



GEOTECNICA IDROGEOLOGIA
GEOLOGIA AMBIENTALE

Via G. Pajetta, 48
56030 Calcinaia (PI)
tel./fax: 0587-489181

af.geo@virgilio.it

COMUNE DI PISA
PROVINCIA DI PISA

PIANO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA PER
NUOVO FABBRICATO PER CIVILE ABITAZIONE
IN TIRRENIA, VIA DEI GELSI ANGOLO VIA DEI SALICI.

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA':

INTEGRAZIONE AI SENSI DEL
DPGR N. 5/R DEL 30.01.2020

GIUGNO 2020

COMMITTENTE:

Turini Matteo

SOMMARIO

PREMESSA	1
I. INDAGINI INTEGRATIVE.....	1
II. VERIFICHE A LIQUEFAZIONE	9
III. CONCLUSIONI.....	10

ALLEGATI

- Ubicazione indagine sismica HVSR
- Risultati indagini di riferimento: geofisica – report indagine HVSR
- Risultati verifica liquefazione
- Carta della pericolosità geologica ai sensi del DPGR n. 5/R del 30.01.2020, scala 1:5.000
- Carta della pericolosità da alluvioni ai sensi del DPGR n. 5/R del 30.01.2020, scala 1:5.000
- Carta della pericolosità sismica ai sensi del DPGR n. 5/R del 30.01.2020, scala 1:5.000
- Documentazione fotografica

PREMESSA

Il presente documento è riferito al PIANO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA, per un NUOVO FABBRICATO PER CIVILE ABITAZIONE in Comune di Pisa, Località Tirrenia, Via dei Gelsi angolo Via dei Salici.

Nello specifico costituisce INTEGRAZIONE, ai sensi del DPGR N. 5/R DEL 30.01.2020, alla precedente relazione geologica di fattibilità generale, a firma dello scrivente e datata al Novembre 2019, a seguito della specifica richiesta del Comune di Pisa, in data 29/5/2020, prot. 50538.

Rimandando al precedente documento per eventuali dettagli sul quadro conoscitivo o le indagini effettuate, ai sensi della norma di riferimento sono definite le CLASSI DI PERICOLOSITÀ e i CRITERI GENERALI DI FATTIBILITÀ.

I. INDAGINI INTEGRATIVE

A integrazione delle indagini già eseguite (e riportate nella precedente relazione), è stata eseguita una acquisizione in sismica passiva (HVSR con singola stazione).

GENERALITÀ SULLATECNICA HVSR

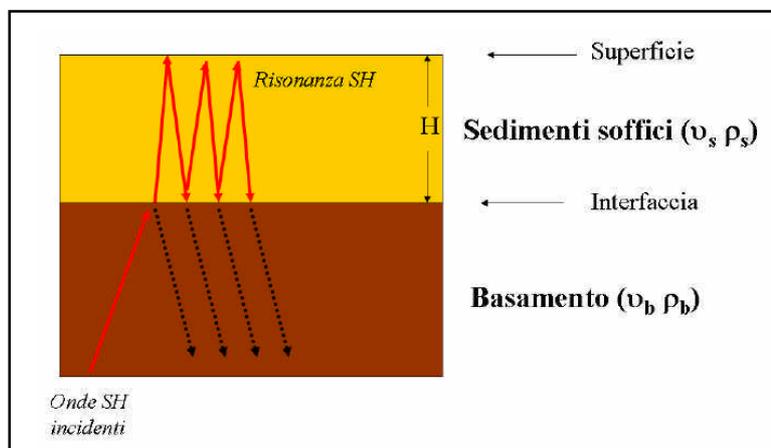
La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo del rumore sono rappresentate

sia onde di volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi



SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.

L'equazione della risonanza è la seguente:

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

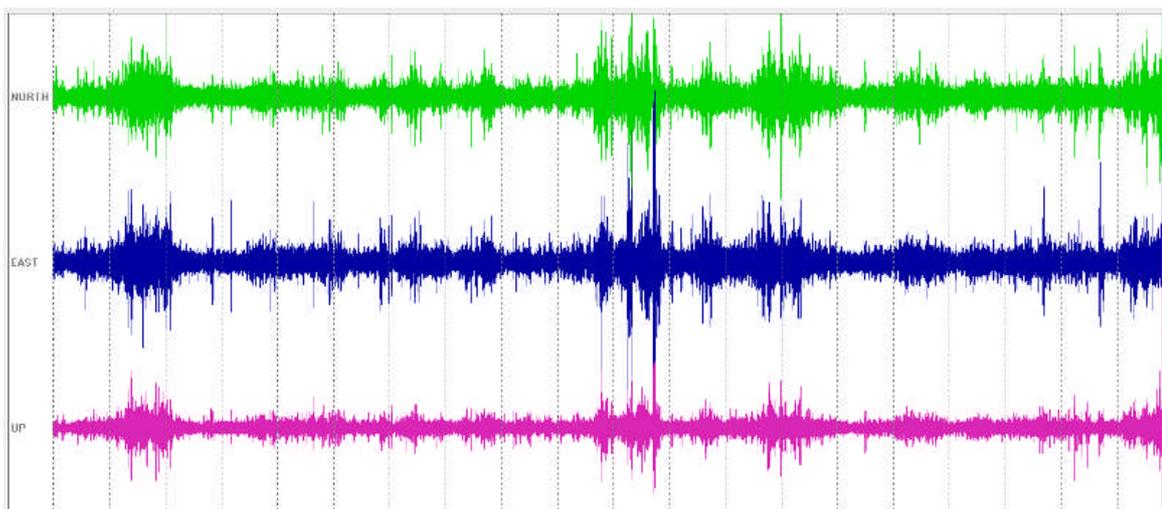
dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un tromografo, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati

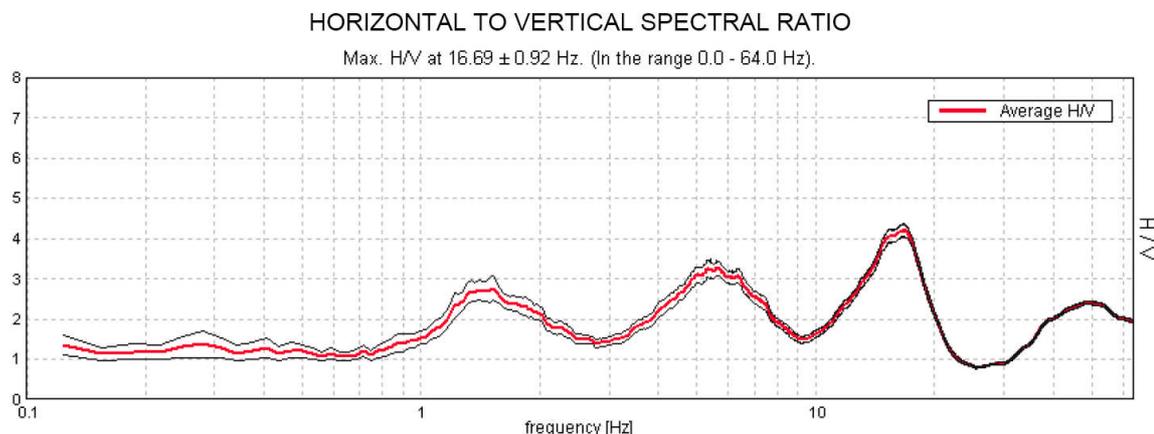
su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V.

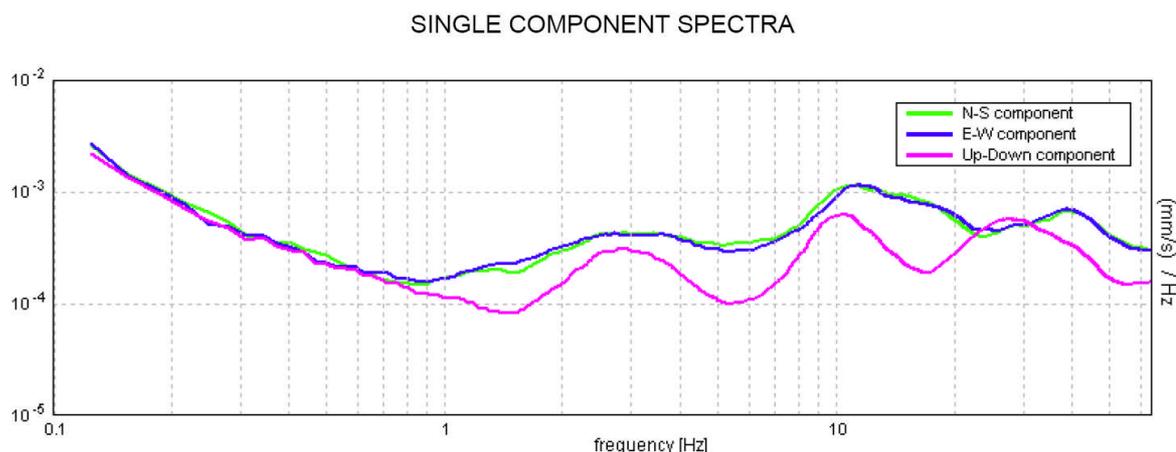
Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



In un mezzo senza contrasti di impedenza (es. un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad artefatti e transienti, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le

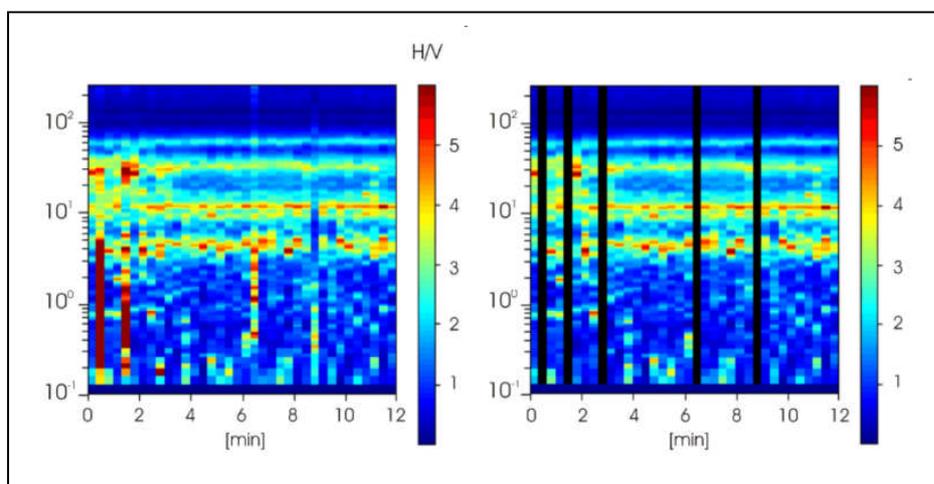
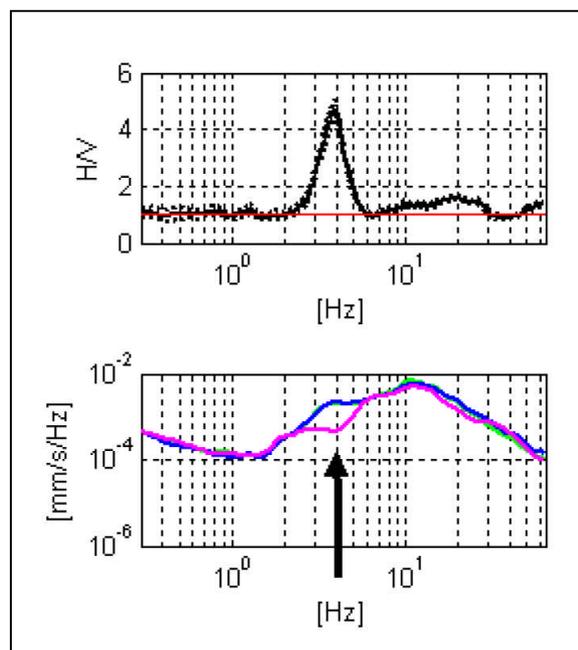
3 componenti del moto sono di origine antropica.

L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno smoothing e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.

Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e

non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali perturbazioni siano relative ad artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la stabilità direzionale del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



ATTREZZATURE E METODOLOGIE IMPIEGATE

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Micromed Geophysics, espressamente progettato per misure di microtremore.



TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia. L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale a un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma Grilla fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi HVSR anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

E' stata eseguita l'acquisizione su una stazione di misura (ubicata secondo quanto riportato in allegato) in cui è stata effettuata una rilevazione del microtremore

sismico ambientale con le seguenti modalità:

- ❖ durata dell'acquisizione pari a 20';
- ❖ suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20";
- ❖ frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- lisciatura triangolare al 5%;
- analisi temporale sull'intero tracciato in sottofinestre di 20 s;
- analisi direzionale con step di 5°.

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Le misure sono soggette alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato secondo i criteri del protocollo SESAME, automaticamente inserito nei singoli report, secondo quanto accennato al paragrafo precedente. Nell'interpretare la tabella SESAME di significatività dei picchi H/V bisogna considerare che ogni sito può generare più di una risonanza, e che non esiste una risonanza fondamentale in assoluto.

- ❖ I primi 3 criteri della tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. Se così non fosse, tipicamente è necessario rianalizzare la registrazione aumentando il parametro WINDOW SIZE.
- ❖ I secondi 6 criteri della tabella dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile (preferibilmente almeno 5 su 6) ma si ricordi che eventuali NO su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male ma implicano che non ci sono picchi significativi. Ad esempio una registrazione su

roccia "sana" darebbe NO su tutti questi criteri.

Un'ulteriore classificazione dei risultati può essere effettuata tenendo conto dei criteri adottati nello studio di "Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana" a cura del Dipartimento della Protezione Civile, e finalizzati a una valutazione più generale, e più restrittiva, della qualità del dato acquisito, secondo i seguenti parametri:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro
- isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro
- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi
- plausibilità fisica del picco
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri SESAME)
- durata della misura.

Le misure sono classificabili:

- in CLASSE A di qualità quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri SESAME per assenza di picchi significativi;
- in CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;
- in CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell'ambito della lunghezza d'onda di interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono poi definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

In allegato sono riportati i grafici H/V relativi alla stazione di misura.

Le misure, ricadenti in classe B1, evidenziano un picco a bassissima frequenza, di significato stratigrafico, associato a una importante profondità, sicuramente maggiore dei 200 m.

II. VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento tellurico nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre (fluido interstiziale) sottoposte all'accelerazione sismica, che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità. Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente.

I terreni "ideali" per la liquefazione sono i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati; in realtà depositi soggetti a liquefazione sono in generale sabbie e limi la cui deposizione è avvenuta nell'Olocene (si tratta cioè di terreni generalmente non più antichi di 10.000 anni) a granulometria uniforme (ben classati) che si trovano in strati con spessori nell'ordine dei metri e in condizioni sature.

In allegato è riportata la verifica alla liquefazione effettuata, sulla base delle risultanze della prova CPT, tramite il foglio di calcolo LiquefCPT di Guido Galeotti,

basato su Robertson & Fear (1990), Robertson (1990), Seed & Idriss (1971) e Iwasaki et al. (1978), assumendo cautelativamente una falda acquifera a – 1,5 m dal p.c..

Si ricava un Potenziale di Liquefazione secondo Iwasaki $PL = 0,8$, e conseguentemente un RISCHIO BASSO.

III. CONCLUSIONI

Sulla scorta del generale quadro conoscitivo si definiscono le classi di pericolosità e i criteri generali di fattibilità per il piano attuativo in oggetto.

Si definiscono le seguenti CLASSI DI PERICOLOSITÀ.

❖ ASPETTI GEOLOGICI:

- Classe G.2 (Pericolosità geologica media): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.

❖ ASPETTI IDRAULICI:

- Classe P1 (Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità), "... come classificate negli atti di pianificazione di bacino di attuazione del D.Lgs. 49/2010 ...": aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs. 49/2010 come a PERICOLOSITÀ PER ALLUVIONI BASSA, e cioè "... aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiori a 200 anni ...".

❖ ASPETTI SISMICI:

- Classe S.2 (Pericolosità sismica locale media): zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza

fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4; zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.

Di seguito si definiscono poi i CRITERI GENERALI DI FATTIBILITÀ.

❖ ASPETTI GEOLOGICI

L'indagine geognostica eseguita permette di verificare che oltre lo spessore superficiale di terreno vegetale e/o alterato/rimaneggiato, si ha un livello limo-argilloso-sabbioso fine scarsamente consistente, e più sotto uno strato limo-sabbioso fine e argilloso di addensamento medio-basso.

A partire dai 2,2 m di profondità si rinvengono i litotipi più francamente sabbiosi, da mediamente a discretamente addensati.

Un controllo nel perforo della prova con sonda freaticometrica manuale ne ha rilevato la chiusura a - 1,3 m dal p.c.; il perforo è risultato asciutto.

In fase esecutiva si dovrà provvedere alla definizione del modello geologico e geotecnico di dettaglio e alle appropriate valutazioni geotecniche, oltre ad adeguate valutazioni circa i rapporti con la falda.

❖ ASPETTI IDRAULICI

Per questo aspetto non si hanno limiti o prescrizioni, non ricorrendo alcuna condizione prevista dalla L.R. 41/2018.

❖ ASPETTI SISMICI

Per questo aspetto, ai sensi del DPGR n. 5/R, punto 3.6.5, "... non è necessario indicare condizioni di attuazione per la fase attuativa o progettuale degli interventi ...".

Calcinaia, Giugno

Alessandro Fontanelli
Geologo



UBICAZIONE INDAGINE SISMICA HVSR
SCALA 1:500

LEGENDA

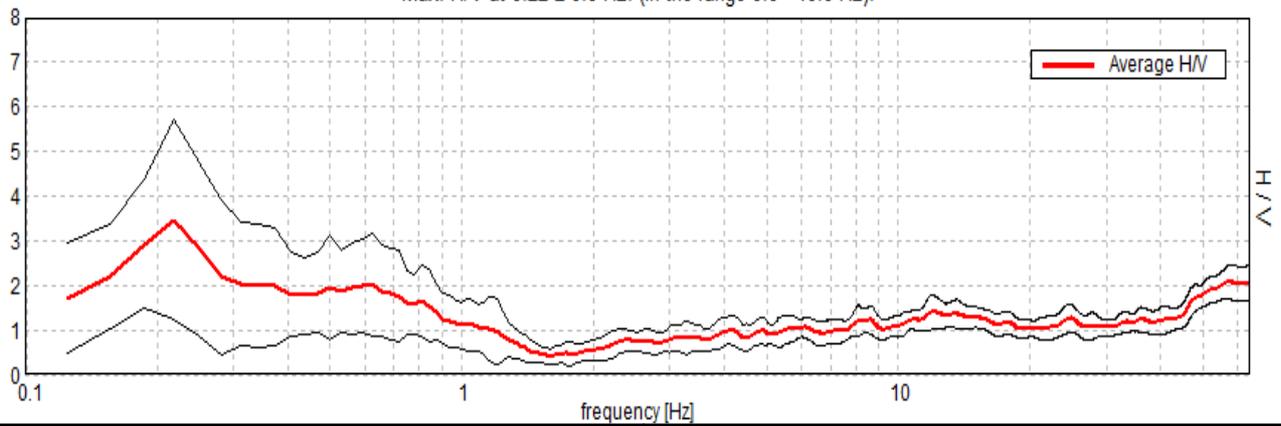
-  Terreno in oggetto
-  Ubicazione verticale HVSR

REPORT INDAGINE HVSR - PISA, LOC. TIRRENIA - SIG. TURINI MATTEO

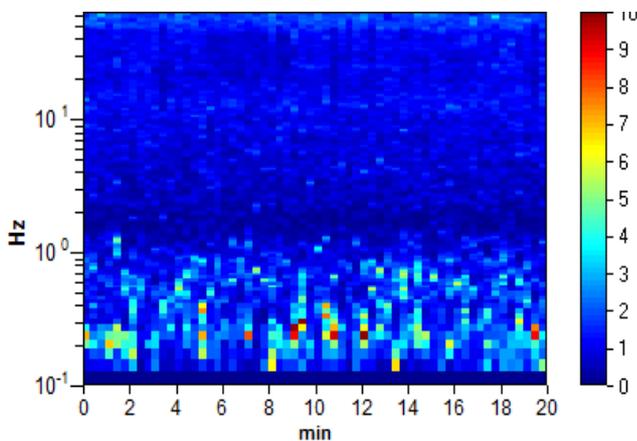
Strumento: TRZ-0158/01-11
 Inizio registrazione: 05/06/20 17:25:28 Fine registrazione: 05/06/20 17:45:27
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 5%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

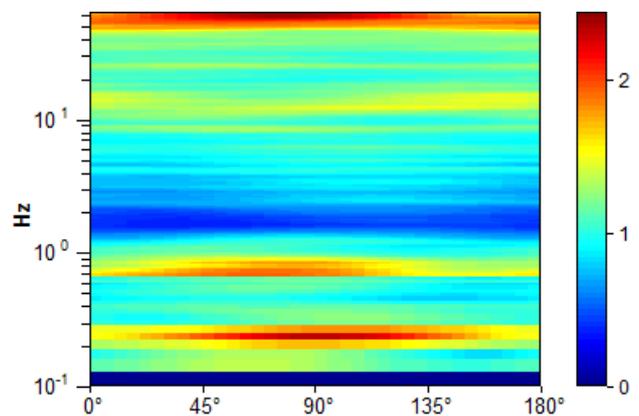
Max. H/V at 0.22 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



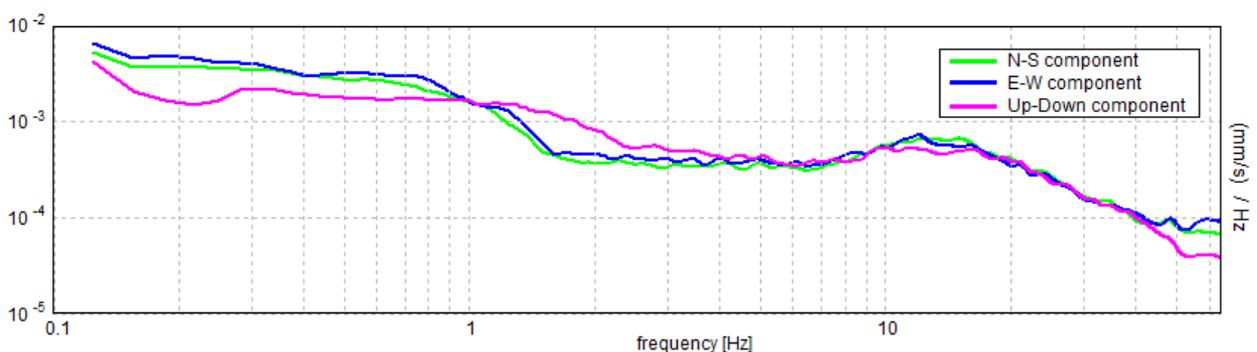
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V at 0.22 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

$f_0 > 10 / L_w$	0.22 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	262.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 12	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.125 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.47 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00673 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00147 < 0.04375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.1114 < 2.5$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

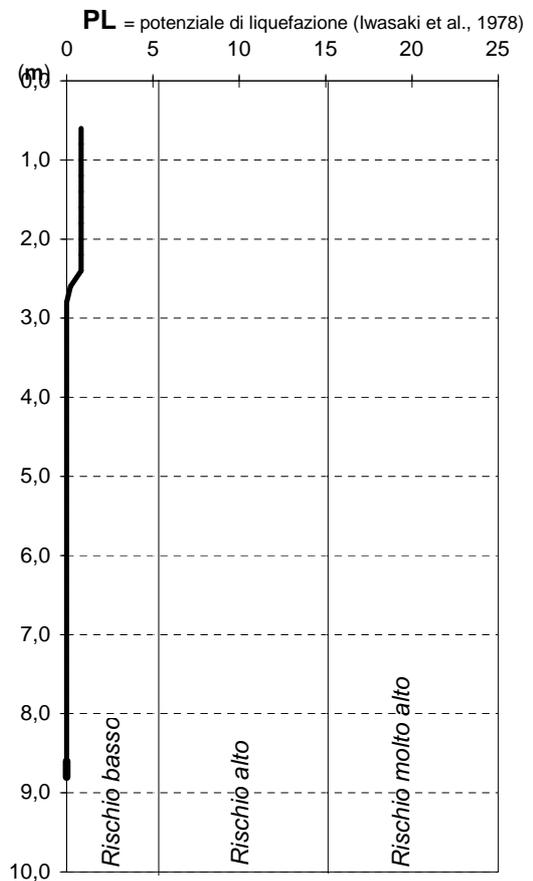
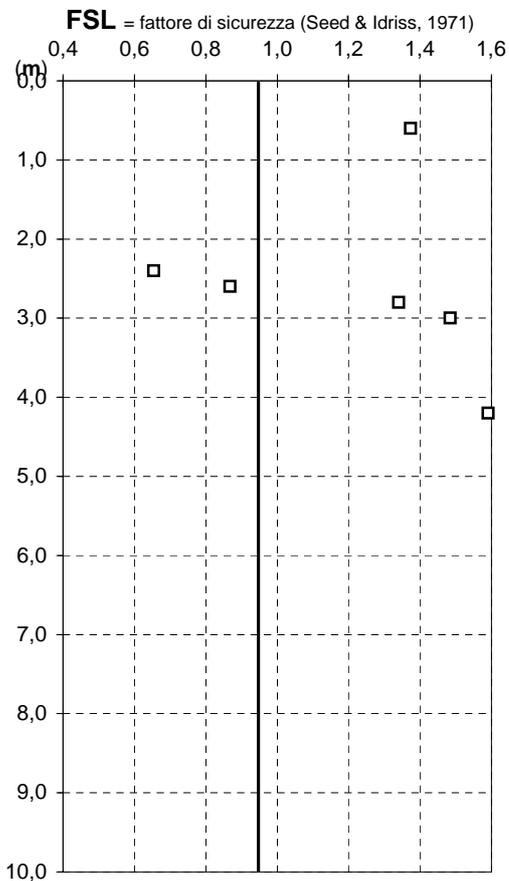
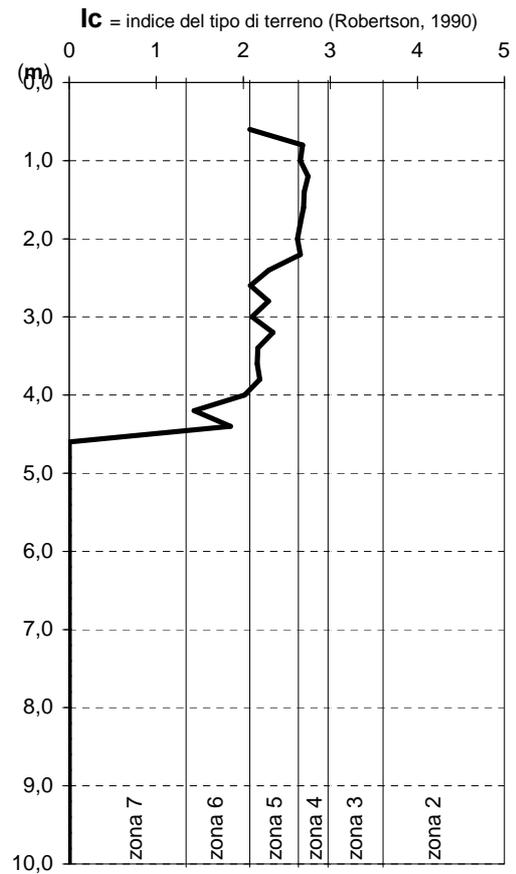
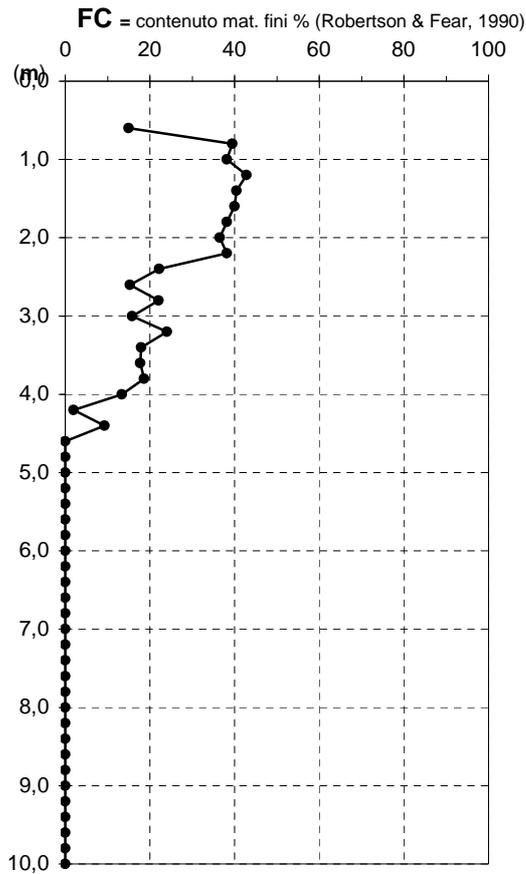
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

Luogo: Tirrenia (PI)
CPT n. n. 1

Magnitudo = 7,0
 $a_{max} = 0,25$

MWF = 0,937
 $H_2O (m) = 1,5$



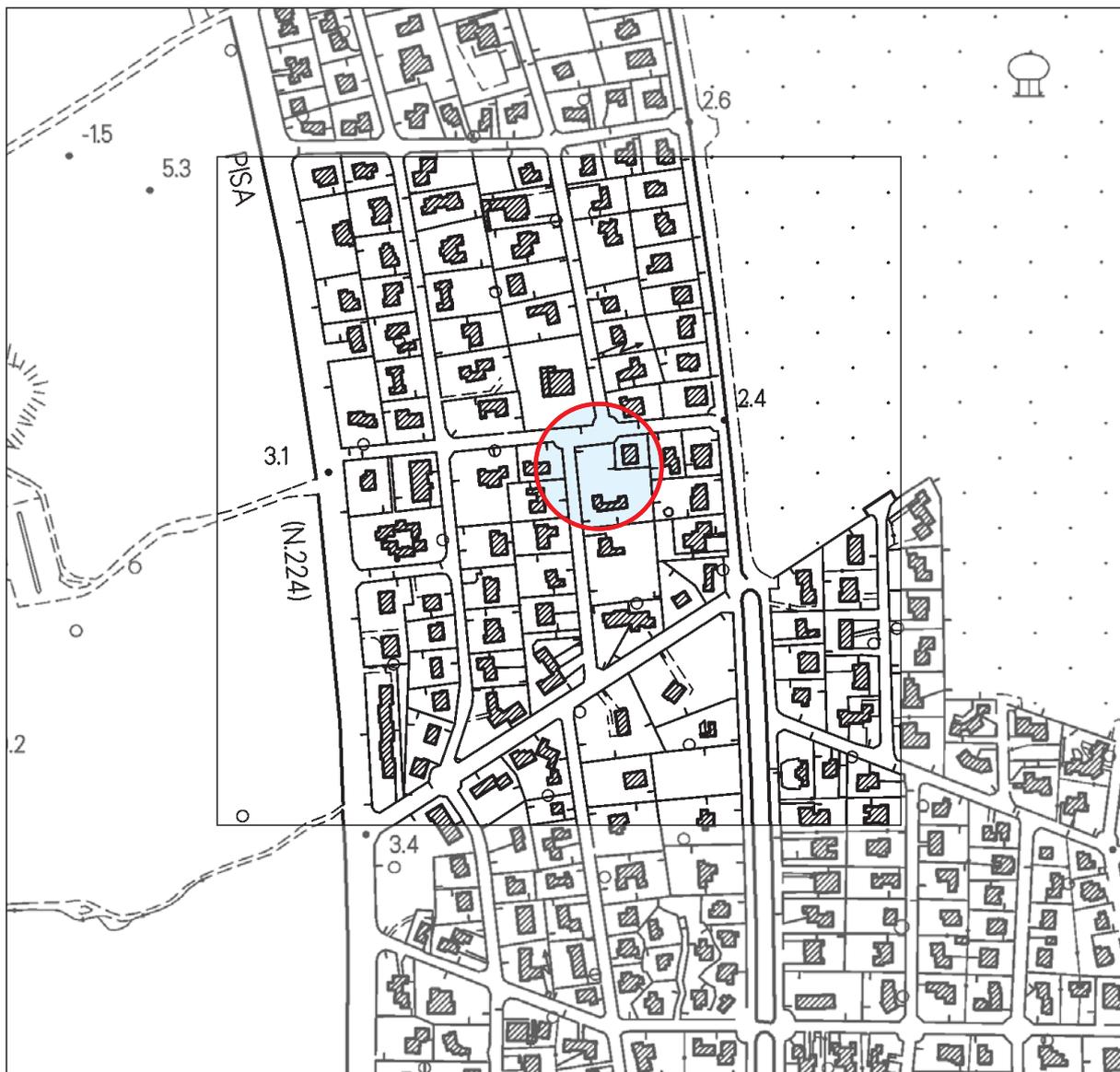
Potenziale di liquefazione $PL = \sum F(z) w(z) \Delta(z) = 0,8$
(rischio basso)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA
AI SENSI DEL D.P.G.R. 5/R DEL 30.01.2020
SCALA 1:5.000

LEGENDA

-  Ubicazione area in studio
-  G.2 - Pericolosità geologica media



CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI
 AI SENSI DEL D.P.G.R. 53/R DEL 30.01.2020
 SCALA 1:5.000

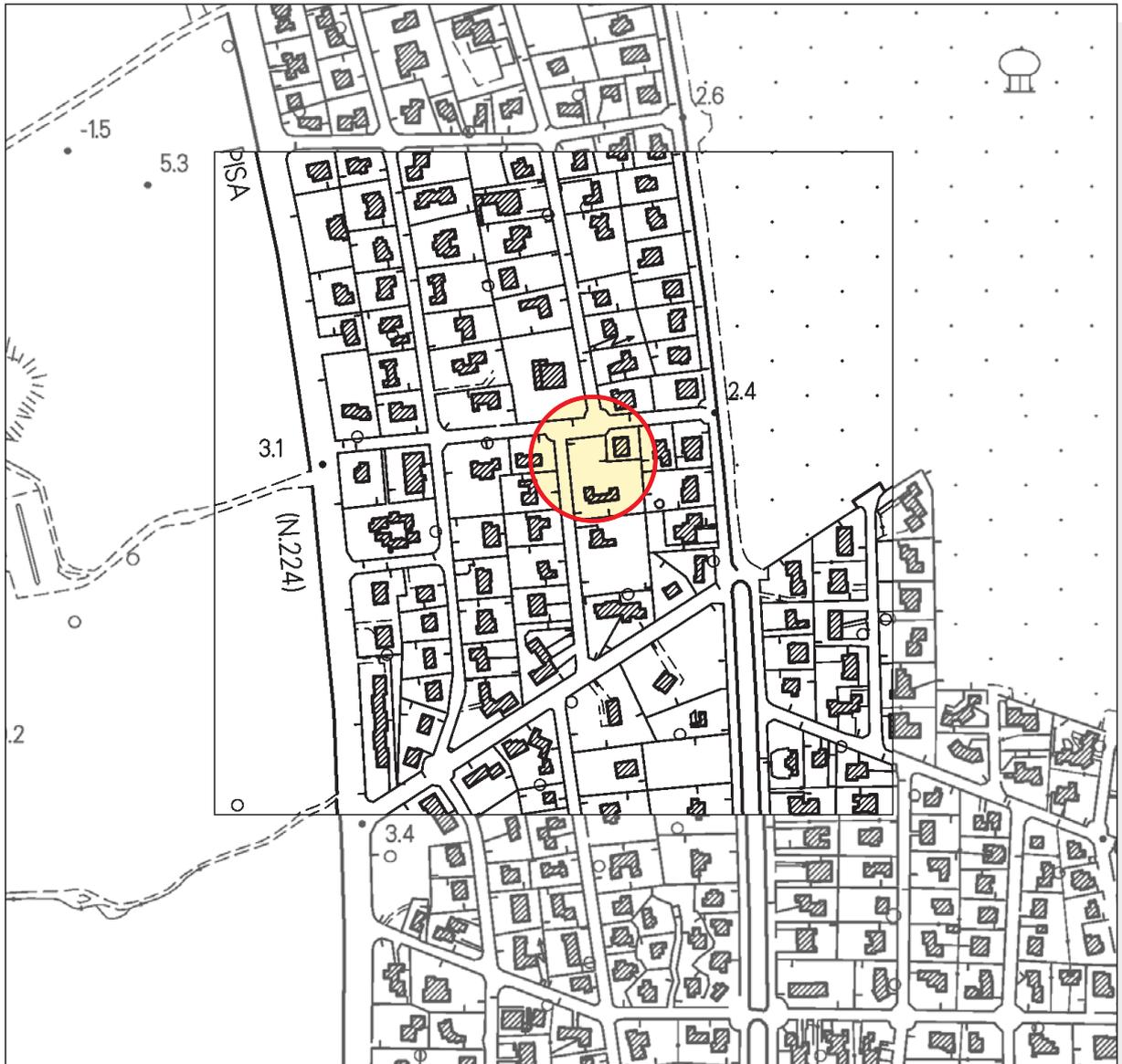
LEGENDA



Ubicazione area in studio



P1 - Aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (o a pericolosità bassa)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
AI SENSI DEL D.P.G.R. 53/R DEL 30.01.2020
SCALA 1:5.000

LEGENDA



Ubicazione area in studio



S.2 - Pericolosità sismica locale media



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA MISURE SISMICA PASSIVA