



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



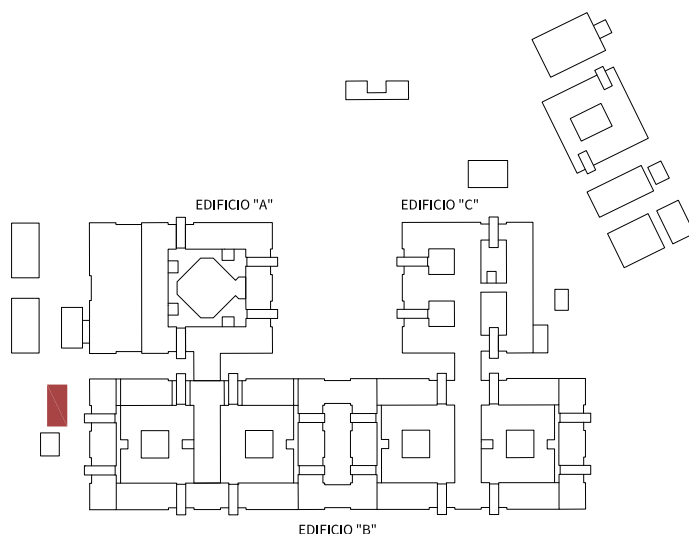
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



"Realizzazione di un locale sotterraneo radioprotetto"
per l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR - Area Territoriale di Ricerca di Pisa

PROGETTO ESECUTIVO

(Art. 41 e All. I.7 sez. III D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36)

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO:

Dott. Leonida Antonio GIZZI

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Marco PASCUCCI

TAV.

PE-GEN-03

ELABORATO

Relazione geologica

SCALA

REV.

OGGETTO

DATA

FIRMA

01

02

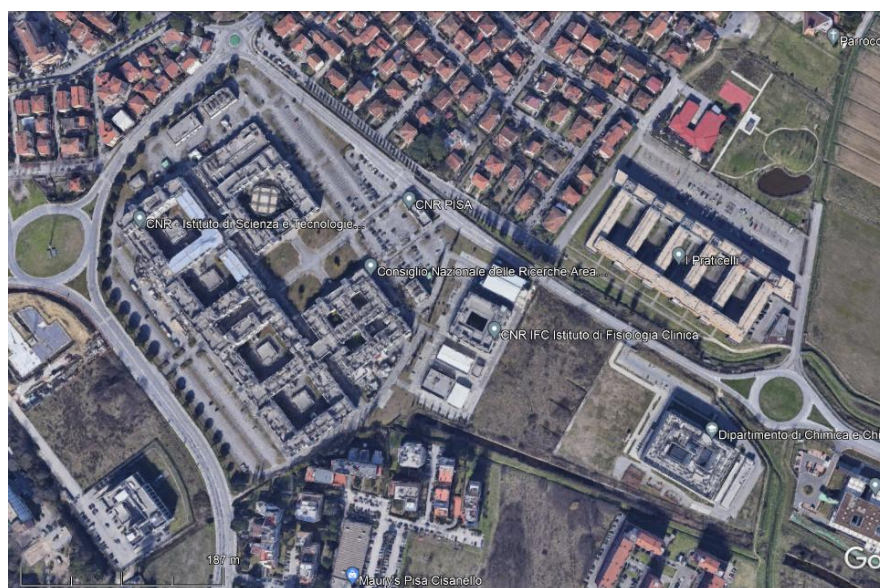
DATA

03/2025

03

04

OGGETTO: NUOVO BUNKER SOTTERRANEO PER ATTIVITA' DI RICERCA SULLA ACCELERAZIONE DI PARTICELLE A PLASMA CON LASER DI ALTISSIMA POTENZA



LUCIANO SERGIAMPIETRI GEOLOGO

Via di Cafaggio, 2
56122 Pisa
tel. 0507215350
cell. 3476697582
PI: 01737180503
CF: SRG LCN 57 T13 G702N
geosergiampietri@gmail.com – studiolsg@siriuspec.it

Dicembre 2022

Sommario

1 - PREMESSA, UBICAZIONE DEL PROGETTO	3
1.1 Il progetto	7
2 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA</i>	10
2.1 Stratigrafia e architettura deposizionale (cenni)	12
2.2 Idrogeologia (cenni)	13
3 - L'AREA NEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE	14
3.1 Le problematiche geologiche e idrogeologiche nel Piano Strutturale intercomunale	14
3.2 Le problematiche idrauliche (con particolare riferimento ad opere sotto il piano di campagna)	21
3.2.1 Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale	21
3.2.2 Le problematiche idrauliche nel Piano Strutturale Intercomunale	22
4 - INDAGINI IN SITO E MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO	28
5 - MODELLAZIONE SISMICA	39
5.1 Classificazione sismica	39
5.2 Le problematiche sismiche nel Piano Strutturale intercomunale	42
5.3 Prospezione sismica MASW	46
5.4 Parametri sismici	53
5.5 Rischio liquefazione	54
6 - CAPACITA' PORTANTE E CEDIMENTI	56
6.1 - realizzazione dello scavo	63
7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	65

1 - PREMESSA, UBICAZIONE DEL PROGETTO

La presente indagine geologica è riferita alla realizzazione di un edificio completamente interrato (bunker) ad uso "installazione di ricerca sull'accelerazione delle particelle", delle dimensioni di 10 m x 22m x 4,8 m = 1056 mc (dimensione esterna dello scavo).

poiché è prevista l'installazione di apparecchiature scientifiche e solo occasionale presenza di operatori, il manufatto ricade nella classe d'uso I delle NTC 2018 "Costruzioni con presenza solo occasionale di persone,...".

L'edificio è ubicato all'interno del perimetro dall'area di ricerca del "CNR" di Pisa.
Tale area è ubicata nella zona NE dell'abitato di Pisa, in prossimità del limite amministrativo con il comune di San Giuliano Terme.

Nel regolamento Urbanistico comunale, il comparto è indicato con le funzioni "Insediamenti specialistici suscettibili di sviluppo **SQ2**".



Fig. 1 - Stralcio dalla cartografia di Regolamento Urbanistico

Articolo 1.2.2.8 - Insediamenti specialistici: saturi SQ1, suscettibili di sviluppo SQ2, per produzione di servizi da qualificare in base a progetti unitari (SQ3)

1) Descrizione e Obiettivi

Degli insediamenti specialistici è previsto il miglioramento della qualità formale e funzionale, mediante l'attribuzione di ulteriori dotazioni di spazi per servizi pubblici e/o ad uso collettivo, la trasformazione di quelle esistenti, il miglioramento delle dotazioni di spazi pertinenziali, ed altresì mediante la riconfigurazione del tessuto urbano, essendo pertanto ammissibile la modificazione di elementi quali:

- la giacitura e la larghezza degli elementi viari;
- l'impianto fondiario;
- il sistema degli spazi scoperti, nonché dei rapporti tra spazi scoperti, spazi coperti e volumi edificati.

2) Interventi

Nel rispetto e in conformità, se non diversamente indicato, a quanto stabilito dal presente testo normativo e in particolare dalle disposizioni dell'art. 04 "Norme e prescrizioni di riferimento generali" e dell'art. 05 "Tutela degli edifici e degli elementi di interesse storico", sono ammessi gli interventi di seguito elencati:

ristrutturazione edilizia alle seguenti condizioni:

- nei limiti della superficie utile lorda dell'edificio esistente alla data di approvazione delle presenti norme salvo, se convenzionati, gli incrementi strettamente necessari a rispondere ad esigenze, non altrimenti soddisfacenti, di adeguamento degli edifici, e dei connessi impianti, a disposizioni normative e/o relative alle specifiche utilizzazioni attivabili;

sostituzione edilizia

limitatamente agli ambiti SQ1 e SQ2, con i seguenti parametri:

- a) indice di utilizzazione territoriale, relativo all'intero insediamento 1,0 mq/mq o non superiore a quella preesistente se maggiore;
- b) indice fondiario di copertura: 0,50 mq/mq;
- c) altezza massima degli edifici: 15 metri lineari;
- d) superfici accessorie art. 04.11;

nuova edificazione

limitatamente agli ambiti SQ2 con gli stessi parametri della sostituzione edilizia e con esclusione della fascia A individuata dal Piano di Rischio Aeroportuale.

Relativamente alla Fattibilità geologica, l'area ricade in Classe di fattibilità II (Carta della fattibilità geologica - Tav. 1b, Pisa Est)

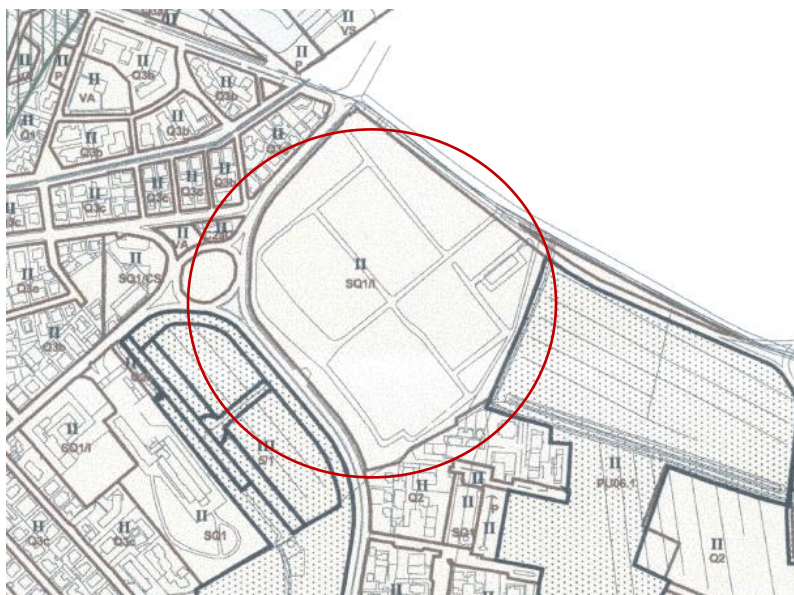


Fig. 2 - Stralcio della Carta della fattibilità geologica

II**Classe 2 - Fattibilità con normali vincoli da precisare in sede di progetto**

Equivale a livelli di rischio basso. Non sono richieste indagini di dettaglio a livello di area complessiva. Il progetto deve basarsi su di un'apposita indagine geotecnica/idraulica mirata alla soluzione dei problemi evidenziati dal Piano strutturale del Comune di Pisa. La relazione geologica e la relazione geotecnica/idraulica possono formare un unico elaborato nel quale la ricostruzione geologica del sito e la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo debbono essere reciprocamente coerenti: la relazione geotecnica/idraulica deve fare esplicito riferimento alla relazione geologica e viceversa

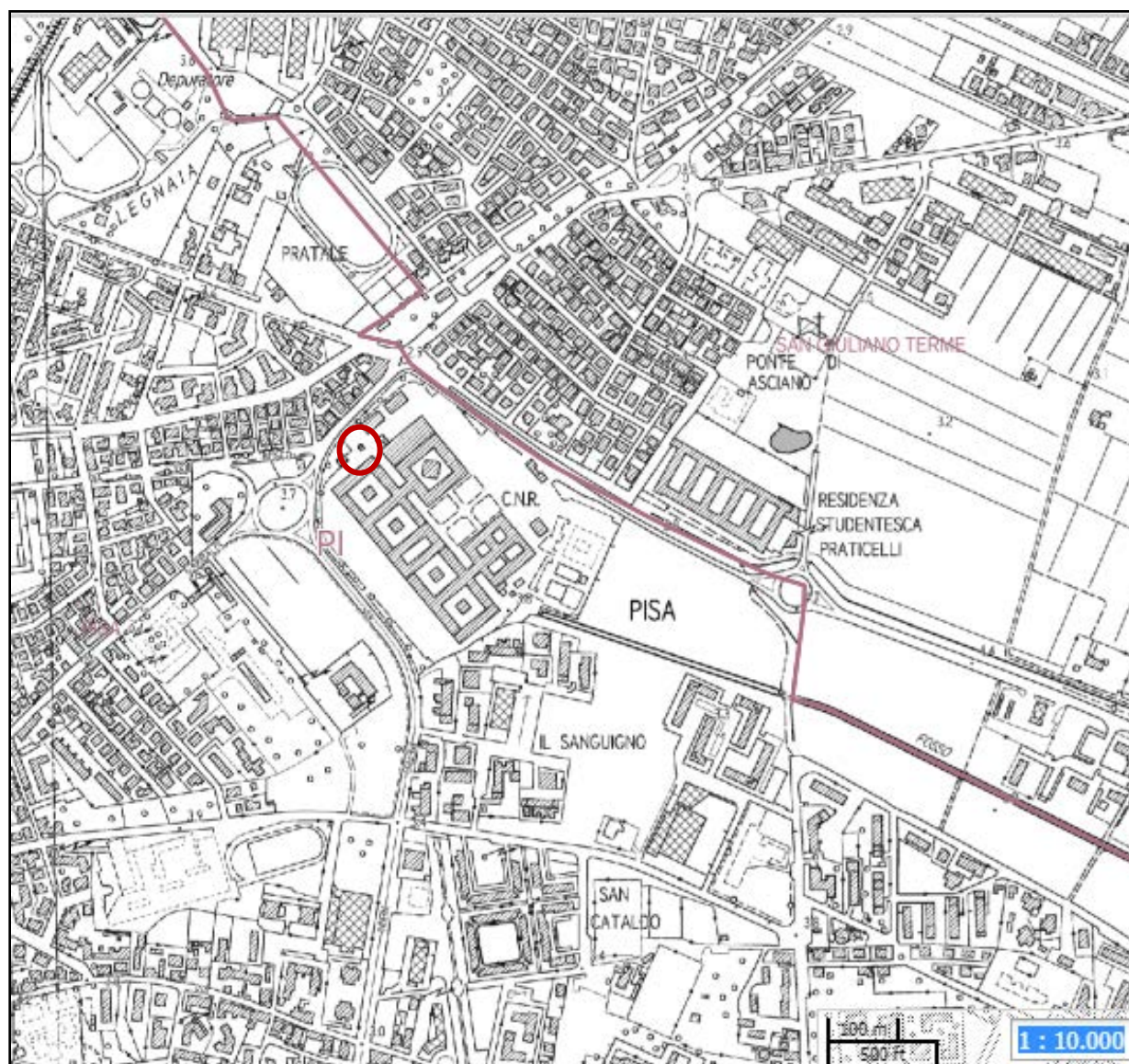


Fig. 3 - stralcio da CTR, scala 1:10.000 (geoscopia Regione Toscana)

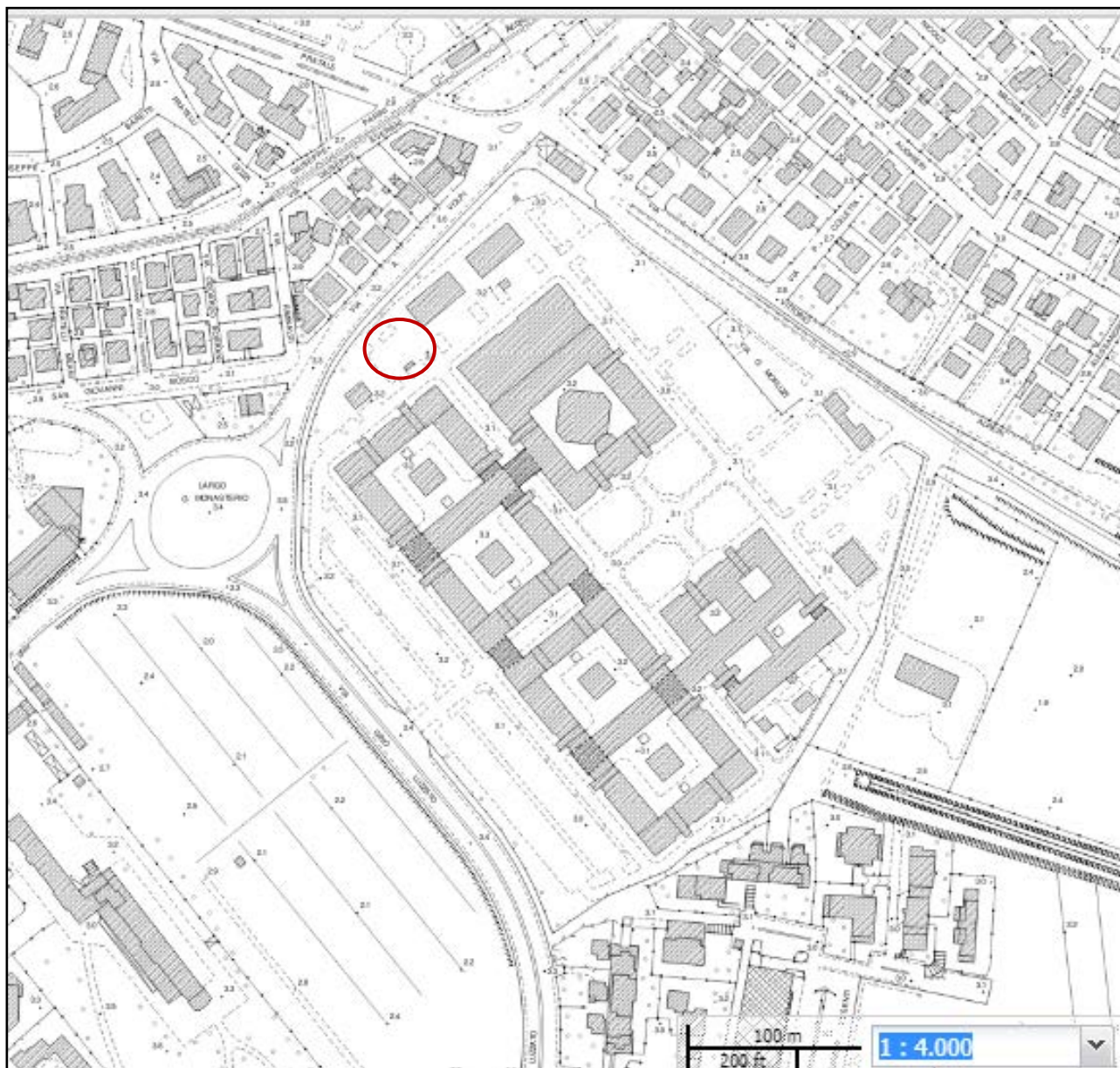


Fig. 4 - Stralcio da Carta topografica, riduzione da originale 1:4000

1.1 Il progetto

L'Istituto Nazionale di Ottica, nella sua Sede di Pisa presso l'Area della Ricerca del CNR, svolge attività di ricerca scientifica con *laser di altissima potenza* per lo sviluppo di acceleratori di particelle a plasma. Le attività si svolgono nell'ambito di due Infrastrutture di Ricerca Europee selezionate dall'European Strategy Forum for Research Infrastructures (ESFRI) denominate *EuPRAXIA* e *Extreme Light Infrastructure*. I progetti di sviluppo presentati dal CNR per queste infrastrutture sono state recentemente selezionati con altissima priorità (rispettivamente prima e seconda nella graduatoria delle infrastrutture di Fisica e Ingegneria) nel programma del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Tra le azioni di potenziamento previste dai progetti si prevede di realizzare un *bunker sotterraneo* in prossimità dell'attuale Laboratorio Laser Intensi (ILIL) dell'INO di Pisa e ad esso collegato tramite tunnel di passaggio per i fasci laser necessari alla sperimentazione, generati e amplificati nelle sale del laboratorio ILIL.

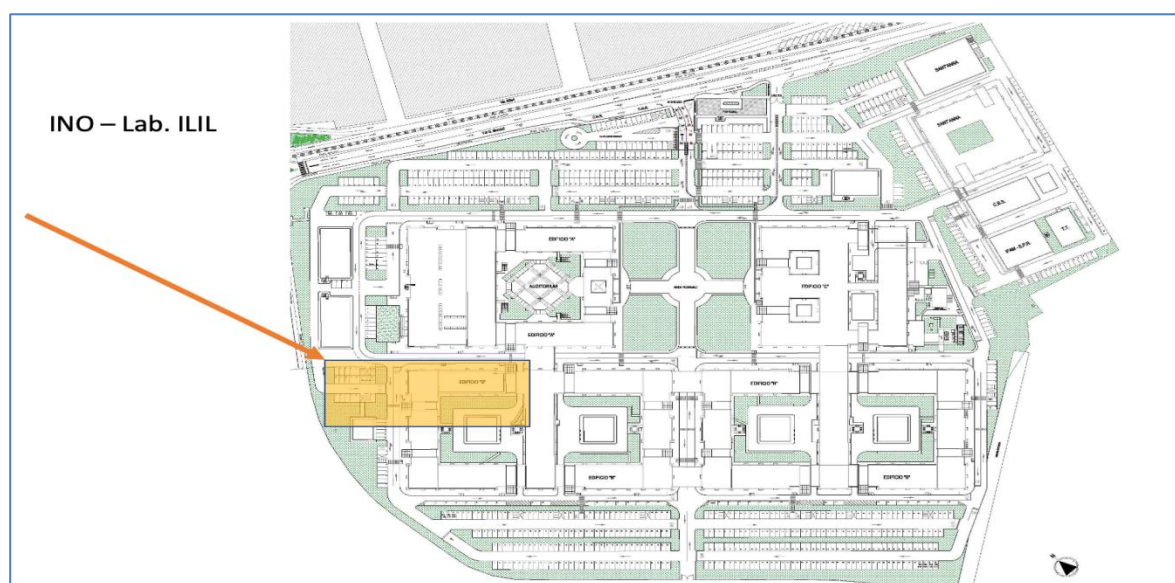


Fig. 5 - Ubicazione Laboratorio Laser Intensi



Fig. 6 - Ubicazione bunker sotterraneo

Il Bunker permetterà di svolgere attività di studio legate all'accelerazione di particelle con le innovative tecnologie laser-plasma in fase di sviluppo presso il Laboratorio ILIL, in un ambiente completamente radioprotetto, anche per particelle accelerate con energie e dosi molto elevate. Il bunker ospiterà sistemi ottici e meccanici e strumentazione di misura per la messa a punto e l'uso delle particelle accelerate per applicazioni biomediche e industriali e sarà dotato di sistemi per il controllo e l'acquisizione dati gestiti da remoto tramite sala controllo.

La piantina di **Figura 5** mostra la zona interessata dall'intervento nell'Area della Ricerca del CNR. Allo stato attuale si stima che il nuovo bunker sotterraneo avrà una superficie calpestabile interna approssimativa di 10 m di larghezza per 22 m di lunghezza (minima), come mostrato in Figura 2. L'altezza minima del bunker sarà di 3 m di altezza. La copertura del bunker sarà di calcestruzzo (densità 2.4 g/cm³) con spessore di 100 cm o calcestruzzo baritico (densità 3.4 g/cm³) con spessore di 60 cm.

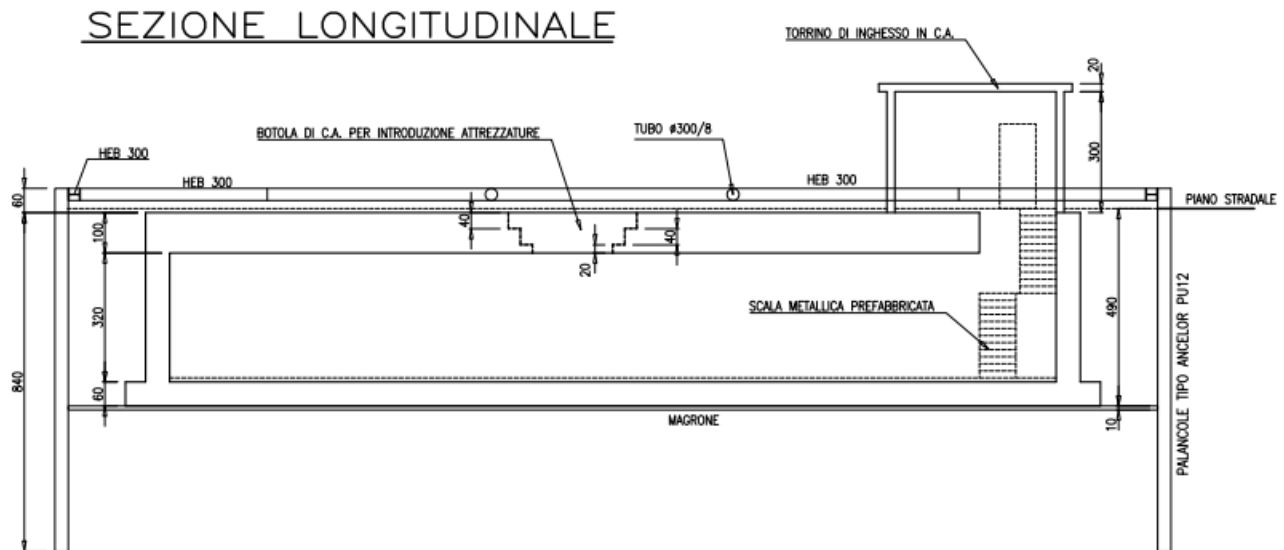


Fig. 7 Sezione schematica del bunker in progetto

Lo sviluppo del bunker in profondità dovrà consentire il collegamento con il laboratorio laser posto in superficie, attraverso la realizzazione di tunnel "tecnico" per il passaggio dei fasci laser.

Si prevede la realizzazione di un accesso esterno al bunker tramite scala da realizzare su uno dei lati del bunker sotterraneo (posizione esatta da definire) ed eventuali ulteriori vie di fuga. Si prevede inoltre la realizzazione di un'apertura rimovibile dall'esterno per il posizionamento di strumentazione ingombrante (es. camera da vuoto), non trasportabile tramite scala. L'apertura sarà chiusa con "tappi" in calcestruzzo, con profilo idoneo a garantire continuità della schermatura di radioprotezione. Il bunker sarà equipaggiato con sistemi ausiliari, ivi compresi climatizzazione, sistemi di filtraggio aria, forniture di acqua termostata e quant'altro necessario al funzionamento della strumentazione e all'abitabilità per le fasi di montaggio e predisposizione dell'apparato strumentale.

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

(Sintesi da "La macro-area: la pianura di Pisa" di Giovanni Sarti - Unipi)

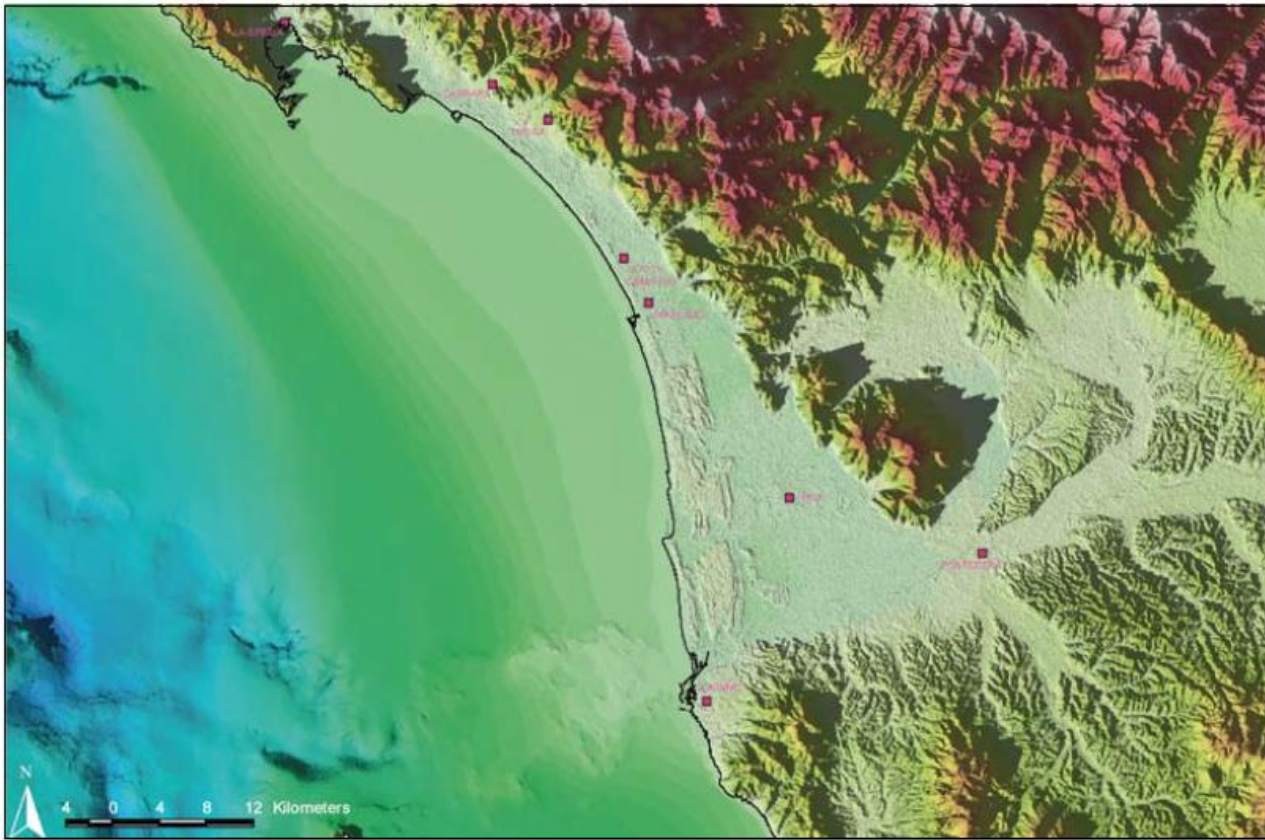


Fig. 5 - La Pianura di Pisa (da "La macro area: la pianura di Pisa" di G. Sarti)

Il sito d'interesse si colloca nella porzione NE dell'abitato di Pisa.

La pianura di Pisa costituisce la parte sommitale dei depositi di riempimento di in sistema di depressioni tettoniche formatesi lungo il margine tirrenico della catena appenninica a partire dal Tortoniano Sup., in relazione all'apertura del Mar tirreno e della contemporanea migrazione antioraria del sistema catena - avanfossa - avampaese.

In particolare, la pianura di Pisa costituisce la porzione meridionale del bacino estensionale di Viareggio che si sviluppa per una lunghezza approssimativa di 80 Km ed una larghezza di 40 Km. Tale depressione tettonica può essere suddivisa in due porzioni, una inshore ed un offshore.

La prima , costituita dalle pianure costiere di Pisa e Viareggio, è delimitata a NE dai Monti pisani, d'Oltre Serchio e delle Alpi Apuane costituiti da depositi pre-neogenici, a Sud dai depositi neogenici della Colline Pisane e livornesi.

La porzione offshore è invece delimitata a SO dalle secche della Meloria e di Maestra (vedi schema tettonico sotto illustrato).

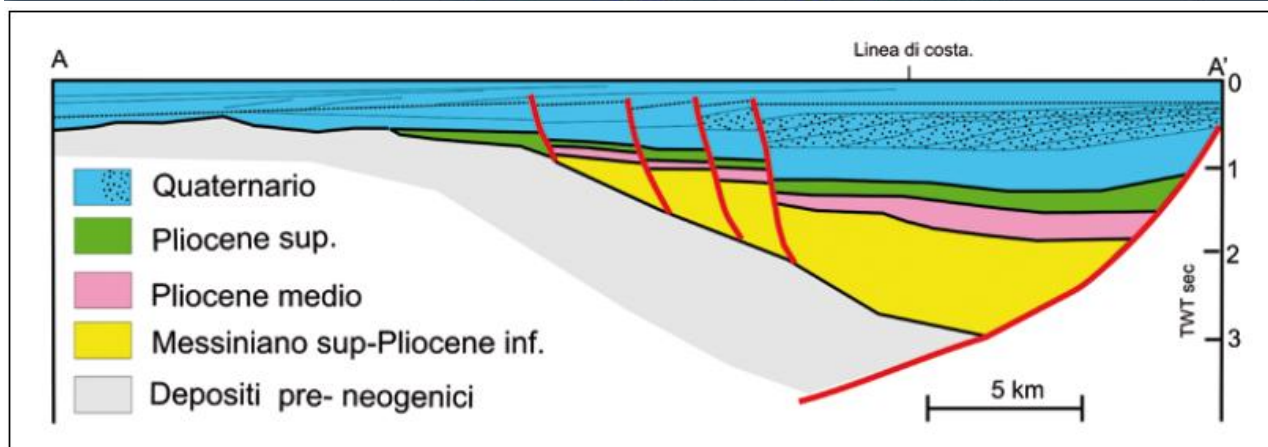
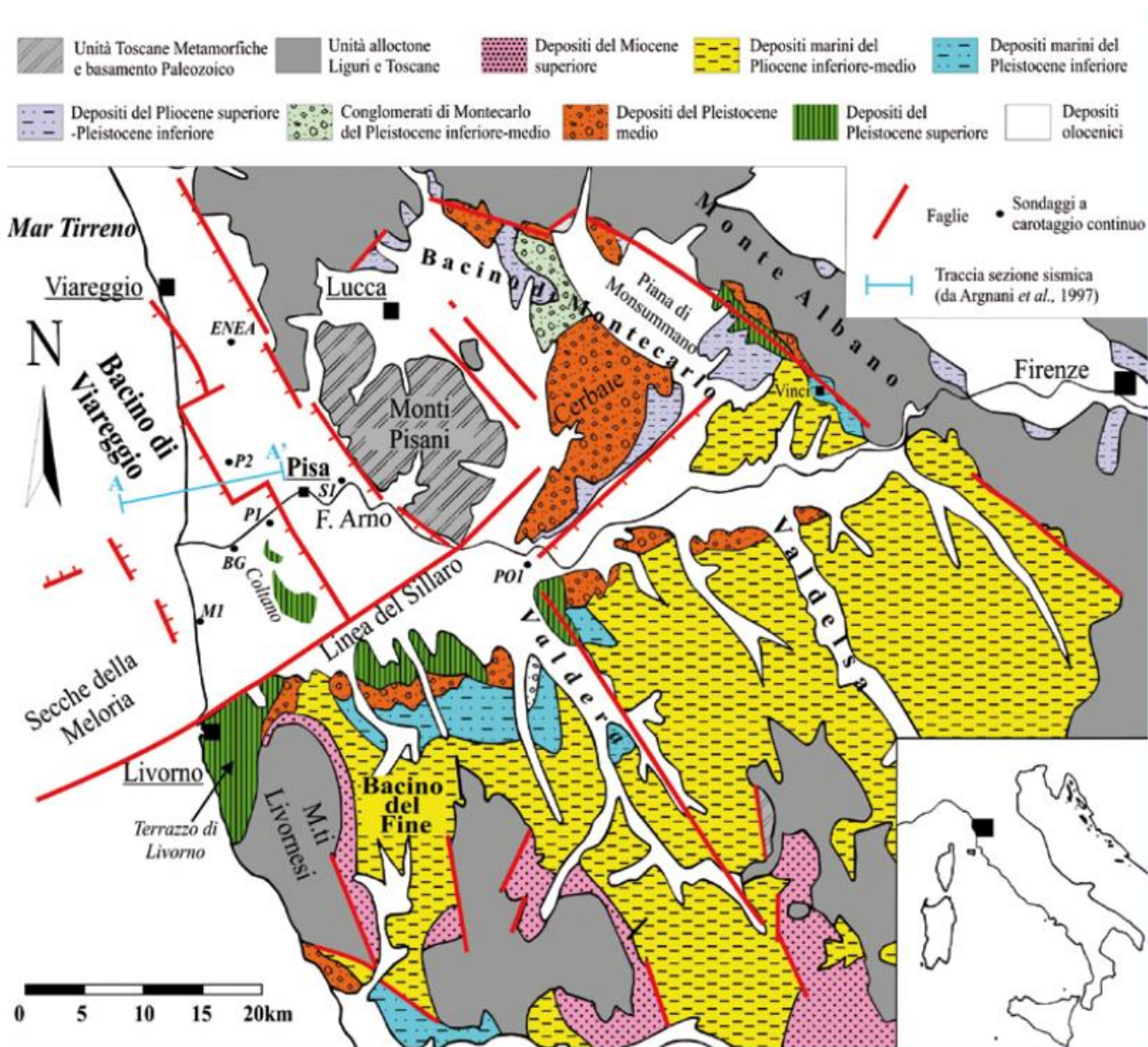


Fig. 6 - Schema tettonico e sezione schematica (da "la macro area: la pianura di Pisa" di G. Sarti)

2.1 Stratigrafia e architettura deposizionale (cenni)

Negli ultimi anni la perforazione di nuovi sondaggi a carotaggio continuo ha permesso di definire, attraverso un approccio multidisciplinare, un nuovo quadro stratigrafico-deposizionale di dettaglio dei primi 100 m di sottosuolo della pianura di Pisa.

Sono state individuate due sequenze trasgressivo-regressive a prevalente controllo glacio-eustatico e dunque climatico.

Le due sequenze marine sono separate da circa 40 m di depositi continentali. La TS superiore (51 m) coincide con l'inizio della trasgressione tardo pleistocenica/olocenica come documentato dalla datazione radiometrica.

Significativo è lo spessore di circa 20 m della prima fase trasgressiva, caratterizzato da depositi lagunari-salmastri interpretati come espressione di un ambiente di estuario dominato dal moto ondoso che è rimasto attivo sino a circa 8000 anni fa.

La ricostruzione dell'architettura deposizionale ha infatti evidenziato come questi depositi costituiscano il riempimento, spesso sino a 40 m, di una incisione valliva attivatasi durante l'ultima glaciazione, quando il livello del mare si abbassò di oltre 120 m rispetto all'attuale.

Le modalità deposizionali del riempimento della paleo valle sono ben documentabili nel sottosuolo della città di Pisa; il processo di riempimento della valle, durato circa 5000 anni (tra 13000 e 8000 anni) si realizzò attraverso tre pulsazioni trasgressivo-regressive, registrate in 35 m di spessore complessivo.

La successione post-riempimento inizia quindi a depositarsi circa 8000 anni fa, ampliando l'area deposizionale al di fuori della valle nelle aree di interfluvio e corrisponde alla fase tardiva della trasgressione olocenica.

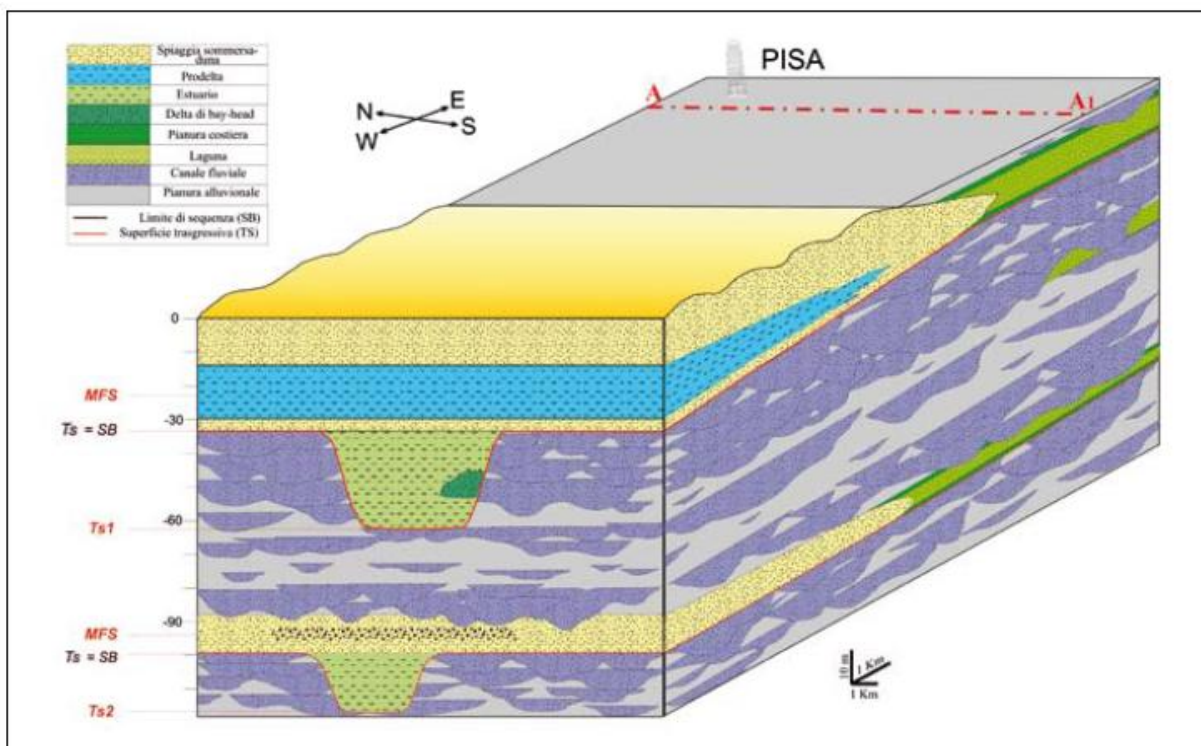


Fig. 7 - Architettura deposizionale (da "La macro area: la pianura di Pisa" di G. Sarti)

2.2 Idrogeologia (cenni)

In linea generale gli acquiferi in depositi marini mostrano una geometria cuneiforme ed una maggiore continuità laterale rispetto a quelli presenti nei depositi fluviali che sono invece caratterizzati da una forte lenticolarità,

Nella pianura di Pisa la geometria cuneiforme che si assottiglia verso Est dei depositi marino - costieri sabbiosi, riflette, nella porzione di età olocenica, la migrazione nella stessa direzione del sistema barriera-laguna presente durante la fase trasgressiva post- riempimento vallivo e la seguente fase di pro gradazione del complesso deltizio-litorale.

Questi due corpi sedimentari sono progressivamente separati da un acquicludo/acquitardo costituito da depositi argillo limosi di ambiente marino poco profondo che aumenta di spessore verso Ovest. I due acquiferi in sabbie (rispettivamente sabbie trasgressive e deltizio-litorali progradanti) entrano in connessione tra loro verso terra formando un acquifero freatico unico.

Gli acquiferi sviluppati nei depositi fluviali sono invece caratterizzati da una estesa variabilità latero verticale implicita in sistemi caratterizzati da una estesa variabilità latero-verticale (sistemi caratterizzati da migrazione di canali).

L'interconnessione tra acquiferi posti a livelli stratigrafici sovrapposti è anche ovviamente dovuta alle numerose superfici di erosione tipiche dei sistemi fluviali.

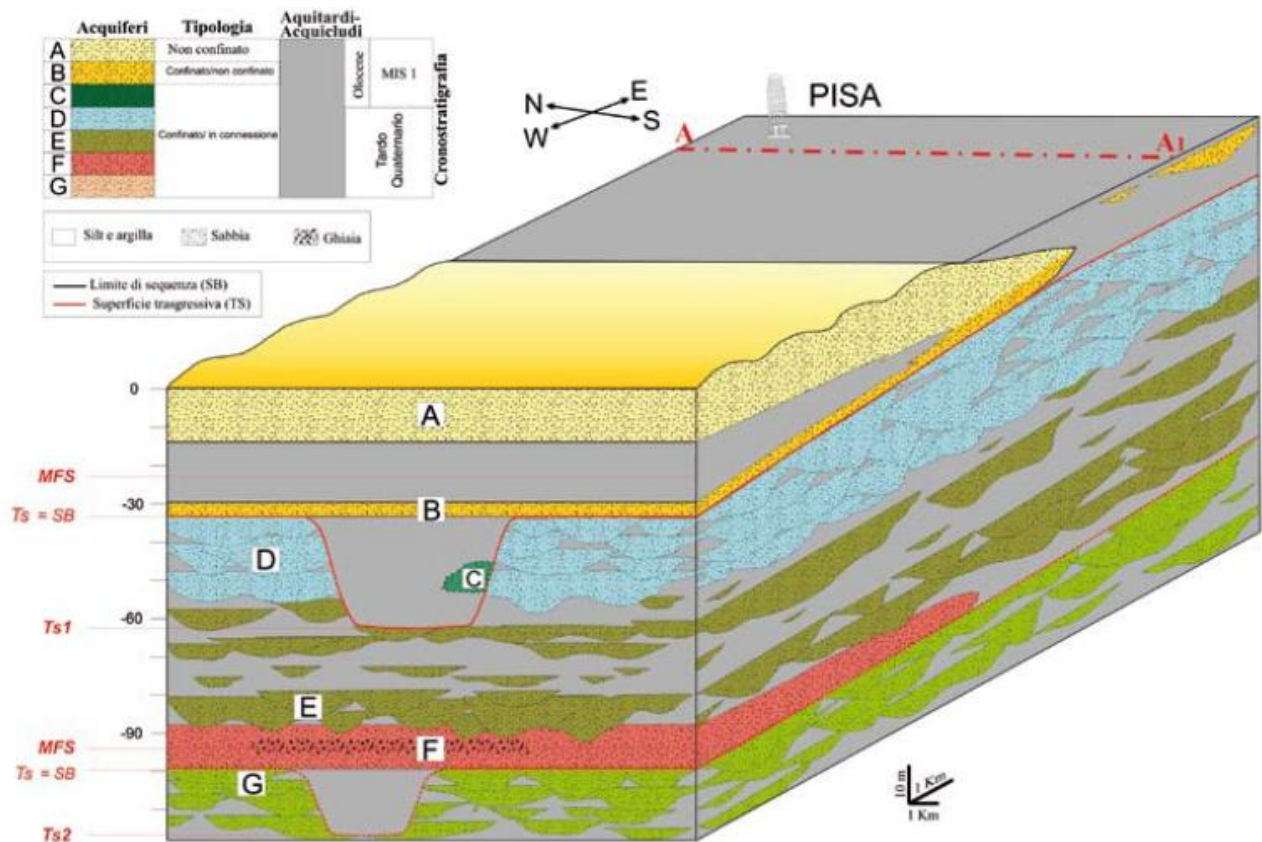
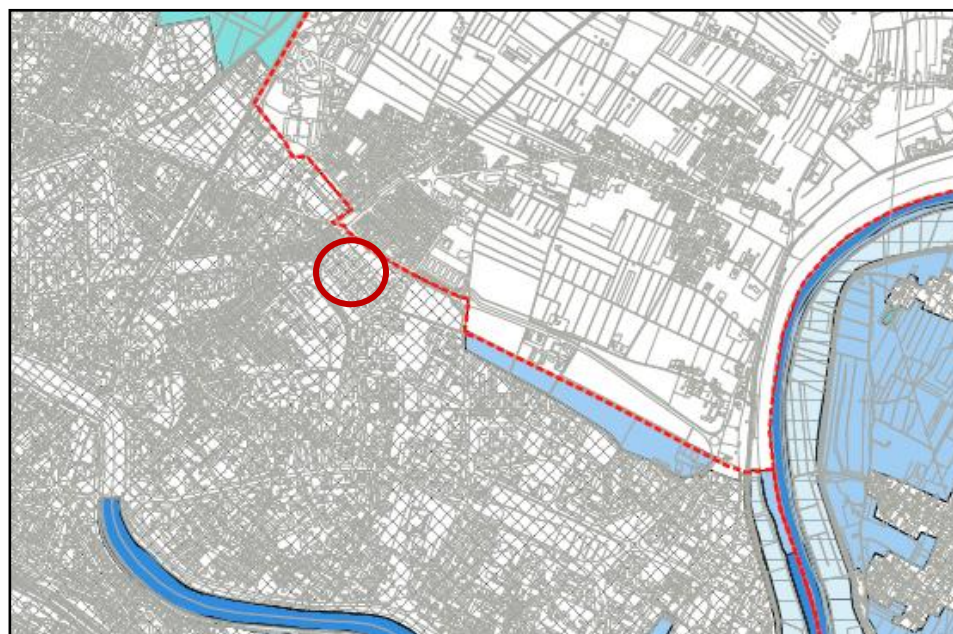


Fig. 8 - Schema della successione degli acquiferi (da "La macro area: la pianura di Pisa", di G. Sarti)






3 - L'AREA NEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

3.1 Le problematiche geologiche e idrogeologiche nel Piano Strutturale intercomunale



CARTA GEOLOGICA
TAV. QG.01



Forme e strutture antropiche






-  Terreni di riporto, bonifica per colmata
-  Discariche per inerti
-  Territorio urbanizzato che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno
-  Lago artificiale
-  Lago artificiale di cava

DEPOSITI EOLICI E DI SPIAGGIA QUATERNARI

-  Depositi di spiaggia emersa: sabbie medie
-  Deposito di cordone litorale: sabbie da medie a fini

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

Depositi olocenici

-  Aree golenali
-  Depositi presenti nelle zone morfologicamente depresse interdunali: sabbie da medie a fini talora con limi
-  Depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi
-  Depositi alluvionali attuali prevalentemente sabbiosi e limosi
-  Depositi alluvionali, palustri e di colmata prevalentemente argillosi (Olocene)

Depositi pleistocenici


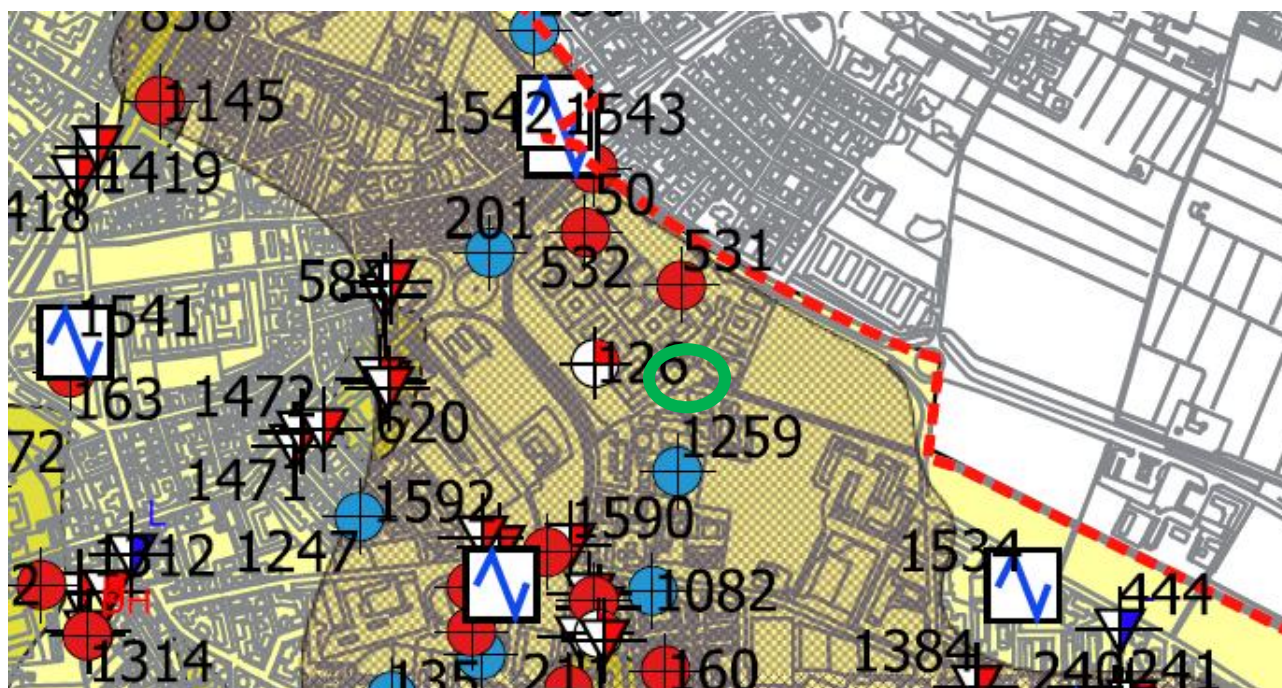
-  QVC- sabbie medio-fini limose di colore giallo screziate aranzione con presenza di piccoli noduli calcarei. Sabbie e limi di Vicarello (Pleistocene Superiore)

Fig.9 Carta geologica da Piano Strutturale

TAV. QG.03



Unità F2.s5/s6.t4 - Depositi quaternari palustri
Granulometria dominante: argille e limi argillosi da poco consistenti
a privi di consistenza con presenza di materiale torboso

15



Depositi di golena



Terreni eterogenei al fondo di laghi artificiali e/o cave



Terreni di riporto



Aree soggette a subsidenza (abbassamento > 3 mm/anno)
Fonte Minist. Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)



Aree soggette a potenziali fenomeni di liquefazione

La carta Litotecnica di P.S. identifica l'area come appartenente all'Unità F1. s3/s4.t2, " Depositi quaternari alluvionali, granulometria dominante: limi, limi sabbiosi e argille limose da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa".

CARTA IDROGEOLOGICA

TAV. QG.05



CLASSI DI PERMEABILITA'

Permeabilità bassa

Permeabilità media

Permeabilità alta

Pozzo potabile

Zona di rispetto 200 m (art.94, c.6 D.Lgs.152/2006 e s.m.i.)

Pozzo (altri usi)

Idrovora

Linee isopiezometriche (m s.l.m.) - 1° falda significativa (Agosto 1994)

Punti di accumulo

Flusso convergente

Flusso divergente

Direzione di flusso

Deposito palustre

Lago artificiale

Lago artificiale di cava

Discariche per inerti

RETICOLO IDROGRAFICO DCR 20/2019

SI

NO (ALTRO RETICOLO)

TOMBATO

Fig. 11 - carta idrogeologica da Piano Strutturale

La carta Idrogeologica di P.S. identifica i terreni dell'area come caratterizzati da permeabilità media. Si sottolinea come le indagini geologiche abbiano individuato il livello di falda al di sotto di 4 m dal P.C.

CARTA DELLA VULNERABILITA' E DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

TAV. QG.06

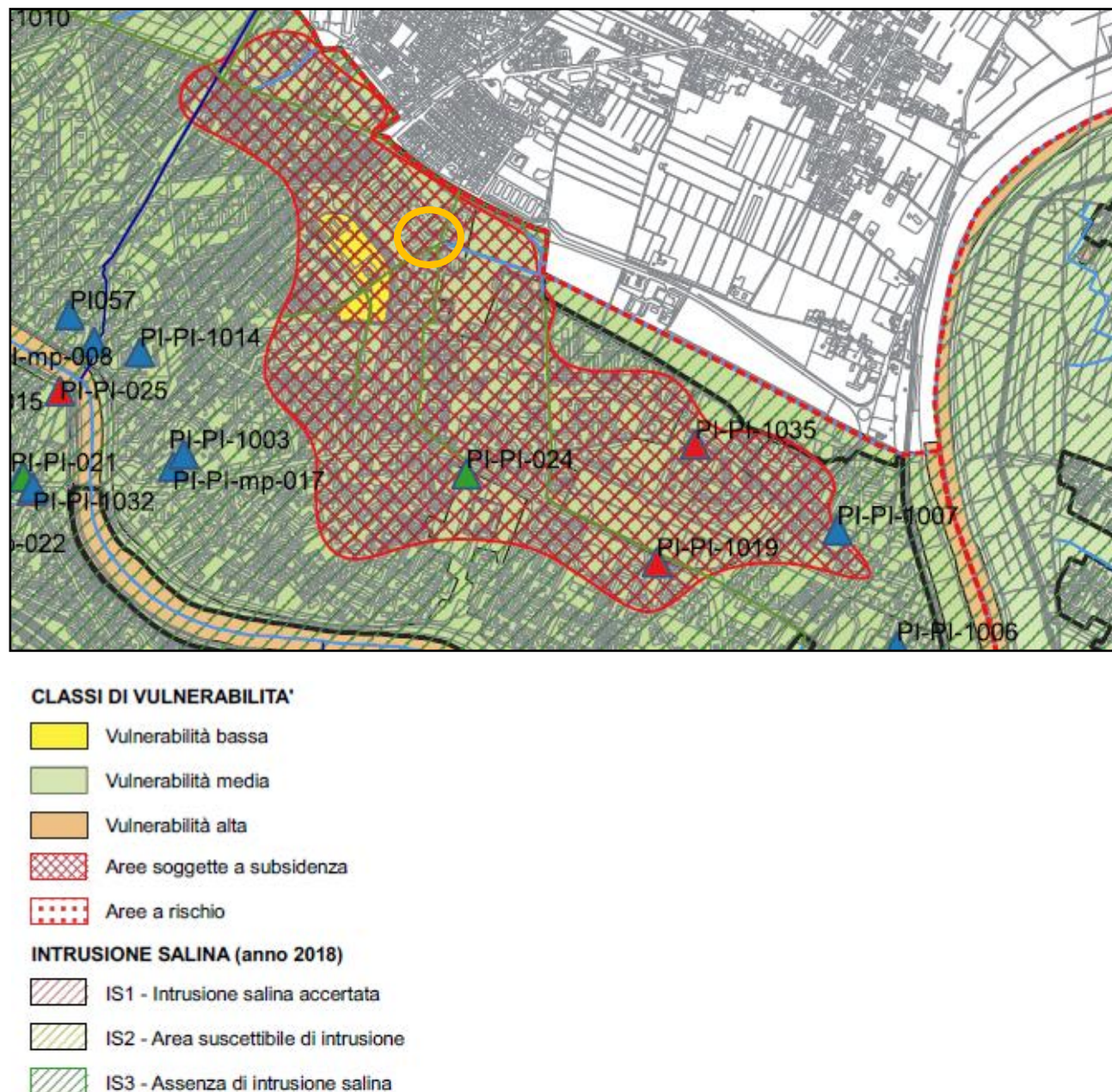


Fig. 12 - carta della Vulnerabilità da Piano Strutturale

La carta della vulnerabilità di P.S. identifica l'area come caratterizzata da "vulnerabilità media"; il retinato indica l'area come soggetta a subsidenza (3 mm/anno)

BANCA DATI DEI SITI INTERESSATI DA PROCEDIMENTI DI BONIFICA (ARPAT)



RETICOLO IDROGRAFICO DCR 20/2019

- SI
- NO (ALTRO RETICOLO)
- TOMBATO

CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA
TAV. QG.10



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA



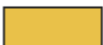

-  G1 - Pericolosità geologica bassa
-  G2 - Pericolosità geologica media
-  G3 - Pericolosità geologica elevata
-  G4 - Pericolosità geologica molto elevata

Fig. 13 - carta della pericolosità geologica da piano Strutturale

La carta della Pericolosità geologica di P.S. classifica l'area in pericolosità geologica elevata "G3"; tale valutazione deriva dalla prossimità degli orizzonti superficiali al tetto delle argille compressibili.

3.2 Le problematiche idrauliche (con particolare riferimento ad opere sotto il piano di campagna)

3.2.1 Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale

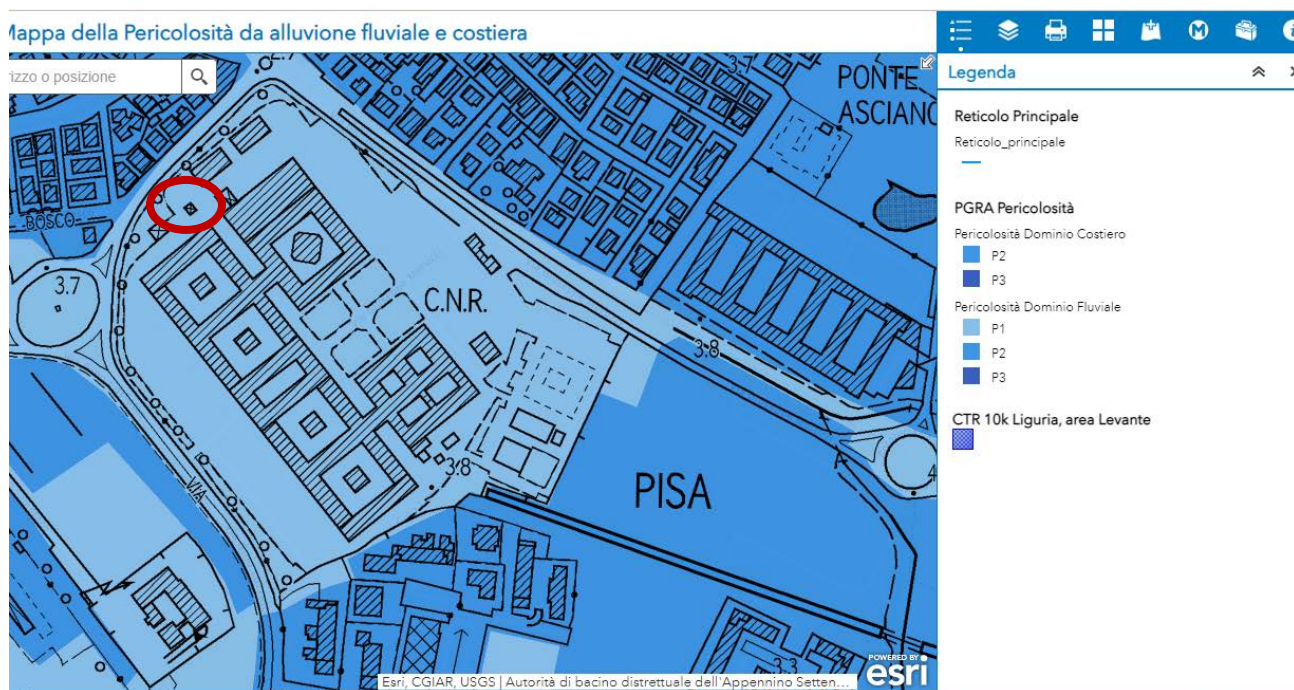


Fig. 14 - Carta della pericolosità idraulica da Distretto Appennino Settentrionale

La cartografia del PGRA del Distretto Appennino Settentrionale classifica l'area in Pericolosità idraulica "P1 - bassa, aree inondabili con tempi di ritorno maggiori di 200 anni e minori o uguali a 500 anni".

3.2.2 Le problematiche idrauliche nel Piano Strutturale Intercomunale

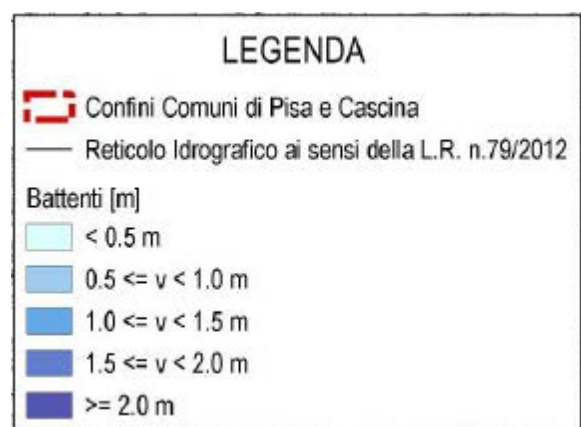
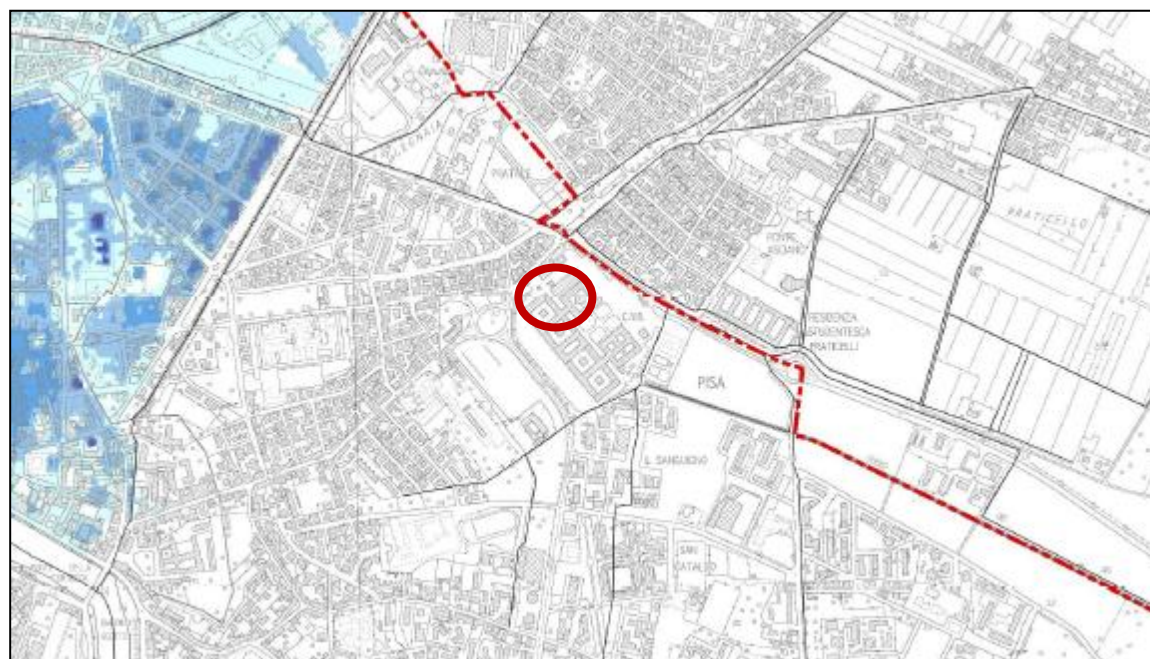
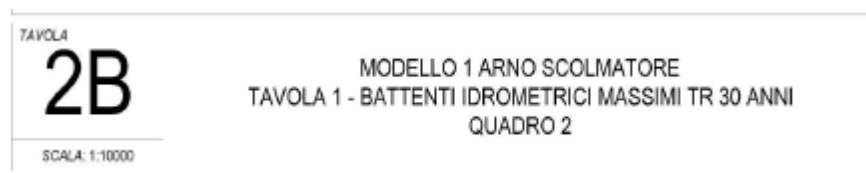


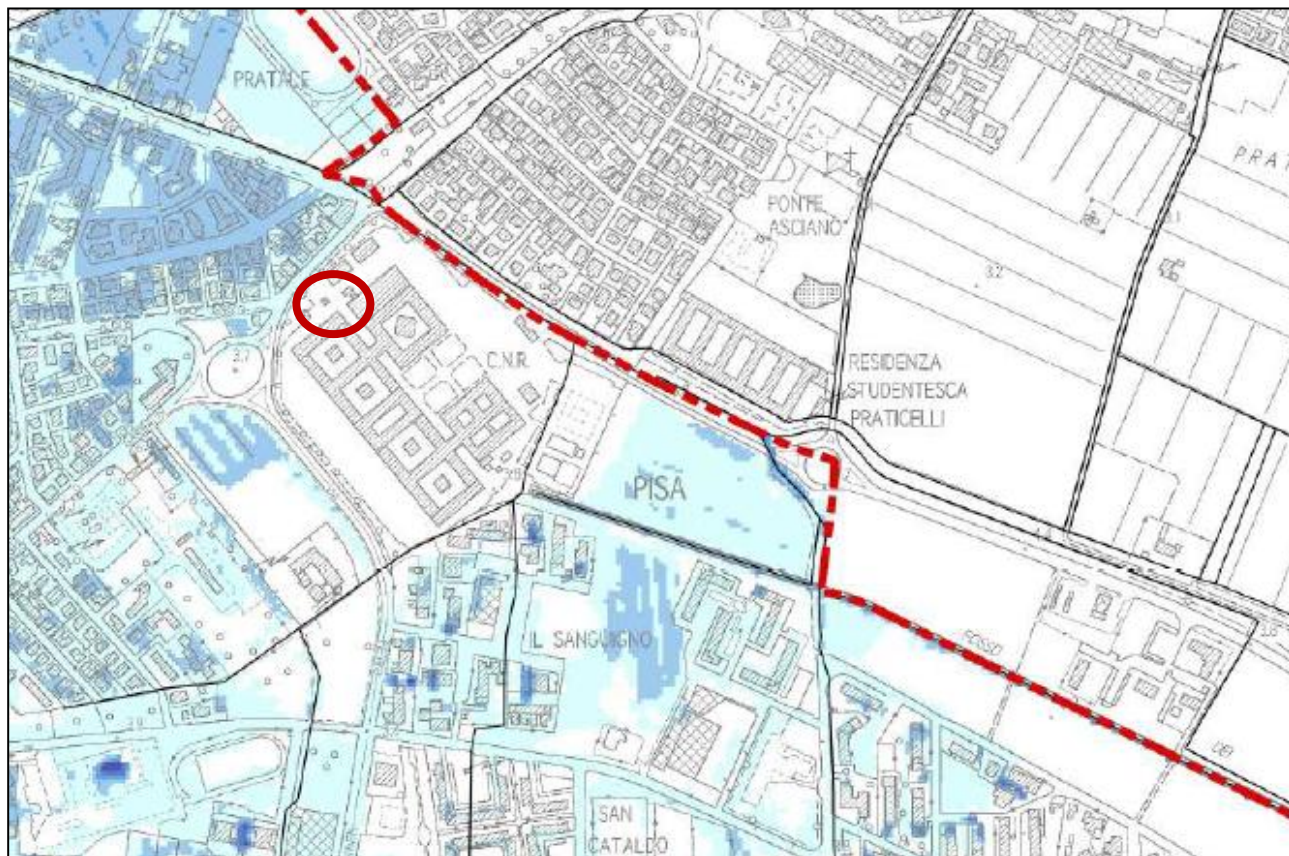
Fig. 15 - Carta dei battenti per $Tr=30$ anni, da Piano Strutturale

TAVOLA

2G

SCALA: 1:10000

MODELLO 1 ARNO SCOLMATORE
TAVOLA 2 - BATTENTI IDROMETRICI MASSIMI TR 200 ANNI
QUADRO 2



LEGENDA

- Confini Comuni di Pisa e Cascina
- Reticolo Idrografico ai sensi della L.R. n.79/2012

Battenti [m]

- < 0.5 m
- $0.5 \leq v < 1.0$ m
- $1.0 \leq v < 1.5$ m
- $1.5 \leq v < 2.0$ m
- ≥ 2.0 m

Fig. 16 - carta dei battenti per $Tr = 200$ anni, da Piano Strutturale

Il Piano Strutturale intercomunale Pisa - Cascina è supportato dagli studi idraulici eseguiti da "Hydrogeo ingeneria " di FI; i modelli idraulici elaborati che possono interessare l'area di nostro interesse sono:

modello 1 - Arno - Scolmatore;

Modello 3 - Fiume Morto

I modelli prendono in esame episodi alluvionali con tempi di ritorno rispettivamente di 30 e 200 anni.

Coerentemente con la cartografia del Distretto Appennino Settentrionale tutti i modelli elaborati indicano assenza di battute idraulico.

L'area 'indagine appare quindi in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno sino a 200 anni e non si segnalano problematiche idrauliche di rilievo.

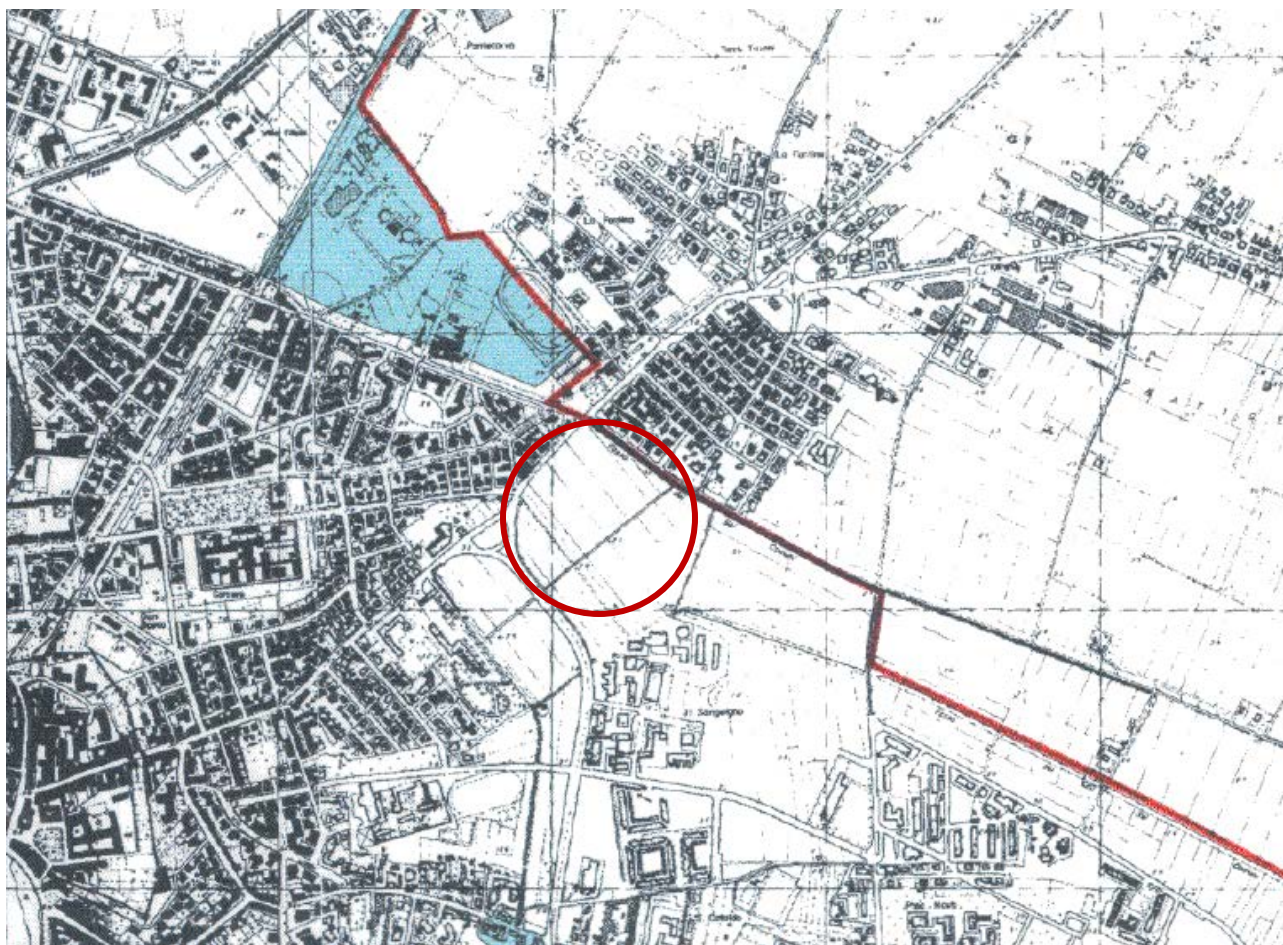


Fig. 16 - carta delle aree allagate, da repertorio cartografico Comune di Pisa

Come evidenziato nell'immagine (fig. 16) la zona, attualmente sede dell'area di ricerca del CNR, non appare interessata da episodi di allagamento.

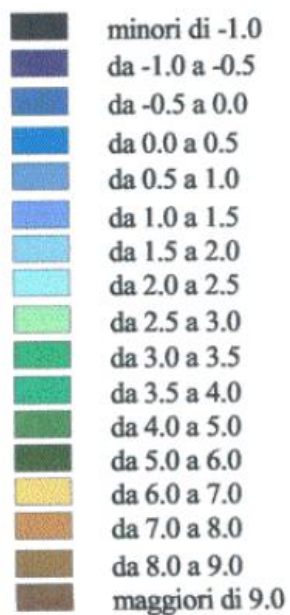


Fig. 17 - Altimetria, da repertorio cartografico Comune di Pisa

L'area, prima della realizzazione dell'area di ricerca, mostrava quote medie comprese tra 2,5 e 3 m slm., con una modesta area interna tra compresa tra 2 e 2,5 m slm. Tale assetto è stato tuttavia modificato con l'urbanizzazione dell'area, portando le quote del sito agli attuali 3,2 m slm.

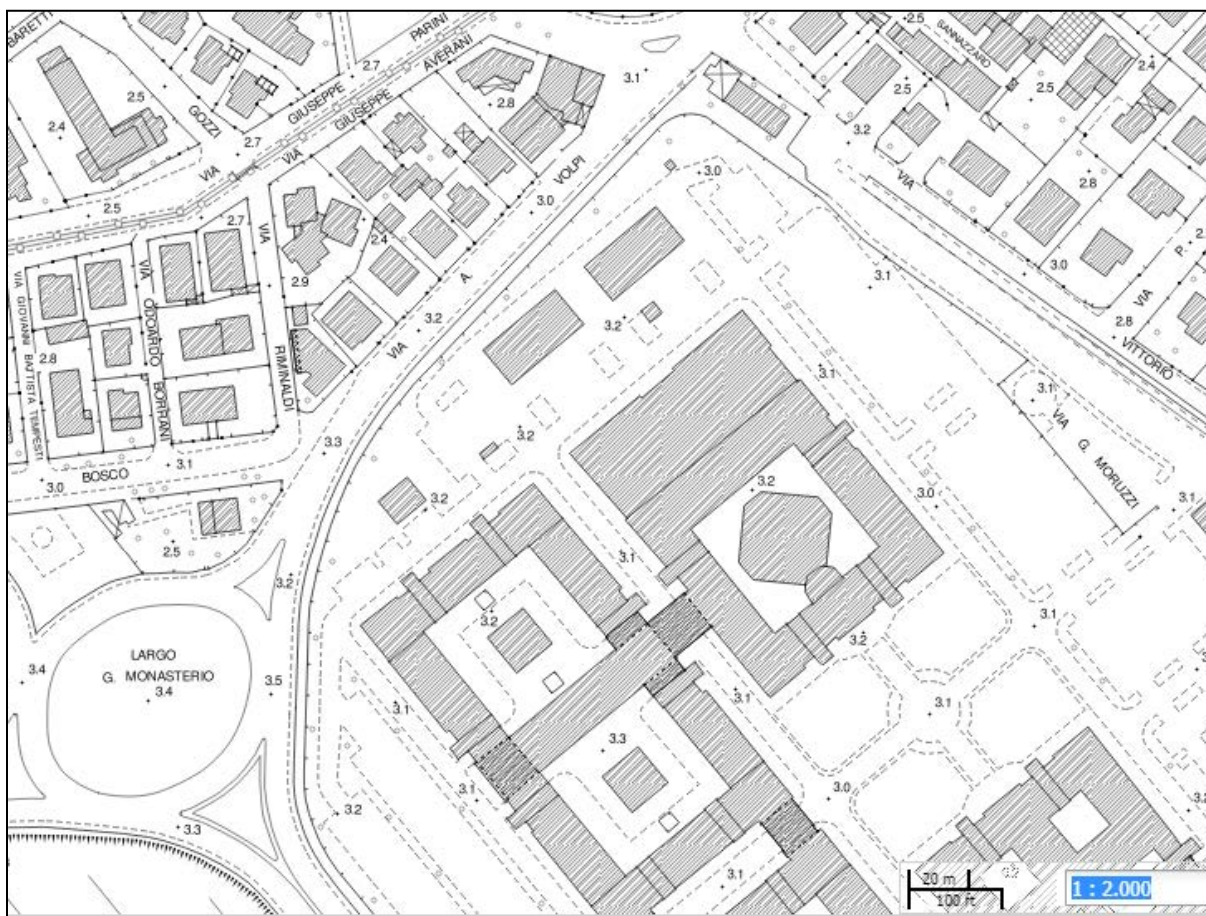


Fig. 18 - quote slm da cartografia tecnica regionale (scala originale 1:2000)

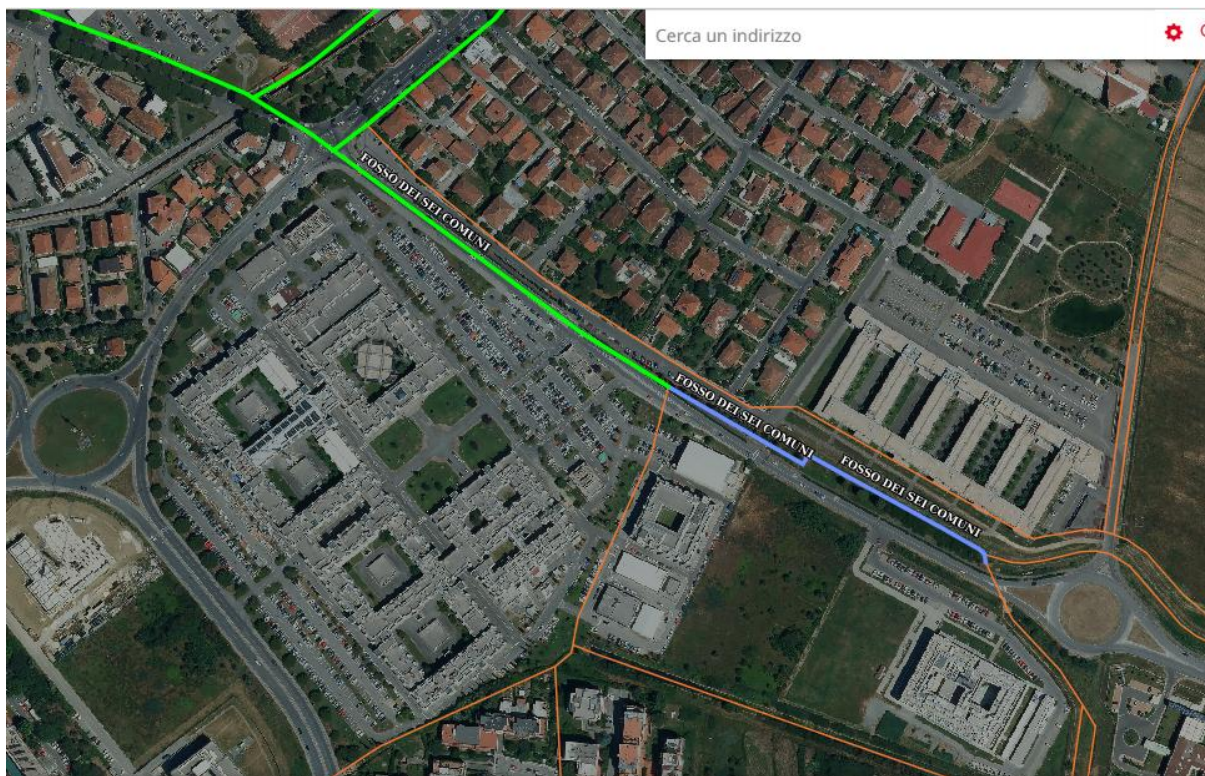


Fig. 19 - reticolo idrografico superficiale, cartografia Regione Toscana

Come illustrato in figura 19, il lato Nord dell'area di ricerca è fiancheggiato dal Fosso dei sei comuni che, tuttavia risulta tombato per l'intero tratto corrispondente all'area CNR.

Le condizioni sopra espone (cartografie relative ai battenti idrometrici) evidenziano che l'area risulta in sicurezza relativamente ad episodi alluvionali del Fiume Morto e del Fiume Arno sia per eventi trentennali che duecentennali; Il reticolo idrografico minore è rappresentato dal Fosso dei sei comuni che, essendo tombato per tutto il percorso limitrofo all'area di ricerca, non presenta pericolo di esondazione.

Il sito di ubicazione del manufatto sotterraneo(bunker) non risulta quindi soggetto a pericoli di allagamento.

Le aperture di accesso saranno a tenuta stagna.

4 - INDAGINI IN SITO E MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO

Le indagini in sito sono costituite da n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (riquadri in rosso), da n. 5 prove penetrometriche statiche (riquadrate in verde) e da una indagine sismica MASW (linea rossa).

Le indagini sono state eseguite durante i lavori di realizzazione dell'area di ricerca CNR (1991) e sottoposte a riesame dallo studio GEOSINTESI di Poggio a Caiano (2010) ; In corrispondenza del sondaggio S1 sono stati prelevati n. 5 campioni indisturbati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni (risultati in fig. 10). La prospezione MASW è stata eseguita direttamente sul sito d'indagine in occasione del presente progetto (2022) da "Lpgeognostica" di chiesina Uzzanese (PT).

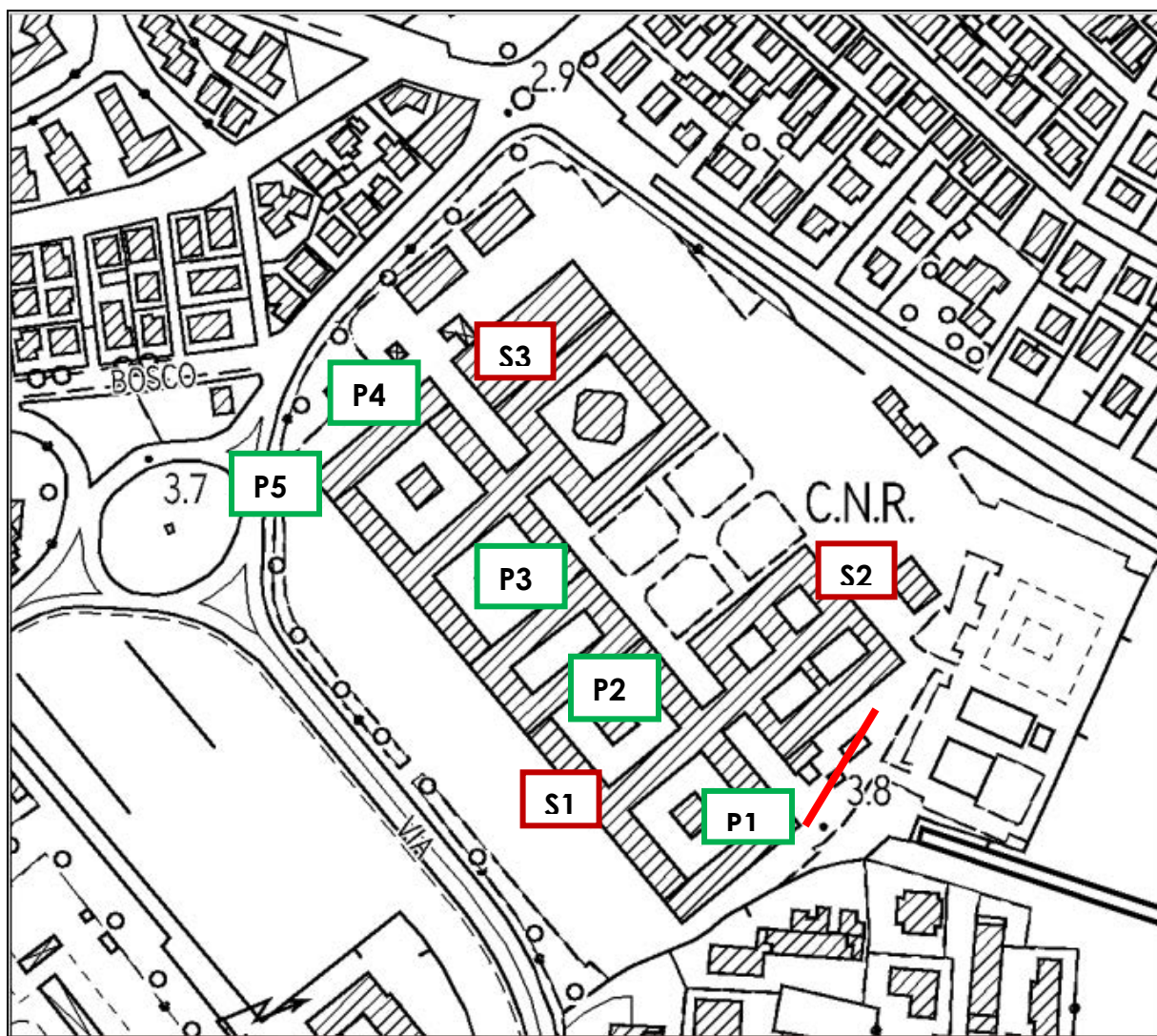


Fig. 20 - Ubicazione delle indagini: Riquadro rosso: sondaggi, riquadro verde: CPT, linea rossa :MASW

SO.RI.GE. CASTIGLIONE DE' BARATTI PARMA TEL. 0521-842240				COMMITTENTE : Gasbogi Costruzioni S.p.A. LOCALITÀ : Pisa CANTIERE : La Fontina				SONDAGGIO N. 2					
PROFONDITÀ (m)		Campione		Colonna stratigrafica		DESCRIZIONE DEI TERRACCI		Profondità (m)	Corro. %	SPT N	P.P. kg/cm²	V.T. kg/cm²	NOTE E OSSERVAZIONI
Progressiva	Parola	1	2	3									
1	0.80 0.80				Terreno vegetale.		1				1.6		
2	1.60 0.80				Argilla limosa bruna:		2				1.5		
3					Limo argilloso con piccoli noduli calcarei.		3				2.6		
4	4.40 2.50						4				0.9		
5	4.80 0.70				Argilla limosa grigia.		5				0.8		
6							6				1.1		
7							7				0.8		
8					Limo argilloso grigio con tracce di sostanze organiche e piccole lenti sabbiose tra m 9.00 e 9.50 .		8				1.0		
9							9				0.9		
10							10				1.0		
11							11				0.8		
12							12				0.6		
13							13				0.5		
14							14				0.5		
15							15				0.3		
16							16				0.5		
17							17				0.4		
18					18				0.3				
19					19				0.5				
20					20				0.7				
21					21				0.4				
22					22				0.8				
23					23								
24					24								
25					25								
26					26								
27					27								
28					28								
29					29								
30					30								

**CONSULENZE
GEOLOGICHE
GEOTECNICHE**
 Il Direttore Tecnico
 (D. Franco Ori)

LEGENDA			
1 : Campione indisturbato 2 : Campione semidisturbato 3 : Campione disturbato S.P.T. : Standard Penetration Test P.P. : Pocket Penetrometer V.T. : Vane Test	Tipo di sondaggio <input type="checkbox"/> Aste elicoidali <input type="checkbox"/> Aste elicoidali cave <input checked="" type="checkbox"/> Carotaggio continuo <input type="checkbox"/> Percussione	Tipo di attrezzatura Diametro rivestimento : 437 mm Diametro campioni 1 : 104 mm Diametro campioni 2 : 76 mm Diametro campioni 3 : 504 mm	Quota iniziale : p.c. m. Livello statico della falda : / m. DATA : Aprile 1990

C.G.G. s.r.l.

Prova n° 1

Committente : CO. RI. PI.

Localita' : S. CATALDO (PISA)

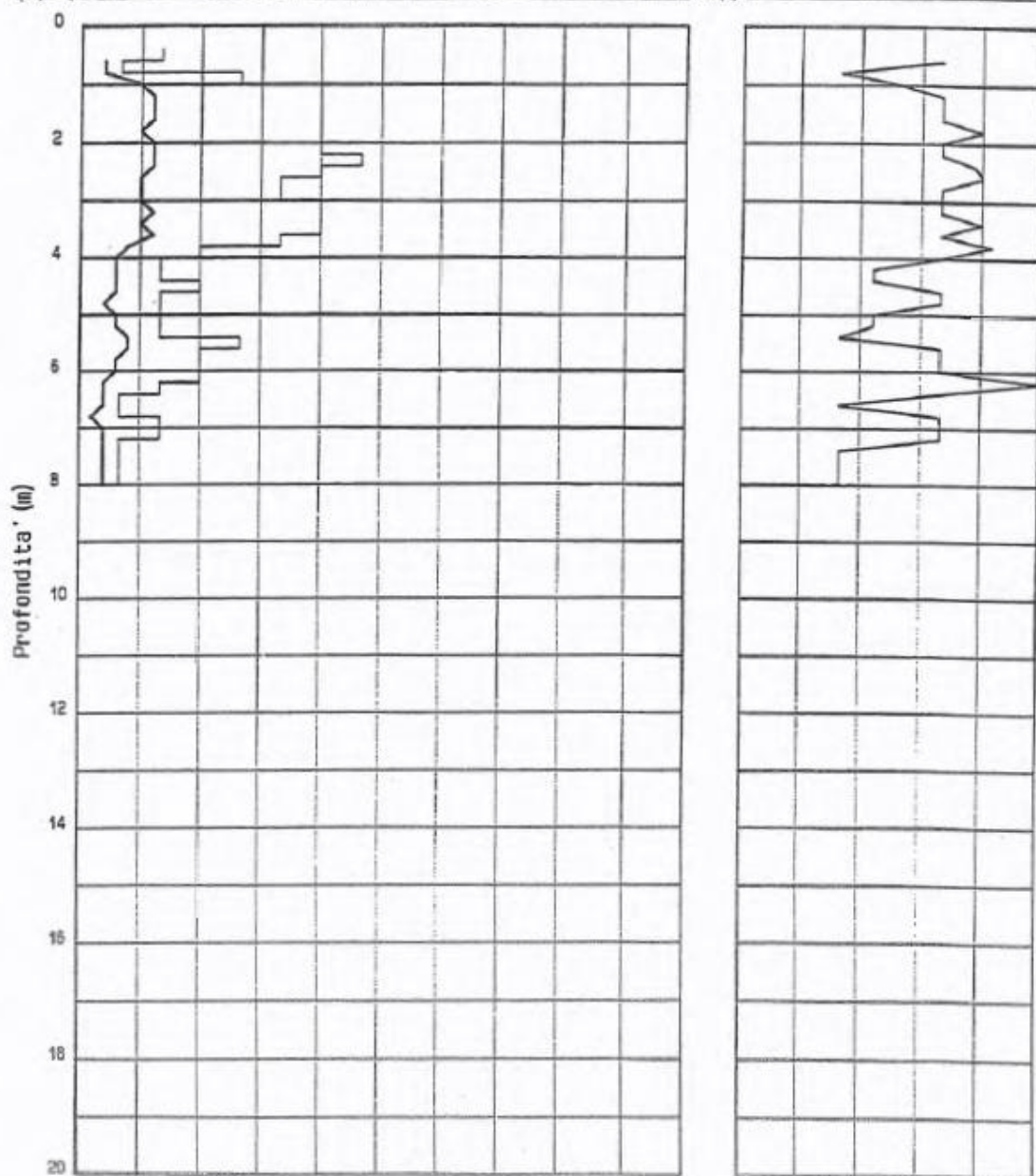
Cantiere : Area C.N.R.

Data : 21 - 03 - 1991

PROVA PENETROMETRICA STATICA

fs (MPa) 0 .02 .04 .06 .08 .1 .12 .14 .16 .18 .2

qc (MPa) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 FR (%) 0 2 4 6 8 10

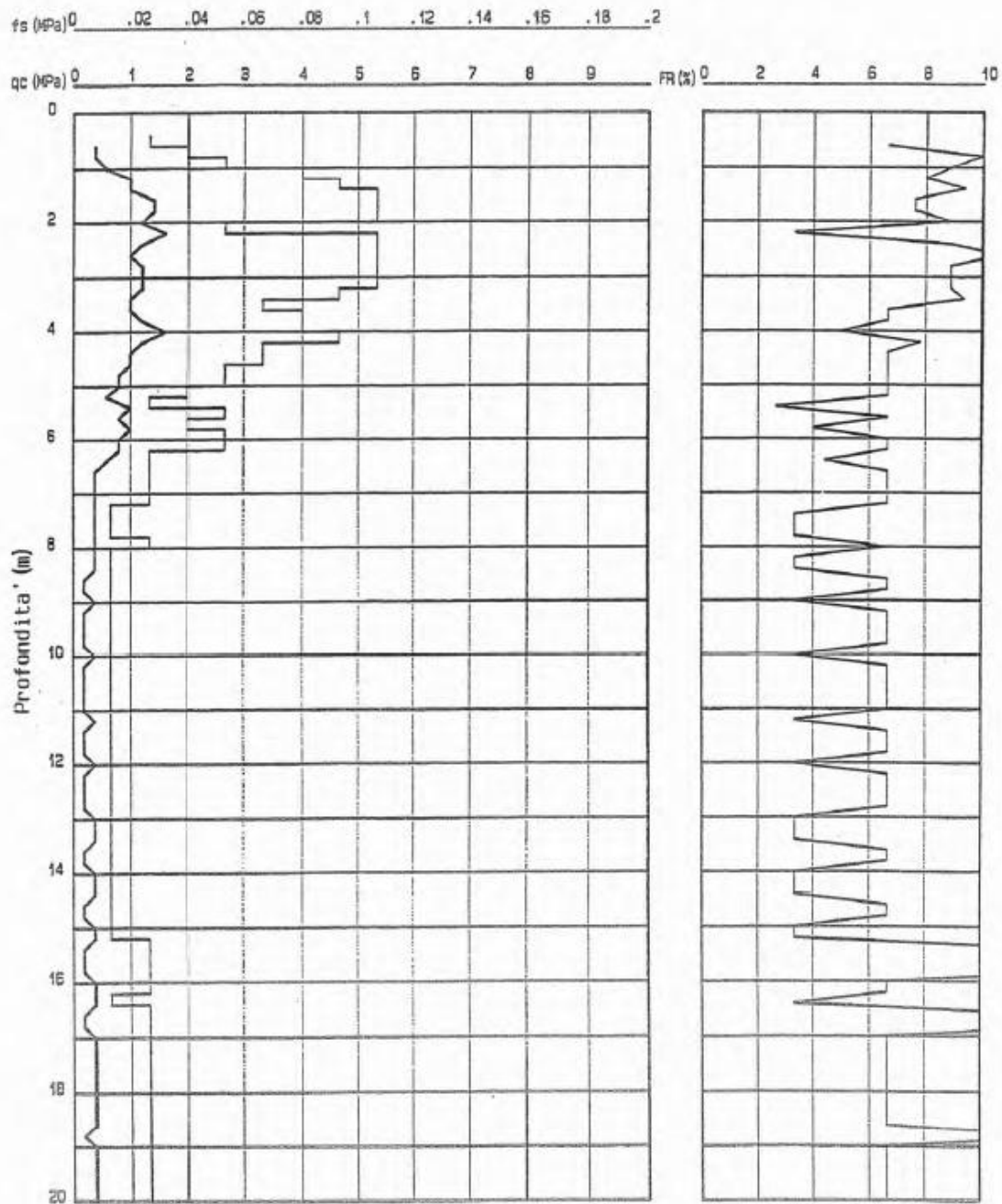


C.G.G. s.r.l.

Prova n' 2

Committente : CO. RI. PI.
Localita' : S. CATALDO (PISA)
Cantiere : Area C.N.R.
Data : 21 - 03 - 1991

PROVA PENETROMETRICA STATICA



C.G.G. s.r.l.

Prova n' 3

Committente : CO. RI. PI.

Localita' : S. CATALDO (PISA)

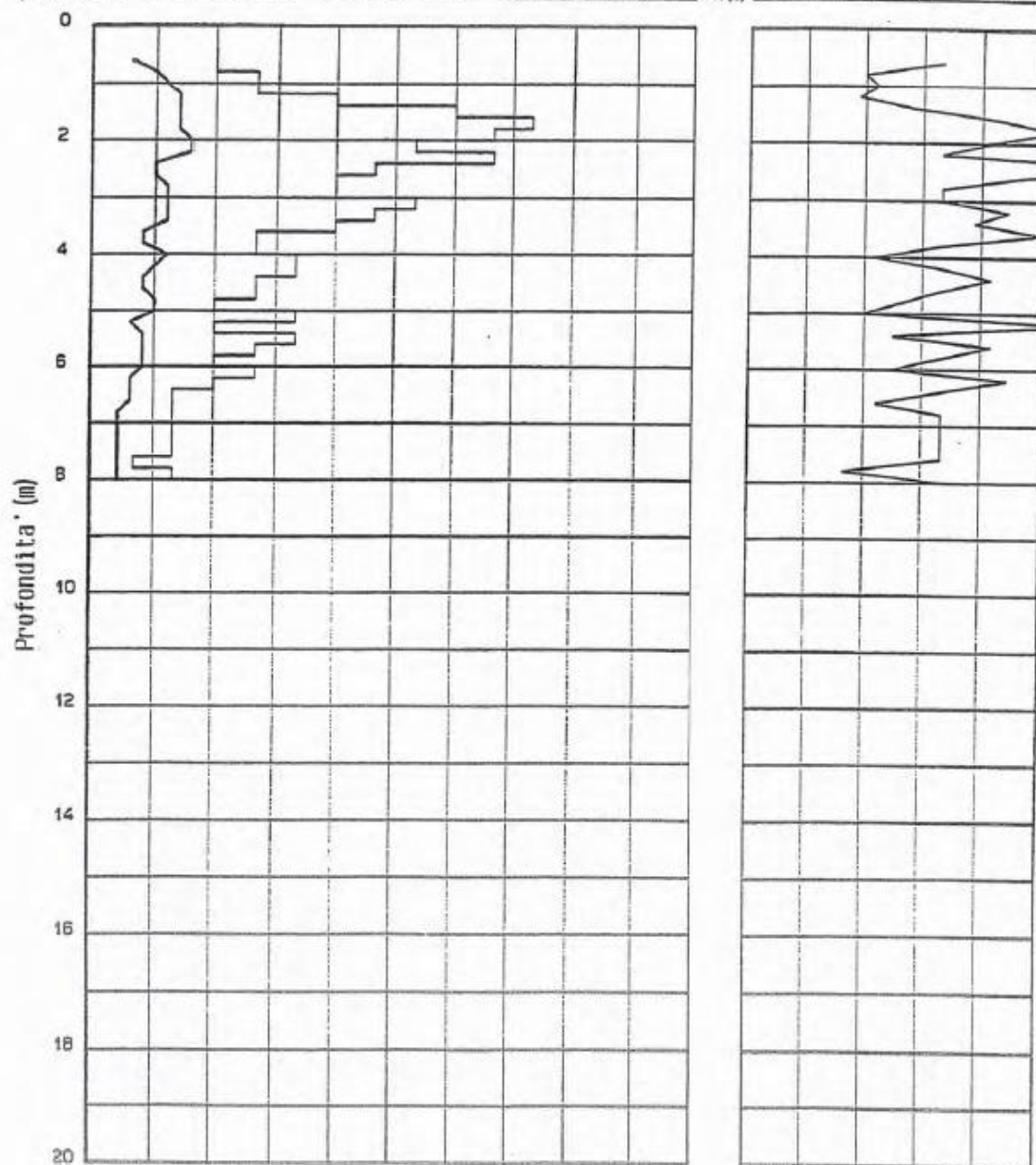
Cantiere : Area C.N.R.

Data : 21 - 03 - 1991

PROVA PENETROMETRICA STATICA

fs (MPa) 0 .02 .04 .06 .08 .1 .12 .14 .16 .18 .2

qc (MPa) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 FR (%) 0 2 4 6 8 10

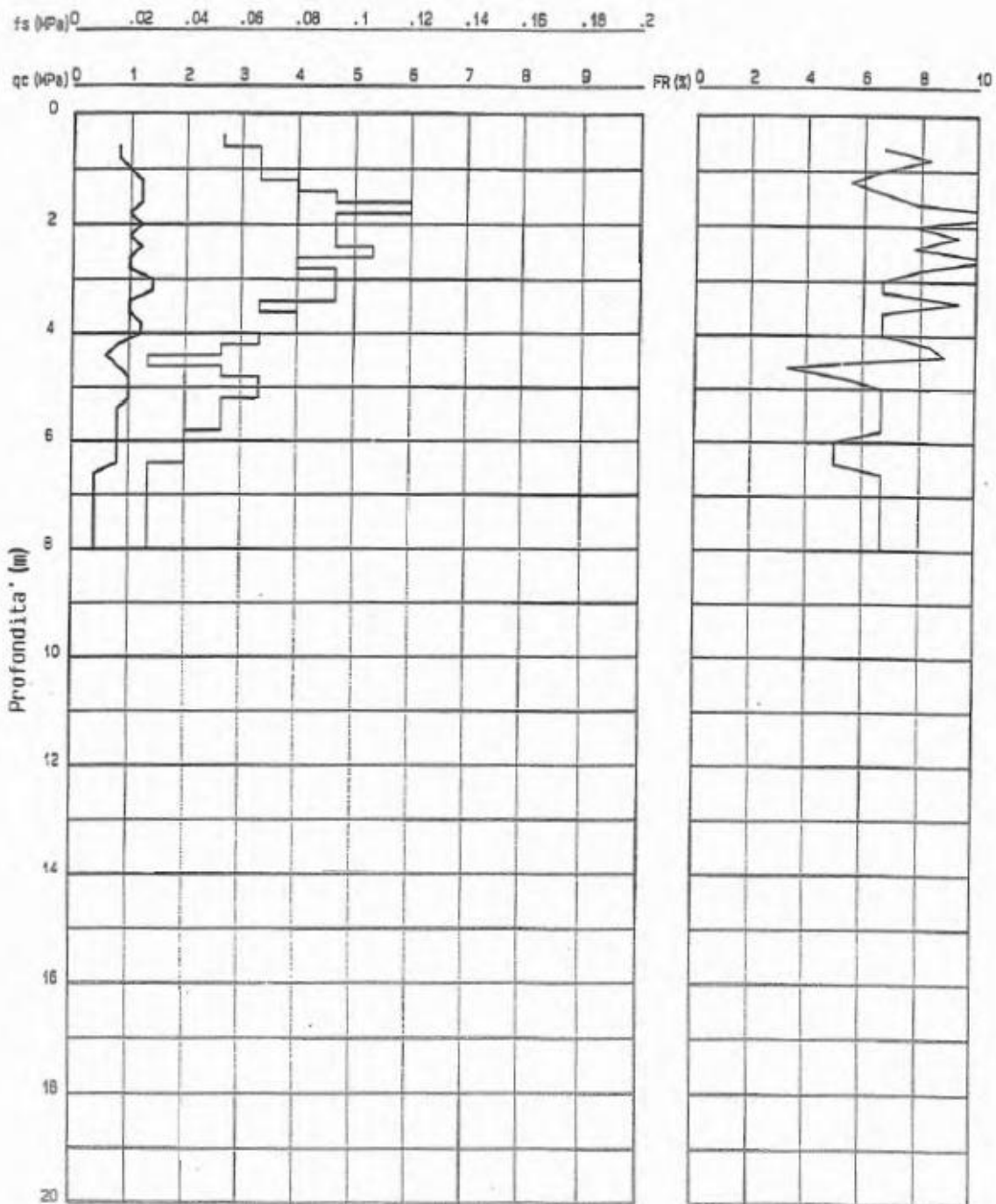


C.G.G. s.r.l.

Prova n' 4

Committente : CO. RI. PI.
Localita' : S. CATALDO (PISA)
Cantiere : Area C.N.R.
Data : 21 - 03 - 1991

PROVA PENETROMETRICA STATICA

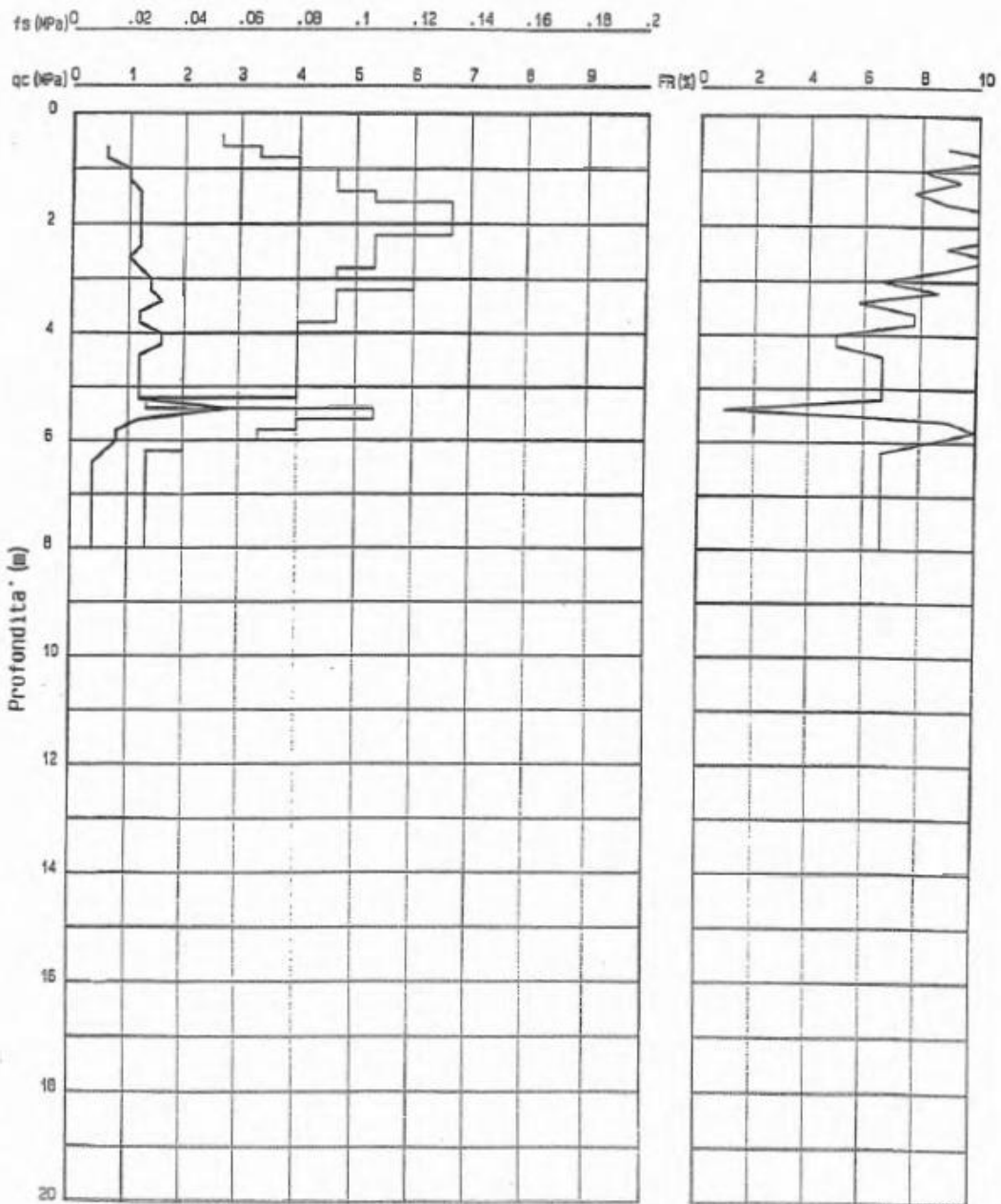


C.G.G. s.r.l.

Prova n° 5

Committente : CO. RI. PI.
Localita' : S. CATALDO (PISA)
Cantiere : Area C.N.R.
Data : 21 - 03 - 1991

PROVA PENETROMETRICA STATICA



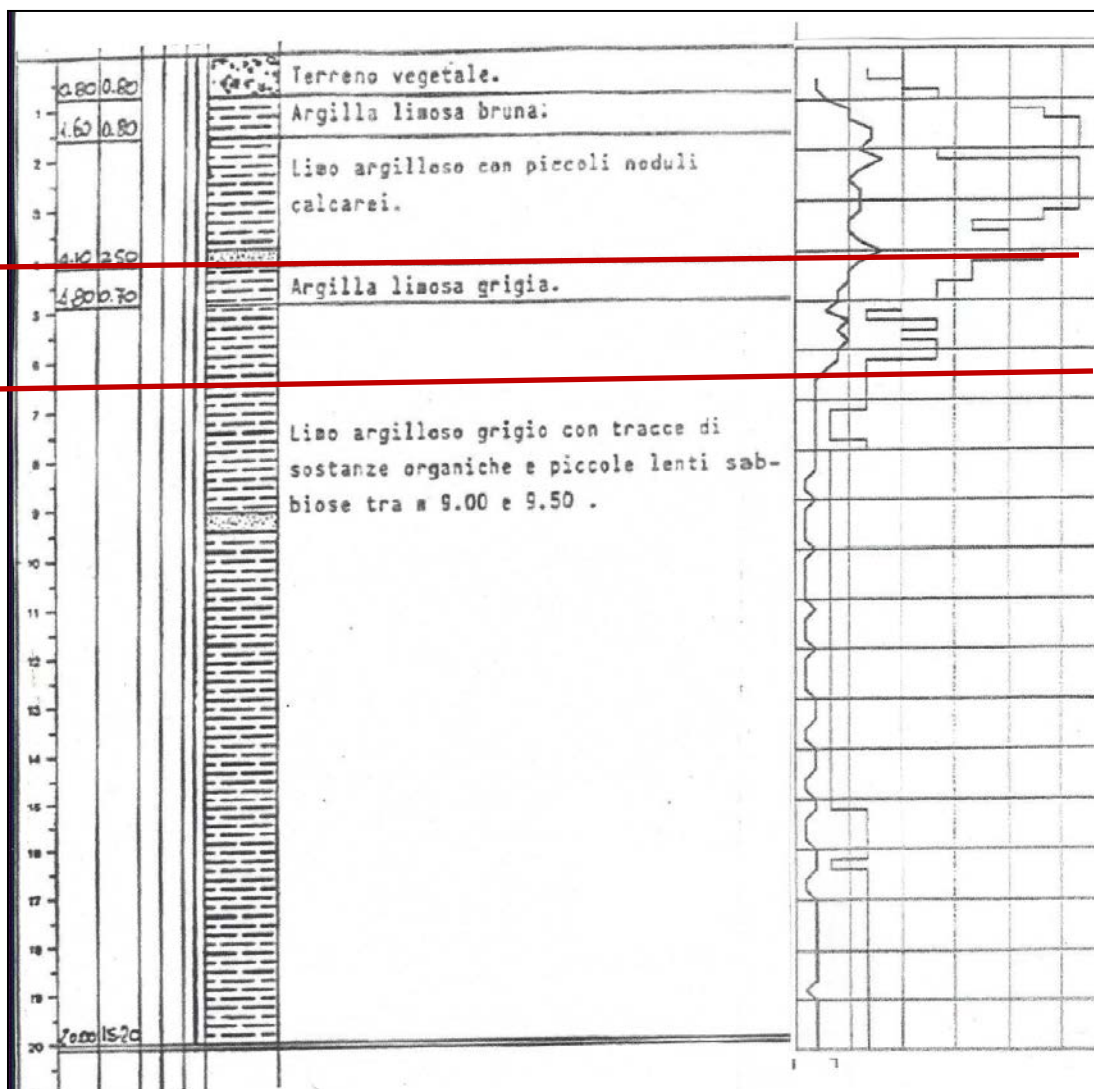


Fig. 21 - Confronto stratigrafia Sondaggio 2 - CPT n. 2

TABELLA 1										
S	C	Profondità	W	γ	Wl	IP	USCS	cu	Ed	
n°	n°	m	(%)	(t/m³)	(%)	(-)	(-)	(Kg/cm²)	(Kg/cm²)	
1	1	5.00- 5.50	35	1.94	53	29	CH	0.39	77	
1	2	10.40-11.10	69	1.60	55	30	CH	0.06	16	
1	3	16.00-16.50	61	1.62	56	34	CH	0.10	20	
1	4	20.40-20.90	64	1.58	71	45	CH	0.12	17	
1	5	26.00-26.60	23	2.05	43	25	CL	0.12	75	

Fig. 22 - Tabelle riassuntiva delle prove di laboratorio

Sulla base delle indagini eseguite (e delle prove su campioni di laboratorio) è possibile schematizzare il sottosuolo (al di sotto di circa 1 m di riporto):

- 0,5 m - 4,50 m : Limi argillosi e argille limose, sovraconsolidati, con q_c da 1 a 1,5 KPa.
- 4,50 m - 6,50 m: limi argillosi grigio-azzurri a consistenza decrescente.
- 6,50 m - 20,00 m: terreni prevalentemente argillosi, grigio, grigio nerastri, con fossili. Consistenza molle.

strato	prof. da p.c.	E <small>modulo di compressib. edometrica</small>	γ <small>peso di volume</small>	γ' <small>peso di volume efficace</small>	ϕ <small>angolo di attrito interno efficace</small>	c_u <small>coesione non drenata</small>	litotipo
	m	Kg/cm ²	kN/m ³	kN/m ³	°	kPa	
0	0.4/0.5	-	-	-	-	-	Suolo superficiale
1	1.5/2.0	38	18.7	18.7	-	40	Argille e limi di media consistenza
1	4.0/4.5	38	18.7	8.7	-	40	
2	6.5	29	18.5	8.5	-	35	Limi e limi argillosi di bassa consistenza
3	>10.0	18	16.0	6.0	-	10	Argille plastiche con bassissima consistenza

Fig. 23 - Tabelle riassuntiva delle caratteristiche geotecniche principali

5 - MODELLAZIONE SISMICA

5.1 Classificazione sismica

La **classificazione sismica** del territorio nazionale ha introdotto **normative tecniche** specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la **zona sismica** per il territorio di Pisa, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 421 del 26 maggio 2014.

Zona sismica 3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
---------------------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima** (**ag**) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$ag > 0,25 \text{ g}$	0,35 g
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$ag \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g



DELIBERA GRT n. 421 del 26/05/2014

Aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006" e cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (DGRT 841/2007)

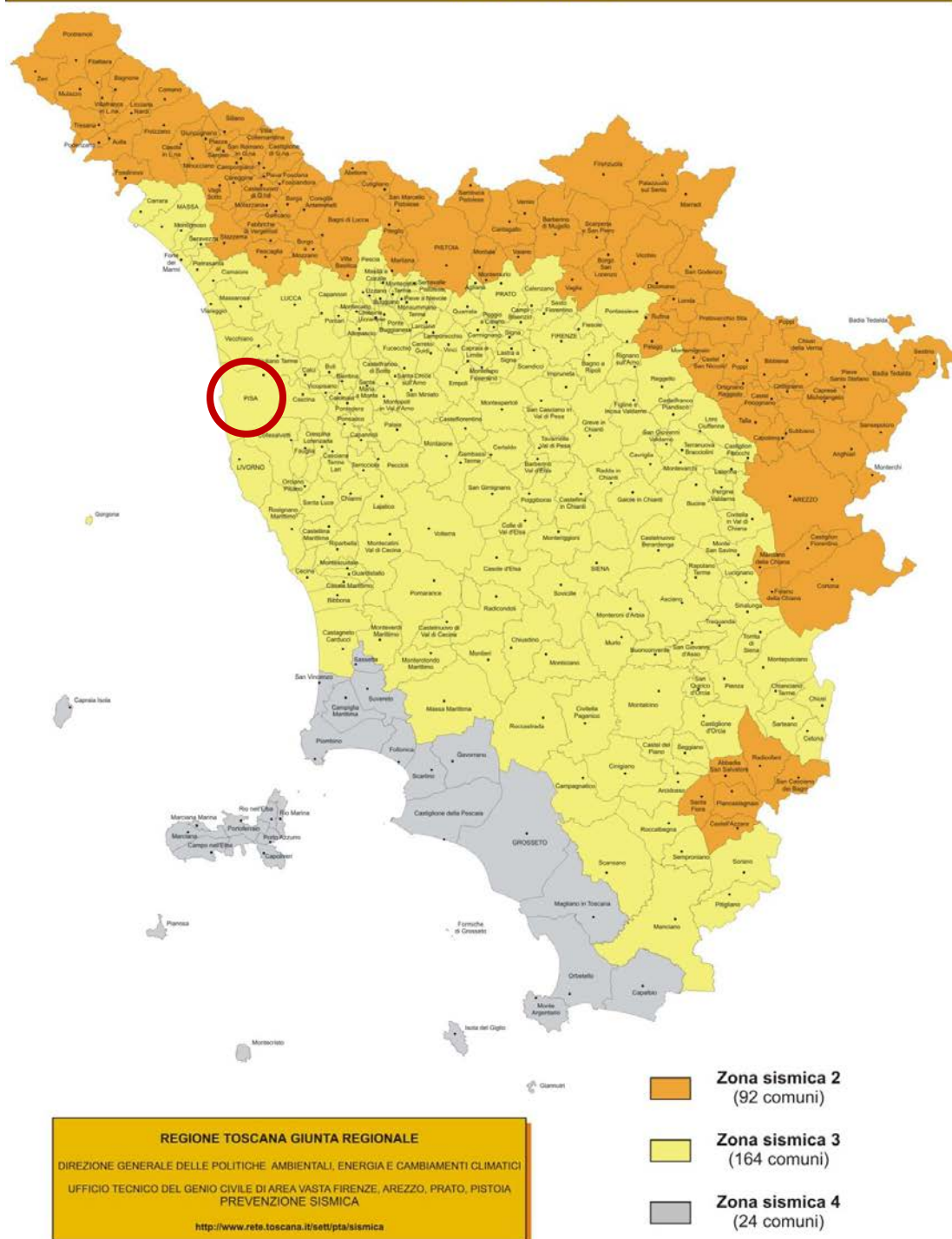


Fig. 24 - Classificazione sismica della Toscana



Regione Toscana

RISCHIO SISMICO



Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile).
I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)

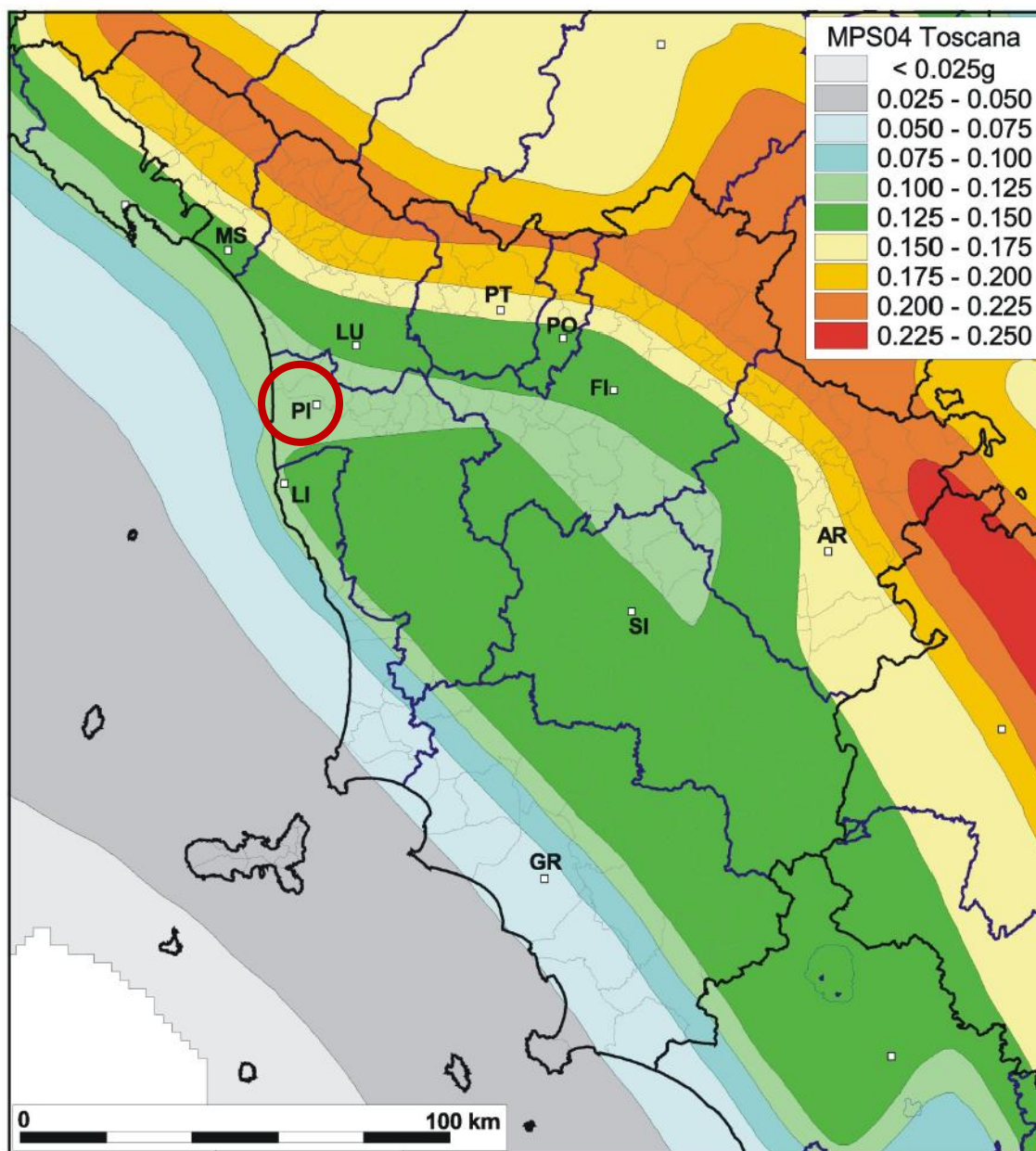
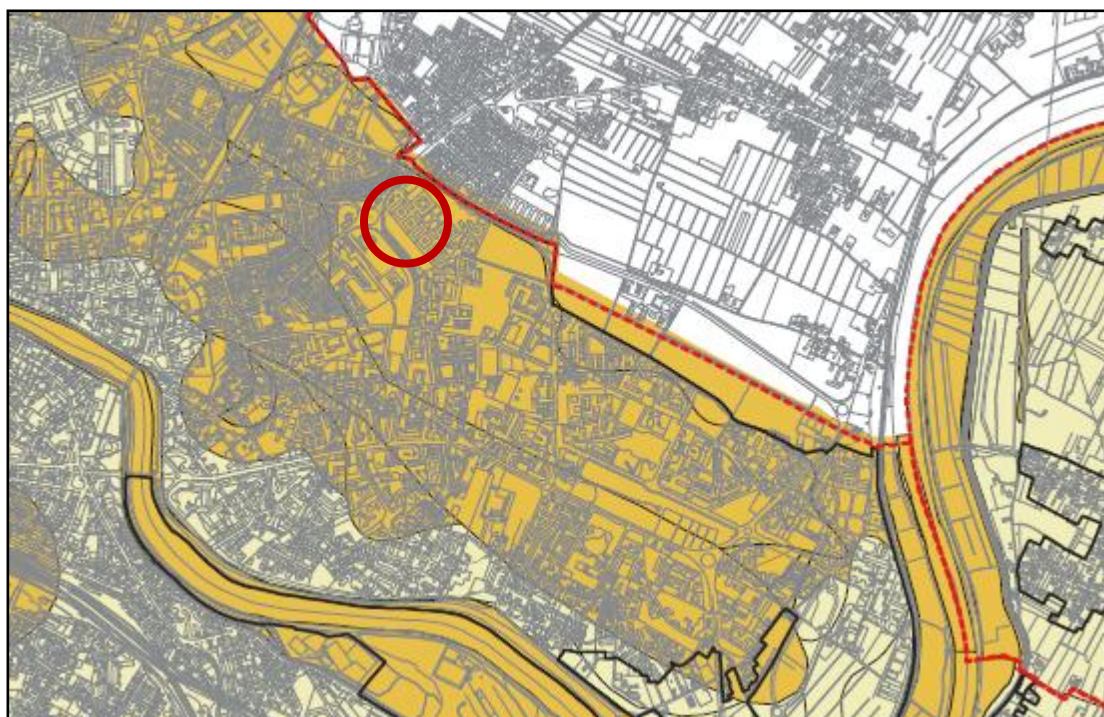


Fig. 25 - Mappa della pericolosità sismica della Toscana

5.2 Le problematiche sismiche nel Piano Strutturale intercomunale

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

TAV. QG.11



CLASSI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE





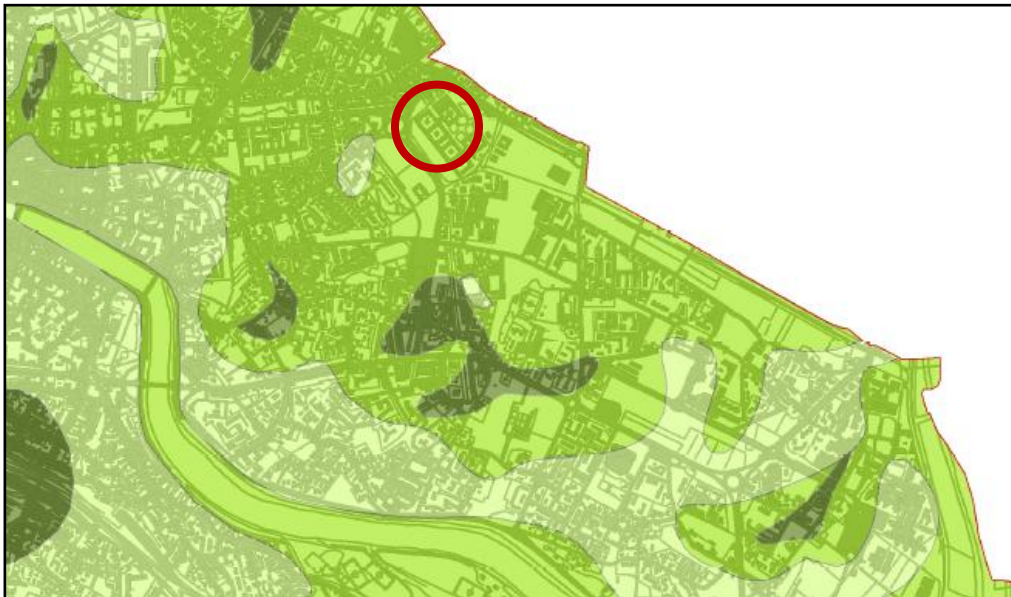
-  S1 - Pericolosità sismica locale bassa
-  S2 - Pericolosità sismica locale media
-  S3 - Pericolosità sismica locale elevata
-  S4 - Pericolosità sismica locale molto elevata

Fig. 26 - pericolosità sismica da Piano Strutturale

Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)



ZONA 1 - ZONA 2 - ZONA 3 - ZONA 4 - ZONA 5 - ZONA 6



Zona 4

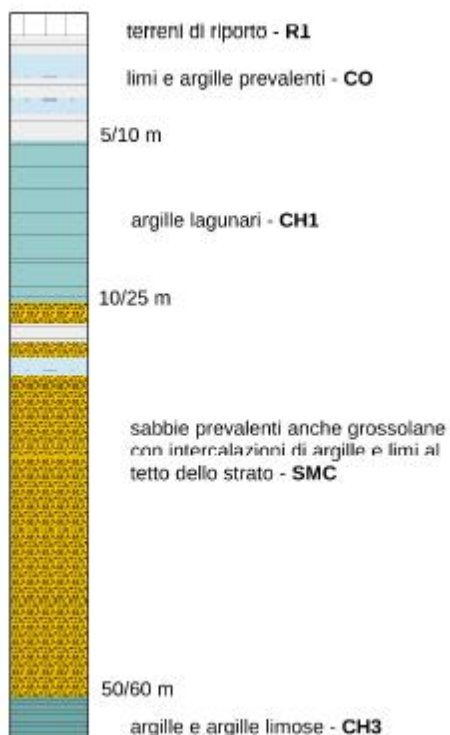
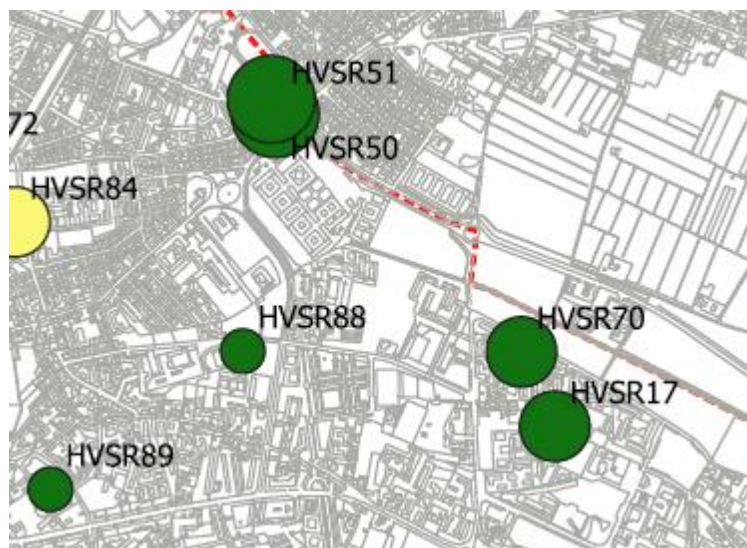


Fig.27 - Carta MOPS da Piano strutturale

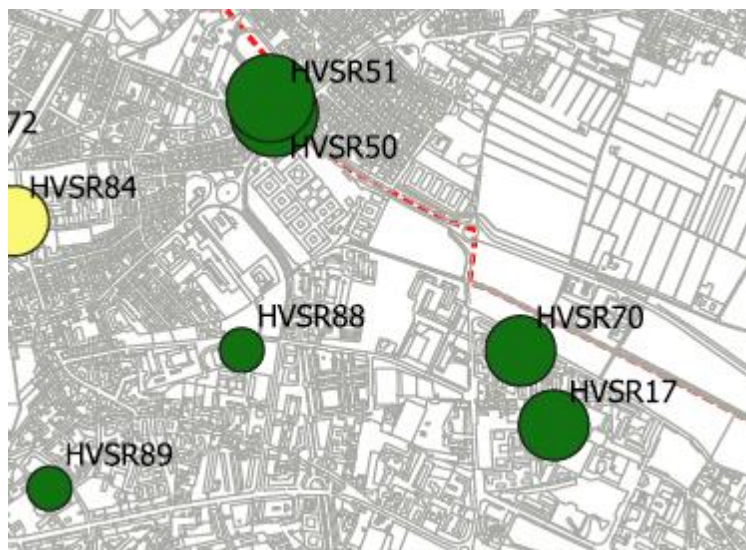
CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

TAV. QG.08



A0 (dimensioni crescenti)	
○	$0.1 \leq A0 < 2.0$
○	$2.0 \leq A0 < 3.0$
○	$3.0 \leq A0 < 5.0$
○	$A0 > 5.0$

Fig. 28 - carta delle frequenze fondamentali di sito, da PS










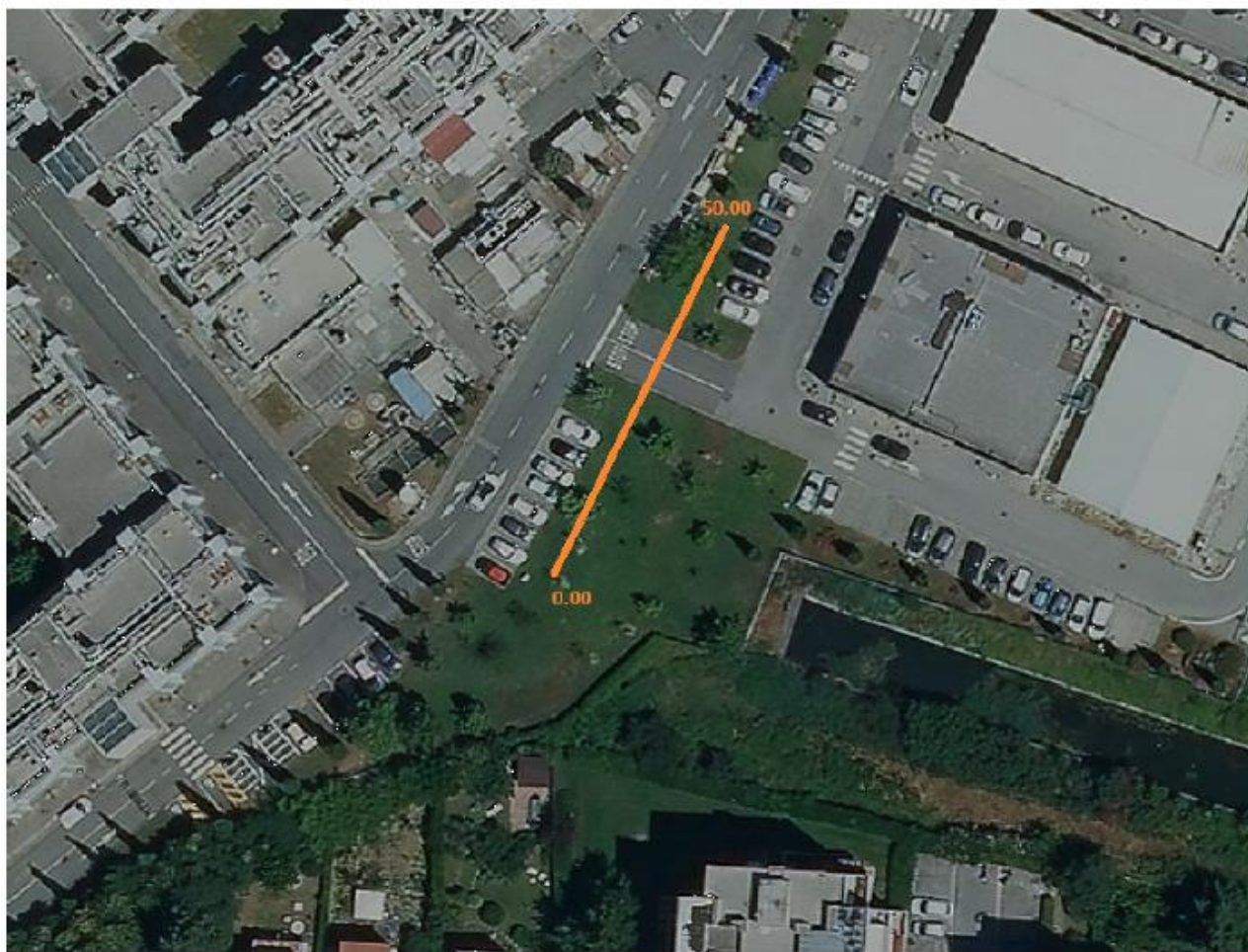
f_0 (Hz) (scala di colori)	
	$0.1 \leq f_0 < 0.5$ (verde scuro)
	$0.5 \leq f_0 < 1.0$ (verde chiaro)
	$1.0 \leq f_0 < 2.5$ (giallo)
	$2.5 \leq f_0 < 5.0$ (arancio)
	$5.0 \leq f_0 < 7.5$ (marrone)
	$7.5 \leq f_0 < 10.0$ (rosso)
	$10 \leq f_0 < 15$ (viola)

Fig. 29 - Frequenza fondamentale dei depositi f_0 , maggiore di 0,1 e minore di 0,5.

5.3 Prospezione sismica MASW

Lpgeognostica

Piazza Libertà 1 - 51013 Chiesina Uzzanese (PT) – tel. e fax 0572411748 – cell. 3483342249
c.f. PCNLDM61E25B251C – P.I. 01116400472 – email landopacini@gmail.com

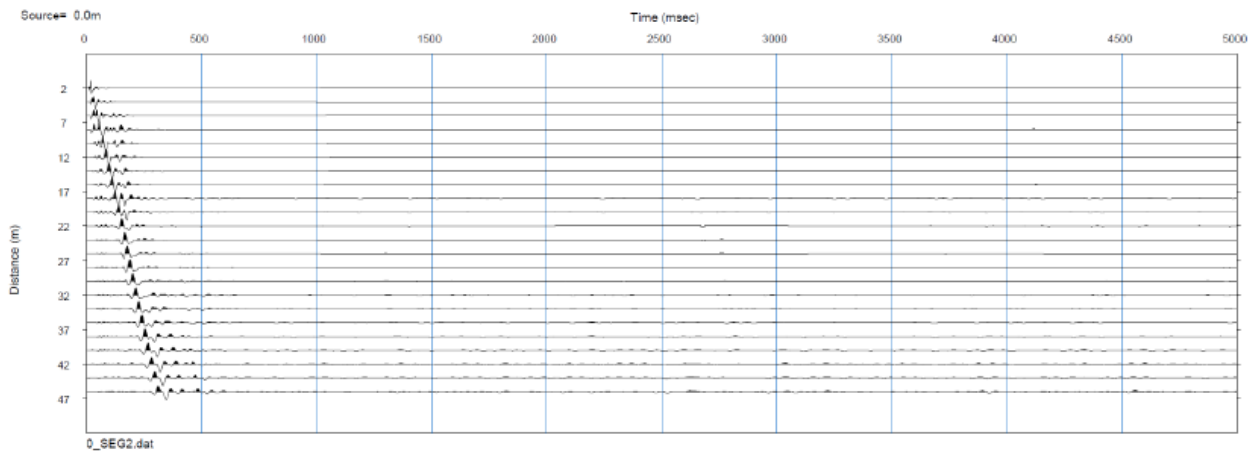


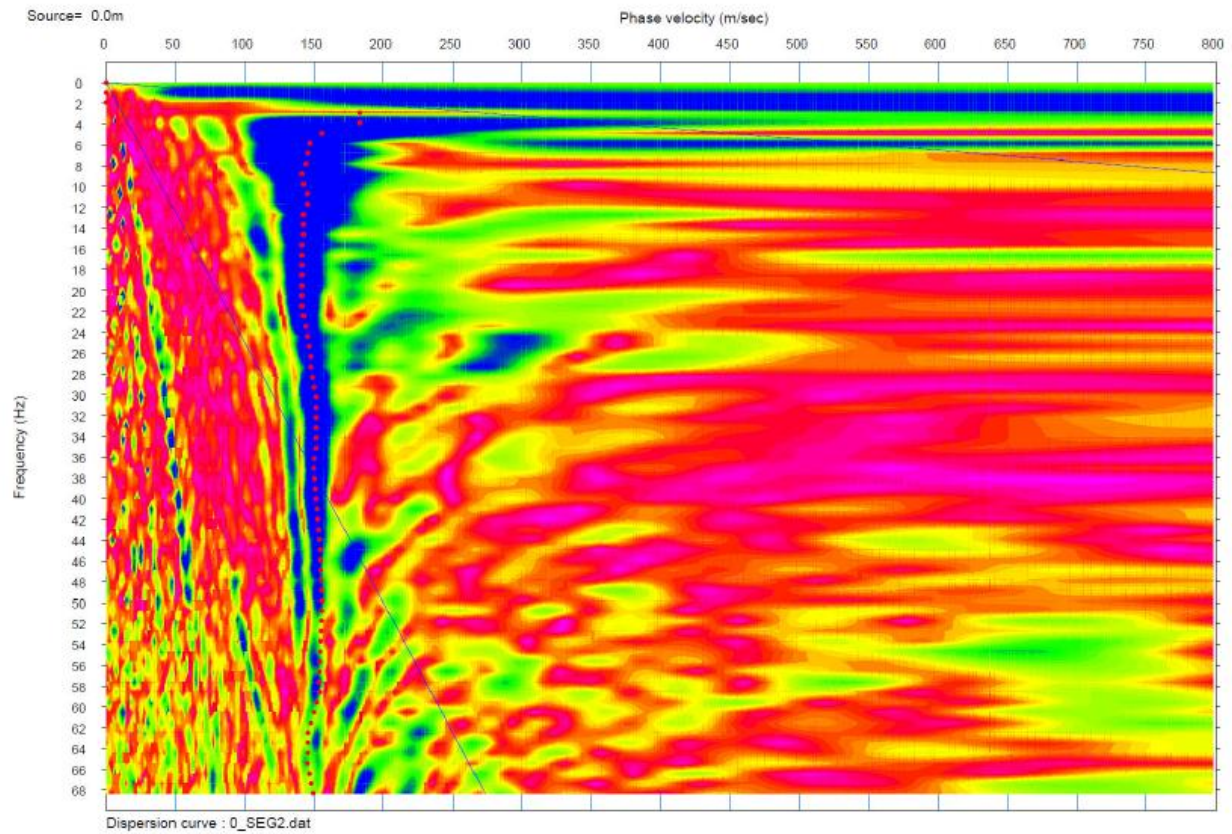
L'indagine geofisica, elaborata con M.A.S.W. ha evidenziato la presenza di uno spessore di materiale debolmente consolidato soprastante materiale a bassa consolidazione/addensamento. La mancanza di un substrato sismico $V_s = 800$ m/sec entro i primi 30 m dal piano campagna, ha indotto a

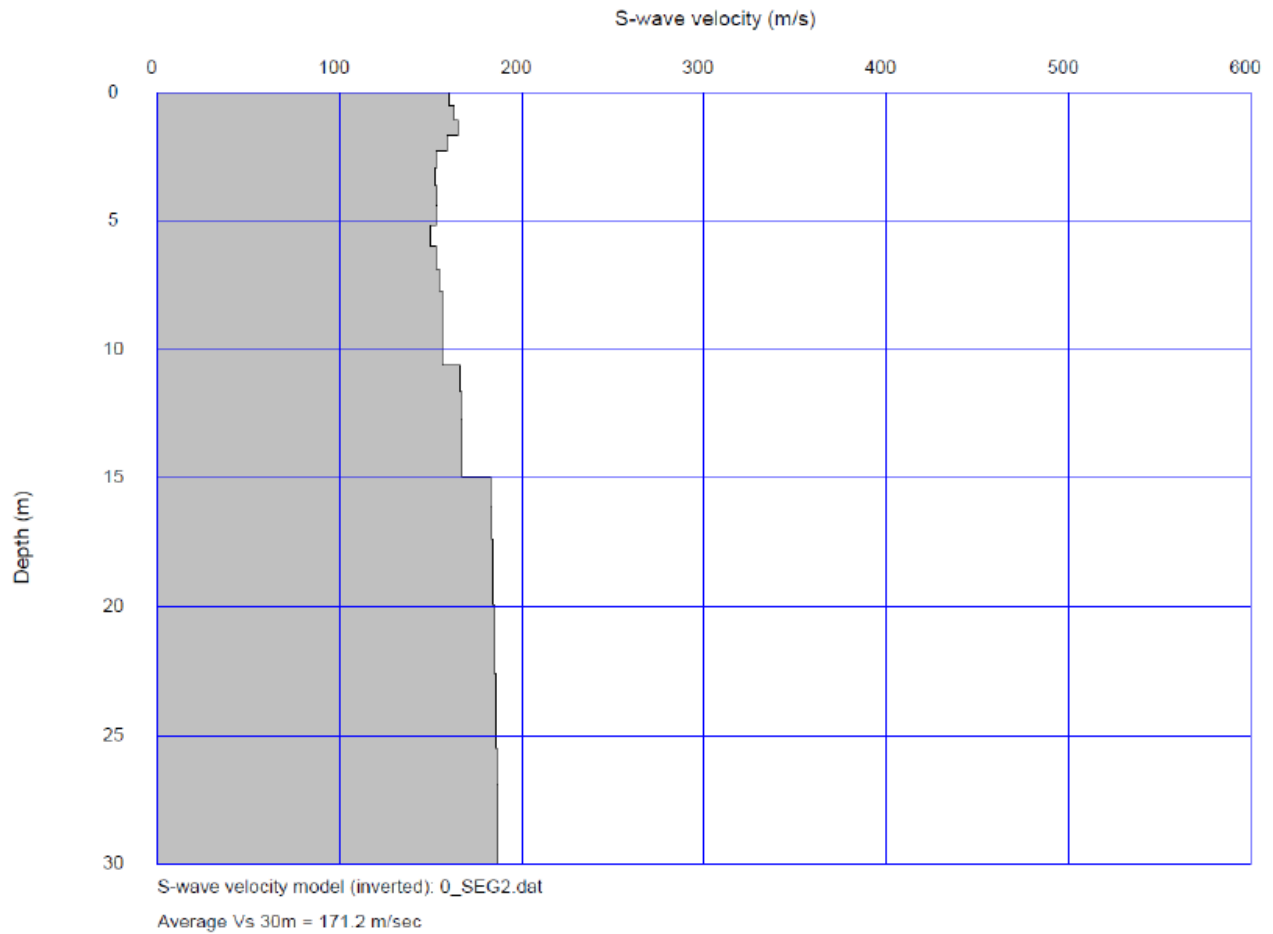
valutare la V_s 30 equivalente. Questa è risultata sempre inferiore a 180 m/s, ovvero riferibile ad un modello sismostratigrafico afferente ad una categoria di sottosuolo semplificata **D**

Dalla elaborazione con metodo tomografico, è derivato un modello sismostratigrafico che, nella porzione centrale dello stendimento e fino ad una profondità di circa 8.00 m dal p.c., vede una certa varianza di spessori. Non si esclude che tale varianza sia riferibile alla presenza del vicino Fosso di San Iacopo. E' peraltro presente, nel tratto con $X = 22 - X = 34$, una deformazione delle isocrone che può essere riferito alla presenza di sottoservizi, o altri manufatti, fino alla profondità di circa 4.00 m. E' comunque da evidenziare che questa porzione di stendimento è circa corrispondente alla zona della viabilità interna dell'area CNR e quindi si può anche aver avuto uno spostamento dello stesso piano stradale con relitto.

MULTICHANNEL ANALISYS SURFACE WAVES BASE 1 x = 0.00 m

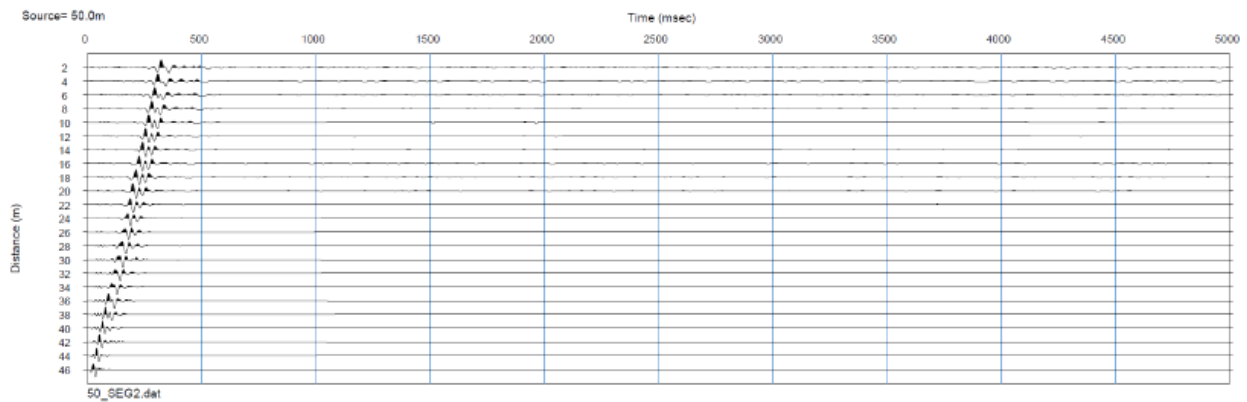


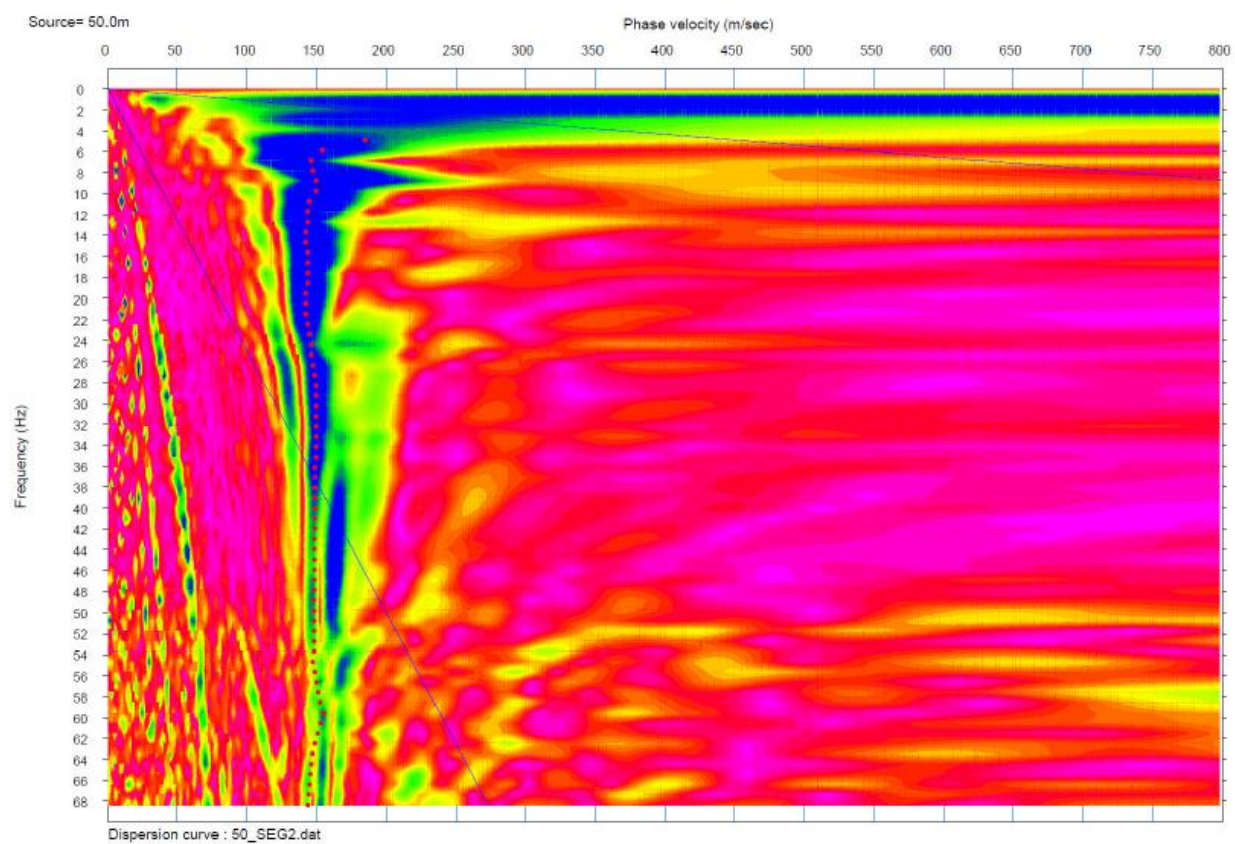


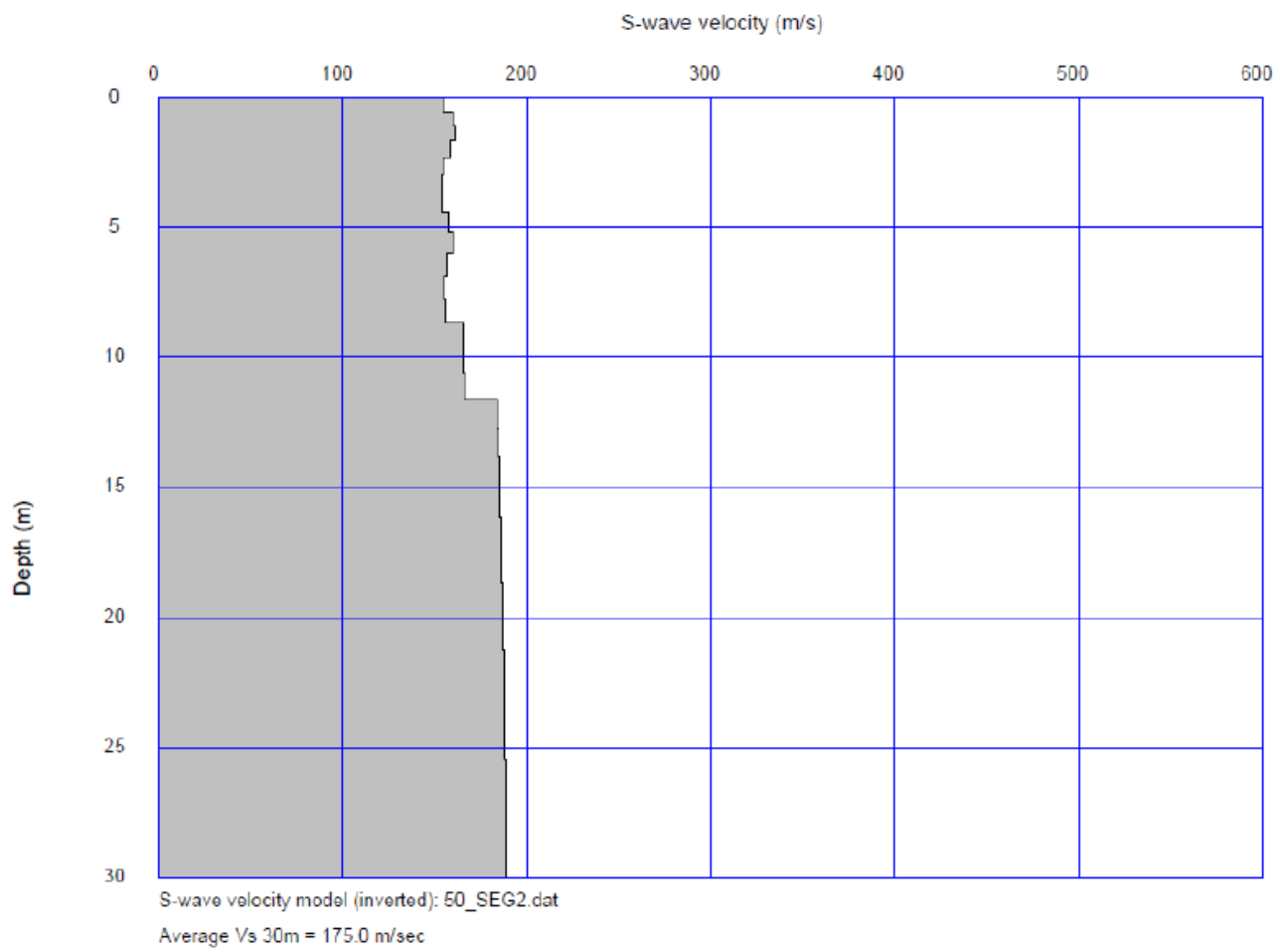


MULTICHANNEL ANALYSIS SURFACE WAVES

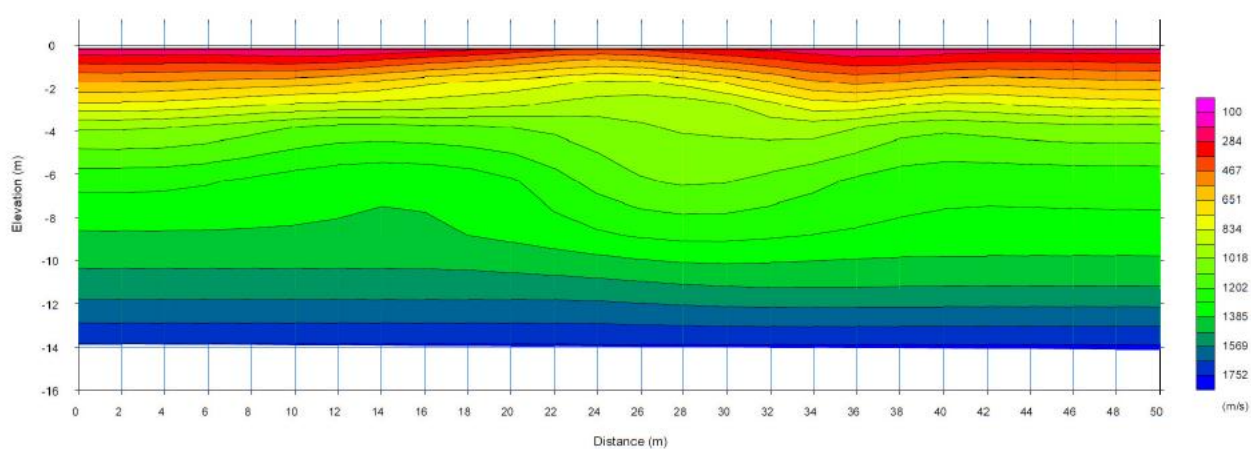
BASE 1 x = 50.00 m







SISMICA A RIFRAZIONE
ELABORAZIONE TOMOGRAFICA - sezione - BASE 1



5.4 Parametri sismici

Parametri sismici determinati con GeoStru PS

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,719992 [°]

longitudine: 10,425797 [°]

Classe d'uso: I. Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	20046	43,743530	10,375710	4800,6
Sito 2	20047	43,745340	10,444960	3211,7
Sito 3	20269	43,695380	10,447430	3242,4
Sito 4	20268	43,693570	10,378310	4816,8

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 35 anni

Coefficiente cu: 0,7

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,038	2,575	0,221
Danno (SLD)	63	35	0,041	2,568	0,229
Salvaguardia della vita (SLV)	10	332	0,101	2,461	0,278
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	682	0,135	2,388	0,282

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,800	2,660	1,000	0,014	0,007	0,679	0,200
SLD	1,800	2,610	1,000	0,015	0,007	0,725	0,200
SLV	1,800	2,370	1,000	0,044	0,022	1,785	0,240
SLC	1,800	2,360	1,000	0,058	0,029	2,381	0,240

5.5 Rischio liquefazione

Il Comune di Pisa ha eseguito uno studio di "Microzonazione sismica" del territorio comunale e, nel paragrafo 5.5 (pag. 30 e seguenti), affronta la problematica della suscettibilità alla liquefazione .

A tale scopo ha eseguito una serie di verifiche utilizzando il software GEOSTRU - Liquiter 2011, metodo Robertson e Wride (1998).

Le verifiche effettuate hanno permesso di evidenziare come, applicando una magnitudo pari a $M > 5$ ed un'accelerazione massima compresa tra 0,177/0,178 ag/g per la zona del centro urbano, supponendo una profondità di falda cautelativamente a - 0,50 m dal pc, il rischio di liquefazione è risultato sempre molto basso.

Nel sito di nostro interesse tale valutazione risulta ulteriormente confermata dalle seguenti osservazioni:

- i sondaggi eseguiti mostrano una sostanziale omogeneità dell'area, caratterizzata da terreni argillosi (sostanzialmente non liquefacibili) sino alla profondità di 40 m dal pc.
- Un pozzo presente all'estremità Nord del comparto mostra che i terreni potenzialmente liquefacibili (sabbie) sono un sottile livello dello spessore di 2 m a 28 m di profondità e di un orizzonte compreso tra 47 m e 66 m .

Considerando che gli effetti della liquefazione in superficie sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale non liquefacibile è maggiore dello spessore dello strato sottostante liquefacibile (Microzonizzazione sismica, pag.31), tale condizione appare ampiamente verificata nel sito d'interesse.

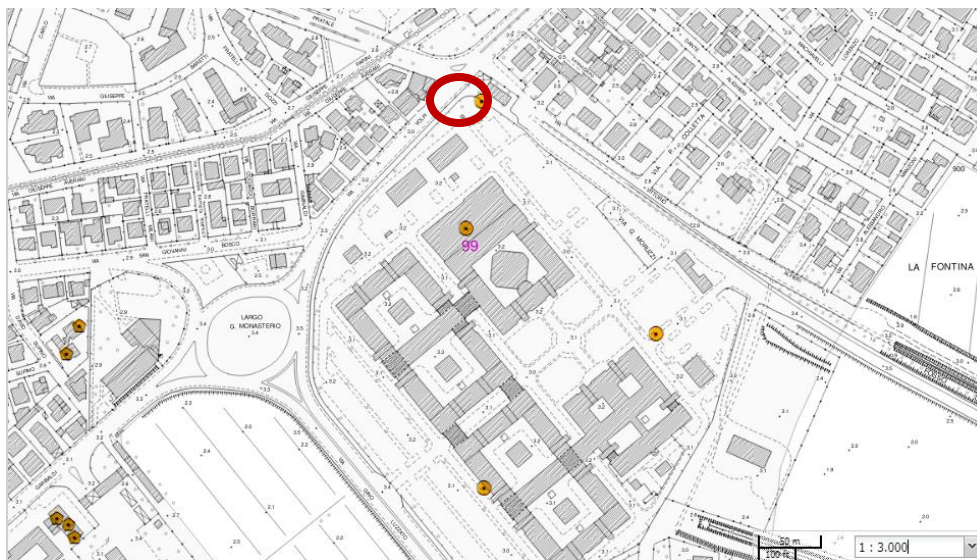


Fig. 30 . Ubicazione del pozzo citato nel testo (da DB Regione Toscana)

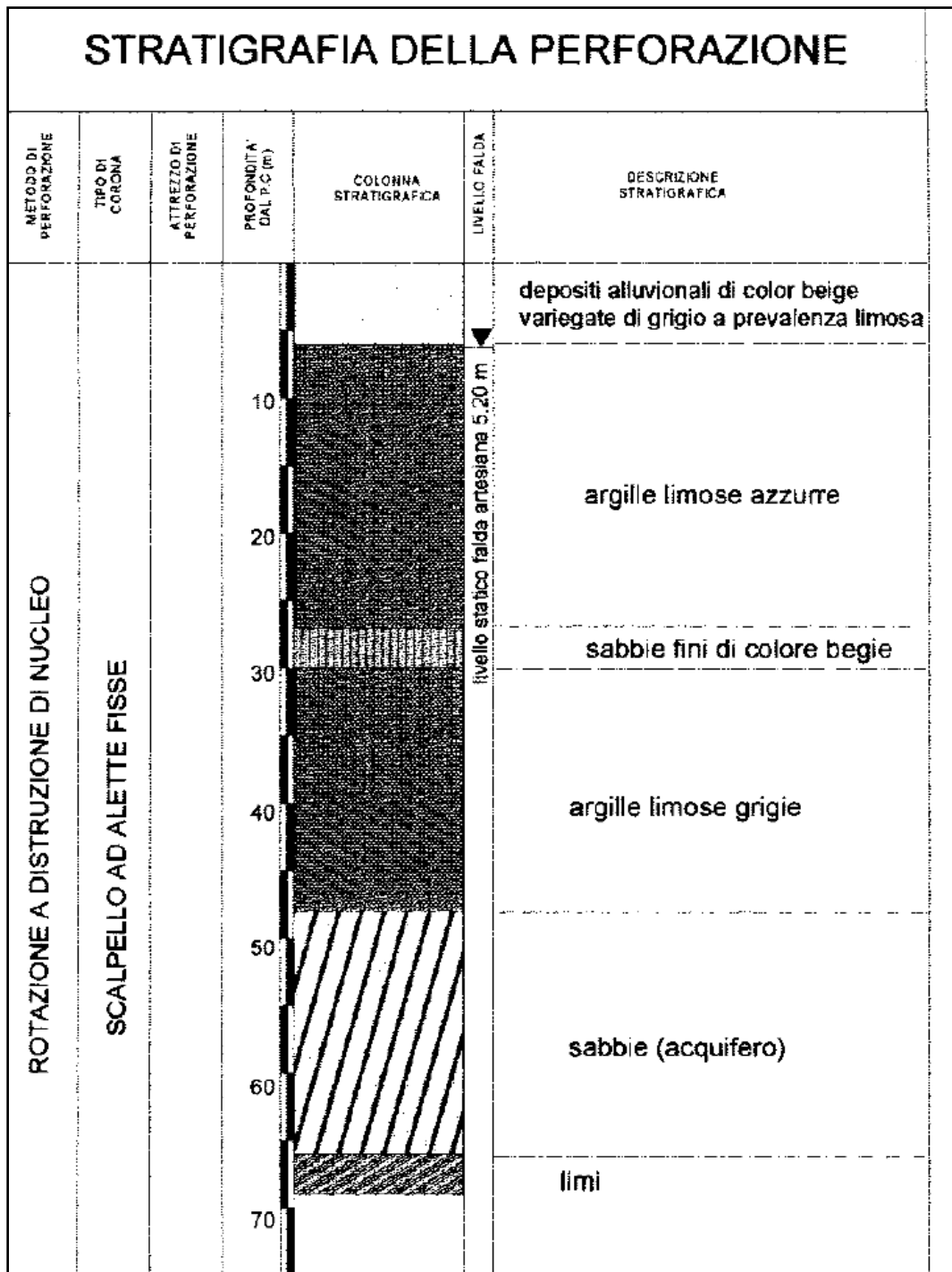


Fig. 31 - colonna litostratigrafica del pozzo citato nel testo

6 - CAPACITA' PORTANTE E CEDIMENTI

La struttura è completamente interrata, la pressione litostatica dei terreni asportati sul piano di posa (- 4,8 m dal PC) corrisponde a 0,89 kg/cm²; ad esclusione della soletta di fondazione, il carico esercitato dalle pareti laterali e dal solaio del bunker risulta pari a 0,35kg/cm², con un alleggerimento netto sul piano fondale di 0,54kg/cm², fattore che esclude la comparsa di cedimenti.

I calcoli di capacità portante sono stati eseguiti considerando una tensione (Ed) pari a 34,3 KN/m².

Viste il contesto stratigrafico locale, caratterizzato dalla presenza di terreni prevalentemente argillosi, il calcolo è stato effettuato sia in condizioni drenate che non drenate. La condizione $E_d < R_d$ risulta sempre verificata.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

GeoStru LoadCap 2010 e successivi aggiornamenti

CONDIZIONE DRENATA

DATI GENERALI

=====	
Azione sismica	NTC 2008
Zona	via moruzzi, pisa
Lat./ Long. [WGS84]	43,719026/10,424796
Larghezza fondazione	10,0 m
Lunghezza fondazione	22,0 m
Profondità piano di posa	4,8 m
Profondità falda	4,0
=====	

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m³]	Gams [kN/m³]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m²]	c Corr. [kN/m²]	cu [kN/m²]	Ey [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
2,5	18,7	21,0	0,0	0	0,01	0,01	40,0	0,0	3800,0	0,0	0,0	0,0
2,0	18,7	21,0	0,0	0	0,01	0,01	40,0	0,0	3800,0	0,0	0,0	0,0
2,0	18,5	21,0	0,0	0	0,01	0,01	35,0	0,0	2900,0	0,0	0,0	0,0
13,5	16,0	19,0	0,0	0	0,01	0,01	10,0	0,0	1800,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazio ne	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R 3	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	S.L.E.	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.C apacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	0	0	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	0	0	2,3	1,1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult] 83,81 kN/m²
 Resistenza di progetto[Rd] 36,44 kN/m²
 Tensione [Ed] 34,3 kN/m²
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 2,44
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 3352,46 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

=====

Fattore [Nq] 1,0
 Fattore [Nc] 5,14
 Fattore [Ng] 0,0

Fattore forma [Sc]	0,09
Fattore profondità [Dc]	0,19
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
=====	
Carico limite	83,82 kN/m ²
Resistenza di progetto	36,44 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,7
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
=====	
Carico limite	83,81 kN/m ²
Resistenza di progetto	36,44 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,09
Fattore profondità [Dc]	1,1
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
=====	
Carico limite	83,82 kN/m ²
Resistenza di progetto	36,44 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	0,09
Fattore profondità [Dc]	0,19
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	83,82 kN/m ²
Resistenza di progetto	36,44 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,09
Fattore profondità [Dc]	1,19
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	83,82 kN/m ²
Resistenza di progetto	36,44 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

CONDIZIONE NON DRENATA

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2018
Zona	via moruzzi, pisa
Lat./ Long. [WGS84]	43,719026/10,424796
Larghezza fondazione	10,0 m
Lunghezza fondazione	22,0 m
Profondità piano di posa	4,8 m
Profondità falda	4,0

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH	Gam	Gams	Fi	Fi Corr.	c	c Corr.	cu	Ey	Ed	Ni	Cv	Cs
[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[cmq/s]	
2,5	18,7	21,0	0,0	0	0,01	0,01	40,0	0,0	3800,0	0,0	0,0	0,0
2,0	18,7	21,0	0,0	0	0,01	0,01	40,0	0,0	3800,0	0,0	0,0	0,0
2,0	18,5	21,0	0,0	0	0,01	0,01	35,0	0,0	2900,0	0,0	0,0	0,0
13,5	16,0	19,0	0,0	0	0,01	0,01	10,0	0,0	1800,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	S.L.E.	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.C apacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	0	0	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	0	0	2,3	1,1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult]	291,1 kN/m ²
Resistenza di progetto[Rd]	126,57 kN/m ²
Tensione [Ed]	34,3 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	8,49
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler	11644,0 kN/m ³
---------------------	---------------------------

A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	0,09
Fattore profondità [Dc]	0,19
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	322,4 kN/m ²
Resistenza di progetto	140,17 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
---------------------------------	------------

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,7
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	291,1 kN/m ²
Resistenza di progetto	126,57 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,09
Fattore profondità [Dc]	1,1
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	306,7 kN/m ²
Resistenza di progetto	133,35 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: VESIC (1975) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0

Fattore forma [Sc]	0,09
Fattore profondità [Dc]	0,19
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
=====	
Carico limite	322,4 kN/m ²
Resistenza di progetto	140,17 kN/m ²
=====	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,09
Fattore profondità [Dc]	1,19
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
=====	
Carico limite	325,54 kN/m ²
Resistenza di progetto	141,54 kN/m ²
=====	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

6.1 - realizzazione dello scavo

Lo scavo sarà realizzato mediante infissione di palancole metalliche(vedi relazione di progetto).

Il carattere francamente argilloso dei terreni (praticamente impermeabili) fa sì che non sia presente la falda freatica, per cui lo scavo può essere eseguito senza utilizzo di wellpoint, anche se, a scopo di sicurezza, sarà installato un sistema di pompaggio da fondo scavo.

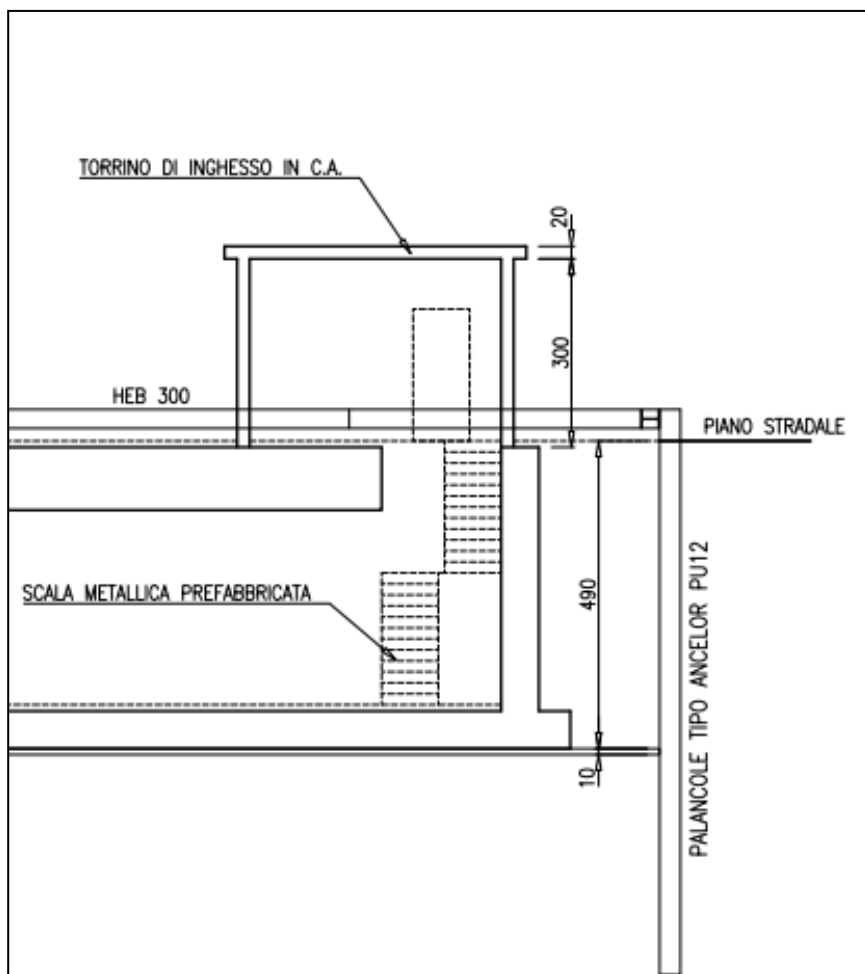


Fig. 32 - Sezione del bunker (particolare)

Le terre di scavo saranno trattate ai sensi del D. Lgs. n. 152/2006 e del D. Lgs. N. 120/2017.

7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente indagine geologica è riferita alla realizzazione di un edificio sotterraneo (bunker) ad uso "Laboratorio di ricerca sulla accelerazione delle particelle"" e rientra nella **classe d'uso I delle NTC 2018 "Costruzioni con presenza solo occasionale di persone,..."**.

L'edificio ha dimensioni in pianta di 220 mq ed un volume complessivo di 1056 mc (per i particolari vedi tavole di progetto); tali dimensioni collocano l'edificio in **classe d'indagine "2" del DPGR 19 gennaio 2022, n. 1/R.**

Il Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa attribuisce al comparto "area di ricerca del CNR" la classe II - "fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto: equivale a livelli di rischio basso. ..."

La presente relazione inserisce il progetto nel quadro di pericolosità geologica, idraulica e sismica delineato dagli strumenti di pianificazione e, mediante le indagini in sito, **ricostruisce il modello geotecnico (caratteristiche litotecniche del terreno di fondazione) per la progettazione esecutiva.**

- Il sito si colloca in classe di Pericolosità geologica elevata "G3", attribuendo tale classificazione alla elevata compressibilità dei terreni. Le indagini e le prospezioni geognostiche confermano il quadro, con la presenza di terreni compressibili (adeguatamente caratterizzati) al di sotto dei 5,00 m dal P.C.

- La categoria di sottosuolo determinata mediante indagine MASW risulta "D", con valore di $V_s \text{ eq} < 180 \text{ m/sec}$.

- La classificazione della Pericolosità sismica elevata "S3" deriva dalla valutazione del quadro litostratigrafico complessivo, dalla valutazione degli effetti locali con particolare riferimento alla presenza di terreni di copertura o di alterazione con spessori superiori a 3 m (zone Z1,Z2,Z3 e **Z4**), "zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche".

- Il rischio di liquefazione risulta molto basso.

- dal punto di vista del Rischio idraulico, tutte le modellazioni eseguite (modello 1 e modello3, con Tr 30 e Tr 200) indicano l'area come priva di battente idraulico, quindi non interessate da fenomeni alluvionali con $Tr < 200$ anni. . Non si rileva la necessità di prescrizioni relative alle problematiche idrauliche.

La previsione in oggetto risulta conforme allo strumento urbanistico vigente.

Dott. Geol. Luciano Sergiampietri. Ordine dei geologi della Toscana n. 458



Pisa, dicembre 2022