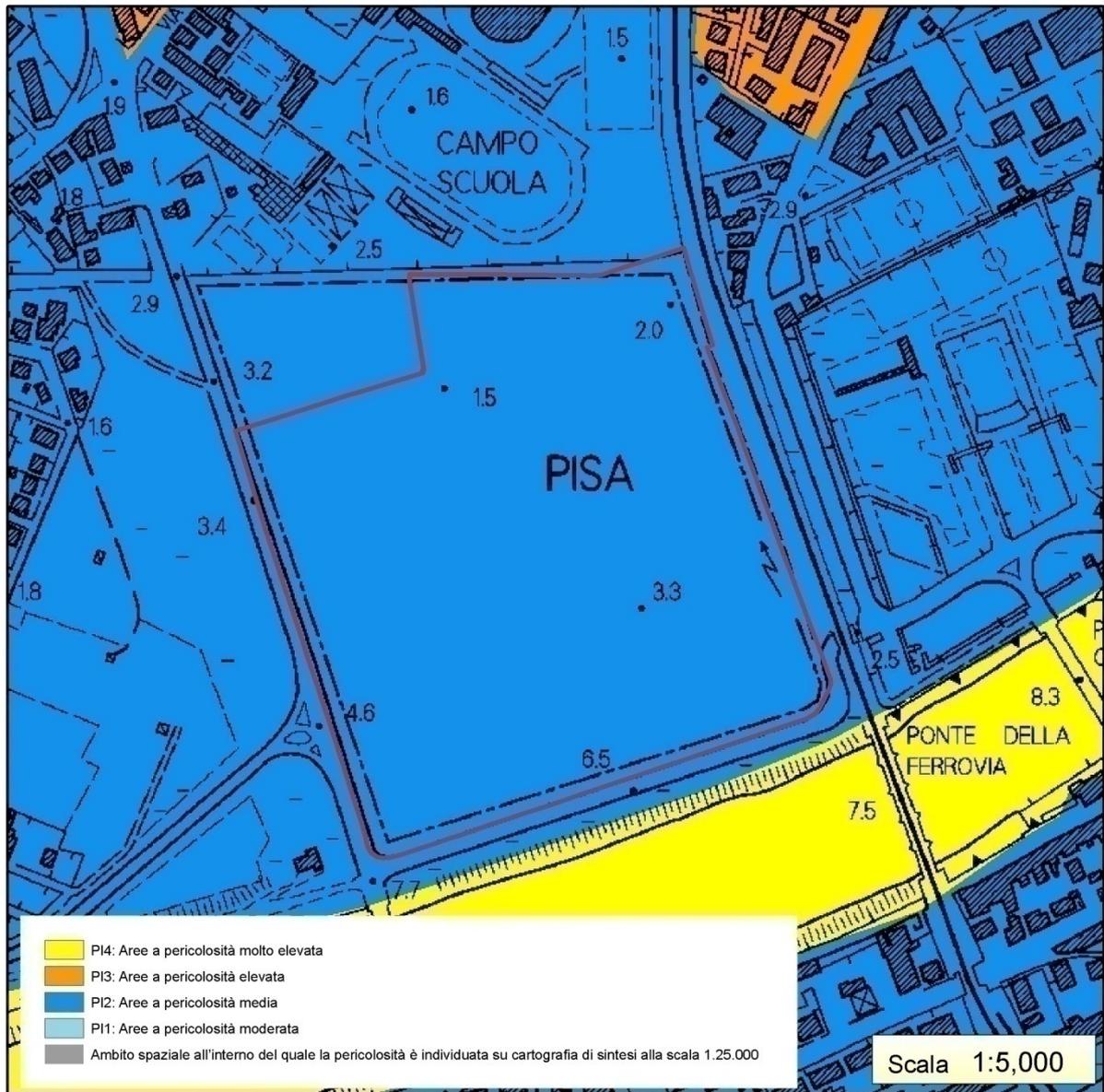


Fig. 3 PAI - Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – livello di dettaglio" (Caserma BECHI LUSERNA)

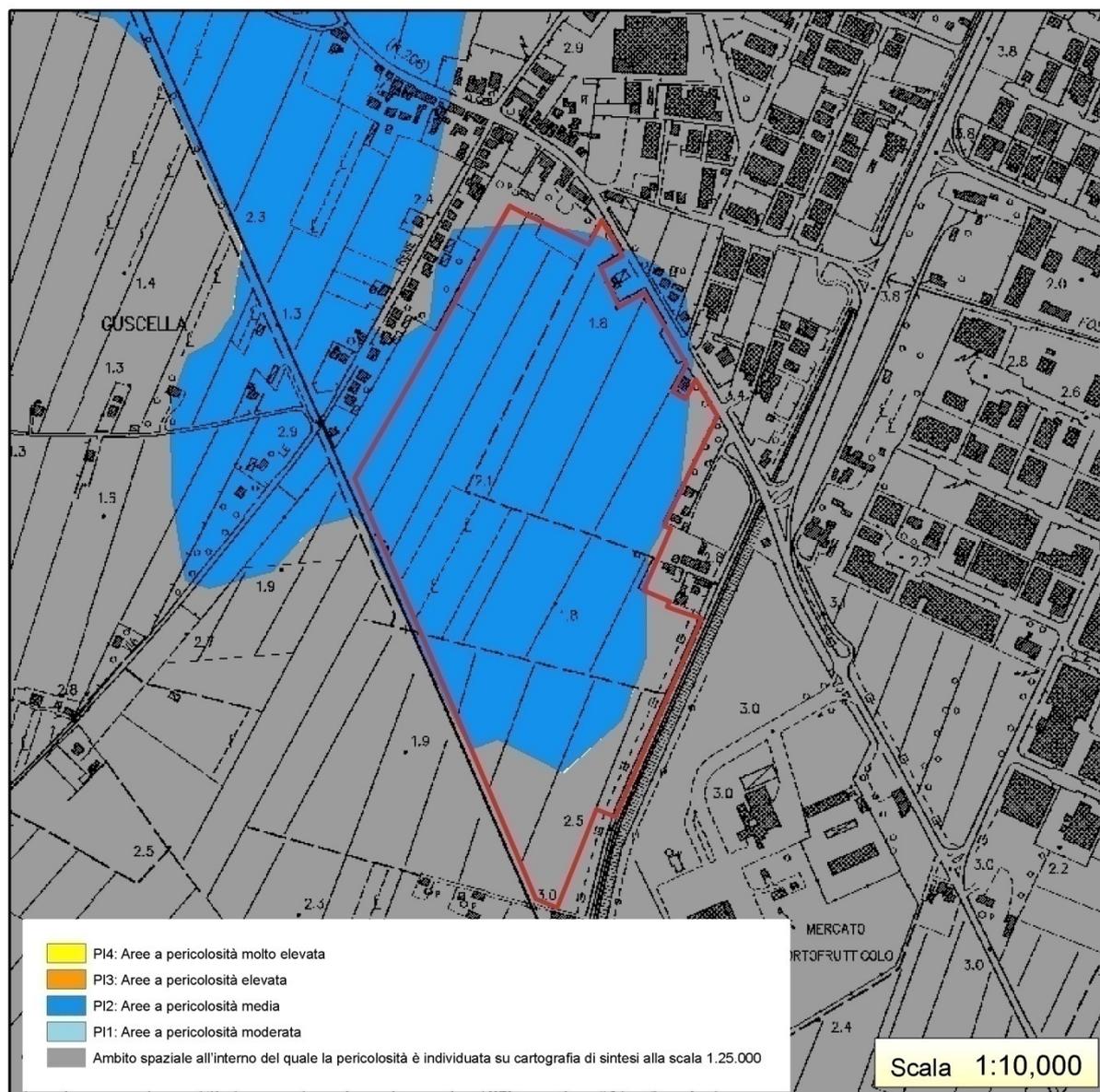


Fig. 4 PAI - Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – livello di dettaglio" (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

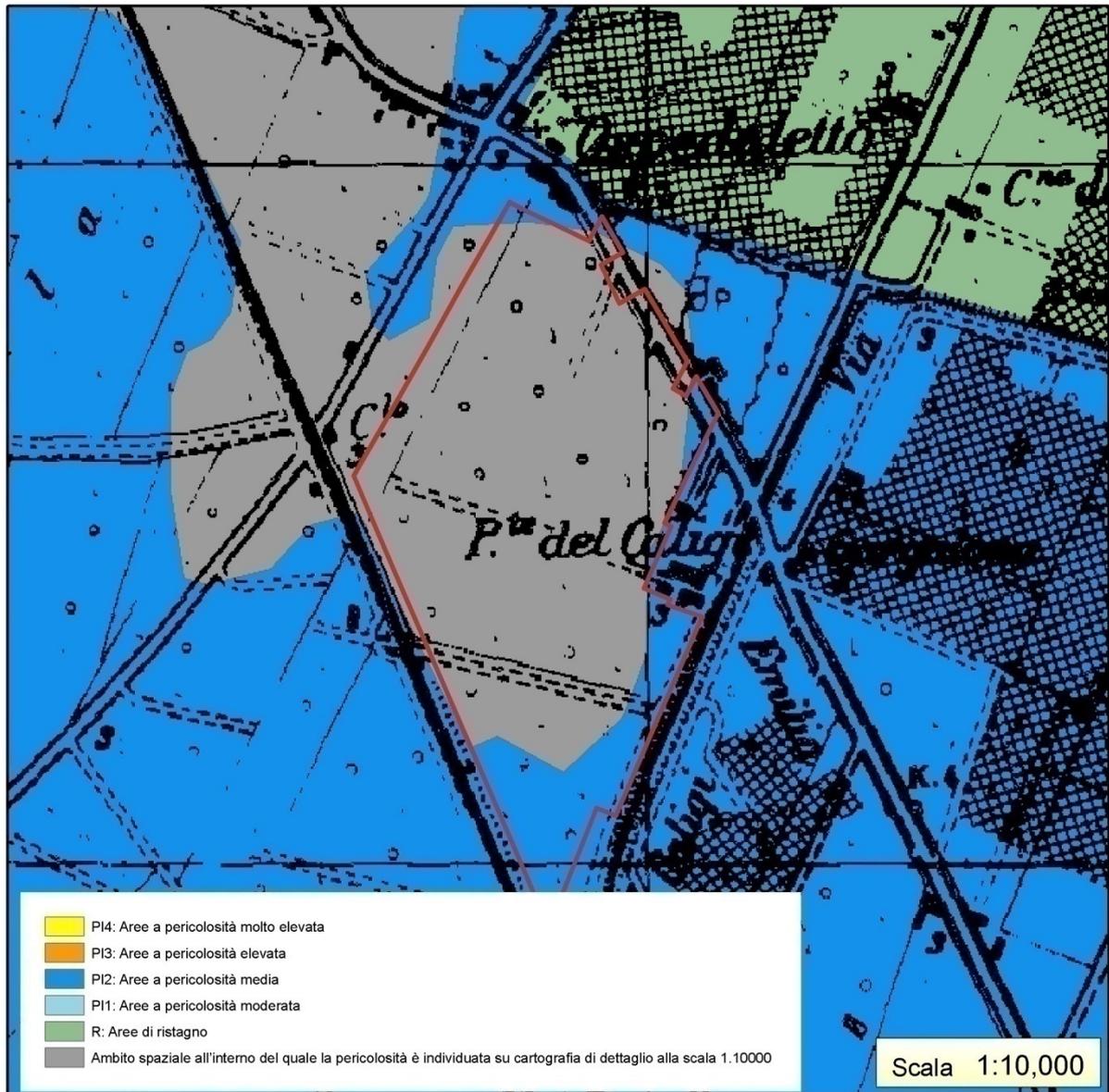


Fig. 5 PAI - Carta della “Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica – livello di sintesi” (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

Ai sensi del comma 3 dell’art. 36 “Lo Statuto del territorio toscano. Misure generali di salvaguardia - Titolo 2 – Statuto de territorio toscano, Piano di Indirizzo Territoriale”, entrato in vigore il 17 ottobre 2007, quota parte dell’area “Caserma BECHI LUSERNA” è individuata all’interno delle fascia della larghezza di 10 metri dal piede esterno dell’argine, in tale area “*gli strumenti di pianificazione territoriale e gli atti di governo del territorio non devono prevedere nuove edificazioni, manufatti di qualsiasi natura o trasformazioni morfologiche negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di m.10 dal piede esterno dell’argine, o in mancanza, dal ciglio di sponda ... omissis*”.

l’area “Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto” non risulta in tale ambito

### *Pericolosità geomorfologica*

Nel Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico adottato nella seduta di Comitato Istituzionale dell'11 novembre 2004 ed entrato in vigore con il D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3-10-2005) le aree di interesse non risultano essere individuate nella Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - livello di sintesi.

### *Vulnerabilità idrogeologica*

Le tavole che seguono mostrano la classificazione individuata nella Carta della "Vulnerabilità Idrogeologica", che accompagna il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa approvato con Del. C.P. 100/06, da cui l'area di variante interna alla "Caserma BECHI LUSERNA" risulta in parte a pericolosità bassa (2), media (3B) ed elevata (4A) mentre quella relativa al "Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto" risulta a vulnerabilità media (3A).

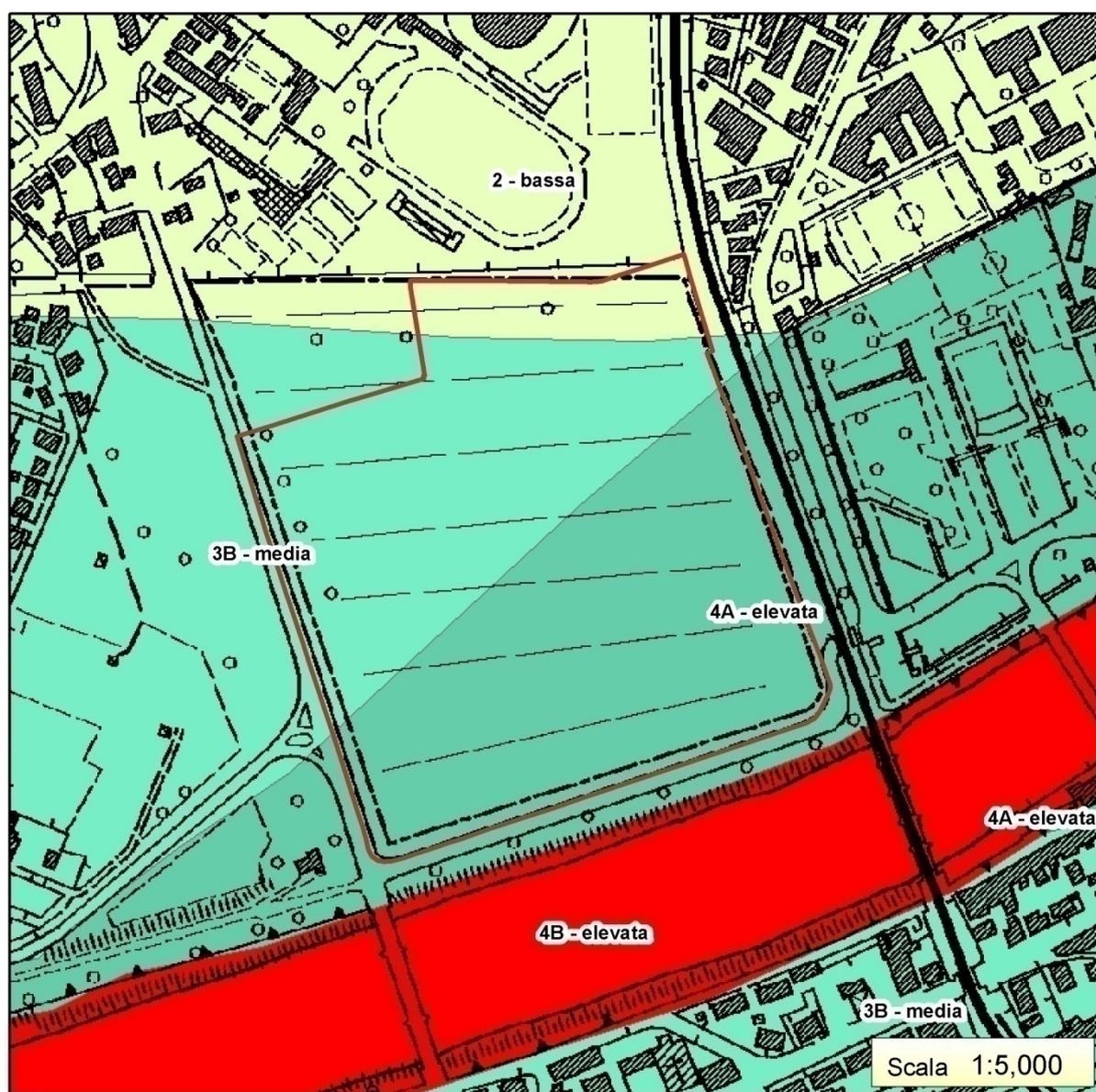


Fig. 6 PTC – Vulnerabilità idrogeologica (Caserma BECHI LUSERNA)



Fig. 7 PTC – Vulnerabilità idrogeologica (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

### *Pericolosità derivante dal Piano Strutturale*

Le aree di studio nel Piano Strutturale (approvato con D.C:C. n.103 in data 02.10.98 sono inserite ambedue nelle seguente classi di pericolosità “Classe 3a - PERICOLOSITÀ MEDIO-BASSA: zone in cui il tetto delle argille compressibili è posto a profondità maggiori di 2 m. dal p.c.”.

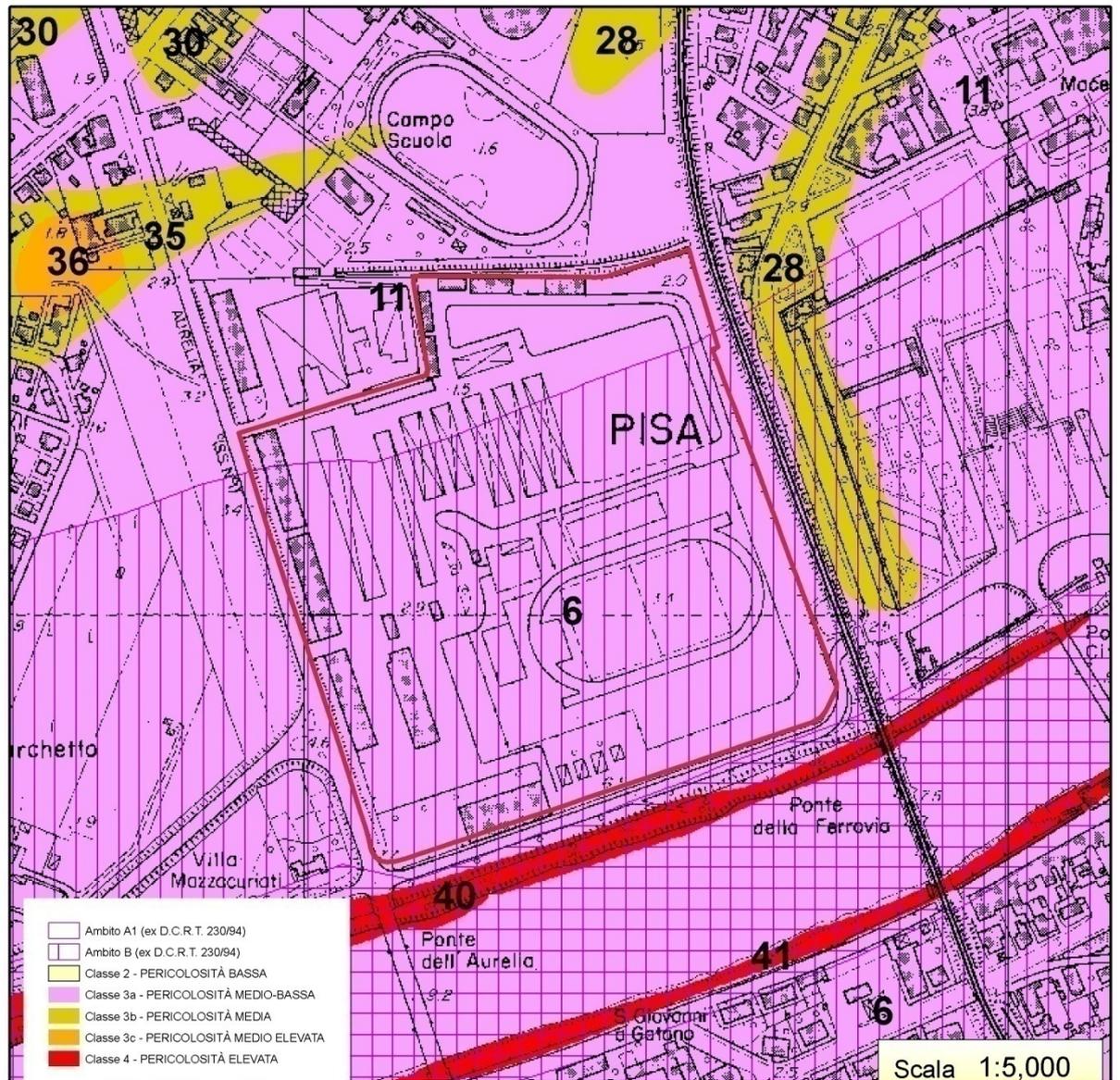


Fig. 8 PS – Pericolosità (Caserma BECHI LUSERNA)

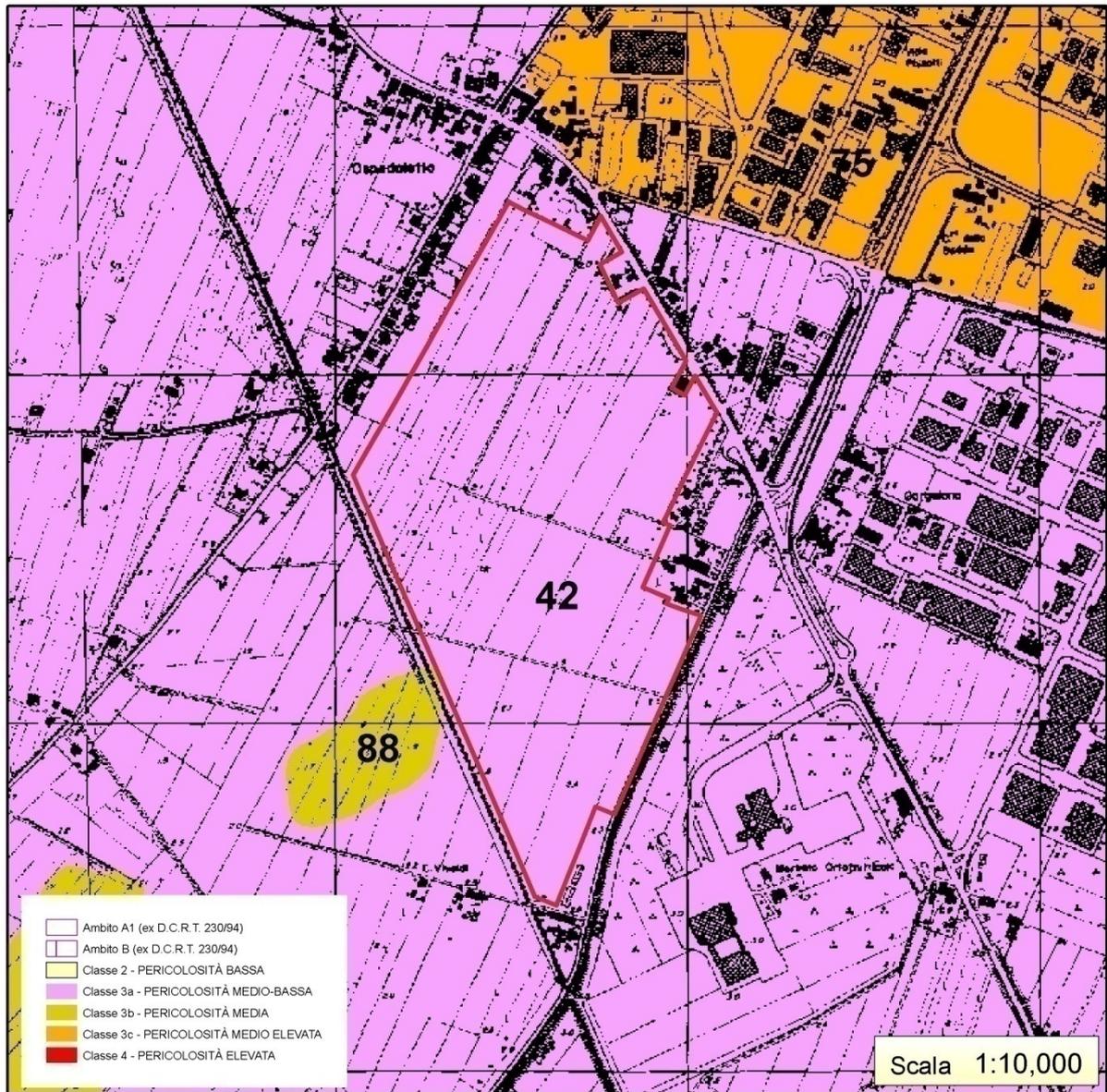


Fig. 9 PS – Pericolosità (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

L'area della "Caserma BECHI LUSERNA" risulta in Classe di fattibilità II analogamente l'area del "Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE – Ospedaletto" è in Classe di fattibilità II. L'esecuzione di eventuali opere sotto il piano di campagna deve sottostare a quanto indicato nelle norme del regolamento urbanistico.

### 3.2 CONSIDERAZIONI SULL'ATTIVITÀ SISMICA

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (Ord. 20 marzo 2003, n. 3274) (G.U. n. 105 del 8 maggio 2003) sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone" nonché le connesse "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", "Norme tecniche per progetto sismico dei ponti", "Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni" facenti parte integrante e sostanziale dell'Ordinanza stessa. Contestualmente alla ordinanza è stata ridisegnata una nuova mappa sismica dei comuni italiani. Le Norme Tecniche indicano 4 valori di accelerazioni ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da

applicare fissando quindi corrispondenti quattro zone sismiche attribuibili al territorio nazionale.

A tal proposito, in prima applicazione, fino alla predisposizione di una nuova mappa di riferimento a scala nazionale che soddisfi integralmente i nuovi criteri di zonazione sismica e relativo aggiornamento a livello regionale, nell'Allegato A della citata Ordinanza è indicata la classificazione sismica dei comuni italiani; sulla base della suddetta classificazione il Comune di Pisa, è classificato in Zona 2 ( $a_g/g = 0.25$ ).

Recentemente è stata approvata con Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431, la riclassificazione sismica del territorio regionale. Sulla base della suddetta classificazione il Comune di Pisa, è classificato in Zona 3s.

Con l'entrata in vigore in data 24 ottobre 2005 del D.M. 14 settembre 2005 "Norme Tecniche per le costruzioni" relativamente all'applicazione delle disposizioni di cui all'art. 104 del DPR 6 giugno 2001 n. 380, l'OPCM 3274/03, all'art. 2 comma 2, ha dato facoltà agli operatori di progettare e costruire con la classificazione sismica previgente, fino all'entrata in vigore delle nuove norme tecniche. Ne deriva, quindi, che le disposizioni di cui al citato art. 104 sono da applicarsi per le opere la cui esecuzione è successiva all'entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, ovvero il 24 ottobre 2005.

Al fine di permettere di progettare e costruire con la nuova classificazione sismica è necessario effettuare la caratterizzazione del suolo di fondazione definendone il parametro  $V_{s30}$  che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione ai sensi del D.M. 14-1-2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". Pubblicato nella Gazz. Uff. 4 febbraio 2008, n. 29, S.O.

Ai fini della caratterizzazione sismica la velocità di propagazione delle Onde S può essere ottenuta per via indiretta, ovvero ricavandola da indagini geognostiche (ad esempio dal parametro  $N_{spt}$  ricavato da una prova penetrometrica standard) o per via diretta, impiegando indagini di tipo sismico (down-hole, sismica a rifrazione, MASW, cono sismico).

### 3.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

Di seguito è illustrato il quadro conoscitivo utilizzato per la predisposizione della variante al PS.

#### 3.3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE ED EVOLUZIONE PALEOGRAFICA DELL'AREA

L'area in oggetto è situata nella pianura di Pisa che rientra nel Bacino Pisano-Versiliese, *Graben* compreso fra le Alpi Apuane e il Monte Pisano ad Est e la Dorsale della Meloria, sommersa dal mare, ad Ovest. Nell'apparente uniformità della zona possono essere in realtà distinte una fascia pedemontana in Versilia formata dai conoidi alluvionali dei torrenti Apuani, una fascia interna leggermente depressa e una fascia costiera formata da accumuli di depositi sabbiosi in forma di dune e dalla spiaggia vera e propria.

Il Bacino Pisano-Versiliese ha avuto il massimo sviluppo nel Pliocene inf-medio; in seguito è entrato a far parte dell'ampia regione emersa che si stendeva verosimilmente fino alla Corsica ed alla Sardegna per poi subire un nuovo notevole sprofondamento nel Pleistocene inf. L'inizio di una notevole ed intensa attività fluviale, riferibile contemporaneamente all'Arno e al ramo del Serchio passante ad Est del Monte Pisano, risale al tardo Pleistocene medio (Interglaciale Mindel-Riss). Al Würm II corrisponde una seconda fase fluviale attribuita all'Arno e al corso del Serchio ad Est del Monte Pisano, ampiamente rintracciata intorno ai 40 - 60 m di profondità nel sottosuolo superiore della pianura.

Ancora nelle fasi tarde dei Würm II corrispondono i depositi in prevalenza eolici, pedogenizzati, che bordano l'orlo meridionale della pianura (Sabbie di Vicarello) e formano uno sbarramento trasversale (Sabbie dell'isola di Coltano) posto all'interno dei sedimenti litoranei Olocenici della trasgressione versiliana.

Al Würm I sembra corrispondere la prima tracimazione del Serchio verso il mare attraverso la gola di Ripafratta, avvenuta in senso inverso a quello dell'attuale scorrimento delle acque, addirittura prima del Miocene Sup., e che è rimasta inattiva con lo sprofondamento del Bacino Pisano-Versiliese.

Analizzando più in dettaglio l'evoluzione paleogeografica della area oggetto di questo studio vediamo che, nel Miocene Superiore questa è interessata da una prima trasgressione marina, testimoniata dai depositi presenti sulle colline omonime: ai conglomerati basali seguono le argille lagunari, quindi sedimenti evaporitici ed infine sabbie, argille e conglomerati. Nel Pliocene Inferiore si instaurano condizioni di generale subsidenza che determinano una seconda fase di trasgressione marina e, i depositi oltrepassano i limiti del precedente ciclo arrivando a poggiare direttamente sulle rocce del substrato pre-neogenico. Nel Pliocene medio si verifica una regressione che porta, nel Pliocene Superiore, alla completa emersione del Valdarno inferiore, dando origine ad un complesso reticolo di valli fluviali, che prefigurano il sistema idrografico Arno - Serchio.

Nel corso del Pleistocene assumono grande importanza le oscillazioni eustatiche del livello del mare, collegate con le vicende dei cicli glaciali: a questa fase appartengono i depositi salmastri e marini del Pleistocene Inferiore affioranti sulle Colline Pisane.

Alla fine del Pleistocene inferiore il mare si ritira nuovamente scoprendo una vasta area pianeggiante che, successivamente sarà percorsa dal paleo-sistema idrografico, drenante i bacini dell'Arno e del Serchio; dall'apporto solido di questi corsi d'acqua inizia la costruzione della pianura alluvionale costiera (definito anche "substrato superiore"). Una prima importante fase di sedimentazione è rappresentata dai depositi alluvionali e fluvio-lacustri del Pleistocene medio-superiore affioranti, in forme terrazzate, sulle Cerbaie e sui margini delle Colline Pisane. In conclusione, in questa area, si sono succedute fasi in cui prevaleva una sedimentazione marina o lagunare-salmastra, con forti spessori di sabbie, limi ed argille, e fasi continentali nelle quali l'apporto di depositi più grossolani da parte dei corsi d'acqua era talvolta predominante. Nelle fasi più antiche di alluvionamento si sono sviluppati i depositi ghiaioso-ciottolosi del Paleosistema idrografico Arno-Serchio, distribuiti prevalentemente in ampi alvei di tipo fiumara; nelle fasi più recenti, durante i quali l'Arno e il Serchio si sono resi indipendenti, il trasporto solido diviene prevalentemente sabbioso-limoso, da parte di corsi d'acqua meandriformi, con granulometrie maggiori nei depositi di canale rispetto a quelli di esondazione. Alla progradazione e all'aggradazione della pianura hanno contribuito i depositi di spiaggia e quelli dei lidi e delle dune litoranei; gli spostamenti diacroni della linea di riva sono quindi segnati al di sotto delle coperture limo-argillose di origine alluvionale da allineamenti di depositi sabbiosi, collegati a quelli che affiorano attualmente lungo la costa e sul margine meridionale della pianura.

L'alimentazione dei depositi di spiaggia è data soprattutto dagli apporti detritici dell'Arno e del Serchio con un piccolo contributo da parte dei fiumi Apuani.

Nella Pianura Pisana affiorano dunque depositi del Pleistocene Superiore e dell'Olocene: i primi sono rappresentati dai depositi residui scampati all'erosione del Würm III, i secondi hanno uno spessore massimo di 30 metri e sono rappresentati da:

- ✓ Lidi e dune sabbiose;
- ✓ Sedimenti di esondazione fluviale depositi in vicinanza degli attuali corsi dell'Arno e del Serchio (sabbie argillose di Le Rene);
- ✓ Limi e argille alluvionali che rappresentano la frazione fine dei depositi di esondazione fluviale;
- ✓ Limi, argille, torbe palustri e depositi di colmate.

In estrema sintesi, facendo riferimento alla recente pubblicazione "La torre salvata – una storia per immagini" a cura di Raffaello Martelletti, Paolo Heiniger, Carlo Viggiani si può considerare che quasi tutta la pianura pisana, sia costituita da depositi geologicamente recenti (Pleistocene-Olocene) di ambiente lagunare e palustre; si tratta di limi, argille e sabbie fini, intercalati a sabbie eoliche costituenti antiche dune costiere.

Procedendo dal piano di campagna verso il basso si incontrano generalmente tre "Complessi" aventi caratteri geotecnicamente distinti, e cioè:

Complesso A: strati misti superiori di limi, argille e sabbie di vario spessore ed irregolarmente disposti, di colore prevalentemente giallastro, per una potenza complessiva generalmente di circa 10 m. All'estremo inferiore di questo complesso, a contatto con le sottostanti argille, si incontra generalmente uno strato di

sabbie fini mediamente addensate di colore grigio, dello spessore di un paio di metri.

Complesso B: costituito prevalentemente da argille, si può rinvenire generalmente fino alla profondità di 40 m circa al di sotto della superficie del terreno.

Al suo interno si distinguono:

- o le argille superiori, denominate localmente "pancone", di consistenza da ridotta a media, da leggermente sovraconsolidate a normalmente consolidate;
- o le argille intermedie, sovraconsolidate di elevata consistenza;
- o le sabbie intermedie;
- o le argille inferiori, normalmente consolidate di consistenza medio-alta.

Complesso C: sabbie inferiori, che possono giungere fino alla profondità di circa 70 m.

Generalmente la superficie di separazione tra le sabbie superiori e le argille del pancone è disposta secondo un piano orizzontale con scarti massimi di pochi centimetri.

### 3.3.2 ASPETTI GEOLOGICI GENERALI

---

Per la rappresentazione geologica dell'area è stata presa a riferimento la "Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei Rilievi Contermini - scala 1: 50.000" (CNR - Centro di Studi per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino - Pisa - Mazzanti et alii - Roma, 1994) nella quale si evidenzia che sia l'area "Caserma BECHI LUSERNA" che l'area "Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto" interessano prevalentemente la formazione geologica denominata "Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi e limosi (Olocene) [25]".

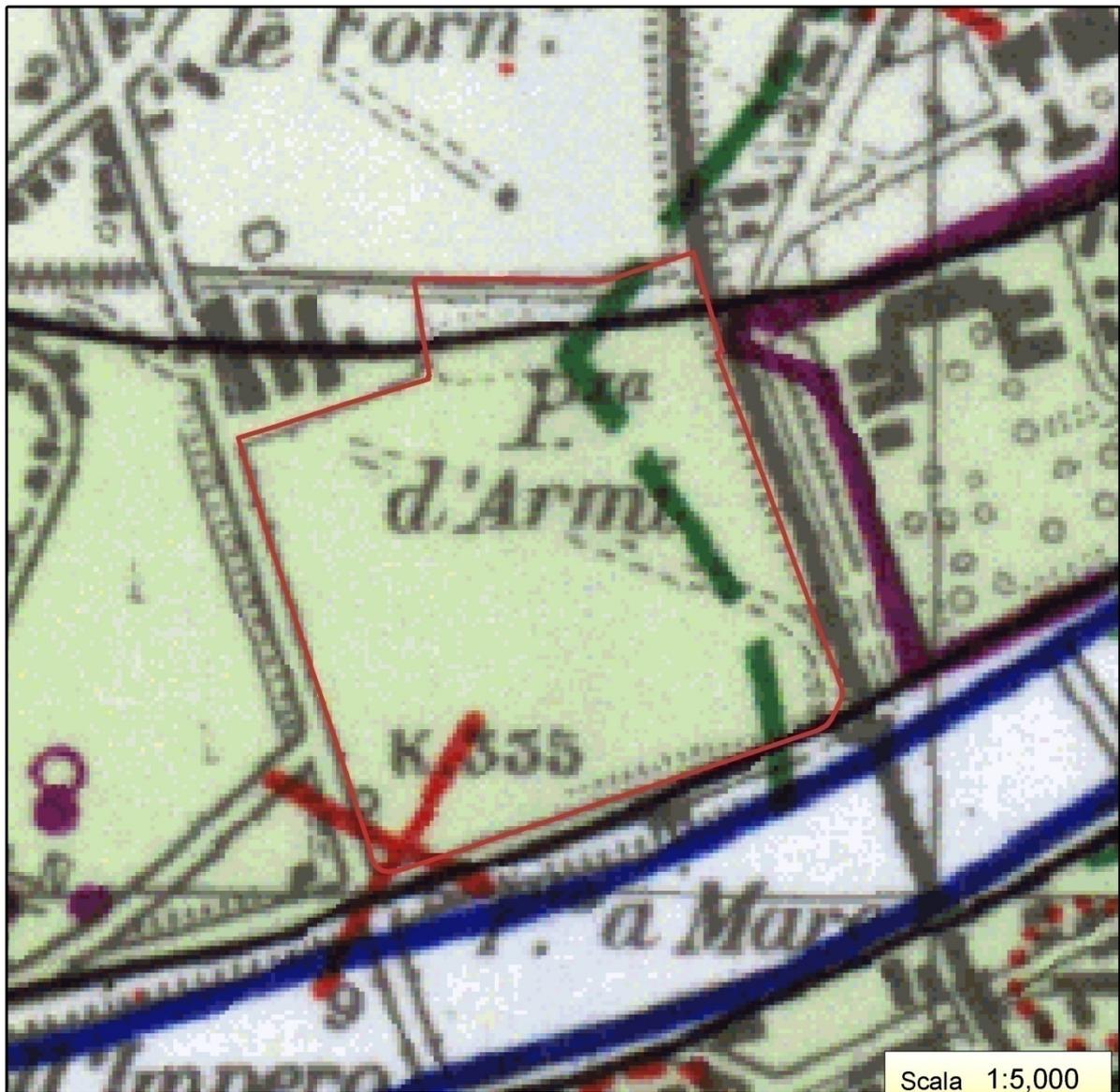


Fig. 10 Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei Rilievi Contermini (Caserma BECHI LUSERNA)

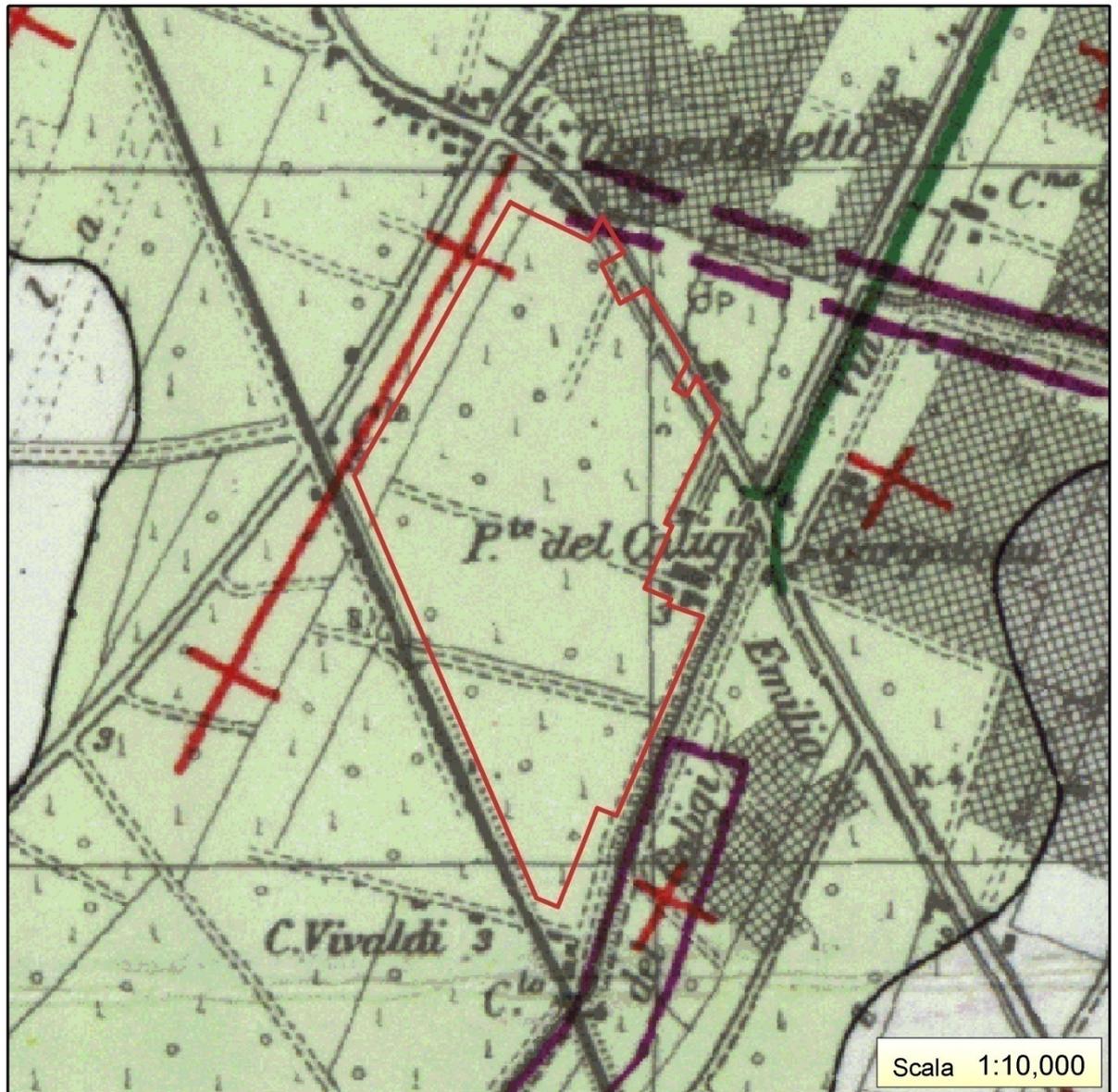


Fig. 11 Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei Rilievi Contermini (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

Inoltre è stata presa in esame la "Carta geologica" che accompagna il quadro conoscitivo di supporto alla predisposizione del Piano Strutturale dove sono cartografati e distinti i depositi affioranti in un ampio intorno della zona oggetto di studio per un ambito areale geologicamente significativo, ed in particolare sono rappresentati i seguenti litotipi:

- at - depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene).
- la - depositi alluvionali prevalentemente limosi e argillosi (Olocene)
- sa - depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi (Olocene)

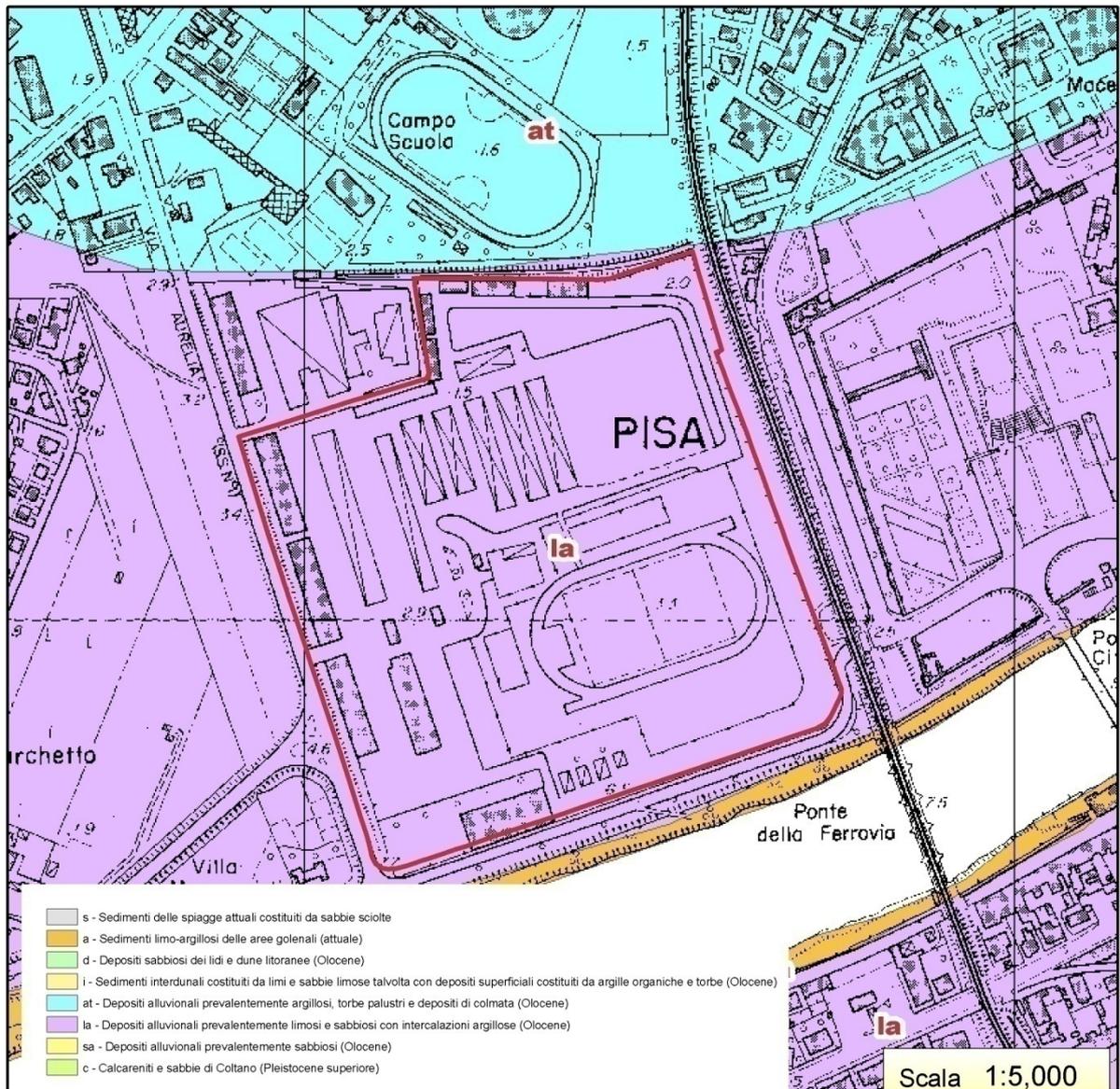


Fig. 12 B\_2\_4CartaGeologicaPianoStrutturale1998 (Caserma BECHI LUSERNA)

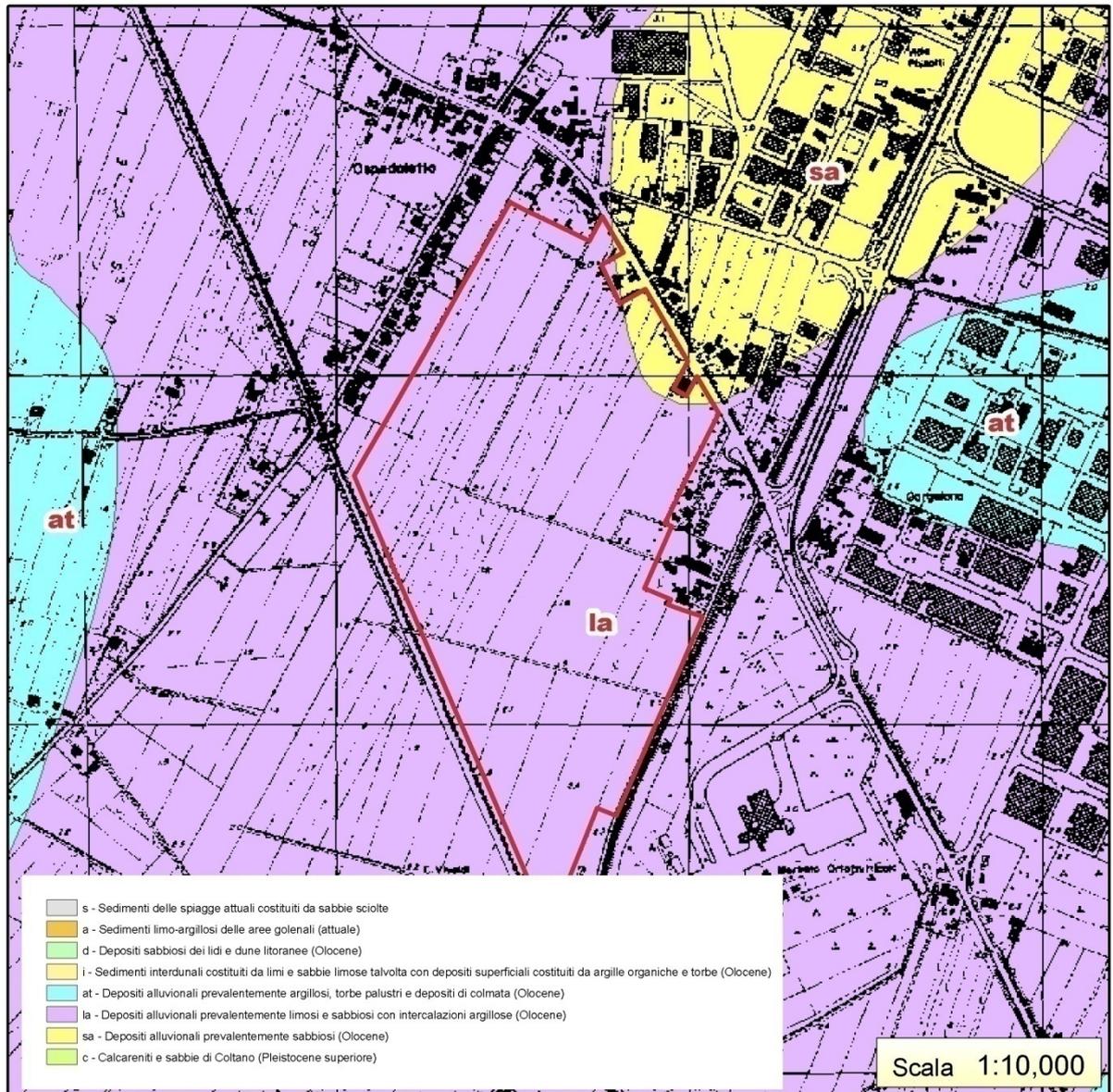


Fig. 13 B\_2\_4 Carta Geologica Piano Strutturale 1998 (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

### 3.3.3 ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Le aree di intervento sono collocate in un ambito di pianura con andamento quasi orizzontale, la cui quota altimetrica, rilevata in carta topografica (CTR 1:10.000), per l'area della Caserma BECHI LUSERNA è compresa fra i 1.5 e gli 6.5 m s.l.m. per l'area del Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto è compresa fra i 1.8 e gli 3.0 m s.l.m.. I profili topografici si caratterizzano per modeste variazioni morfologiche dovute essenzialmente a trasformazioni antropiche (riporto) connesse alle urbanizzazioni.

A grandi linee il settore d'interesse esibisce un quadro morfologico relativamente semplice non mostra indizi di erosione evidente nel suolo né d'instabilità.

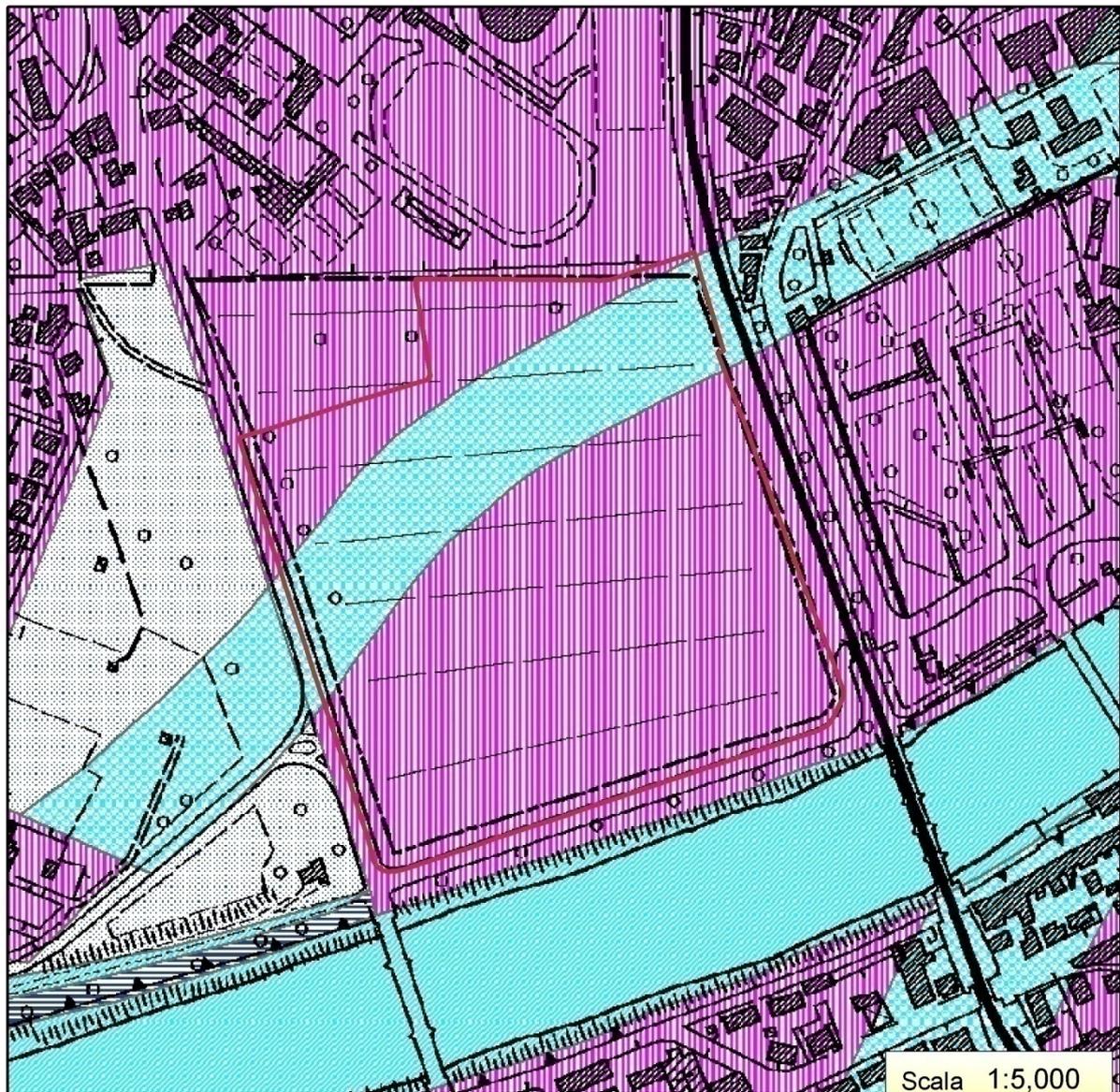


Fig. 14 Carta geomorfologica Provincia di Pisa (Caserma BECHI LUSERNA)

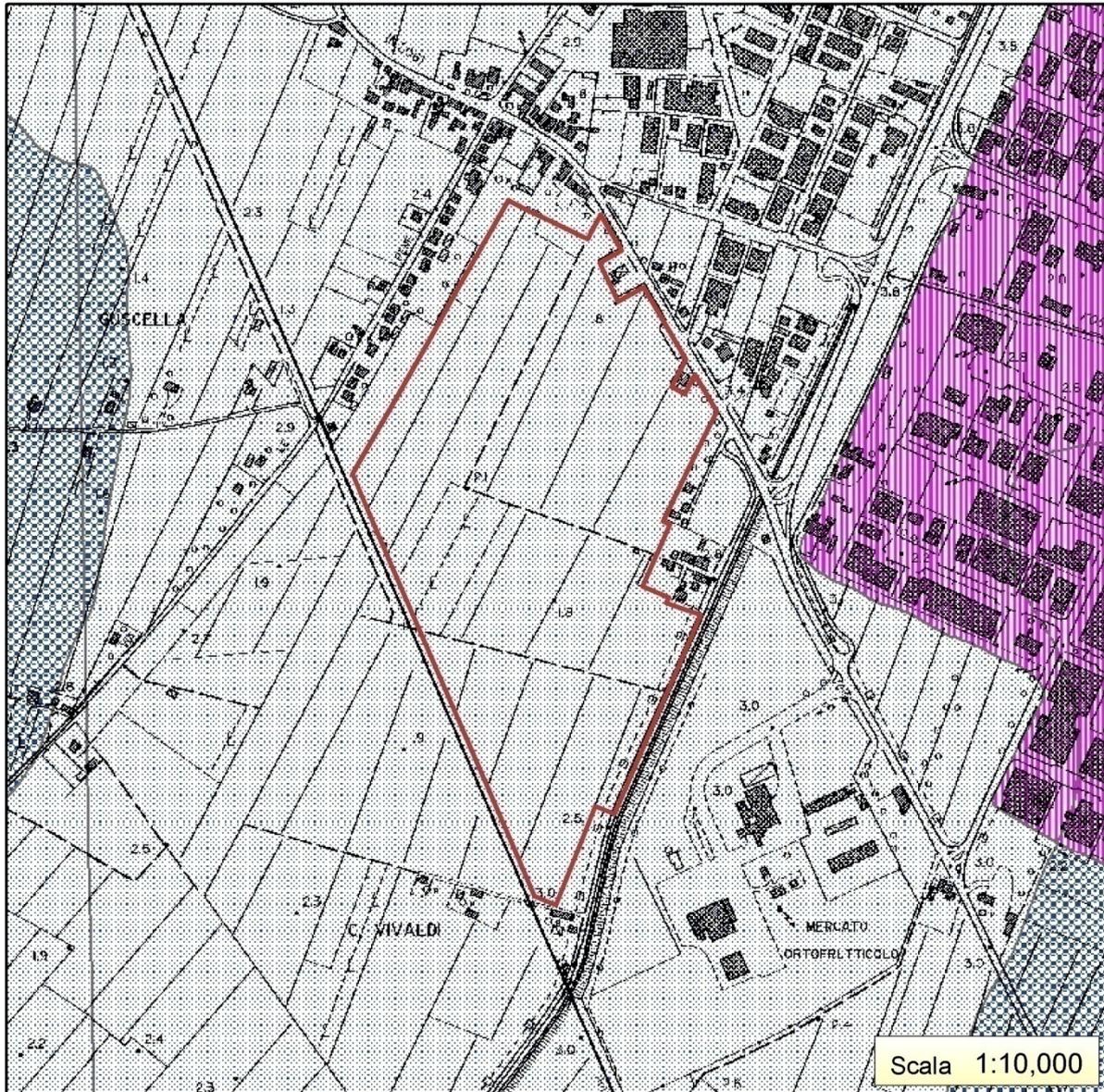


Fig. 15 Carta geomorfologica Provincia di Pisa (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)



Fig. 16 *Legenda geomorfologica Provincia di Pisa*

### 3.3.4 ASPETTI IDRAULICI

#### *INQUADRAMENTO SUI SISTEMI IDRAULICI*

#### *Il principale reticolo idraulico minore*

Oltre all'Arno (che è quasi completamente isolato dal reticolo minore e che non compare negli estratti cartografici della variante), la pianura pisana è attraversata da due sistemi idraulici separati, rispettivamente a scolo naturale (acque alte) e meccanico (acque basse) che afferiscono ai recettori principali a Sud (canale scolmatore e canale Navicelli) e a Nord (fiume Morto).

A nord dell'Arno il sistema "a scolo naturale" (o di "acque alte") raccoglie le acque meteoriche che provengono da zone morfologicamente rilevate del bacino (fascia pedemontana). A sud dell'Arno il sistema drena invece la porzione di pianura compresa tra il fiume e la strada ad alto scorrimento FI-PI-LI.

Il sistema a "scolo meccanico" (o di "acque basse") raccoglie mediante un'estesa rete di fossi e canali della bonifica, le acque meteoriche che ristagnano nelle parti del territorio più depresse, comprese quelle di falda. Queste acque sono recapitate ai recettori finali mediante sollevamento meccanico (impianto idrovoro). La bonifica idraulica per prosciugamento meccanico ha la duplice finalità di raccogliere le acque meteoriche e di impedire che la quota della falda freatica sia troppo vicina alla superficie del terreno, così da recare danno alle culture agricole.

Il sistema della bonifica meccanica della piana pisana è regolato da 7 impianti idrovori. I principali corpi idrici recettori delle bonifiche, sia meccaniche che naturali, sono:

- ✓ il Fiume Morto, per la zona posta a Nord dell'Arno;
- ✓ il Canale Nuovo dei Navicelli, per la zona posta a Sud dell'Arno e ad Ovest di Pisa;

- ✓ il Canale Scolmatore per la zona più meridionale della pianura pisana cui recapitano rispettivamente la Fossa Chiara e l'impianto idrovoro del Calambrone (Lamone sud);
- ✓ il Fiume Arno limitatamente allo scarico dell'impianto idrovoro di Marina di Pisa (Lamone nord).

IL SISTEMA IDRAULICO DELL'AREA DI VARIANTE OSPEDALETTO SUD (UTOE 36)

---

Nella carta dei sistemi idraulici è descritto il reticolo idraulico di un intorno significativo delle aree di studio, dal quale si desume il rapporto gerarchico esistente tra le varie linee idrauliche.

L'area della Caserma Bechi Luserna è inserita nel sottobacino di bonifica del Fiume Morto – sottobacino di bonifica a scolo naturale, l'area del Nuovo Insediamento Militare - Ospedaletto è inserita nel sottobacino di bonifica dell'Arnaccio.

Sottobacino di bonifica dell'Arnaccio

Questo sottobacino di bonifica dell'Arnaccio è stato realizzato nel 1933 ed interessa un ampio comprensorio idraulico, delimitato ad Est dall'allineamento Strada Putignano-Le Rene-Fosso Caligi, a Sud dalla Fossa Chiara, a Nord dalla golena sinistra dell'Arno ed ad Ovest dalla bonifica di Coltano e di S. Giusto, caratterizzato da quote minime inferiori allo zero nella sua parte sud-occidentale, che vanno aumentando verso NE. A sua volta è distinto in due sottobacini:

- *sottobacino di bonifica dell'Arnaccio a scolo meccanico*. Le acque raccolte dalla rete di scoline campestri e fossi sono convogliate all'impianto idrovoro dell'Arnaccio e, di qui, alla Fossa Chiara. Una piccola parte è collegata all'impianto idrovoro di Paludello che scarica nel Fosso Caligi.

- *sottobacino di bonifica dell'Arnaccio a scolo naturale*. Questa rete raccoglie le acque provenienti dalla fascia di territorio compresa tra fiume Arno e superstrada PI-LI. Le principali linee idrauliche sono il Fosso Caligi, F. di Oratoio, F. di Titignano, F. Torale che confluiscono nella Fossa Chiara.

Analisi del sistema idraulico locale

La zona esterna al comparto è attraversata dalla rete della bonifica "acque alte" di direzione Nord-Sud (fosso di Titignano, fosso di Oratoio). I due fossi, posti al margine ovest (Fosso di Oratoio) ed est (fosso di Titignano) sottopassano la linea ferroviaria Pisa-Collesalveti e proseguono verso sud convergendo progressivamente verso il fosso Caligi. Il tracciato del Fosso di Oratoio è più tortuoso, si insinua tra l'inceneritore e la discarica di Croce al Marmo e poi devia in corrispondenza della ferrovia. Il tracciato del Fosso di Titignano ha un andamento più rettilineo, sottopassa sia la via Emilia che la linea ferroviaria senza curve proseguendo verso sud.

La zona interna all'area di variante presenta alcuni fossi e colatoi minori della bonifica a scolo meccanico. Il principale asse di drenaggio è costituito dal fosso Ceria. Il suo tracciato è rettilineo, attraversa il comparto in posizione mediana e prosegue, oltrepassata la linea ferroviaria, in direzione sud. I numerosi fossi campestri confluiscono in alcuni capifosso e quindi nel fosso Ceria o all'antifosso di Tirignano (entrambi a scolo meccanico) o in quello di Oratoio (a scolo naturale). Allo stato attuale la rete campestre appare in buone condizioni di conservazione e manutenzione.

Verifica idraulica sul Fosso di Titignano per una Q200

La fascia orientale dell'area di variante ricade, per un'ampiezza di 300 m dal ciglio di sponda, all'interno dell'Ambito "B" del Fosso di Titignano (PI 802: corso d'acqua in elenco, Art.5 della Del.C.R. 230/94, oggi P.I.T.).

Ai sensi della normativa vigente (P.I.T.) il tratto del fosso di Titignano corrispondente all'area di studio è soggetto ad una verifica idraulica per tempi di ritorno duecentennale.

La relazione di verifica idraulica a cura del Prof. Pagliara (relazione depositata presso URRT in data 02.03.2005 n. 26/2005 – Indagini geologico-tecniche a supporto della Variante parziale al Piano Strutturale del Comune di Pisa), ha accertato che il Fosso di Titignano non risulta verificato per la piena di ritorno duecentennale, che produrrebbe tracimazioni in sponda destra e sinistra.

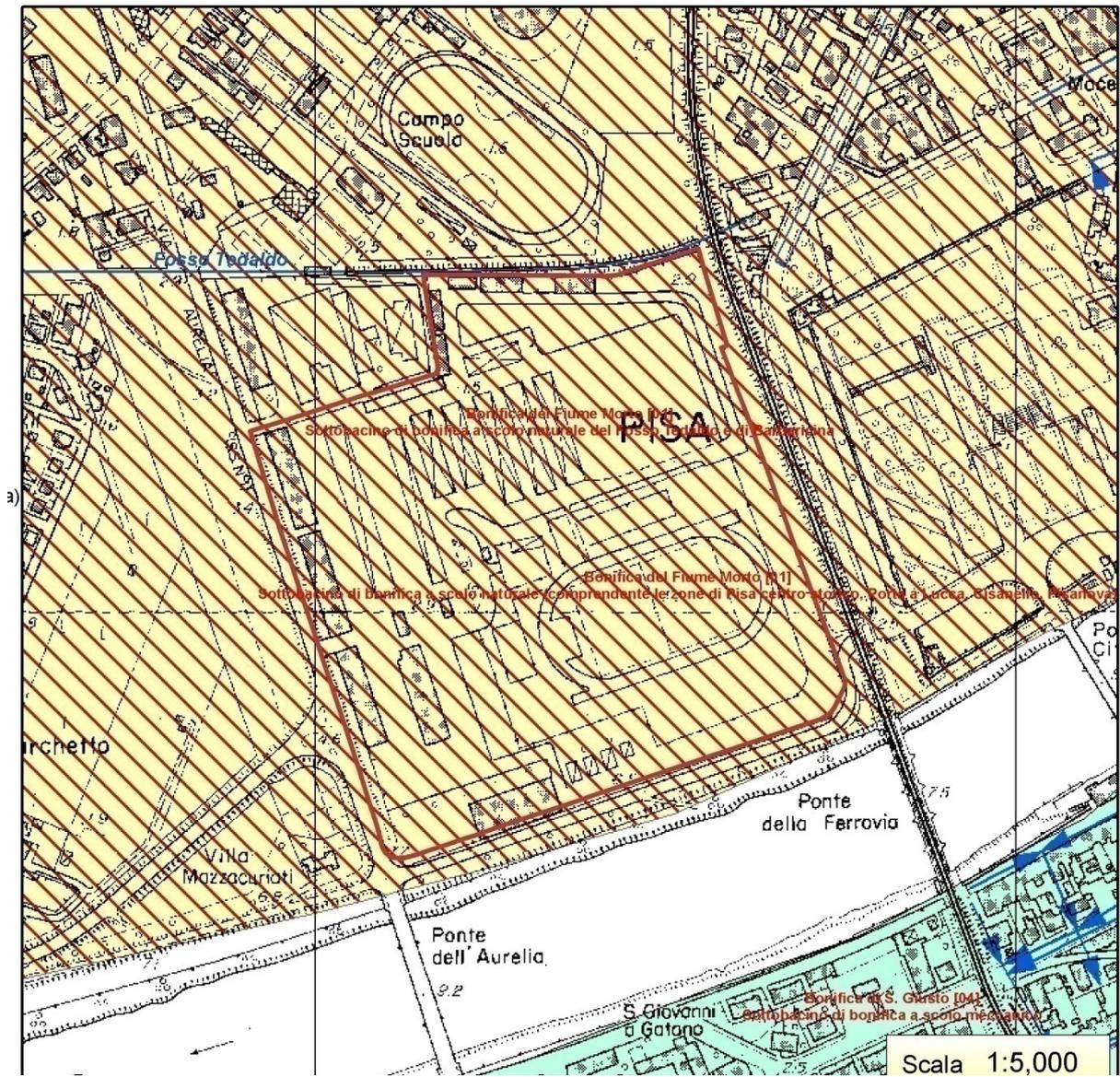


Fig. 17 Carta Sistemi Idraulici (Caserma BECHI LUSERNA)

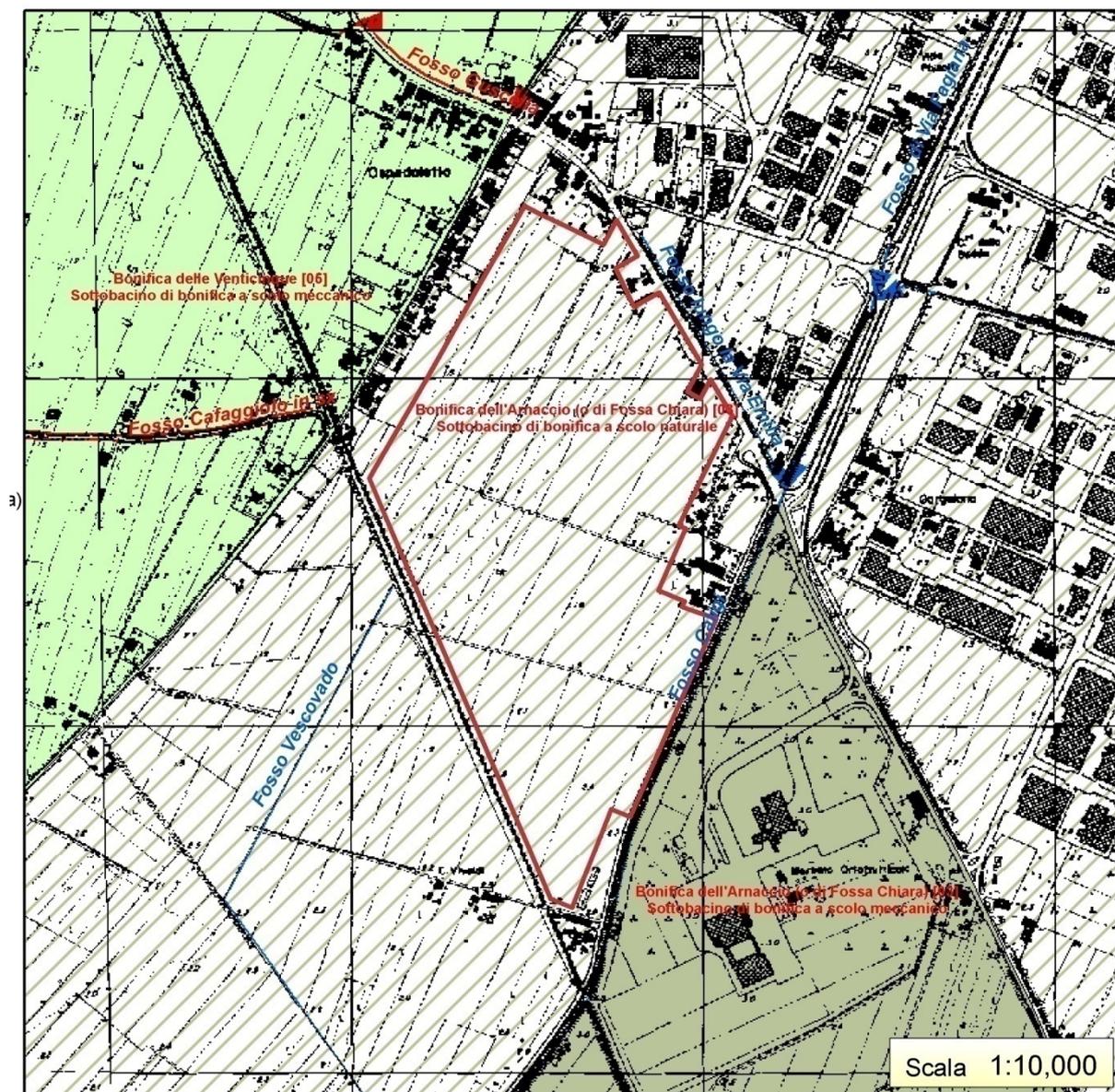


Fig. 18 Carta Sistemi Idraulici (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

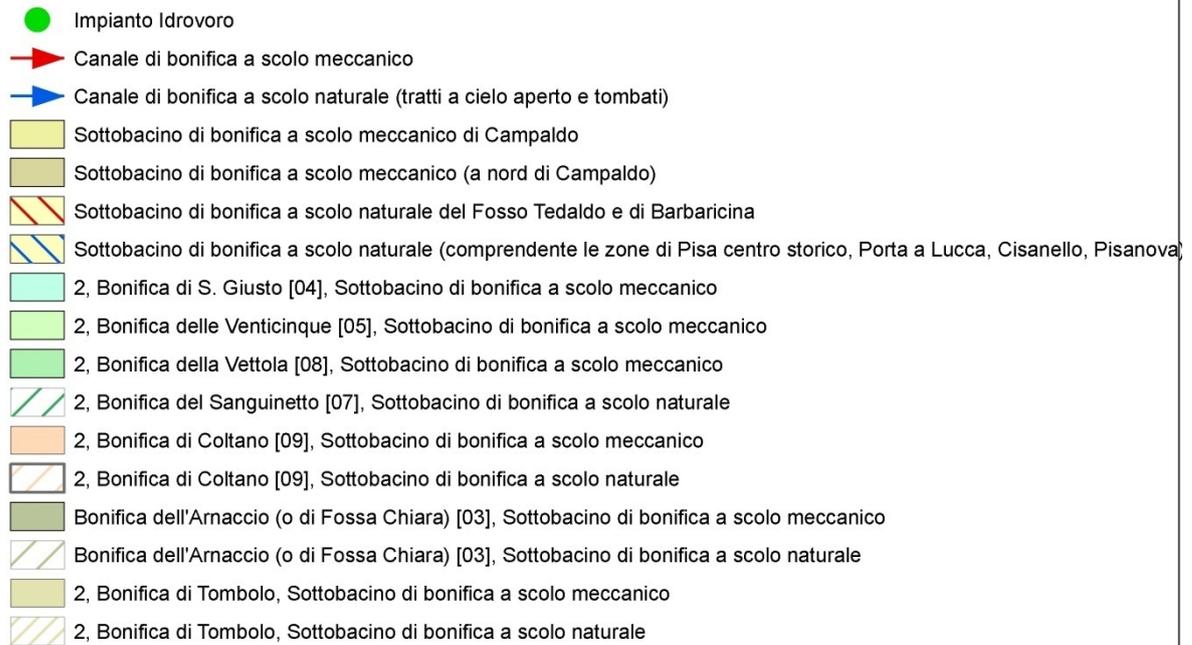


Fig. 19 *Legenda geomorfologica Provincia di Pisa*

### 3.3.5 RISCHIO IDRAULICO

#### SALVAGUARDIE PER L'AMBITO B (ART. 3.15 R.U.) AREA DI VARIANTE CASERME BECHI LUSERNA

Riprendendo quanto indicato nel R.U. art. 3.15 e nell'art. 77 del P.I.T., vigente fino all'8 marzo 2005, le salvaguardie a carattere idraulico si applicano per le previsioni urbanistiche ricadenti nell'ambito denominato "B" comprendente le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d'acqua classificati.

L'ambito "B" corrisponde alle aree a quota altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno d'argine o, in mancanza sopra il ciglio di sponda e non potrà superare la distanza di metri lineari 300.

Le salvaguardie si applicano alle nuove previsioni di ambito "B" degli strumenti urbanistici generali e loro varianti, comunque volte a conseguire incrementi di superficie coperta superiore a 500 mq.

Le previsioni possono essere approvate se sul corso d'acqua interessato si effettua una specifica indagine idrologico-idraulica al fine di individuare l'eventuale presenza del rischio idraulico valutato sulla base della piena con tempo di ritorno duecentennale ( $Tr_{200}$ ). Ed alla presenza di rischio idraulico così definito dovranno essere individuati nello S.U. gli interventi di regimazione idraulici dimensionati sulla base della piena con tempo di ritorno  $Tr_{200}$ .

Il Comune di Pisa sta provvedendo ad adeguare il proprio strumento urbanistico a seguito dell'approvazione del Piano di bacino del fiume Arno, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), e come previsto dall'art. 27 "Adeguamento degli strumenti di governo del territorio", ha proceduto ad effettuare la verifica di coerenza tra il PAI ed i propri strumenti di pianificazione territoriale e di governo del territorio. Le risultanze di tale verifica hanno messo in luce sostanziali differenze tra i due strumenti, per cui l'Amministrazione Comunale ha deciso, ai fini dell'adeguamento del proprio strumento urbanistico di procedere ad approfondire il quadro conoscitivo utilizzato per la predisposizione del PAI attenendosi a quanto previsto all'art. 32 "Procedura di integrazione e modifica del PAI. Le verifiche idrauliche finalizzate a valutare la presenza del rischio idraulico, necessarie ai sensi dall'art. 3.15 del R.U. che recepisce quanto disposto dalla ex 230/94, possono essere considerate effettuate dall'Autorità di Bacino. Autorità che per la predisposizione del PAI ha effettuato uno studio molto dettagliato sugli effetti delle esondazioni provocate dall'Arno, predisponendo le

cartografia di pericolosità idraulica che a breve saranno recepite negli strumenti urbanistici del Comune di Pisa.

### 3.3.6 ASPETTI IDROGEOLOGICI

---

#### *I PRINCIPALI SISTEMI IDROGEOLOGICI*

---

Dall'esame della carta di permeabilità si osserva che le due aree presentano situazioni idrogeologiche assai simili.

In generale sono presenti 2 sistemi idrogeologici distinti:

- il complesso dei limi superficiali dell'Arno
- il complesso delle argille

#### *IL COMPLESSO DEI LIMI DELL'ARNO*

---

Un'ampia fascia di territorio, posta in fregio all'Arno è costituita dalla sovrapposizione di tratti di paleoalvei del fiume che, non ancora arginato e rettificato, è stato libero di divagare e depositare nella pianura circostante, oltre a depositi di colmata legati a episodi deposizionali recenti/storici dell'Arno.

In pratica il complesso dei limi superficiali (a componente limosa più o meno sabbiosa) e sovrastanti i terreni argillosi del "pancone" è formato da una successione di tratti di paleoalvei, sub-superficiali o sepolti ed interconnessi. Questa particolare forma di deposizione spiega l'estrema eterogeneità dei limi ed i frequenti collegamenti idraulici orizzontali e verticali presenti tra gli acquiferi freatici, semi-freatici e confinati di questi sedimenti.

Allontanandosi dall'Arno verso sud (zona di Ospedaletto) la composizione granulometrica dei limi tende a decrescere, passando da limi sabbiosi (zone prossimali al fiume) a limi e limi argillosi (zone distali).

I terreni ascrivibili al complesso dei limi possono presentare quindi caratteristiche di permeabilità variabili, decrescenti dall'Arno verso sud e nord. Quando presenti gli acquiferi tendono a concentrarsi nelle zone prossimali e principalmente poste in corrispondenza dei paleoalvei (come dimostrato dalla densità di pozzi di grande diametro). Il tetto di questi acquiferi è molto superficiale e prossimo al p.c. ed il fiume Arno ne rappresenta il principale (talora unico) sistema di alimentazione.

La permeabilità di questo complesso di terreni è media, passante a medio basso verso le aree distali ed aumentando ad elevata in corrispondenza dei paleoalvei. In questo ultimo caso gli acquiferi (freatici/semifreatici) presenti nei paleoalvei assumono la caratteristica di prima risorsa vulnerabile (da proteggere e salvaguardare).

#### *IL COMPLESSO DELLE ARGILLE*

---

Un ampio settore centrale del territorio comunale, a sud e a nord dell'Arno, si caratterizza per la presenza di terreni argillosi impermeabili, privi di falda freatica. In questi terreni la prima risorsa vulnerabile (che possiede le caratteristiche di risorsa da salvaguardare) è presente in un livello di sabbie sottostante i sedimenti argillosi ed a profondità significative dal p.c. (da plurimetriche a decametriche).

Ci si riferisce all'acquifero in sabbie-confinato, a carattere "regionale", ampiamente diffuso in tutta la porzione centro orientale del territorio comunale.

E' presente anche sotto il complesso dei limi dell'Arno, dove però appare sovrastato da altri acquiferi superficiali (che, come visto nel paragrafo precedente, assumono i connotati di prima risorsa vulnerabile).

La permeabilità di questo complesso è bassa/molto bassa. La prima risorsa vulnerabile appare sufficientemente protetta dagli spessi sedimenti impermeabili superiori.

## 4 ANALISI E APPROFONDIMENTI

---

In tale sezione si descrivono gli approfondimenti ritenuti necessari per dare completezza, integrare ed aggiornare le conoscenze sugli aspetti caratterizzanti le aree interessate dalla variante.

---

#### *4.1 ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI*

---

Le indagini geognostiche e il rilevamento geologico condotto non hanno portato ad un sostanziale mutamento del quadro conoscitivo iniziale confermando la presenza esclusiva di formazioni oloceniche. In particolare, nell'area si è confermata la netta prevalenza di litotipi coesivi, rispetto ai litotipi granulari. Da un punto di vista sismo tettonico non si hanno nuovi elementi, in quanto trattasi di studi a livello di dettaglio e non regionale, salvo rilevare l'attivazione periodica negli ultimi anni delle faglie presenti in area sottomarina tra Livorno e Viareggio che hanno causato terremoti superficiali con magnitudo massima intorno a 4 (fonte Servizio Sismico Regionale).

#### *4.2 ELEMENTI LITOLOGICO-TECNICI*

---

Per determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo sono stati utilizzati: per l'area "Caserma BECHI LUSERNA" i dati acquisiti in precedenti indagini geognostiche, dati presenti negli archivi del Comune di Pisa, mentre sull'area del "Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE – Ospedaletto", si è proceduto ad eseguire una nuova indagine geognostica molto approfondita in previsione della necessità di predisporre a breve termine una relazione a supporto del progetto definito di intervento.

##### *AREA "CASERMA BECHI LUSERNA"*

---

- n. 1 Sondaggio a carotaggio continuo denominato "000017-b.

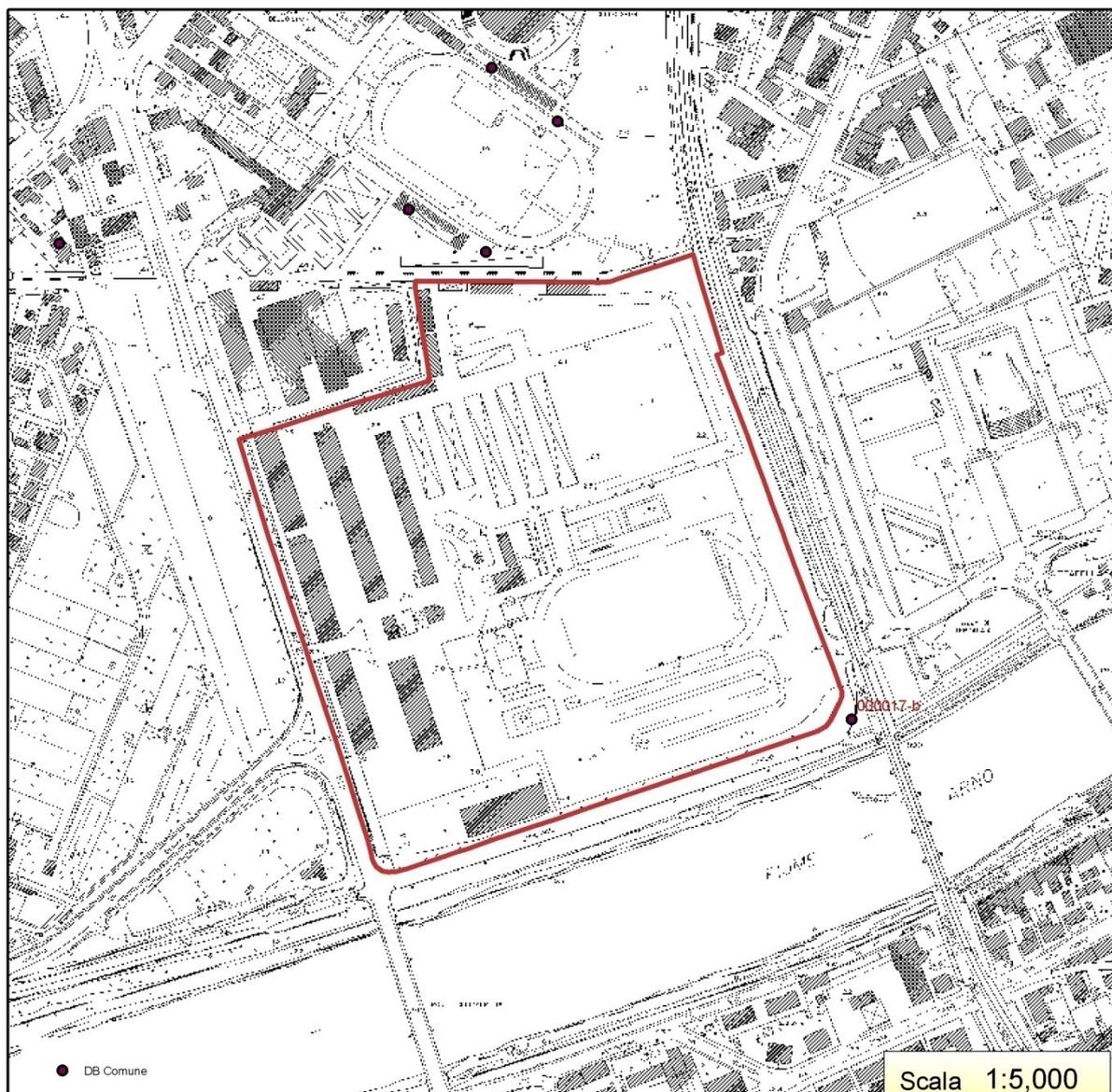


Fig. 20 Ubicazione indagini

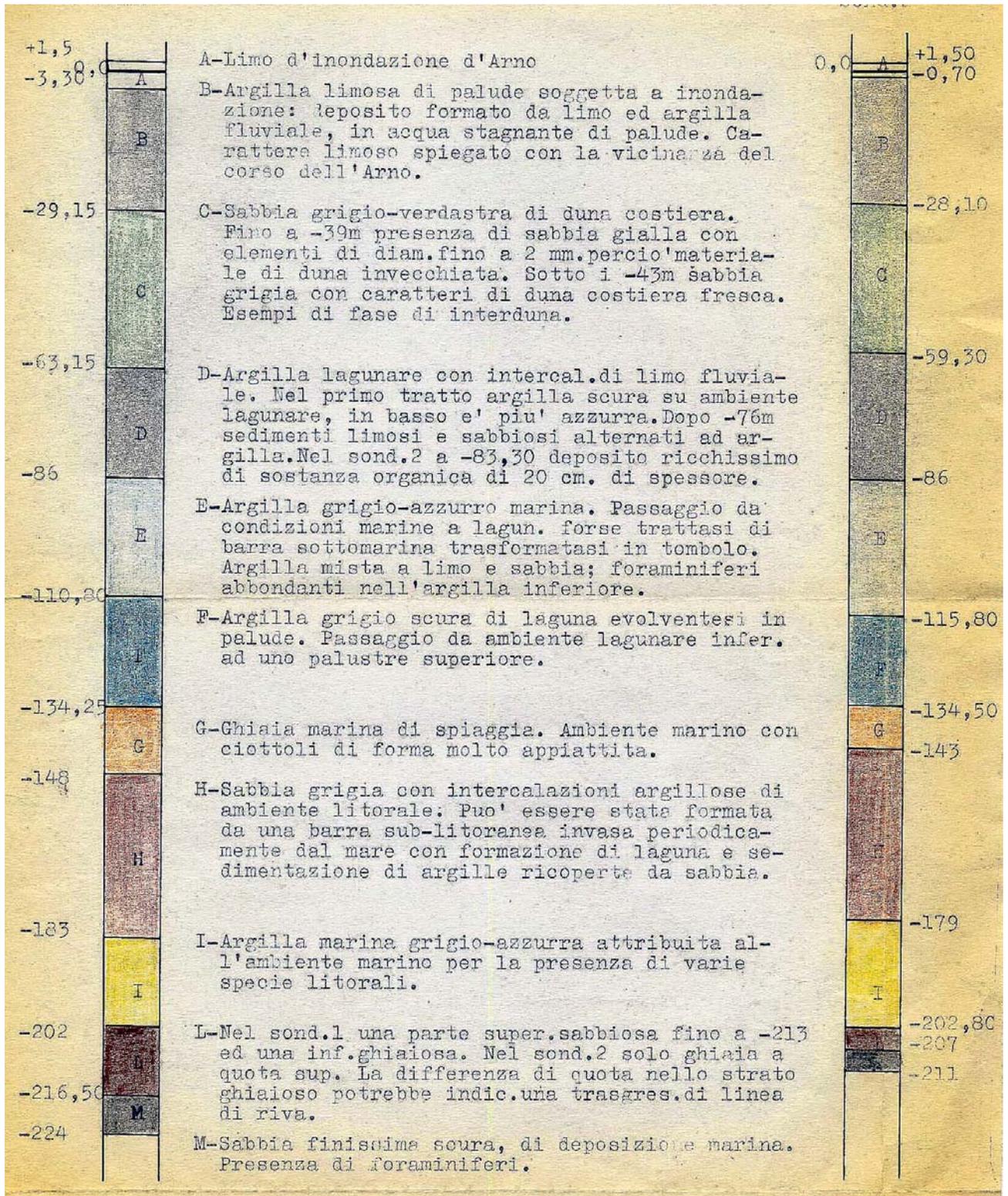


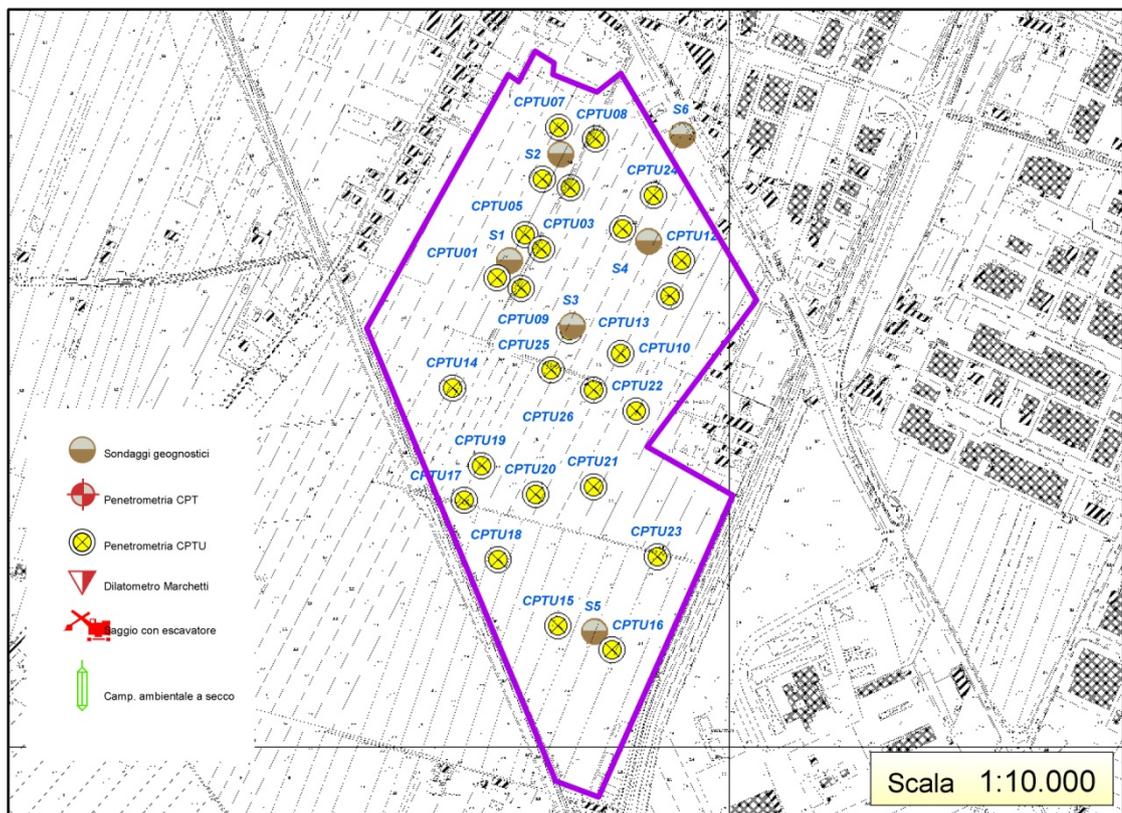
Fig. 21 Stratigrafia associata al punto 000017-b

CRITERI DI INDAGINE AREA NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE - OSPEDALETTO

Il programma d'indagine concernente l'area, ha compreso lo studio di varie prove penetrometriche statiche con punta elettrica, sondaggi e prove geofisiche, tali indagini sono state finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geologiche geotecniche ambientali e archeologiche dei terreni che saranno interessati dalla realizzazione di un nuovo insediamento militare in località "Ospedaletto";

All'impresa è stato richiesto di eseguire le seguenti operazioni localizzate nella pianura d'Arno in Provincia di Pisa, nel Comune di Pisa, secondo quanto di seguito descritto:

- ✳ n. 6 sondaggio a rotazione e carotaggio continuo 5 spinti alla profondità di 30 m ed uno spinto fino a 15 m;
- ✳ prelievo di n. 14 campioni di terreno indisturbato;
- ✳ n. 10 SPT in foro
- ✳ n. 5 prove di permeabilità in foro Lefranc
- ✳ analisi geotecniche di laboratorio:
  - n. 14 aperture campione indisturbato, descrizione geotecnica e prove speditive di consistenza;
  - n. 14 determinazioni massa volumica apparente o densità;
  - n. 14 determinazioni del limite di liquidità e di plasticità (Atterberg), con indicazione dell'indice di plasticità, CNR UNI 10014.64;
  - n. 14 analisi granulometriche complete (per setacciatura e sedimentazione);
  - n. 14 determinazioni contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa;
  - n. 14 prove di consolidazione edometrica ad incrementi di carico controllati, compresa determinazione dei coefficienti  $C_v$ ,  $K$ ,  $E_{ed}$  e la preparazione dei diagrammi cedimento-Log  $t$ ;
  - n. 14 prove di compressione con espansione laterale libera (ELL) con rilievo della curva di deformazione su due provini
  - n. 6 prove di compressione triassiale non consolidata – non drenata (uu);
- ✳ n. 26 prove penetrometriche CPTU spinte alla profondità di 30 m;
- ✳ n. 1 prospezione di sismica Multi –channel Analysis of Surface Waves M.A.S.W. della lunghezza minima di 69 ml, per la determinazione ed il parametro  $V_s30$ ;
- ✳ n. 2 prospezioni sismiche Down-hole per la determinazione del parametro  $V_s30$
- ✳ installazione di n. 1 piezometri;
- ✳ fornitura di n. 1 strumenti di misura per la registrazione delle variazioni del livello idrico e temperatura all'interno di n. 1 piezometro;



## Sondaggi

In allegato sono riportati i risultati ottenuti dai sondaggi attraverso la rappresentazione grafica di colonne stratigrafiche, la relativa descrizione dei terreni attraversati e le quote di prelievo dei campioni indisturbati, corredati dell'inquadramento geografico.

Tutti i fori di sondaggio sono stati eseguiti con perforatrice idraulica cingolata "SOILMEC SM 401".

La perforazione a carotaggio continuo (S1, S2, S3, S4, S5) è stata realizzata con carotieri semplice avente diametro nominale di 101 mm e lunghezza utile di 1,50 e 3,00 m, dotato di corona widia, con il quale si sono ottenute percentuali di recupero mediamente superiori all'80%. Tale equipaggiamento non richiede l'uso di un fluido di circolazione durante le operazioni di carotaggio. Al termine di ogni manovra, le carote estratte sono state collocate in apposite cassette catalogatrici dotate di appositi separatori interni. Su ogni cassetta sono stati indicati in maniera chiara e indelebile le profondità dell'intervallo di carota contenuto, la posizione dei campioni indisturbati prelevati e la profondità delle prove SPT. Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo si è fatto uso di acqua pulita solo ed esclusivamente dopo l'ingresso in falda, e soltanto per le manovre di alesaggio per il rivestimento provvisorio delle pareti del foro, effettuato con tubi di rivestimento aventi diametro di 127,00 mm.

Il sondaggio a distruzione di nucleo (S6) è stato invece eseguito facendo avanzare i tubi di rivestimento e contemporaneamente pompando acqua pulita in pressione dentro i tubi stessi.

L'analisi delle carote estratte dal sondaggio (S1, S2, S3, S4, S5) ha consentito un'accurata ricostruzione della colonna stratigrafica sulla verticale del sondaggio fino a 30 metri. Le diverse tipologie di terreno rilevate sono descritte di seguito:

### Sondaggio S01

da	a	Litologia
0	2.30	Limi e sabbie/limose di color ocra
2.30	5.70	Argilla marrone compatta
5.70	7.00	Argilla grigio scura poco compatta
7.00	8.00	Sabbie fini debolmente limose di colore grigio
8.00	9,00	Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza
9,00	14.80	Alternanza tra limi argillosi e argilla limosa grigia priva di consistenza
14.80	18,20	Argilla compatta
18,20	19,80	Sabbia fine e media ocra debolmente limosa con intercalazione di argilla grigio chiara
19,80	22,80	Argilla di colore grigio/marrone Compatta
22,80	24,50	Sabbia fine e media debolmente limosa moderatamente addensata
24,50	30,00	Sabbia grossolana grigia molto addensata

### Sondaggio S02

da	a	Litologia
0	1.80	Limi e sabbie/limose di color ocra
2.30	6.50	Argilla marrone compatta
6.50	7.00	Sabbie fini debolmente limose di colore grigio
7.00	9,60	Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza
9,60	10.30	Sabbie
10.30	16,40	Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza
16,40	16,70	Sabbia con abbondanti conchiglie
16,70	19,10	Argilla di colore grigio/marrone Compatta
19,10	23,40	Sabbia fine e media debolmente limosa moderatamente addensata
23,40	30,00	Sabbia grossolana grigia molto addensata

### Sondaggio S03

<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Litologia</i>
0	3.20	<i>Limi e sabbie/limose di color ocra</i>
3.20	6.00	<i>Argilla grigio/marrone compatta</i>
6.00	10.00	<i>Argille di colore grigio scure, umide meno compatte del livello precedente</i>
10.00	15.00	<i>Argilla di colore grigio scure, compatte</i>
15.00	19.80	<i>Argille debolmente limosa con strati da consistenti a molto consistente a compatti</i>
19.80	20,20	<i>Sabbia fine e media ocra debolmente limosa moderatamente addensata</i>
20,20	23,00	<i>Sabbia grossolana</i>
23,00	26,00	<i>Sabbia di colore grigio</i>

#### **Sondaggio S04**

<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Litologia</i>
0	2.00	<i>Limi e sabbie/limose di color ocra</i>
2.30	5.50	<i>Argilla marrone compatta</i>
5.50	5.70	<i>Sabbie sciolte</i>
5,70	8.40	<i>Argilla compatta</i>
8.40	14,00	<i>Argille di colore grigio scure poco compatte</i>
14,00	14.20	<i>Sabbia fine</i>
14.20	15,00	<i>Argilla debolmente limosa grigio scarsamente consistente</i>
15,00	20,00	<i>Sabbia fine debolmente limosa di colore grigio</i>
20,00	22,00	<i>Sabbia grossolana grigia molto addensata</i>
22,00	26,00	<i>Sabbia fine e media debolmente limosa moderatamente addensata</i>

#### **Sondaggio S05**

<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Litologia</i>
0	1.20	<i>Limi e sabbie/limose di color ocra</i>
1.20	7.00	<i>Argilla marrone compatta</i>
5.70	7.00	<i>Argilla grigio scura poco compatta</i>
7.00	8.30	<i>Sabbie fini debolmente limose di colore grigio intercalate da argilla debolmente limosa di colore grigio priva di consistenza</i>
8.30	18,00	<i>Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza con piccoli spessori di di sabbie limose e sabbie con conchiglie</i>
18,00	24.80	<i>Argilla compatta</i>
24.80	27,30	<i>Sabbia fine e media ocra debolmente limosa</i>
27,30	30,00	<i>Sabbia grossolana grigia molto addensata</i>

Di seguito è riportato a titolo esemplificativo il sondaggio S1 con interpretazione lito-stratigrafica ,quote di prelievo campioni e quote SPT.



**Geo Tirreno s.r.l.** servizi per la geologia e l'ambiente  
 Viale Stazione n.39, 54100 Massa (MS) tel./fax 0585.42141  
 e-mail: Info@geotirreno.it - Part. IVA: 00713690451

COMMITTENTE: COMUNE DI PISA  
 CANTIERE: REALIZZAZIONE CASERMA OSPEDALETTO  
 LOCALITÀ: OSPETTO - PISA

Sondaggio **S1**

Perforazione		Perforazione		Quota (m)	Campioni SPT	Pocket	Vane Test	Piezometro	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE STRA TIGRAFICA	Cassetta catal.	NOTE
Metodo	Attrezzatura	Fluido	Rivestimento									
Ubicazione sondaggio: <u>Cantiere Realizzazione Caserma in Ospedaletto</u> Perforatrice: <u>M.I. 4</u> Quota p.c.: <u>    </u> m s.l.m. Prof. sondaggio: <u>30.00</u> m Prof. falda: <u>    </u> m Cassette: <u>6</u> Sondatore: <u>Giovinazzi</u> Assistente alla sonda: <u>Bianco</u> Secondo assistente: <u>    </u> Geologo: <u>Ghelfi</u> Data inizio: <u>14/09/2007</u> Data fine: <u>14/09/2007</u>		Metodo: <u>Carotaggio continuo</u> C. semplice: <u>corona w/dia.</u> φ = <u>101</u> NO	Rivestimento: <u>φ = 178</u>	Quota (m): -1.00, -2.00, -2.30, -3.00, -4.00, -5.00, -5.70, -6.00, -7.00, -8.00, -9.00, -10.00	Campioni SPT: 1.00-1.50, 2.50-3.00, 4.00-4.50, 7.00-7.50	SPT: 5/6/7	Vane Test:	Piezometro:	Colonna stratigrafica:	DESCRIZIONE STRA TIGRAFICA: -1.00 a -2.30: Limi e sabbie/limose di color ocra -2.30 a -4.00: Argille di colore marrone, molto compatte -4.00 a -5.70: Argille di colore marrone, compatte -5.70 a -7.00: Argille di colore grigio scuro, poco compatte -7.00 a -8.00: Sabbie fini debolmente limose di colore grigio -8.00 a -9.00: Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza -9.00 a -10.00: Sabbie -10.00: Limi argillosi debolmente sabbiosi	Cassette catal.: Cassa n° 1, Cassa n° 2	NOTE: Foro attrezzato per prova sismica in foro - Down hole

CORONE: DM corona diamantata, W corona w/dia  
 CAROTERI: CD carotiere doppio, CS carotiere semplice  
 SPT: PC punta conca, PA punta aperta, camp. Raymond  
 CAMPIONATORI: S c. Shelby, D c. Denison, DP c. Denison con fustella, O c. Osterberg, M c. Mazler  
 CAMPIONI: IN Indisturbal, RI r/maneggiati



**Geo Tirreno s.r.l.** Viale Stazione n.39, 54100 Massa (MS) tel./fax 0585,42141  
servizi per la geologia e l'ambiente e-mail: info@geotirreno.it - Part. IVA: 00713690451

Sondaggio

COMMITTENTE COMUNE DI PISA  
CANTIERE REALIZZAZIONE CASERMA OSPEDALETTO  
LOCALITÀ OSPETTO - PISA

S 1

Perforazione	Perforazione		Quota (m)	Campioni	SPT	Pocket	Vane Test	Piezometro	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE STRA TIGRAFICA	Cassetta catal.	NOTE
	Metodo	Attrezzatura										
pag. 2	segue	tot. 3										
<p>Ubicazione sondaggio <u>Cantiere Realizzazione Caserma in Ospedaletto</u></p> <p>Perforazione <u>M.i. 4</u> Quota p.c. <u>30.00</u> m Prof. sondaggio <u>30.00</u> m Prof. falda <u>6</u> m Cassetta <u>6</u></p> <p>Sondatore <u>Giovinazzi</u> Assistente alla sonda <u>Bianco</u> Secondo assistente _____</p> <p>Geologo <u>Ghelfi</u> Data inizio <u>14/09/2007</u> Data fine <u>14/09/2007</u></p> <p>Carotaggio: continuo</p> <p>C: semplice, corona wldia; <math>\phi</math> = 101 NO</p>												
			-10.40							Limi argillosi debolmente sabbiosi		
			-11.00							Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza		
			-12.00							Limi argillosi debolmente sabbiosi		
			-12.20							Argilla debolmente limosa di colore grigio privo di consistenza		
			-12.80							Argilla di colore grigio scuro, compatta		
			-13.00							Argilla di colore grigio/marrone, compatta		
			-14.00							Argilla grigio chiaro con screziature marroni		
			-14.80							Sabbia fine e media ocra debolmente limosa, moderatamente addensata		
			-15.00							Argilla grigio chiaro con screziature marroni		
			-16.00							Sabbia fine e media ocra debolmente limosa, moderatamente addensata		
			-17.00							Argilla di colore grigio/marrone, compatta		
			-17.50							Argilla grigio chiaro con screziature marroni		
			-18.00							Sabbia fine e media ocra debolmente limosa, moderatamente addensata		
			-18.20							Argilla di colore grigio/marrone, compatta		
			-19.00							Argilla grigio chiaro con screziature marroni		
			-19.40							Sabbia fine e media ocra debolmente limosa, moderatamente addensata		
			-19.80							Argilla di colore grigio/marrone, compatta		
			-20.00									
<p>CORONE DM corona clamantata W corona wldia</p> <p>CAROTIERI CD carotiere doppio CS carotiere semplice</p> <p>SPT PC punta con/ca PA punta aperta, camp. Raymond</p> <p>CAMPIONATORI S c. Shelby D c. Denison DP c. Denison con fustella O c. Osterberg M c. Mazler</p> <p>CAMPIONI IN Indisturbati RI rimaneggiati</p>												

Foro attrezzato per prova sismica in foro - Down hole



*PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU)*

---

Gli elaborati riportati in allegato contengono i risultati delle 26 CPTU eseguite e comprendono in linea di massima: dati generali; tabella di cantiere e valori di resistenza; diagrammi di resistenza; profondità della falda; valutazioni litologiche; legenda.

I parametri geotecnici caratteristici dei vari strati, leggermente variabili localmente, sono stati elaborati dai dati forniti dalle suddette prove C.P.T.U..

Le prove penetrometriche statiche CPTU eseguite e le indagini geotecniche a disposizione dell'amministrazione, la cui ubicazione è riportata nelle figure "Carta dati di base - integrata", hanno permesso la ricostruzione di una successione litostratigrafica tipo e una caratterizzazione geotecnica esemplificativa sintetizzata nella tabella seguente:

<i>Livello geologico</i>	<i>Livello geotecnico</i>	<i>Litologia</i>
<i>I</i>	<i>A</i>	<i>Limi con argilla-</i>
<i>II</i>	<i>B-C</i>	<i>Argilla con limo</i>
<i>III</i>	<i>D</i>	<i>Sabbia limosa</i>
<i>IV</i>	<i>E-F</i>	<i>Argille limose</i>
<i>V</i>	<i>G</i>	<i>Limi sabbiosi o sabbie</i>
<i>VI</i>	<i>H</i>	<i>Sabbie limose</i>

I terreni incontrati nelle prove, indicano uno strato da metrico a submetrico (1.00-2.20 m) superficiale prevalentemente limoso-sabbioso (orizzonte A nelle sez. Geologiche), seguito da un livello coesivo costituito da argille di colore variabile dal grigioverde a grigio beige (orizzonte B), presente uniformemente su tutto l'areale d'indagine fino a profondità indicativa di 4-6 metri.

Al di sotto troviamo una bancata plurimetrica di argille grigio-azzurre (orizzonte C) altamente e differenzialmente compressibili e torbose, conosciute come "pancone" sequenziate da un livello uniforme, circa 1 metro di spessore, di sabbie fini sede di modesta circolazione idrica (orizzonte D).

La sequenza del "pancone" continua con argille ad medio-alta compressibilità fino ad una profondità variabile 18-21 metri (orizzonti E-F), dove in quasi tutte le prove CPTU vengono evidenziate misure compatibili a sabbie fini (orizzonte G) seguite da sabbie più grossolane (orizzonte H) confermate dai sondaggi eseguiti.

*Caratteristiche Strumentazione Utilizzata per PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU)*

---

La prova penetrometrica statica con piezocono è una prova standardizzata da parte di IRTP secondo le norme dell'ISSMGE (1999).

Le 26 prove penetrometriche (CPTU) effettuate, sono state eseguite con un penetrometro statico con le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ gruppo motore costituito da una centralina oleodinamica azionata da un motore "Briggs & Stratton" a scoppio, bicilindrico, 4 tempi, 16Hp di potenza, ad avviamento elettrico;
- ✓ dispositivo d'infissione della punta costituito da due pistoni idraulici capaci di generare una spinta di 20 t;
- ✓ sistema di ancoraggio al suolo composto da due chiavi idrauliche dotate delle funzioni di spinta e rotazione che infiggono nel terreno due eliche continue, o coclee, alle quali in caso di necessità possono essere aggiunte aste di prolunga della lunghezza di 900 mm;
- ✓ dispositivo di misura costituito da una cella di carico attrezzata con un gruppo di due manometri, di cui uno con fondo scala a 50 MPa, ed uno con fondo scala a 200 MPa, collegati in modo tale che il primo sia escluso automaticamente dal circuito oleodinamico in caso di pressioni superiori al fondo scala sopra indicato;
- ✓ carro semovente con cingoli gommati;
- ✓ sacche laterali porta aste.

✚ **ATTREZZATURE COMPLEMENTARI**

L'attrezzatura per l'esecuzione dell'indagine penetrometrica statica comprende inoltre una batteria di aste esterne, cave, (Øext. 35,70 mm, Øint. 15,50 mm, lunghezza 1000 mm), al cui interno alloggia una seconda batteria di astine a sezione

---

piena ( $\varnothing$  15,00 mm, lunghezza 1000 mm), una punta telescopica tipo Begemann ( $\varnothing$  35,70 mm, angolo di apertura  $\alpha=60^\circ$ , area punta  $A_p=10$  cm<sup>2</sup>) dotata di manicotto laterale ( $\varnothing$  35,70 mm, h 133 mm, superficie laterale  $A_m=150$  cm<sup>2</sup>) per la misura dell'attrito laterale ed un centratore in teflon da posizionare tra la cella di carico ed il piano campagna in modo di assicurare il centramento della batteria di aste e migliorarne la rigidità durante le fasi di spinta.

Le caratteristiche della punta sono:

Dati strumentali	
TIPO	TECNO PENTA TP CPL2IN
Lecture	qc - fs
Baricentro punta lungo l'altezza (cm)	0
Area punta (cm <sup>2</sup> )	10
Area interna punta cono (cm <sup>2</sup> )	6,6
Angolo di apertura punta (°)	60
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Altezza manicotto laterale (cm)	13,37
Sistema di misura	Elettrico
Passo (cm)	2
Peso manicotto ancoraggio (Kg)	1,05
Superficie manicotto (cm <sup>2</sup> )	150
Anello allargatore	No
Costante di trasformazione	1
Riferimento norme	ASTM D3441-86
Pressione neutrale rilevata	U2 attorno al cono
Distanza punta/setto poroso (cm)	1,99
<b>Dati in uscita</b>	
Temperatura	Si
Inclinazione sonda	Si
Velocità di avanzamento	Si

#### ✚ TRASPORTO ATTREZZATURE

Il penetrometro e le attrezzature di corredo sono trasportati nel vano di carico di un furgone Ford modello Transit tre posti, a passo medio e trazione posteriore.

Per le operazioni di carico e scarico del penetrometro sono utilizzate due rampe in lega di alluminio (lunghezza 3,00 m) fissate al profilo di sbarco con un bullone passante ( $\varnothing$  10,00 mm) da inserire nei fori ( $\varnothing$  12,00 mm) appositamente realizzati sulla rampa e sul piano di carico.

#### ✚ ESECUZIONE PROVA

La CPTU consiste nell'infiggere nel terreno una particolare punta dotata di celle di carico estensimetriche che misurano con continuità la resistenza del terreno all'infissione.

La spinta è fornita da un apparecchiatura idraulica con spinta massima di 20 tonnellate, che viene trasmessa alla punta mediante una batteria di aste, della lunghezza di un metro, cave, al cui interno è collocato un cavo, collegato in superficie ad un computer per l'acquisizione dei dati.

#### ✚ DESCRIZIONE DELLA PROVA CON PIEZOCONO

La prova, se si esclude la fase di preparazione, ha regole esecutive del tutto analoghe ad una prova penetrometrica statica con punta elettrica. La preparazione della prova avviene con l'inserimento nella punta del filtro poroso, preventivamente disareato, la quale viene inserita in una calza di gomma piena d'acqua. La calza di gomma è lasciata in opera anche all'inizio della prova, gli attriti con il terreno provvedono alla sua rottura appena iniziata la prova. L'avanzamento avviene con velocità massima di ca. 2 cm/sec. I trasduttori di pressione inseriti nella punta permettono di misurare in continuità i seguenti parametri:

- qc resistenza alla punta (MPa)
- fs resistenza laterale (MPa)
- u pressione dei pori [U2] (KPa)
- i inclinazione della punta [tilt] (°)
- v velocità di avanzamento (cm/sec)

Le letture, acquisite dal computer collegato con i sensori della punta, sono elaborate automaticamente, ed in sede vengono trasferite al programma di calcolo, Static Probing della Geostru, che permette di ricavare i seguenti valori:

- qc/fs Rapporto Begemann 1965
- fs/qc Rapporto Schmertmann 1978
- fr rapporto di forma [(Fs/Qc)\*100] (%)
- Uo Pressione idrostatica (KPa)

Le letture elaborate sono presentate sotto forma di profili penetrometrici continui e sono diagrammate in funzione della profondità.

Tutti i risultati ottenuti sono riportati in allegato

✦ ELABORAZIONE PROVE

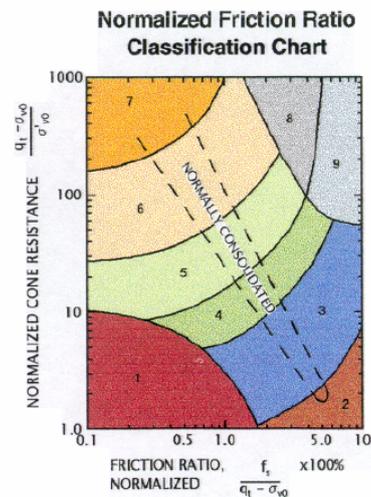
Attraverso i dati strumentali acquisiti è stato possibile ricostruire la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche dei tratti indagati.

L'interpretazione litologica è stata fatta utilizzando il diagramma di Robertson di seguito riportato:

### CPT Soil Classification Legend

Zone	Q <sub>r</sub> /N	Description
1	2	Sensitive, Fine Grained
2	1	Organic Soils-Peats
3	1.5	Clays-Clay to Silty Clay
4	2	Silt Mixtures-Clayey Silt to Silty Clay
5	3	Sand Mixtures-Silty Sand to Sandy Silt
6	4.5	Sands-Clean Sand to Silty Sand
7	6	Gravelly Sand to Sand
8	1	Very Stiff Sand to Clayey Sand *
9	2	Very Stiff, Fine Grained *

(\*) Heavily Overconsolidated or Cemented



(Rcf. Robertson, 1990)

### Coefficient of Permeability (cm/s)

Zone	Description	Permeability
1	Sensitive Fines	10 <sup>-5</sup>
2	Organic Soils-Peats	10 <sup>-5</sup>
3	Clays	10 <sup>-7</sup>
4	Silt Mixtures	10 <sup>-6</sup>
5	Sand Mixtures	10 <sup>-4</sup>
6	Sands	10 <sup>-2</sup>
7	Gravelly Sands	10 <sup>-1</sup>
8	Very Stiff Sands	10 <sup>-5</sup>
9	Very Stiff Fines	10 <sup>-6</sup>

La ricostruzione geotecnica (validità orientativa) è stata eseguita utilizzando le seguenti correlazioni:

- ❖  $\gamma$  = peso unità di volume, corr.: Meyerhof 1978, Bowles 1982; (KN/mc)
- ❖  $\gamma_{sat}$  = peso unità di volume saturo, corr.: Meyerhof 1978, Bowles 1982 (KN/mc)
- ❖  $C_u$  = coesione non drenata, corr.: Kjekstad, 1978 – Lunne, Robertson and Powell 1977; (Kpa)
- ❖  $M_o$  = modulo di deformazione edometrico, corr.: Metodo gen. del modulo edometrico; (MPa)
- ❖  $E_u$  = modulo di deformazione non drenato, corr.: Cancelli 1980; (MPa)
- ❖  $D_r$  = densità relativa, corr.: Lancellotta 1983; (%)
- ❖  $\phi$  = angolo di resistenza al taglio, corr.: Robertson & Campanella 1983; (°)

Nelle tabella seguente sono riportati oltre agli spessori ed i parametri geotecnici degli strati più significativi, anche la tensione litostatica totale  $\sigma_v$  (KPa) e la tensione litostatica efficace  $\sigma'_v$  (KPa).

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 01**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	$E_u$ (Mpa)	$D_r$ (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.50	2.5241	0.0881	14.67	14.67	19.75	20.54	147.61	5.05	94.1	55.05	43.46	Gran./Coes.
2	6.02	1.0991	0.067	70.61	70.61	18.29	19.07	60.50	4.49	38.57	0	0	Coesivo
3	8.50	0.6583	0.023	133.15	133.15	17.18	17.96	30.89	3.35	19.69	0	0	Coesivo
4	9.60	1.7011	0.0225	164.77	161.34	18.63	21,57	0	0	0	9.37	25.77	Granulare
5	14.42	0.7394	0.0115	216.68	184.22	17.27	18.05	30.75	3.63	20.82	0	0	Coesivo
6	21.00	1.9225	0.0442	320.83	232.47	19.10	19.89	94.22	4.21	63.38	0	0	Coesivo
7	30.04	10.0997	0.0309	482.67	317.72	18,63	21,57	0	0	0	50.72	34.08	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 02**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	$E_u$ (Mpa)	$D_r$ (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.16	4.8064	0.1092	12.04	12.04	20.82	21.61	282.02	9.61	179.79	76.34	45	Gran./Coes.
2	8.50	1.4332	0.1237	92.23	92.23	18.72	19.51	78.88	4.75	50.29	0	0	Coesivo
3	10.14	3.0228	0.063	176.69	170.61	17,65	20,59	0	0	0	25.05	30.23	Granulare
4	16.74	0.7038	0.0504	247.9	201.42	17.10	17.89	26.82	3.51	18.84	0	0	Coesivo
5	21.04	2.9165	0.0545	344.72	244.79	19.86	20.64	151.28	5.83	100.19	0	0	Coesivo
6	28.76	9.5898	0.027	469.73	310.86	18,63	21,57	0	0	0	49.54	33.89	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 03**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	$E_u$ (Mpa)	$D_r$ (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.40	4.0031	0.1582	14.17	14.17	20.52	21.3	234.64	8.01	149.58	68.76	45	Gran./Coes.
2	6.04	2.3436	0.0732	73.55	73.55	19.59	20.37	133.53	4.69	85.13	0	0	Coesivo
3	8.40	0.2966	0.0284	136.46	136.46	15.22	16.01	9.42	1.76	6.01	0	0	Coesivo
4	10.18	2.1422	0.0122	170.18	166.78	18,63	21,57	0	0	0	15.51	27.62	Granulare
5	14.38	0.4572	0.0555	221.05	187.71	16.08	16.86	13.89	2.54	10.11	0	0	Coesivo
6	16.56	2.5494	0.04	275.9	211.28	19.64	20.42	133.74	5.1	87.68	0	0	Coesivo
7	28.80	8.5047	0.0193	429.78	294.45	18,63	21,57	0	0	0	46.88	33.47	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 04**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	$E_u$ (Mpa)	$D_r$ (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.46	5.0892	0.1076	15.13	15.13	20.91	21.70	298.47	10.18	190.28	74.71	45	Gran./Coes.
2	5.98	1.266	0.0583	71.86	71.86	18.53	19.32	70.24	4.68	44.78	0	0	Coesivo
3	9.36	0.4388	0.044	141.32	141.32	16.24	17.03	17.50	2.46	11.16	0	0	Coesivo
4	10.10	3.1514	0.093	176.48	168.15	17,65	20,59	0	0	0	26.45	30.61	Granulare
5	14.44	0.5786	0.0426	218.76	185.51	16.70	17.48	21.17	3.05	14.74	0	0	Coesivo
6	15.30	2.4477	0.0909	262.0	203.86	17,65	20,59	0	0	0	16.49	27.03	Granulare
7	16.52	0.9889	0.0514	281.14	212.2	17.82	18.61	41.63	4.29	29.13	0	0	Coesivo
8	22.76	3.1006	0.1235	354.17	248.65	19.97	20.75	161.55	6.20	106.95	0	0	Coesivo
9	28.86	10.3465	0.033	483.51	317.49	18,63	21,57	0	0	0	51.42	34.23	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 05**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (KPa)	$M_o$ (Mpa)	$E_u$ (Mpa)	$D_r$ (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.36	2.5124	0.0716	13.14	13.14	19.75	20.53	147.02	5.02	93.72	56.49	43.96	Gran./Coes.

VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO"

2	6.08	1.3469	0.1328	69.85	69.85	18.64	19.43	75.12	4.73	47.89	0	0	Coesivo
3	9.08	0.4097	0.0767	137.6	137.6	16.09	16.88	16.01	2.32	10.20	0	0	Coesivo
4	10.14	2.6015	0.092	172.13	164.97	17,65	20,59	0	0	0	21.23	29.42	Granulare
5	14.44	0.6054	0.0496	218.54	185.10	16.81	17.60	22.76	3.16	15.76	0	0	Coesivo
6	16.56	3.2677	0.0192	275.41	210.49	20.08	20.86	176.02	6.54	114.65	0	0	Coesivo
7	19.34	1.5679	0.1256	322.17	233.22	18.71	19.50	73.28	4.71	50.05	0	0	Coesivo
8	23.12	5.1679	0.0262	387.44	266.32	18,63	21,57	0	0	0	34.04	30.85	Granulare
9	26.68	10.416	0.0164	466.0	308.89	18,63	21,57	0	0	0	52.0	34.45	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 06**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.54	6.1923	0.0347	16.19	16.19	21.24	22.02	363.3	12.38	231.60	79.35	45	Gran./Coes.
2	6.04	1.6242	0.0431	74.91	74.91	18.96	19.74	91.13	4.67	58.10	0	0	Coesivo
3	8.68	0.6539	0.0198	139.85	139.85	17.14	17.93	30.24	3.34	19.28	0	0	Coesivo
4	10.14	2.8042	0.0211	176.58	171.38	18,63	21,57	0	0	0	22.83	29.68	Granulare
5	14.86	0.789	0.0153	231.79	196.29	17.38	18.16	32.78	3.78	22.23	0	0	Coesivo
6	16.54	3.5082	0.0465	289.55	222.67	20.02	20.98	189.33	7.02	123.21	0	0	Coesivo
7	19.60	5.2665	0.0312	338.33	248.20	20.90	21.68	289.89	10.53	188.19	0	0	Coesivo
8	23.12	3.3514	0.0221	405.51	283.12	18,63	21,57	0	0	0	20.75	26.87	Granulare
9	28.80	8.3204	0.0134	502.34	334.74	18,63	21,57	0	0	0	44.41	32.49	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 07**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.60	3.0971	0.073	15.82	15.82	20.09	20.88	181.25	6.19	115.55	59.83	44.08	Gran./Coes.
2	6.06	1.2545	0.0809	72.62	72.62	18.51	19.30	69.52	4.67	44.32	0	0	Coesivo
3	8.50	0.326	0.0456	132.38	132.38	15.53	16.32	11.39	1.91	7.26	0	0	Coesivo
4	10.16	2.1506	0.0434	166.85	159.69	17,65	20,59	0	0	0	16.24	28.06	Granulare
5	14.42	0.399	0.0608	214.14	177.95	15.75	16.54	10.87	2.27	8.49	0	0	Coesivo
6	18.10	1.9997	0.147	280.63	205.51	19.20	19.99	101.12	4.02	67.28	0	0	Coesivo
7	23.08	7.9322	0.0605	369.27	251.69	18,63	21,57	0	0	0	47.13	34.02	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 08**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.00	2.9486	0.0548	9.99	9.99	20.01	20.08	172.86	5.90	110.2	65.02	45	Gran./Coes.
2	5.48	1.4749	0.0578	61.86	61.86	18.81	19.59	83.12	4.75	52.99	0	0	Coesivo
3	9.00	0.4986	0.0502	132.15	132.15	16.58	17.37	21.56	2.72	13.74	0	0	Coesivo
4	9.78	3.2633	0.1277	168.17	160.42	17,65	20,59	0	0	0	28.13	31.15	Granulare
5	15.34	0.4691	0.0541	220.56	181.73	16.18	16.97	14.56	2.59	10.78	0	0	Coesivo
6	16.84	2.9976	0.0125	279.72	206.27	18,63	21,57	0	0	0	22.09	28.75	Granulare
7	19.96	0.9308	0.0152	320.81	224.71	17.67	18.45	35.88	4.16	26.48	0	0	Coesivo
8	26.96	4.0254	0.0249	418.65	272.93	18,63	21,57	0	0	0	26.53	28.88	Granulare
9	28.00	8.9865	0.0456	501.05	315.90	18,63	21,57	0	0	0	47.45	33.37	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 09**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	2.30	7.6574	0.0725	24.63	24.63	21.59	22.37	448.9	15.31	286.23	79.43	45	Gran./Coes.
2	8.60	1.1202	0.0573	101.45	101.45	18.27	19.05	59.93	4.52	38.2	0	0	Coesivo
3	10.14	2.4625	0.0265	173.88	170.93	18,63	21,57	0	0	0	19.15	28.67	Granulare
4	18.92	0.9277	0.0487	271.69	215.49	17.68	18.46	38.59	4.15	26.71	0	0	Coesivo
5	20.68	5.2455	0.0128	367.57	259.7	18,63	21,57	0	0	0	34.83	31.12	Granulare
6	23.74	1.7871	0.022	414.74	283.23	18.91	19.70	80.73	4.47	56.4	0	0	Coesivo
7	30.04	7.4753	0.0168	511.07	333.66	18,63	21,57	0	0	0	41.39	31.81	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 10**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	2.04	6.7138	0.0896	21.74	21.74	21.37	22.16	393.65	13.43	250.95	77.45	45	Gran./Coes.
2	6.02	1.7948	0.0625	81.48	81.48	19.13	19.91	100.78	4.45	64.25	0	0	Coesivo
3	9.96	0.7547	0.0608	153.63	153.63	17.40	18.18	35.36	3.68	22.54	0	0	Coesivo
4	18.0	0.3402	0.0853	247.99	199.94	15.00	15.79	5.42	1.98	5.26	0	0	Coesivo
5	19.72	1.0794	0.1168	323.62	227.71	17.97	18.76	44.46	4.46	31.94	0	0	Coesivo
6	21.76	4.2117	0.0429	359.85	245.5	18,63	21,57	0	0	0	29.34	30	Granulare
7	30.04	7.1468	0.0389	468.93	303.99	18,63	21,57	0	0	0	41.44	32.13	Granulare

VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 11**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.72	3.6336	0.1059	17.33	17.33	20.36	21.14	212.72	7.27	135.61	63.10	44.4	Gran./Coes.
2	6.48	1.3229	0.0576	78.66	78.66	18.60	19.38	73.19	4.72	46.66	0	0	Coesivo
3	8.42	0.2972	0.0445	137.27	137.27	15.22	16.0	9.41	1.76	6.0	0	0	Coesivo
4	10.22	2.9807	0.038	169.23	162.66	18,63	21,57	0	0	0	25.33	30.46	Granulare
5	14.38	0.6202	0.066	222.21	186.12	16.86	17.65	23.41	3.21	16.28	0	0	Coesivo
6	18.32	2.8504	0.2	295.59	219.79	19.83	20.62	150.28	5.70	98.65	0	0	Coesivo
7	24.64	5.0014	0.0188	399.42	273.31	18,63	21,57	0	0	0	32.73	30.45	Granulare
8	30.00	11.077	0.0182	523.59	340.21	18,63	21,57	0	0	0	52.38	34.23	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 12**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.32	2.9927	0.0721	13.08	13.08	20.04	20.82	175.27	5.99	111.74	61.57	44.81	Gran./Coes.
2	6.10	1.1639	0.0478	69.88	69.88	18.39	19.17	64.35	4.58	41.03	0	0	Coesivo
3	8.38	0.4904	0.0331	132.34	132.34	16.55	17.33	21.06	2.69	13.43	0	0	Coesivo
4	10.22	3.1055	0.0518	169.27	163.00	17,65	20,59	0	0	0	26.48	30.72	Granulare
5	14.48	0.7636	0.082	224.26	188.07	17.33	18.11	31.73	3.71	21.58	0	0	Coesivo
6	18.42	4.8794	0.2834	301.35	224.96	20.77	21.56	269.3	9.76	174.54	0	0	Coesivo
7	23.16	4.3472	0.0358	390.32	271.36	18,63	21,57	0	0	0	28.81	29.53	Granulare
8	28.82	7.9396	0.022	500.07	330.12	18,63	21,57	0	0	0	43.27	32.28	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 13**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.52	7.5214	0.1127	16.24	16.24	21.56	22.34	441.48	15.04	281.44	84.89	45	Gran./Coes.
2	6.12	4.2703	0.0777	79.77	79.77	20.60	21.38	246.50	8.54	157.14	0	0	Coesivo
3	9.24	0.9365	0.0312	154.76	154.76	17.83	18.62	45.98	4.17	29.32	0	0	Coesivo
4	10.20	2.4915	0.0555	191.75	183.51	17,65	20,59	0	0	0	18.47	28.13	Granulare
5	15.98	0.9473	0.0714	252.09	210.81	17.73	18.52	40.98	4.20	27.62	0	0	Coesivo
6	19.68	2.0395	0.0918	338.53	250.76	19.20	19.98	100.06	4.08	67.08	0	0	Coesivo
7	22.36	7.3869	0.0157	402.58	283.53	18,63	21,57	0	0	0	43.38	32.80	Granulare
8	28.46	6.5762	0.0077	496.04	333.93	18,630	21,57	0	0	0	37.71	30.95	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 14**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.26	2.6575	0.0489	12.37	12.37	19.84	20.63	155.60	5.31	99.19	58.97	44.51	Gran./Coes.
2	5.98	1.1379	0.0698	67.95	67.95	18.35	19.13	62.94	4.54	40.12	0	0	Coesivo
3	8.50	0.6683	0.0233	132.79	132.79	17.21	17.99	31.50	3.39	20.08	0	0	Coesivo
4	9.64	2.4844	0.0304	165.51	161.88	18,63	21,57	0	0	0	20.18	29.23	Granulare
5	19.72	0.6836	0.0617	262.23	203.58	17.03	17.81	24.79	3.44	18.0	0	0	Coesivo
6	21.80	5.286	0.0253	369.56	251.29	18,63	21,57	0	0	0	35.52	31.39	Granulare
7	30.04	8.0771	0.0253	480.01	311.14	18,63	21,57	0	0	0	44.61	32.78	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 15**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.04	3.9262	0.0741	10.53	10.53	20.49	21.27	230.33	7.85	146.84	72.46	45	Gran./Coes.
2	9.78	0.4737	0.0415	92.68	92.68	16.65	17.43	22.41	2.62	14.29	0	0	Coesivo
3	11.14	2.2238	0.0205	177.08	163.55	18,63	21,57	0	0	0	16.86	28.15	Granulare
4	22.08	0.8603	0.0472	284.92	211.07	17.53	18.31	33.85	3.98	24.35	0	0	Coesivo
5	25.06	4.8122	0.0684	410.74	268.64	18,63	21,57	0	0	0	31.87	30.30	Granulare
6	27.24	1.1167	0.1049	460.93	293.53	17.92	18.70	38.57	4.51	30.87	0	0	Coesivo
7	28.50	6.4429	0.0447	493.46	309.19	18,63	21,57	0	0	0	38.22	31.33	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 16**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.06	2.8457	0.075	10.42	10.42	19.96	20.74	166.78	5.69	106.32	63.39	45	Gran./Coes.
2	5.38	0.8147	0.0888	58.83	58.83	17.78	18.56	44.46	3.86	28.34	0	0	Coesivo
3	9.78	0.3245	0.0165	130.80	130.8	15.53	16.32	11.39	1.90	7.26	0	0	Coesivo
4	12.20	2.0155	0.0168	187.66	166.18	18,63	21,57	0	0	0	13.81	27.09	Granulare
5	17.82	0.5993	0.0152	257.56	196.66	16.74	17.52	20.10	3.14	15.10	0	0	Coesivo
6	21.58	3.3286	0.019	342.19	235.30	18,63	21,57	0	0	0	23.21	28.51	Granulare
7	25.02	5.8435	0.1215	415.81	273.61	17,65	20,59	0	0	0	37.17	31.49	Granulare

VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO"

8	25.72	1.502	0.1928	458.29	295.80	18.55	19.33	61.39	4.74	45.23	0	0	Coesivo
9	26.00	5.9593	0.0736	467.74	300.44	18,63	21,57	0	0	0	36.4	30.99	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 17**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.22	3.9156	0.1125	12.46	12.46	20.48	21.27	229.6	7.83	146.37	69.97	45.0	Gran./Coes.
2	7.62	1.1141	0.0633	83.13	83.13	18.29	19.07	60.65	4.51	38.66	0	0	Coesivo
3	8.80	2.2556	0.0233	152.76	150.7	18,63	21,57	0	0	0	18.44	29.02	Granulare
4	16.36	0.8104	0.0322	230.17	185.26	17.46	18.25	34.13	3.85	23.44	0	0	Coesivo
5	21.18	1.6571	0.4501	341.38	235.77	18.82	19.60	77.40	4.64	53.3	0	0	Coesivo
6	22.24	4.5885	0.0127	397.50	263.05	18,63	21,57	0	0	0	30.81	30.12	Granulare
7	22.90	1.7645	0.0188	414.64	271.76	18.90	19.68	79.40	4.5	55.98	0	0	Coesivo
8	23.52	7.8123	0.1091	427.61	278.45	18,63	21,57	0	0	0	45.52	33.28	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 18**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.26	5.1976	0.1261	13.04	13.04	20.95	21.73	304.97	10.4	194.42	77.44	45	Gran./Coes.
2	6.10	1.4819	0.1168	71.34	71.34	18.81	19.59	82.97	4.74	52.9	0	0	Coesivo
3	9.32	0.4663	0.0526	143.4	143.4	16.36	17.16	18.99	2.58	12.11	0	0	Coesivo
4	10.22	2.424	0.0737	178.88	170.15	17,65	20,59	0	0	0	18.76	28.57	Granulare
5	14.42	0.8881	0.0381	224.54	190.8	17.64	18.43	39.03	4.06	26.15	0	0	Coesivo
6	22.30	2.5696	0.0728	338.19	245.22	19.63	20.41	131.26	5.14	87.16	0	0	Coesivo
7	28.78	8.0611	0.0396	484.72	321.34	18,63	21,57	0	0	0	44.09	32.55	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 19**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.54	3.5721	0.0898	15.51	15.51	20.33	21.11	209.21	7.14	133.37	64.2	44.84	Gran./Coes.
2	6.10	1.3236	0.0744	73.29	73.29	18.61	19.39	73.55	4.72	46.89	0	0	Coesivo
3	9.28	0.3818	0.0609	141.32	141.32	15.89	16.68	14.15	2.19	9.02	0	0	Coesivo
4	10.14	2.6367	0.1144	175.45	167.31	17,65	20,59	0	0	0	21.41	29.41	Granulare
5	14.44	0.5333	0.085	219.08	185.64	16.50	17.28	18.48	2.87	13.04	0	0	Coesivo
6	22.34	3.6246	0.0675	333.50	240.23	20.25	21.03	193.59	7.25	126.91	0	0	Coesivo
7	28.86	9.3152	0.0581	483.82	319.85	18,63	21,57	0	0	0	48.30	33.52	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 20**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	0.98	6.1243	0.059	10.3	10.3	21.22	22.01	359.65	12.25	229.27	85.52	45	Gran./Coes.
2	5.30	1.5496	0.0486	61.14	61.14	18.89	19.68	87.56	4.72	55.82	0	0	Coesivo
3	17.32	0.4309	0.0711	197.61	174.95	15.99	16.78	13.72	2.42	9.60	0	0	Coesivo
4	20.12	1.5374	0.276	319.57	224.24	18.69	19.47	71.64	4.73	49.24	0	0	Coesivo
5	21.42	4.9819	0.0734	358.83	243.4	18,63	21,57	0	0	0	34.82	31.21	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 21**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.54	3.7413	0.0736	15.58	15.58	20.41	21.19	219.16	7.48	139.71	65.46	45	Gran./Coes.
2	6.16	1.6192	0.1302	74.87	74.87	18.95	19.74	90.84	4.67	57.91	0	0	Coesivo
3	19.72	0.5412	0.0473	227.74	188.57	16.52	17.31	18.44	2.90	13.22	0	0	Coesivo
4	21.72	4.865	0.029	357.59	242.26	18,63	21,57	0	0	0	33.67	31.08	Granulare
5	30.00	7.5792	0.0307	467.0	301.26	18,63	21,57	0	0	0	43.25	32.57	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 22**

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.54	4.4936	0.0584	15.86	15.86	20.71	21.49	263.4	8.99	167.92	70.46	45	Gran./Coes.
2	5.98	1.9643	0.0632	74.48	74.48	19.29	20.07	111.17	4.11	70.87	0	0	Coesivo
3	10.04	1.0038	0.0847	153.62	153.62	17.97	18.76	50.01	4.32	31.88	0	0	Coesivo
4	19.68	0.7053	0.0914	272.22	214.56	17.07	17.85	25.48	3.52	18.40	0	0	Coesivo
5	21.66	4.5554	0.1085	374.82	260.18	17,65	20,59	0	0	0	30.76	30.14	Granulare
6	30.04	7.2238	0.0706	484.64	319.20	18,63	21,57	0	0	0	41.04	31.88	Granulare

**Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 23**

VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.50	2.5303	0.1928	14.72	14.72	19.67	20.54	147.98	5.06	94.33	55.07	43.45	Gran./Coes.
2	6.02	1.0975	0.1337	70.69	70.69	18.28	19.07	60.40	4.48	38.51	0	0	Coesivo
3	8.46	0.6567	0.0456	132.86	132.86	17.17	17.96	30.81	3.35	19.64	0	0	Coesivo
4	9.68	3.0538	0.0176	165.81	160.61	18,63	21,57	0	0	0	26.21	30.71	Granulare
5	19.82	0.6727	0.0205	263.93	203.03	16.99	17.78	24.05	3.41	17.61	0	0	Coesivo
6	23.16	1.0087	0.1003	379.61	252.61	17.78	18.56	37.01	4.33	28.35	0	0	Coesivo
7	28.46	10.8368	0.0312	467.63	298.27	18,63	21,57	0	0	0	53.64	34.91	Granulare

*Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 24*

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	0.98	4.0829	0.0434	9.97	9.97	20.55	21.34	239.58	8.17	152.73	74.36	45	Gran./Coes.
2	5.02	0.703	0.0406	55.05	55.05	17.52	18.31	38.11	3.51	24.3	0	0	Coesivo
3	5.38	1.5556	0.0154	93.50	93.5	18,63	18,63	0	0	0	14.63	29.79	Granulare
4	17.28	0.4003	0.0192	190.85	168.0	15.83	16.62	12.32	2.28	8.71	0	0	Coesivo
5	20.08	1.2101	0.1065	310.24	215.31	18.23	19.01	52.93	4.63	37.3	0	0	Coesivo
6	21.36	6.4904	0.0741	348.94	234.0	18,63	21,57	0	0	0	42.43	33.21	Granulare

*Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 25*

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.76	2.993	0.1067	17.45	17.45	20.04	20.82	175.03	5.99	111.58	57.44	43.44	Gran./Coes.
2	6.36	1.5763	0.0852	78.12	78.12	18.9	19.69	88.13	4.70	56.18	0	0	Coesivo
3	8.28	0.4197	0.0816	136.8	136.8	16.16	16.94	16.64	2.37	10.61	0	0	Coesivo
4	10.24	3.1084	0.0258	171.53	167.81	18,63	21,57	0	0	0	26.09	30.53	Granulare
5	14.74	0.672	0.0609	228.67	193.27	17.03	17.81	26.08	3.40	17.95	0	0	Coesivo
6	16.30	3.4263	0.152	282.15	217.03	20.16	20.94	184.95	6.85	120.35	0	0	Coesivo
7	19.42	2.5144	0.0691	328.30	240.23	19.59	20.38	128.59	5.03	85.28	0	0	Coesivo
8	24.66	5.6158	0.0288	413.79	284.74	18,63	21,57	0	0	0	35.46	30.96	Granulare
9	27.44	8.1929	0.029	498.80	330.42	18,63	21,57	0	0	0	44.16	32.48	Granulare

*Parametri geotecnici derivanti dalla prova CPTU 26*

Strato	Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	$\sigma_v$ (KPa)	$\sigma'_v$ (KPa)	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Cu (KPa)	Mo (Mpa)	Eu (Mpa)	Dr (%)	$\phi$ (°)	Natura
1	1.20	2.716	0.0607	11.84	11.84	19.88	20.66	159.07	5.43	101.41	60.21	44.82	Gran./Coes.
2	6.00	1.1406	0.0738	67.63	67.63	18.35	19.14	63.12	4.55	40.24	0	0	Coesivo
3	8.32	0.7084	0.0431	131.63	131.63	17.33	18.12	33.93	3.53	21.63	0	0	Coesivo
4	9.74	3.7373	0.049	165.94	163.68	18,63	21,57	0	0	0	31.73	31.94	Granulare
5	19.80	0.7724	0.0809	266.96	208.41	17.30	18.08	29.73	3.73	21.15	0	0	Coesivo
6	22.06	5.7586	0.0178	377.46	258.51	18,63	21,57	0	0	0	37.57	31.77	Granulare
7	26.62	7.1806	0.0488	449.88	297.49	18,63	21,57	0	0	0	41.88	32.30	Granulare

*Prove SPT in foro*

Nel corso della perforazione dei sondaggi (S1, S2, S3, S4, S5) sono state eseguite un totale di 10 prove penetrometriche dinamiche SPT, secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n.D. 1586/68: "Standard Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil", compresa nella "Raccomandazione" ISSMF E per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976). In base alle normative elencate, le prove sono state eseguite utilizzando un dispositivo automatico per lo sganciamento di un maglio del peso di 63,5 kg, con altezza di caduta pari a 76 cm, che ha consentito l'infissione del campionatore tipo Raymond munito di valvola a sfera in sommità.

I dati generali relativi ad ogni SPT sono riportati nella tabella seguente, inoltre, la quota ed il numero di colpi sono riportati sulle cassette catalogatrici, come visibile nelle foto allegate, e nelle schede stratigrafiche dei sondaggi allegate alla presente relazione.

Sondaggio	SPT	QUOTA in m	N colpi	NSPT
S1	1	7,50	5-6-7	13
S1	2	23,00	13-19-20	39
S2	1	6,80	3-5-7	12
S2	2	20,00	12-17-18	35

S3	1	21,00	9-13-16	29
S3	2	25,00	10-12-16	28
S4	1	20,00	12-15-17	32
S4	2	23,00	9-11-15	26
S5	1	7,00	4-4-4	8
S5	2	25,50	20-18-20	38

### Indagini di laboratorio

Su 14 campioni di terreno prelevati durante i sondaggi sono state eseguite una serie di prove di laboratorio.

In allegato sono riportate le certificazioni del laboratorio LGT di Massa Carrara che ha eseguito le analisi.

Su ogni campione sono state eseguite le seguenti determinazioni:

- ✦ 14 aperture campione indisturbato, descrizione geotecnica e prove speditive di consistenza;
- ✦ 14 determinazioni massa volumica apparente o densità;
- ✦ 14 determinazioni del limite di liquidità e di plasticità (Atterberg), con indicazione dell'indice di plasticità, CNR UNI 10014.64;
- ✦ 14 analisi granulometriche complete (per setacciatura e sedimentazione);
- ✦ 14 determinazioni contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa;
- ✦ 14 prove di consolidazione edometrica ad incrementi di carico controllati, compresa determinazione dei coefficienti Cv, K, Eed e la preparazione dei diagrammi cedimento-Log t;
- ✦ 14 prove di compressione con espansione laterale libera (ELL) con rilievo della curva di deformazione su due provini
- ✦ 6 prove di compressione triassiale non consolidata – non drenata (uu);

### Principali determinazioni e parametri

Nella tabella sono state riportate le principali determinazioni eseguite sui 14 campioni di terreno, prelevati durante i sondaggi.

RIF.	Camp.	Data	QUOTA (m)	Tipologia di terreno
E/065/02	S1 C1	10-28 sett. 07	1.00- 1.50	Limo con argilla sabbioso di colore marrone con screziature nere di buona consistenza. Presenza di elementi millimetrici (concrezioni o granuli cementati)
E/065/07	S1 C2	10-28 sett. 07	2.50- 3.00	Limo con argilla di colore marrone di consistenza medio/alta.
E/065/03	S1 C3	10-28 sett. 07	4.00- 4.50	Argilla con limo di colore grigio/marrone di buona consistenza
E/065/01	S1 C4	10-28 sett. 07	7.00- 7.50	Sabbia con limo argillosa di colore grigio di consistenza medio/bassa. E' presente a circa metà campione un livelletto di sabbia fine argillosa. Presenza di elementi millimetrici (concrezioni o granuli cementati)
E/065/06	S2 C1	10-28 sett. 07	1.00- 1.50	Limo con argilla debolmente sabbioso di colore marrone di medio/alta consistenza
E/065/05	S2 C2	10-28 sett. 07	2.00- 2.50	Argilla con limo di colore marrone con screziature nere di consistenza medio/alta
E/065/08	S2 C3	10-28 sett. 07	4.00- 4.50	Argilla con limo di colore grigio di buona consistenza.
E/065/04	S2 C4	10-28 sett. 07	7.00- 7.40	Argilla con limo debolmente ghiaiosa di colore grigio di consistenza medio/bassa. Sono presenti resti di bivalvi.
E/065/11	S3 C1	10-28 sett. 07	3.00- 3.50	Argilla limosa di colore grigio di consistenza media.
E/065/12	S3 C2	10-28 sett. 07	6.00- 6.50	Argilla con limo di colore grigio chiaro di consistenza medio/bassa. Sono presentiresti di bivalvi.
E/065/13	S4 C1	10-28	3.00-	Argilla con limo di colore grigio/marrone di buona consistenza.

VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE FINALIZZATA AL TRASFERIMENTO DI FUNZIONI MILITARI DAL CENTRO STORICO E ALLA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA IN LOCALITÀ OSPEDALETTO

		sett. 07	3.50	
E/065/14	S4 C2	10-28 sett. 07	6.00- 6.50	Argilla con limo debolmente sabbiosa di colore grigio di consistenza medio/bassa. Sono presenti resti bivalvi.
E/065/09	S5 C1	10-28 sett. 07	3.00- 3.50	Limo con argilla debolmente sabbioso di colore marrone di consistenza media.
E/065/10	S5 C2	10-28 sett. 07	6.00- 6.70	Limo con argilla sabbioso di colore marrone di consistenza medio/alta

RIF.	Campione	Profondità (m)	Peso di volume (γ) g/cm <sup>3</sup>	Contenuto in acqua allo stato naturale (w) - ASTM D 2216 - %
E/065/02	S1 C1	1,00-1,50	1,821	24,1
E/065/07	S1 C2	2,50-3,00	1,948	26,5
E/065/03	S1 C3	4,00-4,50	1,820	36,9
E/065/01	S1 C4	7,00-7,50	1,759	37,0
E/065/06	S2 C1	1,00-1,50	1,988	18,0
E/065/05	S2 C2	2,00-2,50	1,916	33,6
E/065/08	S2 C3	4,00-4,50	1,831	35,2
E/065/04	S2 C4	7,00-7,40	1,675	43,4
E/065/11	S3 C1	3,00-3,50	1,783	35,6
E/065/12	S3 C2	6,00-6,50	1,633	52,5
E/065/13	S4 C1	3,00-3,50	1,683	32,7
E/065/14	S4 C2	6,00-6,50	1,930	48,0
E/065/09	S5 C1	3,00-3,50	1,978	25,4
E/065/10	S5 C2	6,00-6,70	1,971	30,6

*Analisi granulometrica per vagliatura CNR n.93*

La prova consiste determinazione della distribuzione granulometrica di un campione di terreno. Consente di determinare la distribuzione percentuale in peso dei grani, secondo le loro dimensioni. Per la determinazione si utilizza una serie di setacci (6 o 7) incolonnati uno sopra l'altro aventi diversa dimensione della maglia crescente dal basso verso l'alto.

Nel tipo più usato i setacci sono formati da una rete avente apertura quadrata di dimensioni variabili da 4,76mm (n.4) a 0,074 mm (n.200)

Normativa specifica di riferimento ASTM D 422

RIF.	Campione	Profondità (m)	ghiaia %	sabbia %	Limo %	argilla %
E/065/02	S1 C1	1,00-1,50	0,08	18,39	54,35	27,19
E/065/07	S1 C2	2,50-3,00	0,00	1,93	62,04	36,04
E/065/03	S1 C3	4,00-4,50	0,31	2,64	31,68	65,36
E/065/01	S1 C4	7,00-7,50	0,36	46,04	28,01	25,59
E/065/06	S2 C1	1,00-1,50	0,20	13,92	51,52	34,36
E/065/05	S2 C2	2,00-2,50	0,05	2,64	33,76	63,56
E/065/08	S2 C3	4,00-4,50	0,08	3,58	25,56	70,78
E/065/04	S2 C4	7,00-7,40	6,03	4,52	29,20	60,25
E/065/11	S3 C1	3,00-3,50	0,08	3,35	19,39	77,18
E/065/12	S3 C2	6,00-6,50	2,85	3,37	36,36	57,42
E/065/13	S4 C1	3,00-3,50	0,57	0,84	35,49	63,10
E/065/14	S4 C2	6,00-6,50	4,12	6,17	29,29	60,42
E/065/09	S5 C1	3,00-3,50	0,55	14,94	51,09	33,42
E/065/10	S5 C2	6,00-6,70	0,07	20,28	42,60	37,05

RIF.	Campione	Profondità (m)	pass. φ (mm) 2 %	pass. φ (mm) 0.4 %	pass φ (mm) 0.075 %
E/065/02	S1 C1	1,00-1,50	99,92	99,76	96,68
E/065/07	S1 C2	2,50-3,00	100,00	100,00	99,68
E/065/03	S1 C3	4,00-4,50	99,69	99,38	98,64
E/065/01	S1 C4	7,00-7,50	99,64	99,24	60,67
E/065/06	S2 C1	1,00-1,50	99,80	99,62	95,05
E/065/05	S2 C2	2,00-2,50	99,95	99,71	98,91
E/065/08	S2 C3	4,00-4,50	99,92	99,73	97,92
E/065/04	S2 C4	7,00-7,40	93,97	92,34	90,92
E/065/11	S3 C1	3,00-3,50	99,92	99,76	98,56
E/065/12	S3 C2	6,00-6,50	97,15	96,29	95,32
E/065/13	S4 C1	3,00-3,50	99,43	99,09	98,20
E/065/14	S4 C2	6,00-6,50	95,88	93,38	91,18

E/065/09	S5 C1	3,00-3,50	99,45	99,28	97,88
E/065/10	S5 C2	6,00-6,70	99,93	99,42	92,25

### Limiti di consistenza (o di Atterberg)

Tali limiti forniscono un'indicazione geotecnica sul comportamento delle terre, al variare del contenuto in acqua. Si applicano in prevalenza ai terreni passanti al setaccio n. 40. I più usati sono:

- Limite liquido definito come il contenuto di acqua nel suolo ( $w_l$ ) sotto il quale il terreno possiede un comportamento plastico e sopra il quale possiede un comportamento fluido viscoso.
- Limite plastico definito come il contenuto di acqua nel suolo ( $w_p$ ) sotto il quale il terreno perde il comportamento plastico (ASTM D2487).

RIF.	Campione	Profondità (m)	Wn %	Wl %	Wp %	Ip %	Ic
E/065/02/lim	S1 C1	1,00-1,50	24,1	38	-	-	
E/065/07/lim	S1 C2	2,50-3,00	26,5	62	36	26	1,3
E/065/03/lim	S1 C3	4,00-4,50	36,9	82	41	41	1,1
E/065/01/lim	S1 C4	7,00-7,50	40,8	35	22	13	-0,5
E/065/06/lim	S2 C1	1,00-1,50	18,0	40	21	19	1,2
E/065/05/lim	S2 C2	2,00-2,50	33,6	76	39	37	1,2
E/065/08/lim	S2 C3	4,00-4,50	35,2	81	37	44	1,0
E/065/04/lim	S2 C4	7,00-7,40	43,4	74	31	43	0,7
E/065/11/lim	S3 C1	3,00-3,50	35,6	81	35	46	1,0
E/065/12/lim	S3 C2	6,00-6,50	52,5	72	31	41	0,5
E/065/13/lim	S4 C1	3,00-3,50	32,7	68	33	35	1,0
E/065/14/lim	S4 C2	6,00-6,50	48,0	75	33	42	0,6
E/065/09/lim	S5 C1	3,00-3,50	25,4	42	23	19	0,9
E/065/10/lim	S5 C2	6,00-6,70	30,6	36	20	16	0,3

### Carta di plasticità di casagrande

Nelle certificazioni di laboratorio allegate viene presentata la CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE riferita a ciascun campione di terreno analizzato. Nel caso specifico solo su un campione è stato possibile ricavare IP:

RIF.	Campione	Profondità (m)	Classificazione	Descrizione
E/065/02/lim	S1 C1	1,00-1,50	ML o OL	Limi organici di media compressibilità e limi organici
E/065/07/lim	S1 C2	2,50-3,00	MH o OH	Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
E/065/03/lim	S1 C3	4,00-4,50	MH o OH	Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
E/065/01/lim	S1 C4	7,00-7,50	CL	Argille inorganiche
E/065/06/lim	S2 C1	1,00-1,50	CL	
E/065/05/lim	S2 C2	2,00-2,50	MH o OH	Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
E/065/08/lim	S2 C3	4,00-4,50	MH o OH ???	
E/065/04/lim	S2 C4	7,00-7,40	CH	Argille inorganiche di alta plasticità
E/065/11/lim	S3 C1	3,00-3,50	CH	Argille inorganiche di alta plasticità
E/065/12/lim	S3 C2	6,00-6,50	CH	Argille inorganiche di alta plasticità
E/065/13/lim	S4 C1	3,00-3,50	Limite CH -OH	
E/065/14/lim	S4 C2	6,00-6,50	CH	Argille inorganiche di alta plasticità
E/065/09/lim	S5 C1	3,00-3,50	CL	
E/065/10/lim	S5 C2	6,00-6,70	CL	

La legenda della carta di plasticità è:

- CL1 argille inorganiche di bassa plasticità
- CL2 argille inorganiche di media plasticità
- CH argille inorganiche di alta plasticità
- CL-ML suolo privo di coesione
- ML limi inorganici di bassa compressibilità
- ML-OL limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- MH-OH limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche

### *Prova triassiale non consolidata non drenata (UU)*

La prova permette di definire la resistenza al taglio in condizioni non drenate, vale a dire senza intervenire sulla rottura del provino, senza modificare lo stato delle tensioni geostatiche cui era sottoposto in situ e senza modificarne il contenuto d'acqua.

Dalla prova si ottiene il valore della coesione non drenata  $c_u$ . Quest'analisi effettuata in termini di tensioni totali, non è applicabile a rigore ad argille sature fessurate in quanto la presenza di fratture aperte determina un abbassamento della resistenza e una curvatura dell'involuppo; solo con elevate pressioni di contenimento le fessure vengono chiuse e l'involuppo torna orizzontale. Il valore di  $c_u$  può essere sovrastimato nel caso di argille sovra consolidate fessurate.

I risultati della prova sono utilizzati per le verifiche a breve termine in terreni argillosi, delle opere di fondazione, muri di sostegno, diaframmi e palancole.

I risultati delle prove sono i seguenti:

	<b>Campione</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Cu (kPa)</b>
E/065/07/triax	S1 C2	2,50-3,00	56,24
E/065/01/triax	S1 C4	7,00-7,50	20,36
E/065/05/triax	S2 C2	2,00-2,50	35,36
E/065/04/triax	S2 C4	7,00-7,40	16,92
E/065/11/triax	S3 C1	3,00-3,50	48,70
E/065/12/triax	S3 C2	6,00-6,50	19,67

### *Pocket penetrometer*

Per misurare approssimativamente, ma in modo semplice e rapido direttamente in campagna, la resistenza alla compressione semplice dei terreni coesivi e semicoesivi incontrati, si è usato un pocket penetrometro modello ST 308.



Questo penetrometro tascabile permette di determinare in via speditiva la coesione ( $C_u$ ) e la portata massima di un terreno (in termini di pressione totali). La prova consiste nel poggiare il puntale al terreno da provare e premere progressivamente finché il puntale non sia penetrato fino alla tacca chiaramente visibile sul puntale stesso. Lo sforzo necessario per compiere questo lavoro è registrato su di un dinamometro che lo riporta sul suo quadrante in termini di Kg e Kg/cm<sup>2</sup>. Il puntale da 10 mm fornisce il valore di  $Q$  (Kg) dal quale si può risalire alla coesione ( $C$ ), mentre il puntale da 6,4 mm indica direttamente il carico specifico ( $Q_u$ ) in kg/cm<sup>2</sup> (carico ammissibile nel terreno di fondazione).

Il penetrometro è utilizzato per la descrizione dettagliata delle terre nel corso di un sondaggio (prove di cantiere). L'utilizzo di questo strumento non è consigliabile per ricavare capacità portanti e carichi ammissibili per i quali è indispensabile l'utilizzo di prove di laboratorio.

Le prove eseguite sui campioni hanno dato i seguenti risultati:

<b>RIF.</b>	<b>Campione</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Qu (Kpa)</b>
-------------	-----------------	-----------------------	-------------------------------	-----------------

E/065/02	S1 C1	1,00-1,50	1,76	172.60
E/065/07	S1 C2	2,50-3,00	3,92	384.42
E/065/03	S1 C3	4,00-4,50	3,12	305.97
E/065/01	S1 C4	7,00-7,50	0,51	50.01
E/065/06	S2 C1	1,00-1,50	3,31	324.60
E/065/05	S2 C2	2,00-2,50	2,90	284.39
E/065/08	S2 C3	4,00-4,50	3,10	304.01
E/065/04	S2 C4	7,00-7,40	1,25	122.58
E/065/11	S3 C1	3,00-3,50	3,50	343.23
E/065/12	S3 C2	6,00-6,50	0,59	57.85
E/065/13	S4 C1	3,00-3,50	4,58	449.14
E/065/14	S4 C2	6,00-6,50	0,71	69.63
E/065/09	S5 C1	3,00-3,50	0,90	88.26
E/065/10	S5 C2	6,00-6,70	1,78	174.56

### Prova ad espansione laterale libera

La prova viene eseguita secondo la norma ASTM D2166.

Questa prova viene eseguita per determinare il valore della resistenza al taglio non drenata dei terreni. L'esecuzione dell'esperienza richiede un campione di terreno indisturbato dal quale si possano ricavare provini cilindrici di 76 mm di altezza e 38 mm di diametro.

La presenza di sabbia diminuisce progressivamente la precisione dei risultati; d'altra parte la prova risulta non eseguibile quando il contenuto di sabbia è elevato.

I provini vengono sottoposti a compressione uniassiale mediante una pressa in grado di assicurare una velocità di deformazione costante (1.5 mm/minuto).

Nel corso della prova si rilevano i valori dei carichi applicati e le corrispondenti deformazioni fino alla rottura del provino, o fino ad una deformazione massima del 20% dell'altezza del provino. Il carico massimo ottenuto rappresenta la resistenza a compressione non drenata ( $q_u$ ) dalla quale è possibile ricavare (per terreni coesivi saturi) la coesione non drenata del terreno " $c_u$ " essendo  $c_u = 1/2q_u$ .

La prova è particolarmente indicata per campioni la cui frazione argillosa è superiore al 50%, non fessurati e con un grado di saturazione superiore al 95%.

La conoscenza della " $c_u$ " permette di valutare la capacità portante dei terreni coesivi sottoposti a carichi applicati in tempi brevi che pertanto non consentono il drenaggio dell'acqua nel terreno.

Le prove eseguite sui campioni hanno dato i seguenti risultati:

RIF.	Campione	Profondità (m)	$Q_u$ (kg/cmq)	$c_u = 1/2q_u$ (kg/cmq)
E/065/02 ELL	S1 C1	1,00-1,50	0,92	0.46
E/065/07/ELL	S1 C2	2,50-3,00	1,74	0.87
E/065/03/ELL	S1 C3	4,00-4,50	0,49	0.245
E/065/01/ELL	S1 C4	7,00-7,50	0,16	0.08
E/065/06/ELL	S2 C1	1,00-1,50	1,60	0.80
E/065/05/ELL	S2 C2	2,00-2,50	1,03	0.515
E/065/08/ELL	S2 C3	4,00-4,50	1.14	0.57
E/065/04/ELL	S2 C4	7,00-7,40	0,37	0.185
E/065/11/ELL	S3 C1	3,00-3,50	0,99	0.495
E/065/12/ELL	S3 C2	6,00-6,50	0,17	0.085
E/065/13/ELL	S4 C1	3,00-3,50	1,40	0.7
E/065/14/ELL	S4 C2	6,00-6,50	0,12	0.06
E/065/09/ELL	S5 C1	3,00-3,50	1,87	0.935
E/065/10/ELL	S5 C2	6,00-6,70	0,08	0.04

### Prova di consolidazione edometrica

La prova viene eseguita secondo le raccomandazioni AGI sulle prove geotecniche di laboratorio (maggio 1993).

L'esecuzione della prova richiede un campione di terreno indisturbato dal quale si possa ricavare un provino cilindrico di 20 mm di altezza e 50 mm di diametro. Il provino su cui viene eseguita la prova non deve includere granuli di ghiaia.

La prova edometrica simula in laboratorio il comportamento del terreno sottoposto a incrementi di carico in condizioni di deformazioni laterali impedito.

Questa esperienza permette di ottenere molti dei parametri necessari per la risoluzione dei problemi geotecnici riguardanti la consolidazione monodimensionale.

Essi sono:

Modulo di deformazione edometrico " $E_{ed}$ " con il quale è possibile calcolare l'entità dei cedimenti al di sotto delle opere di fondazione.

Coefficiente di consolidazione primaria " $c_v$ " (ottenuto tramite il metodo di Casagrande) e coefficiente di consolidazione secondaria " $c_a$ " ottenuto per mezzo della relazione  $c_a = \Delta e / \Delta \log t$ . Il " $c_v$ " viene calcolato determinando il diagramma  $\Delta H - \log t$  relativo ad un incremento di pressione ed utilizzando la formula  $c_v = 0.197 H^2 / t_{50}$  [ $m^2/s$ ] dove:

$H$  = semialtezza del provino al 50% della consolidazione primaria

$t_{50}$  = tempo relativo al 50% della consolidazione primaria.

La determinazione dei coefficienti " $c_v$ " e " $c_a$ " è necessaria per lo studio dell'andamento dei cedimenti nel tempo.

Coefficiente di permeabilità " $K$ " ottenuto in maniera indiretta tramite la formula  $K = (c_v \cdot \gamma_w) / E_{ed}$  con  $\gamma_w$ : peso specifico dell'acqua.

La determinazione del coefficiente di permeabilità " $K$ " risulta particolarmente utile per i terreni con bassa permeabilità (argille e argille limose).

L'indice di compressione " $c_c$ ", ottenibile dalla curva tracciata nel piano  $e - \log \sigma$  tramite la relazione  $c_c = \Delta e / \log \Delta \sigma$ , è utile per lo studio dei cedimenti dovuti a consolidazione in terreni normalconsolidati.

L'indice di ricomprensione " $c_r$ ", ottenibile dalla curva di ricomprensione tramite la relazione  $c_r = \Delta e / \log \Delta \sigma$ , è utile per lo studio dei cedimenti dovuti alla consolidazione di terreni sovraconsolidati.

L'indice di rigonfiamento " $c_s$ ", ottenibile dalla curva di scarico tramite la relazione  $c_s = \Delta e / \log \Delta \sigma$ , è utile per valutare l'entità delle deformazioni elastiche di un terreno.

La pressione di preconsolidazione " $\sigma'_p$ " che individua la massima tensione efficace di consolidazione a cui è stato sottoposto il terreno; tale valore è ottenibile elaborando opportunamente la curva edometrica nel piano  $e - \log \sigma$ . Il valore di " $\sigma'_p$ " permette di determinare il "grado di preconsolidazione" OCR determinato dal rapporto  $\sigma'_p / \sigma'_{vo}$  (dove  $\sigma'_{vo}$  è la pressione efficace verticale nel punto considerato) il quale stabilisce se e quanto un terreno è sovraconsolidato. Il rapporto OCR è ad esempio necessario per il corretto dimensionamento delle strutture fondali.

La prova edometrica è eseguita su un provino contenuto in un anello metallico che impedisce i movimenti di espansione laterale. Sulla faccia superiore ed inferiore del provino sono collocate pietre porose che consentono il drenaggio dell'acqua.

Il campione è caricato verticalmente e, dopo 24 o 48 ore, si misura il cedimento relativo.

I vari incrementi di pressione sono applicati in progressione geometrica e con una sequenza che normalmente è:

0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32 Kg/cm<sup>2</sup>. La fase di scarico è eseguita con un numero di intervalli pari a metà di quelli effettuati in fase di carico (16, 4, 1, 0.25).

Per argille sensitive e comunque in tutti i casi in cui sia molto elevato l'indice di liquidità, in prossimità della pressione di preconsolidazione " $\sigma'_p$ " è necessario diminuire il valore dell'incremento di carico.

Per argille sovraconsolidate si possono applicare anche pressioni più elevate. La prova, nel suo complesso, ha una durata di almeno 15 giorni lavorativi.

Nell'allegato sono illustrati i risultati delle prove edometriche effettuate sui campioni. La prova di consolidazione edometrica ad incrementi di carico controllati è stata effettuata con il mantenimento di ogni gradino di carico per un intervallo di tempo  $\leq 24$  h con sollecitazione  $\leq 0.250$  Kg/cmq, per un numero di 8 incrementi in fase di carico e 4 in fase di scarico esclusa la determinazione del peso specifico.

*COEFFICIENTI Cv, K, EED COMPRESI - DIAGRAMMI CEDIMENTO-LOG T*

La tabella sottostante riassume la determinazione dei coefficienti Cv, Kv, Eed, per i diagrammi cedimenti-logt si rimanda agli allegati.

RIF.	Campione	Profondità (m)	Eo Indice dei vuoti iniz.	Cv - Coefficiente di consolidazione (cmq/sec)	mv - Coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/kg)	Kv - Coefficiente di Permeabilità (cm/sec)
E/065/02/ cedim-tempo	S1 C1	1,00-1,50	0,885	1,807E-03	0,04621	8,35E-08
E/065/07/ cedim-tempo	S1 C2	2,50-3,00	1,006	2,050E-04	0,01902	3,90E-09
E/065/03/ cedim-tempo	S1 C3	4,00-4,50	1,048	1,530E-04	0,02873	4,40E-09
E/065/01/ cedim-tempo	S1 C4	7,00-7,50	1,179	3,401E-04	0,04698	1,60E-08
E/065/06/ cedim-tempo	S2 C1	1,00-1,50	0,624	6,003E-04	0,05235	3,14E-08
E/065/05/ cedim-tempo	S2 C2	2,00-2,50	0,812	2,367E-04	0,02336	5,53E-09
E/065/08/ cedim-tempo	S2 C3	4,00-4,50	1,022	1,468E-04	0,02296	3,37E-09
E/065/04/ cedim-tempo	S2 C4	7,00-7,40	1,445	8,898E-05	0,06063	5,40E-09
E/065/11/ cedim-tempo	S3 C1	3,00-3,50	1,563	2,045E-04	0,05140	1,05E-08
E/065/12/ cedim-tempo	S3 C2	6,00-6,50	0,930	1,066E-04	0,01867	1,99E-09
E/065/13/ cedim-tempo	S4 C1	3,00-3,50	1,356	1,543E-03	0,07995	1,23E-07
E/065/14/ cedim-tempo	S4 C2	6,00-6,50	0,647	7,875E-05	0,01761	1,39E-09
E/065/09/ cedim-tempo	S5 C1	3,00-3,50	0,691	7,569E-04	0,03691	2,79E-08
E/065/10/ cedim-tempo	S5 C2	6,00-6,70	0,753	3,144E-04	0,03322	1,04E-08

**4.3 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI**

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo. Si segnala la presenza di un paleo alveo nell'area delle "Caserma BECHI LUSERNA".

**4.4 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDRAULICI**

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo.

L'area del nuovo insediamento militare ad Ospedaletto è soggetta ad allagamenti con quote assolute dell'acqua che possono arrivare fino a circa +2.4 m s.l.m. (valore stimato da precedenti verifiche idrauliche in aree limitrofe).

Tutto il reticolo significativo che insiste nell'area e' stato a suo tempo dimensionato per portate aventi  $T_r = 30$  anni; le urbanizzazioni che si sono susseguite nei decenni hanno ulteriormente ridotto la capacità di smaltimento del reticolo sia di acque alte che basse.

Per tali motivi è necessario realizzare i nuovi insediamenti in sicurezza idraulica e mitigando il loro effetto con opere di laminazione che possano essere utili per una sistemazione generale dell'area e di quelle limitrofe.

I corsi d'acqua di riferimento per lo studio idraulico sono il Fosso Titignano, l'Oratoio, il Caligi e altri minori; e' comunque da considerare che tutto il reticolo di acque basse e' interessato dall'intervento in quanto il recapito finale rimane unico.

Si rimanda per ulteriori approfondimenti alla "Relazione Idrologico-Idraulica" predisposta dal Prof. S. Pagliara, allegata alla presente relazione.

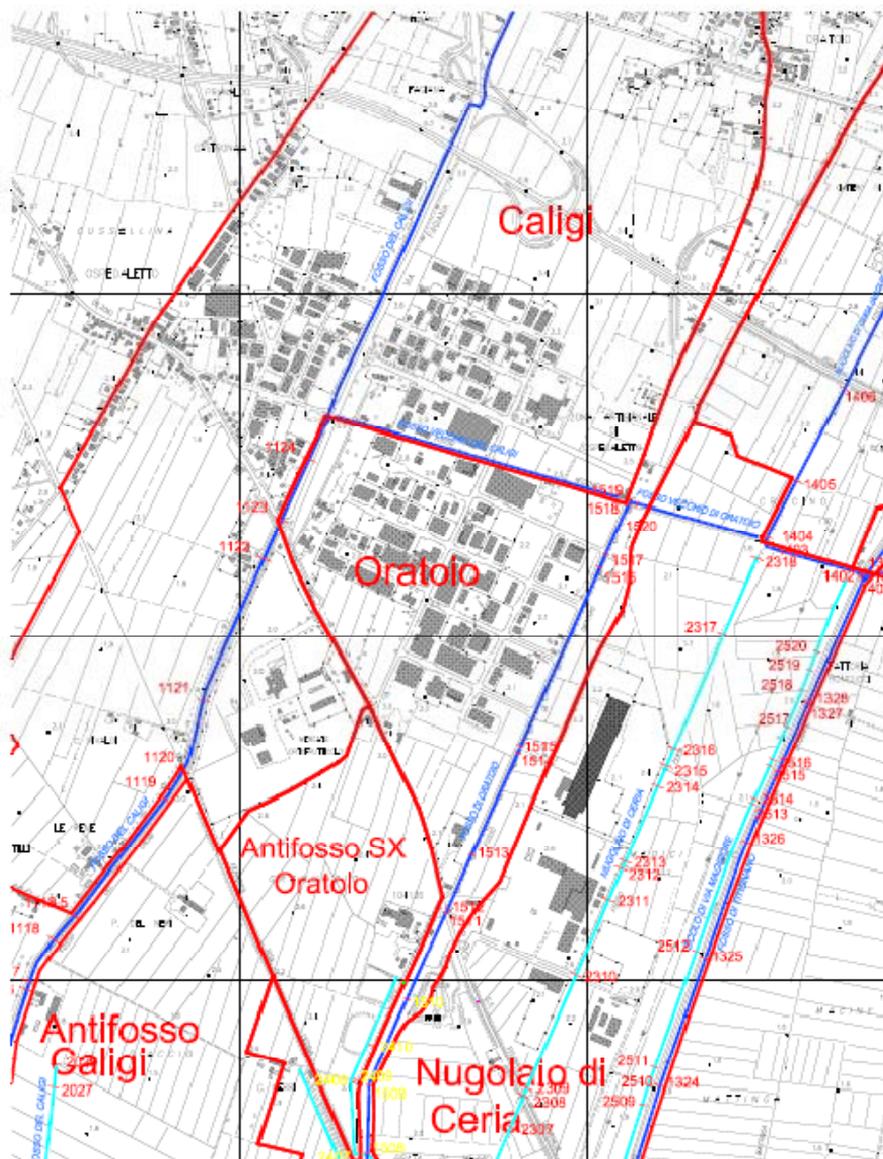


Fig. 23 Zona di interesse (nel centro a destra) e reticolo significativo

Le indagini idrauliche dovranno per questo considerare il rischio idraulico e il suo superamento, lavorando a grande scala, in modo da ottimizzare le risorse economiche e prevenire problematiche di aumento del rischio nelle aree vallive. Su tale area è stato eseguito un apposito studio che in fase di predisposizione del progetto definitivo sarà ulteriormente approfondito.

#### 4.5 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo.

#### 4.6 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI E DI SITO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Gli elementi prioritari per la valutazione degli effetti locali e di sito, in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico, sono quelli utili alle successive fasi di caratterizzazione sismica dei terreni e di parametrizzazione dinamica riferite alla realizzazione o verifica dell'edificato.

Oltre alle informazioni sull'assetto litostratigrafico e geomorfologico disponibili sia come dati pregressi che raccolte nel corso della presente indagine è stata eseguita nell'area del nuovo Insediamento Militare una parametrizzazione dinamica del terreno.

### Area Caserma Bechi Luserna

Per la valutazione degli effetti locali su tale area di variante si è fatto riferimento alla carta geomorfologica redatta dalla Provincia di Pisa.

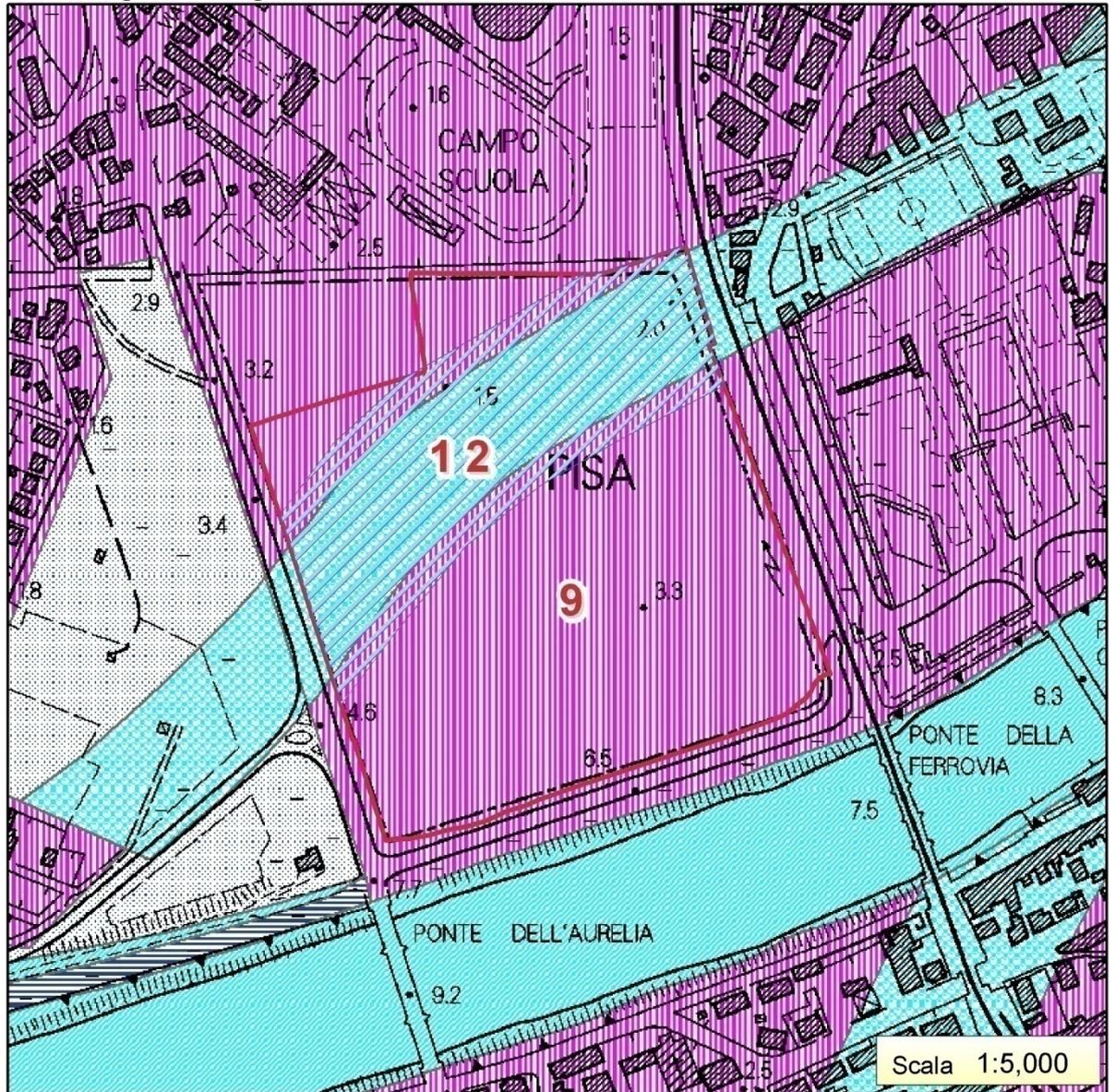


Fig. 24 Carta delle zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale (ZMPLS) di progetto (Caserma BECHI LUSERNA)

La simbologia fa riferimento alla legenda per la carta delle zone a maggiore pericolosità sismica locale

9 - Zona con presenza di depositi granulari e/o sciolti.

12 - Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse (buffer di 20m)

*Area Nuovo Insediamento Militare Ospedaletto*

Per la valutazione degli effetti locali su tale area di variante si è fatto riferimento ai dati geotecnici ricavati dalla campagna geognostica effettuata.

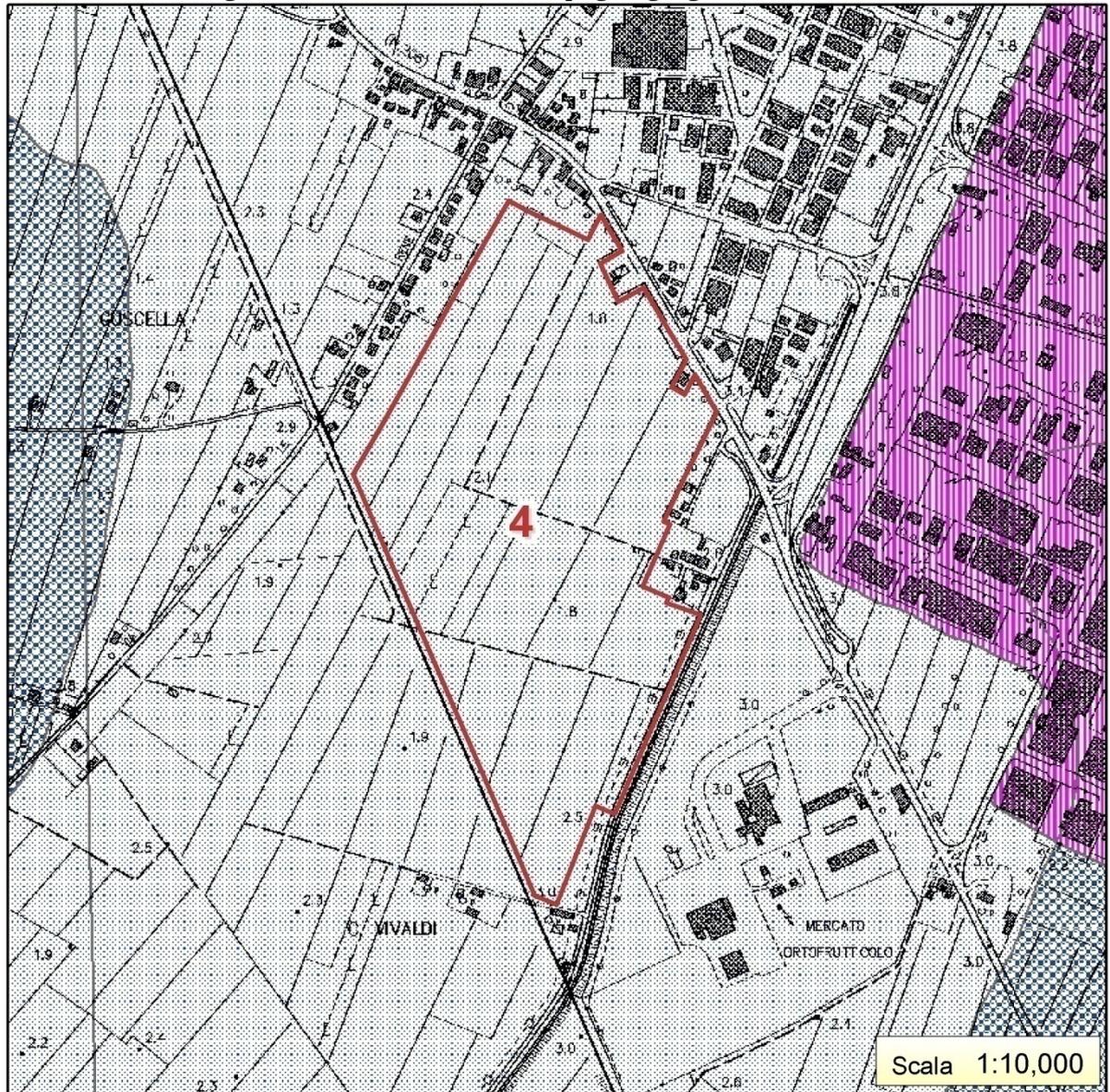


Fig. 25 Carta delle zone a Maggiore Pericolosità Sismica Locale (ZMPLS) di progetto (Nuovo Insediamento Militare Ospedaletto)

La simbologia fa riferimento alla legenda per la carta delle zone a maggiore pericolosità sismica locale

4 – Zona con terreni particolarmente scadenti (argille e limi molto soffici, riporti poco addensati).

Su quest'area è stata inoltre fatta una caratterizzazione sismica quantitativa.

Su incarico dell'Amministrazione la ditta Geotirreno ha eseguito, anche avvalendosi della ditta Geolog, indagini geofisiche nell'area di intervento, con lo scopo di caratterizzare i terreni presenti nel lotto medesimo mediante il parametro Vs30.

La caratterizzazione in oggetto è stata eseguita facendo ricorso a due prove DOWN-HOLE, ed una prova M.A.S.W. (Multi-channel analysis of surface waves), basata sullo studio della propagazione delle onde sismiche di superficie (Onde di Rayleigh), la figura sottostante mostra l'ubicazione delle indagini geofisiche.



Fig. 13 Ubicazione indagini geofisiche

Nelle relazioni “Indagini geofisiche mediante tecniche sismiche DOWNHOLE” e “Indagini geofisiche realizzate in località Ospedaletto” riportate in allegato, sono illustrati in modo dettagliato i risultati ottenuti.

#### CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (DPCM 3274/03) si è proceduto a determinare il parametro  $V_{s30}$ , che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per  $V_{s30}$ , si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_1^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Una volta noto il valore della  $V_{s30}$  è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

Suolo di fondazione	$V_{s30}$	$N_{spt} - C_u$
A Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di <b><math>V_{s30}</math></b> superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.	> 800 m/s	
B Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <b><math>V_{s30}</math></b> compresi tra 360 m/s e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica <b><math>N_{spt}</math></b> > 50, o	> 360 m/s < 800 m/s	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa

coesione non drenata <b>Cu</b> > 250 kPa.		
C Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> compresi 180 m/s e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$ , $70 < Cu < 250$ kPa).	> 180 m/s < 360 m/s	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < Cu < 250$ kPa
D Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> < 180 m/s ( $N_{spt} < 15$ , $Cu < 70$ kPa).	< 180 m/s	$N_{spt} < 15$ $Cu < 70$ kPa
E Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di <b>Vs30</b> simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con <b>Vs30</b> > 800 m/s.	< 360 m/s	
S <sub>1</sub> Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $I_p > 40$ ) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> < 100 m/s	< 100 m/s	
S <sub>2</sub> Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

#### 4.6.1 CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE - NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE - OSPEDALETTO

A conclusione di quanto fin qui scritto, si evidenzia come le analisi eseguite, conducano a valori di Vs30 inferiori a 180 m/s che corrispondono ad un suolo di fondazione classificato come di seguito indicato:

##### CATEGORIA D

*“Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di **Vs30** < 180 m/s ( $N_{spt} < 15$ ,  $Cu < 70$  kPa)”.*

Infine si fa presente che il valore di Vs30 sopra riportato è relativo all'intervallo di profondità compreso fra 0 e 30 metri.

## 5 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

Sulla base delle istanze della presente indagine e dei dati e studi analizzati le aree di trasformazione vengono caratterizzate, per aree omogenee, dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, integrando e approfondendo eventualmente quelle già disponibili.

Di seguito ai sensi di quanto previsto all'articolo 3 - comma 1 e al punto 2.1 - lettera C dell'Allegato A del D.P.G.R.T. 27 aprile 2007, n. 26/R, vengono definite la Pericolosità Geomorfologia, la Pericolosità Sismica Locale e la Pericolosità Idraulica.

### 5.1 AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

La Carta della Pericolosità Geomorfologia esprime il differente grado di pericolosità delle aree in funzione delle loro peculiarità geomorfologiche.

A supporto di quanto rilevato mediante l'analisi dei dati sopra esposti, le aree di variante sono state classificate complessivamente come aree a PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA BASSA (**G.1**): *“aree in cui i processi geomorfologici e le*

*caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa".*

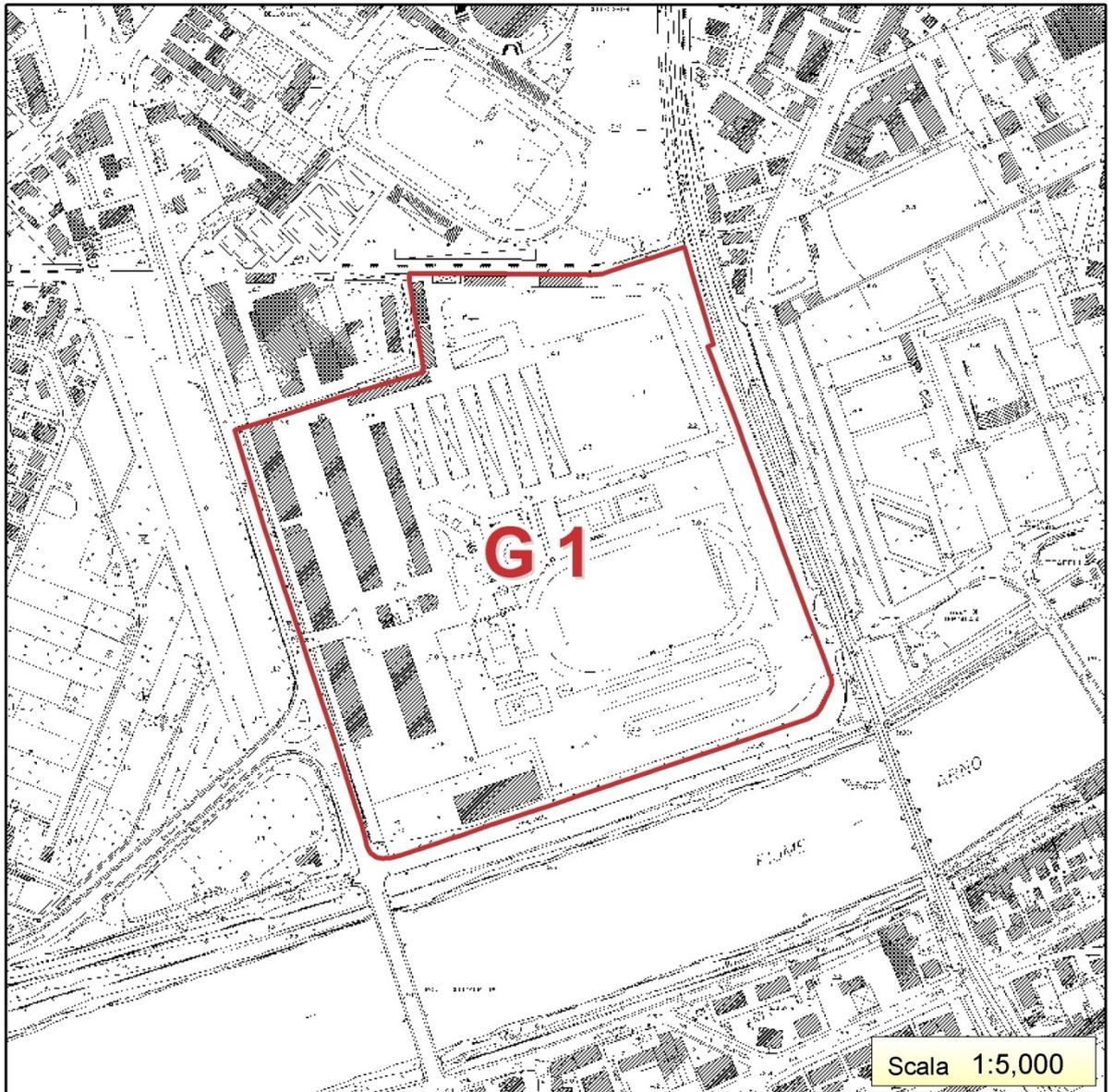


Fig. 26 Carta della pericolosità geomorfologica di progetto (Caserma BECHI LUSERNA)

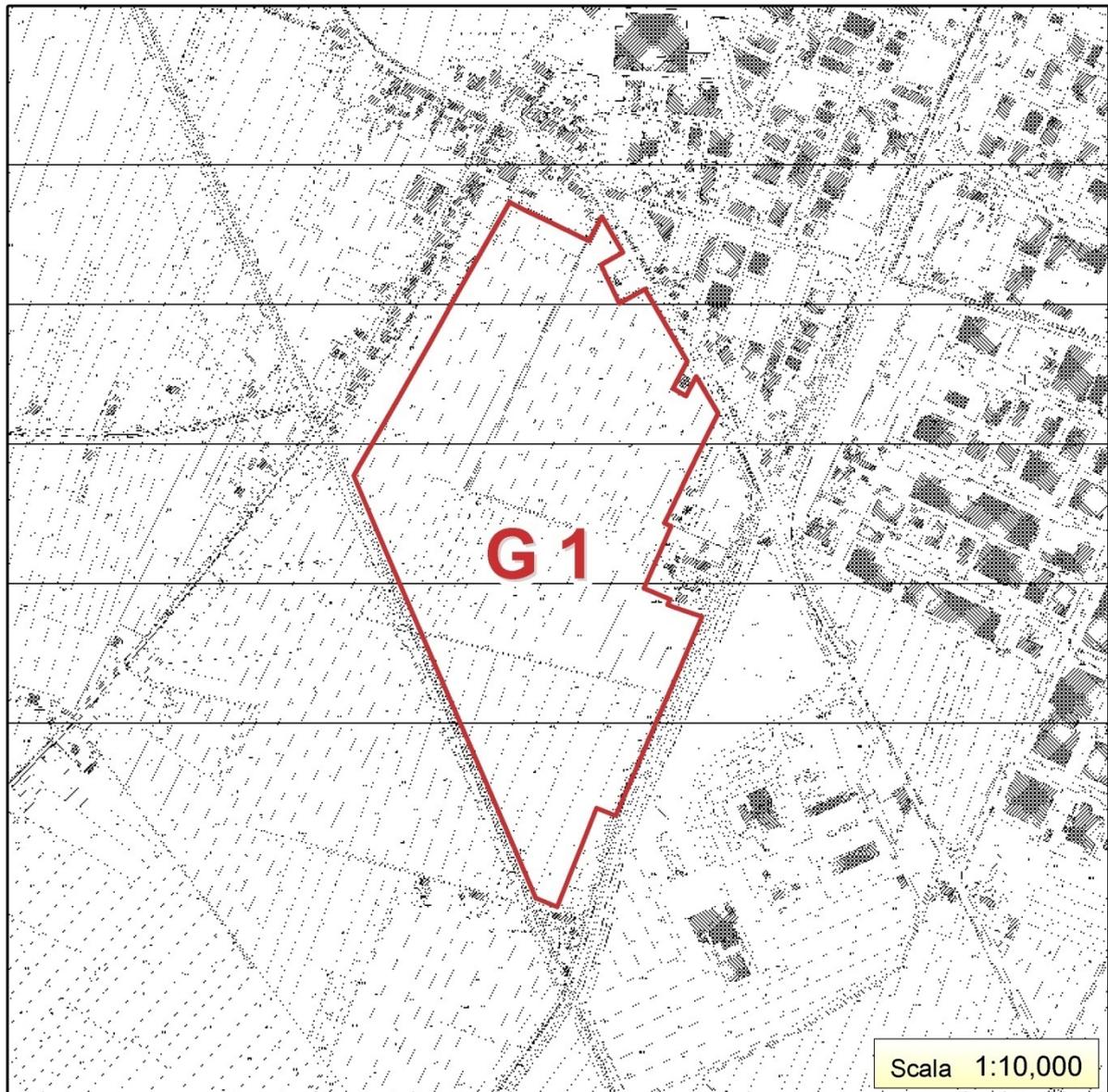


Fig. 27 Carta della pericolosità geomorfologica di progetto (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

## 5.2 AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Dal punto di vista idraulico le aree in esame vengono classificate come aree a PERICOLOSITÀ IDRAULICA ELEVATA (I.3):

“comprendente aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < Tr \leq 200$  anni.

Fuori dalle unità territoriali organiche elementari (UTOE) potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni
- sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda”.

Al fine di dare completezza all'analisi delle problematiche idrauliche derivanti dagli studi effettuati a livello di dettaglio per la predisposizione del Piano Assetto Idrogeologico, per le aree oggetto di variante è stata indicata la classificazione dettagliata della pericolosità idraulica indicando il valore di pericolosità corrispondente ai sensi della 26/R e sono stati indicati i livelli raggiunti per eventi con  $Tr = 200$  anni desunti dagli studi effettuati dall'Autorità di bacino dell'Arno.

Area in Variante	Classificazione dettagliata della Pericolosità Idraulica ai sensi del PAI	Battente indicato dall'Autorità per H200 riferito all'area potenzialmente inondabile di riferimento	Pericolosità ai sensi della 26/R DPGR 27.04.07
	pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4)		
	aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;		I4
	pericolosità idraulica elevata (P.I.3)		
	aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni con battente $h < 30$ cm		I4
	aree inondabili da un evento con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h \geq 30$ cm;		I3
	pericolosità idraulica media (P.I.2)		
	aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $30 < TR \leq 100$ anni e con battente $h < 30$ cm		I3
Caserma BECHI LUSERNA	aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $100 < TR \leq 200$ anni ;	1.7 s.l.m. - A.P.I. VP-049	I3
Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE OSPEDALETTO		1.9 s.l.m. - A.P.I. VP038	I3
	pericolosità idraulica moderata (P.I.1)		
	aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $200 < TR \leq 500$ anni.		I2

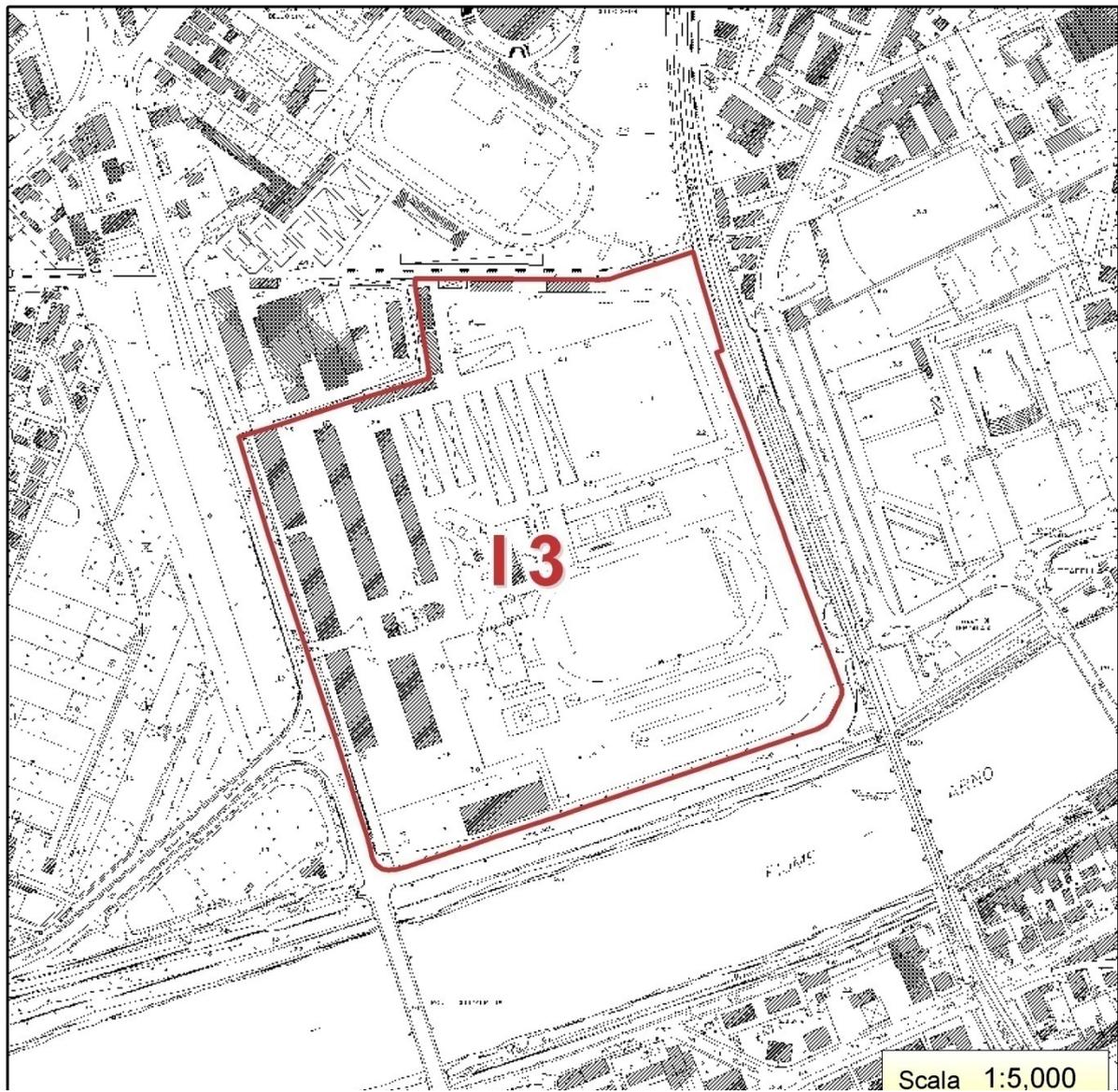


Fig. 28 Carta della pericolosità idraulica di progetto (Caserma BECHI LUSERNA)

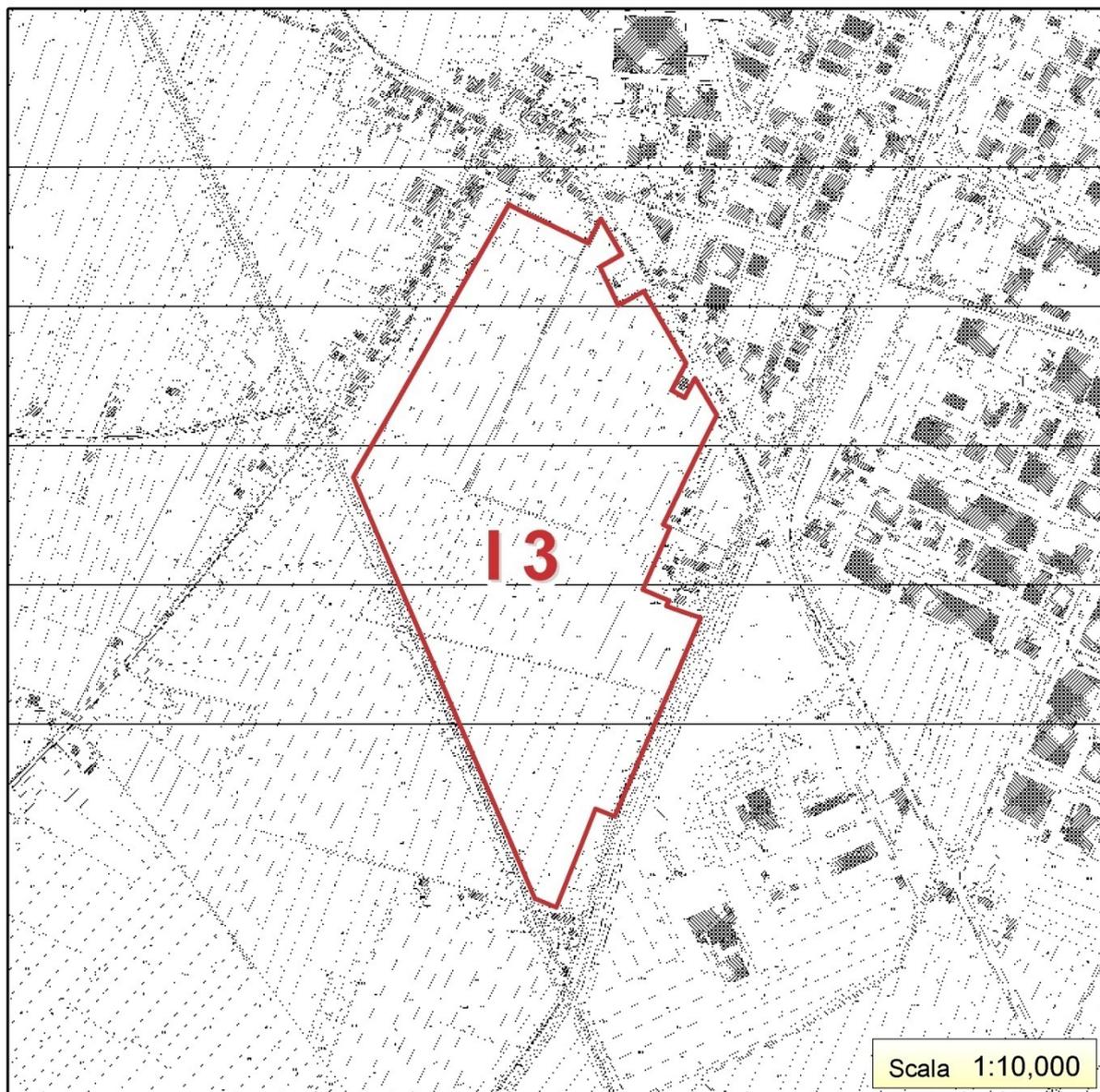


Fig. 29 Carta della pericolosità idraulica di progetto (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

### 5.3 AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

---

Sull'area in variante Caserma BECHI LUSERNA, rientrando tale area in parte tra quelle a vulnerabilità 4A-elevata e 3B-media, le trasformazioni sono condizionate al rispetto delle disposizioni del PTC, in tema di vulnerabilità idrogeologica.

### 5.4 AREE A PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

---

Sulla base della indagini effettuate è stato possibile individuare gli elementi in grado di originare i fenomeni di amplificazione locale ed instabilità dinamica e rappresentarli nelle cartografie "Zone a Maggiore Pericolosità Sismica Locale (ZMPLS)". Tali aree di variante sono state quindi classificate a PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ELEVATA **(S.3)**:

*"zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisicomeccaniche significativamente diverse (12) - Zona con presenza di depositi granulari e/o sciolti (9) [Caserma BECHI LUSERNA].*

*"zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi (4)" [Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE – Ospedaletto].*

*"zona con presenza di depositi granulari e/o sciolti (9) [Caserma CURTATONE E MONTANARA].*

*"zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisicomeccaniche significativamente diverse (12) [Caserma ARTALE].*

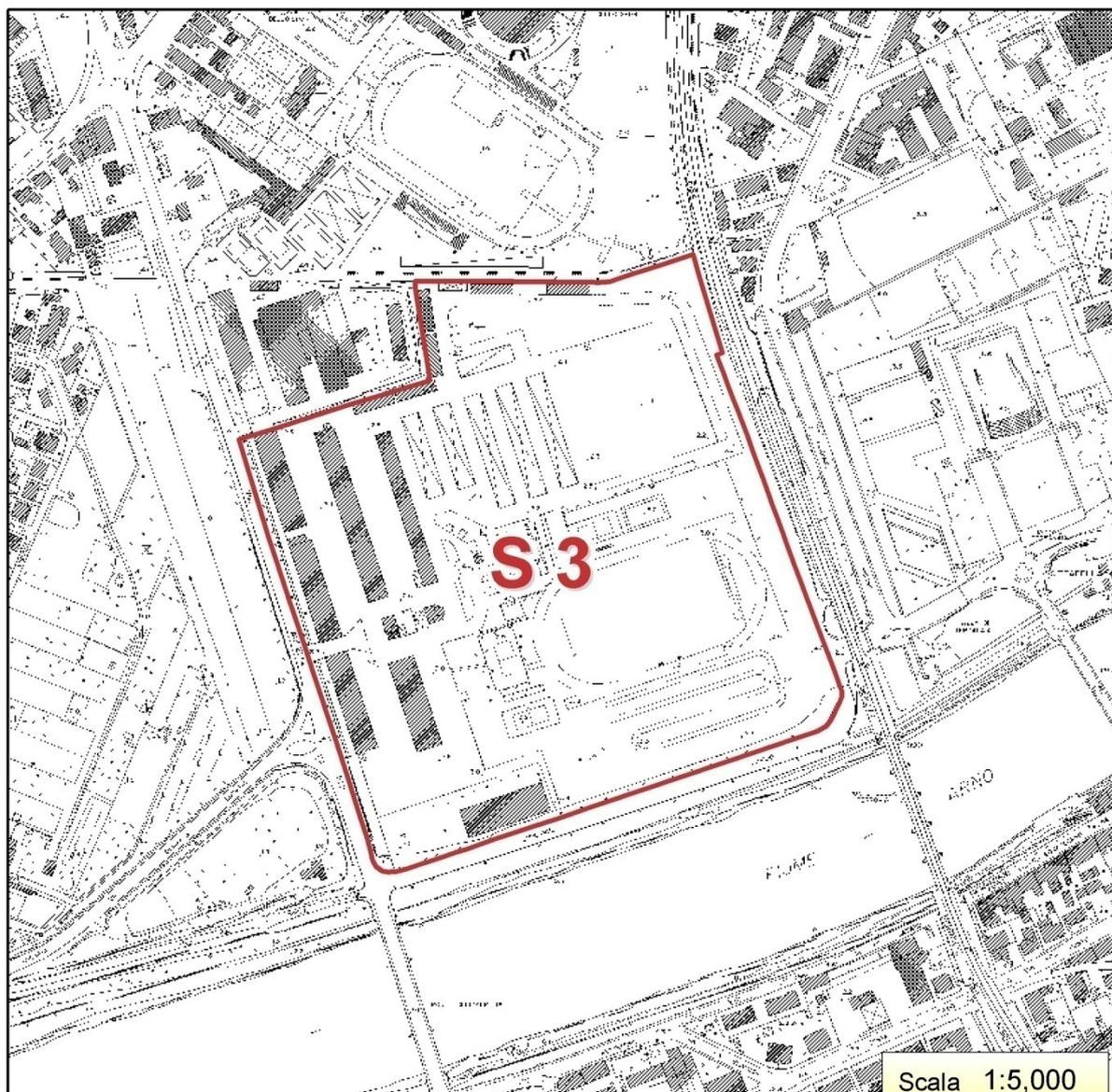


Fig. 30 Carta della Pericolosità Sismica di progetto (Caserma BECHI LUSERNA)

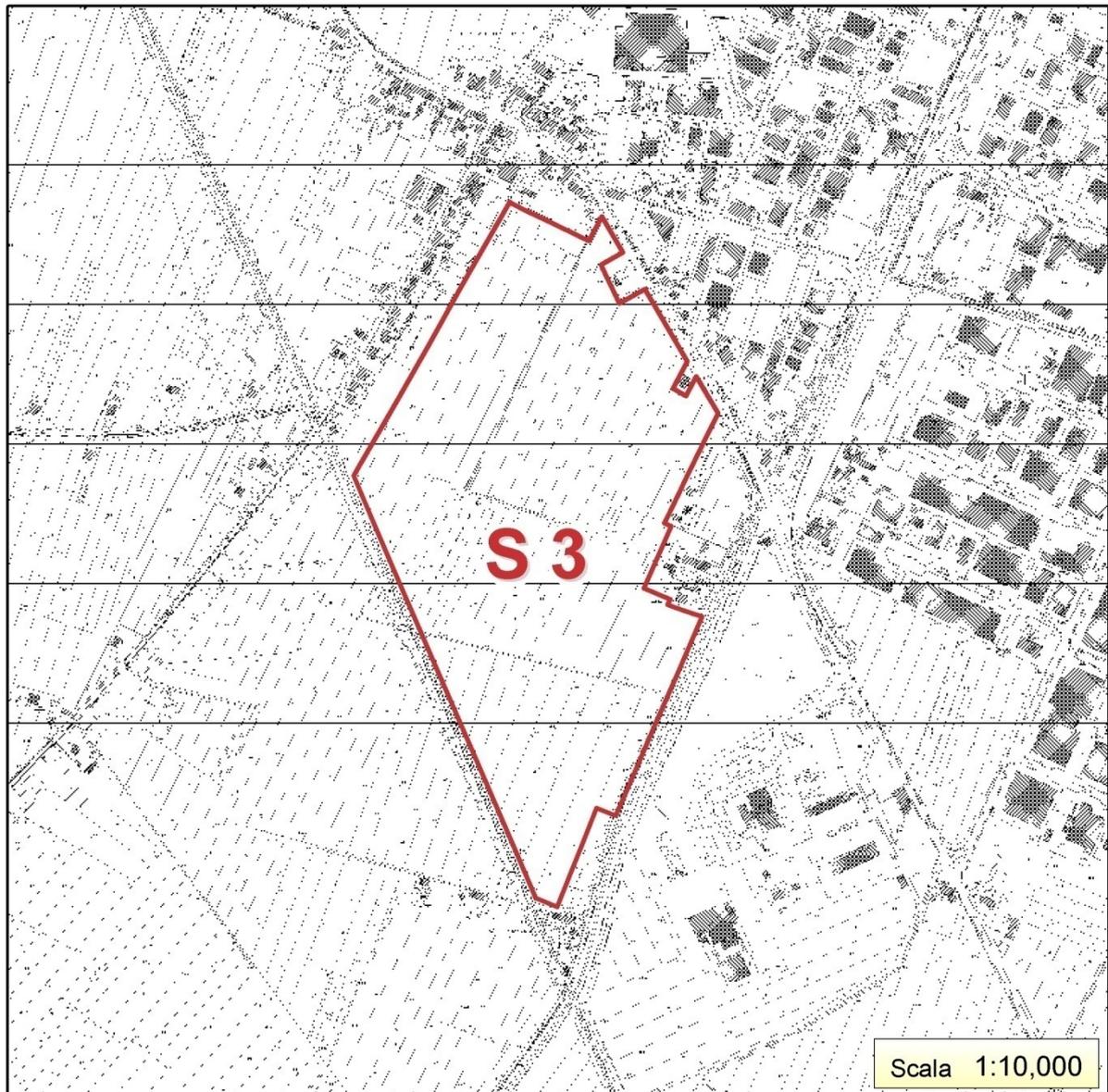


Fig. 31 Carta della Pericolosità Sismica di progetto (Nuovo INSEDIAMENTO MILITARE - Ospedaletto)

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base degli studi eseguiti ed in merito alle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, non si rilevano cause ostative rilevanti di carattere geologico, geotecnico e idrologico-idraulico per la Proposta di variante al Piano Strutturale.

Pisa, giugno 2008



Dott. Geol. MARCO REDINI