

Geofisica Geotecnica Idrogeologia

Dott. Geol. Antonio D'Errico

Via G. Garibaldi, 16 - CASAGIOVE (CE)

Tel. & Fax. 0823/1702550

Cell. 339/7271088

E-Mail: geoderrico@alice.it



COMUNE DI PISA

**Studio geologico-tecnico e geofisico a corredo del
progetto di verifica della sicurezza statica ed analisi
della vulnerabilità sismica dell'Istituto Comprensivo
Niccolò Pisano alla via Flavio Andò, 3
della frazione di Marina di Pisa**

Committente:

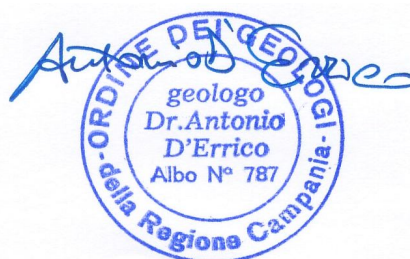
COMUNE DI PISA

RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITA' SISMICA

Il geologo

Dott. Antonio D'Errico

Casagiove, ottobre 2020



INDICE

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
2.1.	STRATIGRAFIA LOCALE	7
3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E STABILITA' DELL'AREA	8
4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO	11
5.	ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE	16
5.1.	FAGLIE ATTIVE E CAPACI	19
6.	INDAGINI ESEGUITE	20
6.1.	SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGI CONTINUO	21
6.2.	CAMPIONI INDISTURBATI DI TERRENO	22
6.3.	PROVA PENETROMETRICA CPTU	23
6.4.	PROVA SISMICA DOWN-HOLE	25
6.4.1.	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	26
7.	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	27
8.	CONCLUSIONI	32

1. PREMESSA

La presente relazione riporta lo studio geologico-tecnico e geofisico relativo al progetto di “*verifica della sicurezza statica ed analisi della vulnerabilità sismica dell’Istituto Comprensivo Niccolò Pisano.*”, presso la via Flavio Andò n.3, nella frazione Marina di Pisa (PI).

In **figura 1** si riporta l’ubicazione dell’istituto in uno stralcio tratto da Google Earth.

In conformità al D.M. del 17/01/2018 “Nuove Norme tecniche per le Costruzioni”, la presente indagine mira a ricostruire e ad illustrare la situazione litostratigrafica locale, la natura dei litotipi, il loro stato di alterazione, fratturazione e degradabilità, nonché l’eventuale presenza di dissesti in atto o potenziali e i lineamenti geomorfologici della zona.

In particolare lo studio in epigrafe ha avuto lo scopo di rilevare:

- La geologia e la litologia dei materiali presenti nel sottosuolo;
- La caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- L’andamento della falda idrica;
- La caratterizzazione sismica dei terreni.

A tal fine, come concordato con il tecnico progettista, sono state realizzate le seguenti indagini geognostiche:

- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- n° 2 analisi geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati di terreno;
- n° 1 prova penetrometrica statica CPTU;
- n° 1 prova sismica Down-Hole.

A completamento dello studio geologico, sono stati consultati studi ed indagini realizzati nel territorio comunale di Pisa; inoltre, tali indagini, sia di tipo diretto che indiretto, sono state integrate da un rilevamento di campagna esteso naturalmente alle zone adiacenti.

Tutti i risultati desunti dalle indagini effettuate e le relative elaborazioni grafiche, si riportano nei successivi paragrafi e nel report allegato.

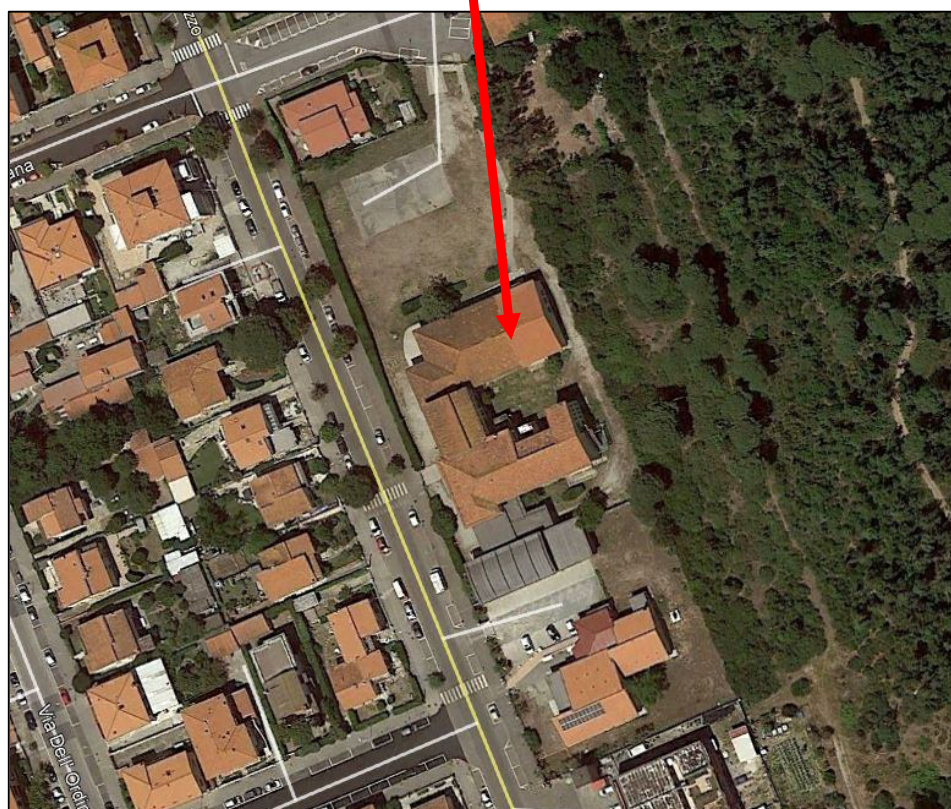
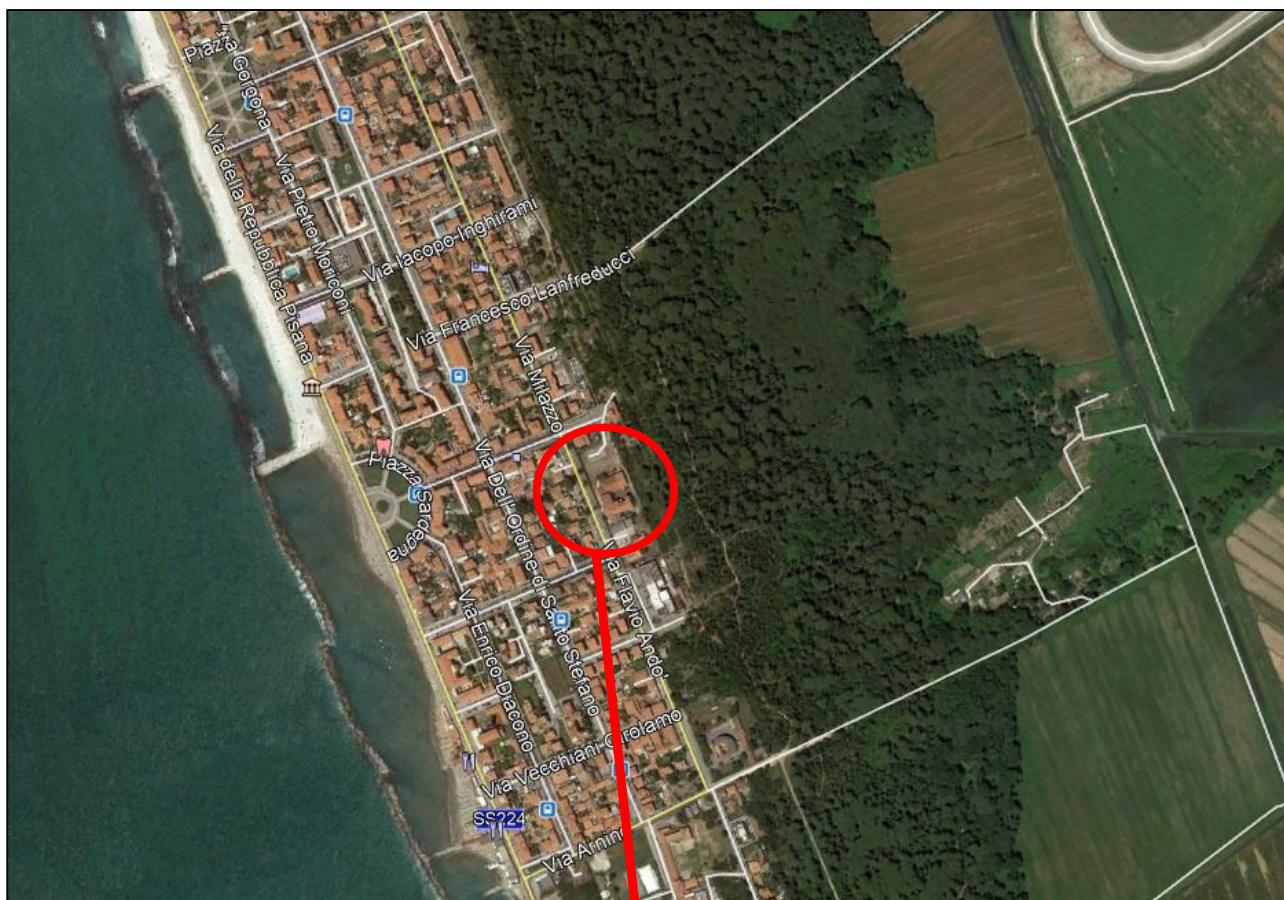


Fig. 1 – Ubicazione della scuola (Google Earth)

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio è situata in località Marina di Pisa nel settore compreso tra la costa ad ovest ed il F. Arno a nord.

L'attuale assetto geologico e stratigrafico degli strati superficiali di terreno dell'area di indagine è principalmente legato agli effetti della presenza di vaste aree paludose in rapporto alle variazioni eustatiche del livello marino e dei variabili equilibri della dinamica costiera. Si tratta quindi essenzialmente di depositi eolico transizionali dei lidi e dune litoranee. In **figura 2** si riporta uno stralcio della carta geologica tratta dal Piano Strutturale del Comune di Pisa, da cui si evincono i litosomi presenti.

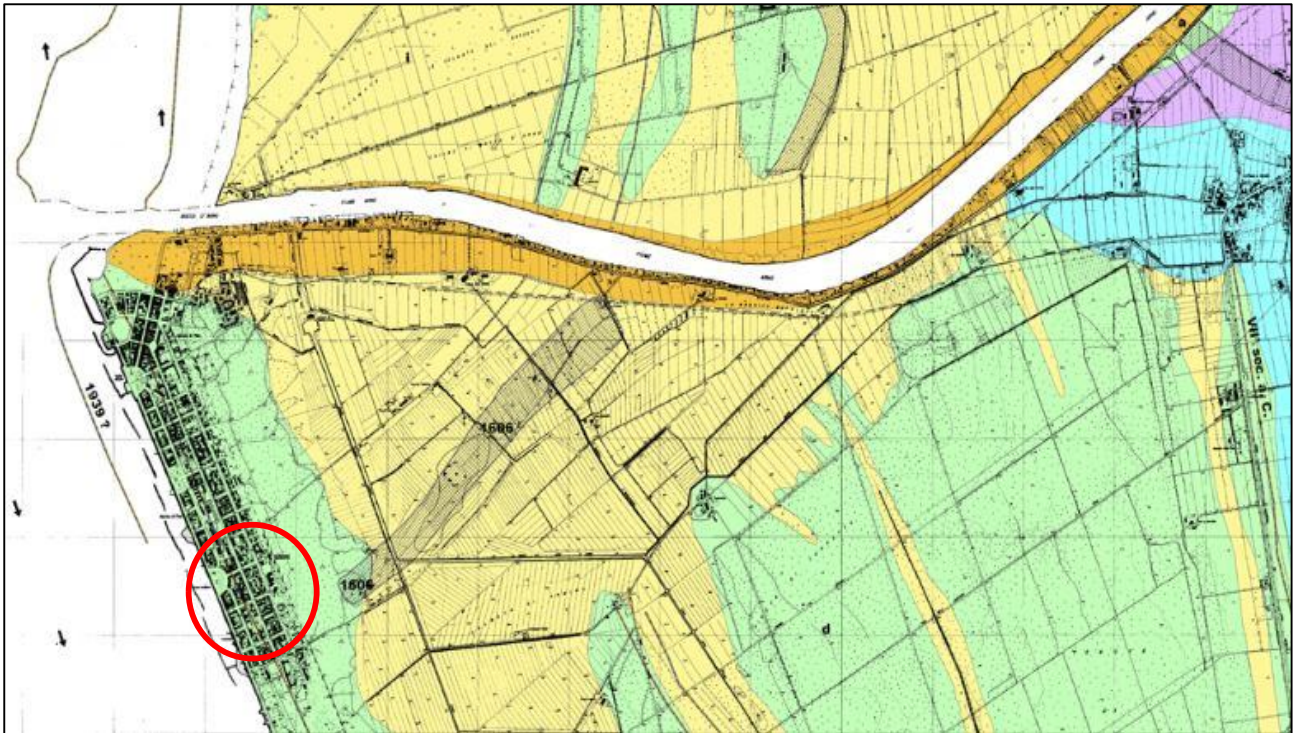
In linea generale, la successione stratigrafica dei terreni affioranti può essere descritta come segue:

- **Sedimenti delle spiagge** (Attuale): costituiti in generale da sabbie fini, mentre i sedimenti di battigia sono leggermente più grossolani (sabbie medie). I sedimenti più distanti dalla linea di battigia sono da considerare di origine eolica vista le loro dimensioni e la loro elevata classazione. Per quanto riguarda invece la variazione granulometrica nel senso parallelo all'andamento della spiaggia, da studi sedimentologici recenti (Pranzini 1996) è stata verificata una evidente riduzione delle dimensioni dei clasti a partire dalla foce dell'Arno e procedendo verso Livorno. Nell'area di Marina di Pisa la costa è soggetta a fenomeni erosivi ed è quindi protetta da opere di difesa trasversale o longitudinali in prossimità delle quali non è presente o è molto scarso un accumulo di tali sedimenti.
- **Sedimenti limo-argillosi e sabbiosi delle aree golenali** (Attuale): sono presenti nelle aree golenali e depositi dai corsi d'acqua attuali negli alvei e nelle aree laterali raggiunte dalle piene ordinarie. Per quanto riguarda l'Arno si tratta di sedimenti a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbiosa in corrispondenza dell'energia delle acque che li hanno depositi.
- **Depositi sabbiosi dei lidi e dune litoranee** (Olocene): si sviluppano lungo una fascia della larghezza di circa 7 km posta in direzione nord-sud che separa la pianura alluvionale di Pisa dal mare. Tale disposizione spaziale rappresenta gli antichi andamenti del litorale che è andato espandendosi fino al secolo scorso. I lidi e le dune litoranee sono costituiti da depositi sabbiosi su cui prevalgono composizionalmente i granuli quarzosi. Tali sabbie si presentano sciolte in













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

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

Come si osserva dallo stralcio della carta geologica in **figura 2**, il litosoma presente nell’area di studio corrisponde a depositi sabbiosi dei lidi e delle dune litoranee (Olocene)



LEGENDA

-  Sedimenti delle spiagge attuali costituiti da sabbie sciolte
-  Sedimenti limo-argillosi delle aree golenali (attuale)
-  Depositi sabbiosi dei lidi e dune litoranee (Olocene)
-  Sedimenti interdunali costituiti da limi e sabbie limose talvolta con depositi superficiali costituiti da argille organiche e torbe (Olocene)
-  Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene)
-  Depositi alluvionali prevalentemente limosi e sabbiosi con intercalazioni argillose (Olocene)
-  Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi (Olocene)
-  Calcareni e sabbie di Coltano (Pleistocene superiore)
-  Aree palustri bonificate
-  Alvei fluviali abbandonati
-  Paleoalvei sepolti rilevati con immagini da satellite
-  Antiche linee di costa e relative datazioni

**Fig. 2 - Stralcio della Carta geologica 1:20000 del
"PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI PISA" con ubicazione area in esame**

2.1. STRATIGRAFIA LOCALE

Per il riconoscimento di dettaglio dei litotipi formanti il substrato del sito in esame, si fa riferimento alle risultanze del sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito sul lotto. Il sondaggio, spinto fino a 30,00 m di profondità dal p.c., ha portato all'individuazione della seguente successione stratigrafica (dall'alto verso il basso):

- 0,00-0,40: Terreno di riporto
- 0,40-10,00: Sabbia sciolta di colore marrone giallastro
- 10,00-17,10: Sabbia debolmente limosa sciolta di colore grigio chiaro
- 17,10-17,40: Passaggio ad argille grigie
- 17,40-27,40: Argilla grigia poco consistente
- 27,40-27,70: Passaggio a sabbie grigie
- 27,70-30,00: Sabbie sciolte di colore grigio

Si rimanda all'apposito report a cura della ditta esecutrice per il certificato stratigrafico.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E STABILITA' DELL'AREA

Il sito in esame è posto ad un'altitudine di circa 4 m s.l.m. e si trova nella fascia litoranea ad una distanza di circa 300 m dal mare; in **figura 3** si riporta l'ubicazione sullo stralcio della Carta Tecnica Regionale, tavoletta n. 272123 in scala 1:5.000, disponibile sul sito della Regione Toscana – Portale SITA Cartoteca.

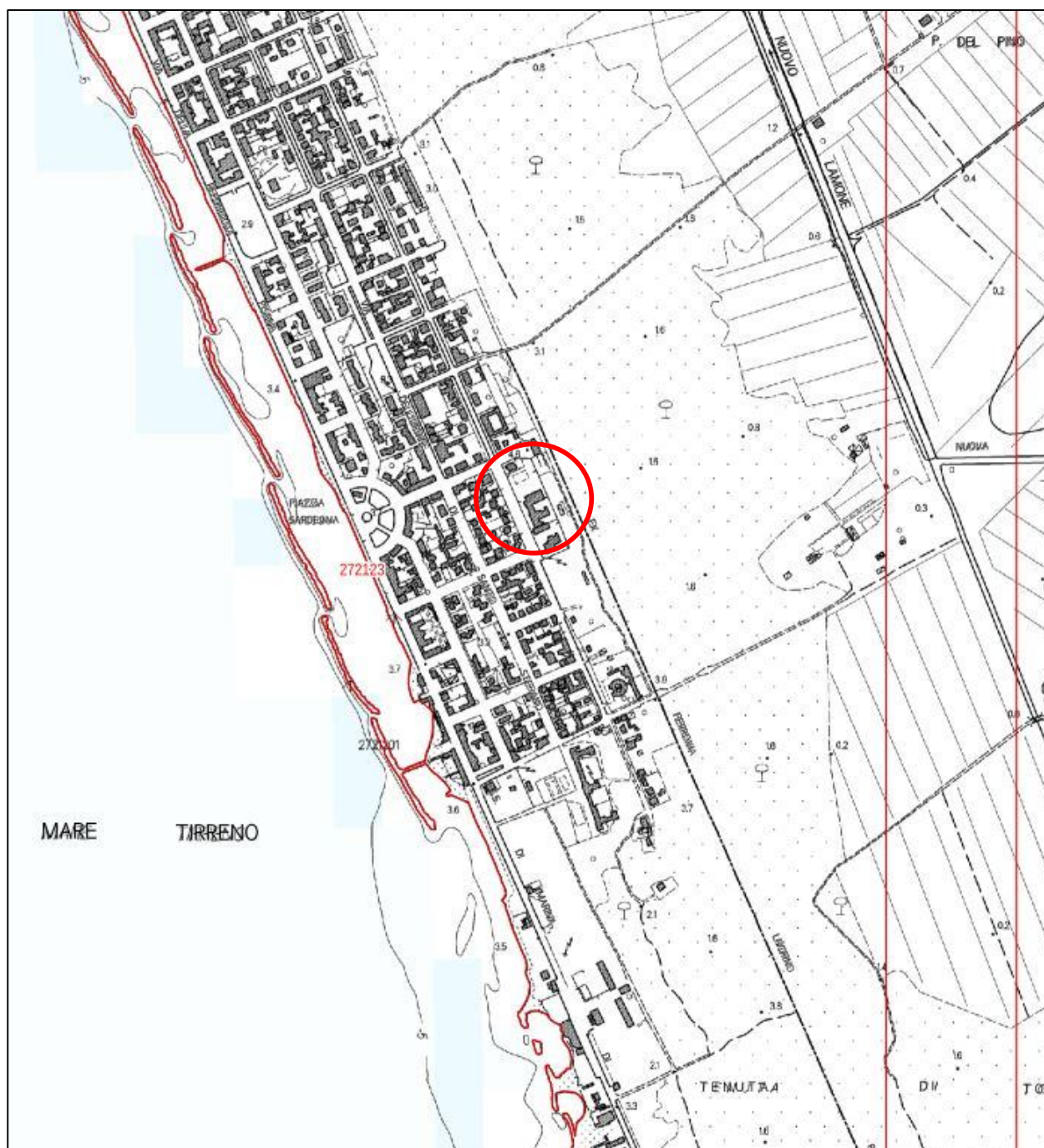


Fig. 3: Stralcio Carta Tecnica Regionale. Col cerchio rosso è indicata l'area di studio.

Dal punto di vista geologico-geomorfologico l'area si inquadra nella fascia di territorio compresa nel sistema dei cordoni dunari e dei lidi litoranei, che rappresentano gli elementi geomorfologici principali, costituiti da depositi sabbiosi risalenti all'Olocene.

In linea generale, dal punto di vista altimetrico le quote variano tra i 2,00 ed i 4,00 m s.l.m., come si può osservare dallo stralcio della Carta Altimetrica del Piano Strutturale disponibile sul sito del Comune di Pisa e riportato in **figura 4**.

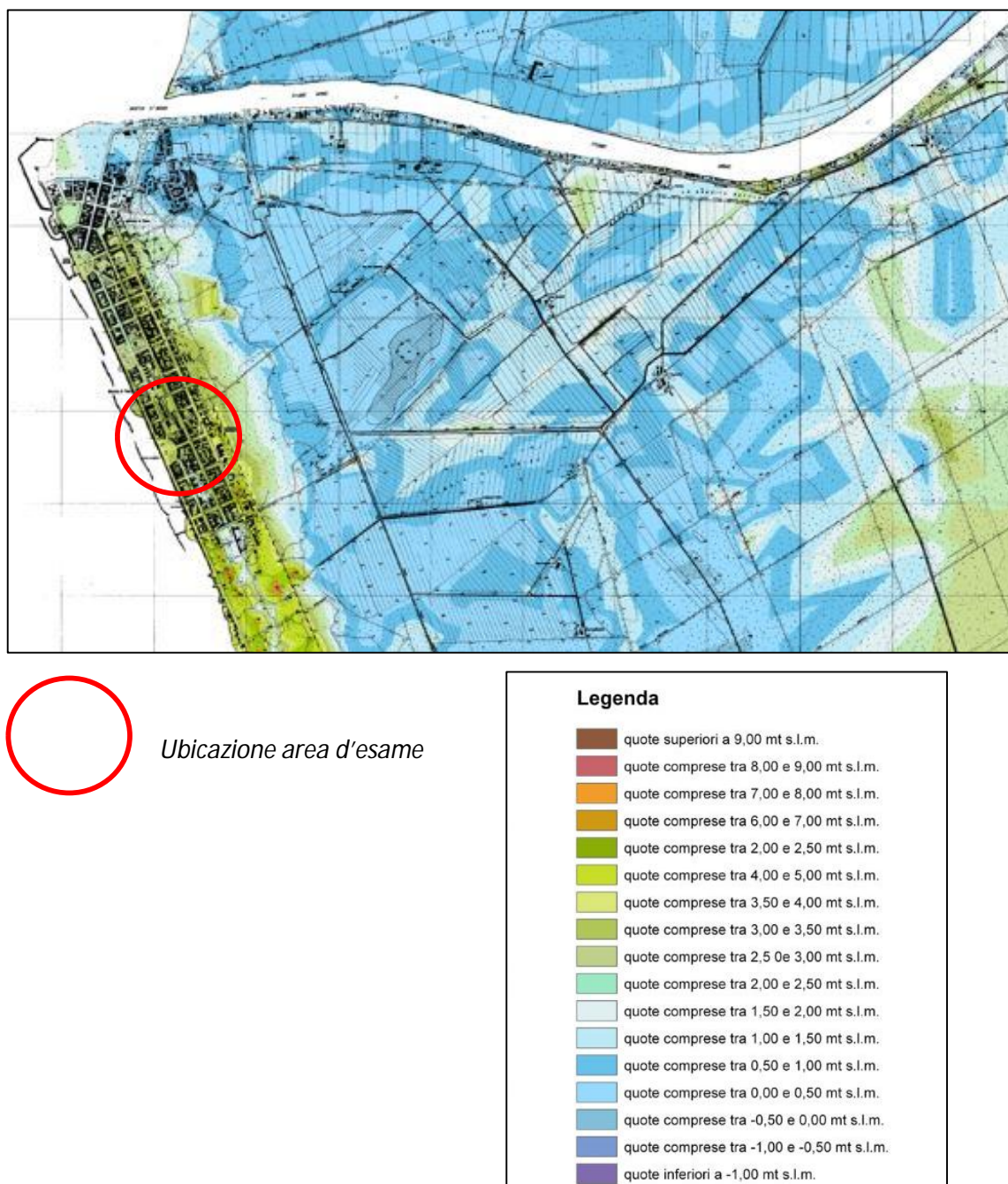


Fig. 4 - Stralcio della Carta Altimetrica del Piano Strutturale Comune di Pisa 1:20000

Per quel che concerne la caratterizzazione geomorfologica di dettaglio del lotto oggetto del presente studio, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona pianeggiante, caratterizzata dall'assenza di qualsiasi fenomeno di dissesto geomorfologico, difatti non si riscontra la presenza di fenomeni di instabilità in atto o potenziali, pertanto la stessa può ritenersi stabile.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO

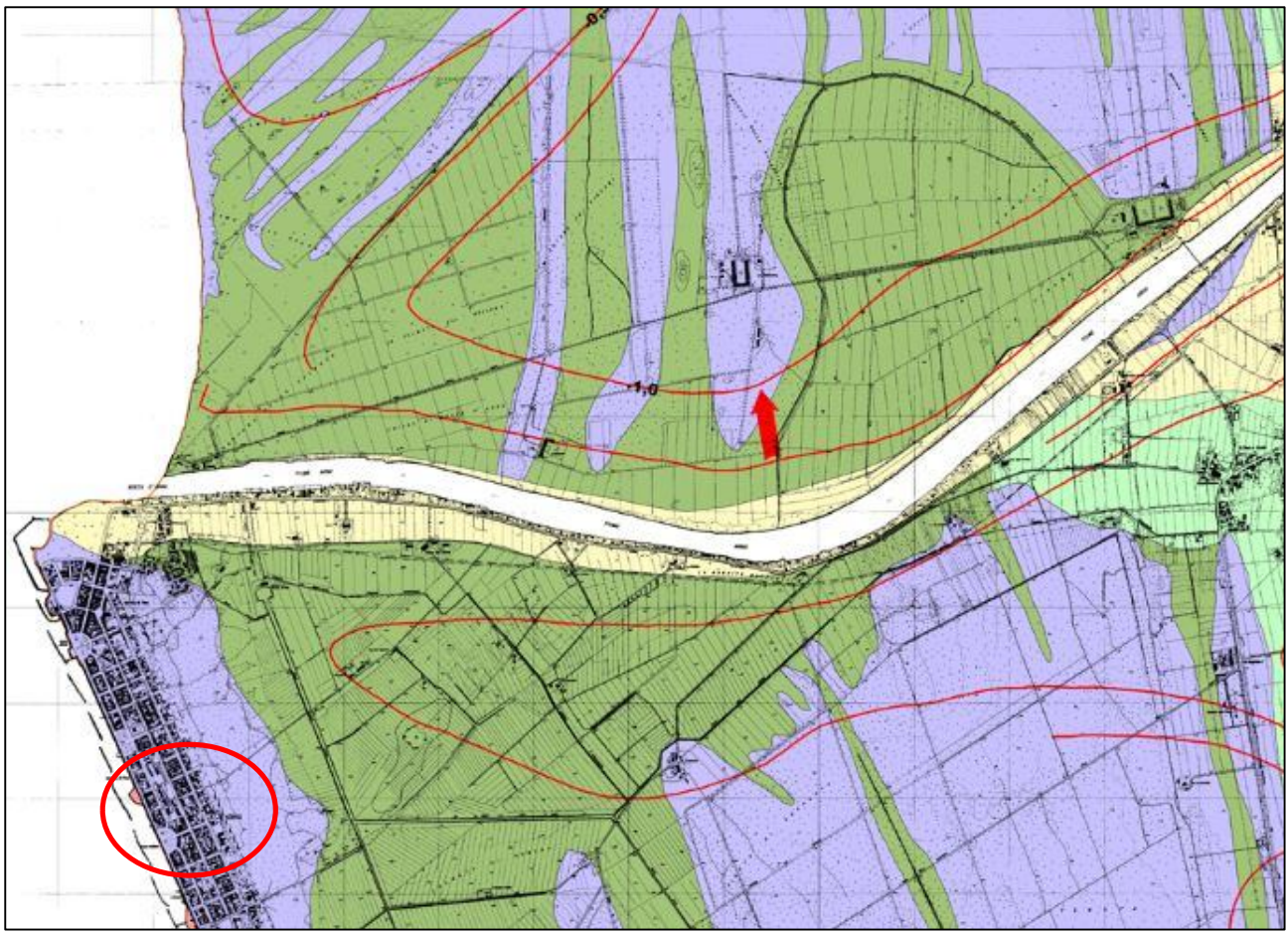
Per quel che riguarda l'assetto idrogeologico dell'area e la circolazione idrica sotterranea, è importante distinguere tutti i litotipi presenti sia in affioramento che in sottosuolo, poiché le differenze litologiche e tessiturali determinano sostanziali differenze nel comportamento idrogeologico, influenzando in particolare la permeabilità. Procedendo da Ovest verso Est sono presenti:

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

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

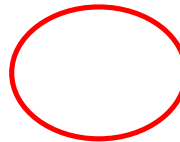
- I° orizzonte acquifero sede di falda freatica-semiconfinata, contenuto in sedimenti prevalentemente sabbiosi superficiali. Lo spessore è variabile da 12 a 14 m.
- II° orizzonte acquifero sede di falda confinata, costituito da depositi di origine alluvionale composti da livelli ciottolosi e ghiaiosi separati da strati a prevalentemente composizione sabbiosa.

Di seguito si riporta lo stralcio della carta idrogeologica del comune di Pisa in cui si evidenzia la profondità (isofreatiche) e la direzione di deflusso della falda. Trovandoci in prossimità della linea di costa la quota piezometrica risulta essere prossima alla superficie del p.c., difatti mediante il sondaggio geognostico è stata individuata a 0,80 m dal p.c..



Legenda

- Sedimenti a permeabilità primaria medio elevata
- Sedimenti a permeabilità primaria media
- Sedimenti a permeabilità primaria generralmente medio-bassa, sono presenti livelli più o meno continui a permeabilità leggermente maggiore in corrispondenza delle intercalazioni sabbiose
- Sedimenti a permeabilità primaria molto bassa, contengono livelli praticamente impermeabili in corrispondenza delle intercalazioni torbose
- Depositi praticamente impermeabili
- Isofreatiche estive. Valori riferiti al livello del mare
- Direzioni di flusso



Ubicazione area d'esame

Fig. 5 - Stralcio Carta Idrogeologica del Comune di Pisa 1:20000

Per quanto riguarda la circolazione idrica superficiale, il principale corso d'acqua che interessa il territorio comunale è il Fiume Arno, ed in particolare il lotto in esame è ubicato lungo la fascia costiera a sud della foce del fiume ad una distanza di circa 2 km.

L'Arno entra nel territorio comunale all'altezza del meandro di Cisanello e, dopo avere attraversato la zona golenale della Cella (circa 2.5 Km), passa nel tratto urbano di Pisa,

proseguendo verso la foce con un andamento rettilineo secondo la direzione NE-SW, fino a girare e disporsi E-W circa 3.5 Km prima dello sbocco in mare.

Il fiume Arno è pensile sulla pianura circostante fino a valle di “La Vettola”, cioè allo sbocco del conoide altimetricamente più elevato, costituito da depositi limoso-sabbiosi del fiume.

In linea generale, le acque che investono il territorio e che provocano situazioni di crisi in varie parti di esso, sono essenzialmente di due tipi:

- quelle portate dai fiumi (per la maggior quantità dall'Arno) e dai fossi e canali che percorrono l'intero territorio;
- quelle che provengono dalle precipitazioni meteoriche ricadenti direttamente sul territorio.

Le acque che condizionano l'idrologia della pianura non sono comunque quelle dell'Arno che, essendo totalmente arginato, costituisce un sistema idraulico a sé stante (Sistema Idraulico dell'Arno), ma quelle dei fossi e canali che costituiscono i sistemi di bonifica estesi per gran parte del territorio del comune (Sistemi di Bonifica a scolo naturale e meccanico), unite alle acque meteoriche.

A causa sia della bassa pendenza, sia delle condizioni altimetriche della pianura, sia della presenza di falde a pelo libero e della situazione idrologica sopra accennata, ne deriva una diffusa presenza di acque stagnanti e lentamente fluenti verso il mare.

Dal punto di vista idraulico il territorio del comune di Pisa è in effetti interessato da due distinti sistemi idraulici:

- sistema Idraulico dell'Arno;
- sistema Idraulico delle Bonifiche, all'interno del quale si distinguono quelle a scolo naturale da quelle a scolo meccanico.

Dalla consultazione delle Carte del PRGA (Piano Gestione Rischio Alluvioni – **Pericolosità fluviale e Pericolosità costiera**) dell'Autorità di Bacino dell'Arno, **figura 6 e 7**, si evince che il sito in esame ricade in una Classe di pericolosità Bassa – P1 (Pericolosità fluviale) e non ricade in nessun'area di Pericolosità costiera. La rappresentazione della pericolosità avviene attraverso 3 classi in funzione della frequenza di accadimento dell'evento.

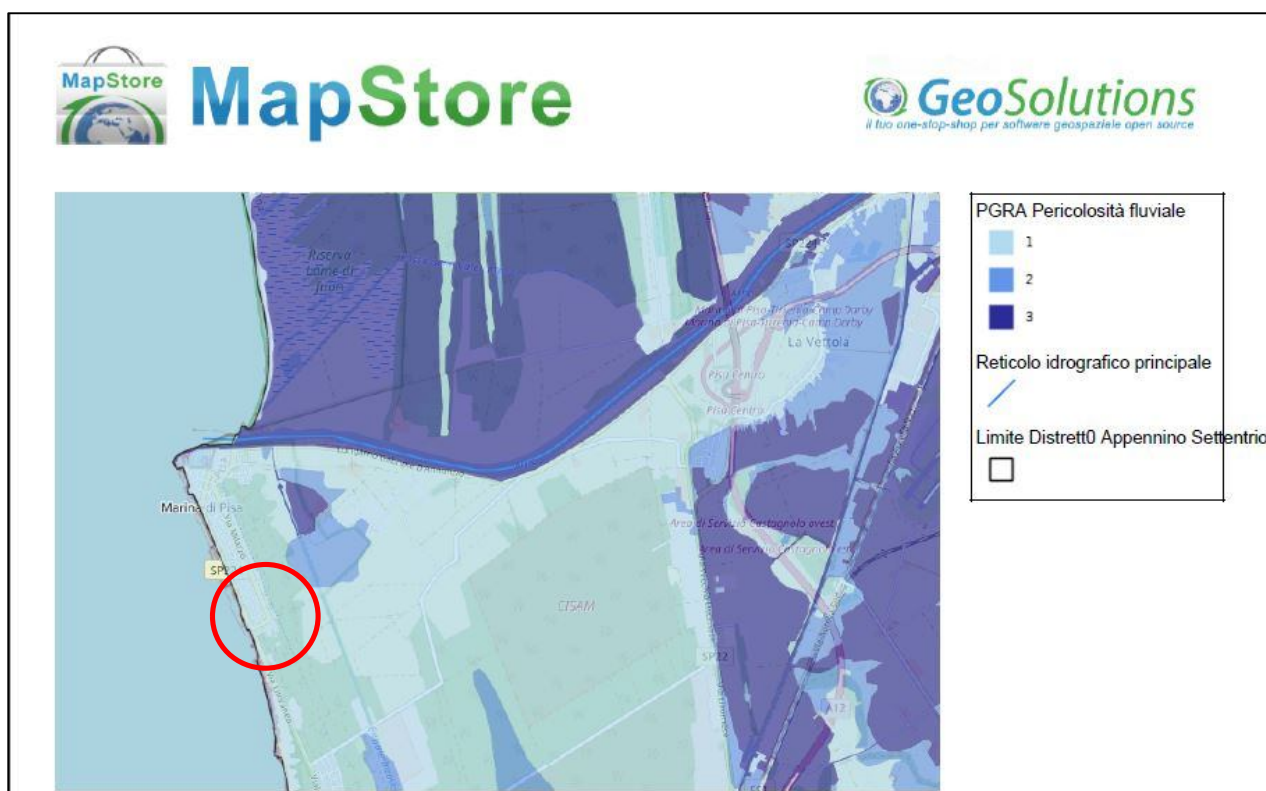


Fig. 6 - Stralcio Carta PRGA (Pericolosità fluviale – AdB Fiume Arno)

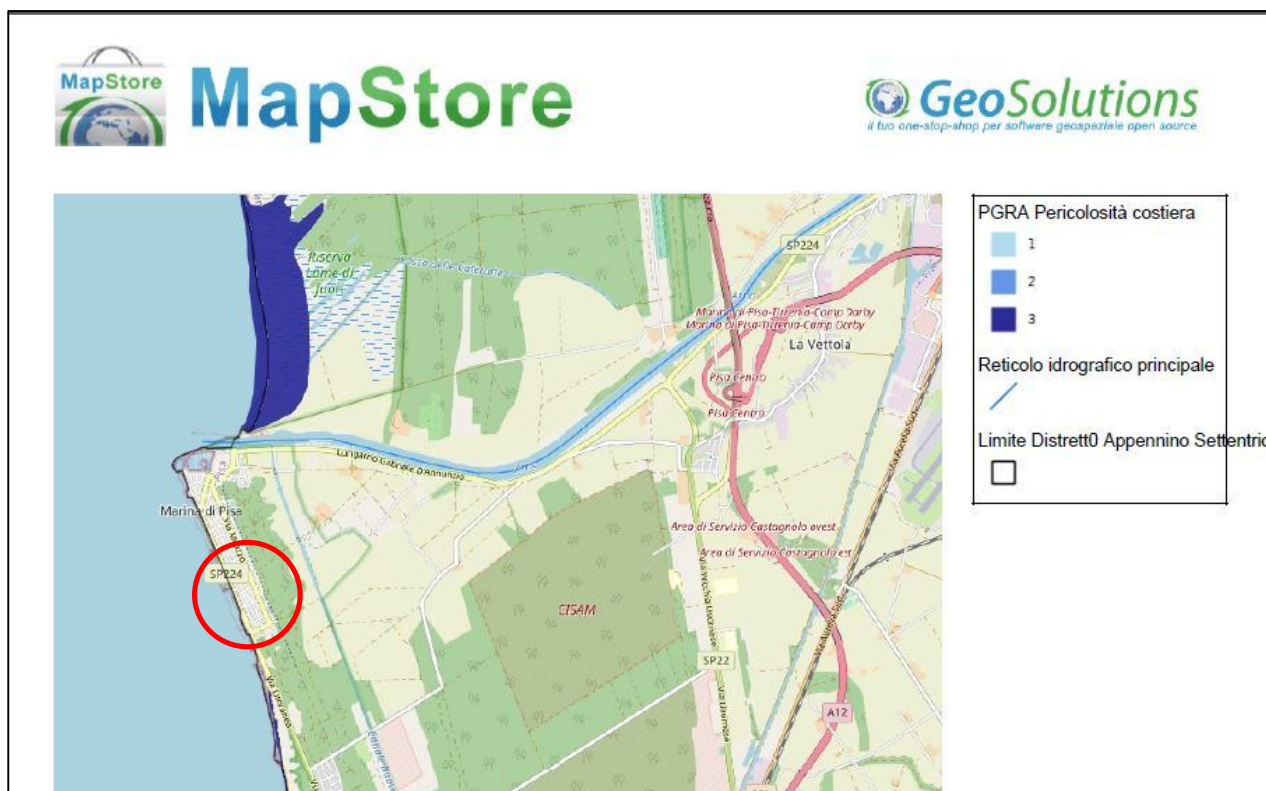


Fig. 7 - Stralcio Carta PRGA (Pericolosità costiera – AdB Fiume Arno)

Inoltre, è stata consultata la “Carta delle aree allagabili” del Piano Strutturale, disponibile sul sito del comune di Pisa, e nella quale sono state distinte e cartografate le aree soggette a

frequenti esondazioni (golene dell'Arno), le aree soggette a episodi di tracimazione dei canali di bonifica e difficoltoso drenaggio delle acque in caso di eventi piovosi intensi, e le aree soggette a ristagno. Come si può osservare dallo stralcio riportato in **figura 8**, l'area in esame non ricade tra quelle allagabili.

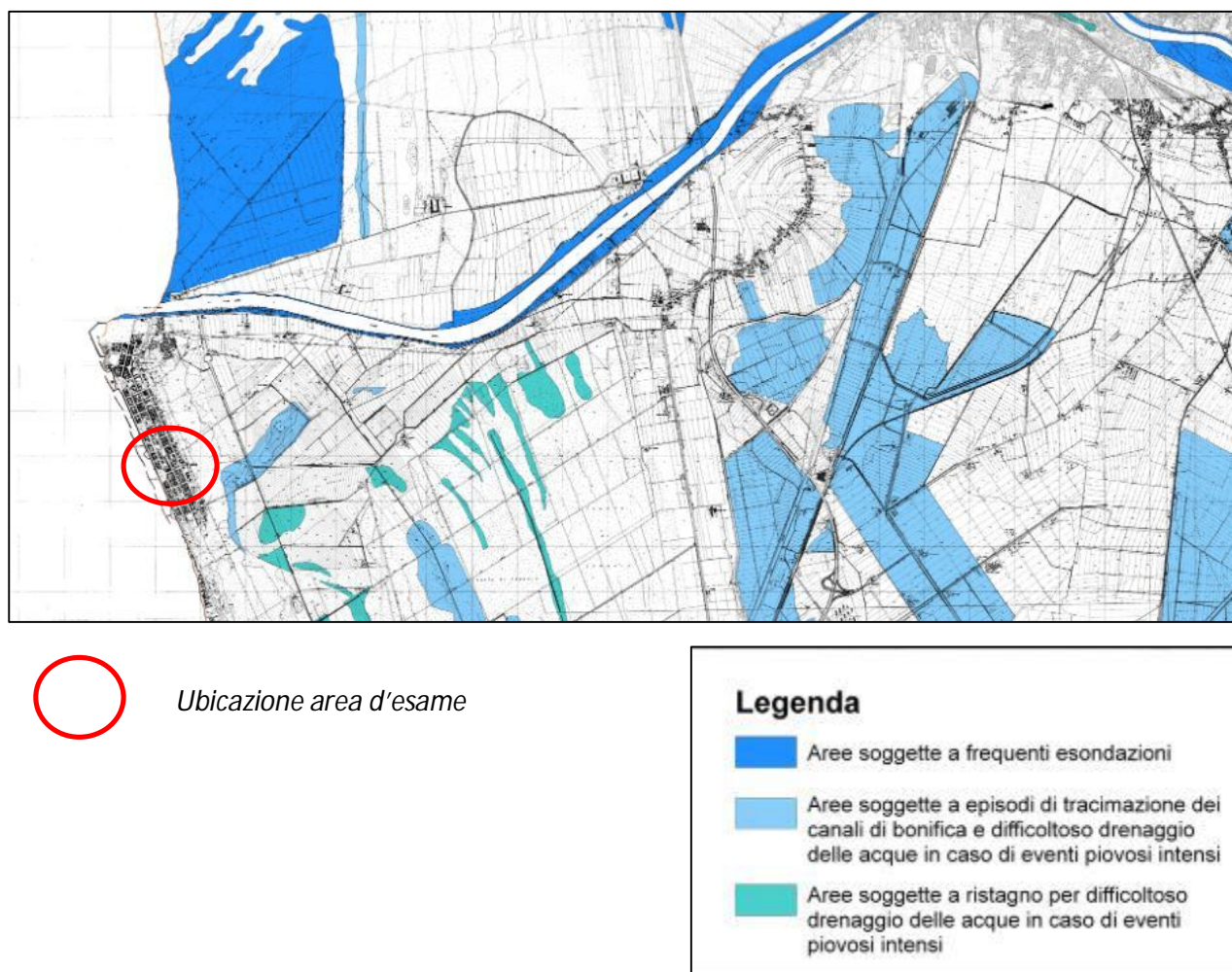


Fig. 8 - Stralcio Carta delle aree allagabili

Nella Carta delle aree allagabili sono state distinte e cartografate le aree soggette a frequenti esondazioni (golene dell'Arno), le aree soggette a episodi di tracimazione dei canali di bonifica e difficoltoso drenaggio delle acque in caso di eventi piovosi intensi, e le aree soggette a ristagno.

5. ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

In tutti i problemi connessi con l'ingegneria sismica e, più in generale, ogni qualvolta si vogliono pianificare insediamenti di nuove aree urbane e industriali, è necessario considerare il rischio sismico della zona, inteso come potenziale distruttivo di eventuali terremoti. Le caratteristiche geologiche, strutturali, morfologiche e idrogeologiche dei terreni sono state già esposte nelle pagine precedenti, di seguito saranno prese in considerazione le loro incidenze qualitative-quantitative in termini di rischio sismico.

Il Comune è stato classificato come appartenente alla **Zona sismica 3** cui competono valori di a_g variabili tra 0,05 e 0,15 g (Tab. 1).

zona	Accelerazione orizzontale con la probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0.05 – 0,15	0,15
4	< 0.05	0.05

Tabella 1. Valori di a_g espressi in frazione dell'accelerazione di gravità (g) da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale.

I suddetti valori sono anche illustrati nella Mappa della Pericolosità Sismica in Italia, redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, 2004), i cui fogli sono stati prodotti per ogni regione. In particolare il territorio comunale, come evidenziato nella **figura 9**, che riporta lo stralcio della mappa interattiva di Pericolosità sismica ripresa dal sito dell'INGV, i valori di **a(g)** sono compresi tra 0,100 e 0,125.

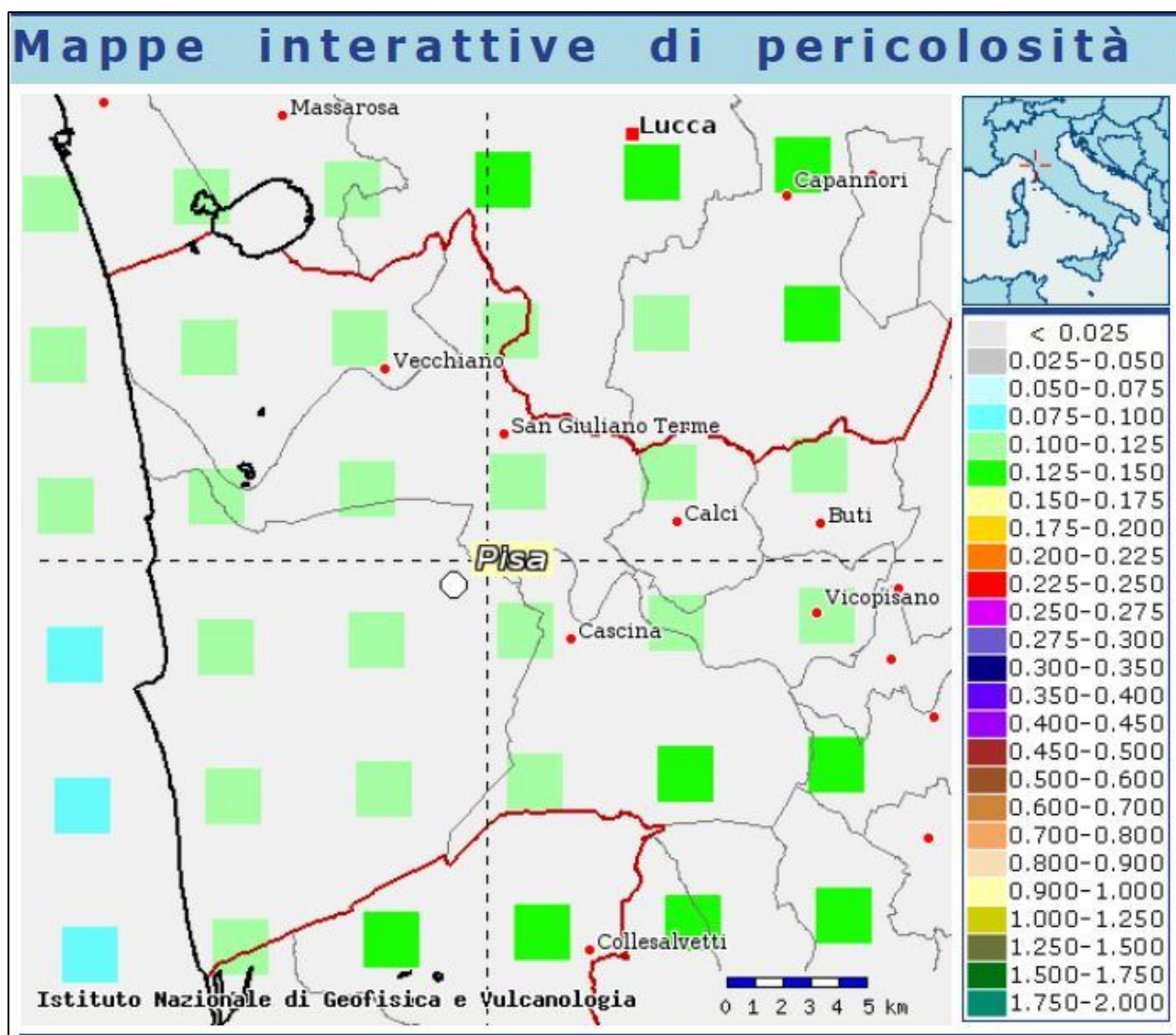


Fig. 9 - Mappa Interattiva di pericolosità sismica e relativa legenda dei valori di $a(g)$ (fonte www.ingv.it)

Ciò premesso, con l'entrata in vigore del D.M. Min. LL. PP. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni", per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale, e si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Tabella 2: Categorie di sottosuolo dal D.M. Min. LL. PP. 17/01/2018

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s .
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{seq} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse).

Per tale motivo al fine di caratterizzare da un punto di vista sismico, le varie formazioni litologiche dell'area in esame, è stata eseguita una prova Down-Hole che ha permesso la ricostruzione dei rapporti sismo-stratigrafici e delle caratteristiche dinamiche dei terreni fino ad una profondità di 30 m dal p.c. ed i cui risultati sono esposti nei paragrafi successivi.

Inoltre, vista la morfologia del sito, essendo la pendenza globale inferiore a 15° , lo stesso può rientrare in Categoria Topografica T1.

5.1 FAGLIE ATTIVE E CAPACI

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Dal rilevamento geologico effettuato, non risultano evidenze di fagliazione in superficie, ma sulla base della consultazione del database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) del Servizio Geologico d'Italia-ISPRA, risulta che nel territorio in esame sono presenti faglie attive e capaci, ovvero faglie che possono creare deformazioni in superficie.

Tuttavia possono essere citate quelle più prossime all'area in esame e che potrebbero generare una certa influenza; di seguito l'elenco delle suddette faglie e l'ubicazione è mostrata in **figura 10**:

- 1- Faglia con codice 61607 denominata “Viareggio – Pisa System”
- 2- Faglia con codice 61606 denominata “Viareggio – Pisa System”
- 3- Faglia con codice 61605 denominata “Viareggio – Pisa System”
- 4- Faglia con codice 61604 denominata “Viareggio – Pisa System”



30600 Numero faglia

○ Ubicazione area in esame

Fig. 10 - Ubicazione del sito in esame e delle faglie attive e capaci

6. INDAGINI ESEGUITE

Come detto in premessa, ai fini della caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni presenti nel sito in esame, è stata eseguita la seguente campagna di indagine:

- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- n. 2 analisi geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati di terreno;
- n° 1 prova penetrometrica statica CPTU;
- n° 1 prova sismica Down-Hole.

L'ubicazione di tali prove è riportata nei rispettivi report allegati alla presente relazione, mentre nei paragrafi seguenti si riportano i risultati ottenuti.

6.1. SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO

Per una corretta individuazione dei litotipi formanti il sottosuolo dell'area è stato eseguito n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo; il rilevamento geologico di campagna ed i dati bibliografici hanno integrato le risultanze di tale sondaggio.

Il sondaggio è stato effettuato utilizzando una sonda a rotazione del tipo CMV400, la perforazione è stata realizzata con carotiere del diametro di 101,6 mm e della lunghezza di 3,00 m, utilizzando la minima quantità d'acqua necessaria alla perforazione onde conservare le caratteristiche granulometriche e deposizionali.

La perforazione, inclinata di 90° sull'orizzontale, è stata spinta fino alla profondità massima di 30,00 m dal p.c..

Per la descrizione dei litotipi rinvenuti si rimanda al paragrafo 2.1. della presente relazione mentre per il certificato stratigrafico e la documentazione fotografica si rimanda al report a cura della ditta esecutrice.

6.2 CAMPIONI INDISTURBATI DI TERRENO

Nel corso del sondaggio geognostico sono stati prelevati n° 2 campioni indisturbati di terreno, a profondità variabili lungo la verticale indagata e destinati ad analisi di laboratorio, come di seguito indicato.

- Campione S3-C1: 9,50-10,00 m dal p.c.
- Campione S3-C2: 13,00-13,50 m dal p.c.

Le analisi di laboratorio sono state effettuate dalla società PLP S.r.l., e sui campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- ✓ *Caratteristiche fisiche generali;*
- ✓ *Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;*

Come si evince dai certificati di laboratorio riportati nel report allegato alla presente relazione, i campioni analizzati mostrano le seguenti caratteristiche, riportate in sintesi nella tabella che segue:

Campione	Profondità m	Analisi granulometrica	γ_n g/cm ³	W (%)	E (indice dei vuoti)
S3-C1	9,50-10,00	Sabbia con limo	1,97	20,39	0,63
S3-C2	13,00-13,50	Sabbia limosa	1,91	27,70	0,79

6.3. PROVA PENETROMETRICA C.P.T.U. (Cone Penetration Test piezocone)

Sull'area oggetto di intervento è stata realizzata n°1 prova penetrometrica statica, tipo CPTU, spinta fino alla profondità di 4,74 metri dal p.c..

Tale indagine consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno (2 cm/sec). Lo sforzo per la penetrazione viene applicato per mezzo di un dispositivo di spinta che agisce su di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è collegata la punta. La prova penetrometrica può, in genere, essere eseguita in tutti i tipi di terreni compresi tra argille e sabbie a grana grossa; notevoli difficoltà possono invece aversi nell'attraversamento di livelli di ghiaia o di terreni cementati.

L'esecuzione della prova permette di misurare e registrare, oltre ai parametri di resistenza alla penetrazione q_c ed f_s , anche la pressione interstiziale u nei terreni saturi al di sotto del livello di falda, sia durante l'avanzamento che a penetrometro fermo. La punta definita in questo caso **piezocono**, è dotata di uno o più filtri porosi attraverso i quali la pressione di poro del terreno viene misurata da un trasduttore di pressione elettrico, posizionato all'interno alla punta stessa. È possibile mediante correlazione risalire con una certa approssimazione alla natura dei terreni attraversati ed alle loro caratteristiche geotecniche.

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta da 20 tonnellate che agisce alternativamente sulla batteria di aste piene interne e su quella di aste cave esterne. Le misure di resistenza vengono di norma eseguite ed annotate ogni 20 cm di penetrazione. Fra i vari tipi di punte che solitamente vengono utilizzate si è preferita la punta telescopica o punta Begemann, dotata di un manicotto di frizione (friction yacket) per la misura dell'attrito laterale locale. con le seguenti dimensioni:

- diametro di base del cono 35,7 mm;
- angolo di apertura del cono 60°;
- friction yacket 150 cm².

I certificati rilasciati sono costituiti dai diagrammi di resistenza alla punta, attrito laterale e sovrappressioni interstiziali, acquisiti in campagna; a partire da questi dati è possibile ricavare i dettagli stratigrafici ed i principali parametri dei terreni attraversati, rappresentati da una serie di grafici.

Come si può osservare dal punto di vista stratigrafico i terreni attraversati sono costituiti prevalentemente da sabbie limose e limi sabbiosi, con una permeabilità media di 10^{-7} m/s, una Densità Relativa del 50 % e un angolo di attrito medio di circa 35° .

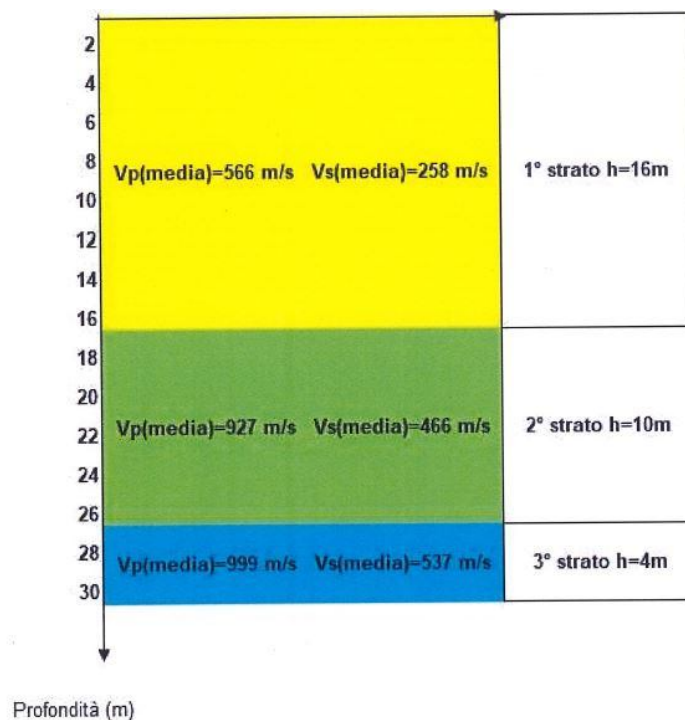
Per i dettagli puntuali si rimanda al report allegato a cura della ditta esecutrice.

6.4. PROVA SISMICA DOWN-HOLE

L'indagine sismica in foro, tipo down-hole, è stata eseguita nel foro di sondaggio S.3 della lunghezza di 30 metri.

Per i dettagli circa la strumentazione utilizzata e la metodologia esecutiva ed interpretativa si rimanda al report allegato.

Dall'analisi dei risultati (tempi/profondità e velocità/profondità) si evince che il sottosuolo investigato può essere suddiviso in 3 sismostrati principali:



- il primo orizzonte, che si estende fino alla profondità di 16 m, ha fatto registrare una velocità delle onde longitudinali di 566 m/s e una velocità delle onde S di 258 m/s;
- il secondo orizzonte, dello spessore di 10 metri, ha fatto registrare una velocità delle onde P di 927 m/s e una velocità delle onde S di 466 m/s;
- infine, il terzo ed ultimo sismostrato, rilevato a partire da 26 m e fino a fondo foro, è caratterizzato da Vp di 999 m/s e Vs di 537 m/s.

6.4.1. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La nuova normativa sismica italiana prevede una classificazione del sito in 5 classi in funzione della velocità delle onde S nei 30 metri di terreno ($V_{s,eq}$). Come prescritto nelle NTC 2018, la classificazione del sottosuolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ definita dall'espressione seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

N = numero di strati

H = profondità del substrato (valori di $V_s > 800$ m/s)

In caso di depositi con profondità del substrato superiore ai 30 metri dal p.c., la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} . Nel caso in esame, gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una $V_{s,eq}$ pari a **330,4 m/sec**, calcolato a partire dal piano di campagna, così come stabilito dal D.M. 17/01/2018; pertanto, il sito in esame risulta caratterizzato da una Categoria di Suolo **C**. Per altre informazioni relative all'indagine sismica si rimanda al report allegato.

Come già riportato precedentemente, il sito in esame ricade in una categoria Topografica **T1**.

7. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Nel rispetto di quanto richiesto dall'Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri n°3274 – 2003 e sue successive modifiche *“deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione limo-argillosa. Nel caso di edifici con fondazioni superficiali, la verifica della suscettibilità a liquefazione può essere omessa se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore ai 15 metri dal piano campagna”*.

Per liquefazione si intende l'insieme dei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o all'accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. I fenomeni di liquefazione dipendono da:

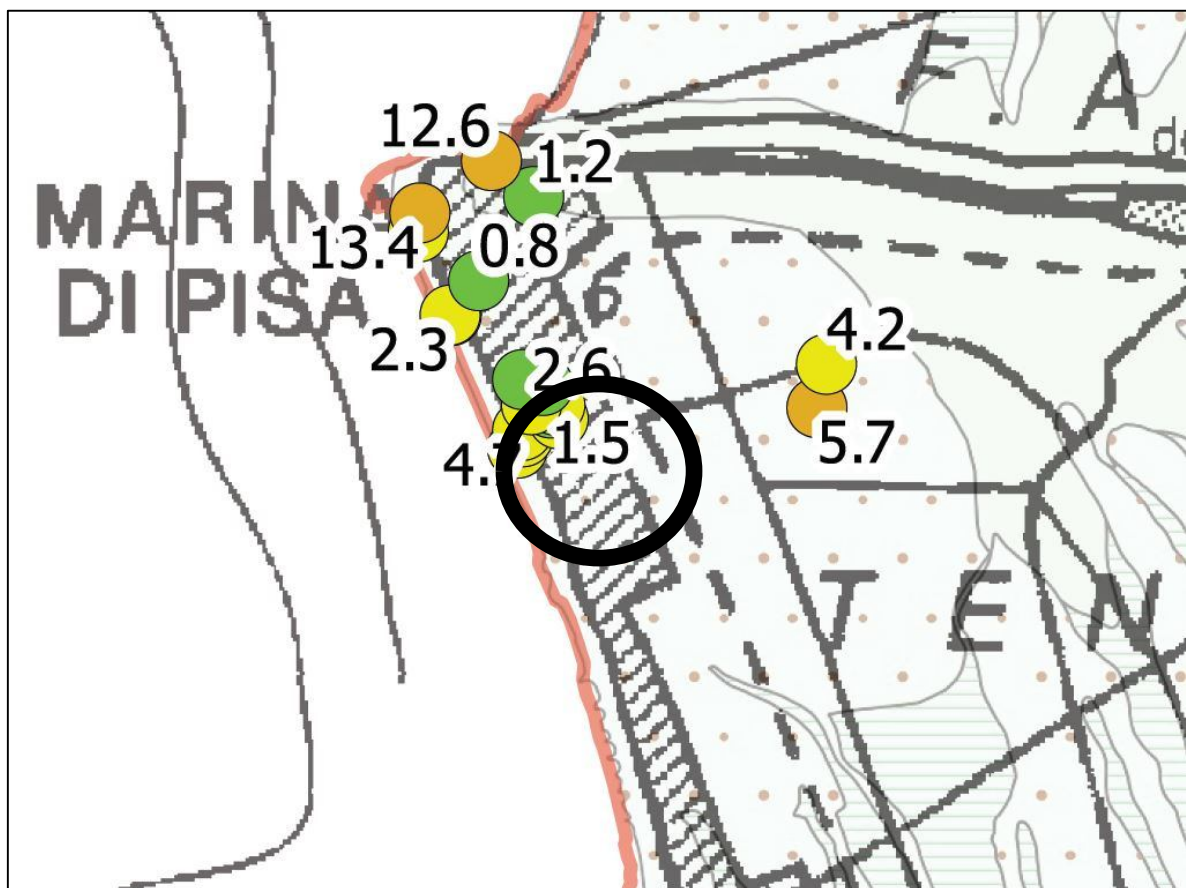
- proprietà geotecniche dei terreni
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata
- genesi e storia geologica dei terreni
- fattori ambientali

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso. I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquifazione.

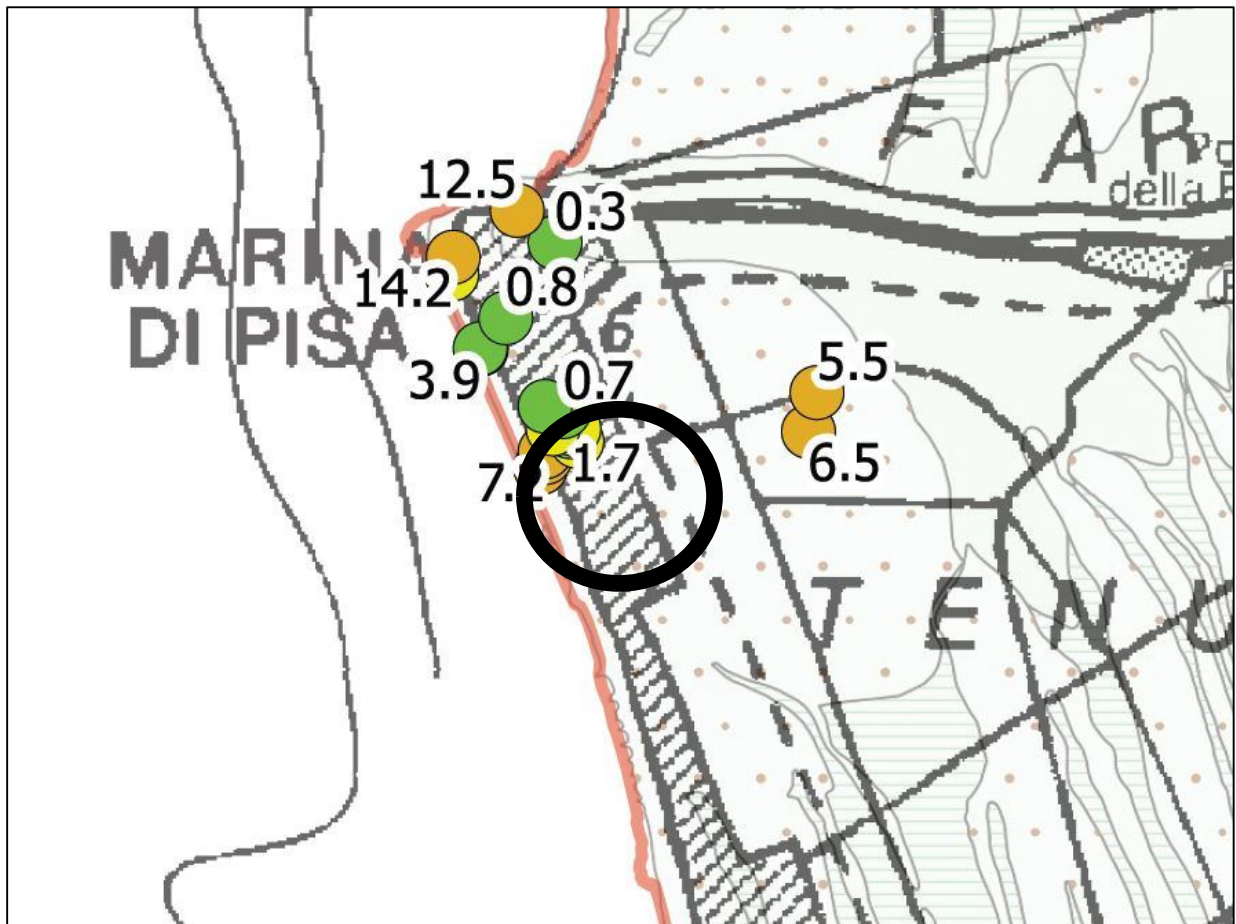
In base alla vigente normativa, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo $M < 5$;
- accelerazioni massime al piano campagna, in assenza di manufatti, $< 0,1 \text{ g}$;
- profondità media stagionale della falda $> 15 \text{ m}$ dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{ciN} > 180$;
- distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati nel TU.

All'uopo è stata realizzata una ricerca bibliografica circa gli studi del fenomeno di liquefazione nella regione Toscana e dalla consultazione del lavoro svolto dall'Università di Pisa (Dipartimento di ingegneria civile ed industriale – Geotecnica) “*Progetto regionale per la verifica a liquefazione dei terreni nell'area della provincia di Pisa e Lucca – Sub progetto PISA*” è emerso che, sulla base dell'indice potenziale di liquefazione (LPI) l'area di studio rientra in una classe di rischio moderata, come si osserva dagli stralci della Carta della classificazione dell'indice di Potenziale di Liquefazione, i cui indici sono stati calcolati sia mediante il metodo Boulanger & Idriss che con il metodo Robertson & Wride.



Metodologia Boulanger & Idriss



Metodologia Robertson & Wride

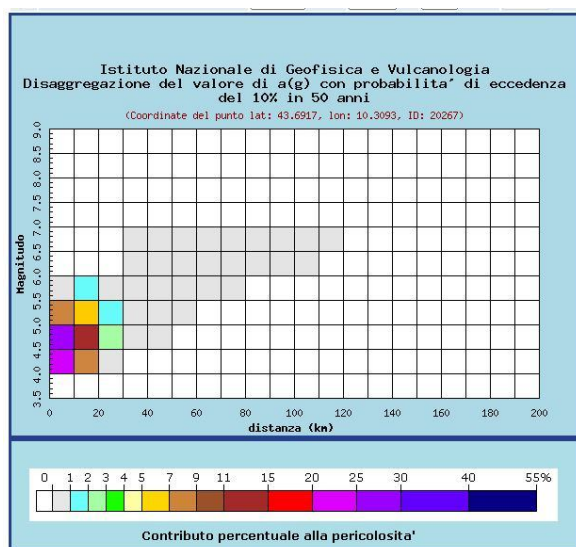


Oltretutto si fa presente che le evidenze storiche non hanno mai segnalato fenomeni particolarmente gravosi di liquefazione nella regione Toscana.

Nel dettaglio, inoltre, relativamente alle condizioni secondo le quali la verifica a liquefazione può essere omessa, si precisa quanto segue:

- è stato individuato il valore di Magnitudo attesa facendo riferimento alla cosiddetta “Disaggregazione” della pericolosità sismica, ovvero quell’operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini, il processo di

disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Dalla suddetta ricerca è emerso che nel comune di Pisa il valore medio di intensità per un terremoto atteso è pari a 4.760 con epicentro ad una distanza di circa 10 km, vedi stralci seguenti;



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.6917, lon: 10.3093, ID: 20267)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	23.700	28.400	8.340	0.349	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	7.830	13.800	6.790	1.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.641	2.320	1.960	0.572	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.194	0.668	0.431	0.194	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.220	0.490	0.473	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.014	0.235	0.363	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.065	0.213	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.074	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.760	10.600	0.880

Calcolo della disaggregazione

- le analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel corso del sondaggio geognostico hanno fatto emergere che la granulometria del terreno in parte è esterna ai fusi granulometrici indicati nel TU (NTC 2018). Detti campioni si possono ritenere significativi e rappresentativi dell'intera verticale indagata (fino alla profondità di 15 metri) in quanto la stratigrafia si presenta omogenea.

Dunque sussistono due circostanze per le quali la verifica del potenziale di liquefazione può essere omessa: eventi sismici attesi di magnitudo $M < 5$ e distribuzione granulometrica in parte esterna ai fusi granulometrici indicati nel TU.

Sulla base di quanto esposto si può affermare che i terreni in esame non presentano rischio di liquefazione.

8. CONCLUSIONI

Sulla base degli elementi acquisiti è possibile trarre le seguenti valutazioni:

- ✓ la litologia dei terreni è riconducibile a depositi sabbiosi dei lidi e delle dune litoranee;
- ✓ dal punto di vista morfologico è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona pianeggiante, caratterizzata dall'assenza di qualsiasi fenomeno di dissesto geomorfologico, difatti non si riscontra la presenza di fenomeni di instabilità in atto o potenziali, pertanto la stessa può ritenersi stabile;
- ✓ per quanto riguarda la falda idrica sotterranea, come emerso nel corso del sondaggio geognostico, essa è risultata molto superficiale infatti è stata individuata a 0,80 m di profondità dal p.c.;
- ✓ per quanto riguarda i rischi idrogeologici, dalla consultazione delle Carte del PRGA (Piano Gestione Rischio Alluvioni – Pericolosità fluviale e Pericolosità costiera) dell'Autorità di Bacino dell'Arno, si evince che il sito in esame ricade in una *Classe di pericolosità fluviale Bassa – P1* e non ricade in nessun'area di Pericolosità costiera;
- ✓ dal punto di vista sismico il territorio in esame è stato classificato come appartenente alla Zona sismica 3 cui competono valori di a_g variabili tra 0,05 e 0,15 g. Inoltre, i risultati dell'indagine sismica eseguita hanno permesso di definire che la successione dei terreni indagati appartiene alla Categoria di Suolo C, come definita dal D.M. Min. LL. PP. 17/01/2018;
- ✓ vista la morfologia l'area può essere considerata con un Categoria Topografia T1;
- ✓ Infine, i terreni investigati non sono soggetti a liquefazione.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

Il Geologo

Dott. Antonio D'Errico

