

# PIANO ATTUATIVO

## San Biagio-Via delle Torri Scheda Norma 7.8

COMUNE DI PISA

PROPRIETARIO



Via degli Uffizi 1 - 56100 Pisa (PI)

EDILBRUN S.A.S. ED ALTRI

STAFF DI PROGETTAZIONE

ARCHITETTONICO:

Ing. Arch. Branko Zrnica

STRUTTURALE:

Ing. Arch. Branko Zrnica

IMPIANTI ELETTRICI:

Ing. Luca Serri

IMPIANTI MECCANICI:

Ing. Luca Serri



ATIproject  
Via G. B. Picotti 12/14, 56124 Pisa  
Tel +39.050.57.84.60  
Fax +39.050.38.69.084  
P.IVA 01991420504

DATI DI PROGETTO

DATA	N° PROGETTO	NOME PROGETTO
Maggio 2020	1305-19	Piano Attuativo San Biagio - Via delle Torri

REVISIONI

N°	MOTIVAZIONE	DATA
00	Prima Emissione	19/05/2020
02	Integrazione	23/02/2020

DOCUMENTO

Copyright © by ATIproject

STATO DI PROGETTAZIONE

Relazione geologica

Codice Elaborato:

1305\_P\_00\_SP\_GE00\_D\_18\_000-00\_00\_02

Scala:

-

1305	P	00	SP	GE	00	D	18	000	00	00	02
<small>CODICE LAVORO</small>	<small>LIVELLO PROGETTAZIONE</small>	<small>EDIFICIO PROGETTAZIONE</small>	<small>STATO PROGETTAZIONE</small>	<small>DISCIPLINA</small>	<small>SOTTODISCIPLINA</small>	<small>CATEGORIA DOCUMENTO</small>	<small>TIPO DOCUMENTO</small>	<small>PIANO</small>	<small>SETTORE</small>	<small>PROGR</small>	<small>REV</small>



GEOPIÙ Studio Associato di Geologia  
Via G. Byron, 20 - 56127 PISA  
Tel/Fax 050-576 698  
geopiu@inwind.it  
<http://spazioweb.inwind.it/geopiu/>  
P.IVA: 01566420509

---

COMUNE DI PISA

PROVINCIA DI PISA

PIANO ATTUATIVO RELATIVO ALLA SCHEDA NORMA N.7.8  
“SAN BIAGIO – VIA DELLE TORRI”  
SITO IN VIA DELLE TORRI  
*Committente: ATIProject srl*

RELAZIONE GEOLOGICA  
adeguata al DPRG 5/R/2020

Gennaio 2021

Dott. Geol. David Daini



## INDICE

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2. PREMESSA.....	3
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO DEL COMPLESSO EDILIZIO E OBIETTIVI DI PROGETTO.....	4
4. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI.....	5
5. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	6
6. CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA.....	8
7. L'AREA DI INTERVENTO NELLO STRUMENTO URBANISTICO VIGENTE.....	14
7.1 Carta geologica - geomorfologica.....	14
7.2 Carta idrogeologica.....	14
7.3 Carta litotecnica.....	14
7.4 Carta della Pericolosità Geologica-Geomorfologica .....	14
7.5 Carta della Pericolosità Sismica.....	15
7.6 Carta delle M.O.P.S.....	15
7.7 Carta della Pericolosità Idraulica.....	15
7.8 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche.....	15
8. L'AREA DI INTERVENTO NEL PGRA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE.....	15
9. L'AREA DI INTERVENTO NEL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI PISA.....	16
10. VALUTAZIONE ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE....	17
11. VALUTAZIONE DEL RETICOLO IDRAULICO.....	18
12. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' DELL'AREA SOGGETTA A PIANO ATTUATIVO, AI SENSI DEL D.P.G.R. N. 5/R DEL 30/01/2020.....	19
13. FIGURE E ALLEGATI.....	21

## 1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**Decreto ministeriale 17.01.2018:** Ministero delle Infrastrutture. Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni - Testo Unico delle Costruzioni.

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.

**Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture -** Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).

**Eurocodice 7.1 (1997):** Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI.

**Eurocodice 7.2 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

**Eurocodice 7.3 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

**L.R. 65/2014 Norme per il governo del territorio.**

**D.P.G.R. n. 5/R (2020):** "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche."

**D.P.G.R. n. 36/R (2009):** Regolamento di attuazione dell'art.117, commi 1 e 2 della L.R. 03/01/2005 n.1 (Norme per il governo del territorio).

**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale DPCM 27 ottobre 2016** approvazione Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale.

**L.R. 41/2018** Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n.49 (attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni).

## 2. PREMESSA

Il presente documento è stato redatto a seguito della richiesta da parte dell'Amministrazione Comunale di adeguare la precedente relazione geologica alla nuova normativa regionale entrata in vigore e cioè il DPGR 5/R del 30 Gennaio 2020 "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche", nonché al recente Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Pisa e Cascina, adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020. Pertanto nel prosieguo illustreremo gli aggiornamenti apportati al *Piano Attuativo relativo alla scheda norma n.7.8 "San Biagio – Via delle Torri" del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa*, posto in via delle Torri nel Comune di Pisa (fig. 1).

Così si è proceduto, limitatamente all'area in studio (fig. 1), alla revisione del precedente elaborato, facendo riferimento, a livello di quadro conoscitivo disponibile all'Aggiornamento del QC del RU, ai sensi dell'art.21 della L.R. n.65/2014 - "Indagini geologiche", conformi al DPGR 53/R del 2011, approvato con Delibera di C.C. n.3 del 28/01/2020, agli studi geologici eseguiti a supporto del Piano Strutturale Intercomunale (regime di salvaguardia) in ottemperanza al DPGR 53/R del 2011, dei Comuni di Pisa e Cascina ai sensi degli articoli 23, 92 e 94 della L.R. 65/2014 e s.m.i., adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020, agli studi effettuati per la realizzazione del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa e del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Nello specifico il presente studio è stato realizzato ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale n.5/R del 30 Gennaio 2020 "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche", del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, approvato con il D.P.C.M. 27 ottobre 2016, della D.C.R.T. n.37 del 27 marzo 2015 di approvazione del nuovo Piano di Indirizzo Territoriale (P.I.T.) della Regione Toscana, della D.C.P. n.100 del 27/07/06 di approvazione del nuovo Piano Territoriale di Coordinamento (P.T.C.) della Provincia di Pisa e della L.R. 41/2018 Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n.49.

In ottemperanza a quanto disposto dalla normativa vigente, sono state verificate le condizioni di pericolosità del sito sulla base delle indicazioni fornite dalla pianificazione comunale e sovraordinata, infine sono stati accertati i requisiti di fattibilità della trasformazione.

Si precisa che in fase di progettazione esecutiva dovranno essere previste indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche conformi alla normativa vigente in materia di interventi edilizi in zone sismiche (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 36/R del 09/07/2009), atte ad approfondire le attuali conoscenze geologiche, geotecniche e geofisiche del comparto in oggetto al fine di permettere allo strutturista di effettuare le scelte progettuali più adeguate.

### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO DEL COMPLESSO EDILIZIO E OBIETTIVI DI PROGETTO

Il piano attuativo in oggetto fa riferimento all'area individuata dalla scheda norma 7.8 San Biagio – Via delle Torri. La scheda è stata introdotta dalla variante approvata con delibera di C.C. n.43 del 28.07.2001 e classificata nell'ambito Q2. L'area è classificata come Zona Omogenea C secondo il D.M. 1444/68.

Il lotto si trova in una posizione prospiciente la ex fattoria Benelli di Via delle Torri e non è stato interessato dalle trasformazioni urbanistiche che hanno riguardato invece le aree appena prossime. L'area urbana è caratterizzata da interventi di edilizia economica e popolare con l'unica eccezione appunto della fattoria Benelli, testimonianza della precedente edilizia rurale.

Il Piano Attuativo prevede un nuovo impianto destinato a edilizia residenziale privata e opere di urbanizzazione primaria che includono viabilità, verde pubblico e parcheggi.

Il quartiere di riferimento è quello di Cisanello, immediata periferia Est di Pisa che ha subito un notevole sviluppo residenziale e di servizi. Il lotto è accessibile dalla Via delle Torri a Est e dalla Via Basilicata a Nord. Sono presenti edifici di pregio storico-architettonico posizionati lungo la Via delle Torri, incluso l'edificio confinante con il lotto.

"Catastalmente l'area inclusa nella scheda norma è individuata al foglio di mappa n°34 del Comune di Pisa, particelle n°1080, 1081, 1163, 1162 di proprietà di EDILBRUN & C S.A.S. La particella catastale n°1162, inizialmente non presente nel perimetro individuato dalla Scheda Norma è stata successivamente ricompresa attraverso Variante al Regolamento Urbanistico. Tale accorpamento di mq 150 della particella 1162 non va comunque in alcun modo a modificare gli indici previsti da Scheda Norma aggiungendosi all'area da destinarsi all'uso pubblico (verde e parcheggio) "

Il dimensionamento di progetto contenuto nella scheda norma prevede il 30% e il 70% della superficie totale da destinarsi a residenziale e pubblico rispettivamente. Sono indicate le distanze minime di 5 metri e 10 metri per il lato Sud e l'altezza massima di 7,50 ml. Il progetto sviluppa tutta

la Superficie Utile Lorda a disposizione a piano terreno; la scheda norma dà la possibilità di realizzare interrati o seminterrati da destinarsi a parcheggi e due piani fuori terra che non sono previsti dal progetto.

La tipologia prevista dal progetto è quella delle case a schiera.

<b>Dimensionamento da scheda norma</b>		
<b>Destinazioni</b>	<b>Scheda Norma</b>	<b>Progetto</b>
Superficie area intervento	5300 mq	5558 mq
Area residenziale 30% St	1600 mq	1772 mq
Area destinata a pubblico 70% St	3700 mq	3786 mq
<i>Parcheggio 19%</i>	700 mq	719
<i>Verde pubblico 81%</i>	3000 mq	3066
S.U.L. 10% St	530 mq	521
Rc 10% St	530 mq	521
Ifs Slu/Sf	0.35	0.30
Piani fuori terra max	2	1
Altezza max	7.50 m	
Distanze minime dai confini	5 m; 10 m (lato Sud)	rispettata

Sono rispettate inoltre le prescrizioni sugli spazi aperti previste sempre dalla scheda norma. Il parcheggio a raso e i percorsi di uso pubblico pedonali e ciclabili sono alberati e le pavimentazioni, escluse quelle carrabili, sono in autobloccanti e materiali lapidei.

<b>Prescrizioni sugli spazi aperti</b>		
<b>Destinazioni</b>	<b>Scheda Norma</b>	<b>Progetto</b>
Aree scoperte di pertinenza della residenza pavimentate max 30%	480 mq	375 mq
Aree a uso pubblico pavimentate max 25%	1600 mq	1890 mq
Area del parcheggio pubblico destinata a verde 15%	107 mq	188 mq

Dal punto di vista morfologico, il terreno interessato dalla proposta di Piano Attuativo, risulta ubicato in zona pianeggiante, alla quota altimetrica media di circa 3.60 m s.l.m. (fonte Regione Toscana – SITA: Cartoteca).

Il reticolo idraulico principale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Arno che defluisce circa 400 m a Sud-Ovest.

Il reticolo idraulico minore vede la presenza nelle vicinanze dell'area investigata del Fosso dei Sei Comuni. Nasce immediatamente a Nord dell'Ospedale di Cisanello e raccoglie le acque meteoriche e i reflui non trattati, provenienti anche dall'Ospedale, facendoli convogliare nel "Fosso Marmigliaio".

Il resto del reticolo idrografico minore risulta per lo più obliterato dall'urbanizzazione presente.

#### 4. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

La superficie oggetto della presente indagine è ubicata nella zona residenziale compresa fra Via San Pio da Pietrelcina a Est, Via di Cisanello a Nord e il Fiume Arno a Sud, in Via delle Torri, alla quota altimetrica media di circa 3.60 m s.l.m. (fonte Regione Toscana – SITA:

Cartoteca), a distanza di circa 400 m dal Fiume Arno che defluisce a Sud-Ovest con andamento meandriforme.

La Carta geologica (tavola QG.01), redatta a supporto del P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina, adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020, (raffigurata in fig. 2), evidenzia come l'area di interesse sia collocata nel *territorio urbanizzato che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno*.

A Nord e a Sud della zona di intervento sono presenti i *Depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi (Olocene)*. Si tratta di depositi prevalentemente limosi e argillosi al cui interno sono più o meno frequenti intercalazioni sabbiose.

Le ripetute esondazioni verificatesi nel passato nella pianura di Pisa, depositavano la frazione limosa meno fine prevalentemente nelle aree poste in prossimità del corso fluviale dell'Arno. I limi si ritrovano infatti nella zona di Barbaricina, della Vettola, di S. Giovanni al Gatano, ed inoltre nelle zone di Pisa sud, di S. Giusto, di S. Ermete, e di Ospedaletto.

Questi depositi si trovano anche in località Le Rene e rappresentano anche in questa località un sedimento di esondazione fluviale che potrebbe essere stato deposto da un antico corso del fiume oggi abbandonato.

Le zone il cui substrato è costituito da questi terreni sono leggermente più rilevate rispetto alle ex aree palustri in cui si ritrovano sedimenti mediamente più fini.

La carta geomorfologica (tavola QG.02), anch'essa redatta a sostegno del P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina, adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020, (raffigurata in fig. 3), mostra a Est e a Sud-Est dell'area in questione, la presenza di *tracce di paleovalle*: si tratta di forme geomorfologiche di sedimentazione fluviale, generalmente caratterizzate da terreni più sabbiosi ad andamento lenticolare alternati a sedimenti più fini limo-argillosi. In superficie possono essere presenti depositi più fini talvolta organici dovuti a locali impaludamenti verificatesi in seguito al taglio del meandro.

A Nord e a Sud dell'area investigata sono segnalati i *depositi a tessitura mista (limi, argille e sabbie) della pianura alluvionale*.

## 5. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico il substrato geologico più superficiale della pianura a Nord dell'Arno si caratterizza per la presenza all'interno dei depositi limosi e argillosi di lenti sabbiose e sabbioso-limose che possono ospitare il primo acquifero freatico.

Dall'osservazione della carta idrogeologica (tavola QG.05), rappresentata in fig.4, si può notare come l'area in esame sia caratterizzata dalla presenza di depositi appartenenti alla classe di permeabilità media. Inoltre dalla visione della stessa tavola si può osservare da Nord-Ovest a Sud-Est una serie di pozzi ad uso idropotabile con relativa area di rispetto.

Il sistema acquifero della pianura di Pisa può essere suddiviso in due sottosistemi: quello superficiale, di tipo freatico, localizzato entro i primi metri di profondità dal piano campagna ed alimentato dalle precipitazioni e dagli scambi idrici con la rete idraulica minore, e quello profondo, formato da più livelli acquiferi contenuti in terreni ghiaiosi e sabbiosi. Quest'ultimo è noto come "acquifero multistrato confinato", (*Baldacci et alii*. 1995).

L'acquifero freatico è generalmente povero, specialmente in presenza dei terreni limo-argillosi che caratterizzano i primi dieci metri della pianura; quello profondo, è in pressione, ed ha sede in livelli sabbiosi e/o ghiaiosi sovrapposti. Quest'ultimo è quello che si estende su una superficie maggiore, formata dai conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina ed è particolarmente sfruttato dal settore industriale e per l'approvvigionamento idropotabile.

La successione idrostratigrafica del sottosuolo della pianura di Pisa può essere così schematizzata:

-complesso sistema acquifero di tipo freatico, presente in modo più o meno continuo sull'intero territorio comunale, che ha sede nei sedimenti limoso-sabbiosi, possiede uno spessore di qualche metro e comprende alcune limitate falde sospese spesso semi-freatiche. La permeabilità di questo acquifero è estremamente variabile per le caratteristiche granulometriche dei vari livelli che formano il complesso dei limi superficiali (riconducibili ad episodi esondativi dell'Arno). In genere questo acquifero quando presente viene sfruttato da pozzi di grande diametro (pozzi a sterro) profondi al massimo una decina di metri.

-orizzonte acquifero, contenuto in sedimenti prevalentemente sabbiosi, esteso per gran parte del territorio comunale. Gli spessori sono estremamente variabili con massimi intorno a 130 m in corrispondenza degli apparati dunari antichi della zona a Nord dell'Arno, mentre diminuiscono lungo la fascia costiera nell'area a Sud dell'Arno fino a circa 10 m in corrispondenza della zona di Calambrone. La profondità del tetto delle sabbie è variabile, raggiunge un valore massimo di circa 50 m in corrispondenza della periferia Nord-orientale di Pisa e diminuisce progressivamente verso la fascia costiera, dove l'acquifero sabbioso si raccorda alle dune costiere attuali ed antiche (Coltano), che funzionano, pertanto, da aree di alimentazione con falda a pelo libero.

Nella zona a NW della città sono presenti alcune aree depresse orientate NW-SE e SW-NE. Nell'area a SE di Pisa il tetto sabbioso si mantiene a profondità comprese tra 30 e 40 m e presenta un andamento poco uniforme: in particolare si nota una depressione in corrispondenza dell'area di Ospedaletto. Nella zona ad Ovest di Pisa i livelli sabbiosi di questo orizzonte acquifero sono molto articolati e sono collegati, anche se non in maniera continua, con gli acquiferi del sottostante orizzonte (zona di Coltano);

-importante orizzonte acquifero costituito da depositi di origine alluvionale composti da livelli ciottolosi e ghiaiosi separati da strati a prevalentemente composizione sabbiosa. Il livello stratigraficamente più elevato possiede una notevole estensione ed uno spessore variabile che raggiunge un massimo di oltre 10 m nella fascia meridionale della pianura pisana. La profondità del suo tetto è dell'ordine di 30- 40 m, raggiungendo il valore di circa 150 m in corrispondenza del centro urbano di Pisa.

Tra i vari livelli acquiferi descritti esistono eteropie e discontinuità verticali che in alcune zone permettono i collegamenti idraulici specialmente tra i due principali acquiferi artesiani, il primo orizzonte sabbioso ed il primo orizzonte ghiaioso, che comunque ospitano le principali falde della pianura.

L'assetto idrogeologico profondo è stato ricostruito mediante i dati di pozzi per acqua presenti nei dintorni dell'area di intervento.

L'acquifero confinato profondo è costituito da una prima falda confinata presente in orizzonti acquiferi a profondità variabili fra 40.0 e 125.0 m dal p.c.

Un livello argilloso-limoso spesso circa 15.0 m dotato di continuità laterale separa la prima falda confinata dalle falde confinate più profonde.

Il complesso degli orizzonti acquiferi profondi può essere ricondotto ad un'unica falda acquifera, falda multistrato, costituita da orizzonti sabbioso-ghiaiosi presenti fino ad una profondità di 250.0-260.0 m dal p.c., interessati da estese continuità idrauliche laterali e verticali.

Da prove di portata eseguite su questo acquifero sono stati ricavati i parametri idrodinamici medi dell'acquifero, in particolare il coefficiente di permeabilità ( $k = 1.35 \times 10^{-4}$  m/sec) e di trasmissività ( $T = 5 \times 10^{-3}$  mq/sec).

Un potente orizzonte argilloso-limoso praticamente impermeabile, spesso circa 40.0 m, costituisce l'aquiclude superiore dell'acquifero profondo che è quindi adeguatamente isolato dal complesso dei limi superiori dell'Arno (che ospitano la prima falda acquifera freatica).

I limi e le argille dell'aquiclude sono caratterizzati da un grado di permeabilità variabile da basso a bassissimo con coefficiente di permeabilità  $k$  inferiore a  $10^{-6} - 10^{-7}$  m/sec.

Il tetto della falda acquifera fu rilevato all'interno dei fori realizzati durante le prove penetrometriche; il pelo libero si attestò alla profondità di circa 2.0 metri dal p.c. (misura effettuata il 6 novembre 2003).



## 6. CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA

L'area in studio rientrava nelle zone classificate sismiche, ai sensi del D.M. 19/03/1982 "Aggiornamento delle zone sismiche della Regione Toscana", per le quali bisognava considerare gli effetti indotti nel terreno durante un evento sismico.

Il sisma può trasmettere sollecitazioni dinamiche con fenomeni di amplificazione locale oppure può dare luogo a fenomeni di instabilità dinamica con cedimenti e liquefazione.

Dal punto di vista sismico quello che interessava era la stima del coefficiente d'intensità sismica C, che esprimeva l'accelerazione massima orizzontale in superficie, che si sviluppava durante un evento sismico.

Tale parametro veniva calcolato, attraverso il D.M. 24/01/1986, nel seguente modo:

$$C = \frac{S-2}{100}$$

dove S rappresenta il grado di sismicità della zona. La classificazione delle zone sismiche era basata su tre classi:

- Classe I con grado di sismicità S = 12;
- Classe II con grado di sismicità S = 9;
- Classe III con grado di sismicità S = 6.

Per queste classi si avevano i seguenti valori del coefficiente di sismicità C:

<b>S</b>	<b>C</b>
12	0.10
9	0.07
6	0.04

Tali valori non tenevano conto però degli effetti legati alle condizioni geologiche e geomorfologiche locali; per tali ragioni la proposta del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti G.N.D.T. (1985), prevedeva per il coefficiente d'intensità sismica i seguenti valori:

<b>S</b>	<b>C</b>
12	0.35
9	0.25
6	0.15

Il territorio comunale di Pisa era classificato con grado di sismicità S = 9 e quindi rientrava nella Classe II, con un valore del coefficiente d'intensità sismica o accelerazione massima convenzionale = 0.25 g.

L'Ordinanza n. 2788 del 12/06/1998, sull'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE AD ELEVATO RISCHIO SISMICO DEL TERRITORIO NAZIONALE, riportava l'elenco dei Comuni ubicati nelle zone ad elevato rischio sismico, individuati secondo l'indice di rischio, che teneva conto di due coefficienti:

- pc = popolazione coinvolta in crolli e
- pd = percentuale del patrimonio danneggiato.

I Comuni a più elevato rischio erano stati identificati come quelli che avevano indice di rischio superiore al valore medio nazionale, calcolato pesando ciascun Comune con la sua popolazione. Tale media era risultata pari a 0.0455.

Il Comune di Pisa aveva un indice di rischio di 0.0043, con intensità massima osservata (MCS) di 7.

Con l'Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 (G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003) sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone". Nell'Allegato A della citata Ordinanza viene indicata la classificazione sismica dei comuni italiani.

A livello di mappatura macrosismica, l'intero territorio nazionale viene considerato sismico e suddiviso in 4 zone, sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco  $a_g$  su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità), derivante da studi macrosismici e sismotettonici a carattere nazionale:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g/g$ )
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Ai sensi della suddetta normativa, il Comune di Pisa risulta inserito nella zona sismica 2.

Con l'Ordinanza n. 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 (G.U. n. 108 dell'11 maggio 2006) sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

Al punto a) dell'Allegato 1 dell'O.P.C.M. 3519/06 vengono definiti meglio i valori di accelerazione di ancoraggio rispetto a quanto proposto nell'O.P.C.M. 3274/03:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g/g$ )
1	$0.25 < a_g \leq 0.35$	0.35
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$	0.25
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$	0.15
4	$\leq 0.15$	0.05

A partire dalla nuova Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale, allegata all'Ordinanza n. 3519 del 28 aprile 2006 del Presidente del Consiglio dei Ministri "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", le Regioni sono tenute a riformulare la classificazione sismica dei territori di loro competenza. Come risulta evidente l'impostazione alla base dei criteri individuati dall'Ord. PCM 3519/06, consente un'ampia possibilità di elaborazione di mappe di pericolosità a livello regionale; in altri termini la ri-classificazione potrà tenere conto anche di situazioni accertate o valutabili della vulnerabilità del patrimonio edilizio del sistema insediativo.

Con la deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 431 del 19 giugno 2006 viene approvata la ri-classificazione sismica del territorio regionale.

Ai sensi della suddetta deliberazione il Comune di Pisa è passato dalla classificazione sismica in zona 2 a quella in zona 3s.

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, a sei anni di distanza dall'entrata in vigore della precedente classificazione, è stata approvata con Del. GRT n° 878 del 8/10/2012 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n. 136).

L'aggiornamento, redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio "sito-dipendente" introdotto dalle vigenti Norme.

Così dal 24 dicembre 2012 il Comune di Pisa è passato dalla zona sismica 3s alla zona sismica **3**: *zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti, caratterizzata da valori dell'accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0.05 e 0.15 g.*

L'ultimo aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana è stato approvato con Deliberazione GRT n.421 del 26/05/2014. Tale aggiornamento dell'elenco di classificazione sismica è divenuto necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1 gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali. I sette nuovi Comuni (**Fabbriche di Vergemoli** in provincia di Lucca, **Crespina Lorenzana** e **Casciana Terme Lari** in provincia di Pisa, **Figline e Incisa Valdarno** e **Scarperia e San Piero** in provincia di Firenze, **Castelfranco Piandiscò** e **Pratovecchio Stia** in provincia di Arezzo) si sono originati da fusione di comuni omogenei sotto il profilo della pericolosità sismica di base e della classificazione sismica, per cui l'aggiornamento ha previsto semplicemente la conferma della classificazione sismica dei comuni originari.

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/sec), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  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, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$ , è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il Quadro Conoscitivo dello strumento urbanistico del Comune di Pisa è già dotato di Studio di Microzonazione di Livello 1 e redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.). Lo studio è stato redatto dal Geol. M. Redini, con la supervisione del Geol. C. Meletti dell'INGV, in corrispondenza del centro abitato di Pisa, secondo le specifiche di cui al paragrafo 1.B.1.2 delle istruzioni del Programma V.E.L. (Valutazione Effetti Locali), di concerto con gli uffici del Genio Civile e del servizio sismico della regione.

Le finalità degli studi di microzonazione, attraverso la rappresentazione degli elementi e delle situazioni di rischio e criticità riscontrate dal quadro conoscitivo messo a punto e dagli approfondimenti condotti mediante apposita campagna geofisica, sono quelle di:

-ricostruire il modello del sottosuolo in via preliminare;

-definire le tipologie degli effetti attesi;

-individuare le aree che necessitano di approfondimenti.

La carta delle MOPS rappresenta il principale elaborato dello Studio di MS di livello 1, individua le microzone ove sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Dalla carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS) di livello 1, la zona in oggetto risulta inserita nella zona 5, che si riferisce a zone suscettibili di instabilità.

La carta delle frequenze fondamentali dei depositi (tavola QG.08), mostra come nelle immediate vicinanze dell'area in esame, in Via delle Torri, sia stata effettuata un'indagine di sismica passiva HVSR, la n.90, i cui risultati evidenziano una frequenza  $f_0$  compresa tra 1,0 e 2,5 Hz, mentre l'ampiezza  $A_0$  è compresa tra 3 e 5.

*Nella relazione tecnica illustrativa dello studio di microzonazione sismica di livello 1, eseguita nell'ambito dell'Aggiornamento del QC del RU, ai sensi dell'art.21 della L.R. n.65/2014 -*

“Indagini geologiche”, conformi al DPGR 53/R del 2011, approvato con Delibera di C.C. n.3 del 28/01/2020, è stata valutata la suscettibilità al fenomeno della liquefazione e/o addensamento (ai sensi dell'art.7.11.3.4 delle NTC 2018) in riferimento alla colonna stratigrafica individuata dalla zona Z5 (la stessa in cui risulta inserita la zona oggetto di studio) – Limi sabbioso-argillosi e sabbie limoso-argillose da poco a mediamente addensati e dalla zona Z6 – Sabbie da sciolte a mediamente addensate di ambiente costiero .

Lo studio è stato condotto sulla base dei dati provenienti da n. 6 penetrometrie statiche CPT effettuate nell'abitato di Pisa e n.7 penetrometrie statiche CPT realizzate nella zona costiera.

Per la determinazione della sismicità del sito sono stati considerati gli studi svolti dall'Università di Pisa, ed eseguiti dal Prof. Ing. D. Lo Presti, ipotizzando la costruzione di un'opera ordinaria con vita nominale  $V_n$  pari a 50 anni, classe d'uso II e periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r$  di 50 anni.

Per la definizione della magnitudo  $M$  di riferimento sono state utilizzate le mappe interattive di pericolosità sismica dell'INGV, da cui sono stati ottenuti i valori medi delle coppie di magnitudo-distanza  $M-R$  dei terremoti che possono essere risentiti nelle aree in studio, tramite la disaggregazione del valore di  $a$  (g) con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e l'intervallo delle coppie magnitudo-distanza che maggiormente influenzano la pericolosità sismica.

Il valore di magnitudo che contribuisce maggiormente alla pericolosità, per il periodo di ritorno considerato, risulta compreso tra i valori di 4.5/5.0.

Il potenziale di liquefazione è stato valutato mediante l'applicazione del software della ditta Geostru che si chiama Liquiter, utilizzando il metodo di Robertson e Wride (1998).

Le verifiche effettuate hanno permesso di evidenziare come applicando una magnitudo pari a  $M > 5$  ed una accelerazione massima al suolo compresa nell'intervallo di valori tra 0,159/0,168  $ag/g$  per la costa e tra 0,177/0,178  $ag/g$  per l'abitato, supponendo una profondità della falda cautelativamente pari a  $-0,50$  m dal p.c., il rischio di liquefazione è risultato sempre molto basso.

Come riportato nel paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficienti di uniformità  $U_c < 3,5$  in fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Nel nostro caso si ha che le resistenze alla punta normalizzate  $qc_{1N}$  delle prove già effettuate nel comparto di interesse, presentano valori maggiori di 180 kPa, per cui è possibile affermare che sussistono le condizioni di esclusione dalla verifica alla liquefazione, così come previsto al punto 3 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC.

**Tabella 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 3.2.II** – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

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

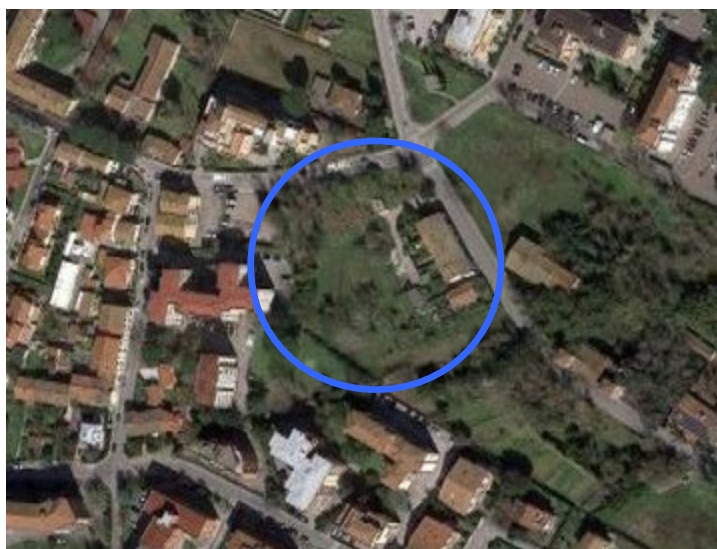
**Tabella 3.2.III** – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 3.2.IV** – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$ 

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \text{ ag/g} \leq 1,20$	$1,10 (T_c^0)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \text{ ag/g} \leq 1,50$	$1,05 (T_c^0)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \text{ ag/g} \leq 1,80$	$1,25 (T_c^0)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \text{ ag/g} \leq 1,60$	$1,15 (T_c^0)^{-0,40}$

### Ubicazione area d'intervento



La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

## 7. L'AREA DI INTERVENTO NELLO STRUMENTO URBANISTICO ADOTTATO

Il Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Pisa e Cascina effettuato ai sensi degli articoli 23, 92 e 94 della L.R. 65/2014 e s.m.i., adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020, è supportato dalle indagini geologico-tecniche, in ottemperanza al DPGR 53/R del 2011.

Prima del Piano Strutturale intercomunale era stato approvato con Delibera di C.C. n.3 del 28/01/2020 l'Aggiornamento del QC del RU, ai sensi dell'art.21 della L.R. n.65/2014 - "Indagini geologiche" conformi al DPGR 53/R del 2011.

### 7.1 Carta geologica - geomorfologica

La Carta geologica (tavola QG.01), redatta a supporto del P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina, adottato con Delibera di C.C. n.30 del 23/07/2020, (raffigurata in fig. 2), evidenzia come l'area di interesse sia collocata nel *territorio urbanizzato che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno*.

A Nord e a Sud della zona di intervento sono presenti i *Depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi (Olocene)*. Si tratta di depositi prevalentemente limosi e argillosi al cui interno sono più o meno frequenti intercalazioni sabbiose.

### 7.2 Carta idrogeologica

Dall'osservazione della carta idrogeologica (tavola QG.05), rappresentata in fig.4, si può notare come l'area in esame sia caratterizzata dalla presenza di depositi appartenenti alla classe di permeabilità media. Inoltre dalla visione della stessa tavola si può osservare da Nord-Ovest a Sud-Est una serie di pozzi ad uso idropotabile con relativa area di rispetto.

### 7.3 Carta litotecnica

L'esame della carta litotecnica e dei dati di base (tavola QG.03, di cui uno stralcio è riportato in fig. 5) ha evidenziato come la totalità dell'area d'intervento risulti impostata sull'Unità Litologico-Tecnica E, rappresentativa di terreni granulari non cementati o poco cementati; in particolare la zona in oggetto rientra nell'unità E3.a1/2.t3 di cui fanno parte Depositi quaternari alluvionali. Granulometria dominante: sabbie limose.

### 7.4 Carta della Pericolosità Geologica-Geomorfologica

Nell'ambito dell'aggiornamento delle indagini geologico-tecniche eseguito in ottemperanza al DPGR 53/R del 2011, a supporto del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Pisa e Cascina, è stata realizzata la carta della pericolosità geologica-geomorfologica (tavola QG.10) illustrata in fig. 6; la definizione della fragilità geomorfologica passa attraverso la valutazione del grado di pericolosità delle aree in ordine a problematiche di natura geomorfologica, geomeccanica, geotecnica e idrogeologica, sia in condizioni statiche che dinamiche (sismiche); tale valutazione deriva dalla elaborazione e sintesi di tutti i dati e parametri geologici, geomorfologici, strutturali, geomeccanici, di acclività e idrogeologici illustrati nelle carte di base e porta alla definizione di classi di pericolosità legate a:

- fenomeni franosi;
- processi parossistici di dinamica torrentizia (colate detritico-torrentizie);
- fenomeni sismici.

Dall'esame della tavola in oggetto, l'area interessata dall'intervento in progetto risulta inserita nella classe G1:

-*aree a pericolosità geologica bassa*: aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

### 7.5 Carta della Pericolosità Sismica

Sulla base degli studi condotti e della carta delle MOPS eseguita nell'ambito dell'Aggiornamento del QC del RU, ai sensi dell'art.21 della L.R. n.65/2014 - "Indagini geologiche" conformi al DPGR 53/R del 2011, è stata ricavata la carta di pericolosità sismica (tavola QG.11, riportata in fig. 7); l'area di interesse rientra nella classe di pericolosità sismica S3:

-*aree a pericolosità sismica elevata*: zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; aree con amplificazione locale caratterizzate da alto contrasto di impedenza.

### 7.6 Carta delle M.O.P.S.

La carta delle MOPS rappresenta il principale elaborato dello Studio di MS di livello 1, individua le microzone ove sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Dalla carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS) di livello 1, la zona in oggetto risulta inserita nella zona 5 (fig. 8), che si riferisce a zone suscettibili di instabilità.

### 7.7 Carta della Pericolosità Idraulica

La Carta di Pericolosità idraulica elaborata in ottemperanza al DPGR 53/R del 2011, nell'ambito dello studio idraulico condotto da Hydrogeo Ingegneria, individua e perimetra le aree secondo classi di pericolosità ottenute sulla base degli studi idraulici condotti, reperiti dagli enti competenti.

L'area in esame non rientra in nessuna delle classi di pericolosità idraulica (fig. 9).

### 7.8 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche

Dall'esame di tale cartografia (tavola QG.06) è possibile notare come la zona di intervento sia collocata all'interno delle aree a vulnerabilità media, con assenza di fenomeni di intrusione salina.

Inoltre sempre dalla visione della suddetta tavola si può constatare, a Nord della zona oggetto di studio, la presenza di un'area piuttosto estesa soggetta a subsidenza (fig. 10).

## 8. L'AREA DI INTERVENTO NEL PGRA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

Ai sensi del P.I.T., approvato con D.C.R. n.37 del 27 marzo 2015 l'area d'intervento non risulta soggetta a misure di salvaguardia.

Il sito di interesse rientra sotto la competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, pertanto è soggetto alla Disciplina di Piano del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni è stato approvato con il D.P.C.M. 27 ottobre 2016.

Dalla visione della mappa di pericolosità per alluvioni fluviali, redatta all'interno del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Settentrionale, si evince come l'area in



oggetto risulta interna alla classe di pericolosità P.1 a pericolosità da alluvioni fluviali bassa (fig. 11), regolata dall'art.11 della Disciplina di Piano *Aree a pericolosità da alluvione bassa (P.1) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio*, riportato qui di seguito:

*1. Nelle aree P.1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico.*

*2. La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P.1.*

Sempre in riferimento alla cartografia allegata al D.P.C.M. 226 del 5.11.99, l'intervento risulta esterno alle zone A e B, di cui alle norme 2 e 3, individuate per la realizzazione degli interventi strutturali di messa in sicurezza del F. Arno e al di fuori delle aree di pertinenza fluviale dell'Arno e dei suoi affluenti.

## 9. L'AREA DI INTERVENTO NEL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI PISA

Di seguito vengono descritte le condizioni di pericolosità presenti negli studi geologici di supporto al P.T.C.

### Carta della pericolosità geomorfologica

L'area di intervento ricade in pericolosità geomorfologica media, sottoclasse 3a: *in essa ricadono le aree acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata, e altresì le aree della pianura alluvionale con sottosuolo eterogeneo;*

### Carta della pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica nella zona in esame è media, sottoclasse 3a e *riguarda le aree per le quali non si ha disponibilità di precise testimonianze storiche di episodi di esondazione o di sommersione, comunque limitrofe ad aree in passato conosciute come alluvionate o sommerse; si individuano su base geomorfologica o storica o con riferimento a modelli idrologico-idraulici, verificando nel caso la ricorrenza statistica di possibile esondazione o sommersione comunque superiore ai duecento anni; vi sono altresì comprese le aree coinvolte da eventi storici, difese da sostanziali interventi di difesa o bonifica idraulica, verificati cioè, per analogia, al deflusso od allo smaltimento di eventi di ricorrenza duecentennale;*

### Carta della vulnerabilità idrogeologica

Parte dell'area in oggetto è classificata a vulnerabilità idrogeologica elevata, sottoclasse 4a, e *corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un grado di protezione insufficiente; in essa ricadono, nelle aree di pianura, le zone in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda compresi tra 1 e 7 giorni, quali quelle di ricarica di acquiferi confinati a media permeabilità, quelle interessate da falde libere in materiali alluvionali molto permeabili con falda prossima al piano campagna, quelle consistenti in terrazzi alluvionali antichi costituiti da litologie molto permeabili e direttamente connessi all'acquifero principale, nonché, nelle aree collinari e montuose, le zone di affioramento di terreni litoidi altamente permeabili, le zone di affioramento di terreni sciolti a permeabilità elevata con sufficiente estensione e ricarica, le zone di infiltrazione in*

terreni a permeabilità medio-alta, le zone di alimentazione delle sorgenti di principale importanza emergenti da litologie mediamente permeabili.

In relazione al tipo di intervento (interventi di nuova edificazione nelle zone di espansione periferiche), il PTC definisce una fattibilità 3 condizionata, che scaturisce dai livelli di rischio di seguito illustrati:

Pericolosità geomorfologica 3a media  $\Rightarrow$  livello di rischio II – basso: *la trasformazione o l'attività riferibile alla classe 2 - "FATTIBILITA' CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO" di cui al punto 3.2 della D.C.R. 94/85 è ammissibile, in relazione alle conoscenze disponibili, ma è richiesta verifica a livello locale;*

Pericolosità idraulica 3a media  $\Rightarrow$  livello di rischio II - basso: *la trasformazione o l'attività riferibile alla classe 2 - "FATTIBILITA' CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO" di cui al punto 3.2 della D.C.R. 94/85 è ammissibile, in relazione alle conoscenze disponibili, ma è richiesta verifica a livello locale;*

Vulnerabilità idrogeologica 4a elevata  $\Rightarrow$  livello di rischio III – medio/alto: *la trasformazione o l'attività è subordinata alle condizioni poste da una valutazione puntuale della vulnerabilità idrogeologica, al minimo conforme a quanto disposto ai commi, e quindi da un progetto sulla mitigazione dello stato di rischio accertato, tenuto conto anche delle caratteristiche della trasformazione o attività.*

## 10. VALUTAZIONE ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE

L'esame delle indagini geognostiche realizzate in precedenza all'interno del comparto in esame (fig. 1), ha permesso di ipotizzare le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni locali, che sono sinteticamente rappresentati a partire dall'alto, da una sottile copertura superficiale sabbioso - limosa, cui segue uno strato di sedimenti argillosi moderatamente consistenti; al di sotto dei depositi sopra descritti si ha nuovamente un livello limo-sabbioso, cui segue uno strato di litologie argillose compressibili, talvolta con intercalazioni di natura sabbioso/limosa.

La variabilità litologica verticale degli strati può essere riconducibile alla passata attività esondativa del F.Arno ed alla sua storia evolutiva, come pure alla morfologia preesistente dell'ambiente di deposizione.

Di seguito si riporta una breve schematizzazione di massima dei parametri geotecnici medi:

Unità geotecniche	Spessore (metri)	Parametri geotecnici medi			
		$\gamma$ (t/mc)	$C_u$ media (kg/cmq)	$\phi$ medio (Gradi)	$E_{ed}$ (kg/cmq)
Strato A	0.00-4.20	1.65	0.40	0°	37.04
Strato B	4.20-10.00	1.60	0.19	0°	20.40

## 11. VALUTAZIONE DEL RETICOLO IDRAULICO

Il territorio di Pisa, sotto il profilo idraulico è distinto in due grandi zone:

- la zona di Pisa a Nord dell'Arno, che recapita le proprie acque nel Fiume Morto;
- la zona di Pisa a Sud dell'Arno che recapita le proprie acque nel Canale dei Navicelli.

Tutto il territorio comunale posto a Nord dell'Arno, convoglia le sue acque (meteoriche, reflue trattate e non) nel F. Morto.

### Bacino di Bonifica del Fiume Morto

Tutta questa zona fa parte della più ampia bonifica del F. Morto, il cui comprensorio è definito dalla linea di dispiuvio dei Monti Pisani, dal F. Serchio, dall'Arno e dal mare.

In essa si possono distinguere 4 ulteriori settori:

- sottobacino di bonifica per esaurimento meccanico di Campaldo;
- sottobacino di bonifica a scolo naturale del Fosso Tedaldo e di Barbaricina;
- sottobacino di bonifica a scolo naturale della Tenuta di S. Rossore;
- sottobacino di bonifica a scolo naturale di Centro Storico Cisanello-Pisanova-Porta a Lucca.

Il sottobacino di nostro interesse è:

Sottobacino di bonifica a scolo naturale del Centro Storico, di Porta a Lucca e di Cisanello-Pisanova (fig. 10).

Quest'ampia porzione di territorio comunale, intensamente urbanizzato, grava sull'asse idraulico Fosso dei Sei Comuni- Marmigliaio- Oseretto, a cui afferiscono una serie di fossi minori.

La preesistente rete della bonifica è stata inglobata dalla rete fognaria cittadina. Estese tombature ed opere idrauliche succedutesi in modo disordinato nel corso dei decenni, hanno intensamente trasformato l'impianto originario.

Una parte del bacino (zona di Porta a Lucca) è dotata di una rete di fognatura nera allacciata per l'80% al depuratore di S. Jacopo e risulta separata dal reticolo superficiale.

Il resto del bacino è a fognatura mista, e recapita nel Fiume Morto all'altezza di Madonna dell'Acqua, attraverso un percorso lungo e praticamente privo di pendenza.

Il sottobacino è attraversato da un corso artificiale ad acqua alta ("Canale Demaniale di Riprafatta"), che confluisce in Arno all'altezza del Ponte alla Fortezza, restando completamente separato dalla bonifica.

### Sottobacino della zona Cisanello-Pisanova

Le principali linee idrauliche sono:

- Fosso dei Sei Comuni;
- Fosso S. Marco.

Il "Fosso dei Sei Comuni" nasce immediatamente a Nord dell'Ospedale di Cisanello, e attualmente raccoglie le acque meteoriche e i reflui non trattati, provenienti anche dall'Ospedale, facendoli convogliare nel "Fosso Marmigliaio".

Il "Fosso di S. Marco", che scola la periferia sud-orientale di Pisa, e attualmente confluisce nel "Fosso dei sei Comuni", verrà in futuro deviato attraverso il "Fosso di S. Cataldo" e un collettore parallelo al tratto iniziale del "Fosso dei Sei Comuni" (già esistente) nell'Arno, mediante un impianto idrovoro da realizzarsi nei pressi dell'Ospedale. Questa nuova linea idraulica raccoglierà anche le acque provenienti dall'area di recente costruzione del C.N.R. di S. Cataldo.

Eventualmente potrà essere realizzato anche un depuratore per la rete fognaria di questa zona, con lo stesso recapito finale delle acque meteoriche, cioè in Arno.

In questo modo si potrà alleggerire la rete idraulica (in particolare il “Fosso dei Sei Comuni”), attualmente insufficiente a smaltire le acque meteoriche, vista anche la presenza di numerose zone relativamente depresse occupate da edificato.

Si dovranno inoltre attivare gli allacci dei collettori fognari, in gran parte già realizzati, agli edifici, recapitando le acque nere all'impianto di depurazione a San Jacopo.

Infine il Fiume Arno, corso d'acqua principale presente all'interno del territorio comunale, defluisce con andamento meandriforme 400 m a Sud-Ovest della zona in oggetto. Attraversa il territorio comunale trasversalmente da Est verso Ovest, per una lunghezza di circa 16 Km. Vi entra all'altezza del meandro di Cisanello e, dopo avere attraversato la zona golenale della Cella, percorre il tratto urbano di Pisa, proseguendo verso la foce con un andamento rettilineo secondo la direzione NE-SW, per poi girare e disporsi E-W circa 3.5 Km prima dello sbocco in mare.

Il punto in cui il fiume Arno, peraltro pensile fino a valle di “La Vettola”, scorre a minor distanza rispetto alla zona indagata, risulta essere in prossimità del Viale delle Piagge, circa 410 metri a Sud-Ovest.

Il fiume Arno, al margine Nord-orientale del Comune di Pisa, forma un'ampia ansa all'interno della quale si trova l'abitato di Cisanello. In questo tratto, il fiume ha una larghezza di circa 80-100 m. La fascia golenale all'interno della quale scorre il fiume è più ampia sul lato destro.

L'unico apporto di acque che riceve l'Arno nell'ambito del territorio comunale è quello del “Canale Demaniale di Ripafratta”, il quale deriva le acque del Serchio e le fa confluire nell'Arno subito a monte del Ponte della Fortezza. In questo punto è presente un sistema di cateratte che vengono chiuse quando l'Arno è in piena.

Gli studi idraulici disponibili hanno evidenziato che il sito in esame non risulta esposto a particolari situazioni di rischio idraulico legati ad eventi alluvionali dell'Arno.

Nella zona in oggetto non si hanno notizie di fenomeni di ristagno. I modelli elaborati nello studio idraulico realizzato per il Comune di Pisa da Hydrogeo Ingegneria, evidenziano per l'area di interesse assenza di battenti idrici per tempi di ritorno di 200 anni.

## 12. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' DELL'AREA SOGGETTA A PIANO ATTUATIVO, AI SENSI DEL D.P.G.R. N. 5/R DEL 30/01/2020

In questa sede si è proceduto a formulare le valutazioni di pericolosità ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020, sulla base dell'esame degli elementi geologici e delle indagini esaminate, eseguite in loco e nelle vicinanze dell'area in studio.

Per quanto riguarda la pericolosità, si ha (fig. 12):

-pericolosità geologica: a seguito della visione delle indagini geognostiche eseguite in precedenza nella zona di interesse, che hanno individuato depositi alluvionali, costituiti prevalentemente da sedimenti di natura coesiva, per lo più argillosi talvolta con intercalazioni di natura granulare, da moderatamente compressibili a compressibili, e dall'esame della cartografia di pericolosità geologica-geomorfologica redatta a supporto del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Pisa e Cascina, per l'area in esame si assegna la classe di pericolosità geologica **G2**, a pericolosità media.

-pericolosità da alluvioni: in questo caso, dopo aver esaminato la cartografia di pericolosità da alluvioni fluviali redatta a supporto del PGRA, in cui l'area in studio rientra nella classe di pericolosità da alluvioni P1 a pericolosità bassa, e dopo l'esame dello studio idraulico eseguito dalla società Hydrogeo Ingegneria per conto del Comune di Pisa, a supporto del Piano Strutturale

intercomunale, dal quale si evince che l'area in esame non risulta interessata da nessun battente idrico con TR 200 anni, si attribuisce al comparto di interesse, la classe di pericolosità da alluvioni fluviali **P1**, a pericolosità bassa.

Tuttavia gli aspetti da prendere in considerazione per quanto concerne le problematiche di carattere idraulico sono quelli che derivano dall'inadeguatezza della rete fognaria acque bianche e del reticolo idraulico minore che impediscono un efficace deflusso delle acque in caso di fenomeni atmosferici particolarmente violenti.

In considerazione della possibilità di eventuali allagamenti causati da deficit temporanei del reticolo idraulico locale o della rete fognaria, si consigliano rialzamenti del solaio di calpestio del piano terra di almeno 30 cm rispetto alla quota del marciapiede stradale (o in alternativa un altro piano di riferimento a quota più elevata individuato dal rilievo topografico).

Inoltre al fine di ridurre il carico idraulico in fognatura, potrà essere prevista la raccolta delle acque piovane in cisterne di dimensioni adeguate.

-pericolosità sismica: si tratta di un'ulteriore valutazione di pericolosità introdotta dal D.P.G.R. 26/R/07 ed individua qualitativamente gli elementi in grado di generare i fenomeni di amplificazione locale ed instabilità dinamica.

Sulla base di quanto sopra esposto, della normativa vigente e dall'analisi e valutazione delle conoscenze relative agli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e litotecnici desunti dal quadro conoscitivo e dal Piano Strutturale Intercomunale, nonché dallo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e dai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite in sito e nelle vicinanze della zona di interesse, all'area in studio viene assegnata la classe di pericolosità sismica **S3**, a pericolosità sismica elevata.

Le condizioni di fattibilità delle trasformazioni sono state quindi ridefinite in funzione degli elementi di pericolosità e di criticità emerse nell'applicazione del D.P.G.R. 5R/2020.

Per l'area in oggetto sono state rappresentate le seguenti classi di fattibilità (fig. 12):

-fattibilità in relazione agli aspetti geologici: in riferimento alle indagini geognostiche esaminate, che hanno individuato depositi alluvionali, costituiti prevalentemente da sedimenti di natura coesiva, per lo più argillosi talvolta con intercalazioni di natura granulare, da moderatamente compressibili a compressibili, nonché in considerazione della classe di pericolosità geologica assegnata all'area, si ha per la zona investigata la classe di fattibilità geologica **F2**, riferita all'area a pericolosità geologica media G2;

-fattibilità in relazione al rischio di alluvioni: in riferimento a quanto riportato nella descrizione della pericolosità da alluvioni attribuita all'area di interesse, al comparto in esame viene assegnata una fattibilità idraulica (**F1**).

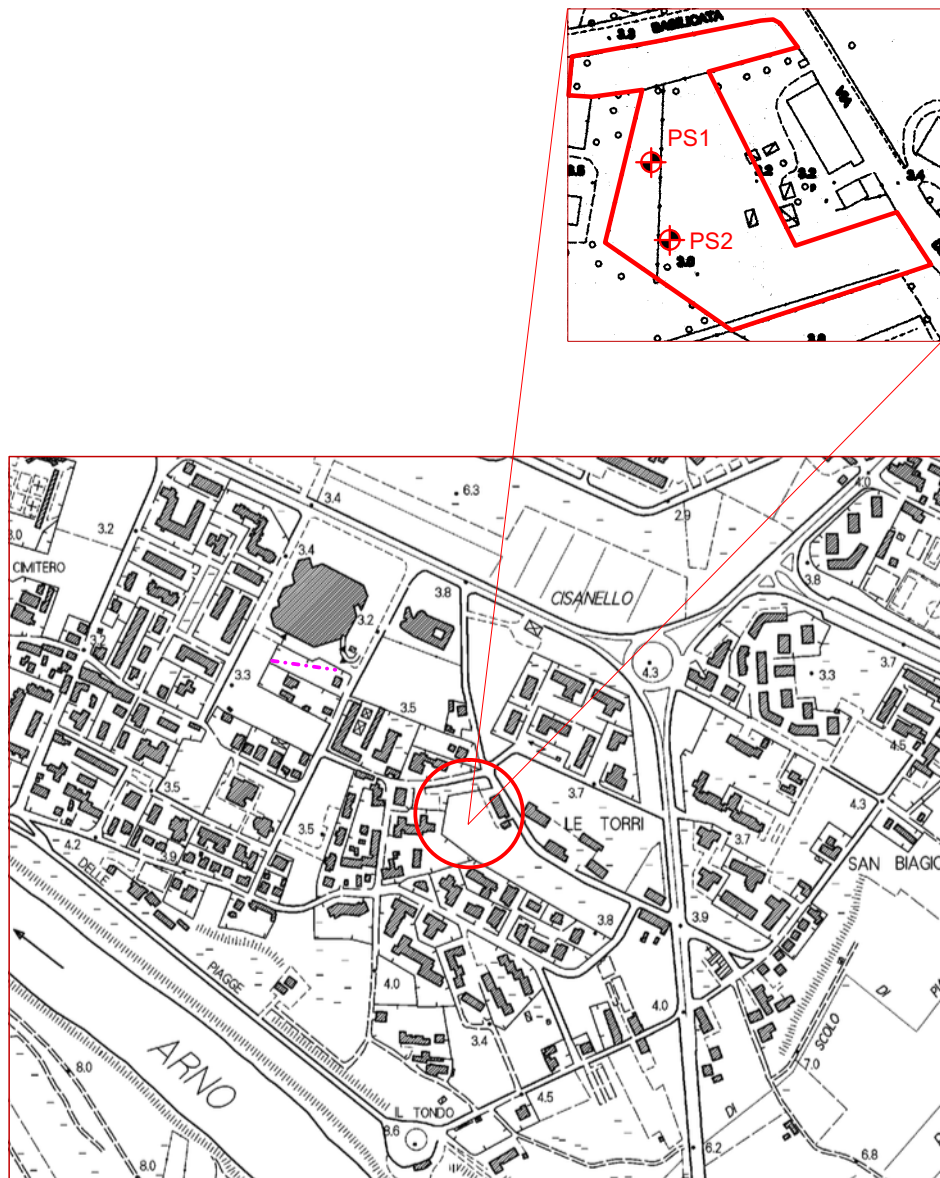
Tuttavia, in considerazione della possibilità di eventuali situazioni critiche causate da deficit temporanei del reticolo idraulico locale o della rete fognaria, si consigliano rialzamenti del solaio di calpestio del piano terra di almeno 30 cm rispetto alla quota del marciapiede stradale (o in alternativa un altro piano di riferimento a quota più elevata individuato dal rilievo topografico).

Inoltre al fine di ridurre il carico idraulico in fognatura, potrà essere prevista la raccolta delle acque piovane in cisterne di dimensioni adeguate.

-fattibilità in relazione agli aspetti sismici: in virtù della pericolosità sismica locale S3 e delle indagini geofisiche esaminate, si assegna una classe di fattibilità (**F3**).

In fase esecutiva dovranno essere eseguite indagini geofisiche e geotecniche in conformità alla normativa vigente in materia di costruzioni in zone sismiche (D.M. 17/01/2018 e D.P.G.R. 36/R del 09/07/2009) atte ad approfondire le attuali conoscenze geologiche, geotecniche e geofisiche del comparto in oggetto al fine di permettere allo strutturista di effettuare le scelte progettuali più adeguate.

## 13. FIGURE E ALLEGATI



## LEGENDA




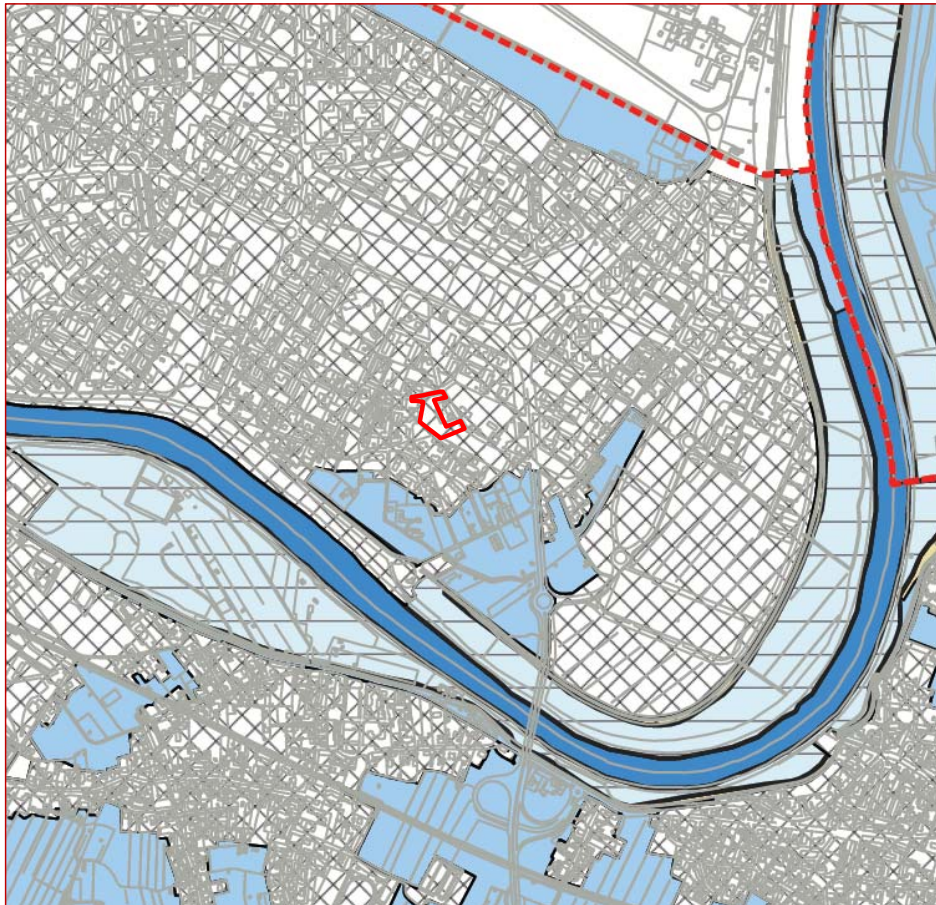
-  Ubicazione area d'intervento
-  Prova penetrometrica
-  Prospezione geofisica

Fig. 1 Ubicazione area d'intervento e indagini disponibili



**LEGENDA**

**Forme e strutture antropiche**

- Terreni di riporto, bonifica per colmata
- Discariche per inert
- 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)

- F. Arno
- Limiti amministrativi

L.R. 65/2014  
**Piano Strutturale Intercomunale**  
 Comuni di Pisa e Cascina

INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL D.P.G.R. 53/R del 25/10/2011

**CARTA GEOLOGICA**  
**TAV. QG.01**

scala 1:25000

Ubicazione area d'intervento

Indagini geologiche:  
 Studio Geolink  
 Geol. Roberta Giorgi

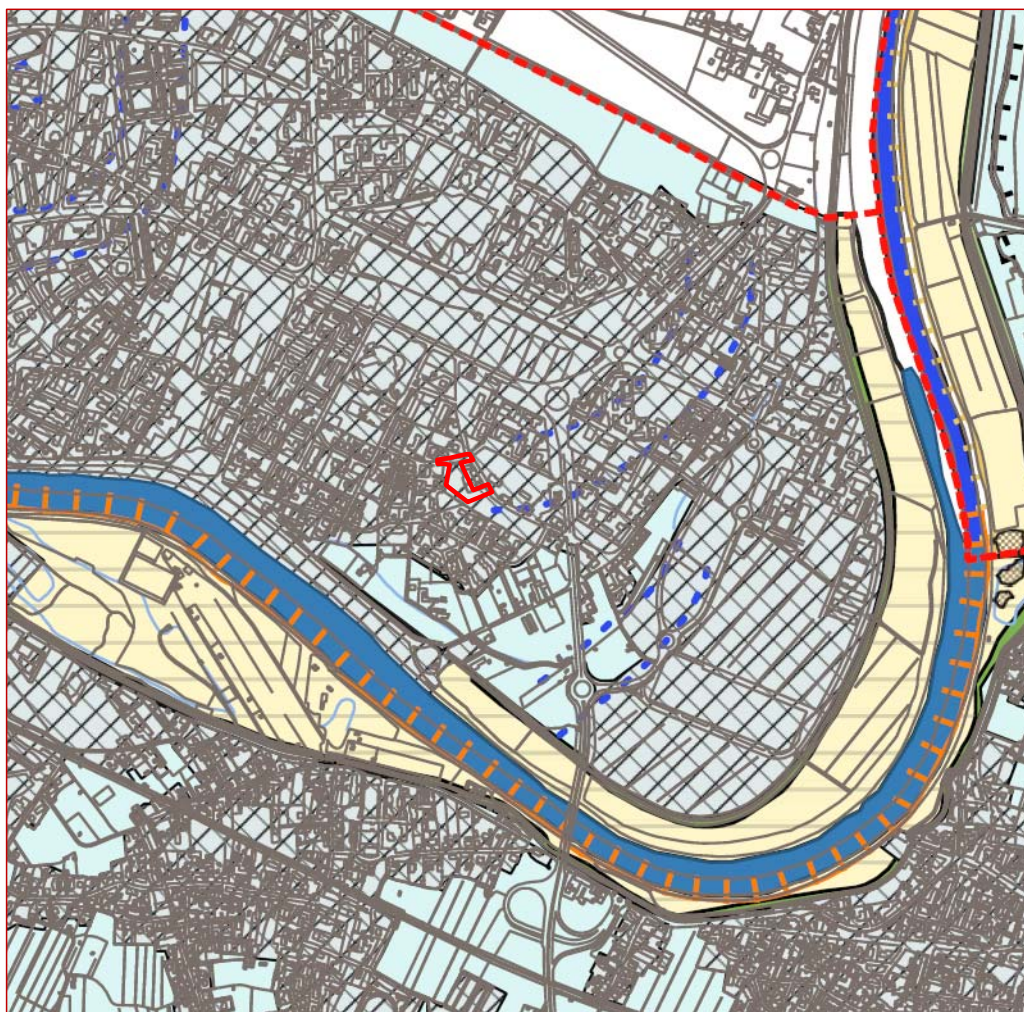
Progettazione:  
 Ufficio di Piano comuni di Pisa e Cascina  
 Coordinamento Piano: Arch. Sandro Ciabatti  
 Responsabile del Procedimento: Ing. Dario Ricci

Studio idraulico:  
 Hydroge  
 Ing. Giacomo Gazzini

Data Marzo 2020

Fig. 2 Carta geologica e ubicazione area d'intervento  
 estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina





**LEGENDA**

**FORME GEOMORFOLOGICHE DI SEDIMENTAZIONE FLUVIALE**

**Pianura alluvionale (OLOCENE)**

Depositi a tessitura mista (limi, argille e sabbie)

Stagno, acquitrino, zona palustre

Area golenale

**Paleorilievo della pianura alluvionale (PLEISTOCENE)**

Depositi prevalentemente sabbiosi

**FORME GEOMORFOLOGICHE DI ACCUMULO COSTIERO A SEDIMENTAZIONE EOLICA E MARINA**

Depressione dunale (sabbie)

Cordone litoraneo sormontato da dune allo stato naturale (sabbie prevalenti)

Cordone litoraneo allo stato naturale (sabbie prevalenti)

Cordone litoraneo antropizzato (sabbie prevalenti)

Spaggia attuale

Ubicazione area d'intervento

**FORME GEOMORFOLOGICHE LINEARI**

Traccia di paleovalso

Argine fluviale

Orlo di terrazzo

Cresta di cordone dunale

Estensione delle aree paludose anteriori all'anno 1880 (P. Stagno, P. Maggiore)

Scarpata antropica generica

Scarpata antropica fluviale

Tratto di scarpata fluviale/argine interessato da locali cedimenti

Corpo d'acqua principale

Reticolo idrografico secondario

**FORME ANTROPICHE POLIGONALI**

Struttura antropica che impedisce l'osservazione degli elementi geologici o che ha profondamente modificato le caratteristiche del terreno

Lago artificiale

Lago artificiale di cava

Cava esaurita non inserita nel PAERP (aut. fino al 2023)

Discalca

L.R. 65/2014  
**Piano Strutturale Intercomunale**  
 Comuni di Pisa e Cascina

INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL DPGR 53/R del 25/10/2011

**CARTA GEOMORFOLOGICA**  
**TAV. QG.02**

scala 1:25000

Indagini geologiche:  
 Studio Geolink  
 Geol. Roberta Giorgi

Progettazione:  
 Ufficio di Piano comuni di Pisa e Cascina  
 Coordinamento Piano: Arch. Sandro Ciabatti  
 Responsabile del Procedimento: Ing. Daisy Ricci

Studio idraulico:  
 Hydrogeo  
 Ing. Giacomo Gazzari

Data: Marzo 2020

Fig. 3 Carta geomorfologica e ubicazione area d'intervento  
 estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina

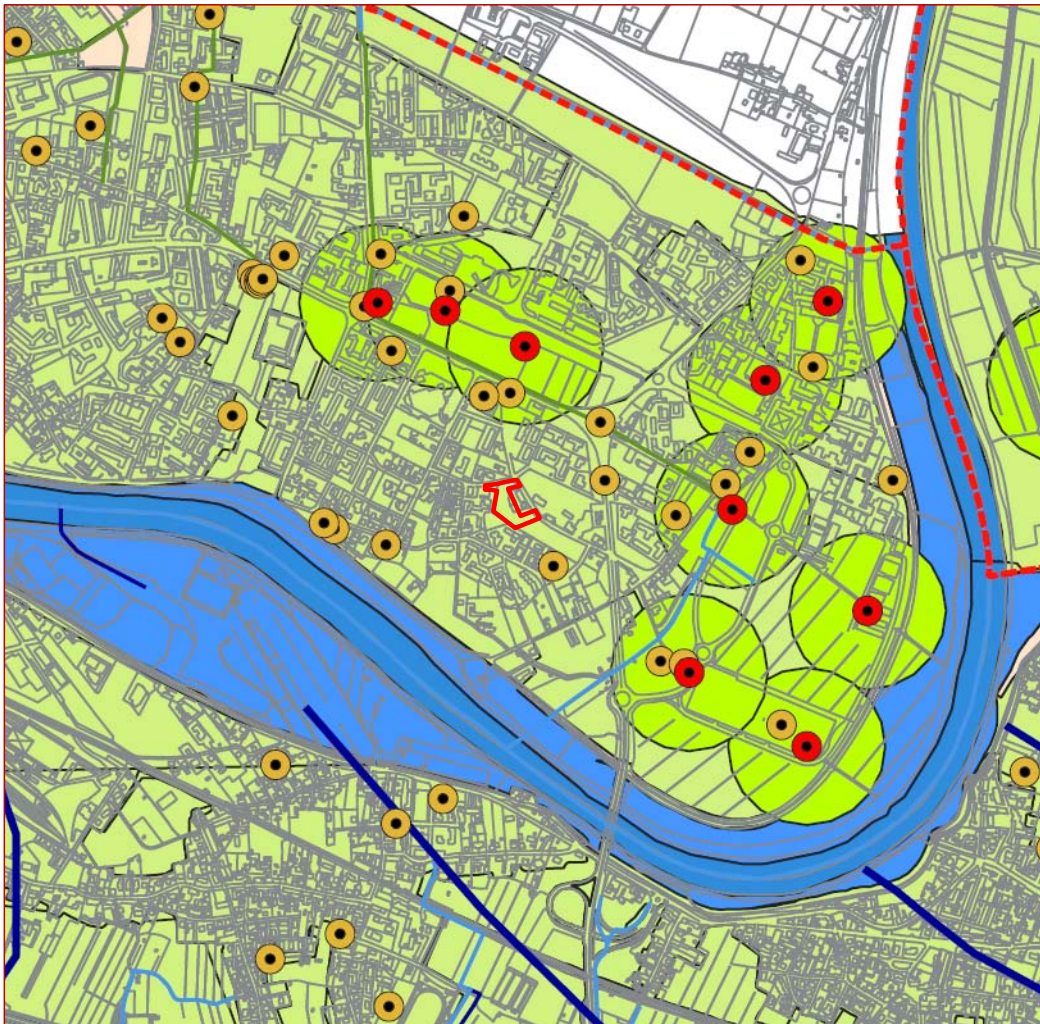
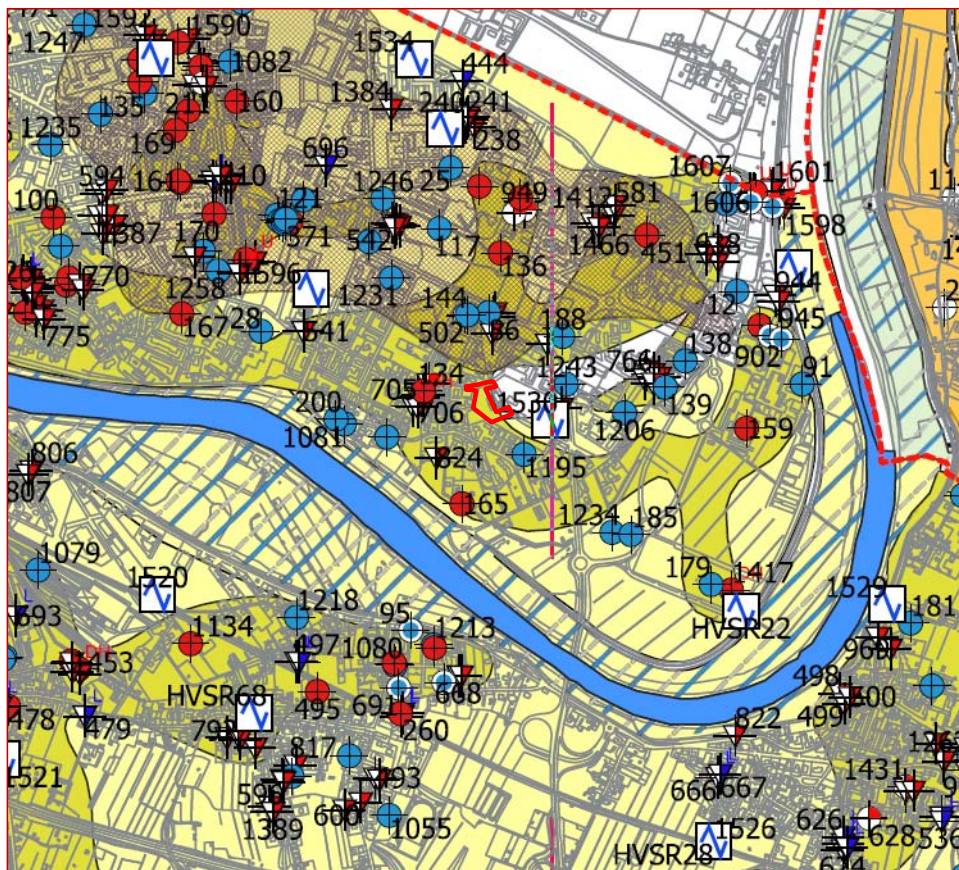


Fig. 4 Carta idrogeologica e ubicazione area d'intervento  
estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina



**LEGENDA**

**UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "D"**

**Terreni coesivi con consistenza medio-elevata**

- Unità D1.s1 - Depositi pleistocenici: sabbie e limi di Vicarello  
Granulometria dominante: limi, limi sabbiosi consistenti

**UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "E"**

**Terreni granulari non cementati o poco cementati**

- Unità E3.a4 - Depositi quaternari di spiaggia emersa  
Granulometria dominante: sabbie medie
- Unità E3.a2.t3 - Depositi quaternari di cordone litorale  
Granulometria dominante: sabbie da medie a fini
- Unità E3.a1/2.t3 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: sabbie limose

⊕ CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica

⊕ CPE - Prova penetrometrica statica con punta elettrica

⊕ CPTU - Prova penetrometrica statica con piezometro

⊕ DH - Prova sismica in foro tipo Downhole

⊕ DL - Prova penetrometrica dinamica leggera

⊕ DP - Prova penetrometrica dinamica pesante

⊕ SCPT - Prova penetrometrica con cono sismico

⊕ S - Sondaggio a carotaggio continuo

⊕ PA - Pozzo per acqua

⊕ SC - Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni

⊕ SP - Sondaggio con piezometro

⊕ T - Trincea o pozzetto esplorativo

⊕ HVSR - Stazione microtremore a stazione singola

⊕ MW - Masw

⊕ SR - Stesa sismica a rifrazione

**UNITA' LITOLOGICO-TECNICA "F"**

**Terreni coesivi a consistenza bassa, limitata o nulla**

- 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
- Unità F2.s3/s4.t2 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: limi argillosi e argille moderatamente consistenti, con presenza di frazione sabbiosa
- Unità F2.s3/s4 - Depositi quaternari alluvionali  
Granulometria dominante: limi argillosi e argille da moderatamente consistenti a poco consistenti
- 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



Ubicazione area d'intervento

- Depositi di gola
- Terreni eterogenei al fondo di laghi artificiali e/o cave
- Terreni di riporto

- Aree soggette a subsidenza (abbassamento > 3 mm/anno)  
Fonte: Minisr, Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
- Aree soggette a potenziali fenomeni di liquefazione

L.R. 65/2014  
**Piano Strutturale Intercomunale**  
Comuni di Pisa e Cascina

INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL DPR 53/R del 25/10/2011

CARTA LITOTECNICA E DEI DATI DI BASE  
TAV. QG.03

scala 1:25000

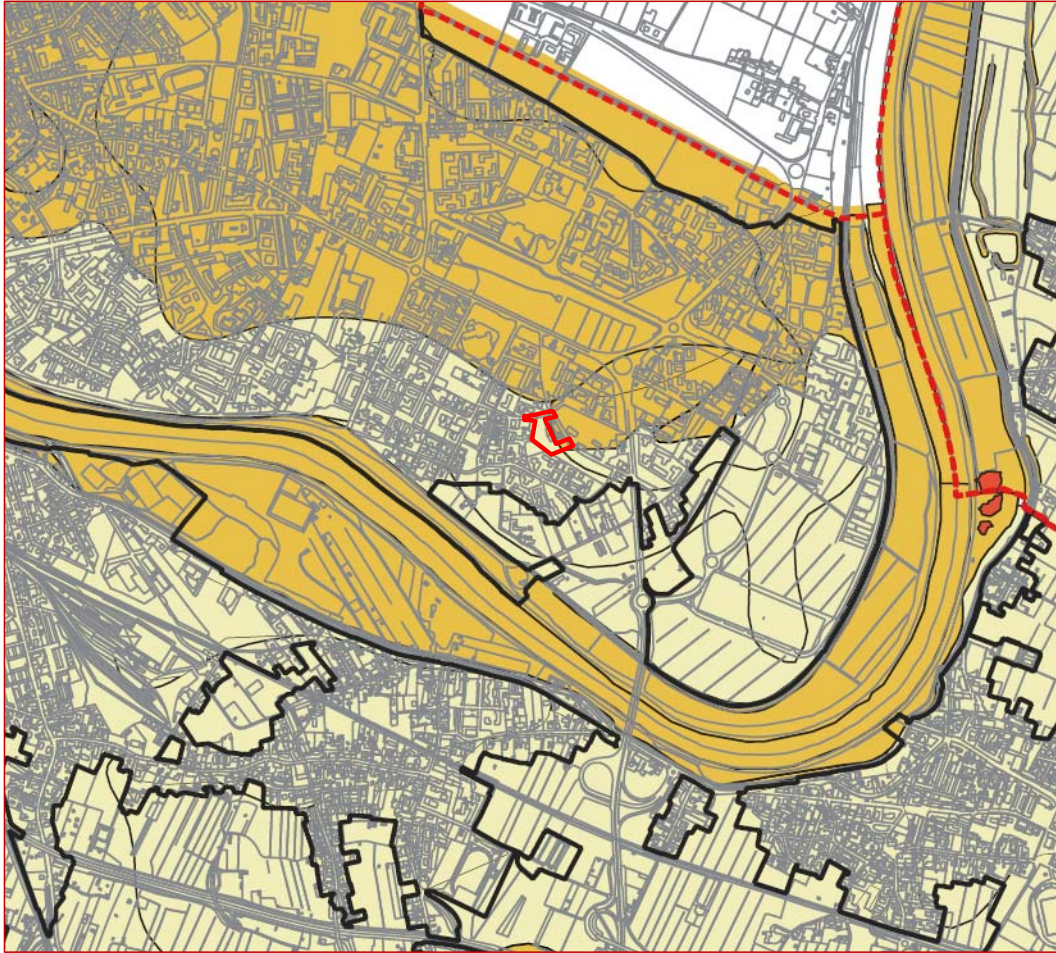
Indagini geologiche:  
Studio Geotecnia  
Geo. Roberto Giorgi

Progettazione:  
Ufficio di Piano comuni di Pisa e Cascina  
Coordinamento Piano: Arch. Sandro Cabassi  
Responsabile del Procedimento: Ing. Dany Pizzini

Studio Strutturale:  
Hydrogeo  
Ing. Giacomo Galloni

Sette Aprile 2020

Fig. 5 Carta litotecnica e dei dati di base e ubicazione area d'intervento



## LEGENDA

### CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

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

- Territorio urbanizzato
- Limiti amministrativi
- Ubicazione area d'intervento



L.R. 65/2014

### Piano Strutturale Intercomunale

Comuni di Pisa e Cascina



INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL DPGR 53/R del 25/10/2011

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA**  
**TAV. QG.10**

scala 1:25000

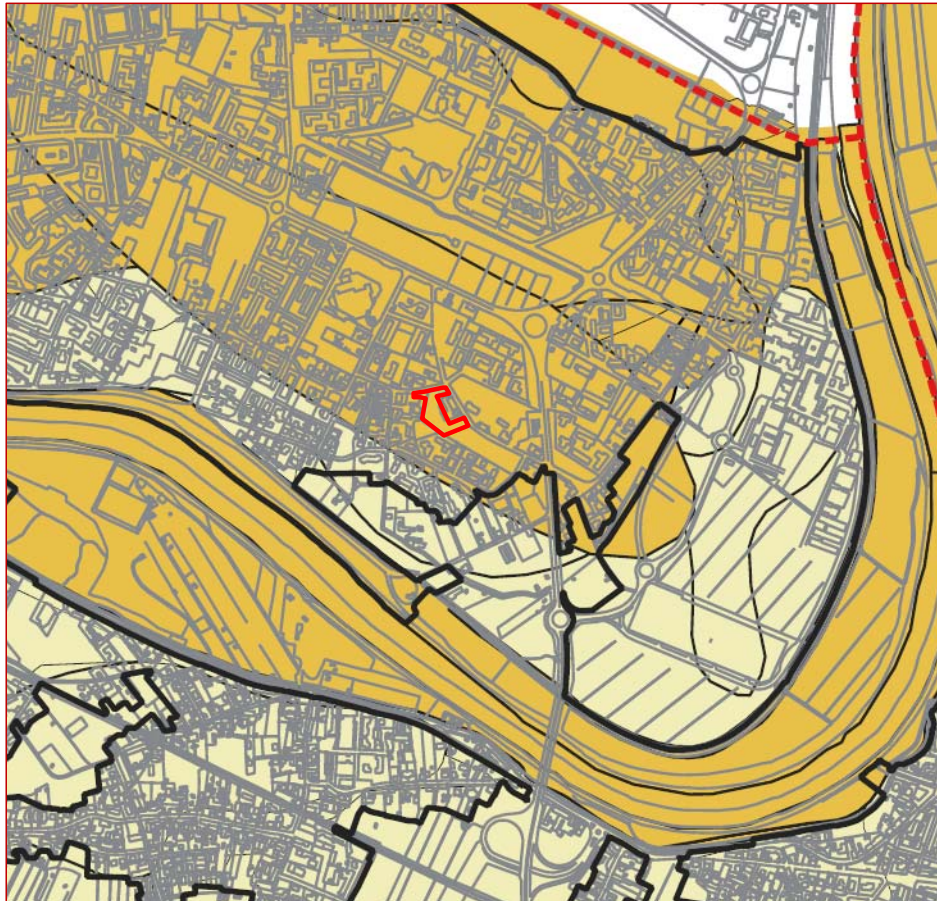
Indagini geologiche:  
Studio Geotek  
Geol. Roberto Giorgi

Progettazione:  
Ufficio di Piano comuni di Pisa e Cascina  
Coordinamento Piano: Arch. Sandro Ciabatti  
Responsabile del Procedimento: Ing. Daisy Ricci

Studio Idraulico:  
Hydrogeo  
Ing. Giacomo Gazzini

Data: Marzo 2020

Fig. 6 Carta pericolosità geologica e ubicazione area d'intervento  
estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina



## LEGENDA

### 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

- Territorio urbanizzato
- Limiti amministrativi
- Ubicazione area d'intervento

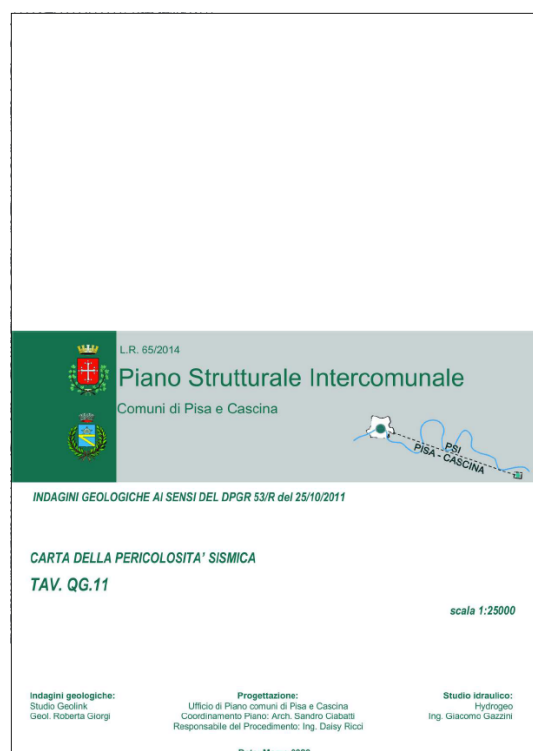
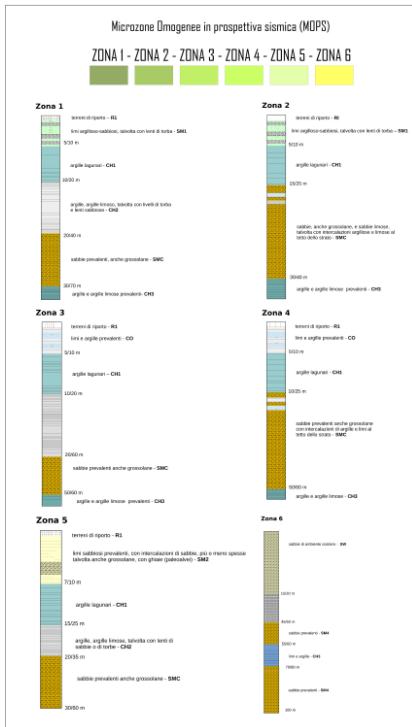
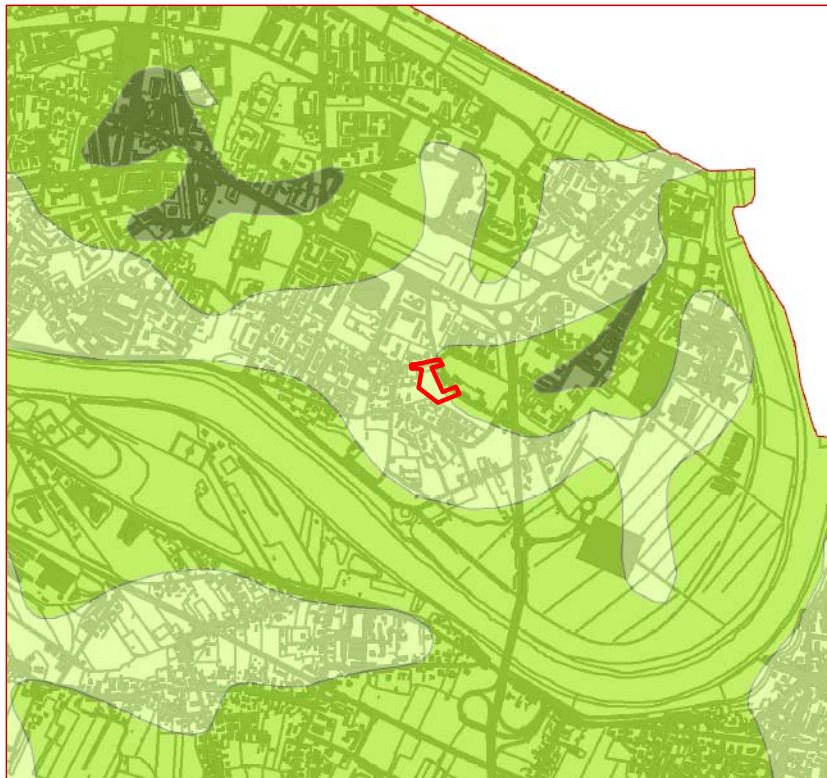

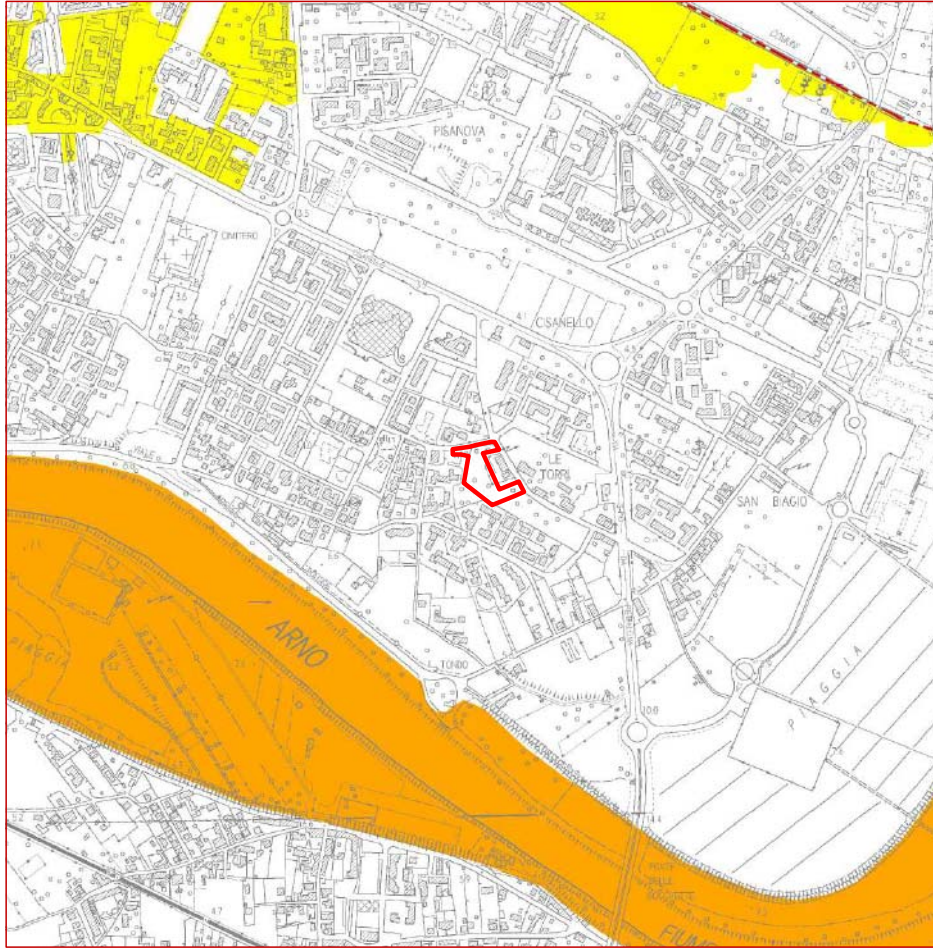


Fig. 7 Carta della pericolosità sismica e ubicazione area d'intervento



 Ubicazione area d'intervento

**Fig. 8 Carta delle MOPS e ubicazione area d'intervento**  
 estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina



### LEGENDA

- Confini Comuni di Pisa e Cascina
- Reticolo Idrografico ai sensi della L.R. n.79/2012
- Perimetrazioni ai sensi del DPGR 53R/2011**
- Aree a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (I4) - TR<=30 anni
- Aree a Pericolosità Idraulica Elevata (I3) - 30<TR<200 anni
- Ubicazione area d'intervento

Via Arezia 107/B - 50138 Firenze  
Tel 055 6887000 - P.IVA 05142000497  
e-mail: info@sudhydrogeo.it; pac: info@pec.hydrogeoingegneria.com

---

INDAGINI IDROLOGICHE IDRAULICHE DI SUPPORTO  
AL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE  
DEI COMUNI DI PISA E DI CASCINA

---

TAVOLA  
**5B**  
SCALA: 1:10000

COMMITTENTE:  
 Comune di Pisa  
Via degli Ulivi, 1  
59100 Pisa  
 Comune di Cascina  
Corso Matteotti, 50  
59021 Cascina

---

PROGETTISTI:  
ING. GIACOMO GAZZINI

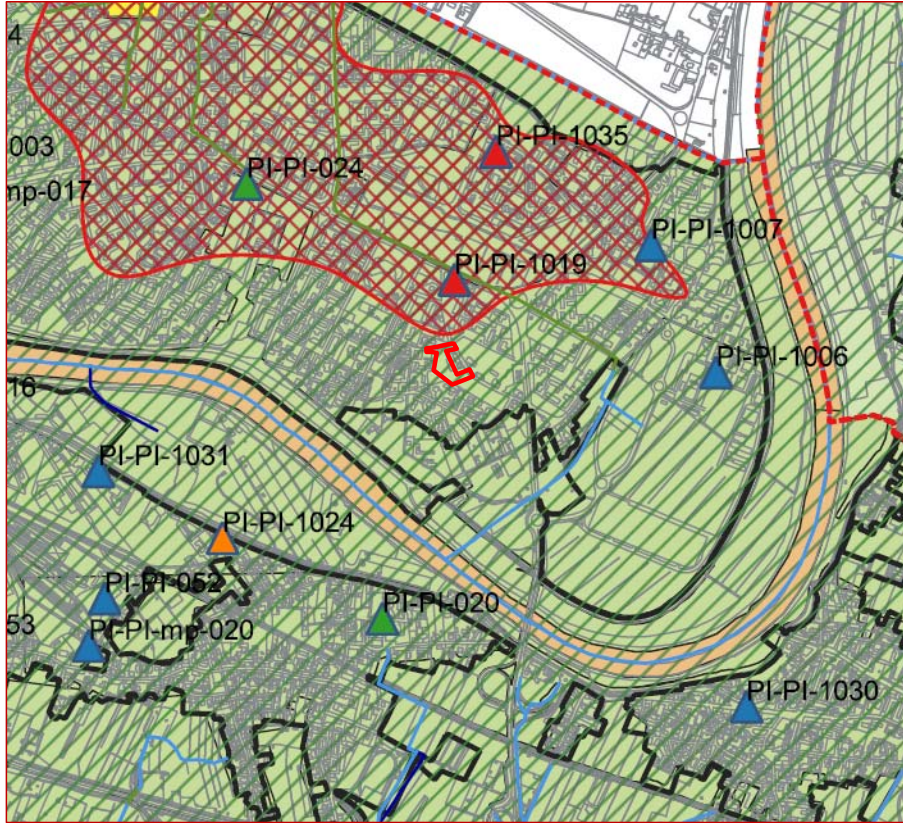
---

CODICE ELABORATO:					
PROGETTO	LOTTO	FASE	DOC	ELABORATO	REV
L 7 3 7	0 1	0 2	D	0 0 5 B	A

---

REV	DATA EMISSIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	MARZO 2020	G. GAZZINI	G. GAZZINI	G. GAZZINI

Fig. 9 Carta pericolosità idraulica e ubicazione area d'intervento  
 estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina



### LEGENDA

#### CLASSI DI VULNERABILITA'

- Vulnerabilità bassa
- Vulnerabilità media
- Vulnerabilità alta
- Aree soggette a subsidenza
- Aree a rischio

#### INTRUSIONE SALINA (anno 2018)

- IS1 - Intrusione salina accertata
- IS2 - Area suscettibile di intrusione
- IS3 - Assenza di intrusione salina

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



#### RETICOLO IDROGRAFICO DCR 20/2019

- SI
- NO (ALTRO RETICOLO)
- TOMBATO
- Limiti amministrativi
- Territorio urbanizzato

Ubicazione area d'intervento

L.R. 65/2014

## Piano Strutturale Intercomunale

Comuni di Pisa e Cascina

INDAGINI GEOLOGICHE AI SENSI DEL DPGR 53/R del 25/10/2011

CARTA DELLA VULNERABILITA' E DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE  
TAV. QG.06

scala 1:25000

Indagini geologiche:  
Studio Geolink  
Geol. Roberta Giorgi

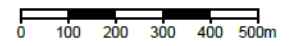
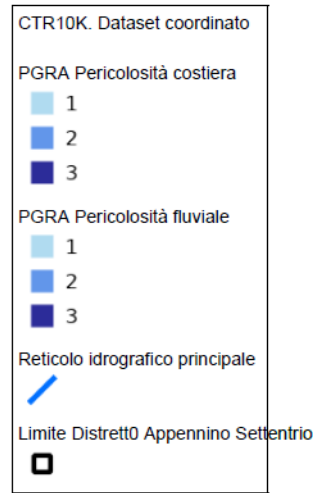
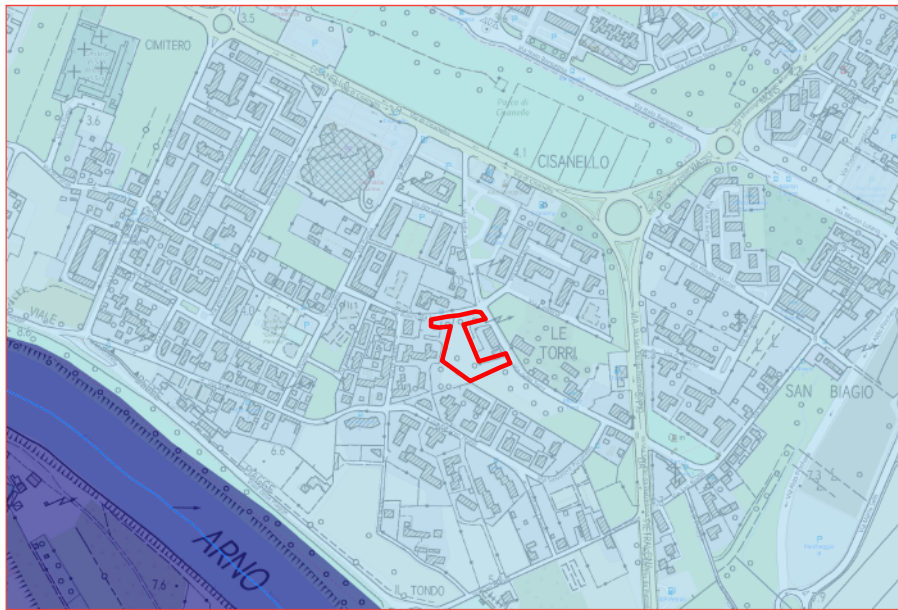
Progettazione:  
Ufficio di Piano comuni di Pisa e Cascina  
Coordinamento Piano: Arch. Sandro Cabatti  
Responsabile del Procedimento: Ing. Daisy Ricci

Studio Idraulico:  
Hydrogeo  
Ing. Giacomo Gazzini

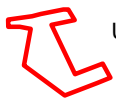
Data: Marzo 2020

Fig. 10 Carta della vulnerabilità e delle problematiche idrogeologiche e ubicazione area d'intervento  
estratta da P.S.I. dei Comuni di Pisa e Cascina



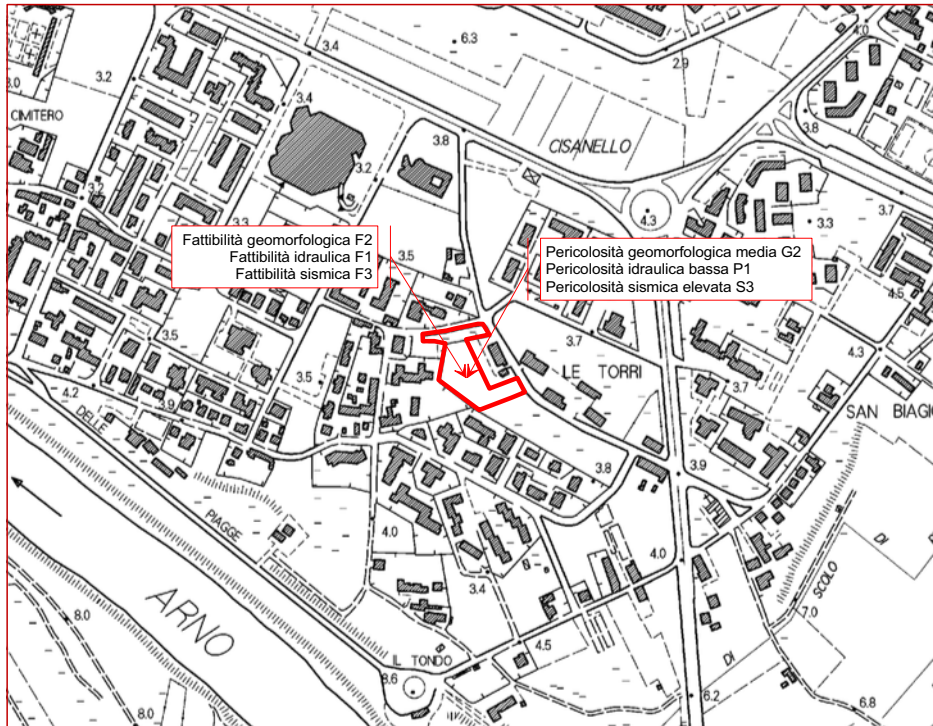


LEGENDA



Ubicazione area d'intervento

Fig. 11 Carta di pericolosità idraulica da alluvioni fluviali e ubicazione area d'intervento



## LEGENDA

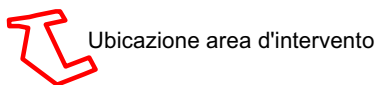


Fig. 12 Ubicazione area oggetto di Piano Attuativo e sintesi delle classi di pericolosità e fattibilità conformi alle Direttive di cui al D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020



**GEOSERVIZI S.N.C.**  
**di Cosco e Spadaro**

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)  
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

**Prove penetrometriche statiche e dinamiche**  
**CPT meccanica ed elettrica - CPTU - SPT - DP**

---

---

PROVA PENETROMETRICA STATICA

ELABORAZIONE NUMERICA DEI RISULTATI

---

---

N. prove: 2

Committente: Edilbrun Sas

Località: Pisa

Cantiere: Via delle Torri

Data: 6/11/03

LEGENDA

#####	aot	argilla organica e/o torba	Rp	Resistenza di Punta
=====	a	argilla	RI	Resistenza laterale
====~	al	argilla limosa	Rp/RI	Rapporto Begemann
~	l	limo	Rt	Spinta totale (rivest.+punta)
~	sl	sabbia e limo	$\gamma$	Peso di volume
~	ss	sabbia sciolta	$\sigma'_{vo}$	Pressione verticale efficace
~	sm	sabbia mediamente addensata	$\phi$	Angolo di attrito interno
~	sdg	sabbia densa e/o ghiaia	Dr	Densità relativa
*****	rip	riporto	Cu	Coesione non drenata
			mv	Coeff. di compressibilità volum.

**Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani**  
**(con anello allargatore)**  
**Punta meccanica tipo "Begemann"**  
**Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°**  
**Ap=10 cm<sup>2</sup>; At=20 cm<sup>2</sup>; Am=150 cm<sup>2</sup>**  
**Velocità di avanzamento = 2 cm/sec**



# GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)  
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero: 1

Data: 6/11/03

Committente: Edilbrun Sas

Località: Pisa

Cantiere: Via delle Torri

Profondità massima: 13,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,1 m dal p.c.

## parametri geotecnici stimati

Prof. [metri]	Rp [Kg/cmq]	RI [Kg/cmq]	Rp/RI	Rt [Kgf]	$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				81	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				211	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	15,1	0,5	32	221	1,91	0,11	-	-	0,60	19,6	=====	al
0,8	21,3	0,7	29	543	1,93	0,15	-	-	0,84	18,8	=====	al
1	48,3	0,7	66	623	1,84	0,19	41	81	-	6,9	=====	sm
1,2	53,3	1,2	44	1133	1,87	0,22	31	-	-	6,3	=====	sl
1,4	61,3	0,5	131	853	1,91	0,26	41	82	-	5,4	=====	sm
1,6	23,3	2,0	12	903	1,93	0,30	-	-	0,92	15,9	=====	a
1,8	31,4	2,2	14	764	1,95	0,34	-	-	1,24	12,7	=====	a
2	15,4	1,6	10	574	1,58	0,37	-	-	0,60	24,1	#####	aot
2,2	15,4	1,5	10	604	1,58	0,38	-	-	0,60	24,1	#####	aot
2,4	12,4	0,9	13	374	1,55	0,39	-	-	0,48	29,9	#####	aot
2,6	15,4	1,1	14	534	1,91	0,41	-	-	0,60	19,6	=====	a
2,8	19,5	1,1	18	655	1,92	0,43	-	-	0,76	19,8	=====	a
3	21,5	1,2	18	795	1,93	0,45	-	-	0,84	18,6	=====	a
3,2	20,5	0,9	24	1005	1,92	0,47	-	-	0,80	19,5	=====	a
3,4	25,5	1,3	19	1225	1,93	0,49	-	-	1,00	15,7	=====	a
3,6	23,5	1,3	18	1525	1,93	0,50	-	-	0,92	17,0	=====	a
3,8	22,7	1,5	15	1627	1,93	0,52	-	-	0,89	17,7	=====	a
4	15,7	1,5	10	1707	1,59	0,53	-	-	0,60	23,7	#####	aot
4,2	10,7	1,2	9	1957	1,54	0,54	-	-	0,40	34,8	#####	aot
4,4	37,7	0,8	47	2257	1,79	0,56	30	-	-	8,9	=====	sl
4,6	49,7	0,8	62	2317	1,85	0,58	36	57	-	6,7	=====	sm
4,8	51,8	1,3	41	2448	1,86	0,59	31	-	-	6,4	=====	sl
5	27,8	0,9	30	2248	1,74	0,61	28	-	-	12,0	=====	sl
5,2	8,8	1,3	7	1848	1,52	0,62	-	-	0,33	39,8	#####	aot
5,4	4,8	0,3	14	1818	1,48	0,63	-	-	0,17	61,9	#####	aot
5,6	5,8	0,1	43	1768	1,63	0,64	-	-	0,21	33,7	=====	l
5,8	7,9	0,3	30	1799	1,80	0,66	-	-	0,29	27,2	=====	al
6	6,9	0,3	21	1789	1,75	0,67	-	-	0,25	30,0	=====	a
6,2	4,9	0,3	15	1789	1,48	0,68	-	-	0,17	60,6	#####	aot
6,4	3,9	0,3	15	1779	1,47	0,69	-	-	0,13	73,2	#####	aot
6,6	5,9	0,2	30	1859	1,70	0,71	-	-	0,21	33,8	=====	al
6,8	7,0	0,4	18	1830	1,75	0,72	-	-	0,25	29,6	=====	a
7	7,0	0,5	15	1890	1,50	0,73	-	-	0,25	46,0	#####	aot
7,2	6,0	0,5	11	1890	1,49	0,74	-	-	0,21	51,5	#####	aot
7,4	6,0	0,5	13	1900	1,49	0,75	-	-	0,21	51,5	#####	aot
7,6	5,0	0,5	11	1960	1,48	0,76	-	-	0,17	59,3	#####	aot
7,8	5,2	0,5	11	1972	1,48	0,77	-	-	0,18	58,1	#####	aot
8	6,2	0,5	13	1952	1,49	0,78	-	-	0,22	50,7	#####	aot
8,2	5,2	0,5	11	1962	1,48	0,79	-	-	0,18	58,1	#####	aot
8,4	6,2	0,5	13	1962	1,49	0,80	-	-	0,21	50,7	#####	aot
8,6	5,2	0,5	11	1962	1,48	0,81	-	-	0,17	58,1	#####	aot
8,8	5,3	0,3	16	2123	1,48	0,82	-	-	0,18	57,0	#####	aot
9	10,3	0,3	31	2063	1,90	0,84	-	-	0,38	23,0	=====	al
9,2	7,3	0,6	12	2033	1,50	0,85	-	-	0,26	44,9	#####	aot
9,4	5,3	0,2	27	2023	1,67	0,86	-	-	0,18	36,9	=====	a
9,6	5,3	0,3	16	2083	1,48	0,87	-	-	0,18	57,0	#####	aot
9,8	5,4	0,3	20	2064	1,67	0,88	-	-	0,18	36,2	=====	a
10	5,4	0,3	16	2044	1,48	0,89	-	-	0,18	55,9	#####	aot





**GEOSERVIZI S.N.C.**  
**di Cosco e Spadaro**

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)  
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero: 1

Committente: Edilbrun Sas

Località: Pisa

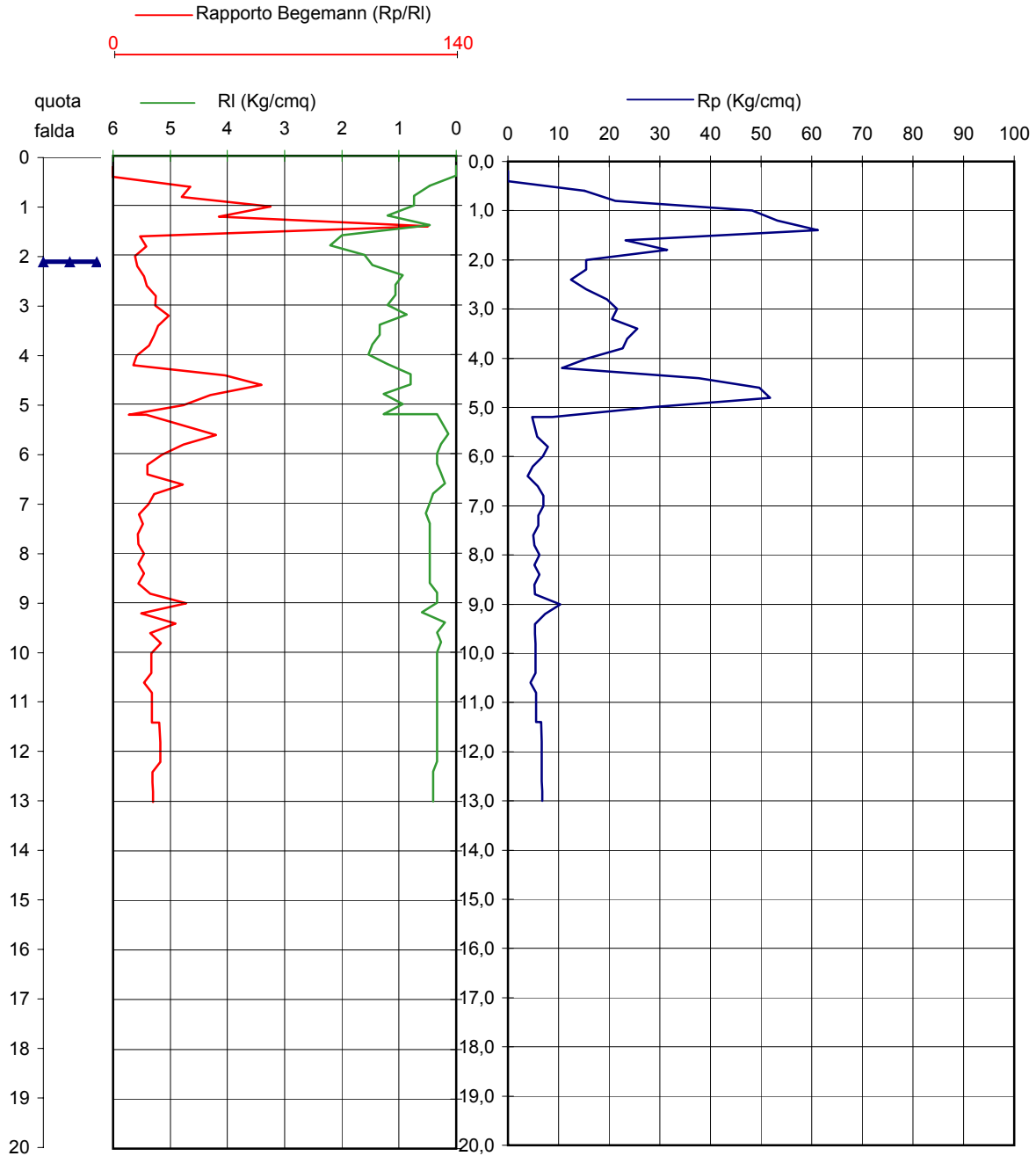
Cantiere: Via delle Torri

Data: 6/11/03

Profondità massima (m): 13

Quota falda (m dal p.c.): 2,1

**PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI**





# GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)  
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero: 2

Data: 6/11/03

Committente: Edilbrun Sas

Località: Pisa

Cantiere: Via delle Torri

Profondità massima: 13,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,1 m dal p.c.

## parametri geotecnici stimati

Prof. [metri]	Rp [Kg/cmq]	RI [Kg/cmq]	Rp/RI	Rt [Kgf]	$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				141	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				211	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	13,1	0,6	22	371	1,91	0,11	-	-	0,52	20,5	=====	a
0,8	23,3	0,5	50	403	1,72	0,14	39	62	-	14,3	=====	sm
1	25,3	0,5	47	573	1,73	0,18	28	-	-	13,2	=====	sl
1,2	25,3	0,4	63	633	1,73	0,21	38	56	-	13,2	=====	sm
1,4	32,3	0,7	44	643	1,76	0,25	29	-	-	10,3	=====	sl
1,6	16,3	0,9	19	663	1,91	0,29	-	-	0,64	19,4	=====	a
1,8	19,4	0,9	21	454	1,92	0,33	-	-	0,76	19,8	=====	a
2	13,4	0,9	14	384	1,91	0,36	-	-	0,52	20,3	=====	a
2,2	12,4	0,7	17	314	1,91	0,38	-	-	0,48	20,9	=====	a
2,4	11,4	0,6	19	344	1,90	0,40	-	-	0,44	21,8	=====	a
2,6	11,4	0,7	17	424	1,90	0,42	-	-	0,44	21,8	=====	a
2,8	13,5	0,7	18	515	1,91	0,44	-	-	0,52	20,3	=====	a
3	14,5	0,9	17	615	1,91	0,45	-	-	0,56	19,8	=====	a
3,2	17,5	1,0	18	765	1,92	0,47	-	-	0,68	19,4	=====	a
3,4	22,5	1,2	19	945	1,93	0,49	-	-	0,88	17,8	=====	a
3,6	21,5	1,3	17	1115	1,93	0,51	-	-	0,84	18,6	=====	a
3,8	15,7	1,3	12	1247	1,59	0,52	-	-	0,61	23,7	#####	aot
4	12,7	0,9	15	1357	1,91	0,54	-	-	0,48	20,8	=====	a
4,2	9,7	0,7	14	1427	1,53	0,55	-	-	0,36	37,7	#####	aot
4,4	13,7	0,7	19	1757	1,91	0,57	-	-	0,52	20,2	=====	a
4,6	46,7	0,4	117	2037	1,83	0,58	36	54	-	7,1	=====	sm
4,8	52,8	0,7	72	2098	1,86	0,60	36	58	-	6,3	=====	sm
5	27,8	0,9	30	1778	1,74	0,62	28	-	-	12,0	=====	sl
5,2	6,8	0,9	7	1628	1,50	0,63	-	-	0,25	47,3	#####	aot
5,4	3,8	0,3	14	1518	1,47	0,64	-	-	0,13	75,4	#####	aot
5,6	3,8	0,2	19	1518	1,59	0,65	-	-	0,13	49,1	=====	a
5,8	4,9	0,3	18	1539	1,65	0,66	-	-	0,17	39,3	=====	a
6	5,9	0,3	22	1589	1,70	0,67	-	-	0,21	33,8	=====	a
6,2	5,9	0,3	18	1609	1,70	0,69	-	-	0,21	33,8	=====	a
6,4	4,9	0,3	18	1609	1,65	0,70	-	-	0,17	39,3	=====	a
6,6	4,9	0,2	25	1619	1,65	0,71	-	-	0,17	39,3	=====	a
6,8	7,0	0,2	35	1650	1,75	0,73	-	-	0,25	29,6	=====	al
7	8,0	0,3	30	1650	1,80	0,75	-	-	0,29	26,9	=====	al
7,2	7,0	0,3	21	1680	1,75	0,76	-	-	0,25	29,6	=====	a
7,4	7,0	0,4	18	1720	1,75	0,78	-	-	0,25	29,6	=====	a
7,6	7,0	0,3	21	1740	1,75	0,79	-	-	0,25	29,6	=====	a
7,8	7,2	0,4	18	1782	1,76	0,81	-	-	0,25	29,2	=====	a
8	7,2	0,4	18	1812	1,76	0,82	-	-	0,25	29,2	=====	a
8,2	6,2	0,5	13	1812	1,49	0,83	-	-	0,21	50,7	#####	aot
8,4	5,2	0,4	13	1912	1,48	0,84	-	-	0,17	58,1	#####	aot
8,6	16,2	0,3	49	1712	1,68	0,85	28	9	-	1,0	=====	ss
8,8	34,3	0,9	37	2333	1,77	0,87	29	-	-	9,7	=====	sl
9	43,3	0,3	130	2393	1,82	0,89	33	42	-	7,7	=====	sm
9,2	10,3	0,9	12	2293	1,53	0,90	-	-	0,38	36,0	#####	aot
9,4	10,3	0,9	12	2003	1,53	0,91	-	-	0,38	36,0	#####	aot
9,6	6,3	0,4	16	1933	1,49	0,92	-	-	0,22	49,9	#####	aot
9,8	5,4	0,4	14	1924	1,48	0,93	-	-	0,18	55,9	#####	aot
10	5,4	0,3	20	1944	1,67	0,94	-	-	0,18	36,2	=====	a







**GEOSERVIZI S.N.C.**  
**di Cosco e Spadaro**

Via U. Foscolo 14 - 56017 Ghezzano (PI)  
tel e fax 050-878470 cell. 339-1344492

Prova numero: 2

Committente: Edilbrun Sas

Località: Pisa

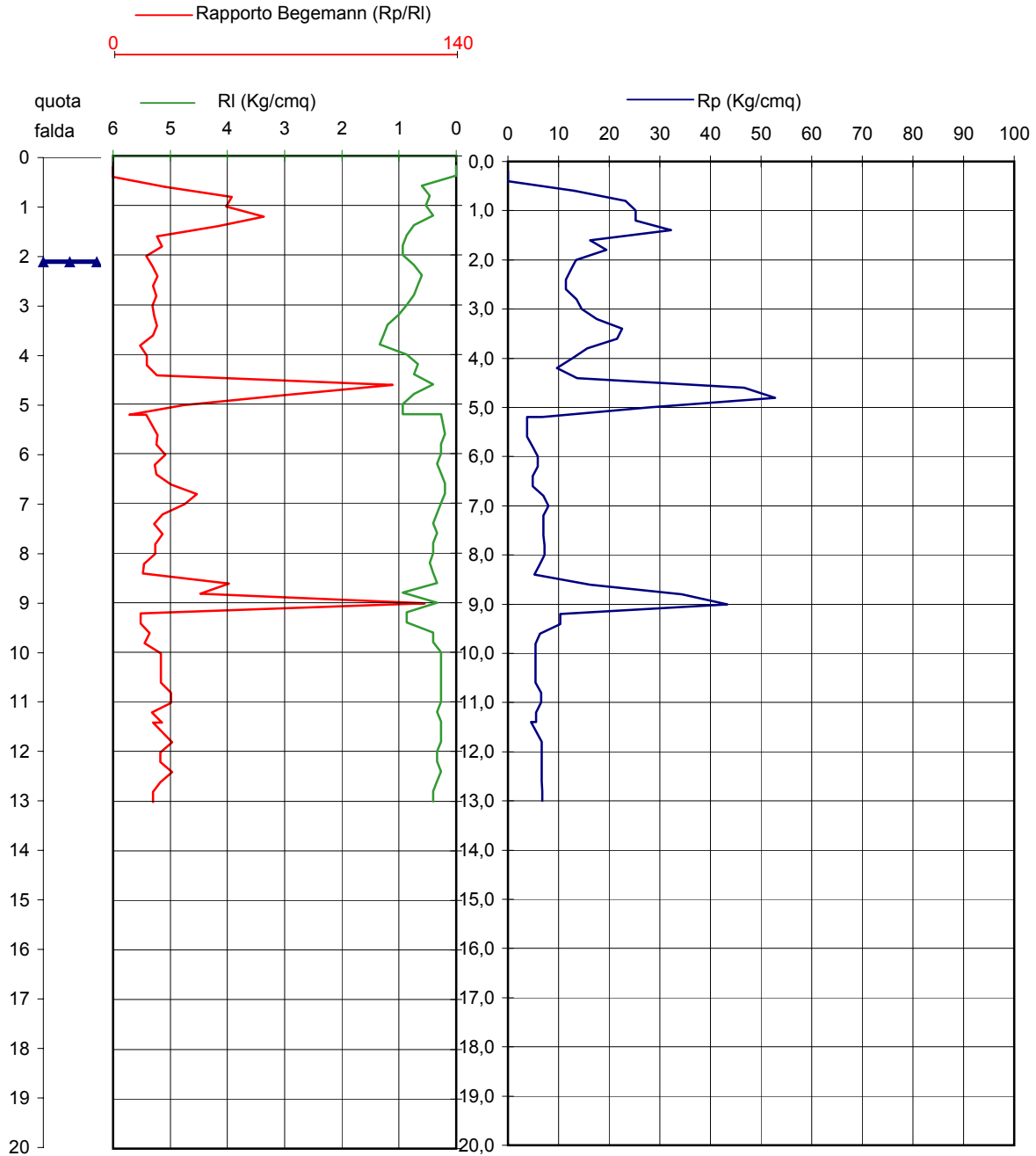
Cantiere: Via delle Torri

Data: 6/11/03

Profondità massima (m): 13

Quota falda (m dal p.c.): 2,1

**PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI**



INDAGINE GEOFISICA CONGIUNTA  
TRA SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH E M.A.S.W.  
PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEI TERRENI  
ED IL CALCOLO DEL PARAMETRO VS30

via Puglia - Comune di Pisa (PI)



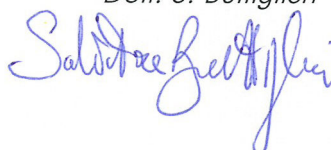
Committente: GEOPIU' Studio di Geologia - Dott. Geol. Lorenzo Mannella

RELAZIONE TECNICA

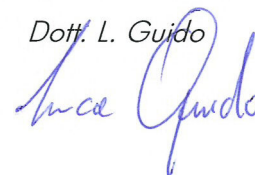
Ottobre 2013

S.I.S.M.A. geo  
PROSPEZIONI SISMICHE  
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa  
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri



Dott. L. Guido



## Indice

1 - PREMESSA .....	3
2 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE .....	5
3 - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH .....	6
4 - SCHEMA DI ACQUISIZIONE DELLA RIFRAZIONE IN ONDE SH.....	8
5 - PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI.....	9
6 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA.....	11
7 - INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W. ....	12
8 - PROCEDURA DI CAMPAGNA (M.A.S.W.) .....	14
9 - ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI.....	14
10 - CALCOLO DEL PARAMETRO Vs30 (D.M. 14/01/2008).....	16

## 1 - PREMESSA

La presente relazione tecnica riguarda le indagini geofisiche eseguite, per conto dello *Studio di Geologia GEOPIÙ* e su incarico del Dott. Geol. Lorenzo mannella, in via Puglia nel comune di Pisa (Pi), allo scopo di ricostruire la successione stratigrafica delle unità geofisiche e valutarne le relative proprietà meccaniche elastiche (velocità delle onde trasversali S ( $V_s$ ) e i relativi parametri elastici ( $E$ ,  $G$ ,  $K$  e  $\nu$ ) dei terreni presenti.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sitespecifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

Tali indagini, effettuate il giorno 03.10.2013, sono state svolte secondo il seguente programma:

- esecuzione di una **prospezione sismica a rifrazione con onde SH**, tramite stendimento di lunghezza pari a 57,5 metri (24 canali; interasse: 2,50 m);
- esecuzione di un **prospezione sismica con metodologia M.A.S.W.** tramite stendimento di lunghezza pari a 57,5 metri (24 canali; interasse: 2,50 m).

Nel nostro caso avendo constatato, dalle indagini eseguite sull'area stessa (prove penetrometriche), la presenza di terreni meno consistenti con la profondità (probabili inversioni di velocità sismica) e non essendoci oggettivamente la possibilità per motivi logistici (spazi limitati) di effettuare prospezioni sismiche a rifrazione sufficientemente lunghe, si è scelto di eseguire un'analisi congiunta tra le due metodologie di indagini (rifrazione con onde SH e M.A.S.W.).

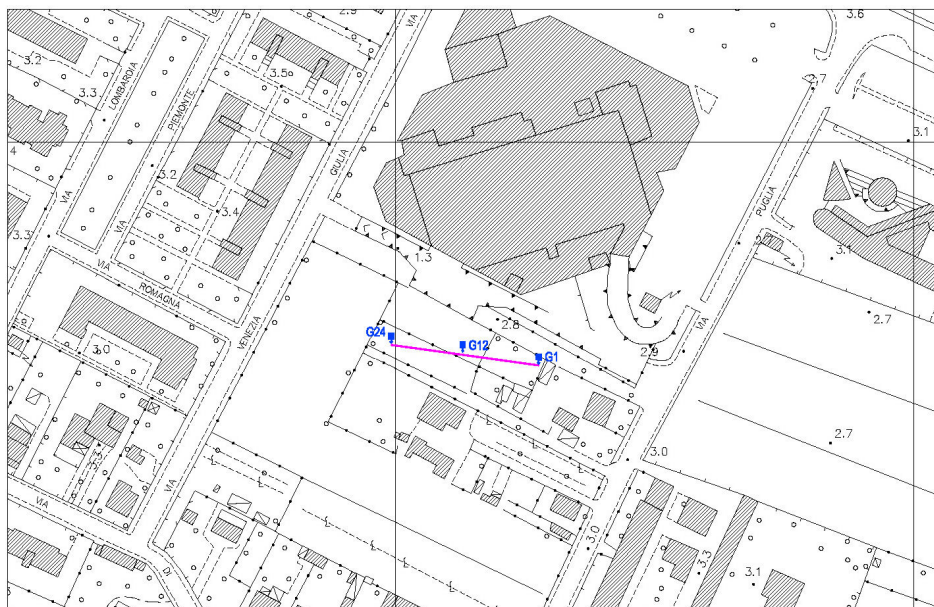
Lo scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ( $V_s$ -z) per la definizione del parametro **Vs30**.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.


Nelle figg. 1a e 1b seguenti si riporta l'ubicazione delle prospezioni sismiche eseguite.



Fig. 1a



**LEGENDA**


 Prospezione sismica a rifrazione in onde Sh + M.A.S.W.



 G1 - G24 Geofoni

Fig. 1b

## 2 - CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE

Il sistema di acquisizione dati è un sismografo marca M.A.E. srl, modello SYSMATRACK (foto seguente), sistema multicanale (12/24 canali) in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare 24 geofoni orizzontali da 10 Hz (rifrazione in onde SH + M.A.S.W.), è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.



Sismografo



Sistema di battitura - Trigger

Sul pannello frontale trovano posto i due connettori 24 poli per i cavi sismici da 12 canali ciascuno, il connettore per lo starter, l'alimentazione esterna 12V e l'interfaccia USB per collegare il notebook necessario alla gestione della strumentazione. Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità al trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger. Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

### Caratteristiche tecniche:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risoluzione: 24 bit</li> <li>- Numero canali: 24</li> <li>- Campioni per canale : 20.000</li> <li>- Campionamento : da 80 a 13.500 c/s</li> <li>- Analisi del rumore ambientale pre-acquisizione</li> <li>- Test geofoni automatico</li> <li>- Funzioni Trigger e Pre-Trigger</li> <li>- Filtri settabili da software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentazione: power box esterno 12V</li> <li>- Valigia in copolimeri di polypropylene</li> <li>- Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C</li> <li>- Interfaccia USB su pannello interno</li> <li>- Connettore per cavo sismico 1-12</li> <li>- Connettore per cavo sismico 13-24</li> <li>- Dimensioni: 30 x 22,5 x 13,2 cm.</li> </ul>
---	--

Per la produzione di onde SH è stata utilizzata una trave, la cui estremità è stata colpita con una massa battente di 8 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato dalla nostra autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH.



Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase. Ogni energizzazione viene registrata sull'hard disk del computer sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

### 3 - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH

Nella prospezione sismica a rifrazione con onde SH si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde trasversali per determinare lo spessore e l'andamento dei diversi strati del terreno.

La prospezione consiste nel generare nel terreno un'onda sismica, attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo, ecc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo, dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni), seguendo le leggi di rifrazione (Legge di Snell), cioè considerando le rifrazioni che l'onda stessa subisce in corrispondenza delle superfici di separazione tra due strati sovrapposti aventi densità (ovvero moduli di elasticità) crescenti con la profondità.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono.

Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche trasversali ( $V_s$ ), risalendo allo spessore dei terreni attraversati. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, in generale, dipende da diversi fattori; in uno stesso tipo di roccia, <sub>6</sub>

ad esempio, la velocità può diminuire od aumentare con la profondità in funzione del grado di alterazione e/o fratturazione. Sensibili variazioni, inoltre, si possono avere nei terreni incoerenti saturi; la velocità delle onde P, infatti, è fortemente influenzata dalla presenza della falda e dal grado di saturazione. La velocità delle onde compressionali (onde P), diversamente da quelle trasversali (onde S) che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Nella tabella 1 sono riportate le velocità medie delle onde sismiche (esprese in m/s) nelle principali litologie, tratte da letteratura.

Materiale	VP m/s	VSH m/s	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I - Velocità dei principali materiali

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello può essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde in esso risulta superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato



- dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad  $1/3$  del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
  - analogamente, incrementi gradualmente di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro, i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il Generalized Reciprocal Method (GRM: PALMER, 2001), consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

#### 4 - SCHEMA DI ACQUISIZIONE DELLA RIFRAZIONE IN ONDE SH

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (shot points), vengono disposti simmetricamente e reciprocamente lungo lo stendimento: esternamente (offset), centralmente (punti di scoppio centrali) e a distanze variabili entro il profilo stesso. La profondità di investigazione è, in linea teorica, direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

Nel caso specifico l'indagine è consistita nella realizzazione di uno stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a 57,5 m, lungo il quale sono stati collegati n. 24 geofoni orizzontali (10 hz) in serie spaziatamente tra loro di 2,5 m la cui ubicazione è riportata nella Fig. 1b.



Sismica a rifrazione in onde SH: stendimento geofoni

Per la generazione di onde di taglio SH sono stati utilizzati n. 5 punti di energizzazione disposti simmetricamente e reciprocamente lungo lo stendimento (Fig. 3) secondo quanto segue:

- 2 end-shot posti a 2,5 m dai geofoni esterni
- 2 intermedi posti rispettivamente tra i geofoni 6 e 7; 18 e 19
- 1 centrale tra i geofoni 12 e 13.

## 5 - PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde SH si è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione del primo arrivo delle onde attraverso l'osservazione dei vari sismogrammi e l'operazione di *Picking* (Allegato A).
- Ricostruzione delle dromocrone in SH (Fig. 2) scelta del modello di sottosuolo utilizzato nell'interpretazione.
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta.
- Ricostruzione (attraverso il software "*Intersism*" della *Geo&Soft International*) della sezione sismostratigrafica (Fig. 3) ottenuta, al disotto della superficie topografica: l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale

allo spessore dello strato. Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico: nel nostro caso la sezione litostratigrafica interpretativa, ottenuta con il metodo di elaborazione GRM, è stata ricostruita utilizzando come taratura sia due prove penetrometriche che un sondaggio a carotaggio continuo. Si ricorda infine che i modelli ottenuti sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che per approssimare il più possibile gli andamenti dei rifrattori individuati con quelli reali sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente. Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo dei primi arrivi individuati su ciascun ricevitore per ogni punto di scoppio.

#### Schema dettagliato della linea sismica a rifrazione SH

##### POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	2.60
16.25	2.60
31.25	2.60
46.25	2.60
62.50	2.60

##### POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 16.25 [ms]	FBP da 31.25 [ms]	FBP da 46.25 [ms]	FBP da 62.5 [ms]
1	2.50	2.60	8.50	18.70	59.20	77.90	116.00
2	5.00	2.60	14.50	16.90	57.50	76.10	114.20
3	7.50	2.60	21.10	15.70	53.90	72.50	111.80
4	10.00	2.60	24.80	10.30	49.50	70.70	111.20
5	12.50	2.60	42.90	7.20	45.90	66.50	109.30
6	15.00	2.60	46.50	2.40	41.10	62.20	106.30
7	17.50	2.65	53.20	6.70	35.60	60.40	100.00
8	20.00	2.60	56.30	10.30	30.80	56.20	95.10
9	22.50	2.60	59.90	12.70	26.00	52.00	90.30
10	25.00	2.60	65.20	18.10	20.50	48.30	87.60
11	27.50	2.60	70.70	26.50	10.90	44.70	81.10
12	30.00	2.60	76.10	32.70	5.40	40.50	76.70
13	32.50	2.60	82.80	38.70	3.60	38.10	68.90
14	35.00	2.60	91.90	42.30	9.10	32.60	67.20
15	37.50	2.60	100.30	46.50	14.50	28.40	65.60
16	40.00	2.60	103.90	50.10	24.80	21.10	60.70
17	42.50	2.60	109.30	60.40	30.80	13.90	59.10
18	45.00	2.60	114.10	63.40	37.50	7.90	55.90
19	47.50	2.60	116.60	65.20	41.70	2.00	50.80
20	50.00	2.60	119.00	69.50	46.50	4.80	43.50
21	52.50	2.60	120.80	74.90	49.50	8.50	34.40
22	55.00	2.60	122.60	77.30	52.60	11.50	26.50
23	57.50	2.60	125.10	80.90	54.40	13.30	16.30
24	60.00	2.60	127.50	83.40	57.40	15.10	9.10

Riportando su un grafico spazio-tempo i tempi di arrivo rilevati in corrispondenza di ciascun geofono si ottiene il cosiddetto *grafico delle dromocrone* (Fig. 2).

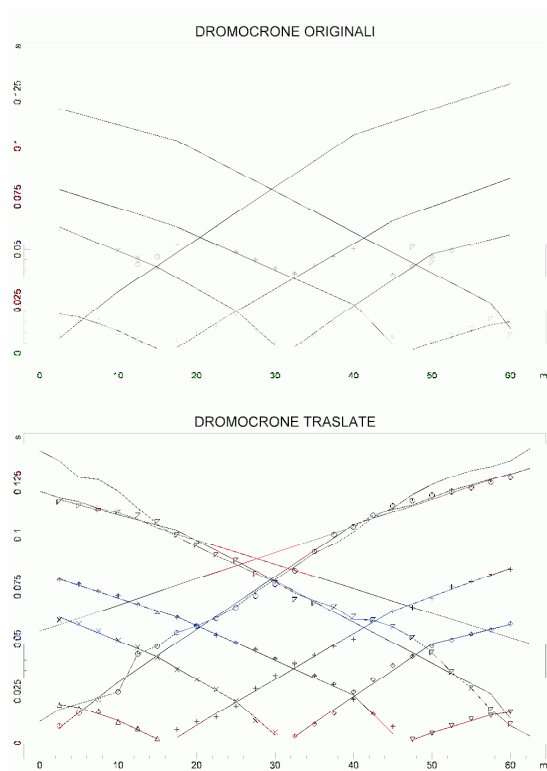


Fig. 2 - Dromocrone

L'interpretazione delle dromocrone, nel nostro caso elaborata attraverso il software *Intersism*, ha permesso di individuare, al di sotto di ciascun punto di scoppio (shot), le profondità dei rifrattori presenti e di ricostruire la sezione sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo, così come riportato nella sottostante Fig. 3.

## 6 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

Dall'indagine eseguita attraverso lo stendimento sismico sono stati riconosciuti, nell'area oggetto di studio, n. 3 sismostrati a velocità VSH delle onde sismiche crescenti con la profondità:

$$V1 = 138 - 135 - 139 \text{ m/s}$$

$$V2 = 150 - 152 - 149 \text{ m/s}$$

$$V3 = 178 - 181 - 184 \text{ m/s}$$

Il primo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità VSH mediamente di 137 m/s: ha uno spessore medio di circa 2.5 m.

Il secondo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità Vsh mediamente di 150 m/s: ha uno

spessore medio di 3.5 m.

Il terzo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità  $V_{sh}$  mediana di 181 m/s.

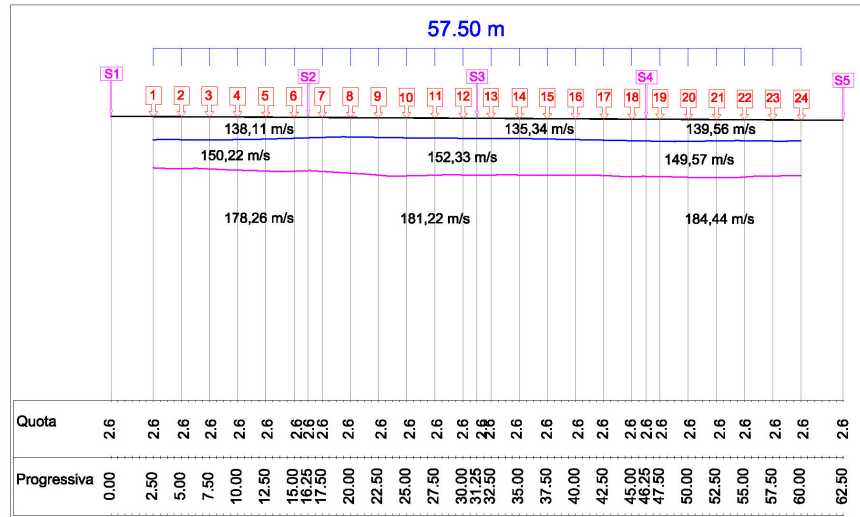


Fig. 3 - Sezione sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo

## 7 - INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama *dispersione*.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidezza superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato, come prima accennato, dalle

onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine M.A.S.W. si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10 Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

In questa indagine faremo riferimento al metodo M.A.S.W. attivo, che consente la classificazione sismica dei suoli in quanto fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 m di profondità.

Il metodo M.A.S.W. consiste in tre fasi (Roma, 2002): nella prima fase si calcola la velocità di fase o curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) apparente sperimentale; nella seconda fase si calcola la velocità di fase apparente numerica; nella terza ed ultima fase si individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale (o curva di dispersione sperimentale) e la velocità di fase numerica (o curva di dispersione numerica) corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson  $\nu$  e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002, Roma, 2001, Joh, 1998) la ricerca del

profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico. Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità  $V_{s30}$  e quindi individuare la categoria sismica di sottosuolo.

## 8 - PROCEDURA DI CAMPAGNA (M.A.S.W.)

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita secondo un array lineare da 24 geofoni orizzontali (10 Hz) di lunghezza di 57,5 m con spaziatura intergeofonica pari a 2,5 m (foto seguente).

## 9 - ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (WinM.A.S.W. PRO). L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

### **Elaborazione M.A.S.W.**

L'analisi M.A.S.W. può essere ricondotta in tre fasi:

- Prima fase: trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  - numero d'onda  $K$ ;
- Seconda fase: individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{\text{fase}}$  (m/sec) - frequenza (Hz) - (Fig. 4).
- Terza fase: calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando in maniera opportuna lo spessore  $h$ , le velocità delle onde  $V_s$  e  $V_p$ , e la densità di massa  $\rho$  degli strati costituenti il modello del suolo fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig. 5).

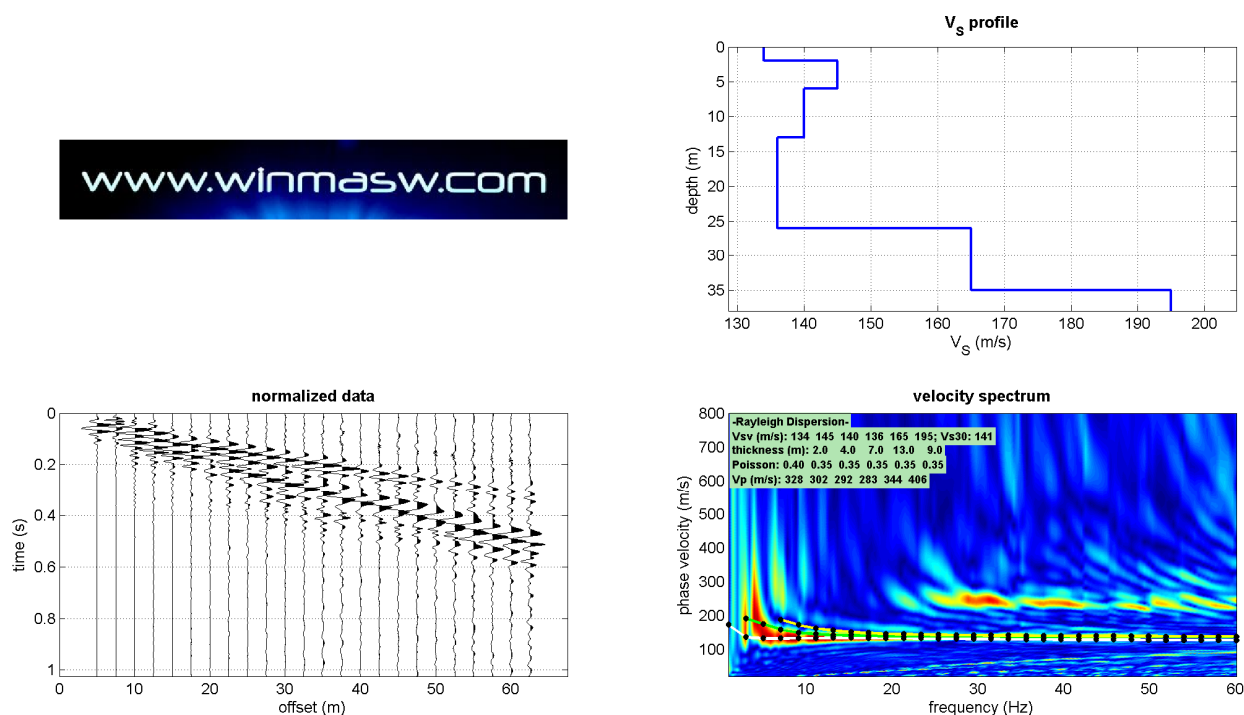


Fig. 4

Nella tabella seguente si riporta il profilo verticale delle onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna:

PROFONDITA' DELLA BASE DELLO STRATO [m]	SPESSORE DELLO STRATO [m]						Vs [m/sec]
2.0	2.0						134
6.0	4.0						145
13.0	7.0						140
26.0	13.0						136
35	9.0						165
							195
<b>MEAN MODEL</b>							
Approximate values for Vp, density, Shear modulus							
Vp (m/s)	328	302	292	283	344	406	
Density (gr/cm3)	1.78	1.76	1.76	1.75	1.80	1.84	
Shear modulus (MPa)	32	37	34	32	49	70	



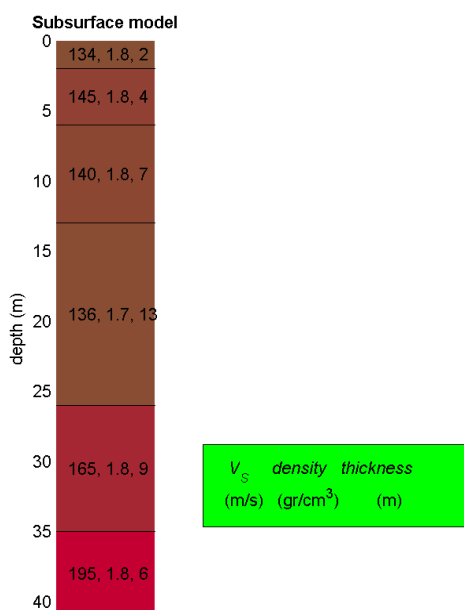


Fig. 5

## 10 - CALCOLO DEL PARAMETRO $V_{s30}$ (D.M. 14/01/2008)

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nei capitoli precedenti è possibile calcolare il valore delle  $V_{s30}$ , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), coerentemente con quanto indicato nell’Eurocodice 8, propongono l’adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E più altri due speciali: S1 e S2), da individuare attraverso la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio, ovvero sul numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media  $C_u$ .

Dal punto di vista strettamente normativo si fa riferimento al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

In base alle grandezze sopra definite, la normativa identifica le seguenti Categorie di Sottosuolo:

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt, 30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u, 30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)

<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt, 30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt, 30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u, 30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fine)
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ ).
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 20 \text{ kPa}$ ), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.II (NTC) – Categorie di sottosuolo

In base ai risultati delle indagini sismiche eseguite è stato calcolato il parametro **Vs30** attraverso la seguente formula (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: “Norme Tecniche per le Costruzioni”):

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

Dalla prospezione sismica a rifrazione con onde SH, visti gli spazi ridotti a disposizione per lo stendimento sismico (circa 57 m), sono stati riconosciuti, nell’area oggetto di studio, 3 sismostrati a velocità VSH delle onde sismiche decrescenti con la profondità:

V1 = 137 m/s (profondità media di 2.5 m)

V2 = 150 m/s (profondità media di 3.5 m)

V3 = 181 m/s (“estrapolando” il 3° sismostrato fino a 30 m).

Il valore medio di Vs30 calcolato è di **172.65 m/sec**

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h <sub>1</sub>	Argille limose preconsolidate	2.5		137,67	h <sub>1</sub> /V <sub>1</sub>	0,018
h <sub>2</sub>	Argille debolmente limose	3.5		150,70	h <sub>2</sub> /V <sub>2</sub>	0,023
h <sub>3</sub>	Argille organiche molli	24		181,30	h <sub>3</sub> /V <sub>3</sub>	0,132
h <sub>totale</sub>		<b>30</b>			$\sum h_i/V_i$	0,174

$$V_{s30} \text{ (misurata)} = 30 / 0,174 = 172,65 \text{ m/s}$$

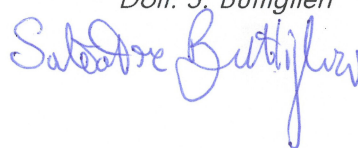
Per affinare il dato di Vs30 è stato ritenuto necessario eseguire anche un profilo sismico con metodologia M.A.S.W da cui è risultato un valore medio di Vs30 pari a **141 m/sec.**

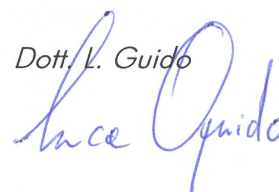
Tale parametro dovrà essere accuratamente definito, oltre che sulla base dei dati contenuti nel presente rapporto, sulla scorta di ulteriori informazioni, ed in particolare delle caratteristiche geometriche delle opere di fondazione in progetto (piano di posa delle fondazioni), così da potere determinare l'effettiva categoria di sottosuolo. A tale proposito, si ritiene opportuno ricordare quanto sia necessario avere a disposizione altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnico del suolo, prima di poter procedere alla classificazione sismica nel caso si sospetti la presenza di suoli di tipo S1 o S2.

Concludendo si ribadisce che i modelli ottenuti dai risultati geofisici non invasivi, in generale, sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale e devono essere accertati mediante indagini dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico; infatti, le indagini geofisiche non invasive devono considerarsi conoscitive e non esaustive per la definizione della reale situazione litostratigrafica del sottosuolo. In ragione di ciò, la S.I.S.M.A. geo declina ogni responsabilità relativamente alle attività che si basano esclusivamente sui risultati geofisici e poste in essere dal committente o da terzi incaricati sui luoghi oggetto dell'indagine.

Pisa, ottobre 2013

S.I.S.M.A. geo  
**PROSPEZIONI SISMICHE**  
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa  
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri  


Dott. L. Guido  


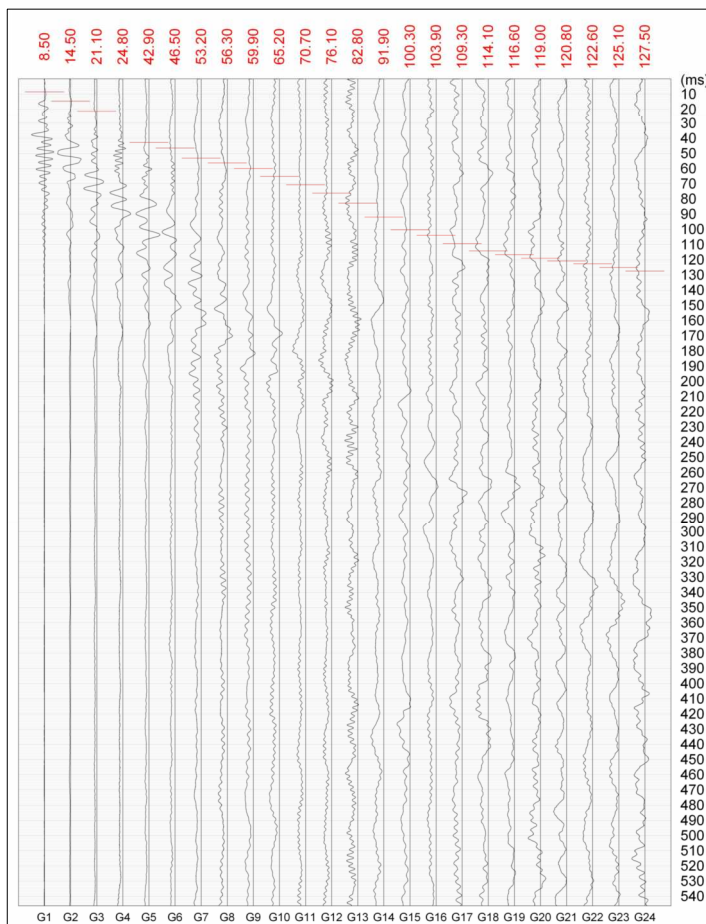
## ALLEGATO A

Determinazione primi arrivi onde SH dei sismogrammi  
relativi alle 5 energizzazioni del profilo sismico a rifrazione

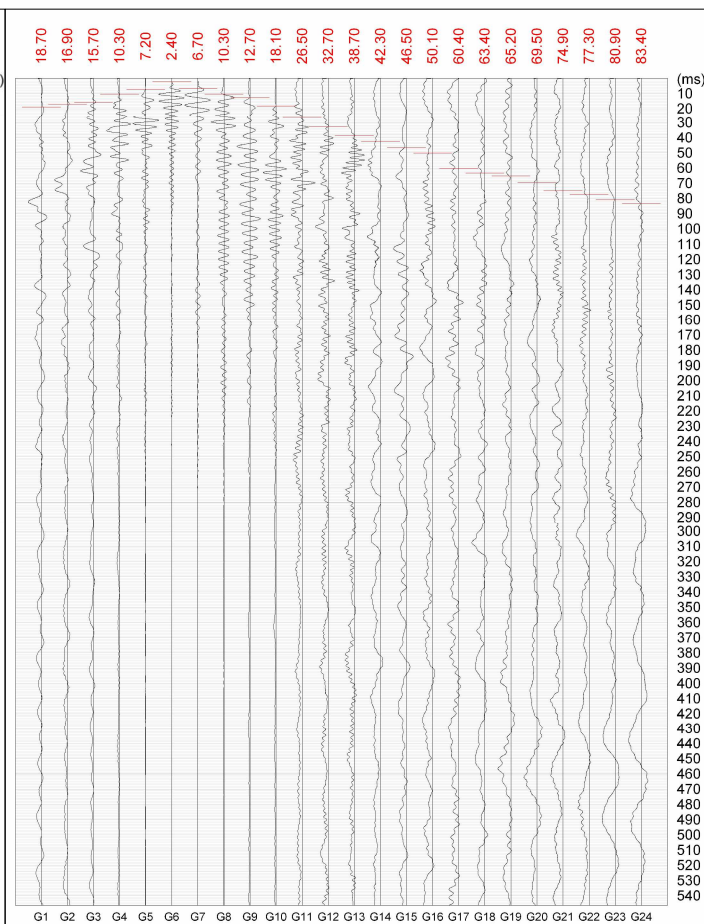
# ALLEGATO A

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 5 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

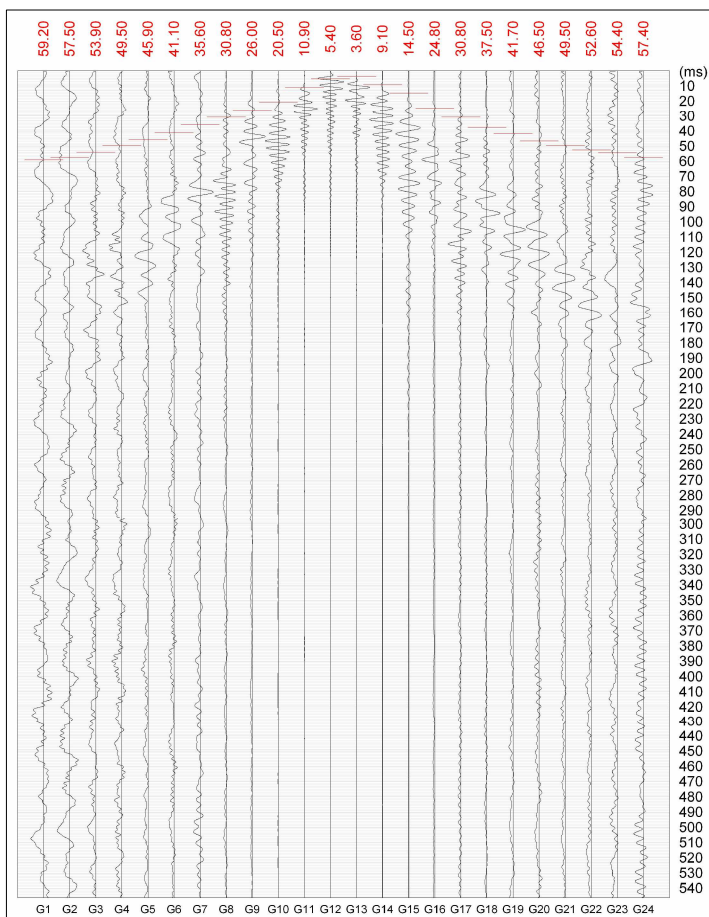
shot 1



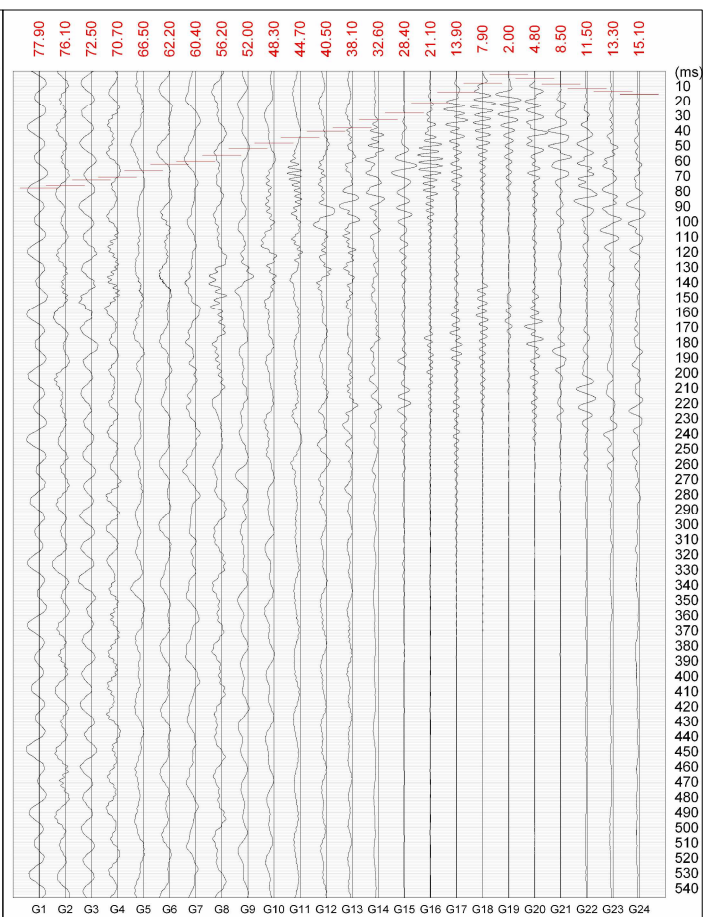
shot 2



shot 3



shot 4



# ALLEGATO A

## DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI RELATIVI ALLE 5 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

shot 5

