



COMUNE DI PISA

PROVINCIA DI PISA



PROPRIETA' / PROPONENTE : SIG. MASTANDREA STEFANO

PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3
MARINA DI PISA - VIA ARNINO

UBICAZIONE INTERVENTO : Marina di Pisa - Via Arnino / Via Litoranea



RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020, Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale, Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del R.U. approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020, Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato con Delib.C.C. di Pisa n.30 del 23/07/2020, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A" del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - 1° Aggiornamento 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione, L.R. n.41 del 24/07/2018)

Il Tecnico incaricato : Dott. Geol. Luca Pignatelli

Agosto 2022

Emissione	1	11/08/2022
Revisione	/	
Revisione	/	



Dott. Geol. Luca Pignatelli - Via Caduti del Lavoro, n.9 - 56122 - Pisa - Tel. 050 525458 - Cell. 338 6472126
email : luca.geo.pi@gmail.com - pec : luca.geo.pi@pec.epap.it
N° iscrizione Ordine dei Geologi della Toscana : 798 - C.F. : PGNLCU63E06G702F - P.Iva : 01328650500

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano
Revisione	/			

INDICE

PREMESSA	Pag.4
1 - FINALITA' DELLA RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'	Pag.5
2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO	Pag.7
3 - BREVE DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA PROGETTUALE DEL PIANO ATTUATIVO NEL COMPARTO N.1	Pag.10
4 - QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI FATTIBILITA' DELL'AREA INCLUSA NELLA SCHEDA NORMA 38.3 IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI	Pag.12
4.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA SECONDO IL PIANO STRUTTURALE COMUNALE VIGENTE	Pag.12
4.2 - PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI SECONDO LA VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE ANNO 2009	Pag.12
4.3 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE SECONDO L'AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE ANNO 2020	Pag.14
4.4 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA LOCALE DELL'AREA SECONDO IL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE PISA-CASCINA	Pag.16
4.5 - PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE SECONDO IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DA ALLUVIONI	Pag.17
5 - LINEAMENTI MORFOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI DELL'AREA	Pag.18
5.1 - MORFOLOGIA	Pag.18
5.2 - GEOMORFOLOGIA	Pag.19
5.3 - GEOLOGIA	Pag.20
5.4 - IDROGEOLOGIA	Pag.22
5.4.1 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	Pag.23
5.4.2 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DELL'AREA NEI CONFRONTI DEL CUNEO SALINO	Pag.25
5.5 - ASPETTI IDRAULICI	Pag.26
6 - INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU	Pag.27
6.1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT	Pag.27
6.1.1 - GENERALITA' SULLA PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT	Pag.28
6.2 - ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE	Pag.31
7 - SISMICITA' E CARATTERISTICHE SISMICHE DELL'AREA	Pag.33
7.1 - STORIA SISMICA DEL COMUNE DI PISA	pag.33
7.2 - MAGNITUDO DI RIFERIMENTO PER IL COMUNE DI PISA SECONDO LA ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9	Pag.35
7.3 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PISA A LIVELLO NAZIONALE	Pag.39
7.4 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PISA A LIVELLO REGIONALE	pag.40
8 - INDAGINI SISMICHE IN SITU	Pag.44
8.1 - INDAGINE SISMICA MASW	Pag.44
8.1.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE SISMICA MASW	Pag.44
8.1.2 - PROCEDURA DELL'INDAGINE MASW	Pag.46
8.1.3 - METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA PER L'INDAGINE MASW	Pag.47
8.2 - ASSETTO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE	Pag.47
8.3 - INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA	Pag.49
8.3.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR	Pag.49

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano
Revisione	/			

8.4 - ESITI DELL' INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR4 DI RIFERIMENTO PER L'AREA IN OGGETTO	Pag.52
9 - LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	Pag.53
9.1 - GENERALITA' SUL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	pag.53
9.2 - VERIFICA NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	Pag.54
9.2.1 - METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE	Pag.54
9.2.2 - PROCEDURA PER LA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE	Pag.57
9.2.3 - ESITO DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE	Pag.61
10 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA LOCALE AI SENSI DEL D.P.G.R. N.5/R/2020 LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO ESCLUSA L'AREA IL TORRINO	Pag.62
10.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA	Pag.62
10.2 - PERICOLOSITA' IDRAULICA O DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE	Pag.63
10.3 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Pag.64
11 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI AI SENSI DEL D.P.G.R. N.5/R/2020	Pag.65
11.1 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI	pag.66
11.2 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AL RISCHIO DI ALLUVIONI FLUVIALI	Pag.67
11.3 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AL RISCHIO DI ALLUVIONI COSTIERE	Pag.67
11.4 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI SISMICI	Pag.67
11.5 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE A PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA RISORSA IDRICA	Pag.69
11.5.1 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE ALLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA	Pag.69
11.5.2 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE ALLA VULNERABILITA' NEI CONFRONTI DEL CUNEO SALINO	Pag.69
12 - CONCLUSIONI	Pag.70

TAVOLE ALLEGATE

TAVOLA N°1 :

- INQUADRAMENTO TERRITORIALE, SCALA 1:10.000;
- ESTRATTO CARTOGRAFICO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE;
- ESTRATTO CARTOGRAFICO DELLA SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA;
- PLANIMETRIA GENERALE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL COMPARTO N1 DELLA SCHEDA NORMA 38.3 SU C.T.R. IN SCALA 1:2.000;
- ESTRATTI CARTE PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL P.S. COMUNALE (anno 1998) E DELLA FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI DEL R.U. COMUNALE (anno 2001);
- CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI DELL'AREA SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA (da Relazione Geologica di Fattibilità della Variante al Regolamento Urbanistico Comunale-anno 2009) :
 - CARTE DELLA PERICOLOSITA' E DELLA FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI ;
- PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA AI SENSI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI FLUVIALI "P.G.R.A." DEL DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE (1° Aggiornamento 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione);
- PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE DELL'AREA AI SENSI DELL'AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL R.U. COMUNALE (approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020);
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA DELL'AREA AI SENSI DEL P.S. INTERCOMUNALE PISA-CASCINA (adottato con Delib.C.C.Pisa n.30 del 23/07/2020);

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

TAVOLA N°2 :

- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE, LITOTECNICHE, IDROGEOLOGICHE E SISMICHE DELL'AREA IN OGGETTO (COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3) :
- ESTRATTI CARTOGRAFICI DELLE INDAGINI GEOLOGICHE-TECNICHE DI SUPPORTO AL :
 - PIANO STRUTTURALE COMUNALE (ANNO 1998);
 - VARIANTE PARZIALE AL PIANO STRUTTURALE COMUNALE (ANNO 2005);
 - VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE (ANNO 2009);
 - AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL R.U. COMUNALE (approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020);
 - PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE PISA-CASCINA (adottato con Delib. C.C. Pisa n.3 del 23/07/2020 e Delib.C.C. Cascina n.55 del 04/08/2020);

TAVOLA N°3 :

- PLANIMETRIA GENERALE CON UBICAZIONE INDAGINI, SCALA 1:2.000;
- PLANIMETRIA STATO ATTUALE CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R., SCALA 1:1.000;
- PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R., SCALA 1:1.000;
- ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI TERRENI :
 - SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA TRA LE VERTICALI D'INDAGINE CPT1 E CPT2, SCALA 1:100;
- ESITO DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE AL DISOTTO DELLA FALDA;

TAVOLA N°4 :

- CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA CON RELATIVI CRITERI DI FATTIBILITA' LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO (ESCLUSA LA ZONA IL TORRINO), SCALA 1:2.000;
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI CON RELATIVI CRITERI DI FATTIBILITA' LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO (ESCLUSA LA ZONA IL TORRINO), SCALA 1:2.000;
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE CON RELATIVI CRITERI DI FATTIBILITA' LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO (ESCLUSA LA ZONA IL TORRINO), SCALA 1:2.000;
- MAPPA RIEPILOGATIVA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, DA ALLUVIONI E SISMICA CON RELATIVI CRITERI DI FATTIBILITA' SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E CARTA TECNICA REGIONALE, SCALA 1:1.000

APPENDICE

- ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1, CPT2;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE GEOSISMICA MASW;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR4 DI RIFERIMENTO PER IL COMPARTO IN OGGETTO (FONTE : STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE DI LIVELLO 1)
- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE;

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

PREMESSA

La presente Relazione è stata redatta a supporto del Piano Attuativo riguardante il Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 – Marina di Pisa - Via Arnino del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa, in parte di proprietà del Sig. Mastandrea Stefano.

Al riguardo, l'intera area compresa nel perimetro della suddetta Scheda Norma è suddivisa in due comparti con differenti superfici e destinazioni urbanistiche le cui denominazioni/numerazioni nel relativo estratto cartografico risultano invertite rispetto alle loro descrizioni contenute nella stessa Scheda Norma.

Il Comparto n.1, che nell'estratto cartografico della Scheda Norma 38.3 è quindi indicato come Comparto n.2, è quello di superficie minore ed oggetto dal presente Piano Attuativo a cui si riferisce questo Studio Geologico di Fattibilità.

Tale comparto è ripartito in tre zone con diverse destinazioni urbanistiche, rispettivamente a servizi-commerciale (somministrazioni di alimenti e bevande), parcheggio pubblico e verde. Gli interventi previsti in queste zone dal Piano Attuativo, in accordo con le previsioni riportate nella succitata Scheda Norma, consistono :

- ⇒ nella demolizione dell'attuale struttura del ristorante *Moby Dick* con ricostruzione di un nuovo edificio con medesima destinazione d'uso in altra posizione nella zona adibita a commerciale (somministrazioni di alimenti e bevande) di proprietà Mastandrea Stefano;
- ⇒ nella realizzazione di un parcheggio pubblico nell'area attualmente occupata dal ristorante *Moby Dick* che sarà accorpata a quello già esistente a sud-sudest di essa, con risistemazione e riorganizzazione dell'intera superficie;
- ⇒ nel mantenimento dell'attuale area a verde a sud della zona ad uso servizi-commerciale.

Si segnala che nell'area destinata a servizi (somministrazioni di alimenti e bevande) del Comparto n.1 è compresa anche la porzione di terreno sul si colloca l'edificio/rudere denominato "*Il Torrino*" che è esterna alla proprietà Mastandrea Stefano e non è oggetto di questo Piano Attuativo.

Il Comparto n.2, contiguo al precedente ad est, anch'esso non interessato del presente Piano Attuativo, ha invece una superficie maggiore e la sua destinazione urbanistica è esclusivamente a parcheggio pubblico e verde sportivo-attrezzature sportive.

La Relazione è stata redatta in conformità al D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020 "Regolamento di attuazione dell'art.104 della L.R. n.65 del 10/11/2014 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche" che costituisce il nuovo Regolamento della Regione Toscana vigente in materia di indagini geologiche di supporto alla pianificazione territoriale, sostituendo a tutti gli effetti il precedente D.P.G.R. n.53/R del 25/10/2011 abrogato con l'entrata in vigore di questo nuovo Regolamento.

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

1 - FINALITA' DELLA RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

Lo scopo di questa Relazione è di definire le condizioni di pericolosità del Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 - Marina di Pisa - Via Arnino oggetto del presente Piano Attuativo ed i criteri di fattibilità delle trasformazioni in esso previste sotto gli aspetti geologico, idraulico e sismico secondo le Direttive dell'Allegato A del D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020, con particolare riferimento al paragrafo 4 "Direttive per la formazione dei Piani Attuativi".

Per giungere a questo obiettivo si è partiti dall'analisi del Quadro Conoscitivo geologico, idraulico e sismico disponibile per l'area desunto dai seguenti studi che sono :

- Indagine Geologico-Tecnico di supporto al Piano Strutturale Comunale (anno 1998) redatta ai sensi della Delib.C.R. n.94/1985;
- Indagine Geologico-Tecnico di supporto alla "Variante Parziale al Piano Strutturale" approvata con Delib.C.C. n.56 del 20/07/2006;
- Relazione di Fattibilità Geologica redatta ai sensi del D.P.G.R. n.26/R del 27/04/2007 a supporto della "Variante al Regolamento Urbanistico a seguito della decadenza delle previsioni a carattere espropriativo e della perdita di efficacia delle previsioni" approvata definitivamente con Delib.C.C. n.73 del 11/12/2009, nella quale sono riportate le condizioni di pericolosità e di fattibilità per l'intera area compresa nella Scheda Norma 38.3 da presumersi attualmente vigenti per essa;
- Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo di supporto al Regolamento Urbanistico Comunale, approvato con Delib.C.C. di Pisa n.3 del 28/01/2020 "Aggiornamento del Quadro Conoscitivo del R.U. ai sensi dell'art.21 della L.R. n.64/2014 - Indagini Geologiche", comprensivo di Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e di nuovi elaborati cartografici tra i quali anche la Carta di Pericolosità Sismica Locale redatta ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011;
- Indagine Geologico-Tecnico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, redatta ai sensi del D.P.G.R.n.53/R del 25/10/2011, adottato dal Comune di Pisa con Delib.C.C. n.30 del 23/07/2020 e dal Comune di Cascina con Delib.C.C. n.55 del 04/08/2020.
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - 1° Aggiornamento 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione, adottato con Delibera n.26 del 20/12/2021 della Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

- L.R. n.41 del 24/07/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi di acqua in attuazione del Decreto Legislativo n.49 del 23/02/2010 (Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. n.80/2015 e alla L.R. n.65/2014."

Queste analisi sono state integrate con le osservazioni e rilievi di campagna e con i dati geologici, stratigrafici, idrogeologici e sismici derivanti da indagini geognostiche e sismiche sia pregresse disponibili nell'intorno dell'area relative anche a precedenti studi geologici condotti dallo scrivente in questa porzione di territorio comunale sia di nuova esecuzione in situ consistite in due prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica ed in una prospezione sismica di superficie con tecnica MASW.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			

2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO

L'area individuata dalla Scheda Norma 38.3 del Regolamento Urbanistico Comunale è ubicata al margine meridionale dell'abitato della frazione di Marina di Pisa ed è compresa tra la Via Litoranea ad ovest, Via Arnino a nord, il tratto terminale meridionale di Via dell'Ordine di Santo Stefano ad est ed il parcheggio pubblico e una zona a verde a sud (vedi ubicazione in figura n.1 sottostante ed in Tavola n.1 allegata).

Si tratta di un macrolotto di superficie complessiva di 17300 mq (stimata nella Scheda Norma 38.3) con pianta a forma di "L" ruotata di circa 180° in senso orario e suddiviso in due aree denominate Comparto n.1 e Comparto n.2 con differenti superfici e destinazioni urbanistiche.



Figura n.1 : Ubicazione dell'area Scheda Norma 38.3 e individuazione dei Comparti n.1 (C1), e n.2 (C2).

Il Comparto n.1 in oggetto rappresenta la porzione nordovest dell'area della Scheda Norma 38.3 ed è caratterizzato da una pianta circa quadrata di superficie pari a 5800 mq (da Scheda Norma 38.3) che è quasi la metà di quella dell'altro Comparto n.2 la cui superficie è di 11500 mq.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano

Esso è delimitato a nord da un tratto di Via Arnino fino all'intersezione con la Via Litoranea, a ovest da un tratto della stessa Via Litoranea fronteggiante il mare, a sud da un tratto di Via dei Delfini che dalla Via Litoranea conduce alla Scuola Pubblica Elementare G.Viviani e al Nido d'Infanzia, mentre ad est dalla parte settentrionale del Comparto n.2 nella quale ha sede il Circolo/Associazione Tennis-Paddle Litorale Pisano (attrezzature sportive).

Allo stato attuale nel Comparto n.1 sono compresi il ristorante "Moby Dick" posizionato in corrispondenza dello spigolo nordovest tra la Via Arnino e la Via Litoranea, attualmente esterno all'area con destinazione a servizi, il manufatto denominato "*Il Torrino*" ad est del ristorante all'incirca davanti all'incrocio tra Via Arnino e Via E. Diacono, una parte di parcheggio pubblico ed una zona a verde le cui superfici insieme rappresentano ben oltre la metà meridionale del comparto stesso.

Ai sensi del Regolamento Urbanistico Comunale l'area compresa nel perimetro della Scheda Norma 38.3 rientra tra le *Schede Norma da attuare*, ha una destinazione d'uso prevalente a *servizi di quartiere* ed è esterna al Parco Naturale di Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli (vedi estratto cartografico del R.U. Comunale e della Scheda Norma 38.3 nelle figure n.2 e n.3 seguenti).

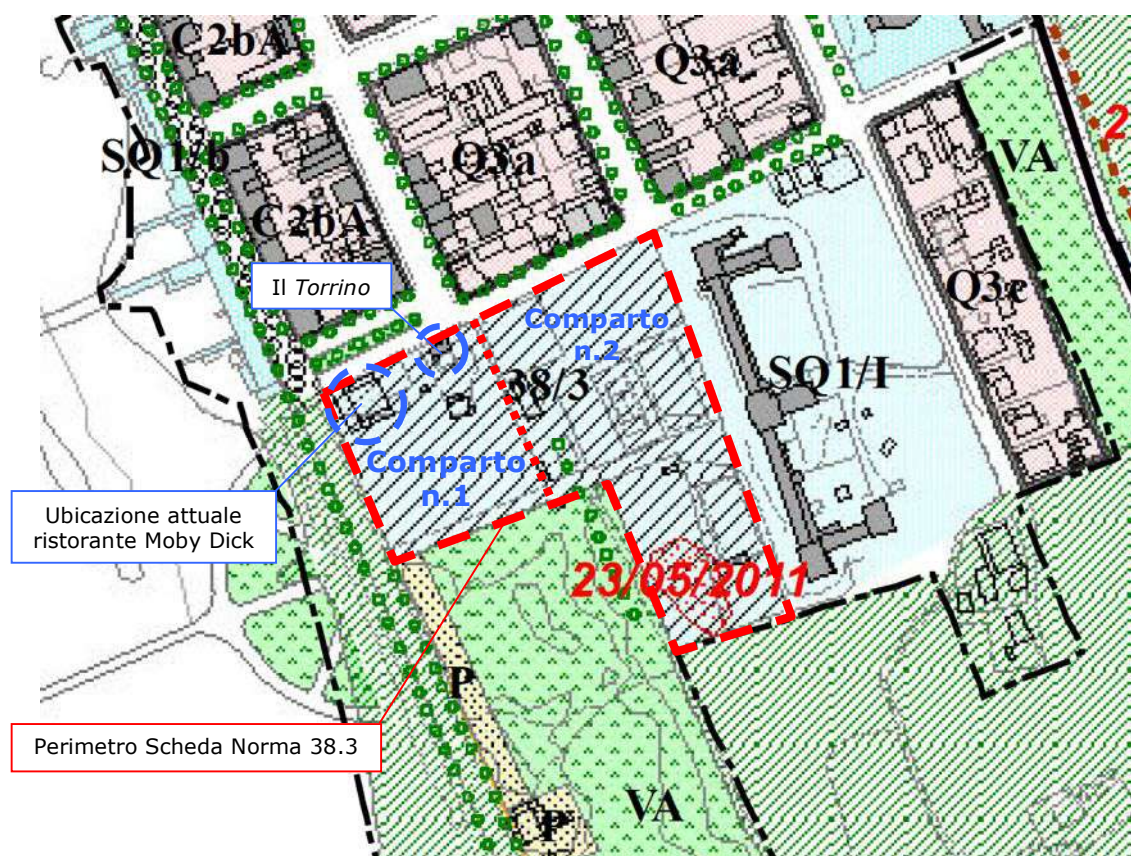
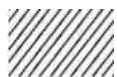


Figura n.2 : Estratto cartografico del Regolamento Urbanistico Comunale.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				



Schede Norma da attuare



Servizi di quartiere



Parco Naturale di Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli

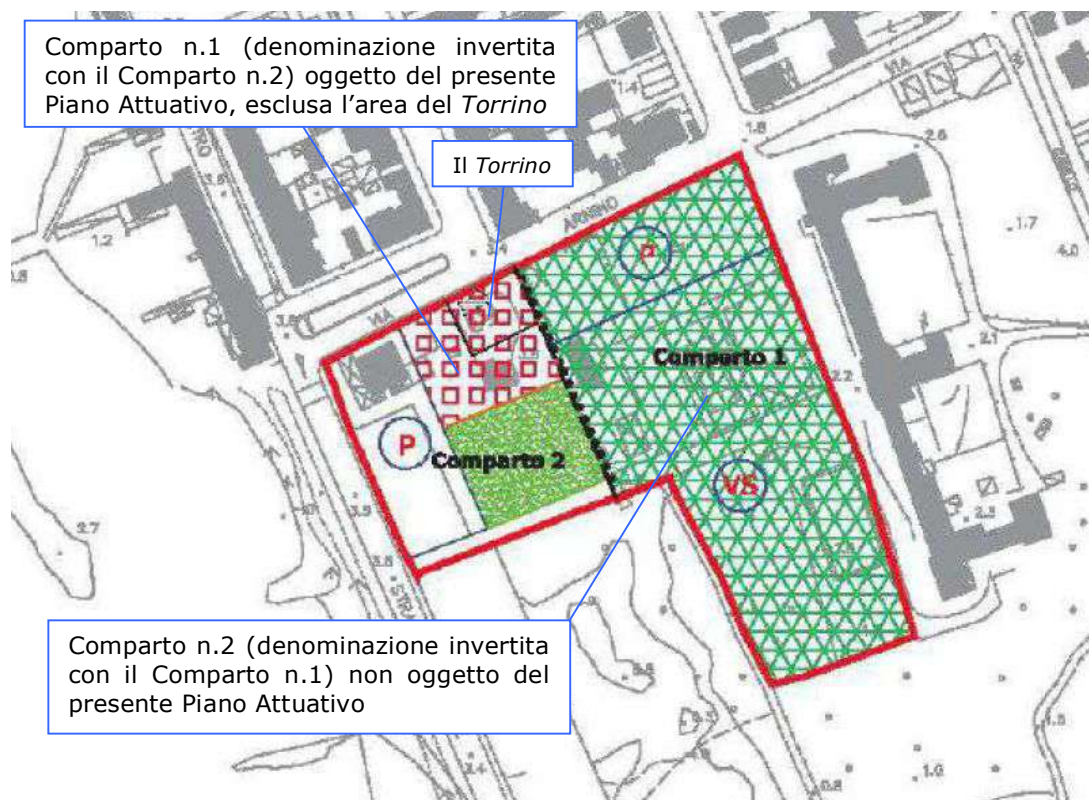
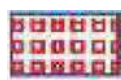


Figura n.3 : Estratto cartografico della Scheda Norma 38.3 – Via Arnino– Marina di Pisa del Regolamento Urbanistico Comunale. NOTA : le denominazioni dei due Comparti sono invertite.



Servizi



Aree verdi



Attrezzature sportive



Verde sportivo



Parcheggio pubblico

Per gli altri aspetti e parametri urbanistici inerenti la progettazione della trasformazione del Comparto n.1, che come precedentemente detto nell'estratto cartografico della Scheda Norma 38.3 è denominato Comparto n.2, si rimanda alla Scheda Norma stessa e agli elaborati di progetto del Piano Attuativo redatti dall'Arch. Antonio Ghionzoli.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

3 - BREVE DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA PROGETTUALE DEL PIANO ATTUATIVO NEL COMPARTO N.1

Il Piano Attuativo prevede per il Comparto n.1 il mantenimento delle tre distinte zone con differenti superfici e destinazioni d'uso secondo la suddivisione riportata nella Scheda Norma 38.3.

Dalle informazioni ricevute dal progettista Arch. Antonio Ghionzoli, di queste tre zone quella di proprietà del Sig. Mastandrea Stefano proponente il presente Piano Attuativo ha superficie di 1793 mq e destinazione a servizi (somministrazione alimenti e bevande), quella destinata a parcheggio pubblico comprensiva dell'accorpamento dell'area attualmente occupata dal ristorante Moby Dick è complessivamente di 2000 mq ed ha unicamente questa destinazione d'uso, mentre quella a verde è di 1500 mq.

Dal Piano Attuativo è esclusa la zona *Il Torrino* di altra proprietà, anch'essa con destinazione a servizi, commerciale (somministrazione alimenti e bevande) ed avente superficie minore della porzione di proprietà Mastandrea Stefano.

Nell'ambito della proposta progettuale nel Comparto n.1, come già accennato nella premessa della presente, sono previsti i seguenti interventi :

- 1) demolizione del ristorante *Moby Dick* e costruzione di un nuovo edificio ad uso commerciale (ristorante) nella parte con destinazione a servizi a sudest dell'attuale posizione del ristorante. Il nuovo edificio avrà una superficie utile lorda (SUL) di 200 mq, altezza massima fuori terra sotto gronda di 4.80 m e si eleverà con due piani di cui il piano terra, adibito a garage, sarà parzialmente interrato con piano di calpestio a quota -0.70 m rispetto alla quota 0.00 m sul piano strada di Via Arnino ed avrà altezza utile interna di 2.20 m, mentre il piano primo sarà destinato all'attività commerciale con piano di calpestio a quota +1.80 m e altezza utile interna di 3.00 m. All'esterno, tra il muro perimetrale est dell'edificio ed il confine orientale del comparto, sarà realizzato il parcheggio di tipo a raso per i clienti; nella zona a nord dell'edificio fino al confine con Via Arnino è previsto per la superficie maggiore uno spazio a verde la strada di accesso al parcheggio esterno ed al garage del piano terra che impegnerà la superficie strettamente necessaria; in contiguità al lato ovest dell'edificio è invece prevista una terrazza rialzata con quota di calpestio coincidente con quella del piano di calpestio del piano terra dell'edificio (+1.80 m) raggiungibile mediante una rampa esterna presente su questo lato con sviluppo nord-sud. Gli scarichi/reflui provenienti dall'attività del ristorante e dai servizi igienici saranno smaltiti nella pubblica fognatura previo trattamento primario;
- 2) realizzazione di un parcheggio pubblico a raso nell'area attualmente occupata dal ristorante Moby Dick che andrà a completare verso nord quello già esistente a sud, con risistemazione

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

e riorganizzazione complessiva di tutta questa parte. Gli stalli per le auto saranno realizzati con materiale drenante (tipo autobloccanti o altro materiale simile) e le corsie in asfalto;

- 3) mantenimento dell'area a verde nella parte sud sia nella porzione di proprietà Mastandrea Stefano che in quella esterna di proprietà comunale.



Figura n.4 : Planimetria generale degli interventi previsti dal presente Piano Attuativo (ripresa dalla Tavola dell'Arch. Antonio Ghionzoli). In tratteggio rosso il perimetro della proprietà Mastandrea.

Per i dettagli e approfondimenti progettuali si rimanda agli elaborati redatti dall'Arch. Antonio Ghionzoli dai quali sono state desunte le descrizioni sintetiche degli interventi sopra riportate ed estratta la Planimetria Generale di progetto della figura n.4.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

4 - QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI FATTIBILITA' DELL'AREA INCLUSA NELLA SCHEDA NORMA 38.3 IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI

4.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA SECONDO IL PIANO STRUTTURALE COMUNALE VIGENTE

Il Piano Strutturale del Comune di Pisa attualmente vigente è dotato della Carta della Pericolosità Geologica dell'intero territorio comunale approvata nell'anno 1998 e redatta ai sensi della D.C.R. n.94/1985 e della D.C.R. n.230/1994.

Da questo elaborato, che costituisce la carta di sintesi delle problematiche di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e delle criticità idrauliche caratterizzanti il territorio comunale, risulta che l'area della Scheda Norma 38.3 è compresa in un'ampia zona contraddistinta dalla Sottoclasse 3a di Pericolosità Geologica corrispondente ad una Pericolosità Geologica Medio Bassa e che in tale area non sussistono situazioni di criticità di carattere idraulico (vedi estratto cartografico di riferimento in Tavola n.1 allegata).

La Sottoclasse 3a, che deriva dalla suddivisione della Classe 3 (Pericolosità Geologica Media) in tre sottoclassi con pericolosità crescente da 3a, a 3b, a 3c, si riferisce alle zone in cui il tetto delle argille compressibili è posto a profondità maggiori di -2.00 m dal p.c.; per essa lo strumento urbanistico comunale prescrive l'esecuzione di indagini geognostiche di supporto alla progettazione edilizia mirate a chiarire i dubbi di natura geologica e geotecnica evidenziati dagli studi geologici condotti a livello di pianificazione territoriale comunale.

4.2 - PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI SECONDO LA VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE ANNO 2009

A supporto della "Variante al Regolamento Urbanistico a seguito della decadenza delle previsioni a carattere espropriativo e della perdita di efficacia delle previsioni di Piani Attuativi", approvata definitivamente con Delib.C.C. n.73 del 11/12/2009, è stata redatta dal Dott. Geol. Marco Redini del Comune di Pisa una Relazione di Fattibilità Geologica secondo le direttive del D.P.G.R. n.26/R/2007, normativa regionale vigente a quel tempo in materia di indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione territoriale comunale, dove sono indicate le condizioni di Pericolosità e di Fattibilità sotto gli aspetti geomorfologici, idraulici e sismici per alcune zone del territorio comunale tra cui anche quella identificata dalla Scheda Norma 38.3 - Via Arnino - Marina di Pisa del Regolamento Urbanistico Comunale per la quale tali condizioni sono riassunte di seguito (vedi anche estratti cartografici in Tavola n.1 allegata):

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

- ⇒ Pericolosità Geomorfologica : Classe G1 - Pericolosità Bassa;
- ⇒ Pericolosità Idraulica : Non Presente (Assente);
- ⇒ Pericolosità Sismica Locale : Classe S3 - Pericolosità Elevata;
- ⇒ Fattibilità Geomorfologica : Classe FG1 - Fattibilità Senza Particolari Limitazioni.
- ⇒ Fattibilità Idraulica : FI1 - Fattibilità Senza Particolari Limitazioni.
- ⇒ Fattibilità Sismica : FS3 - Fattibilità Condizionata.

In attesa dell'approvazione definitiva del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina e dell'emanazione e approvazione del nuovo Regolamento Urbanistico / N.T.A. ad esso associato (Piano Operativo Comunale), queste classi di pericolosità e di fattibilità sono da ritenersi vigenti per il Comparto in oggetto e per l'intera Scheda Norma 38.3, essendo la Variante Urbanistica del 2009, per quanto è nelle nostre conoscenze, l'atto di pianificazione urbanistica più recente che ha interessato questa porzione di territorio comunale.

Nella suddetta Relazione di Fattibilità Geologica sono indicate anche le seguenti prescrizioni/condizioni inerenti la fattibilità delle trasformazioni previste in quest'area :

- 1) in merito ai fattori geomorfologici non sono dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere geomorfologico; è prescritta una indagine geofisica e geotecnica che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni alluvionali e bedrock sismico;
- 2) da un punto di vista idrogeologico l'attuazione delle trasformazioni è condizionata al rispetto della disciplina del P.T.C. approvata nel 2006 ed al rispetto delle condizioni indicate nei paragrafi 3.2.1 "Condizioni alle trasformazioni aree di variante" e 3.2.2 "Condizioni alle trasformazioni fascia costiera" della Relazione Tecnica che accompagna la "*Variante Parziale al Regolamento Urbanistico finalizzata allo sviluppo territoriale e al consolidamento e riorganizzazione funzionale delle U.T.O.E. n. 17 (Viale delle Cascine), 36 (Ospedaletto Sud), 39 (Tirrenia), 40 (Calambrone), a seguito della Variante e Parziale al Piano Strutturale approvata con Delib.C.C. n.56 del 20/07/2006*" (BURT n.32 del 08/08/2007);
- 3) in merito ai fattori idraulici non sono dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico.

Per quanto concerne le prescrizioni di cui al precedente punto 2), il paragrafo della Relazione Tecnica di riferimento per la zona litoranea, nella quale rientra anche l'U.T.O.E n.38 Marina di Pisa, è il paragrafo 3.2.2. "*Condizioni alle trasformazioni nella fascia costiera*".

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano

Tali prescrizioni riguardano principalmente gli interventi in genere che prevedono scavi sotto falda per i quali è quindi necessario impiegare tecniche di abbattimento temporaneo del livello della tavola d'acqua (p.e. well point o altri sistemi di aggettamento) per mantenere asciutti gli scavi durante e fino al completamento delle lavorazioni e sono dettate perché la fascia costiera è vulnerabile nei confronti del fenomeno dell'intrusione del cuneo salino, per cui le operazioni di *dewatering* se effettuate di continuo per tempi prolungati e con significative portate emunte possono modificare in negativo l'attuale configurazione geometrica della superficie di separazione tra l'acqua dolce superiore della falda e quella salata sottostante del mare provocando sue possibili risalite, aumentando di conseguenza il rischio di insalinnizzazione della falda stessa.

Al riguardo, nel corso delle indagini geognostiche in situ è stata riscontrata la presenza nel sottosuolo della falda freatica con soggiacenza alla profondità di circa -2.70 m dal p.c..

A questo proposito, per lo scavo di fondazione del nuovo edificio e per gli scavi in genere sono presumersi profondità massime entro -1.50/-2.00 m dal p.c., per cui sono da escludersi interferenze tra questi e la falda e quindi l'utilizzo di sistemi di aggettamento; pertanto, la realizzazione dell'intervento nella sua globalità non comporterà alterazioni dell'attuale equilibrio del cuneo salino.

4.3 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE SECONDO L'AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE ANNO 2020

L'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020 non ha previsto la realizzazione ne' di una nuova Carta di Pericolosità Geologica ne' di una Carta di Pericolosità Idraulica del territorio comunale, mentre tra i vari nuovi elaborati prodotti oltre alle Carte Geologica, Geomorfologica e Geologico-Tecnica è compreso uno Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 supportato da indagini geofisiche/sismiche che ha permesso di redigere a cascata la Carta delle Frequenze di Vibrazione del Terreno, la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) ed infine la Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio Urbanizzato comunale, incluso quello delle frazioni litoranee di Marina di Pisa, Tirrenia e Calambrone. Questi tre elaborati sono stati redatti ai sensi del D.P.G.R.T. n.53/R/2011 vigente al tempo della loro stesura.

Dalla suddetta di Carta di Pericolosità Sismica Locale, il cui estratto è riportato in Tavola n.1 allegata, risulta che tutto il territorio comunale urbanizzato nel quale è inclusa anche l'area della Scheda Norma 38.3 è classificato con Pericolosità Sismica Locale Elevata - Classe S3.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

La Classe S3 comprende le zone suscettibili di instabilità con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; le zone con terreni suscettibili di liquefazione dinamica; le zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche significativamente diverse; le aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci.

Si rileva, quindi, che questa Carta di Pericolosità Sismica Locale conferma la Pericolosità Sismica Elevata S3 dell'area in oggetto già ad essa attribuita dalla Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico di dicembre 2009, sebbene redatta secondo le Direttive del D.P.G.R. n.26/R/2007.

Per l'area in esame, e più in generale per la Zona 6 della Microzonazione Sismica in cui essa rientra (vedi estratto Carta MOPS in Tavola n.2 allegata), la Pericolosità Sismica Elevata S3 è da ricondurre alla presenza nel sottosuolo di discreti spessori di terreni granulari prevalentemente sabbiosi con tetto a partire sin quasi dal piano di campagna, che per caratteristiche granulometriche e geotecniche e per la presenza della falda generalmente entro i primi 2.00-3.00 m di profondità dal p.c., dati confermati dalle indagini eseguite in situ, possono essere potenzialmente suscettibili a liquefare in caso di scuotimento indotto da un evento sismico, generalmente di Magnitudo (M) ≥ 5 , con possibili effetti di instabilità dell'area e di conseguenza danni alle opere soprastanti.

Al riguardo, nello Studio di Microzonazione Sismica Comunale di livello 1 sono state svolte delle verifiche nei confronti della suscettibilità di liquefazione dei terreni di vari siti potenzialmente soggetti a questo fenomeno ubicati nel perimetro urbanizzato comunale, alcuni dei quali lungo la fascia litoranea tra Marina di Pisa, Tirrenia e Calambrone, valutando il Fattore di Sicurezza FS_{Liq} nei confronti della liquefazione ed il potenziale di liquefazione LPI (Iwasaki, 1978, 1982), basate sugli esiti di prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica ed utilizzando il metodo semplificato di Robertson & Wride (1997, 1998). Da queste verifiche è sempre risultato un Rischio Molto Basso nei riguardi della liquefazione.

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
<i>Emissione</i>	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
<i>Revisione</i>	/			Sig. Mastandrea Stefano

4.4 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA LOCALE DELL'AREA SECONDO IL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE PISA-CASCINA

Con Delib.C.C. di Pisa n.30 del 23/07/2020 e Delib.C.C. di Cascina n.55 del 04/08/2020 è stato adottato da entrambi i Comuni il Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina supportato da una specifica Indagine Geologico-Tecnica condotta secondo le Direttive del D.P.G.R. n.53/R/2011 nella quale è stato recepito lo Studio di Micorzonazione Sismica Comunale di Livello 1 e sono state realizzate le nuove Carta della Pericolosità Geologica, della Pericolosità Idraulica e della Pericolosità Sismica Locale oltre ad altre cartografie tematiche di base (Carta Geologica, Carta Geomorfologica, Carta Litotecnica, ecc...).

Dalle tre suddette Carte di Pericolosità, i cui estratti di riferimento per l'area in oggetto sono riportati in Tavola n.1 allegata, per il Comparto n.1 e più in generale per l'intera area della Scheda Norma 38.3 risultano le seguenti condizioni/classi di pericolosità :

- ⇒ Pericolosità Geologica : Classe G1 - Pericolosità Bassa;
- ⇒ Pericolosità Idraulica : Non Presente (Assente);
- ⇒ Pericolosità Sismica Locale : Classe S3 – Pericolosità Elevata;

Anche in questo caso si rileva la corrispondenza delle tre suddette classi di Pericolosità con quelle già assegnate all'area dalla Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico di dicembre 2009, anche se redatta ai sensi del D.P.G.R. n.26/R/2007, ed anche la conferma della classe di pericolosità sismica locale elevata S3 ad essa attribuita dall'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale redatto ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011.

Secondo le definizioni del D.P.G.R. n.53/R/2011 :

- la Classe G1 (Pericolosità Geologica Bassa) comprende le aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici;
- la Classe S3 (Pericolosità Sismica Locale Elevata) si riferisce invece a : zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano
Revisione	/			

Per il comparto in oggetto, come già detto in precedenza, la pericolosità sismica elevata S3 è dovuta alla potenziale suscettibilità di liquefazione dinamica del discreto spessore di terreni sabbiosi presenti nel sottosuolo, con tetto molto prossimo al piano di campagna, che per caratteristiche granulometriche e geotecniche e per la presenza della falda alla profondità di -2.70 m dal p.c. possono essere potenzialmente suscettibili di liquefare in caso di scuotimento sismico.

A questo proposito, si fa di nuovo presente, che dalle verifiche nei confronti della liquefazione svolte nello Studio di Microzonazione Sismica Comunale di livello 1 dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Consociativo di gennaio 2020, recepito anche nell'Indagine Geologico-Tecnica di supporto al Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, riferite anche ad alcuni siti ubicati nelle frazioni litoranee di Marina di Pisa, Tirrenia e Calambrone, è sempre risultato un Rischio Molto Basso nei riguardi di tale fenomeno.

4.5 - PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE SECONDO IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DA ALLUVIONI

Per quanto concerne la pericolosità idraulica, ovvero la pericolosità da alluvioni nel dominio fluviale e nel dominio costiero, le Mappe del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale relative al 1° Aggiornamento 2021-2027 Secondo Ciclo di Gestione, adottato con Delibera della Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n.26 del 20/12/2021 ed avente misura di salvaguardia immediatamente vigente fino alla sua approvazione definitiva, mostrano che il territorio incluso nel perimetro della Scheda Norma 38.3 è incluso in un'ampia area contraddistinta dalla Classe P1 nel dominio fluviale equivalente ad una Pericolosità Bassa da Alluvioni, mentre è assente la Pericolosità da Alluvioni nel dominio costiero (vedi estratto cartografico in Tavola n.1 allegata).

La Classe P1 comprende le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno T_r maggiore di 200 anni ($T_r > 200$ anni) e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale (art.6 Disciplina del P.G.R.A.); altresì, corrisponde ad una scarsa probabilità di alluvioni (*scenario di eventi estremi della Direttiva 2007/60/CE*), ovvero ad alluvioni rare di estrema intensità (*scenario di bassa probabilità del D.Lgs. n.49/2010 - tempo di ritorno T_r fino a 500 anni*).

In merito a questo aspetto, la L.R. n.41 del 24/07/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi di acqua in attuazione del Decreto Legislativo n.49 del 23/02/2010 (Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. n.80/2015 e alla L.R. n.65/2014.", non prende in considerazione la Classe P1 del P.G.R.A. e non detta specifiche condizioni e prescrizioni per gli

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 <i>Marina di Pisa - Via Arnino</i>	Luca Pignatelli - geologo
<i>Emissione</i>	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
<i>Revisione</i>	/			Sig. Mastandrea Stefano

interventi in essa ricadenti che invece sono dettate per le trasformazioni edilizie ed urbanistiche comprese negli scenari alluvionali corrispondenti alle Classi P2 (Pericolosità Media - *scenario di alluvioni poco frequenti*) e P3 (Pericolosità Elevata - *scenario di alluvioni frequenti*).

La stessa Carta evidenzia inoltre che l'area non è interessata da condizioni di pericolosità per alluvioni costiere.

A questo proposito, il tratto della Via Litoranea che costeggia il limite ovest del Comparto n.1 è affiancato lungo il lato mare da una scogliera in pietrame con grossi blocchi calcarei emergente per un tratto dalla sede stradale che protegge la strada stessa ed il comparto dalle mareggiate e dai possibili fenomeni erosivi dovuti alla dinamica costiera; altre scogliere emerse sono situate in mare anche davanti al comparto (vedi figura n.1 precedente).

In realtà, tutta la parte dell'edificato di Marina di Pisa che fronteggia il mare, a partire dal porto e fin oltre il limite meridionale della zona urbanizzata della frazione, è protetta da una scogliera in pietrame continua accostata alla Via del Lungomare/Via Litoranea (S.P.224), mentre altre scogliere sia emerse che soffolte talora intervallate da pennelli sempre in pietrame si trovano nello specchio di mare tra il porto e gli ultimi stabilimenti balneari della località.

5 - LINEAMENTI MORFOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI DELL'AREA

5.1 - MORFOLOGIA

Il Comparto n.1 è caratterizzato per gran parte della sua superficie da una morfologia pianeggiante con quota media di circa 3.6 m s.l.m., mentre la porzione meridionale di superficie minore è impegnata da un'area a verde che sarà mantenuta nell'ambito della trasformazione urbanistica dove le quote sono sensibilmente maggiori e aumentano più o meno gradualmente procedendo verso sud fino a raggiungere 6.6 m s.l.m. (vedi estratto C.T.R. in scala 1:2.000 nella Tavola n.1 allegata).

Nel contiguo Comparto n.2 ad est la morfologia si mantiene pianeggiante anche se le quote sul livello del mare risultano significativamente inferiori di quelle del Comparto n.1 variando tra 2.1 e 2.4 m, mentre ancora più ad est le quote tendono a risalire più o meno sensibilmente e gradualmente.

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

Questo generale andamento ondulato della morfologia, più apprezzabile nelle zone non interessate o solo parzialmente interessate dalle modifiche apportate dall'azione antropica, è tipico dei cordoni dunali litoranei dove le porzioni con quote inferiori sono verosimilmente il risultato dello spianamento e/o delle alterazioni di origine antropica oppure riferibili alle aree depresse comprese fra due cordoni successivi (zone interdunali), mentre le parti più elevate sono rappresentative della cresta del cordone dunale relitto rimasto allo stato naturale e stabilizzato dalla vegetazione sopra impiantatasi.

Analizzando la disposizione e sviluppo spaziale delle curve di livello nel suddetto estratto della C.T.R., le ortofoto della Regione Toscana e le foto satellitari (Google Earth) ed integrando con le osservazioni di campagna, si può ipotizzare che il Comparto n.1 in oggetto sia in parte il prodotto dello spianamento parziale di un cordone dunale che prosegue a nord nell'edificio di Marina di Pisa dovuto alle trasformazioni ed espansioni edilizio-urbanistiche susseguitesesi nel tempo in periodi differenti, mentre a sud, a partire dalla zona a verde del medesimo comparto il cordone conserva la sua caratteristica morfologia con quote relativamente maggiori.

Il Comparto n.2 confinante ad est essendo caratterizzato da quote sul livello del mare inferiori potrebbe anch'esso essere il risultato di uno spianamento antropico, in questo caso più accentuato rispetto a quello realizzato nel Comparto n.1, oppure riconducibile ad una zona interdunale; entrambe le ipotesi giustificherebbero le differenze di quota tra i due comparti ed anche la presenza del muretto di contenimento lungo il confine tra i due.

5.2 - GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il Comparto n.1 si inquadra nel contesto dei cordoni dunali e dei lidi litoranei che con sviluppo longitudinale in direzione circa nord-sud parallelo alla linea di costa si estendono in successione laterale nell'entroterra per 4-7 chilometri a partire dal limite interno della spiaggia emersa ad ovest fino al margine della pianura alluvionale pisana dell'Arno ad est (vedi estratti Carta Geomorfologica dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale e del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina in Tavola n.2 allegata).

Le dune ed i cordoni dunali più antichi, più distanti dalla costa, possono estendersi anche oltre il limite della pianura benché sepolte/i dai depositi alluvionali e talora affiorare ed emergere da questi come nelle località di Coltano, Castagnolo e Montacchiello.

I cordoni dunali rappresentano gli elementi geomorfologici naturali principali e caratteristici di quest'area e più in generale dell'intera fascia costiera comunale e sono il prodotto dell'accumulo nelle zone a monte della spiaggia emersa del materiale sabbioso trasportato dalle correnti marine lungo la costa, dovuto all'azione dei venti (deflazione).

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

Il loro profilo trasversale, solitamente asimmetrico con pendenza minore sul fianco sopravento e maggiore su quello sottovento, è imputabile alla dominanza di un vento costante ed è ancora apprezzabile laddove, stabilizzatesi e consolidatesi per l'effetto della vegetazione, sono rimaste allo stato naturale e non modificate dall'azione antropica.

La disposizione areale di questi elementi geomorfologici è rappresentativa degli andamenti nel tempo della linea di costa che è andata via via espandendosi verso il mare nei secoli scorsi fino a raggiungere la configurazione attuale. A questo proposito, secondo le ricostruzioni storico-geografiche la linea di costa datata al XVIII secolo d.C. lambisce il limite orientale dell'area della Scheda Norma 38.3.

Le zone interdunali sono invece delle depressioni più o meno profonde che hanno lo stesso sviluppo longitudinale dei cordoni dunali e ne seguono parallelamente l'andamento. In base alla profondità della falda freatica possono essere invase dalle acque della falda stessa originando specchi d'acqua stagnante (acquittrinosi-palustri) di carattere temporaneo o permanente in relazione all'escursione della tavola d'acqua.

5.3 - GEOLOGIA

Sotto l'aspetto geologico l'area è quindi impostata sui depositi sabbiosi datati all'Olocene (Quaternario) che costituiscono l'intero sistema dei cordoni dunali; in particolare, si tratta di sabbie ben classate con granulometria da media a fine, talora più o meno limose.

I vari Studi Geologico-Tecnici condotti in tempi successivi a supporto della pianificazione urbanistica comunale descrivono questi depositi come sabbie ben classate/assortite prevalentemente quarzose con grana da media a fine ed intercalazioni di sabbie limose, talvolta contenenti resti di Lamellibranchi, di colore da marrone-beige/noccola chiaro negli strati più superficiali, solitamente meno addensati, a grigio chiaro in quelli più profondi e generalmente più addensati.

Dal punto di vista litologico-tecnico, sempre secondo i suddetti Studi, in questi depositi la resistenza di punta del penetrometro statico Q_c nei primi 10 m di profondità è generalmente maggiore di 45 kg/cm^2 , con picchi, talora, di oltre 150 kg/cm^2 , l'angolo di attrito interno ϕ varia tra 29° e 43° e la coesione è da considerarsi nulla. Il peso di volume γ varia in media da 1.8 kg/dm^3 , per le sabbie limose e per quelle meno addensate, a 2.1 kg/dm^3 per le sabbie pure e maggiormente addensate. La densità relativa D_r oscilla in generale tra circa 40-50% e 80-90% fino ad un massimo, in alcuni casi, di 100%.

La litologia delle zone interdunali è la stessa dei cordoni dunali con la differenza che i sedimenti sabbiosi possono essere maggiormente limosi, avere frazione granulometrica più fine e contenere sostanza organica/torbosa dovuta alla decomposizione del materiale vegetale di ambiente acquitrinoso.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

Gli esiti delle prove penetrometriche statiche eseguite in situ hanno confermato, nell'ambito dei primi 15.00 metri di profondità (massima profondità raggiunta dalle indagini), la presenza di questi litotipi con caratteristiche litologico-tecniche paragonabili a quelle appena descritte.

Nella Carta Litotecnica del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina i depositi dei cordoni dunali sono accorpati nell'Unità Litologico-Tecnica "E" che comprende i terreni granulari non cementati o poco cementati; in particolare, rientrano nella Sub-Unità "E3.a2.t3" definita come : depositi quaternari di cordone litoraneo costituiti da sabbie con granulometria dominante da media a fine.

Questa stessa Carta evidenzia anche che l'area compresa nella Scheda Norma 38.3 e l'abitato di Marina di Pisa sono potenzialmente soggetti al fenomeno della liquefazione dovuta alla presenza di questi depositi granulari e della falda in esso contenuta con soggiacenza frequentemente entro i primi 2.00-3.00 m dal p.c..

Nel sottosuolo di Marina di Pisa e più in generale dell'intera fascia costiera comunale, per i numerosi dati stratigrafici derivanti da indagini geognostiche pregresse eseguite in questa parte di territorio comunale riguardanti anche esperienze lavorative dello scrivente, è nota ed assodata la presenza di depositi sabbiosi solitamente già a partire dalla superficie topografica con spessori mediamente dell'ordine di 10/15 - 20 m.

Al riguardo, anche la Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbansitico Comunale di gennaio 2020 e del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina conferma questo dato; infatti, la stratigrafia tipo della Zona 6 associata all'area in oggetto e al territorio urbanizzato delle frazioni di Marina di Pisa, Tirrenia e Calambrone è caratterizzata nella parte superiore da uno spessore di 15-20 m di sabbie di ambiente costiero da sciolte a mediamente addensate.

Nella Tavola n.2 allegata sono riportati gli estratti dei seguenti elaborati cartografici presi come riferimento per la descrizione delle caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area sopra esposte :

- Carte Geologica e Litotecnica del Piano Strutturale Comunale 1998;
- Carte Geomorfologica, Geologica, Geologico-Tecnica e delle MOPS dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale di gennaio 2020;
- Carte Geomorfologica, Geologica, Litotecnica e delle MOPS del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina 2020.

Nel corso dei sopralluoghi, estesi ad un intorno significativo del comparto in oggetto, non sono stati rilevati evidenti segni di instabilità geomorfologica e di dissesto, in atto o potenziale, dovuti a processi geomorfici e geotecnici e di fenomeni erosivi imputabili all'azione delle acque correnti meteoriche e superficiali e d'inondazione marina.

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

5.4 - IDROGEOLOGIA

I depositi sabbiosi presenti nel sottosuolo locale si estendono con discreti spessori in continuità laterale lungo la fascia litoranea comunale seguendo lo sviluppo dei cordoni dunali e dei lidi litoranei dei quali sono i materiali costituenti e per caratteristiche granulometriche sono caratterizzati da una media ed elevata permeabilità primaria per porosità che ha favorito l'instaurarsi di una circolazione idrica sotterranea (vedi estratti delle Carte Idrogeologiche degli Studi Geologici di supporto alla pianificazione urbanistica comunale in Tavola n.2 allegata).

Questi depositi, confinati inferiormente da uno spesso pacco di argille praticamente impermeabili dal punto di vista idrogeologico, costituiscono l'acquifero libero principale della zona costiera comunale il cui tetto è solitamente coincidente con la superficie topografica.

In questo acquifero ha sede un'importante falda di rilevante entità e potenzialità per portate estraibili e produttività, alimentata e ricaricata principalmente dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche e dagli apporti idrici sotterranei provenienti dal sistema retrodunale.

Si tratta di una falda freatica costantemente presente con soggiacenza generalmente entro i primi 2.00-3.00 m dal piano di campagna, che può variare localmente per la disomogeneità delle quote altimetriche della superficie topografica; infatti, nelle aree depresse è prossima alla superficie o sub-affiorante mentre in quelle maggiormente elevate è relativamente più profonda.

Nei perfori delle due prove penetrometriche statiche CPT eseguite in sito il tetto di questa falda è stato rilevato alla profondità di -2.70/-2.80 m dal piano di campagna locale (misura effettuata in data 23/10/2020).

Il livello della tavola d'acqua è potenzialmente soggetto a periodiche escursioni verticali dipendenti prevalentemente dal regime meteorico stagionale locale e dall'area di alimentazione della falda a monte del sistema dunale. Le temporanee risalite sono comunque da ipotizzarsi di breve durata e abbastanza contenute data la buona e discreta permeabilità dei litotipi che ospitano la falda e la vicinanza del mare che tende a mitigare questi effetti.

Lo sfruttamento di questa falda tramite pozzi, molto diffusi nella fascia costiera e talora molto ravvicinati e concentrati in poco spazio, può originare depressioni locali o puntuali della piezometria con abbassamenti a volte anche significativi, soprattutto nel periodo estivo quando la ricarica è al minimo per l'assenza e/o scarsa piovosità e gli emungimenti sono invece solitamente piuttosto intensi sia per gli usi domestici che per gli altri utilizzi.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

5.4.1 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

L'assenza di un'adeguata protezione al tetto dell'acquifero libero/freatico in sabbie e la loro discreta permeabilità rende la falda in esso contenuta, con soggiacenza di sovente abbastanza prossima alla superficie, vulnerabile nei confronti di potenziali contaminazioni; per questo motivo la qualità dell'acqua di questa falda anche in condizioni normali è da presumersi in parte compromessa per i continui interscambi con la superficie e pertanto ne è sconsigliato l'uso ai fini potabili e per il consumo umano.

Infatti, in tale contesto geologico-idrogeologico gli eventuali inquinanti provenienti dalla superficie, favoriti dalla media ed elevata permeabilità del deposito sabbioso, possono infiltrarsi nel terreno e raggiungere in tempi relativamente brevi la falda senza incontrare barriere che ne impediscano o ostacolino la percolazione.

A questo proposito :

- ⇒ la Carta della Vulnerabilità Idrogeologica di Sintesi della Variante Parziale al Piano Strutturale Comunale dell'anno 2006, redatta con riferimento al P.T.C. della Provincia di Pisa, evidenzia che il comparto in oggetto è caratterizzato dalla Classe 4 - Sottoclasse 4a di Vulnerabilità Idrogeologica corrispondente ad una Vulnerabilità Elevata;
- ⇒ la Carta della Vulnerabilità Idrogeologica della Variante al Regolamento Urbanistico Comunale dell'anno 2009, che aggiorna la precedente, mostra invece che il comparto è compreso in un'area contraddistinta dalla Classe 3 - Sottoclasse 3b di Vulnerabilità Idrogeologica equivalente ad una Vulnerabilità Media;
- ⇒ la Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina (adottato da entrambi Comuni tra luglio e agosto 2020), che costituisce l'aggiornamento più recente di questo aspetto, conferma per il comparto in questione la Classe 3 - Sottoclasse 3b di Vulnerabilità Idrogeologica (Vulnerabilità Media).

Gli estratti delle tre suddette Carte sono riportati nella Tavola n.2 allegata.

Ai sensi dell'art.20, punto 20.1, comma 20.1.2 del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) :

- la Sottoclasse 3b (Vulnerabilità Idrogeologica Media) corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un grado di protezione mediocre; in essa ricadono, nelle aree di pianura, le zone in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda compresi tra i 7 ed i 15 giorni, quali quelle interessate da falde libere in materiali alluvionali mediamente permeabili con livelli piezometrici prossimi al piano campagna, quelle di ricarica di acquiferi confinati a bassa permeabilità, quelle consistenti in terrazzi alluvionali antichi costituiti da litologie poco permeabili e direttamente connessi all'acquifero principale, quelle a permeabilità medio-alta

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

ma con superficie freatica depressa per cause naturali, nonché, nelle aree collinari e montuose, le zone di affioramento di terreni litoidi a media permeabilità, le zone morfologicamente pianeggianti con affioramento di terreni sciolti di media permeabilità con sufficiente estensione e ricarica, le zone di alimentazione delle sorgenti di principale importanza emergenti da litologie poco permeabili;

- la Sottoclasse 4a (Vulnerabilità Idrogeologica Elevata) 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.

Con riferimento alla Sottoclasse 3b di Vulnerabilità Idrogeologica, attualmente rappresentativa del grado di vulnerabilità che caratterizza l'area in cui si colloca il Comparto n.1 in oggetto, i Livelli di Rischio attribuiti alle trasformazioni ed attività in esso previste come definiti all'art. 20, punto 20.2, commi 20.2.1 e 20.2.2 del P.T.C. della Provincia di Pisa sono :

- ⇒ per le nuove edificazione Rischio III (a) Rischio Medio/Alto
- ⇒ per i parcheggi Rischio II Rischio Basso

- (a) : Ogni trasformazione di edifici soggetta a provvedimento abilitativo é subordinata all'allacciamento dell'edificio interessato alla pubblica fognatura dinamica, ove tale allacciamento non preesista. Qualora l'insediamento non sia servito da pubblica fognatura dinamica, la realizzazione di quest'ultima è assolutamente prioritaria rispetto alla realizzazione di qualsiasi altra opera pubblica interessante l'insediamento medesimo. Ove e sino a quando l'insediamento non sia servito da pubblica fognatura dinamica, lo smaltimento dei reflui degli edifici deve avvenire in pozzi neri a tenuta stagna, essendo precluso, oltre allo scarico libero nel suolo o nel sottosuolo, con dispersione mediante sub-irrigazione, dispersione mediante pozzi assorbenti, percolazione mediante sub-irrigazione con drenaggio.....omississ.....

<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
<i>Emissione</i>	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
<i>Revisione</i>	/			Sig. Mastandrea Stefano

5.4.2 - VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA NEI CONFRONTI DEL CUNEO SALINO

Data la vicinanza del mare l'area è fragile e vulnerabile nei confronti dell'intrusione del cuneo salino, fenomeno naturale che oltre ad interessare la zona costiera comunale ed essere stato accertato in varie sue parti si estende anche in alcuni settori dell'entroterra come mostra la Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina il cui estratto è riportato nella Tavola n.2 allegata.

Questo aspetto era già stato evidenziato nella già citata Relazione Tecnica di supporto alla "Variante Parziale al Regolamento Urbanistico finalizzata allo sviluppo territoriale e al consolidamento e riorganizzazione funzionale delle U.T.O.E. n. 17 (Viale delle Cascine), 36 (Ospedaletto Sud), 39 (Tirrenia), 40 (Calambrone), a seguito della Variante e Parziale al Piano Strutturale approvata con Delib.C.C. n.56 del 20/07/2006" (BURT n.32 del 08/08/2007), nella quale al paragrafo 3.2.2 "Condizioni alle trasformazioni fascia costiera" sono dettate specifiche prescrizioni e precauzioni da ottemperare per gli interventi diretti e le previsioni urbanistiche a carattere attuativo da realizzare nella zona costiera, finalizzate alla tutela della falda nei riguardi del fenomeno dell'intrusione salina e alla verifica dell'impatto che tali interventi e previsioni possono arrecare al sistema acquifero locale, di cui si è detto in precedenza.

Tali prescrizioni rivolgono l'attenzione principale agli emungimenti della falda sia mediante nuovi pozzi sia nel caso di incrementi di portate di quelli esistenti, compresi quelli ad uso domestico, ed anche attraverso sistemi di abbattimento temporaneo del suo livello quando si rendono necessari per mantenere asciutti gli scavi nel corso di interventi edilizi e di opere d'ingegneria che interessano il sottosuolo al di sotto della falda stessa.

Questo perché gli emungimenti, se soprattutto effettuati con portate di prelievo rilevanti, continue e di lunga durata, deprimendo il tetto della falda richiamano dal basso l'acqua di mare sottostante quella dolce della falda e di conseguenza possono comportare modifiche della geometria ed estensione del cuneo salino rispetto alla configurazione che aveva assunto in ragione dell'equilibrio precedentemente raggiunto aumentando il rischio di insalinizzazione della falda, favorendo la risalita della superficie di separazione tra l'acqua di mare e l'acqua della falda ovvero della zona di transizione dove queste due tipologie di acqua si miscelano e la riduzione dello spessore della falda, che può avvenire anche attraverso la formazione locale o puntuale di coni ascensionali di acqua di mare (upconing) in corrispondenza delle verticali dei pozzi o di altre opere di captazione della falda anche con tecniche di aggotamento.

Gli studi condotti sull'intrusione salina nei corpi idrici sotterranei costieri dalle ex Autorità di Bacino Regionali, ora accorpate nell'Autorità Distrettuale Appennino Settentrionale, in seguito all'ampliamento e aggiornamento della banca dati del monitoraggio del fenomeno, hanno permesso di redigere nell'agosto 2018 il Rapporto "Zonazione dell'intrusione salina nei

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

corpi idrici sotterranei” ed il relativo elaborato cartografico esteso a tutti i corpi idrici sotterranei della Toscana e della Liguria dai quali risulta che questi corpi idrici sono largamente o parzialmente impattati dal fenomeno o sensibili e suscettibili ad esso.

La Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, nella quale è stato tenuto conto dei risultati di questi studi, evidenzia che l’area in cui si colloca il Comparto n.1 in oggetto e l’intera area della Scheda Norma 38.3 è contraddistinta dalla Classe I.S.2 definita come *area suscettibile d’intrusione salina* (vedi estratto cartografico in Tavola n.2 allegata).

5.5 - ASPETTI IDRAULICI

Per quanto riguarda il reticolo idraulico, nella porzione di territorio comunale ad est e sud-est del Comparto n.1 e a discreta distanza da esso sono presenti alcuni capofossi del sistema della bonifica che ricevono le acque di scolo superficiale e drenano quelle della falda freatica allontanandole nei canali ricettori.

L’asta idraulica principale è rappresentata dal Canale Nuovo del Lamone, a monte dell’area in questione e del sistema dei cordoni dunali, che con il Canale Nuova Lama Larga cosituisce uno dei collettori più importanti del sottobacino di bonifica a scolo meccanico (di acque basse) di Campaldo.

Dalla Mappa del Reticolo Idraulico della Regione Toscana (L.R. n.79/2012 aggiornata con D.C.R. n.28/2020), scaricata dal Geoportale Lamma – Difesa del Suolo e riportata in figura n.4 seguente, risulta che a sudest dell’area in oggetto ad una distanza di circa 750 m si origina a partire dal limite orientale della pineta il Colatore 3 Sinistro Lamone di lunghezza circa 550, il quale confluisce a nordest nel Canale Nuovo Lamone.



Figura n.4 : Estratto mappa del reticolo idraulico della Regione Toscana.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

Il Canale Nuovo Lamone è collegato alle sue estremità a due impianti idrovori : impianto di Marina di Pisa a nord e impianto di Calambrone a sud che consentono di sollevare le acque basse recapitandole nel Fiume Arno e nel Canale dei Navicelli.

6 - INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

6.1. - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Per la ricostruzione dell'assetto lito-stratigrafico del sottosuolo locale di ausilio anche per la determinazione del grado/classe di pericolosità geologica e sismica da attribuire all'area in oggetto, sono state eseguite nella parte di Comparto n.1 di proprietà Mastandrea Stefano n.2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT (vedi ubicazione nelle foto n.1 e n.2 seguenti ed in Tavola n.3 allegata).

Entrambe le prove, denominate CPT1 e CPT2, sono state eseguite in data 23/10/2020 e spinte fino alla profondità di -15.00 m dal p.c. locale e sono state effettuate all'interno della sagoma d'ingombro dell'edificio ad uso commerciale (ristorante) in previsione che nell'ambito di questo Piano Attuativo rappresenta l'intervento principale e di maggior peso edilizio.

Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico-dinamico PAGANI – Modello TG 73 in grado di eseguire prove in modalità statica CPT con sistema di spinta da 200 kN (\approx 20 tonn) e dinamiche super pesante DPSH con maglio di battuta del peso di 63.5 kg.



Foto n.1 : Postazione della prova penetrometrica statica CPT1 nel Comparto n.1

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano



Foto n.2 : Postazione della prova penetrometrica statica CPT2 nel Comparto n.1

Nell'Appendice della presente sono riportati gli elaborati di queste due prove CPT dove sono descritte anche le caratteristiche della strumentazione utilizzata.

6.1.1 - GENERALITA' SULLA PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

La prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT (*Cone Penetration Test*) consiste nell'infissione nel terreno per tratti consecutivi di 20 cm di una particolare punta conica in acciaio (punta *Begemann*) montata all'estremità inferiore di un'asta cilindrica, attrezzata superiormente con un manicotto cilindrico per misurare l'attrito laterale e, registrando nel corso dell'approfondimento di ognuno di questi tratti le seguenti grandezze fisico-meccaniche :

- Resistenza alla punta (kg/cm^2) Q_c ;
- Resistenza laterale (kg/cm^2) F_s ;
- Resistenza totale (kgf) Q_t .

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano

Le misure sono rilevate da una centralina elettronica collegata al sistema di spinta della macchina e posizionata sulla testa delle aste.

La punta impiegata in queste prove è conica nella parte inferiore con angolo di apertura di 60°, diametro 35.7 mm e superficie $A_c = 10 \text{ cm}^2$, mentre la superficie laterale A_s del manicotto superiore è pari a 150 cm^2 (vedi figura n.3 seguente).



Figura n.3 : Punta meccanica *Begemann* per prova CPT

Le aste di penetrazione sono cilindriche, cave, in acciaio, lunghe 1.00 m e graduate con tacche ogni 20 cm in modo da poter verificare nel corso della prova il loro effettivo approfondimento di 20 cm nel sottosuolo.

Le estremità inferiore e superiore delle aste sono filettate per consentire l'aggiunta di altre aste al di sopra di quella sottostante quasi completamente infissa nel terreno, permettendo così di formare una batteria di aste di lunghezza pari alla profondità d'indagine stabilita.

Queste aste contengono internamente un'astina cilindrica, anch'essa in acciaio, che agendo sulla punta meccanica *Begemann* ne consentono la penetrazione nel terreno tramite il sistema di spinta della macchina.

Nel corso della prova viene prima infissa nel terreno per circa 4.0 cm solo la parte conica finale della punta rilevando esclusivamente la resistenza di punta Q_c , successivamente, sempre tramite la spinta delle astine interne, viene infissa per altri 4.0 cm la punta ed il manicotto laterale soprastante misurando in questo modo la resistenza totale Q_t alla penetrazione che è data dalla somma delle resistenze di punta Q_c e laterale F_s ($Q_t = Q_c + F_s$). infine, si ricava la resistenza laterale F_s dalla differenza $Q_t - Q_c$ divisa per l'area del manicotto A_s . Dopo queste operazioni l'intero corpo della punta (cono + manicotto) viene approfondita con la spinta delle aste principali di ulteriori 12.0 cm senza rilevare alcuna misura delle resistenze.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

La procedura sopra descritta viene via via ripetuta fino al raggiungimento della profondità d'indagine stabilita con l'aggiunta di ulteriori aste, salvo il verificarsi del rifiuto strumentale all'avanzamento della punta in caso di intercettazione di terreni molto duri/compatti/addensati o di manufatti interrati o di trovanti litoidi.

La penetrazione della punta avviene a velocità standard costante di 2 cm/s, come da ASTM D 5778, e le misurazioni delle resistenze sono discontinue con passo di 20 cm.

Durante l'infissione della punta e del manicotto sul monitor della centralina elettronica sono visibili i valori delle resistenze del terreno attraversato nei vari tratti successivi di 20 cm di profondità, che vengono annotate dall'operatore su un modulo cartaceo o nei sistemi più avanzati registrati e scaricati direttamente su un PC portatile.

Per sfruttare al massimo la spinta di penetrazione della punta e contrastare la resistenza opposta dai terreni alla penetrazione stessa, il mezzo (penetrometro) viene ancorato nel terreno tramite due trivelle elicoidali poste sul lato frontale del corpo macchina, fino ad una profondità di circa 1.50 m.

Dai valori di Q_c e F_s che esprimono le caratteristiche dimensionali di resistenza meccanica del terreno e da quelli del rapporto di frizione F.R. $[(F_s/Q_c) \times 100]$ è possibile identificare la natura litologica dei litotipi superati nel corso dell'indagine mediante appositi diagrammi classificativi delle litologie da prova CPT che mettono in relazione Q_c e F.R. e quindi ricostruire la successione lito-stratigrafica del tratto di sottosuolo investigato. Questi diagrammi sono stati proposti da vari autori ed in questo caso è stato utilizzato quello classico di *Schmertmann*.

L'assetto lito-stratigrafico viene quindi definito accorpando i vari livelli decimetrici (20 cm) di terreno litologicamente correlabili e con valori simili e paragonabili delle resistenze Q_c e F_s e del rapporto F.R..

Una volta definita la natura litologica dei terreni e la straigrafia, tramite le numerose relazioni e correlazioni proposte da molteplici autori note in letteratura scientifica e di largo impiego in campo geologico-geotecnico, basate sul valore della resistenza penetrometrica di punta Q_c , si possono stimare per ciascun litotipo i principali parametri geotecnici (resistenza al taglio non drenata C_u , angolo di attrito interno o di resistenza al taglio ϕ , peso dell'unità di volume γ , densità relativa D_r , coefficiente di compressibilità volumetrica m_v , modulo edometrico M_{ed} e modulo elastico o di Young E_y).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano

6.2 - ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE

Tramite le correlazioni lito-stratigrafiche tra le verticali delle due prove penetrometriche, nella Tavola n.3 allegata è stata ricostruita una sezione litologico-tecnica rappresentativa dell'assetto geologico del tratto di sottosuolo indagato in corrispondenza del futuro edificio/ristorante che, come precedentemente detto, costituisce l'opera edilizia più significativa prevista dal Piano Attuativo.

Dal momento che gli esiti lito-stratigrafici di queste prove sono risultati paragonabili e correlabili con i dati stratigrafici noti e disponibili per i dintorni dell'area in oggetto e più in generale per l'abitato di Marina di Pisa e della fascia litoranea, anche relativi ad esperienze pregresse dello scrivente in questa parte di territorio comunale, ed in considerazione del contesto geologico e geomorfologico al contorno e nelle immediate vicinanze che è lo stesso che caratterizza l'area indagata, questo assetto lito-stratigrafico può essere esteso con buon margine di affidabilità anche alla porzione del Comparto n.1 destinata al parcheggio pubblico ed alla restante parte di proprietà Mastandrea Stefano dove, tra l'altro, sono previsti interventi di minore/scarsa rilevanza (parcheggio a raso per i clienti dell'edificio/ristorante).

Entrambe le prove penetrometriche hanno praticamente restituito lo stesso assetto litologico-stratigrafico a dimostrazione, quindi, della sostanziale uniformità geologica laterale e verticale del sottosuolo locale che risulta dominato da sedimenti sabbiosi e sabbioso limosi fino alla massima profondità d'indagine (-15.00 m dal p.c.), fatta eccezione di alcuni livelletti limoso argilloso sabbiosi e argilloso limosi di esiguo spessore (40-60 cm) intercalati ad essi oltre la profondità di -10.00 m dal p.c..

Nell'intero spessore di queste sabbie la resistenza di punta Q_c lungo le due verticali CPT non ha comunque mostrato sempre un andamento costante o abbastanza costante da giustificare la presenza di unico strato omogeneo per caratteristiche litologiche e di addensamento, ma lo ha evidenziato solo in vari tratti di profondità ben apprezzabili e definibili dai log della Q_c di entrambe le prove penetrometriche.

Pertanto, in relazione alla variabilità della Q_c con la profondità, comunque con valori sempre discreti ed elevati che spaziano da 30-40 kg/cm² a 70-80 kg/cm² fino a 80-100 kg/cm², raggiungendo massimi di 150-170 kg/cm², ed in considerazione dei valori della resistenze laterali F_s e del rapporto di frizione $F.R.$ ad essi associati, questo pacco di sabbie è stato suddiviso in cinque livelli/strati ritenuti significativi per spessore e assimilabili ad omogenei per caratteristiche litologiche e fisico-meccaniche, in continuità laterale e con andamenti pressoché orizzontali.

Questi livelli sono stati contraddistinti a partire dall'alto verso il basso con le sigle A1, A2, A3, A4, A5.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Nel tratto superficiale è invece presente uno strato di terreno vegetale sabbioso limoso con riporto antropico denominato livello T.V./T.R., di spessore stimato in circa 0.80-1.00 m, attraversato da entrambe le prove CPT.

La presenza di materiale di riporto di varia natura e pezzatura è ben osservabile un po' ovunque in questa parte del Comparto n.1 ed in particolare nella zona della postazione della prova CPT2 dove erano presenti dei manufatti demoliti già da un po' di tempo.

Rimandando alla Tavola n.3 allegata per maggiori dettagli, nella Tabella seguente è schematizzato l'assetto lito-stratigrafico del sottosuolo locale con la parametrizzazione geotecnica preliminare dei terreni derivata dall'elaborazione di entrambe le prove CPT.

ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE PER LIVELLI LITOLOGICI ASSIMILABILI AD OMOGENEI	Qc media (kg/cm ²)		γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	Med (kg/cm ²)
	CPT1	CPT2			
da p.c. a -0.80/-1.00 m Livello T.V./T.R. : Terreno vegetale sabbioso limoso con riporto antropico	-----	-----	17.65	-----	-----
da -0.80/-1.00 m a -2.40/-3.20 m Livello A1 : Sabbie \pm limose da mediamente addensate ad addensate	72	81	19.32	39 (37-40)	200
da -2.40/-3.20 m a -3.80/-4.00 m Livello A2 : Sabbie limose a tratti argillose mediamente addensate	34	38	17.95	32 (30-34)	90.9
da -3.80/-4.00 m a -5.00/-5.60 m Livello A3 : Prevalenti sabbie da addensate a molto addensate	118	124	20.40	39 (38-41)	250
da -5.00/-5.60 m a -9.60/-10.00 m Livello A4 : Sabbie \pm limose mediamente addensate a tratti più addensate	69	74	19.22	34 (33-35)	166.7
da -9.60/-10.00 m a -15.00 m Livello A5 : Prevalenti sabbie mediamente addensate a tratti limose e più addensate, con rare intercalazioni di livelletti limoso argilloso sabbiosi e/o argilloso limosi compatti	49	61	18.34	32 (30-34)	142.8

Qc = resistenza meccanica di punta media del penetrometro statico nel livello litologico; γ = peso dell'unità di volume; ϕ' = angolo di resistenza al taglio efficace; Med = modulo edometrico = $1/mv$ con mv = coefficiente di compressibilità volumetrica.

I valori della Qc e dei parametri geotecnici denotano discreti e buoni stati di addensamento dei livelli litologici ed altrettanto discrete e buone caratteristiche di resistenza al taglio e di compressibilità che preliminarmente inducono a ritenere improbabile per l'edificio in previsione, quale intervento di maggiore peso edilizio nell'ambito del progetto, il verificarsi di situazioni di inadeguata capacità portante e cedimenti di entità tale da non essere compatibili con la sua stabilità e funzionalità, comunque da valutare nelle successive fasi di progettazione geotecnica e strutturale esecutiva con le opportune verifiche.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

7 - SISMICITA' E CARATTERISTICHE SISMICHE DELL'AREA

7.1 - STORIA SISMICA DEL COMUNE DI PISA

Sulla base dei dati macrosismici e strumentali riferiti a terremoti con intensità massima $I_{\max} \geq 5.0$ o magnitudo massima $M \geq 4.0$ relativi alla finestra temporale 1000-2017 contenuti nel Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) e nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15) disponibili sul sito dell'INGV è possibile risalire alla storia sismica di qualsiasi area del territorio nazionale.

La storia sismica del Comune di Pisa tiene conto di n.83 eventi con intensità macrosismica al sito (Int. o I), ovvero effetti al sito, compresa tra 2 e 7-8 (scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg), intensità macrosismica epicentrale I_0 tra 4 e 11 (scala MCS) e magnitudo momento M_w tra 4.00 e 7.08, quest'ultima relativa al terremoto del 13/01/1915 con area epicentrale in Marsica.

Nella maggior parte di questi eventi la magnitudo M_w è stata maggiore o uguale a 4.00 e minore di 6.00; solo in nove occasioni ha superato 6.00 con valori di 6.63 (25/01/1348 - Alpi Giulie), 6.02 (13/06/1542 - Mugello), 6.04 (14/08/1846 - Colline Pisane), 6.27 (23/02/1887 - Liguria occidentale), 6.38 (29/06/1919 - Mugello), 6.53 (07/09/1920 - Garfagnana), 6.07 (26/10/2016 - Valnerina), 6.01 (30/10/2016 - Valnerina) fino al valore massimo di 7.08 riferito al terremoto in Marsica per il quale l'intensità macrosismica al sito (Int.) è stata pari a 2.

Tra tutti gli eventi sismici che determinano la storia sismica del Comune di Pisa non si riscontrano forti terremoti, cioè caratterizzati da Magnitudo > 5.00 , con epicentri localizzati nel territorio comunale; infatti, dai cataloghi dell'I.N.G.V. risultano due soli eventi risalenti al 10/01/1168 e all'anno 1322, entrambi con area epicentrale a Pisa e con stessa M_w , stimata in 4.40, I_0 (5-6 MCS) e Int. o I (5-6 MCS).

Gli epicentri dei sismi si collocano prevalentemente nella fascia appennica ed in particolare nella porzione settentrionale dell'arco appenninico che insieme alla restante parte della catena montuosa coincide con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismo-tettonico di C. Meletti et al., 2000, dove il meccanismo di fagliazione prevalente atteso, ossia il meccanismo che ha la massima probabilità di originare i futuri terremoti di magnitudo di entità significativa, è riconducibile a faglie normali.

Tra gli eventi sismici principali si ricorda il terremoto in Garfagnana del 07/09/1920 (magnitudo momento $M_w = 6.53$) che ad oggi è quello più forte di tutto l'Appennino Settentrionale di cui si hanno notizie e che ha provocato i massimi effetti nella città di Pisa di cui si abbia memoria storica, con intensità macrosismica al sito pari al VI°-VII° della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Altri terremoti da segnalare per l'entità degli effetti risentiti nella città di Pisa sono quello con epicentro a Orciano Pisano-Colline Pisane del 1846, di magnitudo Mw stimata pari 6.04, che provocò nella città di Pisa effetti del VII° della scala MCS, tra i quali il crollo della navata centrale della Chiesa di San Michele in Borgo, e quello del 03/01/1117 con area epicentrale ipotizzata nei Monti Pisani e di magnitudo non definibile che avrebbe provocato effetti fino all'VIII° della scala MCS; in questo caso però le informazioni storiche sono molto scarse ed incerte, tra l'altro lo stesso giorno si verificò un forte terremoto distruttivo nel Veneto che colpì in modo particolare la città di Verona.

Nella scala macrosismica MCS gli effetti che causano un danno lieve alle strutture corrispondono al VI° grado di tale scala, valore che nella città di Pisa si è verificato e superato 8 volte in 1000 anni.

Il grafico di figura n.5 riassume la storia sismica del Comune di Pisa (fonte INGV) nel quale sull'asse delle ordinate sono riportate le intensità al sito (Int.) a partire da valori ≥ 4 e sull'asse delle ascisse gli anni compresi nel periodo 1000-2017.

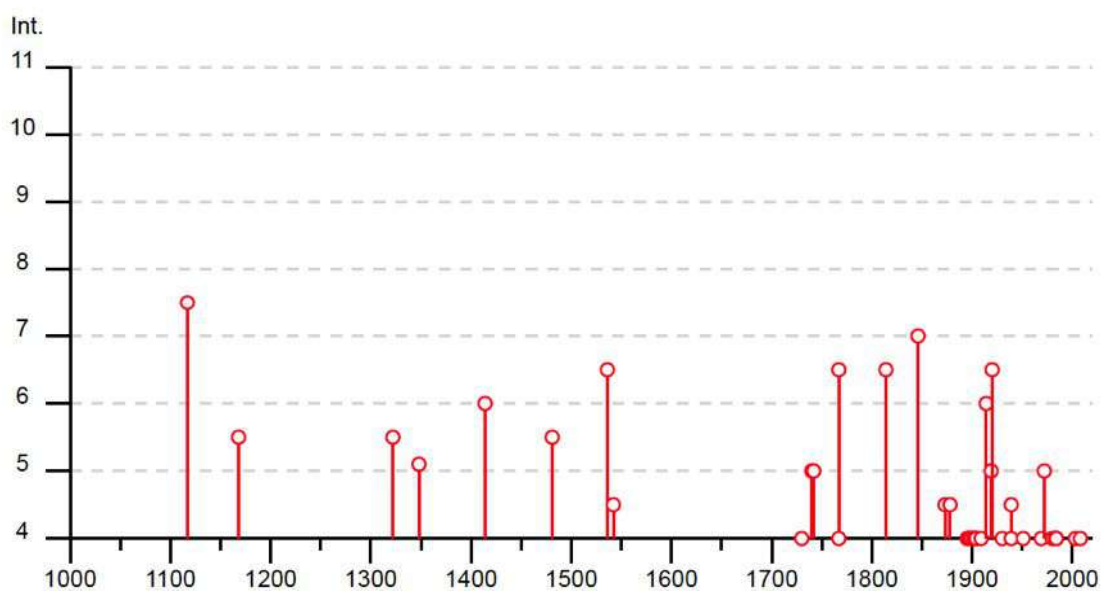


Figura n.5 : Grafico della storia sismica del Comune di Pisa per eventi sismici con Intensità (Int.) ≥ 4 nella finestra temporale 1000-2017 (fonte : I.N.G.V.).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

7.2 - MAGNITUDO DI RIFERIMENTO PER IL COMUNE DI PISA SECONDO LA ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9

Con riferimento alla *Zonazione Sismogenetica ZS9* del territorio nazionale prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia "I.N.G.V." (Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274 - Rapporto Conclusivo - Bozza aprile 2004-MPS04), la quasi totalità della superficie del territorio del Comune di Pisa (PI) comprendente anche l'area in oggetto rientra nella *Zona Sismogenetica 916* denominata *Versilia-Chianti* (vedi mappe nelle figure n.6, n.7 e n.8 seguenti).

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

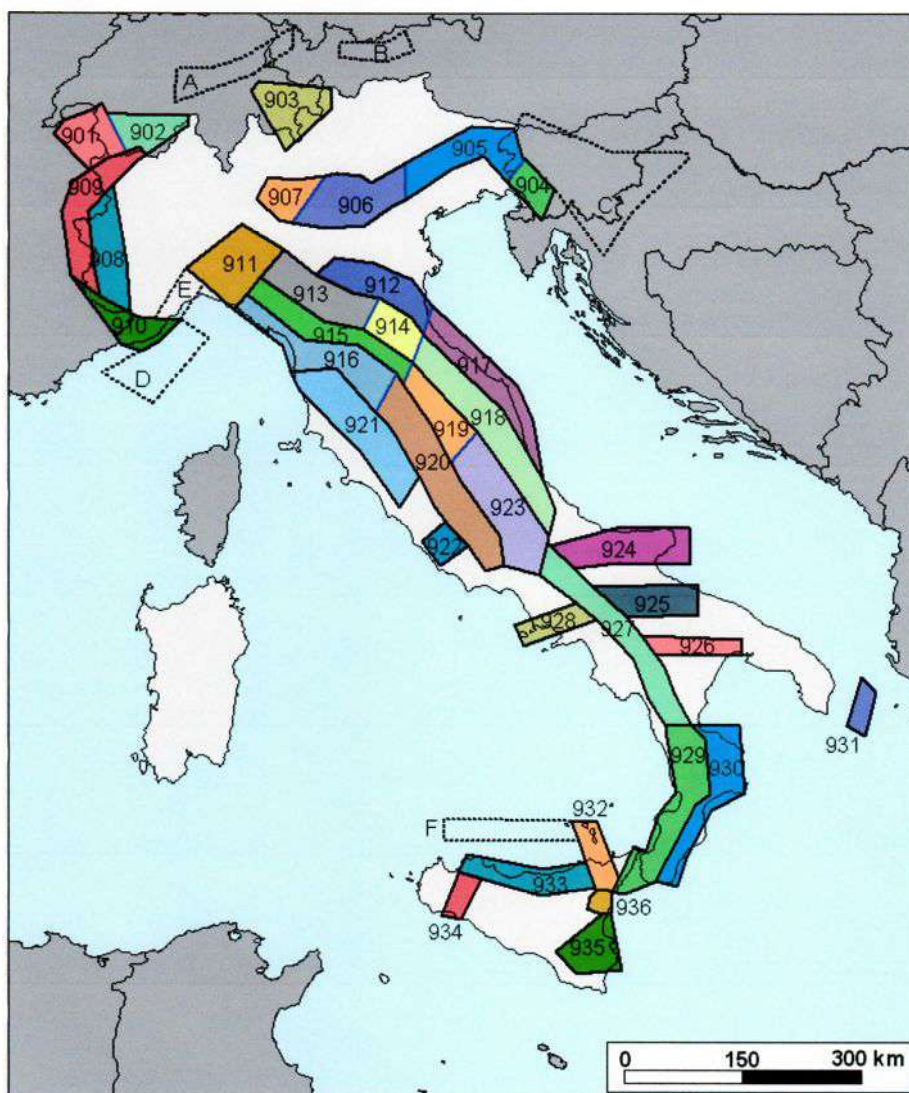


Figura n.6 : Zonazione Sismogenetica ZS9. I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità. Le ZS con bordo tratteggiato, identificate da lettere, non sono state utilizzate nella valutazione della pericolosità sismica, mentre il colore delle ZS non è significativo.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

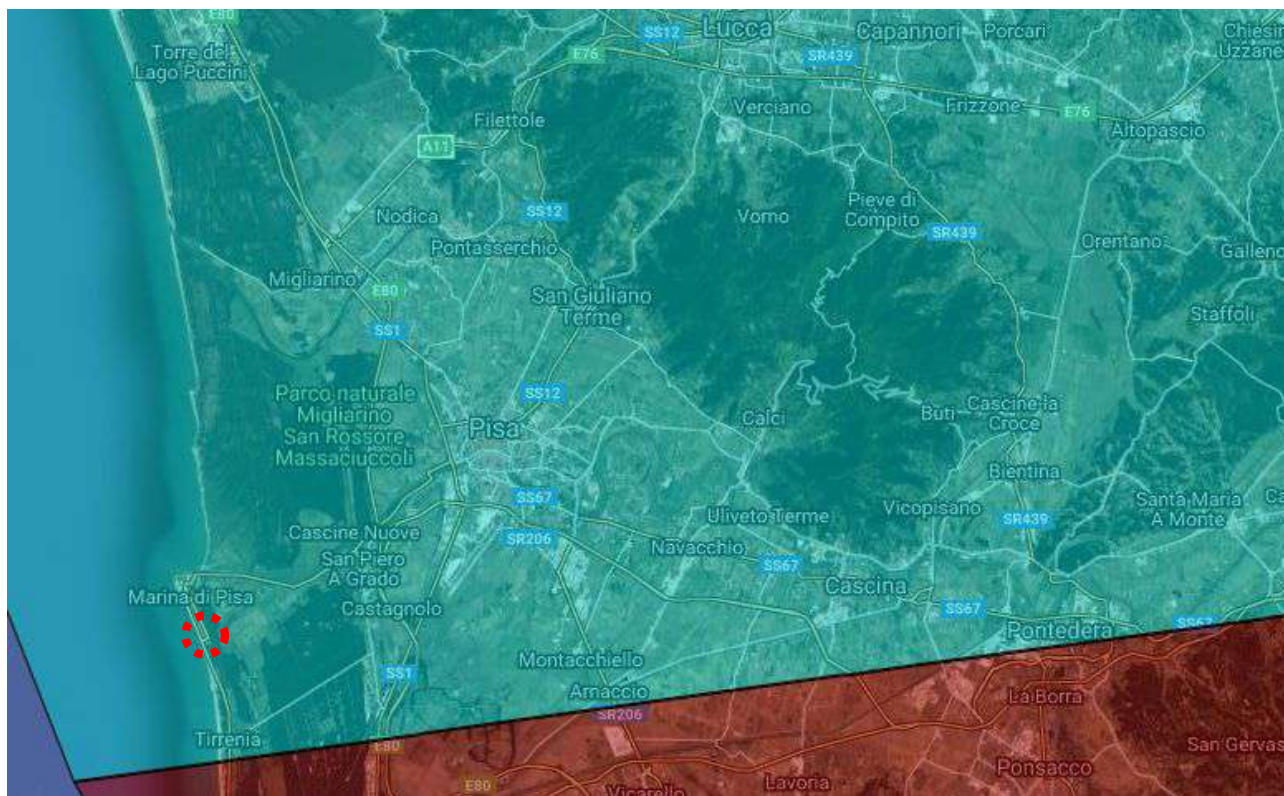


Figura n.7 : In azzurro trasparente parte della Zona Sismogenetica 916 - Versilia-Chianti su base satellitare. In tratteggio rosso l'ubicazione indicativa del sito d'intervento.



Figura n.8 : Sorgenti sismogenetiche nell'area dell'Appennino Settentrionale su base satellitare. Le fasce in arancione sono le sorgenti sismogenetiche composite, le linee arancioni le faglie attive, i rettangoli gialli le sorgenti sismogenetiche singole, le tracce in blu-viola le sorgenti sismogenetiche dibattute. In tratteggio rosso l'ubicazione indicativa del sito d'intervento.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

La Zonazione Sismogenetica ZS9 ha come riferimento il valore della magnitudo massima M_{wmax} , che tradizionalmente rappresenta un parametro cautelativo adottato per garantire le determinazioni di a_{max} dalla possibilità che si verifichino, sia pure con probabilità molto bassa, eventi di magnitudo superiore a quelle verificatesi nel periodo di osservazione del catalogo dei terremoti utilizzato nel Rapporto Conclusivo MPS04-I.N.G.V.. Questa scelta riflette la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una regione ed infatti è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate.

Per ogni zona sismogenetica sono stati definiti due insiemi di valori di M_{wmax} (Magnitudo momento massima) :

- uno, calibrato in modo cautelativo sui dati sismologici e geologici in DISS2, denominato M_{wmax1} "osservata";
- l'altro, maggiormente cautelativo, basato sul criterio di portare al valore $M_{wmax} = 6,14$ tutte le zone sismogenetiche con M_{wmax} CPTI2 inferiore a tale valore, definito M_{wmax2} "cautelativa".

Per la Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti i valori della Magnitudo momento M_{wmax} del terremoto di scenario di riferimento per il Comune di Pisa e per l'area in oggetto risultano:

⇒ M_{wmax1} "osservata" = 5.68;

⇒ M_{wmax2} "cautelativa" = 6.14.

Al riguardo, per le verifiche dei possibili effetti provocati da un evento sismico in un determinato sito che necessitano della conoscenza del valore della Magnitudo attesa, il metodo più semplice e a favore di sicurezza, da utilizzare preferibilmente per le verifiche della suscettibilità di liquefazione dei terreni, è di considerare la Magnitudo Momento massima M_{wmax} associata a ciascuna delle 36 zone sismogenetiche della Zonazione Sismogenetica ZS9 qualora il sito oggetto di studio/intervento rientri in una di esse, in accordo con gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Linee Guida - parte II - Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento di Protezione Civile).

In alternativa, ma soprattutto per i siti non compresi in un alcuna delle zone di ZS9 per i quali non è disponibile il dato, la Magnitudo può essere determinata con altri metodi tra cui l'analisi probabilistica di *disaggregazione dei valori dell'accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido a_g* (disaggregazione della pericolosità sismica) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, o riferita ad altre probabilità di superamento in funzione degli scopi delle verifiche e valutazioni, interagendo con la Mappa Interattiva di Pericolosità Sismica disponibile su sito internet dell'I.N.G.V.. Questa metodologia, che ha come informazione di partenza la ZS9 del territorio italiano dove a ciascuna delle 36 zone è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, secondo i succitati ICMS della Protezione Civile Italiana per i siti ricadenti nelle zone sismogenetiche di ZS9 è da preferire per le verifiche di stabilità.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino			Luca Pignatelli - geologo		
Emissione	1	11/08/2022				Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano		
Revisione	/							

La Tabella seguente, ripresa dal Rapporto Conclusivo - aprile 2004 - MPS04 - INGV, riassume quanto detto in merito alla definizione della Magnitudo momento massima (M_{Wmax1} e M_{Wmax2}). Per ulteriori dettagli, spiegazioni e approfondimenti si rimanda a tale Rapporto disponibile e scaricabile dal sito internet dell'I.N.G.V..

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06
Molise-Gargano	924	6.7	6.73	6.83	6.83		6.83		6.83
Ofanto	925		6.72	6.83	6.83		6.83		6.83
Basento	926	5.8	5.84	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	6.8	6.96	7.06	7.06		7.06		7.06
Ischia-Vesuvio	928		5.78	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+1(a)	5.91
Calabria Tirrenica	929	7.0	7.24	7.29	7.29		7.29		7.29
Calabria Ionica	930	6.0	6.60	6.60	6.60		6.60		6.60
Canale d'Otranto	931		6.90	6.83	6.83		6.83		6.83
Eolie-Patti	932	6.1	6.06	6.14	6.14		6.14		6.14
Sicilia settentrionale	933		5.89	5.91	5.91	+1(c)	6.14	+1(c)	6.14
Belice	934		6.12	6.14	6.14		6.14		6.14
Iblei	935		7.41	7.29	7.29		7.29		7.29
Etna	936		5.30	5.22	5.22	+1(a)	5.45	+1(a)	5.45

Tabella 6. Valori di M_{Wmax} da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di M_{Wmax} dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di M_{Wmax1} (col.7, 8); azioni e valori finali di M_{Wmax2} (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

7.3 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PISA A LIVELLO NAZIONALE

Il territorio nazionale è suddiviso in quattro Zone Sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima a_g su suolo rigido pianeggiante di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s), secondo la Tabella seguente (vedi anche figura n.9).

Zona Sismica	PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni	Valore Massimo PGA (a_g)
1	$a_g > 0.25$ g	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$ g	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$ g	0.15 g
4	$a_g < 0.05$ g	0.05 g

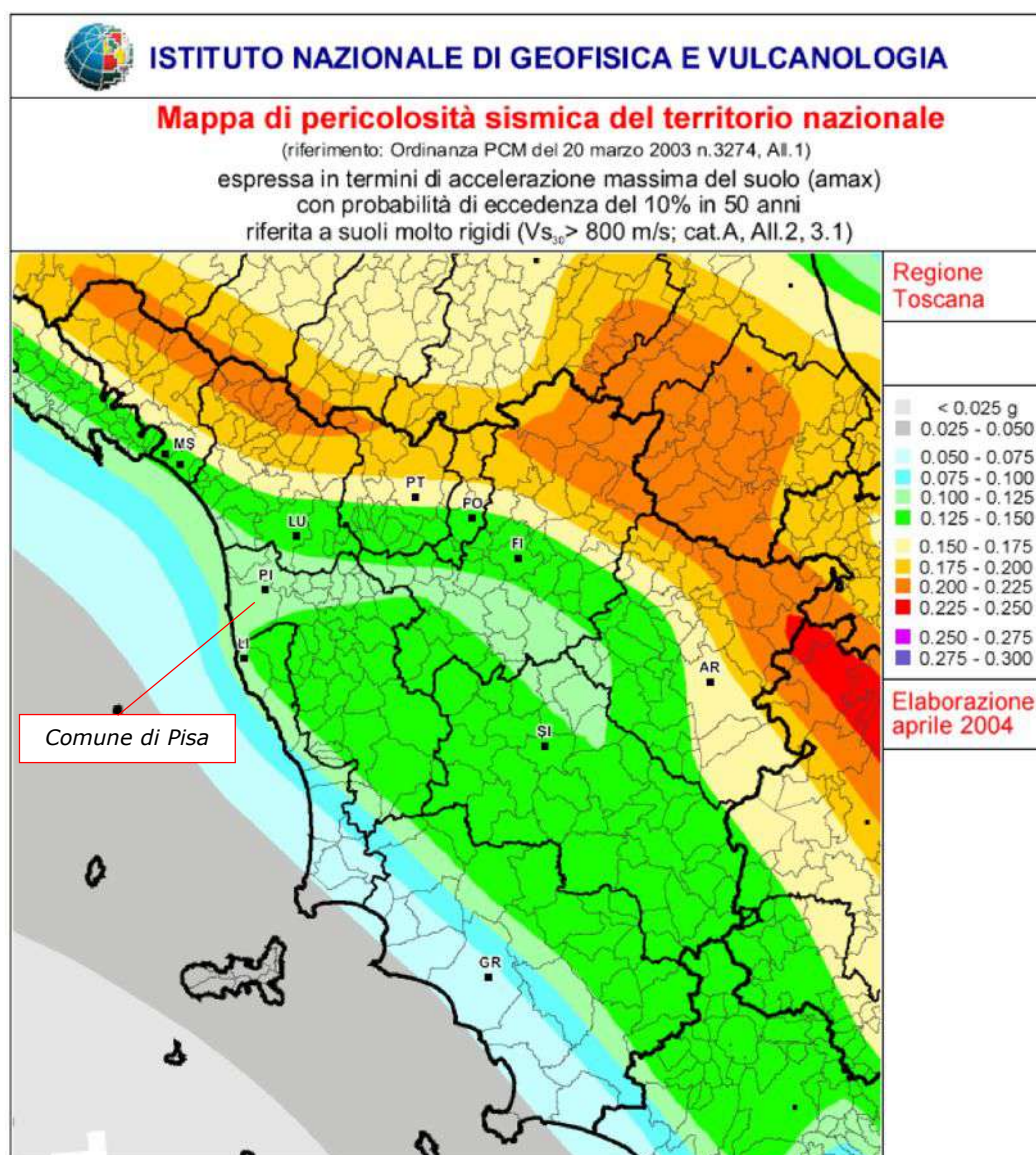


Figura n.9 : Estratto Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (fonte : I.N.G.V.).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

7.4 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PISA A LIVELLO REGIONALE

La Del.G.R. n.421 del 26 maggio 2014 "Aggiornamento dell'allegato 1 (elenco comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Del.G.R. n.878 del 08 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. n.3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 – Revoca della Del.G.R. n.431/2006" e cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (D.G.R. n.841/2007)", non ha modificato la classificazione sismica del Comune di Pisa (PI) che resta pertanto la Zona 3, come già indicata nella precedente Del.G.R. n.878 del 08/10/2012 (figura n.10).



Figura n.10 : Estratto Mappa Aggiornamento della Classificazione Sismica della Regione Toscana.

La Zona Sismica 3, come specificato nel D.P.G.R. n.1/R del 19/01/2022, è suddivisa in fasce di pericolosità caratterizzate da specifici valori di a_g che tengono conto del valore di accelerazione sismica su suolo rigido e pianeggiante relativo allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno T_R di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una Vita Nominale (V_N) di 50 anni e ad un Coefficiente d'Uso (CU) pari a 1, ossia alla Classe d'Uso 2.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano

Nello specifico, sono state definite tre fasce di pericolosità sismica denominate A, B e C contraddistinte dai seguenti valori di accelerazione a_g :

⇒ fascia A con valori di $a_g > 0.15 \text{ g}$;

⇒ fascia B con valori di $0.125 < a_g \leq 0.15 \text{ g}$;

⇒ fascia C con valori di $a_g \leq 0.125 \text{ g}$.

Dal valore di a_g pari a 0.106 g relativo allo Stato Limite SLV e riferito alle suddette condizioni (Classe d'Uso 2 – Coefficiente d'Uso 1 – TR 475 anni), ottenuto con il software on line Parametri Sismici di Geostru analogo al software Spettri-NTC versione 1.0.3 scaricabile sul portale internet del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *il sito in oggetto risulta compreso nella fascia C di pericolosità sismica* (vedi Tabella seguente e figura n.11 in pagina seguente).

Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali.



Vita Nominale

50



Interpolazione

Superficie rigata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.035	2.573	0.212
Danno (SLD)	50	0.042	2.583	0.246
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.106	2.476	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.140	2.439	0.279

Periodo di riferimento per
l'azione sismica: 50

CU = coefficiente d'uso, a_g = accelerazione orizzontale massima al sito (con $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$); Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; Tc* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				



GENIO CIVILE DI AREA VASTA FIRENZE, PRATO, PISTOIA ED AREZZO
COORDINAMENTO REGIONALE PREVENZIONE SISMICA

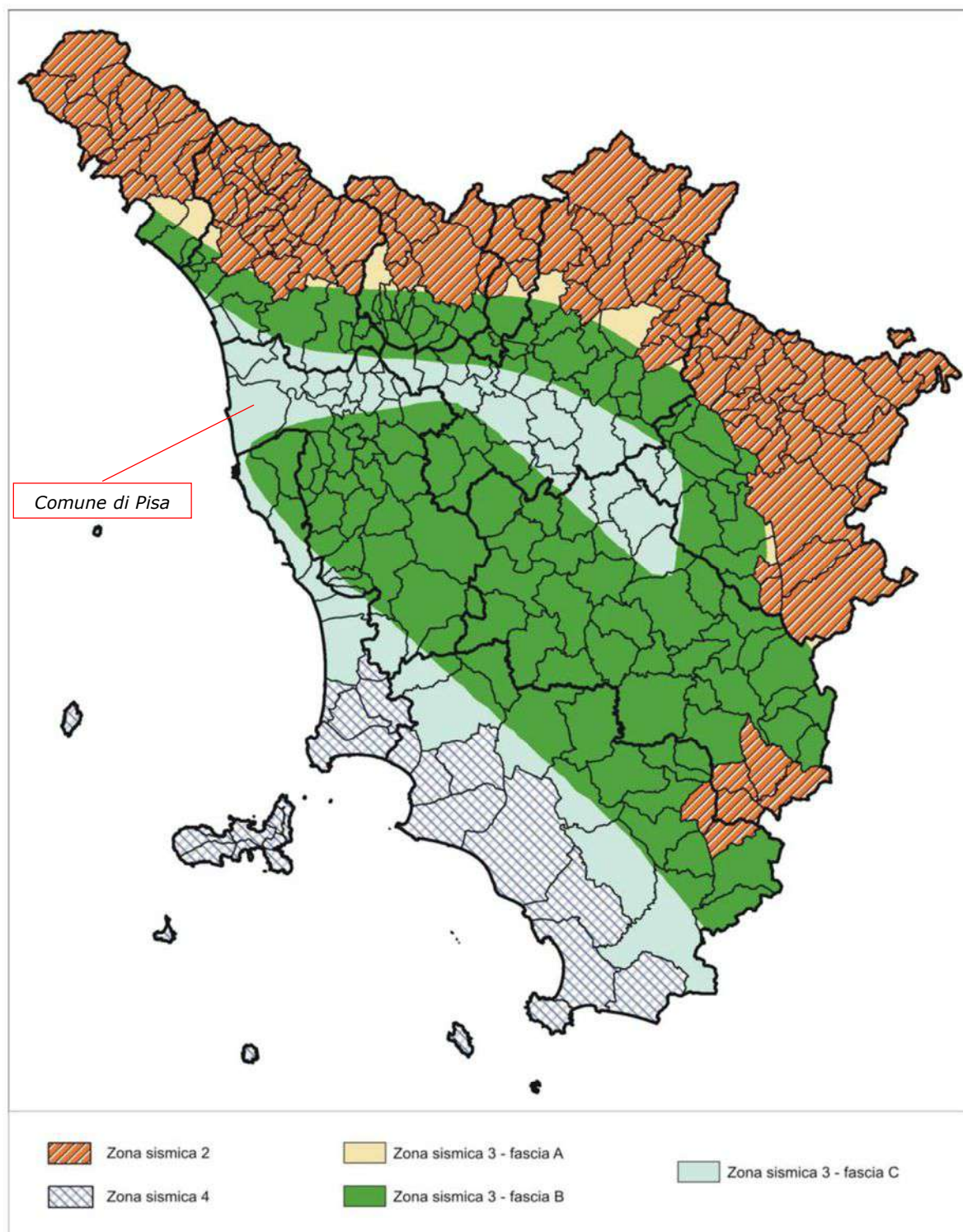


Figura n.11 : Classificazione Sismica della Toscana (Del.G.R. n.878/2012) con suddivisione della Zona Sismica 3 nelle tre fasce A, B, C.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Le coordinate geografiche che identificano il punto centrale circa dell'ingombro del nuovo edificio/ristorante nel Comparto n.1 nell'ambito del reticolo di riferimento per la definizione della pericolosità sismica di base, sono :

- WGS84 : Latitudine (°) 43.658948 – Longitudine (°) 10.280815;
- ED50 : Latitudine (°) 43.659917 – Longitudine (°) 10.281818.



Figura n.12 : Ubicazione del Comparto n.1 oggetto del presente Piano Attuativo nell'ambito del reticolo di riferimento per la definizione della pericolosità sismica.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	20488	43,639850	10,242840	3848,9
Sito 2	20489	43,641750	10,311830	3148,2
Sito 3	20267	43,691710	10,309250	4167,1
Sito 4	20266	43,689820	10,240170	4719,7

Identificazione e coordinate dei nodi della maglia del reticolo di riferimento e distanza dei nodi della maglia dal sito d'intervento.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

8 - INDAGINI SISMICHE IN SITU

8.1 - INDAGINE SISMICA MASW

Il modello sismo-stratigrafico di riferimento per il sottosuolo locale è stato definito sulla base del profilo verticale della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S (V_s) ottenuto da una indagine sismica di superficie con tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) eseguita lungo il lato ovest della zona a verde annessa al comparto in oggetto, al limite con la porzione di parcheggio pubblico compresa nel comparto stesso (vedi ubicazione nella foto n.3 seguente, in Tavola n.3 allegata e nel Rapporto sul MASW in Appendice).



Foto n.3 : Postazione ed esecuzione dell'indagine MASW lungo il limite tra il parcheggio pubblico e la zona a verde a compresi nel Comparto n.1.

8.1.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE GEOSISMICA MASW

La prospezione MASW sfrutta le onde di superficie (*Rayleigh*, *Love* e *Lamb*), in particolare le onde di *Rayleigh*, che con questo metodo vengono generate da una sorgente "attiva" energizzata artificialmente, solitamente mediante una mazza che colpisce verticalmente una piastra incastrata nel terreno superficiale, e registrate simultaneamente su 12 o più canali utilizzando geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (valore tipico 4.5 Hz), allineati ed equidistanziati lungo una certa direzione (stendimento geofonico).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

La distanza tra la sorgente e il primo ricevitore (geofono) della linea geofonica condiziona la profondità d'indagine mentre quella tra i geofoni lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

Le onde di *Rayleigh*, come quelle di *Love* e più in generale quelle di superficie, si originano dall'interferenza e interazione fra le onde di volume *P* (onde *Primae* o longitudinali di compressione e dilatazione) e di taglio *S* (onde trasversali o *Secundae*) quando esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo. Le onde di superficie si propagano quindi solo alla superficie del mezzo e per questo sono quelle che provocano gli effetti più devastanti/distruttivi.

Se la sorgente è superficiale, le onde *P* e le onde *S* si propagano secondo fronti d'onda emisferici mentre le onde di *Rayleigh* secondo fronti d'onda cilindrici.

Dal momento che le onde sismiche attraversano volumi di terreno sempre maggiori, il loro contenuto energetico diminuisce con la distanza dalla sorgente e con esso anche l'ampiezza dello spostamento indotto nel mezzo (smorzamento geometrico). In particolare, l'energia erogata dalla sorgente (carico verticale dinamico o ciclico) si ripartisce nel 67% in onde di *Rayleigh*, nel 26% in onde *S* e nel 7% in onde *P*.

Le onde di volume *P* e *S* si attenuano all'interno del mezzo in cui si propagano con legge $1/r$ e sulla superficie con legge $1/r^2$; le onde di *Rayleigh* si attenuano invece con legge $1/\sqrt{r}$, per cui allontanandosi dalla sorgente queste ultime diventano predominanti su quelle di volume.

Le onde *P* hanno velocità maggiore delle onde *S*, per questo raggiungono per prime la superficie libera e si trasmettono anche nei fluidi (V_P nell'acqua ≈ 1500 m/s), le onde *S* al pari delle onde di *Rayleigh* e di *Love* non si propagano nei fluidi in quanto i fluidi non hanno resistenza al taglio (modulo di taglio $G = 0$) e quindi sollecitano unicamente le particelle dello scheletro solido del mezzo (terreno) che attraversano.

La velocità delle onde sismiche dipende dalle proprietà fisiche ed elastiche (rigidezza) del mezzo in cui si propagano, in particolare del coefficiente di Poisson ν . Il rapporto V_P/V_S dipende esclusivamente da questo coefficiente e varia tra $\sqrt{2}$ e infinito per ν variabile da 0 a 0.5.

La velocità delle onde di *Rayleigh* (V_R) è minore di quella delle onde *P* (V_P) e seppur di poco anche di quella delle onde *S* (V_S), essendo circa il 90% della V_S .

Per differenti valori del coefficiente di Poisson ν si ha :

$\nu = 0.25$	$V_R = 0.919 V_S$
$\nu = 0.33$	$V_R = 0.933 V_S$
$\nu = 0.40$	$V_R = 0.943 V_S$
$\nu = 0.50$	$V_R = 0.955 V_S$

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente :	
Revisione	/			Sig. Mastandrea Stefano	

Il moto risultante delle particelle del mezzo al passaggio delle onde di *Rayleigh* avviene sul piano verticale ed è di tipo ellittico retrogrado parallelo alla direzione di propagazione e s'inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$ (figura n.13). La componente verticale ha segno costante mentre quella orizzontale cambia segno con la profondità. L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale e decade rapidamente con la profondità; infatti, a profondità di circa 1.5λ è pari a circa il 10% di quella in superficie.

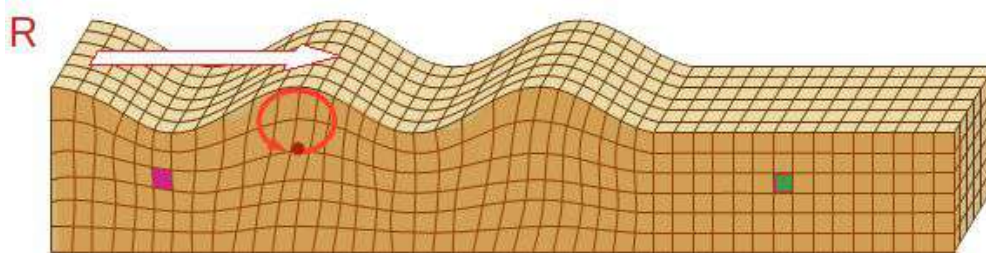


Figura n.13 : Propagazione delle onde di Rayleigh (onde di superficie) in un mezzo (terreno).

Caratteristica particolare delle onde di *Rayleigh* è che quando attraversano un semispazio omogeneo non subiscono il fenomeno della *dispersione*, ossia la loro velocità non varia in funzione della frequenza, per cui non si verifica la deformazione del treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza, che invece si manifesta quando il terreno è stratificato.

8.1.2 - PROCEDURA DELL'INDAGINE MASW

In sintesi l'indagine MASW consiste :

- nell'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- nella determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- nell'identificazione della curva di dispersione, quindi nella determinazione dei punti che sullo spettro di velocità appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di *Rayleigh*;
- nell'inversione della curva di dispersione al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs (velocità delle onde sismiche di taglio).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

8.1.3 - METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA PER L'INDAGINE MASW

Per questa prospezione è stata impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO "ECHO" 24/2012 Seismic Unit*, a 24 bit, 24+1 canali, software di acquisizione dati *"ECHO"*, n.2 cavi sismici a 12 *takes out* a spaziatura 5.0 m con connettori cannon, geofoni verticali da 4.5 Hz, mazza di battuta con interruttore trigger e piastra di battuta per energizzazione verticale, cavo trigger

Lo stendimento geofonico, data la morfologia pianeggiante del sito d'indagine, è caratterizzato da un profilo orizzontale.

Sono state effettuate varie rilevazioni con *offset* (distanza dal primo geofono della linea geofonica) variabile da 3.0 a 8.0 m, passo intergeofonico di 2.0 e 4.0 m (12 o 24 geofoni) e l'acquisizione è avvenuta in onde di *Rayleigh* con tempi di acquisizione di 1.000,00 ms.

I dati acquisiti sono stati interpretati con il software *winMASW 2018 Academic* che consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde sismiche di taglio Vs, tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Il programma è in grado di effettuare l'analisi delle curve di dispersione sia in onde di *Love*, sia in onde di *Rayleigh* e sia congiuntamente.

Ai fini interpretativi sono stati inizialmente confrontati gli spettri di dispersione ottenuti con i diversi shots (colpi di energizzazione), quindi l'elaborazione è stata effettuata per *modello diretto* relativamente a *offset* minimo di 6.0 m con configurazione a 24 geofoni.

Successivamente è stata svolta anche una seconda interpretazione attraverso la procedura per *picking* e *inversione* adottando come modello di partenza quello ottenuto con la procedura precedente, per verificare la corrispondenza dei risultati ottenuti con entrambe le metodologie di interpretazione.

Per ulteriori dettagli sul metodo, elaborazione e interpretazione dei dati, sull'attrezzatura impiegata e sulle modalità esecutive si rimanda al Rapporto sull'Indagine Sismica MASW in Appendice.

8.2 - ASSETTO SISMO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Le due procedure di interpretazione/elaborazione dell'indagine MASW, per *modello diretto* e per *picking ed inversione*, hanno restituito modelli sismo-stratigrafici coerenti tra loro e praticamente sovrapponibili in termini di numero e spessori dei sismo-strati e di valori della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S (Vs), come schematizzati nelle due Tabelle sottostanti.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DA ELABORAZIONE PER MODELLO DIRETTO					
N° Sismo-strati	1	2	3	4	5
Spessore (m)	0.9	3.5	4.0	7.0	
V _{sv} (m/s) da onde di <i>Rayleigh</i>	100	180	200	170	210

MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DA ELABORAZIONE PER PICKING E INVERSIONE					
N° Sismo-strati	1	2	3	4	5
Spessore (m)	1.0	3.6	4.1	7.3	
V _{sv} (m/s) da onde di <i>Rayleigh</i>	85	180	200	168	210

Con riferimento a questi due modelli è stata calcolata la V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio S) ai fini della determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione secondo i disposti del D.M. 17/01/2018, parametro necessario per la definizione dell'azione sismica di progetto, utilizzando la seguente espressione indicata nel D.M. stesso :

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

dove :

h_i = spessore in metri dello strato i-esimo;

$V_{S,i}$ = velocità dell'onda di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati di terreno;

H = profondità del sub-strato sismico ($V_s > 800$ m/s)

Nella fattispecie, poichè nel sottosuolo locale il substrato sismico, inteso come formazione costituita da roccia o terreno molto rigido con V_s non inferiore a 800 m/s, è posto ad una profondità maggiore di 30 m dal piano di campagna, situazione nota ed evidenziata anche dai due suddetti modelli sismo-stratigrafici e confermata anche nello Studio Comunale di Microzonazione Sismica che colloca il bedrock sismico a profondità delle centinaia di metri, la categoria di sottosuolo di fondazione è stata determinata con riferimento al valore della Vs₃₀ (velocità media equivalente delle onde sismiche di taglio S nei primi trenta metri di profondità) anzichè tramite il parametro V_{seq}, come specificato nel D.M. 17/01/2018 per assetti sismo-stratigrafici per i quali lo spessore della copertura del bedrock sismico è maggiore - molto maggiore di 30 m.

La Vs₃₀ è stata quindi ottenuta ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando i valori delle Vs dei singoli sismo-strati della copertura fino a tale profondità ed è stata calcolata, con entrambi i modelli, a partire dal piano di campagna locale e dalla profondità di -1.00 m dal p.c..

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Nella Tabella seguente sono riportati i valori della Vs30 ottenuti alle varie profondità di calcolo e le corrispondenti categorie di sottosuolo di fondazione del D.M. 17/01/2018.

Profondità (m dal p.c.)	Modello diretto	Picking e inversione	Categoria di sottosuolo di fondazione
	Vs30 (m/s)	Vs30 (m/s)	
0.00 (p.c.)	188	185	C (con entrambi i modelli)
-1.00	194	193	C (con entrambi i modelli)

I valori della Vs30 sono ascrivibili alla categoria C di sottosuolo di fondazione, essendo compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Categoria C di sottosuolo di fondazione : "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente Vseq, in questo caso Vs30, tra 180 m/s e 360 m/s (Tab.3.2.II – D.M. 17/01/2018)".

In fase di progetto esecutivo la categoria di sottosuolo di fondazione dovrà essere valutata con riferimento alla effettiva profondità d'impasto della fondazione attualmente non nota, ricalcolando la Vs30 (Vseq) a partire da tale profondità.

8.3 - INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR A STAZIONE SINGOLA

Lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Pisa è supportato da numerose indagini di sismica passiva HVSR a stazione singola distribuite un po' ovunque nel territorio comunale. Tra queste quella contraddistinta con la sigla *HVSR4* è ubicata in via Arnino a nord-est del comparto in oggetto ad una distanza in linea d'aria di circa 350-400 m (coordinate dell'indagine HVSR4 : Lat. 43°39'38.79" N – Long.10°17'3.40" E).

Questa indagine, data la sua vicinanza al sito d'intervento ed essendo stata eseguita nel medesimo contesto geologico, geomorfologico e lito-stratigrafico del comparto stesso può essere presa, con un buon margine di attendibilità, come riferimento per le valutazioni al riguardo (vedi ubicazione nell'estratto della Carta delle Frequenze in Tavola n.2 allegata).

8.3.1 - GENERALITA' SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR

L'indagine HVSR è una indagine di superficie che viene eseguita con uno specifico strumento digitale chiamato *tromografo* e consiste nella registrazione del cosiddetto *rumore sismico ambientale* o *microtremore ambientale* che è presente ovunque sulla superficie terrestre ed è generato dai fenomeni naturali (moti ondosi oceanici, vento, ecc..) e dall'attività antropica (traffico veicolare, industrie, ecc..).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

MODI DI VIBRARE (RISONANZE) DEI SUOLI

Un'onda sismica Sh (onda di taglio S polarizzata sul piano orizzontale) che incide verticalmente dal basso sull'interfaccia di un singolo strato (es. bedrock - copertura) tenderà a rimanere intrappolata in superficie per riflessioni multiple (alla superficie libera, al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4 H$, ossia alle frequenze descritte dalla legge :

$$f = n (V_s / 4H)$$

dove :

n = ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore, ecc.); f = frequenza di risonanza;

Vs = velocità delle onde di taglio S nello strato/copertura;

H = spessore della copertura/profondità del tetto del bedrock sismico;

NOTA : il numero 4 nella suddetta formula deriva dal fatto che un'onda che entra nel bedrock, si riflette alla superficie e torna al bedrock, dove all'interfaccia con esso subisce una nuova riflessione con sfasamento di 180° rispetto all'onda incidente. Pertanto, affinché l'onda torni in fase occorre una ulteriore riflessione alla superficie libera e quindi un percorso 2H aggiuntivo.

Nella maggior parte dei casi nei sistemi costituiti da coperture tenere poggianti su bedrock rigido a causa dell'attenuazione delle coperture stesse il solo modo di vibrare è quello fondamentale (Mucciarelli M., 2012), per cui la suddetta relazione diventa :

$$f = V_s / (4H)$$

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (frequenze di risonanza) non solo quando è sollecitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche in assenza di eventi sismici ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola HVSr.

Per approfondimenti di rimanda a Lachet e Bard, 1993; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; SESAME, 2004 ecc..

Negli anni sono state sviluppate diverse metodologie di studio dei microtremori ambientali ma quella che ha avuto il maggior riconoscimento dalla comunità scientifica, e pertanto è la più usata ed affidabile, è quella che impiega i rapporti spettrali H/V consistente nella misura dei rapporti degli spettri nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al., 1979 e poi ripreso e pubblicato nel 1989 da Nakamura.

Il metodo H/V o HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) consente l'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica del terreno e delle relative frequenze basandosi sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali H e della componente verticale V del rumore sismico ambientale.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio al passaggio fra litologie caratterizzate da velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono alle frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità "non lineare" fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica.

La frequenza di risonanza $f(0)$ fornisce quindi indicazioni sul rapporto fra la velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio S (V_s) nella copertura del bedrock sismico e la profondità del tetto di quest'ultimo secondo la seguente relazione :

$$f(0) = V_s / (4H)$$

con :

$f(0)$ = frequenza di risonanza;

V_s = velocità delle onde di taglio S nello strato/copertura;

H = spessore della copertura/profondità del tetto del bedrock sismico.

La Tabella/Abaco seguente (Albarello D. & Castellaro S., 2011 – *Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Suppl. rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII, n.2 – 2011*) riporta la correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore approssimativo delle copertura.

Abaco per la stima approssimativa dello spessore (h) del deposito di copertura del bedrock sismico a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V		
f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100 m	Centinaia di metri
1 - 2	50 - 100	Decine di metri
2 - 3	30 - 50	
3 - 5	20 - 30	
5 - 8	10 - 20	
8 - 20	5 - 10	Qualche / pochi metri
> 20	< 5	

Sulla base di questo Abaco è quindi possibile ricavare una stima della profondità dello strato risonante e/o dello spessore della copertura.

Una stima più accurata è possibile ottenerla con la formula sopra riportata : $f(0) = V_s / (4H)$, che mette in relazione la frequenza di risonanza con la velocità di propagazione delle onde S (V_s) e lo spessore della copertura.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

8.4 - ESITI DELL' INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR4 DI RIFERIMENTO PER L'AREA IN OGGETTO

L'elaborazione dell'indagine *HVSR4* ha restituito uno spettro H/V-F che evidenzia un primo picco significativo alle basse frequenze con rapporto H/V di ampiezza pari a 3.2 in corrispondenza della frequenza di 0.20 ± 0.04 Hz ed un secondo picco H/V con ampiezza minore, prossima a 1.3, alla frequenza di 0.86 Hz (figura n.14 seguente).

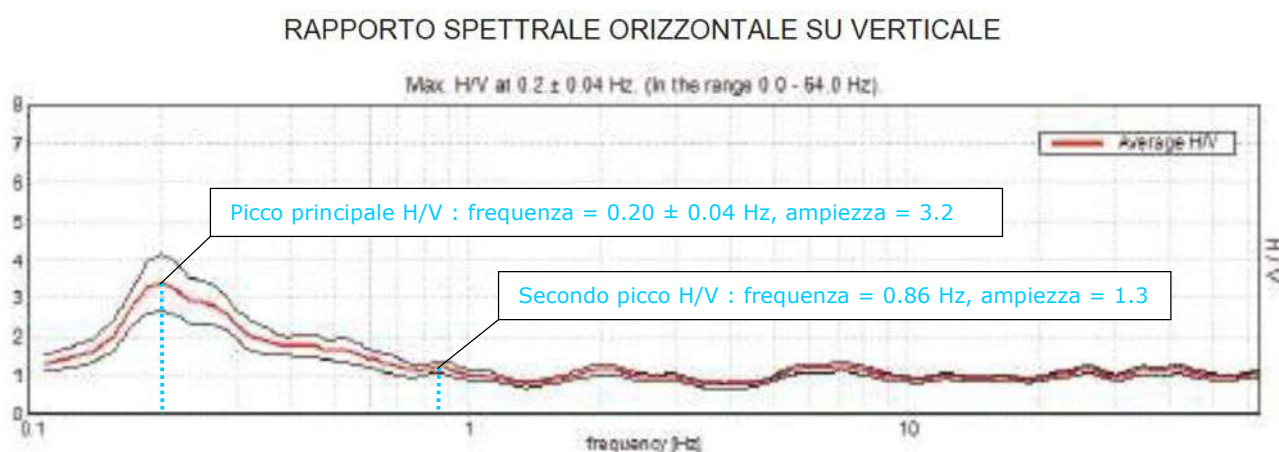


Figura n.14 : Spettro H/V-F ottenuto con l'indagine HVSR4 (vedi Scheda HVSR4 in Appendice).

Con riferimento alla precedente Tabella di *Albarelli et al, 2011* i due picchi H/V alle frequenze $f(0)$ di 0.20 ± 0.04 Hz e di 0.86 Hz sono tali da far presupporre che corrispondano a contrasti di velocità delle onde sismiche di taglio S (V_s) che si collocano a profondità elevate, presumibilmente dell'ordine delle centinaia di metri, quindi correlabili ad uno spessore della copertura o della profondità del tetto del substrato sismico (bedrock) di tale ordine di grandezza, come evidenzia anche la stratigrafia tipo della *Zona 6* della Carta delle MOPS in cui rientra il Comparto n.1 e l'intera area della Scheda Norma 38.3 e più in generale la zona litoranea comunale.

Pertanto, per l'area in oggetto nell'ambito delle centinaia di metri di profondità si possono escludere passaggi stratigrafici caratterizzati da importanti contrasti della V_s e di conseguenza sono da ritenersi improbabili severi fenomeni di amplificazione del moto sismico in questo spessore di sottosuolo.

Nell'Appendice della presente è riportato il Rapporto su questa indagine (fonte : Studio di Microzonazione Sismica Comunale di Livello 1).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

9 - LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale, recepito dal Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, sono state condotte delle verifiche della suscettibilità di liquefazione dei terreni sabbiosi con falda mediante il calcolo del fattore di sicurezza FS_{liq} nei confronti del fenomeno e del potenziale di liquefazione LPI, riguardanti anche alcuni siti della fascia costiera ubicati nelle frazioni di Marina di Pisa, Tirrenia e Calambrone.

Anche se da queste verifiche è risultato un Rischio Molto Basso nei confronti della liquefazione, in tale Studio è comunque specificato che : *in sede di piani attuativi e interventi diretti il fenomeno debba essere comunque oggetto di specifiche valutazioni al fine di escludere con sufficiente margine di sicurezza la suscettibilità di liquefazione dei terreni.*

Pertanto, si è proceduto ad una verifica della suscettibilità di liquefazione dei litotipi sabbiosi al disotto della falda presenti nel sottosuolo locale, basata sui dati delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite in situ e sull'assetto lito-stratigrafico ricostruito tramite i loro esiti, considerando come valore dell'accelerazione massima A_{max} quello relativo allo Stato Limite SLV per la Classe d'Uso 2 riferita al nuovo edificio ad uso ristorante (intervento principale) che è pari a $1,564 \text{ m/sec}^2$ ovvero a circa $0,1594 \text{ g}$ (con $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$).

9.1 - GENERALITA' SUL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Brevemente, la liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi sciolti e saturi di acqua e si manifesta per effetto di un rapido e significativo incremento della pressione dell'acqua interstiziale "u" ($\sigma_v' = \sigma_v - u = 0$) che può essere provocato da sollecitazioni cicliche e dinamiche causate da un evento sismico, solitamente di magnitudo $M > 5$, che agiscono in condizioni non drenate.

In queste situazioni la rigidezza e la resistenza al taglio dei depositi granulari si riducono drasticamente fino ad assumere valori nulli o estremamente modesti, provocando un cambiamento di stato di aggregazione del materiale/terreno che da solido viene trasformato in un fluido viscoso pesante dove le singole particelle possono muoversi liberamente l'una rispetto alle altre, determinando quindi l'instabilità dei terreni con effetti sulle soprastanti opere edilizie e d'ingegneria in genere che possono danneggiarsi per perdita di capacità portante del terreno di fondazione e per cedimenti di entità tale da non essere tollerabili dalle strutture, fino a comportare nei casi più eclatanti il collasso o il ribaltamento delle stesse.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

9.2 - VERIFICA NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

9.2.1 - METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

La verifica della suscettibilità di liquefazione è stata condotta secondo il metodo classico NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research, Robertson & Wride 1997, 1998*), ampiamente noto in letteratura geotecnica-sismica e di largo impiego in questa disciplina, basato sui valori delle resistenze di punta Q_c e di attrito laterale F_s della prova penetrometrica statica CPT con punta meccanica normalizzate alle pressioni di riferimento (litostatica verticale totale σ_{vo} , litostatica verticale efficace σ'_{vo} e atmosferica P_a) e sull'Indice di Comportamento del tipo di suolo "Ic" derivabile dai suddetti parametri (*Robertson & Wride 1997, 1998*).

Al riguardo, gli autori hanno realizzato una specifica Carta di Classificazione delle litologie (tipi di suolo) da prova CPT riportata nella figura n.15, nella quale identificano 7 gruppi principali di suolo in relazione ai valori dell'indice I_c contraddistinti dai numeri da 2 a 7 con i relativi campi di appartenenza secondo le definizioni nella Tabella in pagina seguente.

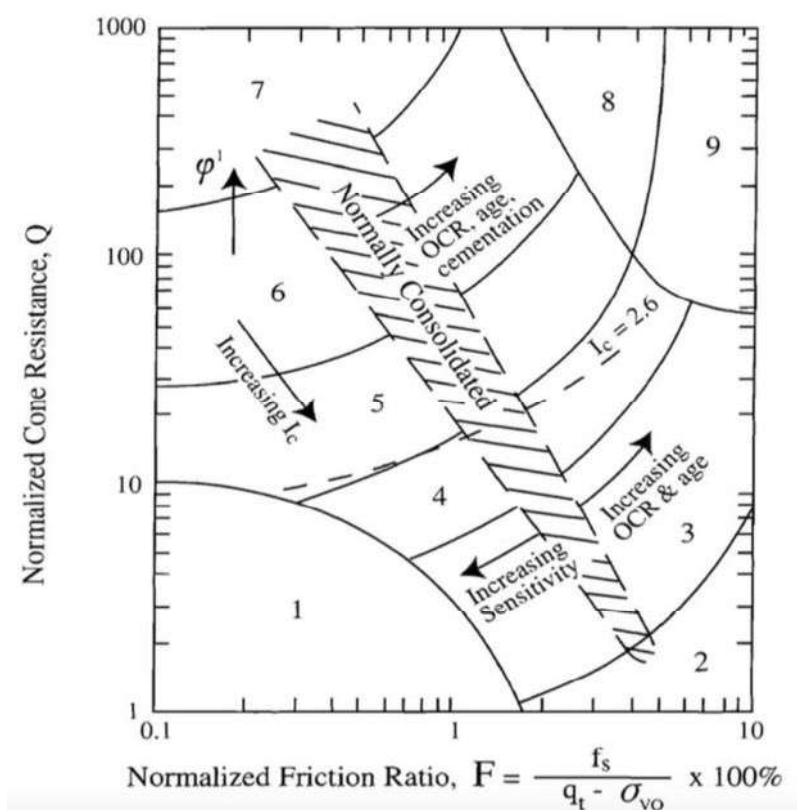


Figura n.15 : Carta di Classificazione dei suoli di Robertson & Wride (1998).
Sulle ordinate la resistenza alla punta normalizzata (Q) sulle ascisse il rapporto di frizione normalizzato (F o Fr). Q e F sono parametri adimensionali.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Campi	Tipo di suolo	Indice Ic
2	Terreni organici (torbe) - Argille organiche	IC > 3,60
3	Argille (da argilla limosa a argilla)	2,95 < IC < 3,60
4	Miscela di limo (da limo argilloso a argilla limosa)	2,60 < IC < 2,95
5	Miscela di sabbia (da sabbia limosa a limo sabbioso)	2,05 < IC < 2,60
6	Sabbie (da pulite a limose)	1,31 < IC < 2,05
7	Sabbia ghiaiosa e sabbia addensata	IC < 1,31

Secondo Robertson & Wride (1997, 1998) i suoli con $I_c > 2.6$ (campi 2, 3 e 4) sono da considerarsi non liquefacibili e pertanto devono essere esclusi dalla verifica di liquefazione.

Questo valore limite di I_c , tracciato con la linea semicircolare tratteggiata $I_c = 2.6$ nella Carta di Classificazione dei Suoli in figura n.15, separa i terreni prevalentemente sabbiosi potenzialmente suscettibili di liquefazione, posti nei campi al di sopra di tale linea, da quelli a dominanza argillosa non suscettibili a liquefare nei campi al di sotto di essa.

Il metodo di *Robertson & Wride, 1997* è un metodo deterministico basato su un approccio dinamico semplificato che ha lo scopo finale di restituire il valore numerico del fattore sicurezza nei confronti della liquefazione $FS_{Liq.}$ al variare della profondità attraverso una specifica procedura di calcolo.

La resistenza alla liquefazione di un deposito sabbioso saturo in acqua è quindi valutata mediante un fattore di resistenza alla liquefazione $FS_{Liq.}$ definito dal rapporto tra la sollecitazione di taglio che provoca liquefazione e quella indotta dal terremoto :

$$FS_{Liq.} = CRR / CSR$$

dove :

- CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) = resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico ad una data profondità, ovvero la resistenza alla liquefazione del terreno, normalizzata rispetto alla pressione di confinamento σ'_{v0} ;
- CSR (*Cyclic Stress Ratio*) = sollecitazione massima di taglio indotta dal sisma alla stessa profondità, ovvero la domanda sismica, normalizzata rispetto alla pressione di confinamento σ'_{v0} .

Con questo metodo il terreno è da considerarsi non liquefacibile se $FS_{Liq.} > 1$, se invece ad una data profondità risulta $FS_{Liq.} < 1$ il terreno è allora da considerarsi liquefacibile.

La normativa italiana sulle costruzioni (D.M. 17/01/2018) ritiene opportuno considerare il valore di $FS_{Liq.} > 1,25$ per reputare non liquefacibile il terreno.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Il rapporto CSR, come proposto da *Seed & Idriss (1971)*, è definito come la sollecitazione ciclica di taglio media (τ_{av}) o equivalente (τ_{eq}) che si sviluppa sulla superficie orizzontale degli strati di terreno dovuta alla propagazione delle onde taglio S in conseguenza di un evento sismico, normalizzata alla pressione verticale effettiva/efficace iniziale (σ'_{v0}) per tenere conto dell'aumento della resistenza al taglio dei terreni dovuto all'incremento della pressione effettiva.

Seed & Idriss, ponderando opportunamente i singoli cicli di sforzo sulla base di prove di laboratorio, hanno riscontrato che un'ampiezza ragionevole da utilizzare per la valutazione della sollecitazione media (τ_{av}) è pari a circa il 65% della sollecitazione di taglio massima.

In pratica, la sequenza di sforzi di taglio indotti dal sisma è schematizzata come una storia regolare di sollecitazioni pari al 65% del valore massimo della sollecitazione; in questa ipotesi il rapporto di sforzo ciclico CSR alle varie profondità, normalizzato alla pressione litostatica verticale efficace (σ'_{v0}) alle stesse profondità, è espresso dalla seguente relazione (*Seed & Idriss, 1971*) :

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{v0}) = (\tau_{eq} / \sigma'_{v0}) = 0,65 \times (a_{max} / g) \times (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) \times r_d$$

con :

a_{max} = accelerazione massima orizzontale attesa in superficie su sito pianeggiante in condizioni "free field" (campo libero in m/sec²);

g = accelerazione di gravità = 9,81 m/sec²,

σ_{v0} = pressione litostatica verticale totale alla profondità di calcolo,

σ'_{v0} = pressione litostatica verticale efficace alla profondità di calcolo,

r_d = coefficiente di riduzione degli sforzi/tensioni con la profondità (fattore di profondità):

$$\begin{aligned} &= 1 - 0,00765 z && \text{per } z \leq 9,15 \text{ m} && (\text{Seed \& Idriss, 1971, NCEER, 1997}), \\ &= 1,174 - 0,0267 z && \text{per } 9,15 \leq z < 23 \text{ m} && (\text{Seed \& Idriss, 1971}), \\ &= 0,774 - 0,008 z && \text{per } 23 \leq z \leq 30 \text{ m} && (\text{Seed \& Idriss, 1971}), \\ &= 0,5 && \text{per } z > 30 \text{ m} && (\text{Seed \& Idriss, 1971}), \end{aligned}$$

con z : profondità in metri dal piano di campagna.

La resistenza alla liquefazione del terreno CRR_{7.5} per un terremoto di magnitudo $M = 7.5$ viene stimata da *Robertson & Wride (1997)* con le seguenti espressioni :

$$1) CRR_{7.5} = 0,883 \times [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0,05 \quad \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$2) CRR_{7.5} = 93 \times [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^3 + 0,08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$$

dove : $(q_{c1N})_{cs}$ = resistenza alla punta q_c del penetrometro statico normalizzata alla pressione di confinamento e corretta in relazione al contenuto di frazione fine (FC) nello strato di terreno oggetto della verifica.

Sempre secondo gli autori : *i terreni per i quali $(q_{c1N})_{cs} \geq 160$ sono considerati non liquefacibili.*

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Poiché il valore di $CRR_{7,5}$ ottenuto con la suddetta formula si riferisce a terremoti di magnitudo $M = 7.5$, per magnitudo diverse da 7.5 questo valore deve essere corretto in relazione alla magnitudo del terremoto di scenario per il sito oggetto della verifica tramite il fattore MSF (Magnitude Scaling Factor – Fattore di Scala della Magnitudo). In letteratura sismica-geotecnica sono riportate diverse relazioni proposte da vari autori per determinare questo fattore, il metodo di *Robertson & Wride (1997)* considera quella proposta da *Idriss, NCEER – National Center of Earthquake Engineering Research* :

$$MSF = 10^{2,24} / Mw^{2,56}$$

con Mw = magnitudo momento di riferimento per il sito.

Il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FS_{Liq} risulta quindi definito dalla seguente espressione :

$$FS_{Liq} = (CRR_{7.5} * MSF) / CSR$$

9.2.2 - PROCEDURA PER LA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

La verifica della suscettibilità di liquefazione è stata svolta con riferimento al modello geologico-geotecnico del sottosuolo locale ricostruito con gli esiti delle due prove penetrometriche statiche CPT eseguite in situ.

Nella fattispecie la verifica è stata svolta con riferimento alla verticale della prova CPT1 lungo la quale i valori della resistenza di punta Q_c sono risultati a tratti leggermente più bassi, quindi più cautelativi, di quelli registrati lungo l'altra verticale CPT2.

I parametri sismici considerati, come già citati in precedenza, sono i seguenti :

- accelerazione massima A_{max} pari a $1,564 \text{ m/sec}^2$ ovvero $0,1594 \text{ g}$ (con $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$), relativa allo Stato Limite SLV riferito alla Classe d'Uso 2 , Coefficiente d'Uso 1, $T_r = 475$ anni (vedi Tabelle seguente, fonte : software in line Parametri Sismici – Geostru.com);
- magnitudo momento Mw massima di riferimento per il sito pari 5.68 (cautelativa) e 6.14 (molto cautelativa), valori indicati nella Zonazione Sismogenetica ZS9 del territorio nazionale (I.N.G.V.) per la Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti in cui ricade l'area in oggetto. La verifica è stata eseguita con entrambi i valori di Mw .

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)

 1  0.1

 Cat. Sottosuolo C

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,75	1,67	1,61	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.013	0.038	0.050
kv	0.005	0.006	0.019	0.025
Amax [m/s²]	0.509	0.618	1.564	2.055
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tabella riassuntiva dei coefficienti sismici relativi alla Classe d'Uso 2, Tr = 475 anni.
(fonte : Software on line Parametri Sismici disponibile sul sito internet Geostru.com.)

Per ogni 20 cm di terreno, come secondo la procedura della prova CPT, la resistenza di punta normalizzata e corretta per il contenuto di frazione fine $(q_{c1N})_{cs}$, necessaria per la determinazione del parametro CRR7.5, si calcola per passi successivi :

- 1) Primo step - Si calcola l'Indice di Comportamento del tipo di suolo I_c con la seguente relazione :

$$I_c \text{ (adim.)} = [(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} F + 1,22)^2]^{0,5}$$

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

con :

Q (adim.) = $[(q_c - \sigma'_{v_0}) / \sigma'_{v_0}] (Pa / \sigma'_{v_0})^n$ resistenza alla punta normalizzata,

Pa = pressione atmosferica = 101,395 kPa (1 atm),

n = esponente di sforzo che dipende dal tipo di suolo e varia secondo i seguenti valori :

$n = 1$ per suoli argillosi,

$n = 0,7$ per suoli limosi,

$n = 0,5$ per suoli sabbiosi.

F (adim.) : rapporto di frizione normalizzato = $[f_s / (q_c - \sigma'_{v_0})] \times 100$,

q_c (kPa) = resistenza alla punta conica misurata nel corso della prova CPT,

f_s (kPa) = resistenza di attrito laterale misurata al manicotto della punta conica nel corso della prova CPT,

σ'_{v_0} (kPa) = pressione litostatica verticale totale alla profondità di calcolo,

σ'_{v_0} (kPa) = pressione litostatica verticale efficace alla stessa profondità di calcolo di σ'_{v_0} .

Inizialmente si assume $n = 1$ (caratteristico dei suoli argillosi) come valore dell'esponente di sforzo "n" nella relazione per il calcolo di Q e si procede al calcolo di I_c con la suddetta relazione :

a) se risulta $I_c > 2.60$, il suolo è classificato argilloso e quindi l'analisi viene conclusa dato che esso non è suscettibile a liquefare;

b) se invece $I_c \leq 2.60$, vuol dire che l'ipotesi assunta ($n = 1$) è errata e che il suolo è probabilmente di natura granulare; quindi si ricalcola Q ponendo $n = 0.5$ (caratteristico dei terreni sabbiosi) e successivamente di nuovo I_c ;

c) se con $n = 0.5$ risulta ancora $I_c \leq 2.60$ significa che questa seconda ipotesi è corretta e che il suolo è probabilmente non plastico e di natura granulare; pertanto non è necessario procedere con ulteriori calcoli di I_c e si utilizzano questi valori di I_c per la verifica;

d) se con $n = 0.5$ si ha invece $I_c > 2.60$, vuol dire che anche questa seconda ipotesi è errata e che il suolo è probabilmente limoso; pertanto si ricalcola Q usando $n = 0.7$ (valore intermedio caratteristico dei terreni limosi) come valore del coefficiente di sforzo e successivamente I_c .

2) Secondo step - Determinato I_c con le modalità sopra descritte e quindi definito il tipo di suolo da verificare, il passo successivo prevede il calcolo della resistenza alla punta q_{c1N} corretta/normalizzata tramite il fattore C_q o C_N per tener conto della pressione litostatica efficace:

$$q_{c1N} \text{ (adim.)} = C_q (Q_c / Pa) = (Q_c / Pa) \times (Pa / \sigma'_{v_0})^n$$

dove :

C_q o $C_N = (Pa / \sigma'_{v_0})^n \leq 1,7$ (Liao e Withman, 1986),

Q_c (kPa) = resistenza di punta misurata dal penetrometro statico (CPT),

Pa : pressione atmosferica = 101,395 kPa,

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

σ'_{v_0} (kPa) = pressione litostatica verticale efficace alla profondità di calcolo.

$n = 0.5$, avendo avuto conferma che il suolo è di tipo granulare essendo I_c calcolato in precedenza con $n = 0.5$ minore di 2.60 ($I_c < 2.60$).

- 3) Terzo step – Si procede alla correzione della resistenza alla punta q_{c1N} per l'eventuale presenza di contenuto di frazione fine (FC), mediante il coefficiente K_c , che consente di determinare il parametro $(q_{c1N})_{cs}$ necessario per il successivo calcolo di $CRR_{7.5}$:

$$(q_{c1N})_{cs} \text{ (adim.)} = K_c q_{c1N}$$

dove secondo il Metodo Classico di *Robertson e Wride* :

$$K_c = 1 \quad \text{per } I_c \leq 1,64$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad \text{per } I_c > 1,64$$

- 4) Quarto e ultimo step – Con il valore di $(q_{c1N})_{cs}$ si calcola $CRR_{7.5}$ utilizzando una delle due seguenti espressioni già riportate in precedenza, a seconda che il valore di $(q_{c1N})_{cs}$ sia minore di 50 o compreso tra 50 e 160 :

$$a) CRR_{7.5} \text{ (adim.)} = 0,883 \times [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0,05 \quad \text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$b) CRR_{7.5} \text{ (adim.)} = 93 \times [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^3 + 0,08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$$

I terreni per i quali $(q_{c1N})_{cs} \geq 160$ sono da considerarsi non liquefacibili.

Infine, noti CSR , $CRR_{7.5}$ e MSF si calcola il Fattore di Sicurezza nei confronti della liquefazione FS_{Liq} con la relazione :

$$FS_{Liq} = (CRR_{7.5} * MSF) / CSR$$

Nella verifica è da considerarsi escluso lo spessore di sottosuolo al disopra della falda, quindi i primi 2.70 m circa di profondità, che fornisce esclusivamente i contributi alla pressione litostatica totale σ_{v_0} ed efficace σ'_{v_0} , per cui la verifica ha interessato il restante spessore del deposito sabbioso.

Il calcolo dei suddetti parametri e grandezze è stato svolto impostando un foglio di calcolo elettronico di excel con le rispettive formule previste da questo metodo seguendo passo per passo la procedura prevista dal metodo stesso.

Per verificare la validità dei risultati ottenuti con il foglio di calcolo sono stati ripetuti manualmente i calcoli di questi parametri per alcuni spessori di 20 cm di suolo a diverse profondità a campione utilizzando le fomule proposte dagli autori, le stesse inserite nel foglio elettronico di calcolo, ottenendo i medesimi risultati; le minime differenze, da ritenersi non significative, sono da attribuirsi all'approssimazione dei valori alla seconda cifra decimale mentre nel foglio di calcolo le cifre decimali sono più numerose.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

Nell'Appendice è riportata la Tabella riepilogativa dei risultati di questa verifica.

9.2.3 - ESITO DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

Rimandando alla Tabella nell'Appendice per i maggiori dettagli, dalla verifica è emerso quanto segue :

- nel deposito sabbioso saturo in acqua l'indice del tipo di suolo I_c alle varie profondità di calcolo, valutato per tratti consecutivi di 20 cm sia con $n = 1$ sia con $n = 0.5$ (n = esponente di sforzo), è risultato sempre minore di 2.60, confermando la natura granulare di questi sedimenti e di conseguenza la loro potenziale suscettibilità a liquefare, ad eccezione di due intercalazioni argilloso limose / limoso argillose di esiguo spessore (40 cm ca) tra le profondità di -10.60 m e 11.00 m e -14.20 e -14.60 m dal p.c., rispettivamente, per i quali I_c è risultato maggiore di 2.60 per cui non suscettibili di liquefare;
- in questo spessore di sabbie il fattore di sicurezza $FS_{Liq.}$ alle varie profondità di calcolo, sia con $M_w = 5.68$ che con $M_w = 6.14$, è risultato sempre maggiore di 1 e di 1.25, valori al di sopra dei quali i terreni sono da considerarsi non liquefacibili secondo *Robertson & Wride, 1997* e il *D.M. 17/01/2018*, rispettivamente, ad esclusione di un livelletto di 20 cm di spessore compreso tra le profondità di -11.00 e -11.20 m dal p.c. per il quale $FS_{Liq.}$ è 1.21 con $M_w = 5.68$ e 0.99 con $M_w = 6.14$, quindi potenzialmente suscettibile di liquefazione con entrambi i valori di M_w secondo le *NTC 2018* e potenzialmente liquefacibile solo nel caso di $M_w = 6.14$ secondo *Robertson & Wride*. Tale livelletto può essere considerato influente sulla stabilità del sito per l'esiguo spessore e la profondità a cui si colloca e per il fatto che è sovrastato da uno spessore di 11.00 m di terreni non suscettibili di liquefare.

L'esito di questa verifica è coerente con i risultati di quelle svolte nello Studio di Microzonazione Sismica Comunale di Livello 1 che hanno evidenziato un Rischio Molto Basso nei confronti del fenomeno in termini di fattore di sicurezza $FS_{Liq.}$ e di Indice del Potenziale di Liquefazione LPI, sebbene in tali verifiche la Magnitudo di riferimento è stata definita attraverso le Mappe interattive della pericolosità sismica dell'I.N.G.V. che ha fornito valori minori di 5.68 e 6.14 della Zonazione Sismogenetica ZS9 anch'essa redatta dell'I.N.G.V..

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

10 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA LOCALE AI SENSI DEL D.P.G.R. N.5/R/2020 LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO ESCLUSA L'AREA IL TORRINO

Sulla base del Quadro Conoscitivo degli aspetti geologici, idraulici e sismici dei vari e successivi studi geologico-tecnici di supporto alla pianificazione urbanistica comunale, con riferimento al P.G.R.A dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale e alla L.R. n.4.1/2018, tenuto conto delle analisi dei dati geologici, geomorfologici, stratigrafici, geotecnici, idraulici e sismici disponibili per l'area ed in considerazione degli esiti delle indagini geognostiche e sismiche in situ e delle verifiche svolte, si è pervenuti alla determinazione delle Classi di Pericolosità Geologica, Idraulica e Sismica Locale da attribuire al Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 – Marina di Pisa oggetto del presente Piano Attuativo, in ottemperanza ai disposti delle "Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche" contenute nell'Allegato A del D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020.

Nella Tavola n.4 allegata sono riportate le Carte di Pericolosità separatamente per ciascuno di questi aspetti con la sintesi dei relativi criteri di fattibilità limitatamente all'area in questione, con esclusione della zona *il Torrino* di altra proprietà e non oggetto di questo Piano Attuativo.

10.1 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA

- Considerato che gran parte della superficie del Comparto n.1 presenta una morfologia pianeggiante e che il comparto stesso si colloca in un'area caratterizzata per ampi tratti da una morfologia pianeggiante per la quale sono quindi da escludere fenomeni di instabilità gravitativa a livello di area complessiva,
- dato che nel comparto non sono stati rilevati evidenti segni imputabili a fenomeni erosivi in atto o potenziali dovuti all'azione delle acque meteoriche e correnti superficiali e alla dinamica costiera e che la parte di superficie minore del comparto con destinazione a verde è impostata su un corpo dunale stabilizzato e consolidato per effetto della vegetazione sopra impiantatasi per il quale sono da ritenersi improbabili evoluzioni verso situazioni di instabilità,
- riscontrato che gli esiti delle indagini geognostiche in situ hanno restituito un assetto lito-stratigrafico del sottosuolo locale fino alla profondità di -15.00 m dal p.c. locale (massima profondità d'indagine) dominato da litotipi di natura granulare (sabbie e sabbie limose) in giacitura naturale, con strati di spessore costante in continuità laterale caratterizzati da un discreto e buono stato di addensamento, mostrando quindi una omogeneità litologica del sottosuolo e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni che nel complesso sono medie e buone,

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

- tenuto conto che le risultanze di tali indagini geognostiche hanno confermato il quadro geologico conoscitivo dell'area come desumibile dai vari e successivi studi geologico-tecnici di supporto alla pianificazione urbanistica comunale e dai numerosi dati stratigrafici disponibili nei dintorni ed in vicinanza all'area in oggetto, relativi anche a studi pregressi condotti dallo scrivente in questa parta di Marina di Pisa e nel resto della frazione comunale stessa,

➤ al Comparto n.1 è stata attribuita la Classe G1 di Pericolosità Geologica corrispondente ad una Pericolosità Bassa, riferita alle "aere in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giacaturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi".

Si conferma, pertanto, la Classe G1 assegnata a questo comparto e all'intera area della Scheda Norma 38.3 dalla Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla Variante Urbanistica Comunale dell'anno 2009 sebbene redatta ai sensi dell'abrogato D.P.G.R. n.26/R/2007 e dalla Carta di Pericolosità Geologica di supporto al Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato da entrambi i comuni, redatta ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 oggi sostituito dal D.P.G.R. n.5/R/2020.

Sotto l'aspetto della pericolosità geologica si può quindi sostenere che anche secondo il D.P.G.R. n.5/R/2020 per il Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 non sono intervenute modifiche rispetto al Quadro Conoscitivo di riferimento; tra l'altro, le Direttive del D.P.G.R. n.26/R/2007 avevano un impianto paragonabile a quelle del D.P.G.R. n.5/R/2020 e a quelle del D.P.G.R. n.53/R/2011 cronologicamente compreso tra gli altri due Regolamenti Regionali.

10.2 - PERICOLOSITA' IDRAULICA O DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE

Il D.P.G.R. n.5/R/2020 specifica che la classe di pericolosità da alluvioni (idraulica) nel dominio fluviale e nel dominio costiero da attribuire ad una generica area del territorio regionale deve avere come riferimento di base le Mappe e le Disposizioni di Piano del P.G.R.A del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale e la L.R. n.41/2018 in materia di rischio idraulico.

Al riguardo, dalle Mappe del P.G.R.A relative al 1° Aggiornamento 2021-2027 – Secondo Ciclo di Gestione, adottato e con misura di salvaguardia immediatamente vigente fino alla sua approvazione definitiva, risulta che il Comparto n.1 non è interessato da alluvioni nel dominio costiero mentre è compreso in un'area classificata a Bassa Pericolosità da Alluvioni (Classe P1) corrispondente allo *scenario di eventi estremi* della Direttiva 2007/60/CE, ovvero di *alluvioni rare di estrema intensità - scenario di bassa probabilità di alluvioni* del D.Lgs. n.49/2010 - tempo di ritorno Tr fino a 500 anni).

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

In virtù dei disposti delle Direttive del D.P.G.R. n.5/R/2020 e del P.G.R.A. :

- al Comparto n.1 è stata assegnata la Classe P1 di Pericolosità da Alluvioni corrispondente ad una Pericolosità Bassa, comprendente : le aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.Lgs. n.49/2010.

Alla luce del D.P.G.R. n.5/R/2020 si può quindi ritenere che per il Comparto n.1 non sono intervenute modifiche della pericolosità da alluvioni fluviali e costiere rispetto al Quadro Conoscitivo di riferimento.

In caso di approvazione definitiva senza modifiche peggiorative degli Studi Idraulici del Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, l'area potrebbe essere declassificata dal P.G.R.A. passando da zona con Pericolosità Bassa da Alluvioni (Classe P1) a zona con Pericolosità da Alluvioni Assente, situazione già attribuita all'area dalla Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla Variante Urbanistica Comunale del 2009; in tale circostanza si avrebbe una variazione migliorativa della Pericolosità da Alluvioni nel Comparto n.1.

10.3 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

- Data la presenza nel sottosuolo del comparto in oggetto di un pacco di sabbie di spessore circa 15.00 m con tetto prossimo al piano di campagna, attraversato da entrambe le prove penetrometriche statiche CPT in situ,
- considerata la presenza della falda in questo deposito sabbioso con soggiacenza alla profondità di -2.70/-2.80 m dal p.c. (rilevata nei fori delle due prove CPT in data 23/10/2020)
- preso atto dell'assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo locale, ricostruito tramite il profilo verticale della Vs (velocità delle onde sismiche di taglio S) ottenuto con l'indagine sismica MASW in situ, che nel complesso non ha evidenziato importanti e grandi variazioni della Vs e dal quale risulta inoltre che non è stato intercettato il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s);
- tenuto conto dell'esito dell'indagine di sismica passiva HVSR4 di riferimento per l'area in questione (da Studio di Microzonazione Sismica Comunale di Livello 1), di cui si è detto in precedenza, dal quale risulta l'assenza di passaggi stratigrafici caratterizzati da importanti contrasti della Vs nell'ambito delle centinaia di metri di profondità, per cui sono da ritenersi improbabili severi fenomeni di amplificazione del moto sismico in questo spessore di sottosuolo,

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

- vista la Carta di Pericolosità Sismica Locale Comunale dell'Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale di gennaio 2020 redatta ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 e con quella della dell'adottato Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina anch'essa realizzata ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011,

➤ al Comparto n.1 è stata attribuita la Classe S3 di Pericolosità Sismica Locale corrispondente ad una Pericolosità Elevata, essendo l'area potenzialmente suscettibile di liquefazione in seguito a sollecitazioni dinamiche cicliche indotte da eventi sismici.

Si conferma, pertanto, la Classe S3 assegnata al Comparto n.1 e all'intera area della Scheda Norma 38.3 dalla Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla Variante Urbanistica Comunale dell'anno 2009 sebbene redatta ai sensi dell'abrogato D.P.G.R. n.26/R/2007 e dalla Carta di Pericolosità Sismica Locale di supporto Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato da entrambi i comuni, redatta ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 oggi sostituito dal D.P.G.R. n.5/R/2020.

Sotto l'aspetto della pericolosità sismica locale si può quindi ritenere che anche secondo il D.P.G.R. n.5/R/2020 per il Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 non sono intervenute modifiche rispetto al Quadro Conoscitivo di riferimento; tra l'altro, le Direttive del D.P.G.R. n.26/R/2007 avevano un impianto paragonabile a quelle del D.P.G.R. n.5/R/2020 e a quelle del D.P.G.R. n.53/R/2011 compreso cronologicamente tra gli altri due.

11 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI AI SENSI DEL D.P.G.R. N.5/R/2020

Il D.P.G.R. n.5/R/2020 non prevede le Classi di Fattibilità per gli interventi ipotizzabili a livello di pianificazione urbanistica territoriale ma definisce i criteri generali di fattibilità in relazione alle situazioni di pericolosità e rischio sotto gli aspetti geologici, idraulici e sismici che caratterizzano le aree interessate da previsioni di trasformazione urbanistica, specificando gli studi e le indagini da eseguire a livello attuativo ed edificatorio e le eventuali opere da realizzare per la riduzione e mitigazione del rischio derivante da ciascuna di queste situazioni di pericolosità.

Le condizioni di fattibilità sono definite attraverso i seguenti i criteri :

- Criteri generali di Fattibilità in relazione agli aspetti geologici;
- Criteri generali di Fattibilità in relazione al rischio di alluvioni fluviali;
- Criteri generali di Fattibilità in relazione al rischio di alluvioni costiere;

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

- Criteri generali di Fattibilità in relazione a problematiche connesse alla risorsa idrica;
- Criteri generali di Fattibilità in relazione agli aspetti sismici.

11.1 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI

Con riferimento alla Classe G1 di Pericolosità Geologica (Pericolosità Bassa) attribuita al comparto in oggetto non è necessario dettare condizioni di fattibilità/attuazione per la realizzazione degli interventi previsti dovute a limitazioni di carattere geologico-geomorfologico.

A questo proposito, le indagini geognostiche già eseguite nel Comparto n.1 (n.2 prove CPT), considerata anche l'uniformità litologico-stratigrafica del sottosuolo locale mostrata dagli esiti di tali indagini, sono da ritenersi commisurate all'entità degli interventi previsti e adatte per la definizione del modello geologico e del modello geotecnico di riferimento per il sottosuolo locale da considerare per la progettazione geotecnica esecutiva, in particolare della fondazione dell'edificio ad uso commerciale (ristorante) che rappresenta l'intervento principale e di maggior peso edilizio del Piano Attuativo.

Queste indagini, tra l'altro, sono da ritenersi adeguate alla Classe d'Indagine 2 in cui rientra l'edificio (volume totale minore di 1500 mc e altezza minore di 20 m) come definita nell'Allegato 1 del D.P.G.R. n.1/R/2022 e compatibili per le profondità raggiunte con il relativo volume geotecnico significativo di sottosuolo, per cui non si ravvede la necessità di eseguire altre indagini geognostiche.

Eventuali ulteriori indagini geognostiche-geotecniche in situ potranno comunque essere eseguite a supporto della progettazione definitiva-esecutiva qualora fosse necessario ampliare le conoscenze del sottosuolo delle zone interessate dai vari interventi o finalizzate ad accertamenti strettamente locali per necessità progettuali oppure per adeguatezza alla Classe d'Indagine di cui al D.P.G.R. n.1/R/2022 nel caso in cui fossero previste opere in Classe d'Indagine superiore alla 2 attualmente non previste nel Piano Attuativo.

Gli interventi che nell'ambito del Piano Attuativo richiedono per la loro realizzazione il Permesso di Costruire o di altro titolo abilitativo all'attività edilizia a livello comunale e/o il deposito al Genio Civile (Regione Toscana) del progetto esecutivo dovranno essere supportati da una specifica Relazione Geologica e da una Relazione Geotecnica redatte in osservanza ai disposti del D.M. 17/01/2018 e del D.P.G.R. n.1/R del 19/01/2022, che per la pratica comunale potranno anche essere accorpate in unica Relazione, alle quali dovranno essere allegati gli elaborati/certificati delle indagini geognostiche eseguite.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

11.2 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AL RISCHIO DI ALLUVIONI FLUVIALI

Con riferimento alla Classe P1 di Pericolosità da Alluvioni nel dominio fluviale (Pericolosità Bassa) assegnata al comparto in oggetto non sono da dettare condizioni di fattibilità/attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico ovvero nei confronti del rischio da alluvioni fluviali per la realizzazione degli interventi previsti nel Piano Attuativo.

Al riguardo anche la L.R. n.41/2018 non detta prescrizioni di fattibilità per gli interventi compresi nella Classe P1, che quindi sono realizzabili senza alcuna limitazione in relazione alla locale pericolosità da alluvioni fluviali.

La realizzazione degli interventi in progetto dovrà comunque garantire il mantenimento di un efficiente drenaggio delle acque meteoriche sull'intera area interessata dalla trasformazione.

11.3 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AL RISCHIO DI ALLUVIONI COSTIERE

Sotto l'aspetto della Pericolosità da Alluvioni nel dominio costiero non sono da dettare prescrizioni di fattibilità/attuazione in quanto l'area in questione non è interessata da condizioni di rischio da alluvioni costiere, come evidenzia la Mappa del P.G.R.A..

11.4 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI SISMICI

Con riferimento alla Classe di Pericolosità Sismica Elevata - S3 dovuta alla presenza nel sottosuolo locale di sabbie con falda ad una profondità abbastanza prossima alla superficie che rende l'area potenzialmente instabile per liquefazione dinamica di questi terreni, nel rispetto dei dettami dell'Allegato A del D.P.G.R. n. 5/R/2020 in questo studio è stata svolta la verifica della suscettibilità di liquefazione di tale deposito sabbioso saturo in acqua basata sulle prove penetrometriche statiche CPT eseguite in situ secondo il metodo di *Robertson & Wride, 1997, 1998*, che ha restituito per tutto lo spessore di questo deposito valori del Fattore di Sicurezza FS_{Liq.} che escludono il verificarsi del fenomeno.

Gli esiti di questa verifica sono risultati coerenti con quelli delle verifiche eseguite nello Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 dell'Aggiornamento allegato al Quadro Geologico Conoscitivo del Regolamento Urbanistico Comunale (gennaio 2020), recepito dal Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina, che hanno interessato vari siti compresi nel territorio urbanizzato comunale alcuni dei quali ubicati nelle frazioni litoranee di Marina di Pisa, Tirrenia e Calabrone ed anch'esse condotte con la metodologia di *Robertson & Wride, 1997, 1998* basata su prove CPT, per i quali è risultato un Rischio Molto Basso nei confronti del fenomeno.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

Potendo quindi escludere o comunque ritenere assai improbabile per l'area in oggetto la liquefazione dei terreni non si ravvede la necessità di dettare condizioni di fattibilità/attuazione per la realizzazione degli interventi previsti dovute a limitazioni di carattere sismico e in fase di progettazione esecutiva non sono da prevedersi accorgimenti tecnici al riguardo di questo fenomeno.

Per quanto concerne le indagini geofisiche da eseguire a supporto alle successive fasi della progettazione degli interventi, si potrà considerare la prospezione sismica MASW già effettuata nel Comparto n.1 in oggetto attraverso la quale sarà determinata la categoria di sottosuolo di fondazione a partire dalla effettiva profondità d'imposta della fondazione dell'edificio/ristorante e delle eventuali altre opere per la quali è prevista la fondazione, dato necessario per la definizione dell'azione sismica di progetto nel caso semplificato previsto dal D.M 17/01/2018.

Questa indagine, tra l'altro, è adeguata alle Classi d'Indagine 1, 2 e 3 di cui al D.P.G.R. n.1/R/2022, quindi compatibile con l'opera edilizia di maggior volume e altezza compresa nel Piano Attuativo rappresentata dall'edificio ad uso ristorante che nello specifico rientra nella Classe d'Indagine 2, non essendo previste opere in Classe d'Indagine 4 (volume totale maggiore di 6000 mc e altezza maggiore di 20 m); per cui non è necessario eseguire ulteriori indagini geofisiche/sismiche a supporto della progettazione definitiva-esecutiva a meno che non si voglia approfondire ulteriormente le conoscenze sismo-stratigrafiche del sottosuolo locale.

Per la progettazione esecutiva non è obbligatoria l'analisi di risposta sismica locale condotta in conformità al D.M. 17/01/2018 per la definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto gli interventi previsti non sono classificabili come :

- a) realizzazione o ampliamenti di edifici strategici o rilevanti ricadenti nelle Classi d'Indagine 3 o 4 come definite dal Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della L.R. n.65/2014;
- b) realizzazione o ampliamenti di edifici a destinazione residenziale ricadenti in Classe d'Indagine 4, come definita dal Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della L.R. n.65/2014.

Gli interventi che nell'ambito del presente Piano Attuativo richiedono per la loro realizzazione il Permesso di Costruire o di altro titolo abilitativo all'attività edilizia a livello comunale e/o il deposito al Genio Civile (Regione Toscana) del progetto esecutivo dovranno essere supportati da una specifica Relazione sulla Modellazione Sismica redatta in osservanza ai disposti del D.M. 17/01/2018 e del D.P.G.R. n.1/R del 19/01/2022, che per la pratica comunale potrà anche essere compresa nella Relazione Geologica e Geotecnica, alla quale dovranno essere allegati gli elaborati delle indagini geofisiche/sismiche eseguite.

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		
Revisione	/			Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano

11.5 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE A PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA RISORSA IDRICA

11.5.1 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE ALLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

In considerazione alla Vulnerabilità Idrogeologica Media che caratterizza il Comparto n.1 ed in considerazione delle caratteristiche e destinazioni d'uso degli interventi in esso previsti, che non rientrano tra le trasformazioni fisiche e funzionali e/o tra le attività e impianti a rischio potenziale di inquinamento e per i quali si può quindi escludere che possano generare situazioni di criticità della risorsa idrica o incrementare lo squilibrio della stessa, non sono da dettare particolari condizioni di fattibilità nei confronti di questo aspetto se non di evitare interferenze con la falda, situazione da ritenersi improbabile in quanto per l'edificio ad uso ristorante, per il parcheggio pubblico e per quello privato di pertinenza dell'edificio stesso, entrambi a raso, sono da presumersi scavi di fondazione entro la profondità massima di 1.50-2.00 m per l'edificio ed entro il primo metro per i parcheggi, quindi al di sopra del livello delle falda rilevato alla profondità di -2.70 m dal p.c. locale.

Ai fini della protezione della risorsa idrica sotterranea è comunque necessario rispettare le seguenti minime precauzioni :

- i reflui/liquami provenienti dall'attività del ristorante assimilabili a domestici e dai servizi igienici (wc, lavandini, docce ecc.) dopo gli opportuni trattamenti primari dovranno essere allontanati nella locale fognatura pubblica e non smaltiti nel sottosuolo tramite sistemi di sub-irrigazione, dispersione o similari. Al riguardo, il progetto prevede lo smaltimento dei reflui nella pubblica fognatura;
- tutti i manufatti nei quali affluiscono, stazionano e defluiscono le acque reflue del ristorante (vasche Imhoff, pozzetti degrassatori/disoleatori, condotte, tubazioni, raccordi ecc..) dovranno garantire la perfetta tenuta per evitare perdite e sversamenti dei liquami nel sottosuolo e posati in opera con le dovute attenzioni al fine di consentire il loro corretto funzionamento ed il regolare deflusso dei liquami, prevedendo periodici controlli.

11.5.2 - CRITERI DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE ALLA VULNERABILITA' NEI CONFRONTI DELL'INTRUSIONE DEL CUNEO SALINO

In merito alla vulnerabilità dell'area nei confronti dell'intrusione del cuneo salino, come detto in precedenza per gli interventi in progetto non sono da prevedersi scavi di fondazione e scavi in genere al disotto della falda e quindi sono da escludere interferenze tra loro. Pertanto, nel corso delle lavorazioni non sarà necessario ricorrere all'impiego di tecniche di abbassamento temporaneo della tavola d'acqua, che contrariamente, in relazione alla durata

Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo	
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano	
Revisione	/				

del pompaggio e alle portate estratte, potrebbe invece favorire la risalita locale di acqua salata (*upconing*) esponendo di conseguenza la falda ad un rischio maggiore di insalinamento.

Per quanto sopra detto, gli interventi previsti sono da ritenersi ad impatto nullo nei riguardi di questo fenomeno e per essi non sono da dettare condizioni di fattibilità/attuazione in relazione all'intrusione del cuneo salino.

12 - CONCLUSIONI

Le analisi dei dati geologici, geomorfologici, stratigrafici, idrogeologici sismici e idraulici e delle cartografie tematiche allegate agli Studi Geologico-Tecnici condotti a supporto della pianificazione urbanistica comunale ed al P.G.R.A. del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale integrate con gli esiti delle indagini geognostiche e sismiche in situ hanno permesso di determinare le Classi di Pericolosità per il Comparto n.1 della Scheda Norma 38.3 - Marina di Pisa - Via Arnino oggetto del presente Piano Attuativo in relazione agli aspetti geologici, idraulici e sismici secondo le Direttive Tecniche dell'Allegato A del D.P.G.R. n.5/R/2020, con esclusione della zona "il Torrino" di altra proprietà, che sono :

- ⇒ G1 – Pericolosità Geologica Bassa;
- ⇒ P1 – Pericolosità da Alluvioni Fluviali Bassa (Pericolosità Idraulica Bassa);
- ⇒ S3 – Pericolosità Sismica Elevata;
- ⇒ Pericolosità da Alluvioni Costiere (Assente).

Da queste analisi è altresì emerso che *non sono intervenute modifiche rispetto al Quadro Conoscitivo di riferimento relativamente agli aspetti geologici, idraulici e sismici.*

Nella presente sono riporti anche i criteri di fattibilità/attuazione per ciascuna di queste classi di pericolosità e quelli inerenti le locali problematiche connesse alla risorsa idrica.

Pisa, 11/08/2022

Dott. Geol. Luca Pignatelli



Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)			PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino	Luca Pignatelli - geologo
Emissione	1	11/08/2022		Proprietà/Proponente : Sig. Mastandrea Stefano
Revisione	/			

TAVOLA N°1

TAVOLA N°2

TAVOLA N°3

TAVOLA N°4

TAVOLE ALLEGATE



COMUNE DI PISA

PROVINCIA DI PISA



PROPRIETA' / PROPONENTE : SIG. MASTANDREA STEFANO

PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3
MARINA DI PISA - VIA ARNINO

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020, Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale, Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del R.U. approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020, Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato con Delib.C.C. di Pisa n.30 del 23/07/2020, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - 1° Aggiornamento - 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione - L.R. n.41 del 24/07/2016)

TAVOLA N°1 :

- INQUADRAMENTO TERRITORIALE, SCALA 1:10.000;
- ESTRATTO CARTOGRAFICO DEL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE;
- ESTRATTO CARTOGRAFICO DELLA SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA;
- PLANIMETRIA GENERALE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL COMPARTO N.1 DELLA SCHEDA NORMA 38.3 SU C.T.R. IN SCALA 1:2.000;
- ESTRATTI CARTE PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL P.S. COMUNALE (anno 1998) E DELLA FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI DEL R.U. COMUNALE (anno 2001);
- CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI DELL'AREA SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA (da Relazione Geologica di Fattibilità della Variante al Regolamento Urbanistico Comunale - anno 2009) :
 - CARTE DELLA PERICOLOSITA' E DELLA FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI ;
- PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA AI SENSI DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI FLUVIALI "P.G.R.A." DEL DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO SETTENTRIONALE (1° Aggiornamento 2021-2027);
- PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE DELL'AREA AI SENSI DELL'AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL R.U. COMUNALE (approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020);
- QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA DELL'AREA AI SENSI DEL P.S. INTERCOMUNALE PISA-CASCINA (adottato con Delib.C.C.Pisa n.30 del 23/07/2020);

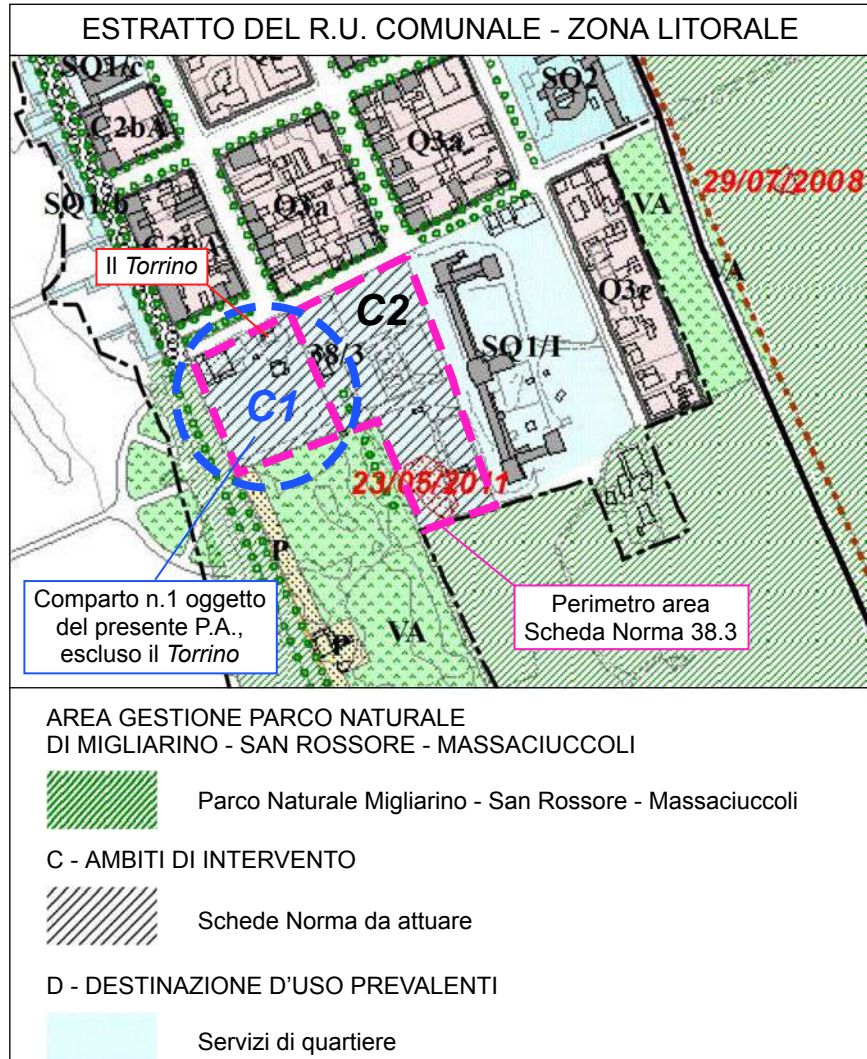
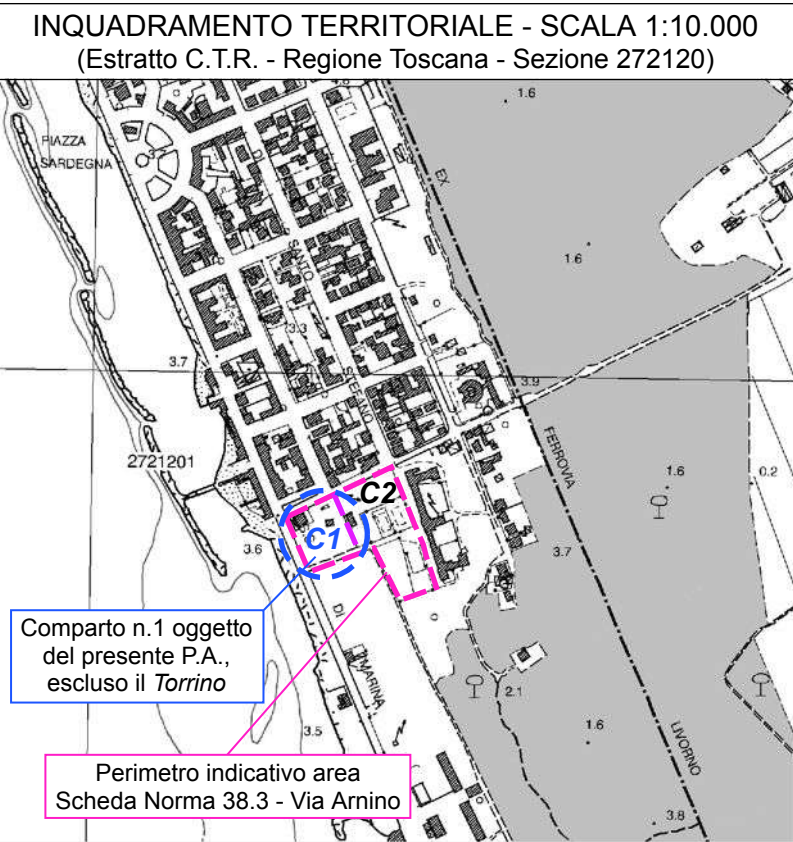
Agosto 2022

Emissione	1	11/08/2022
Revisione	/	
Revisione	/	

Luca Pignatelli - geologo
Via Caduti del Lavoro, n.9 - 56122 - Pisa - Tel. : 050 525458
Cell. : 338 6472126 - email : luca.geo.pl@gmail.com
pec : luca-geo.pl@pec.epap.it

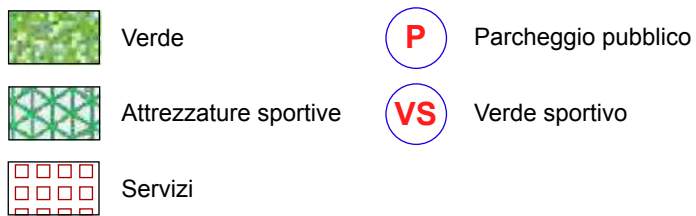
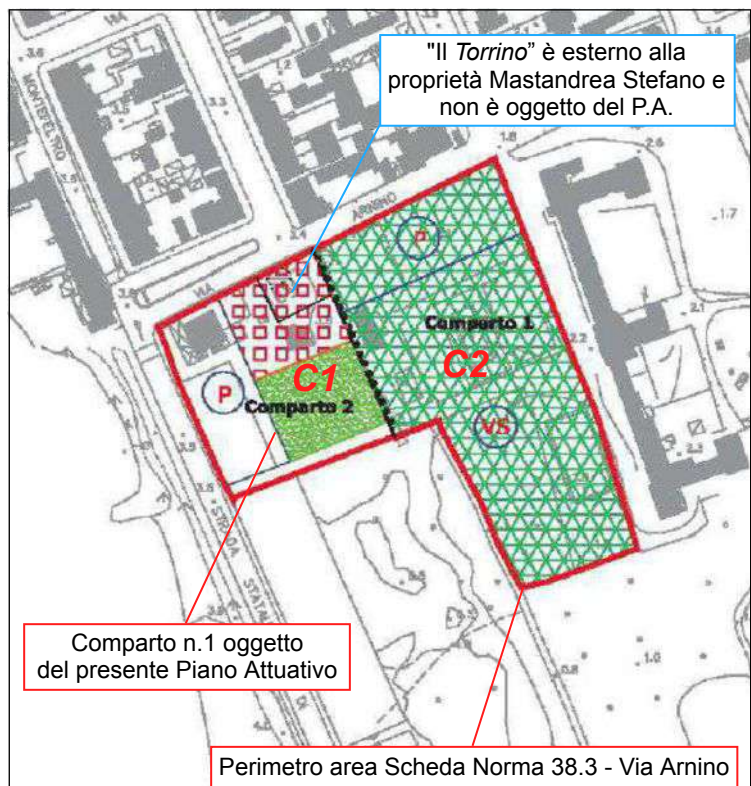


Luca Pignatelli



QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI FATTIBILITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI DELL'AREA SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA (DA VARIANTE AL R.U. COMUNALE ANNO 2009)

SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA (da Fascicolo Schede Norma del R.U. Comunale)



TIPOLOGIA DELLA TRASFORMAZIONE

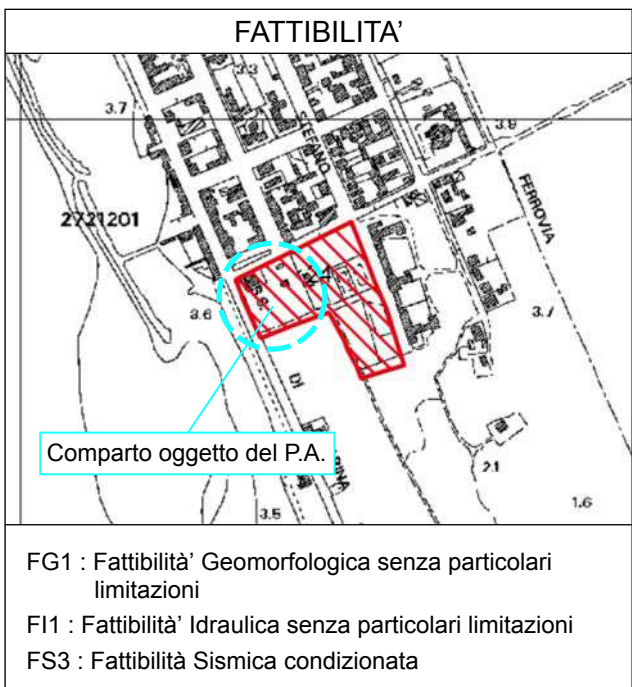
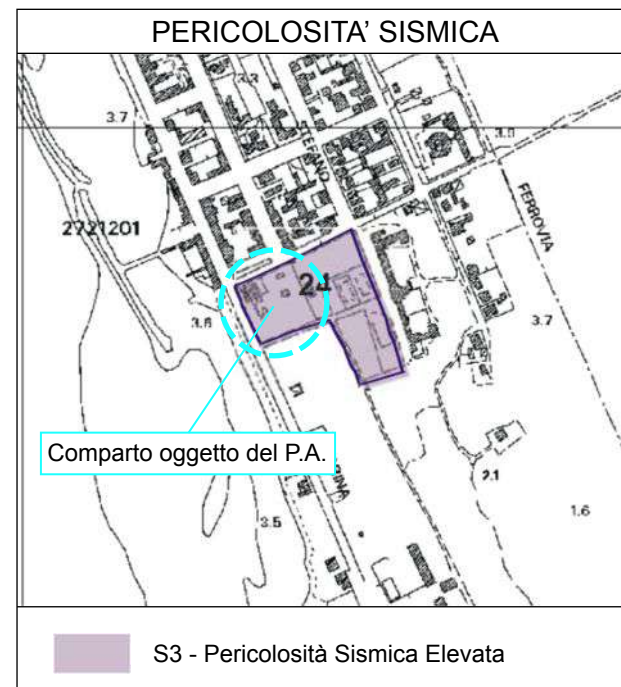
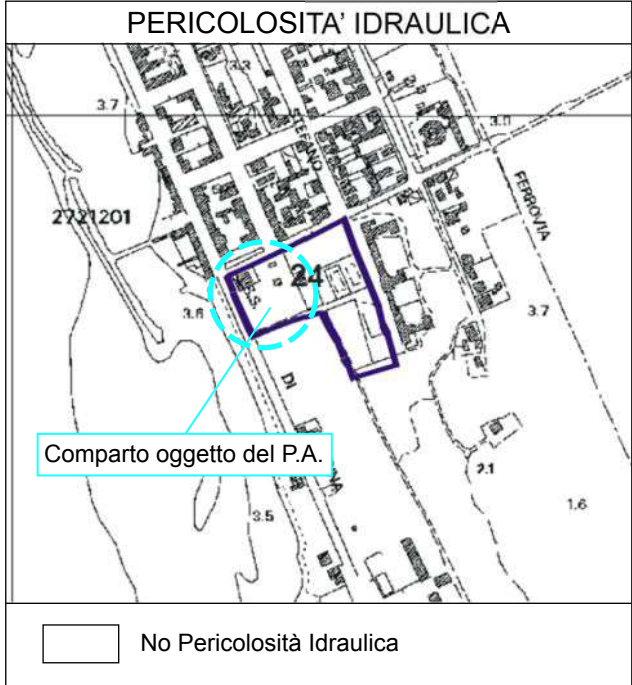
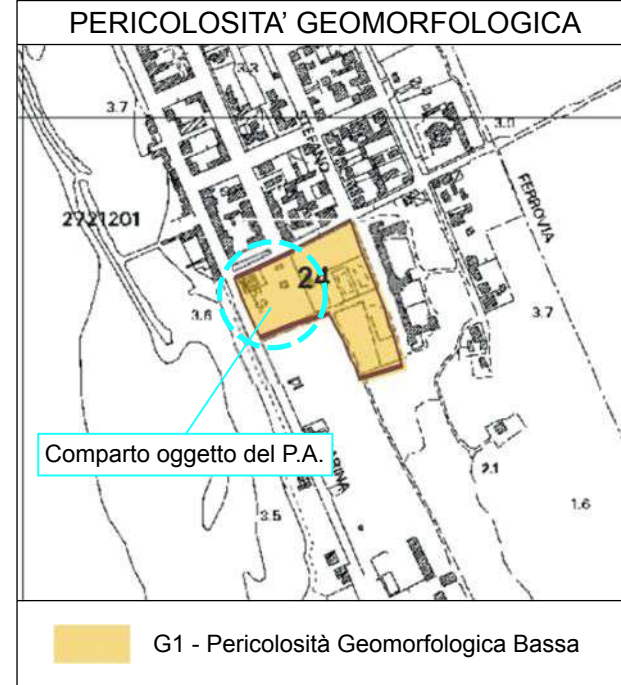
Superficie totale area : 17300 mq (da verificare a seguito di rilievo)
Destinazione urbanistica : servizi, commerciale (somministrazione alimenti e bevande) e verde sportivo.

Categoria d'intervento : ristrutturazione urbanistica e nuova costruzione.

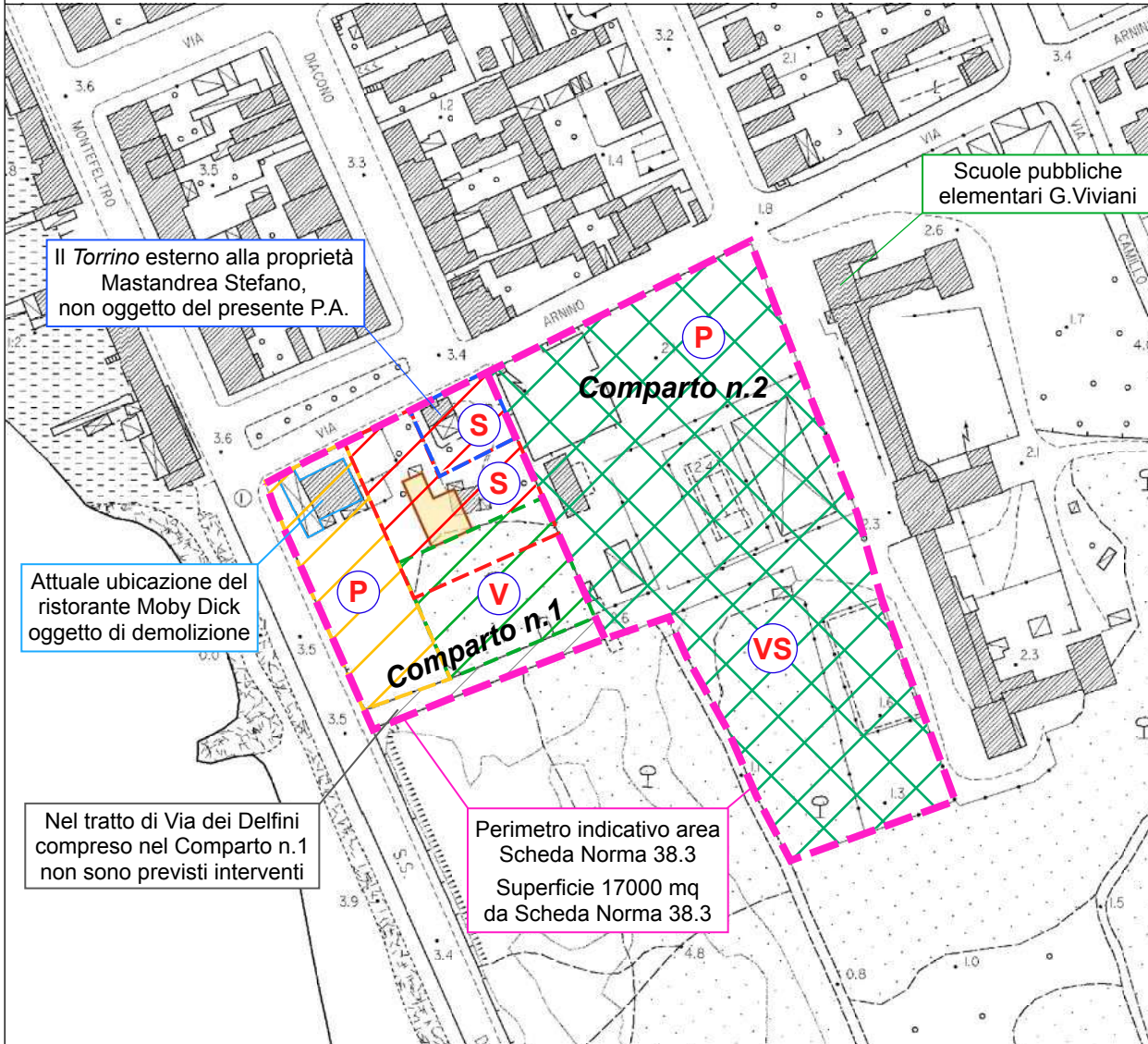
L'intervento è suddiviso in due aree/comparti :
- Comparto n.1 (C1) di superficie circa 5800 mq destinato a parcheggio pubblico, commerciale - servizi (torrino) e verde;
- Comparto n.2 (C2) di superficie circa 11500 mq destinato a attrezzature - verde sportivo e parcheggio pubblico.

NOTA : nell'estratto cartografico della Scheda Norma 38.3 la denominazione dei due Comparti risulta invertita, ossia il Comparto n.2 corrisponde al Comparto n.1 e viceversa.

CARTE DELLA PERICOLOSITA' E DELLA FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI, IDRAULICI E SISMICI AI SENSI DEL D.P.G.R. 26/R/2007 (Riferimento : Relazione di Fattibilità Geologica di supporto alla "Variante al Regolamento Urbanistico a seguito delle decadenza delle previsioni a carattere espropriativo e della perdita di efficacia delle previsioni", redatta dal Dott. Geol. Marco Redini del Comune di Pisa ai sensi del D.P.G.R. n.26/R del 27/04/2007, Elaborati A.1/2, A.2/2 del 05-05-2009 - codice identificativo 01_0018_022009. Variante approvata con Delib.C.C. n.73 del 11/12/2009)



PLANIMETRIA GENERALE SCHEMATICA DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL COMPARTO N.1 DELLA SCHEDA NORMA 38.3 - SCALA 1:2.000 (BASE C.T.R.)



COMPARTO n.1 - Superficie 5800 mq (oggetto del presente Piano Attuativo)

P Parcheggio Pubblico esterno alla Proprietà Mastandrea (oggetto d'intervento - Superficie 2000 mq)

S Servizi (area Proprietà Mastandrea Stefano oggetto d'intervento - Superficie 1793 mq)

S Servizi (area il Torrino esterna alla Proprietà Mastandrea, non oggetto del Piano Attuativo)

V Verde interno alla Proprietà Mastandrea

V Verde esterno alla Proprietà Mastandrea

Ubicazione del nuovo edificio ad uso ristorante (Proprietà Mastandrea)

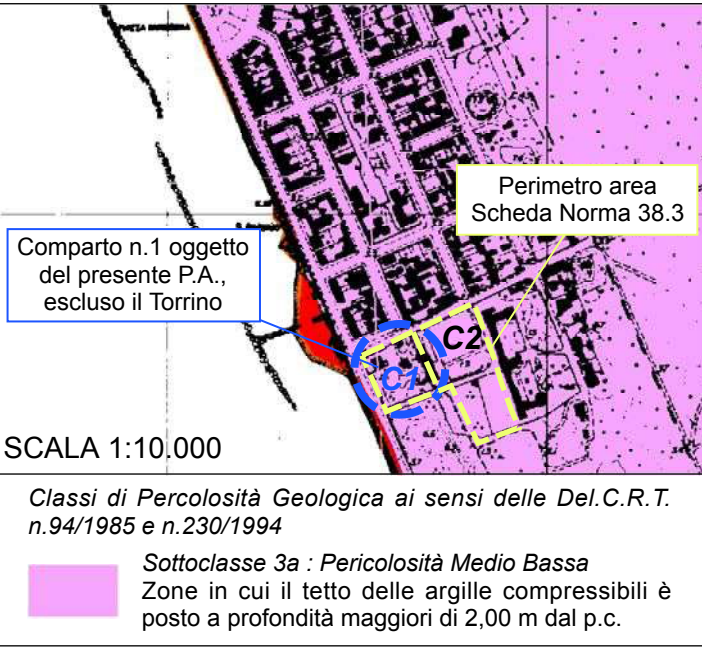
COMPARTO n.2 (non oggetto del presente Piano Attuativo)

Attrezzature sportive

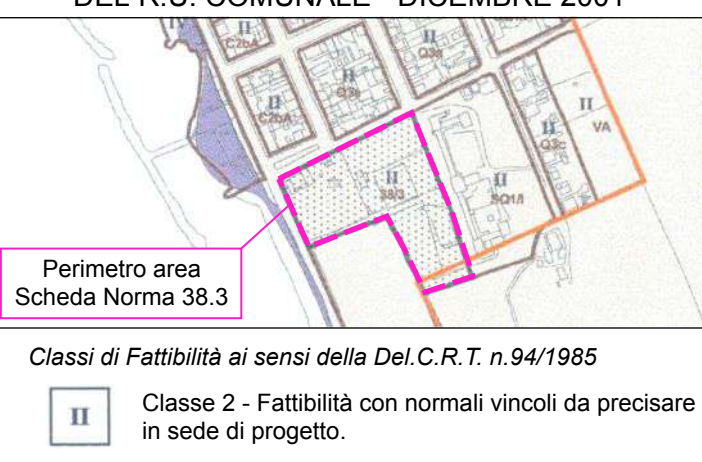
P Parcheggio pubblico

VS Verde sportivo

ESTRATTO CARTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL P.S. COMUNALE - ANNO 1998

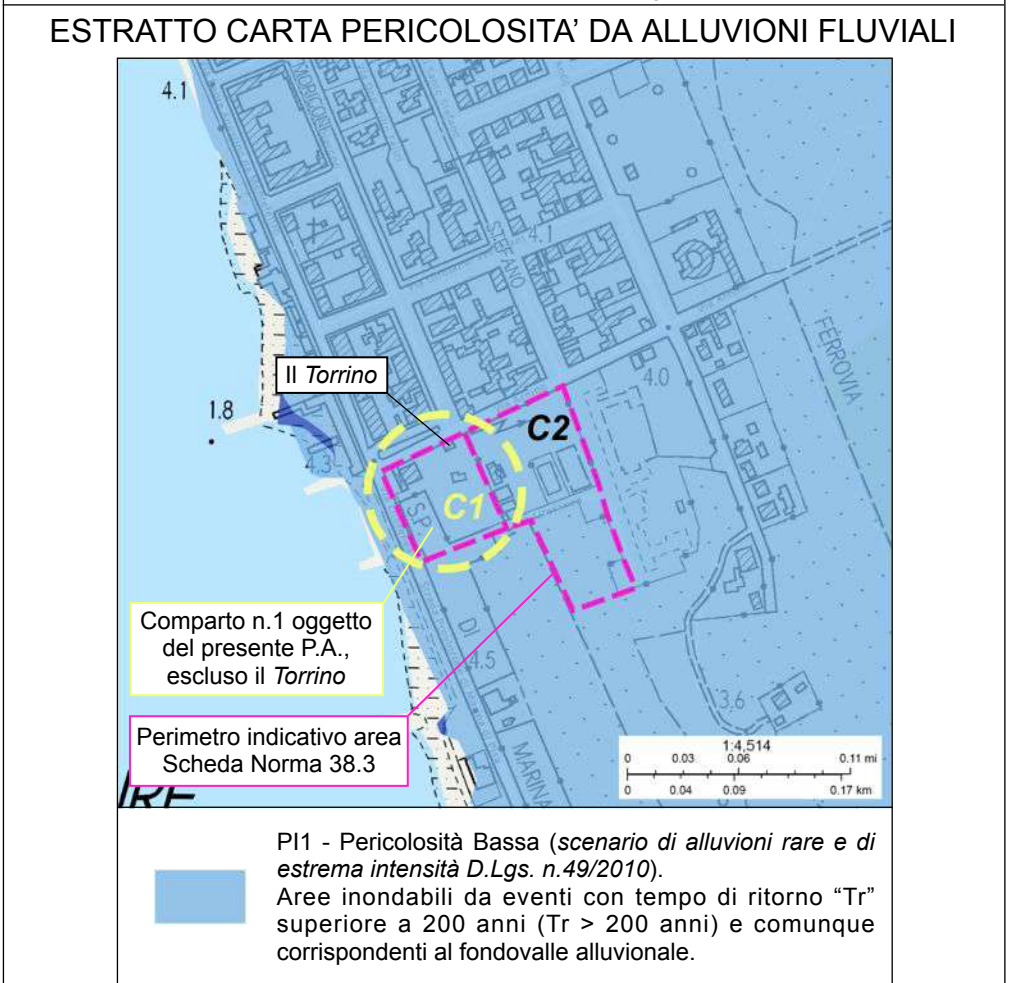


ESTRATTO CARTA FATTIBILITA' INTERVENTI DEL R.U. COMUNALE - DICEMBRE 2001

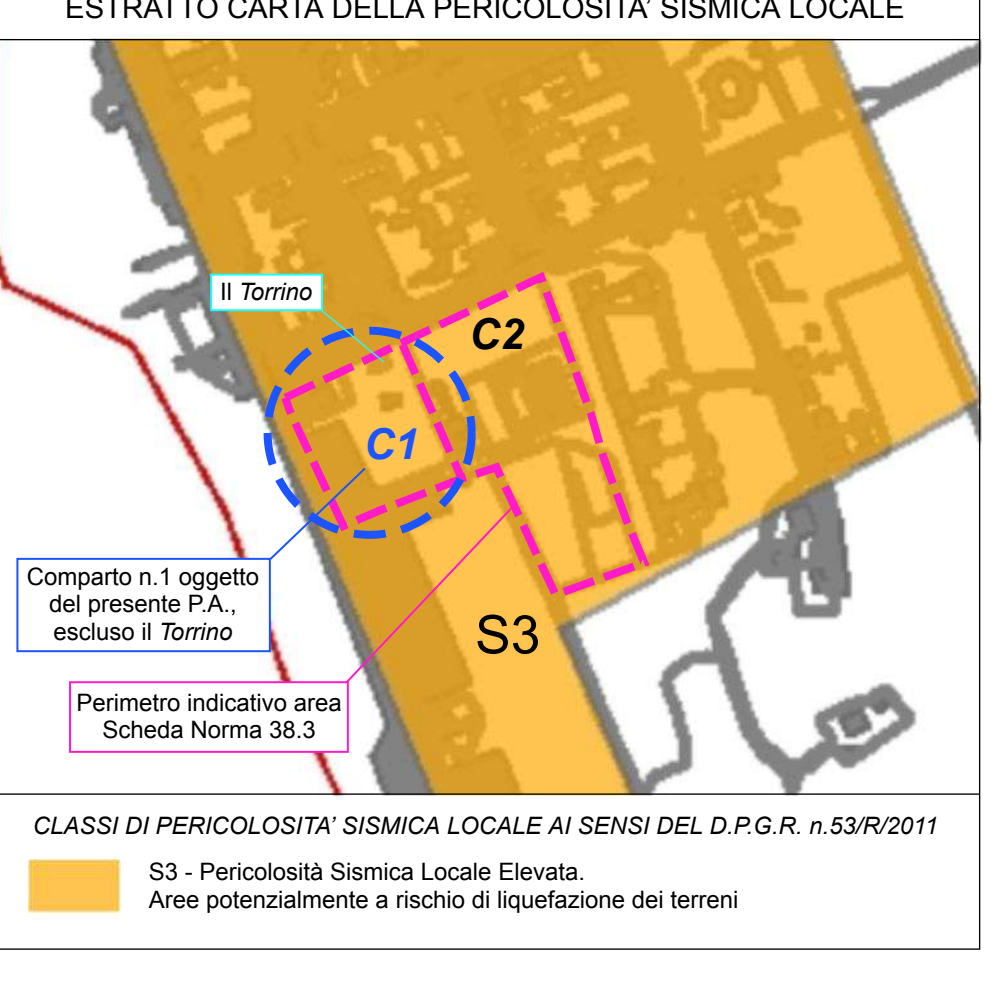


PERICOLOSITA' IDRAULICA E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE DELL'AREA IN OGGETTO AI SENSI, RISPETTIVAMENTE, DEL P.G.R.A. E DELL'AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL R.U. COMUNALE approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020

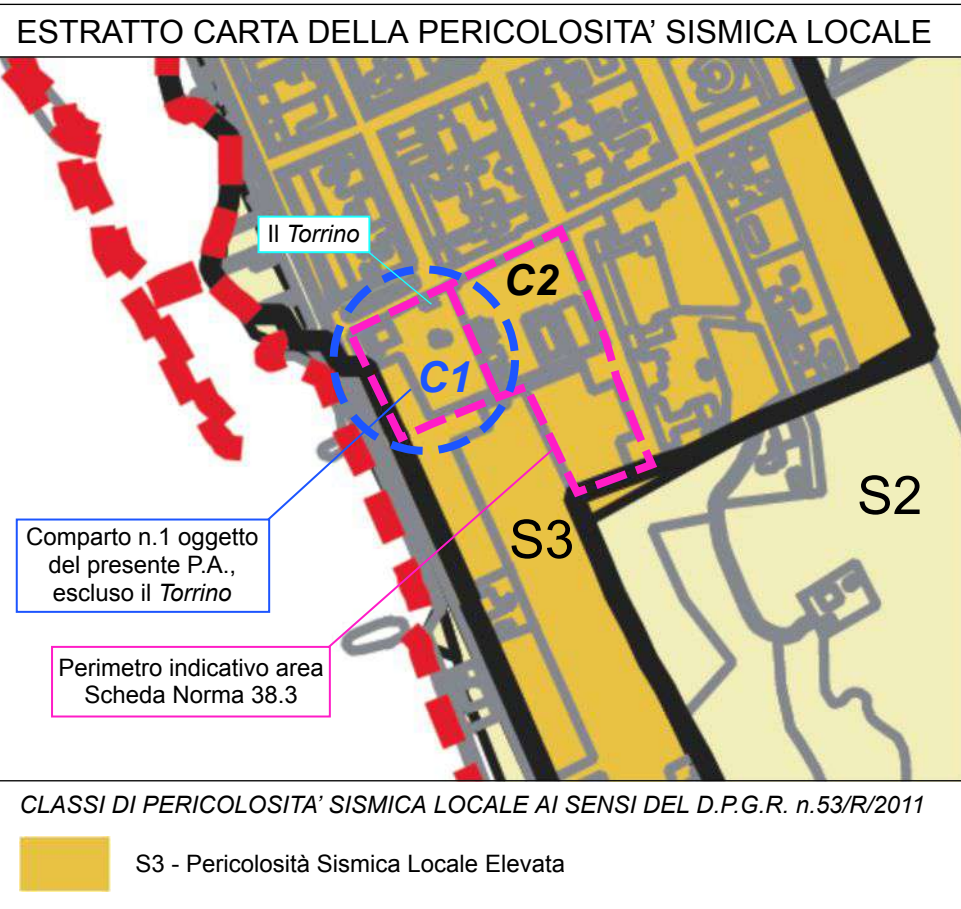
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI "P.G.R.A." 1° Aggiornamento 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione adottato con Delibera n.26 del 20/12/2021 C.P. Distretto Idrografico Appennino Settentrionale

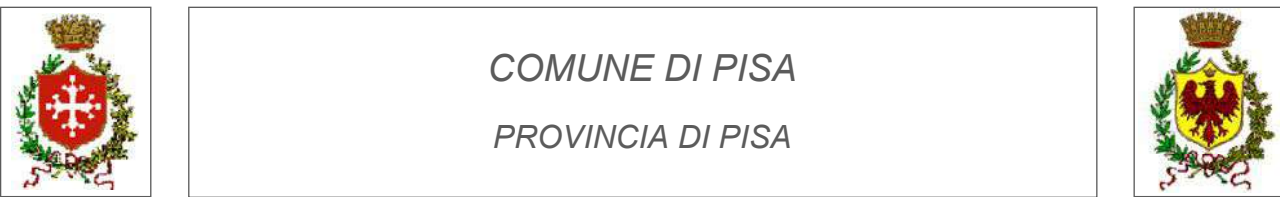


AGGIORNAMENTO DEL QUADRO GEOLOGICO CONOSCITIVO DEL R.U. COMUNALE approvato con Delib.C.C. di Pisa n.3 del 28/01/2020



QUADRO CONOSCITIVO SULLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA DELL'AREA IN OGGETTO AI SENSI DEL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE PISA-CASCINA adottato dal Comune di Pisa con Delib.C.C. n.30 del 23/07/2020 e dal Comune di Cascina con Delib.C.C. n.55 del 04/08/2020





COMUNE DI PISA
PROVINCIA DI PISA

PROPRIETA' / PROPONENTE : SIG. MASTANDREA STEFANO

PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3
MARINA DI PISA - VIA ARNINO

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020, Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale, Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del R.U. approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020, Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato con Delib.C.C. di Pisa n.30 del 23/07/2020, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - 1° Aggiornamento 2021-2027 - Secondo Ciclo di Gestione, L.R. n.41 del 24/07/2016)

TAVOLA N°3 :

- PLANIMETRIA GENERALE CON UBICAZIONE INDAGINI, SCALA 1:2.000;
- PLANIMETRIA STATO ATTUALE CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R., SCALA 1:1.000;
- PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R., SCALA 1:1.000;
- ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI TERRENI :
 - SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA TRA LE VERTICALI D'INDAGINE CPT1 ECPT2, SCALA 1:100;
- ESITO DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE AL DISOTTO DELLA FALDA;

Agosto 2022

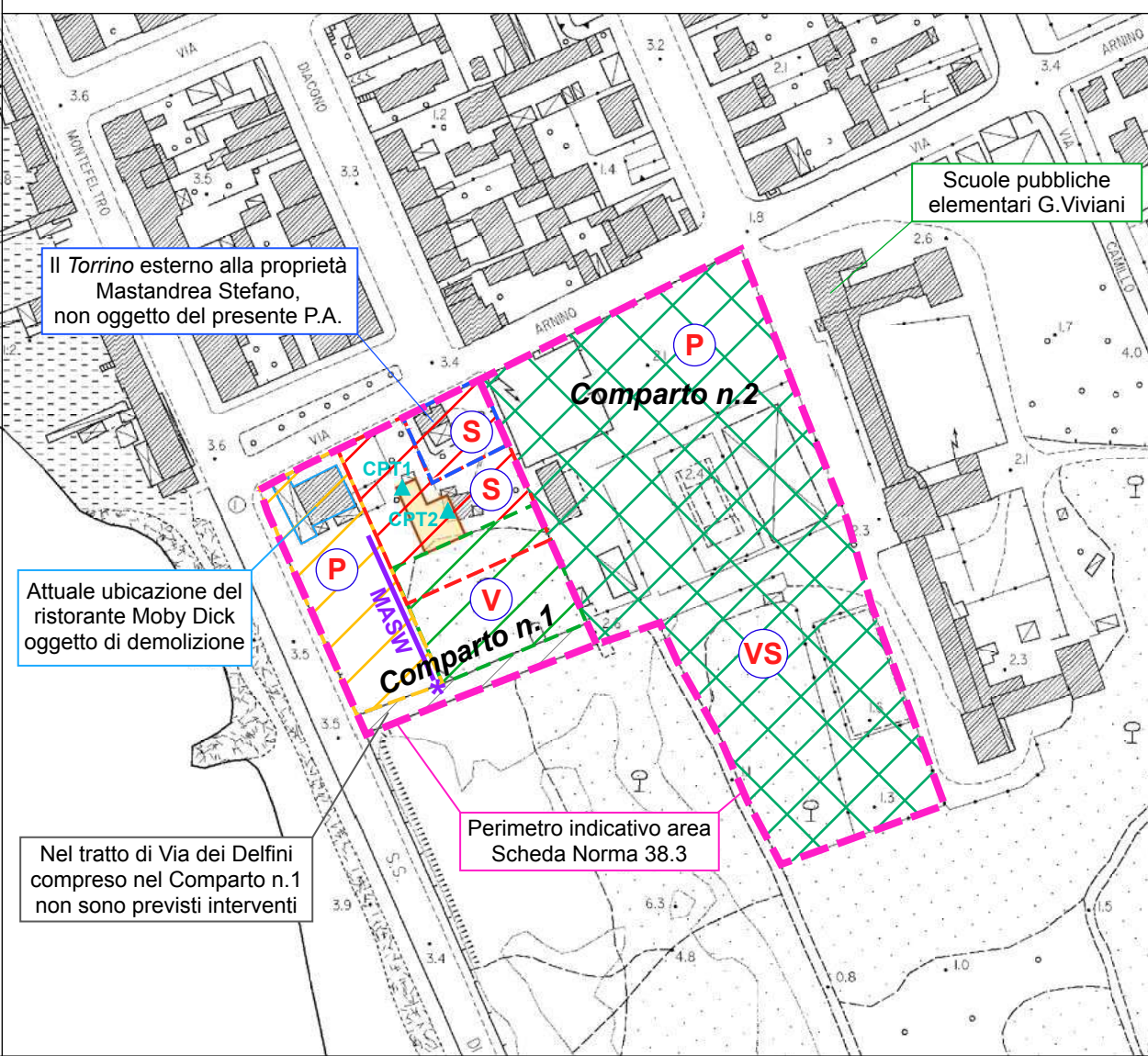
Emissione 1 11/08/2022
Revisione /
Revisione /

Luca Pignatelli - geologo
Via Caduti del Lavoro, n.9 - 56122 - Pisa - Tel. : 050 525458
Cell. : 338 6472126 - email : luca.geo.pi@gmail.com
pec : luca.geo.pi@pec.espi.it



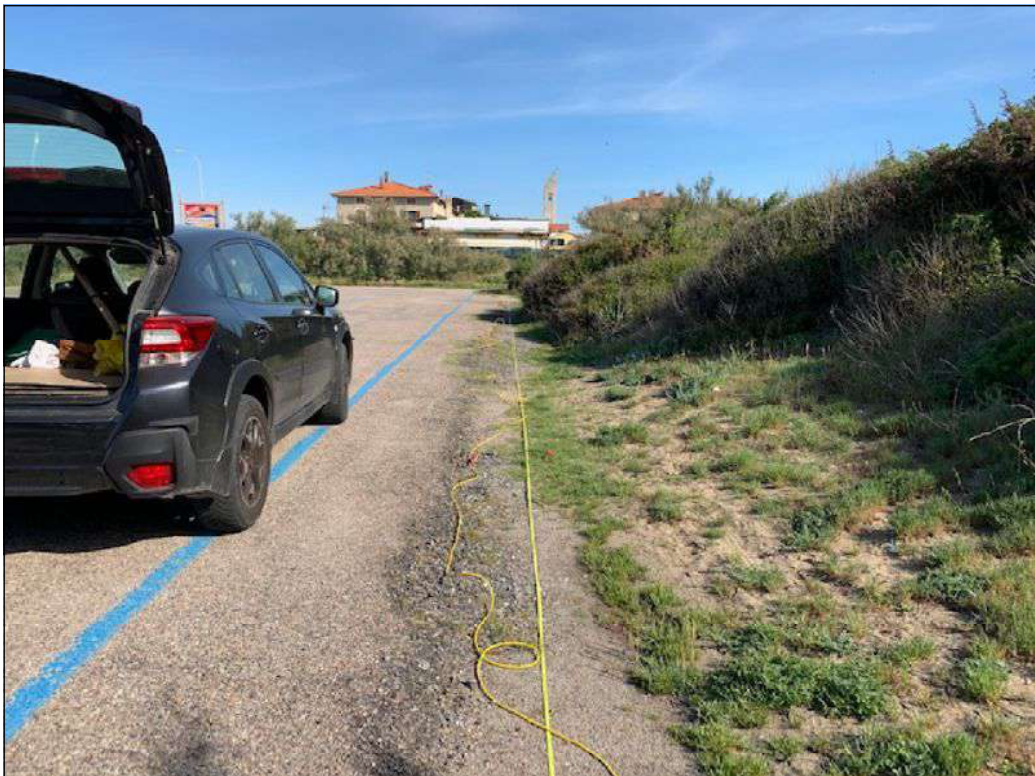
Luca Pignatelli

PLANIMETRIA GENERALE CON UBICAZIONE INDAGINI - SCALA 1:2.000

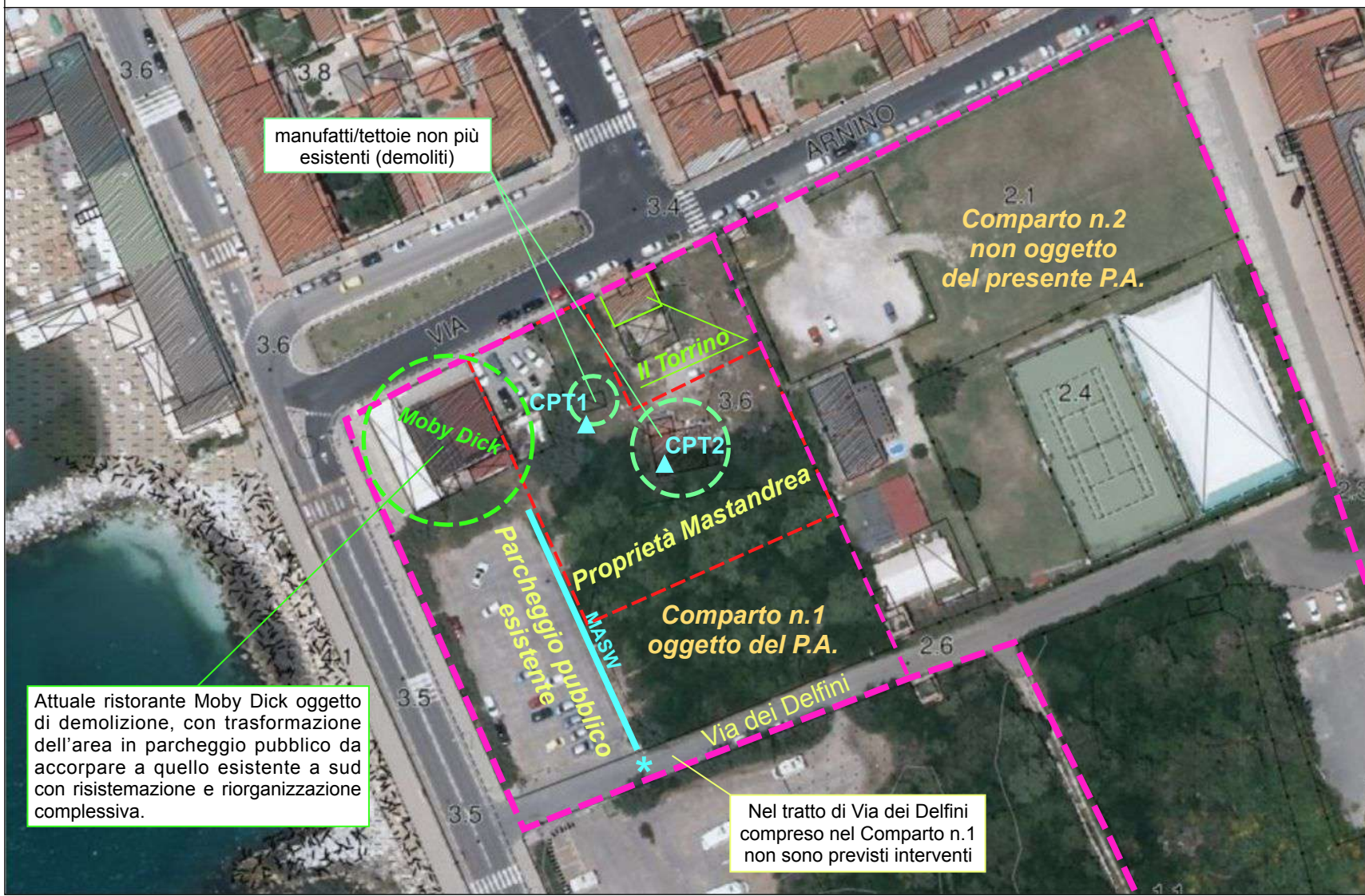


- *MASW Indagine geosismica MASW
- CPT1 Prove penetrometriche statiche CPT
- Proprietà Mastandrea
- Ubicazione nuovo edificio ad uso ristorante
- Area "Il Torrino" esterna alla proprietà Mastandrea non oggetto del presente Piano Attuativo
- Via dei Delfini non oggetto d'intervento

FOTO INDAGINE GEOSISMICA MASW



PLANIMETRIA STATO ATTUALE CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R. - SCALA 1:1.000



PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO CON UBICAZIONE INDAGINI SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E C.T.R. - SCALA 1:1.000

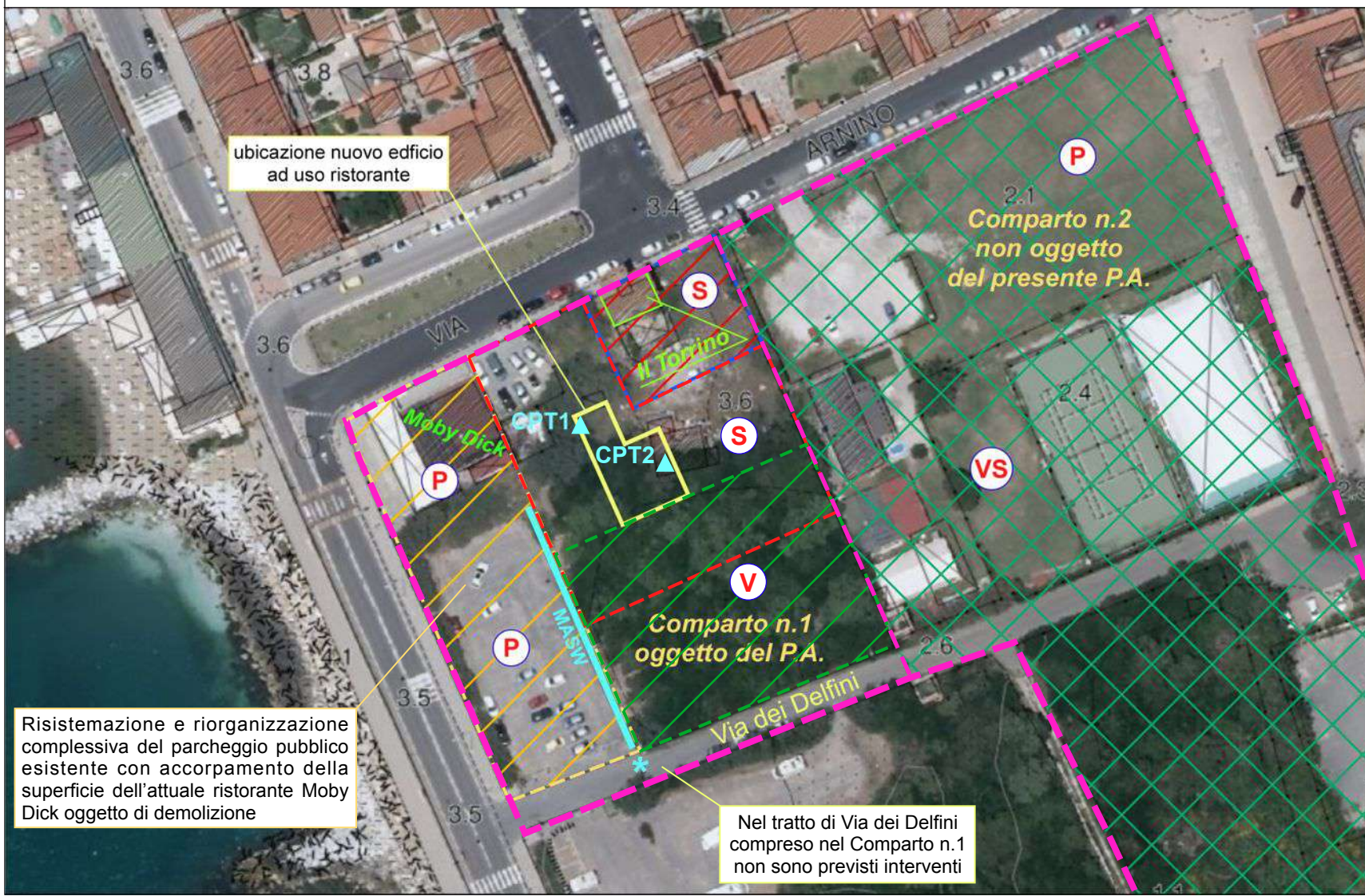
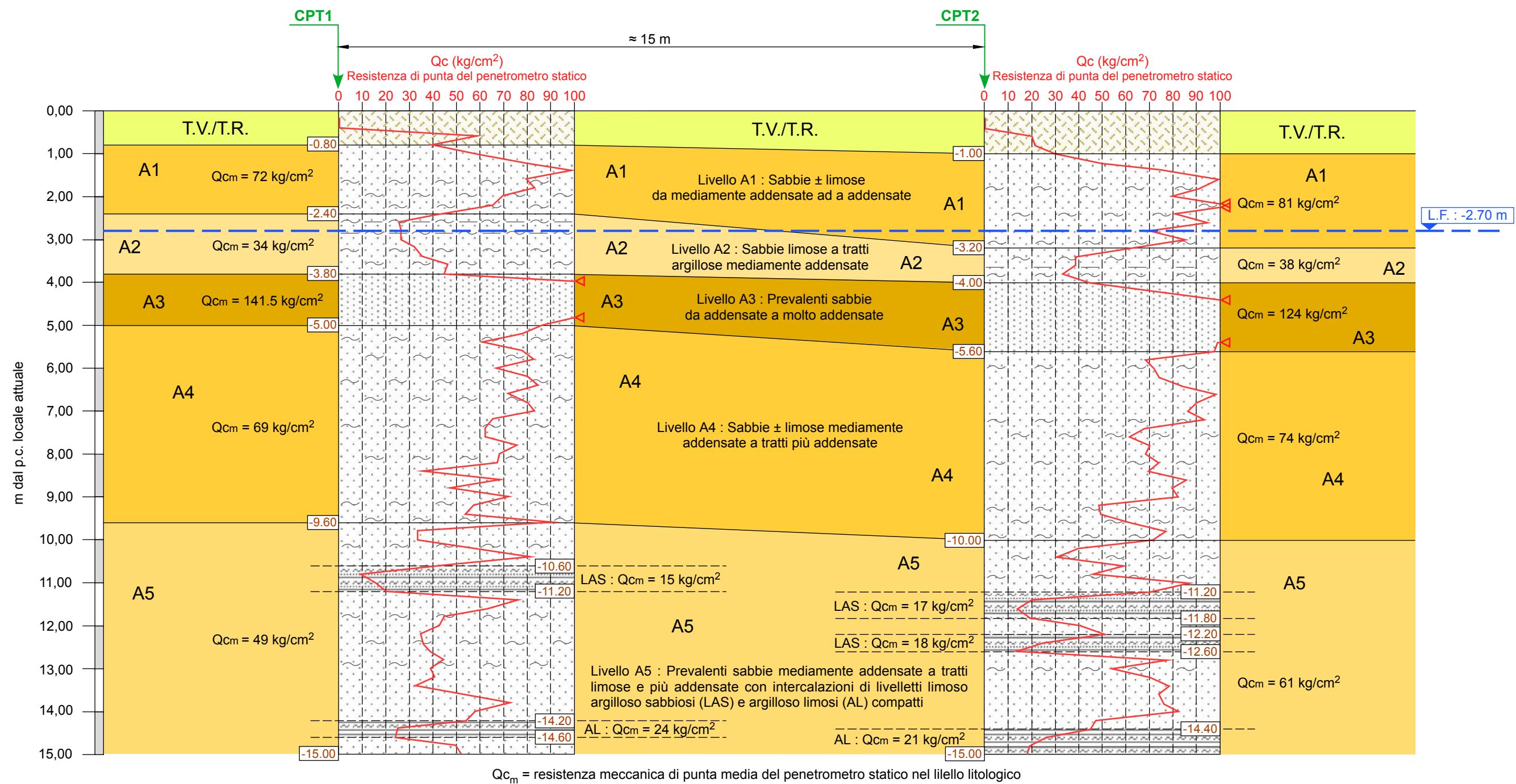


FOTO POSTAZIONI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1 E CPT2



ASSETTO LITO-STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO LOCALE E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEI TERRENI SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA TRA LE VERTICALI D'INDAGINE CPT1 E CPT2 - SCALA 1:100



L.F. : -2.70 m
L.F. = Livello di falda rilevato nei perfori delle due prove penetrometriche CPT in data 23/10/2020 :
CPT1 : -2.70 m dal p.c. locale attuale;
CPT2 : -2.80 m dal p.c. locale attuale.

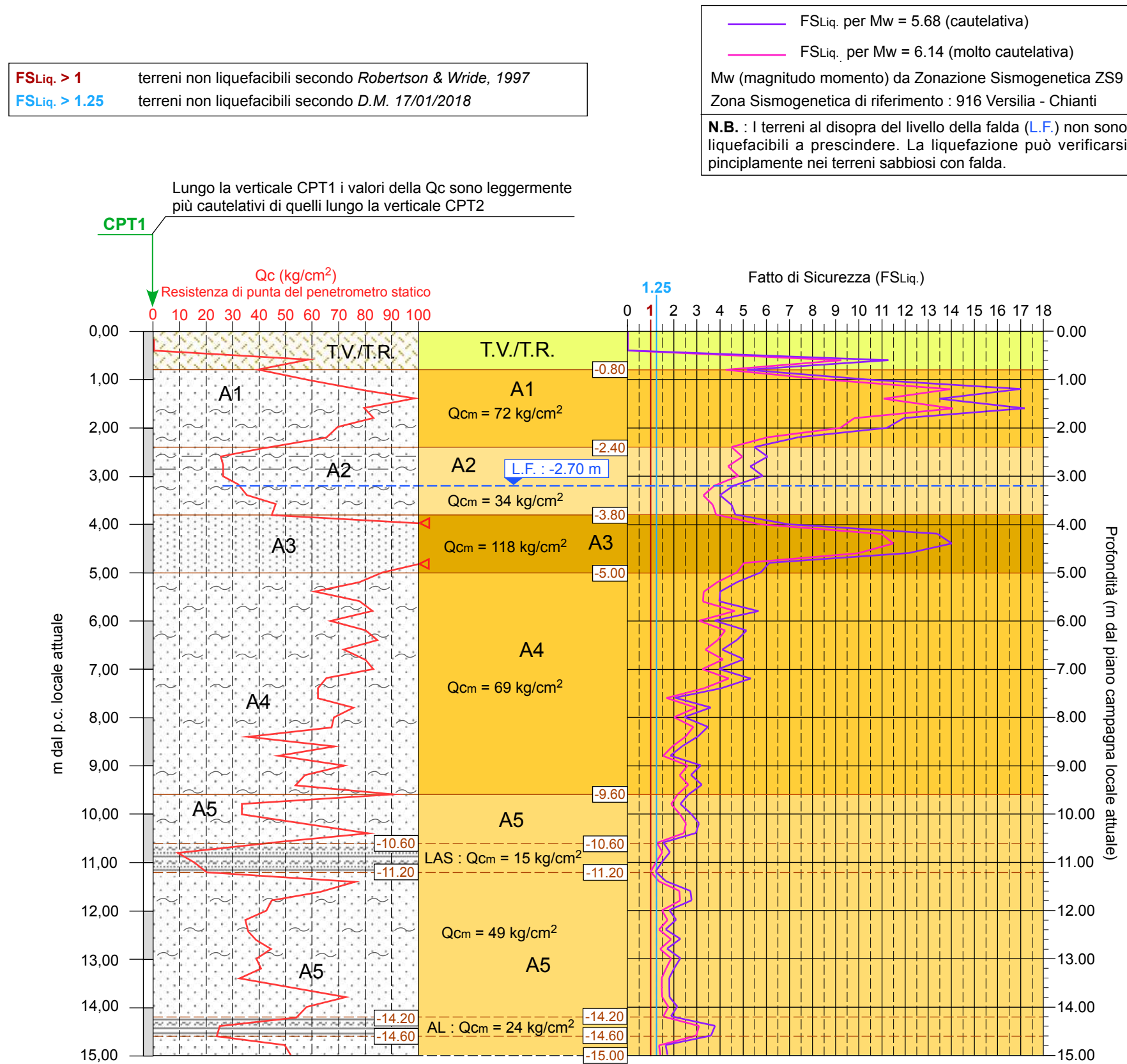
LEGENDA LITOLOGIE

- Terreno vegetale sabbioso limoso con riporto antropico (livello T.V./T.R.).
- Sabbie e sabbie ± limose mediamente addensate a tratti più addensate (livelli A1, A4, A5).
- Sabbie addensate (livello A3).
- Sabbie limose ± argillose mediamente addensate (livello A2).
- Limati argillosi sabbiosi (LAS). Livellotti di spessore 40-60 cm intercalati nel livello sabbioso A5.
- Argille limose (AL). Livellotti di spessore 40-60 cm intercalati nel livello sabbioso A5.

Livelli litologici omogenei	Intervallo di profondità (m da p.c.)	Spessori (m)	Qc media (kg/cm²)		γ (kN/m³)	φ' (°)	Med (kg/cm²)
			CPT1	CPT2			
T.V./T.R.	p.c. - 0.80 (CPT1) p.c. - 1.00 (CPT2)	0.80 (CPT1) 1.00 (CPT2)	-----	-----	17.65	-----	-----
A1	0.80 - 2.40 (CPT1) 1.00 - 3.20 (CPT2)	1.60 (CPT1) 2.20 (CPT2)	72	81	19.32	39 (37-40)	200
A2	2.40 - 3.80 (CPT1) 3.20 - 4.00 (CPT2)	1.40 (CPT1) 0.80 (CPT2)	34	38	17.95	32 (30-34)	90.9
A3	3.80 - 5.00 (CPT1) 4.00 - 5.60 (CPT2)	1.20 (CPT1) 1.60 (CPT2)	141.5	124	20.40	39 (38-41)	250
A4	5.00 - 9.60 (CPT1) 5.60 - 10.00 (CPT2)	4.60 (CPT1) 4.40 (CPT2)	69	74	19.22	34 (33-35)	166.7
A5	9.60 - 15.00 (CPT1) 10.00 - 15.00 (CPT2)	5.40 (CPT1) 5.00 (CPT2)	49	61	18.34	32 (30-34)	142.8

Qc media = resistenza meccanica di punta media del penetrometro statico;
γ = peso dell'unità di volume, φ' = angolo di resistenza al taglio efficace;
Med = modulo edometrico = 1/mv con mv = mv = coefficiente di compressibilità volumetrica.
LAS = livellotti limoso argilloso sabbiosi intercalati nel livello sabbioso A5;
AL = livellotti argilloso limosi intercalati nel livello sabbioso A5.

ESITO DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE AL DISOTTO DELLA FALDA METODO SEMPLIFICATO DI ROBERTSON & WIDE (1997, 1998) BASATO SU PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT CON PUNTA MECCANICA





COMUNE DI PISA
PROVINCIA DI PISA



PROPRIETA' / PROPONENTE : SIG. MASTANDREA STEFANO

PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3
MARINA DI PISA - VIA ARNINO

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(D.P.G.R. n.5/R del 30/01/2020, Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale vigenti, Aggiornamento del Quadro Geologico Conoscitivo del R.U. approvato con Delib.C.C. n.3 del 28/01/2020, Piano Strutturale Intercomunale Pisa-Cascina adottato con Delib.C.C. di Pisa n.30 del 23/07/2020, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Fluviali "P.G.R.A." del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale - 1° Aggiornamento - 2° Ciclo di Gestione 2021-2027, L.R. n.41 del 24/07/2018)

TAVOLA N°4 :

- CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO ESCLUSA LA ZONA IL *TORRINO*, SCALA 1:2.000;
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO (ESCLUSA LA ZONA IL *TORRINO*), SCALA 1:2.000;
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO (ESCLUSA LA ZONA IL *TORRINO*), SCALA 1:2.000;
- MAPPA RIEPILOGATIVA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, DA ALLUVIONI E SISMICA LOCALE SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E CARTA TECNICA REGIONALE, SCALA 1:1.000;

Agosto 2022

Emissione	1	11/08/2022
Revisione	/	
Revisione	/	

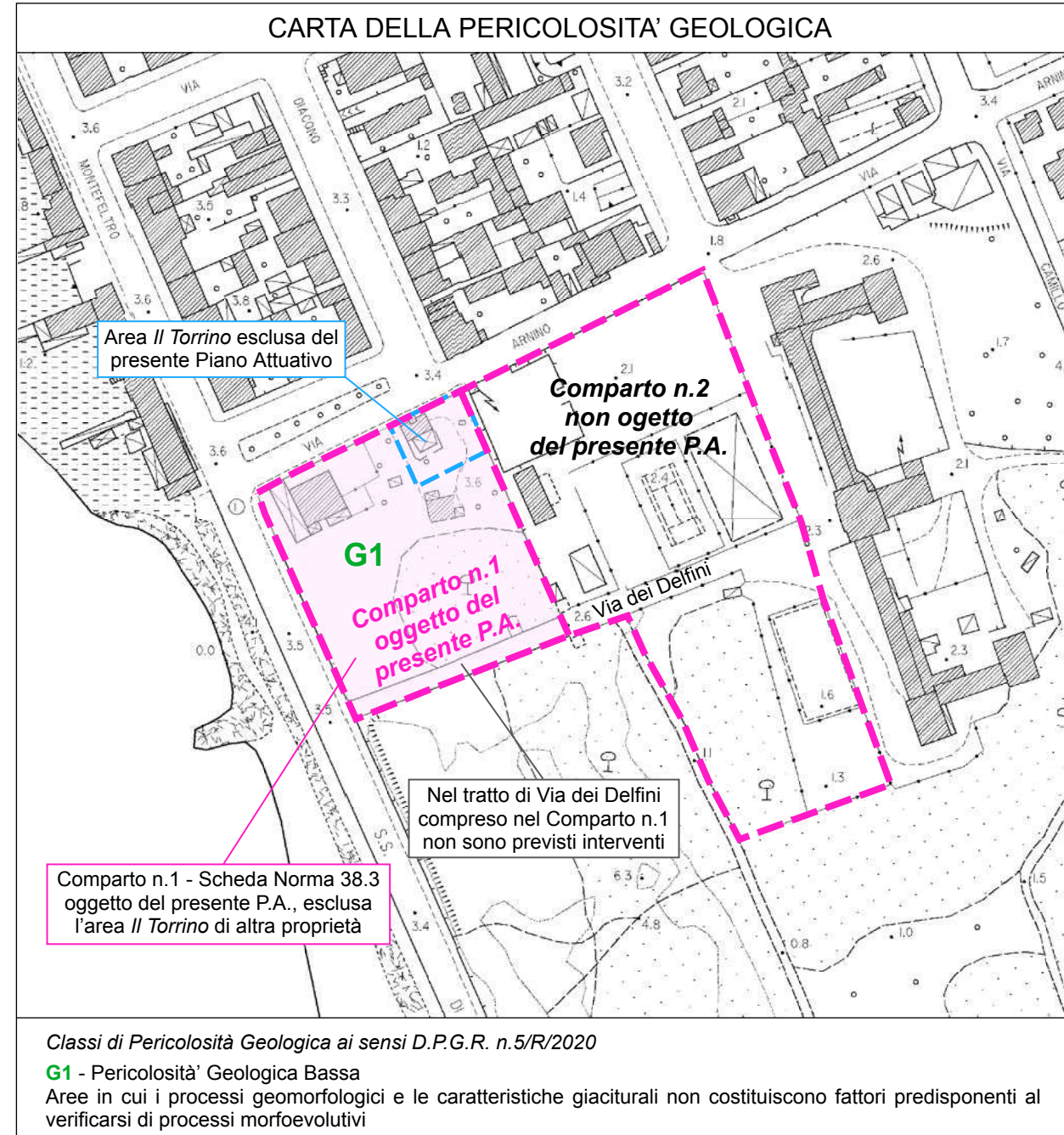
Luca Pignatelli - geologo
Via Caduti del Lavoro, n.9 - 56122 - Pisa - Tel. : 050 525458
Cell. : 338 6472126 - email : luca.geo.pi@gmail.com
pec : luca.geo.pi@pec.epap.it



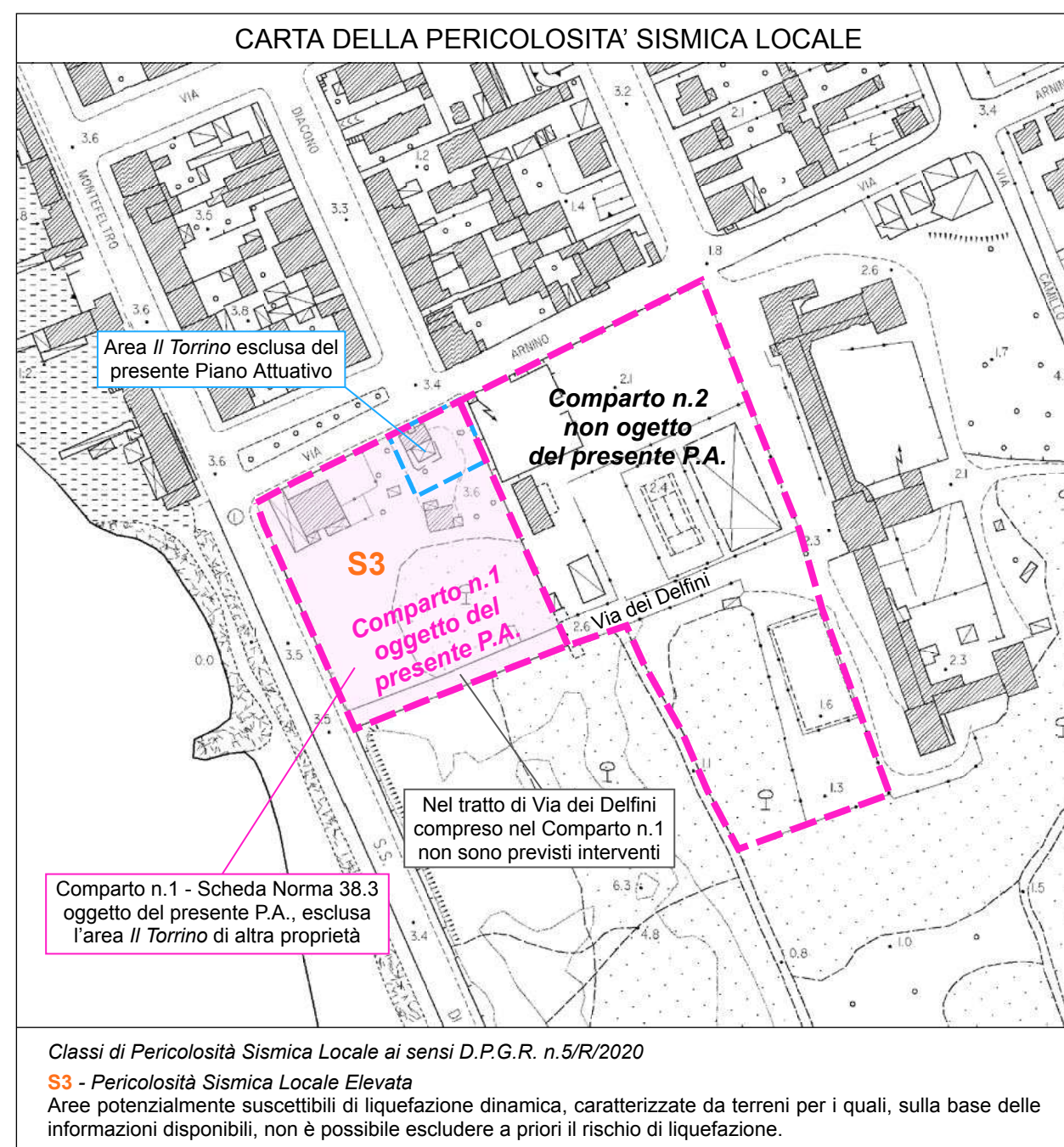
Luca Pignatelli

CARTE DELLA PERICOLOSITA' IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, ALLUVIONALI E SISMICI AI SENSI DEL D.P.G.R. N.5/R DEL 30/01/2020 - SCALA 1:2.000 LIMITATAMENTE AL COMPARTO N.1 (ESCLUSA LA ZONA IL *TORRINO*) - SCHEDA NORMA 38.3 - VIA ARNINO - MARINA DI PISA OGGETTO DEL PRESENTE PIANO ATTUATIVO

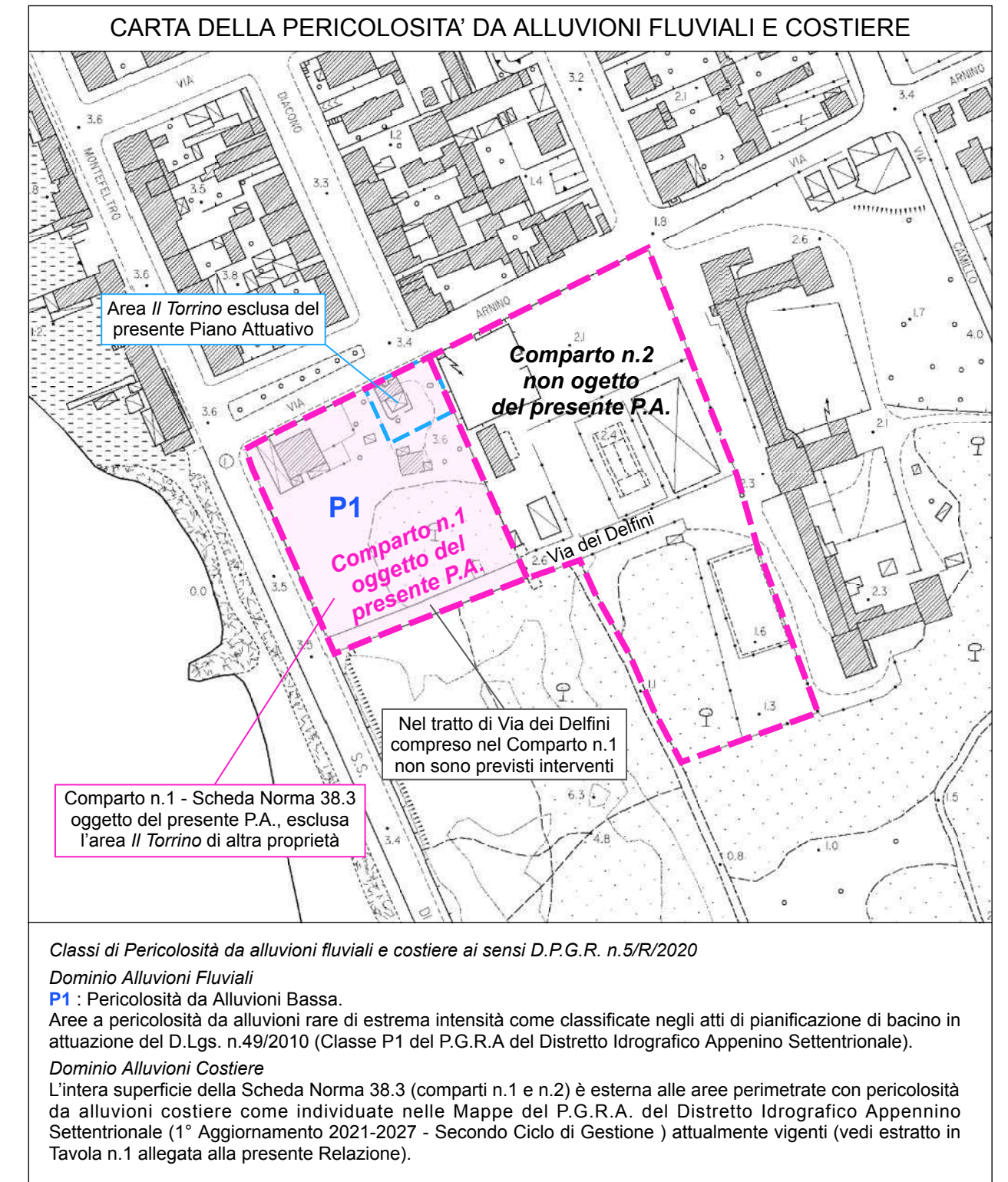
CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA



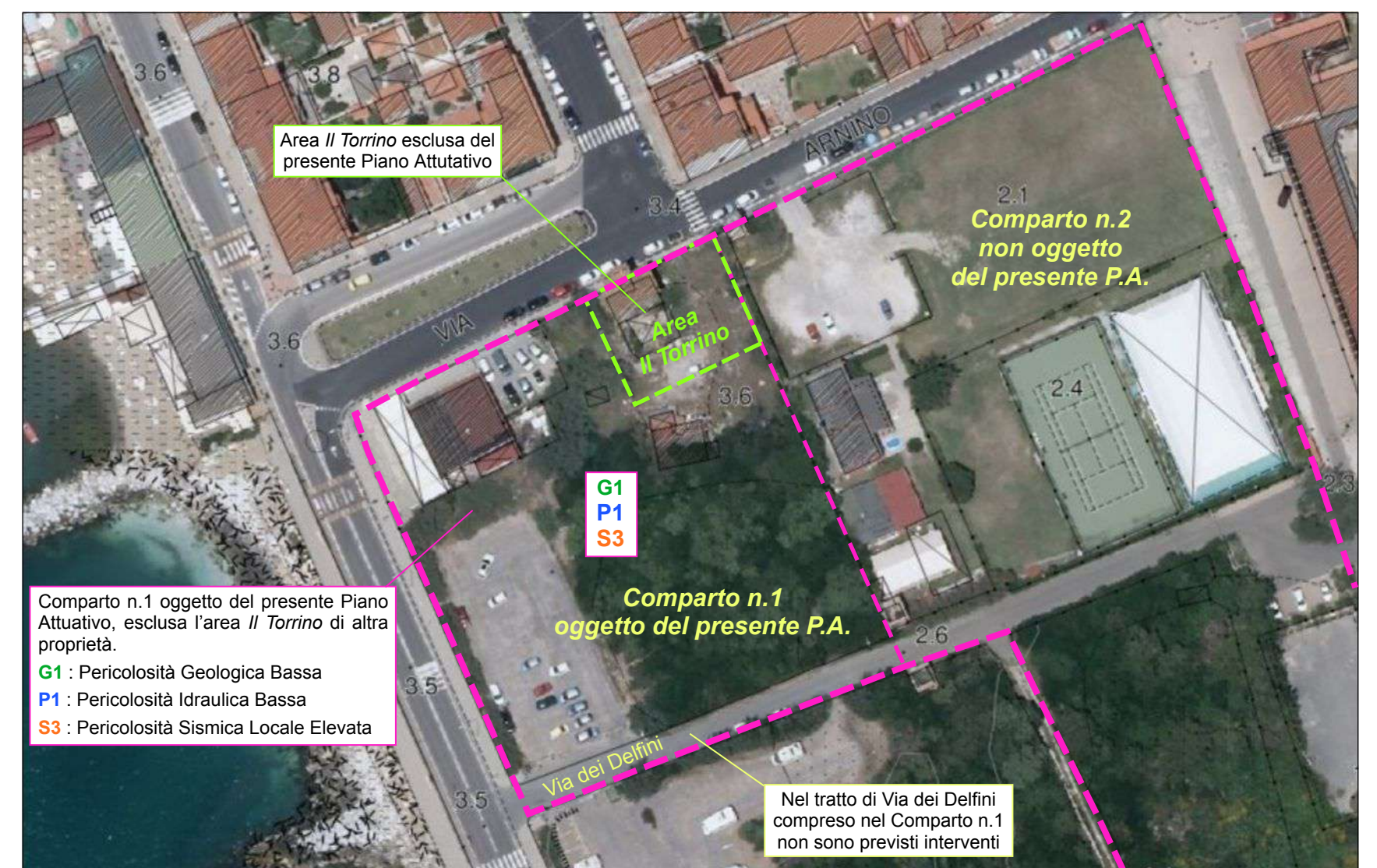
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI E COSTIERE



MAPPA RIEPILOGATIVA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA LOCALE SU SOVRAPPOSTO ORTOFOTO REGIONE TOSCANA E CARTA TECNICA REGIONALE - SCALA 1:1.000



<i>Relazione Geologica di Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. n.5/R/2020)</i>			<i>PIANO ATTUATIVO COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 Marina di Pisa - Via Arnino</i>	<i>Luca Pignatelli - geologo</i>
<i>Emissione</i>	<i>1</i>	<i>11/08/2022</i>		<i>Proprietà/Proponente :</i>
<i>Revisione</i>	<i>/</i>			<i>Sig. Mastandrea Stefano</i>

- ELABORATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1, CPT2;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE GEOSISMICA MASW;
- RAPPORTO SULL'INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR4 DI RIFERIMENTO
PER IL COMPARTO IN OGGETTO
(FONTE : STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE DI LIVELLO 1);
- TABELLA RIEPILOGATIVA DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE;

APPENDICE



GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)

Cell. 339-1344492

geoservizipisa@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA STATICA

ELABORAZIONE NUMERICA DEI RISULTATI

Committente: Sig. Mastandrea Stefano
Località: Marina di Pisa
Cantiere: Via Arnino
Data: 23/10/20
N. prove: 2


Caratteristiche del sistema

Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani
Punta meccanica tipo "Begemann"
Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°
Ap=10 cm²; At=20 cm²; Am=150 cm²
Velocità di avanzamento = 2 cm/sec
peso aste interne: 0,130 Kg
passo di lettura: 20 cm


LEGENDA

#####	aot	argilla organica e/o torba	Qc	Resistenza alla Punta (Kg/cmq)
=====	a	argilla	Fs	Attrito laterale unitario (Kg/cmq)
=====	al	argilla limosa	Qc/Fs	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
			$m_v$	Coeff. di compressibilità volum.

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

<div>  <p> <b>prove totali:</b> 2  <b>Prova numero:</b> 1  <b>Committente:</b> Sig. Mastandrea Stefano  <b>Località:</b> Marina di Pisa  <b>Cantiere:</b> Via Arnino  <b>Data:</b> 23/10/20  <b>profondità massima:</b> 15  <b>quota falda:</b> 2,7  <b>quota piano campagna:</b> </p> </div>			
certificato num: 148/2020			
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			32
0,4			47
0,6	60	66	71
0,8	37	44	82
1	55	70	111
1,2	75	98	152
1,4	99	110	170
1,6	78	101	176
1,8	82	112	164
2	68	90	165
2,2	64	90	146
2,4	44	63	106
2,6	24	40	85
2,8	25	41	68
3	25	42	73
3,2	31	46	85
3,4	34	48	87
3,6	45	62	96
3,8	43	61	142
4	102	122	176
4,2	137	170	260
4,4	150	181	292
4,6	122	161	271
4,8	101	123	201
5	85	110	189
5,2	76	98	168
5,4	58	78	170
5,6	76	95	178
5,8	81	109	176
6	64	84	174
6,2	78	105	177
6,4	83	108	175
6,6	69	92	172
6,8	78	106	178
7	81	103	172
7,2	63	93	153
7,4	60	84	148
7,6	60	70	148
7,8	74	96	151
8	66	80	148
8,2	65	87	140
8,4	31	48	114
8,6	68	82	128
8,8	44	54	128
9	71	92	137
9,2	55	73	126
9,4	51	72	163
9,6	92	106	134
9,8	31	44	138
10	31	47	140

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p> <b>prove totali:</b> 2  <b>Prova numero:</b> 1  <b>Committente:</b> Sig. Mastandrea Stefano  <b>Località:</b> Marina di Pisa  <b>Cantiere:</b> Via Arnino  <b>Data:</b> 23/10/20         </p>			
<b>profondità massima:</b> 15 <b>quota falda:</b> 2,7 <b>quota piano campagna:</b>		<b>certificato num:</b> 148/2020	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
10,2	56	77	127
10,4	81	101	164
10,6	41	48	107
10,8	6	18	85
11	13	18	81
11,2	18	20	143
11,4	75	80	175
11,6	61	80	153
11,8	42	60	134
12	40	50	124
12,2	32	44	114
12,4	33	41	124
12,6	36	50	143
12,8	42	51	144
13	36	50	148
13,2	38	50	140
13,4	29	38	142
13,6	48	58	165
13,8	71	80	180
14	55	69	190
14,2	51	62	160
14,4	22	43	132
14,6	21	41	143
14,8	47	55	159
15	49	58	161
15,2			
15,4			
15,6			
15,8			
16			
16,2			
16,4			
16,6			
16,8			
17			
17,2			
17,4			
17,6			
17,8			
18			
18,2			
18,4			
18,6			
18,8			
19			
19,2			
19,4			
19,6			
19,8			
20			





**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 1

Data: 23/10/20

Committente: Sig. Mastandrea Stefano

Località: Marina di Pisa

Cantiere: Via Arnino

Profondità massima: 15,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,7 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna	lito_
[metri]	[Kg/cmq]	[Kg/cmq]		[Kgf]	[Kg/dmc]	[Kg/cmq]	[gradi]	[%]	[Kg/cmq]	[cmq/t]	stratig.	logia
0,2				331	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				481	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	61,1	0,40	153	721	1,91	0,11	44	100	-	5,5		sm
0,8	38,3	0,47	82	833	1,79	0,15	41	79	-	8,7		sm
1	56,3	1,00	56	1123	1,88	0,18	42	87	-	5,9		sm
1,2	76,3	1,53	50	1533	1,98	0,22	42	93	-	4,4		sm
1,4	100,3	0,73	137	1713	2,10	0,27	43	98	-	3,3		sdg
1,6	79,3	1,53	52	1773	2,00	0,31	41	87	-	4,2		sm
1,8	83,4	2,00	42	1654	2,02	0,35	32	-	-	4,0		sl
2	69,4	1,47	47	1664	1,95	0,38	32	-	-	4,8		sl
2,2	65,4	1,73	38	1474	1,93	0,42	31	-	-	5,1		sl
2,4	45,4	1,27	36	1074	1,83	0,46	30	-	-	7,3		sl
2,6	25,4	1,07	24	864	1,93	0,50	-	-	1,00	15,8		al
2,8	26,5	1,07	25	695	1,94	0,52	-	-	1,04	15,1		al
3	26,5	1,13	23	745	1,94	0,54	-	-	1,04	15,1		al
3,2	32,5	1,00	33	865	1,76	0,55	29	-	-	10,3		sl
3,4	35,5	0,93	38	885	1,78	0,57	29	-	-	9,4		sl
3,6	46,5	1,13	41	975	1,83	0,58	30	-	-	7,2		sl
3,8	44,7	1,20	37	1437	1,82	0,60	30	-	-	7,5		sl
4	103,7	1,33	78	1777	2,10	0,62	39	81	-	3,2		sdg
4,2	138,7	2,20	63	2617	2,10	0,64	41	90	-	2,4		sdg
4,4	151,7	2,07	73	2937	2,10	0,67	41	92	-	2,2		sdg
4,6	123,7	2,60	48	2727	2,10	0,69	35	-	-	2,7		sl
4,8	102,8	1,47	70	2028	2,10	0,71	39	77	-	3,2		sdg
5	86,8	1,67	52	1908	2,03	0,73	38	71	-	3,8		sm
5,2	77,8	1,47	53	1698	1,99	0,75	37	66	-	4,3		sm
5,4	59,8	1,33	45	1718	1,90	0,77	31	-	-	5,6		sl
5,6	77,8	1,27	61	1798	1,99	0,79	37	65	-	4,3		sm
5,8	82,9	1,87	44	1779	2,01	0,81	32	-	-	4,0		sl
6	65,9	1,33	49	1759	1,93	0,83	36	59	-	5,1		sm
6,2	79,9	1,80	44	1789	2,00	0,85	32	-	-	4,2		sl
6,4	84,9	1,67	51	1769	2,02	0,87	37	66	-	3,9		sm
6,6	70,9	1,53	46	1739	1,95	0,89	32	-	-	4,7		sl
6,8	80,0	1,87	43	1800	2,00	0,91	32	-	-	4,2		sl
7	83,0	1,47	57	1740	2,02	0,93	36	64	-	4,0		sm
7,2	65,0	2,00	33	1550	1,93	0,95	31	-	-	5,1		sl
7,4	62,0	1,60	39	1500	1,91	0,96	31	-	-	5,4		sl
7,6	62,0	0,67	93	1500	1,91	0,98	35	53	-	5,4		sm
7,8	76,2	1,47	52	1532	1,98	1,00	36	59	-	4,4		sm
8	68,2	0,93	73	1502	1,94	1,02	35	55	-	4,9		sm
8,2	67,2	1,47	46	1422	1,94	1,04	31	-	-	5,0		sl
8,4	33,2	1,13	29	1162	1,77	1,05	29	-	-	10,0		sl
8,6	70,2	0,93	75	1302	1,95	1,07	35	55	-	4,8		sm
8,8	46,3	0,67	69	1303	1,83	1,09	32	40	-	7,2		sm
9	73,3	1,40	52	1393	1,97	1,11	35	56	-	4,5		sm
9,2	57,3	1,20	48	1283	1,89	1,13	31	-	-	5,8		sl
9,4	53,3	1,40	38	1653	1,87	1,14	31	-	-	6,3		sl
9,6	94,3	0,93	101	1363	2,07	1,17	36	63	-	3,5		sm
9,8	33,4	0,87	39	1404	1,77	1,18	29	-	-	10,0		sl
10	33,4	1,07	31	1424	1,77	1,20	29	-	-	10,0		sl



**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 1

Data: 23/10/20

Committente: Sig. Mastandrea Stefano

Località: Marina di Pisa

Cantiere: Via Arnino

Profondità massima: 15,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,7 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna stratig.	lito_ logia
[metri]	[Kg/cm ² ]	[Kg/cm ² ]		[Kg]	[Kg/dm ³ ]	[Kg/cm ² ]	[gradi]	[%]	[Kg/cm ² ]	[cm ² /t]		
10,2	58,4	1,40	42	1294	1,89	1,21	31	-	-	5,7	~~~~~	sl
10,4	83,4	1,33	63	1664	2,02	1,23	35	58	-	4,0	~~~~~	sm
10,6	43,4	0,47	93	1094	1,82	1,25	31	35	-	7,7	~~~~~	sm
10,8	8,6	0,80	11	876	1,52	1,26	-	-	0,29	40,5	#####	aot
11	15,6	0,33	47	836	1,68	1,27	-	-	0,57	17,5	~~~~~	l
11,2	20,6	0,13	154	1456	1,70	1,29	28	8	-	16,2	~~~~~	sm
11,4	77,6	0,33	233	1776	1,99	1,31	34	54	-	4,3	~~~~~	sm
11,6	63,6	1,27	50	1556	1,92	1,33	33	47	-	5,2	~~~~~	sm
11,8	44,7	1,20	37	1367	1,82	1,34	30	-	-	7,5	~~~~~	sl
12	42,7	0,67	64	1267	1,81	1,36	31	32	-	7,8	~~~~~	sm
12,2	34,7	0,80	43	1167	1,77	1,37	29	-	-	9,6	~~~~~	sl
12,4	35,7	0,53	67	1267	1,78	1,39	29	26	-	9,3	~~~~~	sm
12,6	38,7	0,93	41	1457	1,79	1,41	30	-	-	8,6	~~~~~	sl
12,8	44,8	0,60	75	1468	1,82	1,42	31	33	-	7,4	~~~~~	sm
13	38,8	0,93	42	1508	1,79	1,44	30	-	-	8,6	~~~~~	sl
13,2	40,8	0,80	51	1428	1,80	1,45	30	29	-	8,2	~~~~~	sm
13,4	31,8	0,60	53	1448	1,76	1,47	28	21	-	10,5	~~~~~	sm
13,6	50,8	0,67	76	1678	1,85	1,49	31	36	-	6,6	~~~~~	sm
13,8	74,0	0,60	123	1830	1,97	1,51	33	49	-	4,5	~~~~~	sm
14	58,0	0,93	62	1930	1,89	1,52	32	40	-	5,8	~~~~~	sm
14,2	54,0	0,73	74	1630	1,87	1,54	31	38	-	6,2	~~~~~	sm
14,4	25,0	1,40	18	1350	1,93	1,56	-	-	0,94	16,0	=====	a
14,6	24,0	1,33	18	1460	1,93	1,58	-	-	0,89	16,7	=====	a
14,8	50,1	0,53	94	1621	1,85	1,60	31	34	-	6,7	~~~~~	sm
15	52,1	0,60	87	1641	1,86	1,61	31	35	-	6,4	~~~~~	sm
15,2												
15,4												
15,6												
15,8												
16												
16,2												
16,4												
16,6												
16,8												
17												
17,2												
17,4												
17,6												
17,8												
18												
18,2												
18,4												
18,6												
18,8												
19												
19,2												
19,4												
19,6												
19,8												
20												



**GEOSERVIZI S.N.C.**

di Cosco e Spadaro

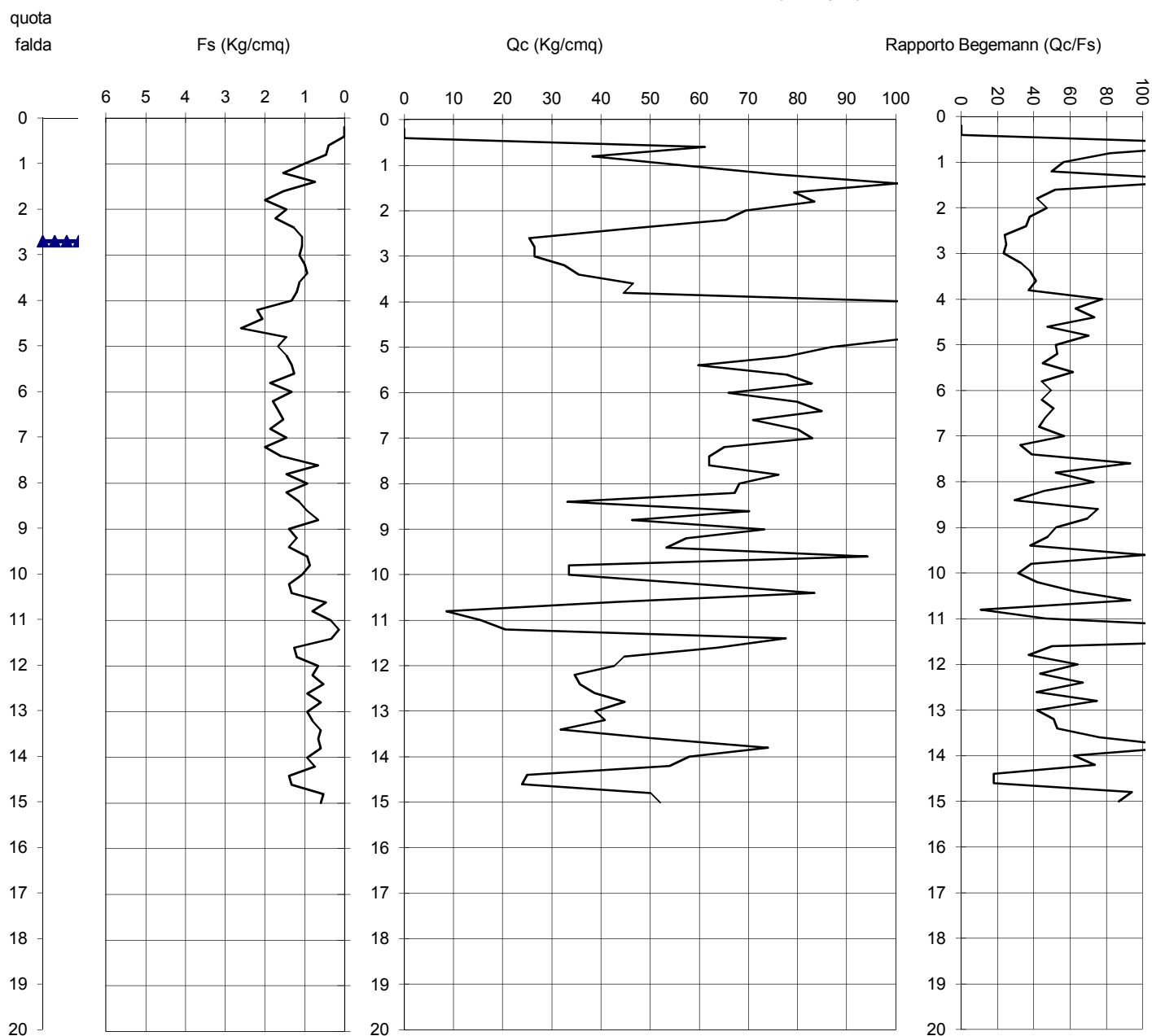
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)

Cell. 339-1344492

Prova numero	1
Committente	Sig. Mastandrea Stefano
Località	Marina di Pisa
Cantiere	Via Arnino
Data	23/10/20


Profondità massima (m): 15

Quota falda (m dal p.c.): 2,7




PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

<div>  <p> <b>prove totali:</b> 2  <b>Prova numero:</b> 2  <b>Committente:</b> Sig. Mastandrea Stefano  <b>Località:</b> Marina di Pisa  <b>Cantiere:</b> Via Arnino  <b>Data:</b> 23/10/20         </p> </div>			
certificato num: 149/2020		<b>profondità massima:</b> 15 <b>quota falda:</b> 2,8 <b>quota piano campagna:</b>	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			7
0,4			13
0,6	19	22	24
0,8	20	25	41
1	30	39	64
1,2	47	57	104
1,4	76	90	115
1,6	99	122	177
1,8	90	116	170
2	77	107	171
2,2	103	135	173
2,4	78	115	162
2,6	95	126	198
2,8	67	78	201
3	85	105	162
3,2	61	88	144
3,4	37	48	128
3,6	37	50	80
3,8	31	46	84
4	42	54	114
4,2	70	82	143
4,4	97	114	197
4,6	140	169	283
4,8	171	209	312
5	165	189	321
5,2	143	180	244
5,4	97	114	214
5,6	96	120	199
5,8	66	78	171
6	70	97	153
6,2	72	90	156
6,4	81	101	165
6,6	97	119	181
6,8	88	109	181
7	84	100	184
7,2	92	105	185
7,4	66	89	186
7,6	59	80	141
7,8	68	83	146
8	66	81	160
8,2	72	91	157
8,4	67	90	158
8,6	84	101	170
8,8	77	91	168
9	80	93	153
9,2	46	59	124
9,4	47	65	113
9,6	60	80	124
9,8	75	91	118
10	69	93	125

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p> <b>prove totali:</b> 2  <b>Prova numero:</b> 2  <b>Committente:</b> Sig. Mastandrea Stefano  <b>Località:</b> Marina di Pisa  <b>Cantiere:</b> Via Arnino  <b>Data:</b> 23/10/20         </p>			
<b>profondità massima:</b> 15 <b>quota falda:</b> 2,8 <b>quota piano campagna:</b>		<b>certificato num:</b> 149/2020	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
10,2	38	51	113
10,4	27	40	124
10,6	58	66	82
10,8	42	64	157
11	86	94	137
11,2	68	83	117
11,4	17	33	96
11,6	11	25	91
11,8	16	21	91
12	38	57	86
12,2	49	71	82
12,4	22	40	81
12,6	9	23	131
12,8	77	87	136
13	50	70	166
13,2	67	80	176
13,4	76	80	177
13,6	71	82	20
13,8	73	91	210
14	80	101	201
14,2	44	54	188
14,4	42	55	132
14,6	23	48	130
14,8	16	33	128
15	15	30	125
15,2			
15,4			
15,6			
15,8			
16			
16,2			
16,4			
16,6			
16,8			
17			
17,2			
17,4			
17,6			
17,8			
18			
18,2			
18,4			
18,6			
18,8			
19			
19,2			
19,4			
19,6			
19,8			
20			





**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 2

Data: 23/10/20

Committente: Sig. Mastandrea Stefano

Località: Marina di Pisa

Cantiere: Via Arnino

Profondità massima: 15,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,8 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna	lito_
[metri]	[Kg/cmq]	[Kg/cmq]		[Kgf]	[Kg/dmc]	[Kg/cmq]	[gradi]	[%]	[Kg/cmq]	[cmq/t]	stratig.	logia
0,2				81	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				141	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	20,1	0,20	101	251	1,70	0,11	40	64	-	16,6		sm
0,8	21,3	0,33	64	423	1,71	0,14	39	59	-	15,7		sm
1	31,3	0,60	52	653	1,76	0,18	40	68	-	10,7		sm
1,2	48,3	0,67	72	1053	1,84	0,21	41	78	-	6,9		sm
1,4	77,3	0,93	83	1163	1,99	0,25	42	91	-	4,3		sm
1,6	100,3	1,53	65	1783	2,10	0,29	42	96	-	3,3		sdg
1,8	91,4	1,73	53	1714	2,06	0,33	42	90	-	3,6		sm
2	78,4	2,00	39	1724	1,99	0,37	32	-	-	4,3		sl
2,2	104,4	2,13	49	1744	2,10	0,42	41	90	-	3,2		sdg
2,4	79,4	2,47	32	1634	2,00	0,46	32	-	-	4,2		sl
2,6	96,4	2,07	47	1994	2,08	0,50	33	-	-	3,5		sl
2,8	68,5	0,73	93	2025	1,94	0,52	38	70	-	4,9		sm
3	86,5	1,33	65	1635	2,03	0,54	39	78	-	3,9		sm
3,2	62,5	1,80	35	1455	1,91	0,56	31	-	-	5,3		sl
3,4	38,5	0,73	53	1295	1,79	0,57	35	48	-	8,7		sm
3,6	38,5	0,87	44	815	1,79	0,59	30	-	-	8,7		sl
3,8	32,7	1,00	33	857	1,76	0,60	29	-	-	10,2		sl
4	43,7	0,80	55	1157	1,82	0,62	35	51	-	7,6		sm
4,2	71,7	0,80	90	1447	1,96	0,64	38	67	-	4,7		sm
4,4	98,7	1,13	87	1987	2,09	0,66	39	77	-	3,4		sm
4,6	141,7	1,93	73	2847	2,10	0,68	40	89	-	2,4		sdg
4,8	172,8	2,53	68	3138	2,10	0,70	41	95	-	1,9		sdg
5	166,8	1,60	104	3228	2,10	0,73	41	93	-	2,0		sdg
5,2	144,8	2,47	59	2458	2,10	0,75	40	88	-	2,3		sdg
5,4	98,8	1,13	87	2158	2,09	0,77	38	74	-	3,4		sm
5,6	97,8	1,60	61	2008	2,09	0,79	38	73	-	3,4		sm
5,8	67,9	0,80	85	1729	1,94	0,81	36	60	-	4,9		sm
6	71,9	1,80	40	1549	1,96	0,83	32	-	-	4,6		sl
6,2	73,9	1,20	62	1579	1,97	0,85	36	62	-	4,5		sm
6,4	82,9	1,33	62	1669	2,01	0,87	37	65	-	4,0		sm
6,6	98,9	1,47	67	1829	2,09	0,89	38	71	-	3,4		sm
6,8	90,0	1,40	64	1830	2,05	0,91	37	67	-	3,7		sm
7	86,0	1,07	81	1860	2,03	0,93	37	65	-	3,9		sm
7,2	94,0	0,87	109	1870	2,07	0,95	37	68	-	3,5		sm
7,4	68,0	1,53	44	1880	1,94	0,97	32	-	-	4,9		sl
7,6	61,0	1,40	44	1430	1,91	0,99	31	-	-	5,5		sl
7,8	70,2	1,00	70	1482	1,95	1,01	35	56	-	4,8		sm
8	68,2	1,00	68	1622	1,94	1,03	35	55	-	4,9		sm
8,2	74,2	1,27	59	1592	1,97	1,05	35	57	-	4,5		sm
8,4	69,2	1,53	45	1602	1,95	1,07	32	-	-	4,8		sl
8,6	86,2	1,13	76	1722	2,03	1,09	36	62	-	3,9		sm
8,8	79,3	0,93	85	1703	2,00	1,11	35	58	-	4,2		sm
9	82,3	0,87	95	1553	2,01	1,13	35	59	-	4,1		sm
9,2	48,3	0,87	56	1263	1,84	1,15	32	41	-	6,9		sm
9,4	49,3	1,20	41	1153	1,85	1,16	31	-	-	6,8		sl
9,6	62,3	1,33	47	1263	1,91	1,18	31	-	-	5,4		sl
9,8	77,4	1,07	73	1204	1,99	1,20	35	56	-	4,3		sm
10	71,4	1,60	45	1274	1,96	1,22	32	-	-	4,7		sl



**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 2

Data: 23/10/20

Committente: Sig. Mastandrea Stefano

Località: Marina di Pisa

Cantiere: Via Arnino

Profondità massima: 15,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,8 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna stratig.	lito_ logia
[metri]	[Kg/cmq]	[Kg/cmq]		[Kgf]	[Kg/dmc]	[Kg/cmq]	[gradi]	[%]	[Kg/cmq]	[cmq/t]		
10,2	40,4	0,87	47	1154	1,80	1,24	30	-	-	8,2	~ ~ ~	sl
10,4	29,4	0,87	34	1264	1,75	1,25	28	-	-	11,3	~ ~ ~	sl
10,6	60,4	0,53	113	844	1,90	1,27	33	46	-	5,5	~ ~ ~	sm
10,8	44,6	1,47	30	1596	1,82	1,28	30	-	-	7,5	~ ~ ~	sl
11	88,6	0,53	166	1396	2,04	1,31	35	58	-	3,8	~ ~ ~	sm
11,2	70,6	1,00	71	1196	1,95	1,32	33	50	-	4,7	~ ~ ~	sm
11,4	19,6	1,07	18	986	1,92	1,34	-	-	0,73	19,8	=====	a
11,6	13,6	0,93	15	936	1,91	1,36	-	-	0,49	20,2	=====	a
11,8	18,7	0,33	56	937	1,69	1,38	28	4	-	17,8	~ ~ ~	ss
12	40,7	1,27	32	887	1,80	1,39	30	-	-	8,2	~ ~ ~	sl
12,2	51,7	1,47	35	847	1,86	1,41	31	-	-	6,4	~ ~ ~	sl
12,4	24,7	1,20	21	837	1,93	1,43	-	-	0,93	16,2	=====	a
12,6	11,7	0,93	13	1337	1,55	1,44	-	-	0,41	31,7	#####	aot
12,8	79,8	0,67	120	1388	2,00	1,46	34	52	-	4,2	~ ~ ~	sm
13	52,8	1,33	40	1688	1,86	1,48	31	-	-	6,3	~ ~ ~	sl
13,2	69,8	0,87	81	1788	1,95	1,49	33	47	-	4,8	~ ~ ~	sm
13,4	78,8	0,27	296	1798	1,99	1,51	33	51	-	4,2	~ ~ ~	sm
13,6	73,8	0,73	101	228	1,97	1,53	33	49	-	4,5	~ ~ ~	sm
13,8	76,0	1,20	63	2130	1,98	1,55	33	49	-	4,4	~ ~ ~	sm
14	83,0	1,40	59	2040	2,01	1,57	33	52	-	4,0	~ ~ ~	sm
14,2	47,0	0,67	70	1910	1,83	1,59	30	32	-	7,1	~ ~ ~	sm
14,4	45,0	0,87	52	1350	1,82	1,61	30	30	-	7,4	~ ~ ~	sm
14,6	26,0	1,67	16	1330	1,94	1,63	-	-	0,97	15,4	=====	a
14,8	19,1	1,13	17	1311	1,92	1,64	-	-	0,70	19,7	=====	a
15	18,1	1,00	18	1281	1,92	1,66	-	-	0,66	19,5	=====	a
15,2												
15,4												
15,6												
15,8												
16												
16,2												
16,4												
16,6												
16,8												
17												
17,2												
17,4												
17,6												
17,8												
18												
18,2												
18,4												
18,6												
18,8												
19												
19,2												
19,4												
19,6												
19,8												
20												



**GEOSERVIZI S.N.C.**

di Cosco e Spadaro

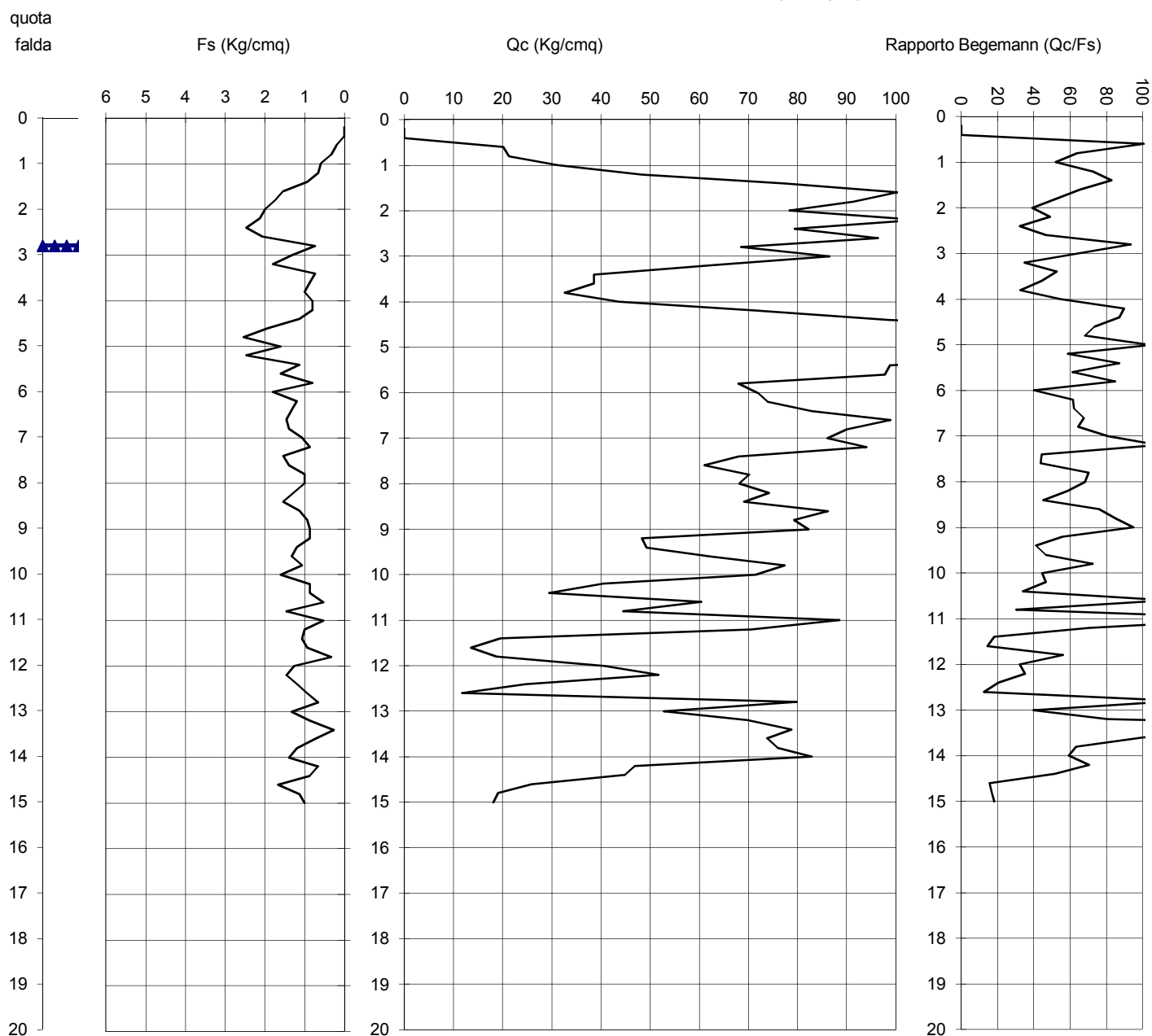
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)

Cell. 339-1344492

Prova numero	2
Committente	Sig. Mastandrea Stefano
Località	Marina di Pisa
Cantiere	Via Arnino
Data	23/10/20

Profondità massima (m): 15

Quota falda (m dal p.c.): 2,8



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI



# Andrea Casella Geologo

Piazza Berlinguer 38, 56017 Metato (San Giuliano Terme - PI)

## **INDAGINE GEOSISMICA MASW SU UN'AREA POSTA IN MARINA DI PISA (PI) ANGOLO VIA ARNINO / VIA LITORANEA**



**Comm.te: Dr. Geol. Luca Pignatelli  
x Mastandrea Stefano**

**MAGGIO 2020**



## INDAGINE GEOSISMICA MASW SU UN'AREA POSTA IN MARINA DI PISA (PI) ANGOLO VIA ARNINO / VIA LITORANEA.

### PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di una prospezione geosismica effettuata, mediante il metodo *MASW*, in un'area posta in comune di Pisa, loc. Marina di Pisa, nell'ambito di indagini geologico-tecniche in corso.

L'ubicazione della linea geosismica in oggetto è riportata nell'allegato estratto fotosat/CTR e nella documentazione fotografica.

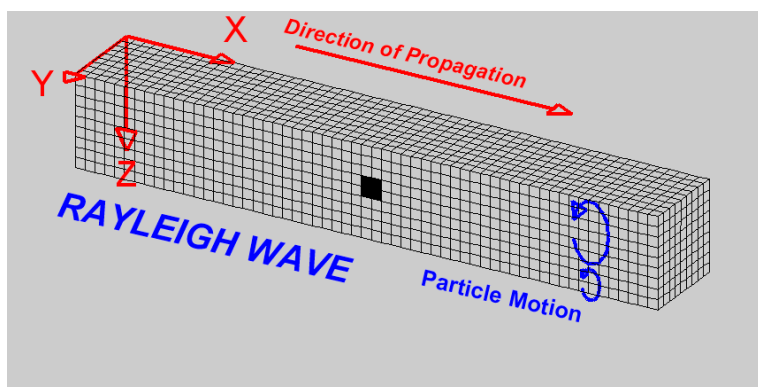
L'indagine *MASW* è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde S dei terreni presenti, al fine di determinare i parametri e coefficienti sismici per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

### GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde *di corpo* e onde *di superficie*. Fra queste ultime si hanno le onde di *Rayleigh*, le onde di *Love* e le onde di *Lamb*.

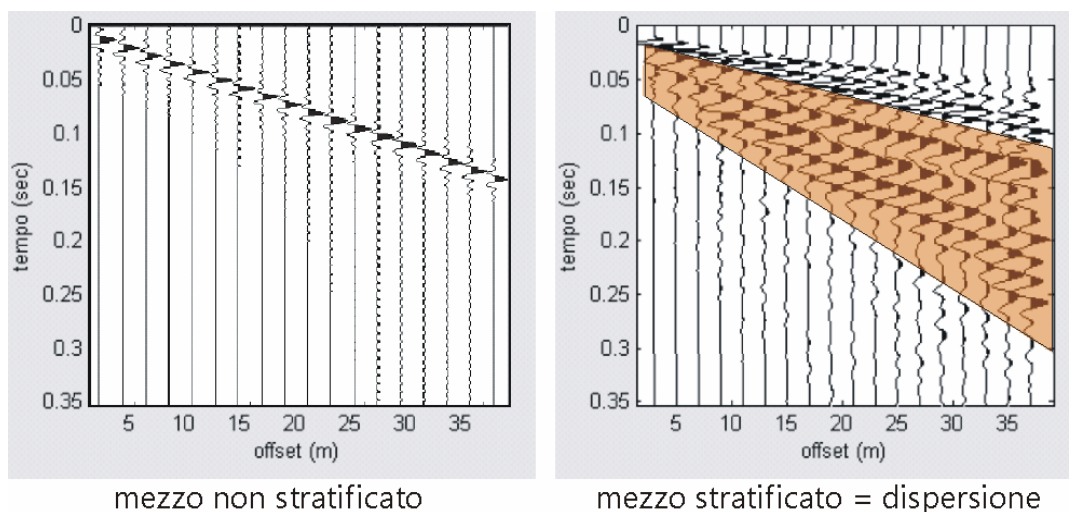
Le onde di *Rayleigh*, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.



Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, e si inverte a una profondità di  $\lambda/2\pi$ . L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di *Rayleigh* è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di  $r$ , e non con  $r$  come avviene per le onde di corpo. Le onde di *Rayleigh* presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di  $\lambda/2$  circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la  $V_s$  è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione. Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona  $\lambda_{\max}$ , e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.



La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana. E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

#### ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto è stata impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO "ECHO 24/2012 Seismic Unit"*, 24 bit, 24+1 canali, con software di acquisizione proprietario, touchscreen integrato e predisposizione per prove *HVSR*.

Il software di acquisizione dati è "*ECHO*"; l'attrezzatura comprende 2 cavi sismici a 12 *takes out* a spaziatura 5 m con connettori cannon, montati su rullo, geofoni verticali da 4,5 Hz, mazza di battuta con interruttore starter, piastra di battuta (per energizzazione verticale), cavo trigger montato su rullo. I tempi di acquisizione sono stati di 1000 ms.

Sono state effettuate varie rilevazioni, con offset minimo variabile da 3 a 8 m, passo intergeofonico di 2,0 e 4,0 m (12 o 24 geofoni) con acquisizioni in onde di *Rayleigh*.

#### INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 2018 Academy*, il quale (tra le numerose funzioni) consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio *Vs* tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici".

Tale programma è in grado di operare sui records in formato *.SGV* prodotti dalla strumentazione *Ambrogeo* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione in onde sia di *Love* che di *Rayleigh*, sia congiuntamente.

Dopo aver osservato i risultati degli spettri corrispondenti alle diverse energizzazioni (vedere allegato relativo), è stata effettuata una elaborazione per "modello diretto" relativamente alla risultanza del dispositivo aventi offset minimo di 6,0 m / 24 geofoni.

Alla presente relazione sono allegati il "common-shot gather" e lo spettro di velocità di fase relativi a tale rilevazione (dopo selezione della parte del sismogramma di interesse). Sullo spettro di fase sono sovrapposte le curve di dispersione (3 modi) relative al modello adottato, che è il seguente :

strato	1	2	3	4	5
VSv da Rayleigh (m/sec)	100	180	200	170	210
spessore (m)	0.9	3.5	4.0	7.0	

La sismostratigrafia ottenuta porta a una  $V_{seq}$  di 194 m/s (alla quota di -1,0 m da p.campagna).

Una successiva interpretazione è stata effettuata, adottando come modello di partenza quello di cui sopra, per *picking* e inversione.

Come si osserva negli allegati relativi, il risultato è analogo al precedente, con  $V_{seq}$  di 184-186 m/s (da p.campagna).

**ALLEGATI :**

- Ubicazione linea MASW su fotosat/CTR scala 1:1.000
- Documentazione fotografica
- Grafici common-shot gather e spettro di velocità di fase (onde Rayleigh) per gli shots effettuati
- Grafici common-shot gather e spettro di velocità di fase con modello diretto
- Grafici relativi all'elaborazione per picking e inversione
- Report relativo all'elaborazione per picking e inversione

San Giuliano T.me, 08.05.2020







scala

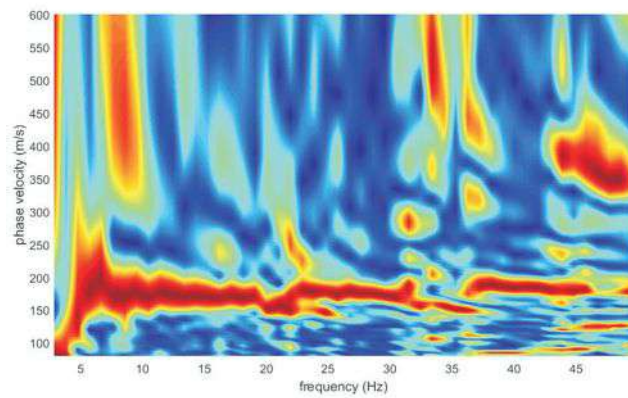
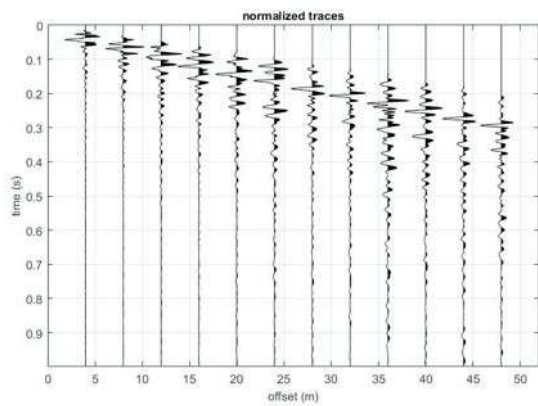
UBICAZIONE LINEA MASW  
ESTRATTO CTR/FOTOSAT  
SCALA 1:1.000



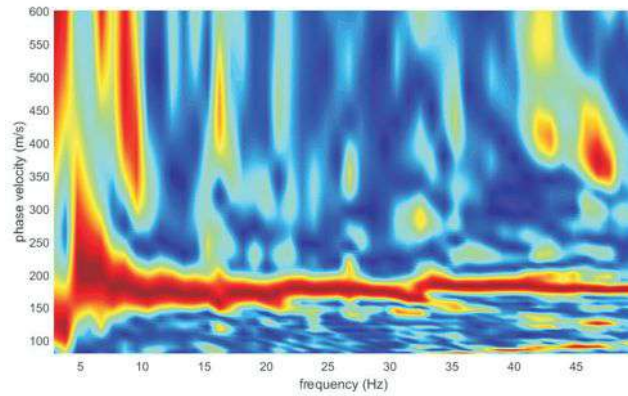
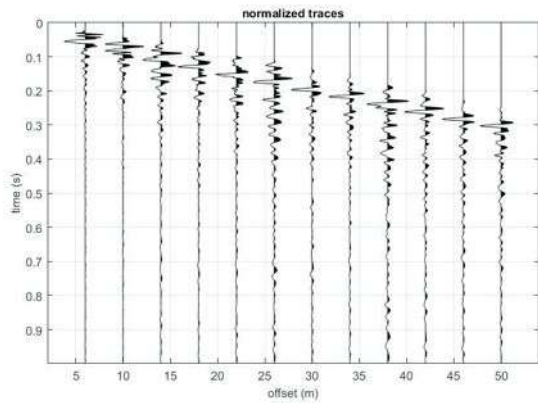


FOTO LINEA GEOSISMICA MASW

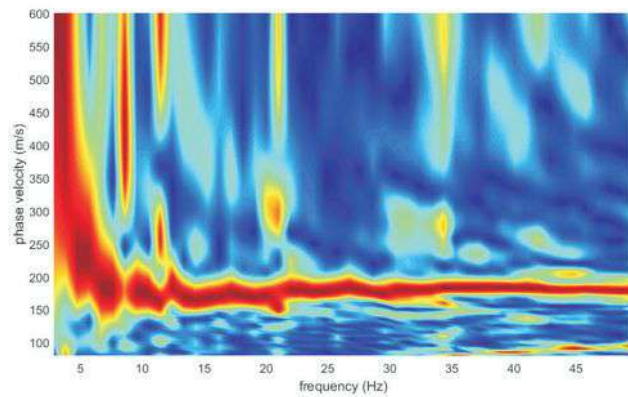
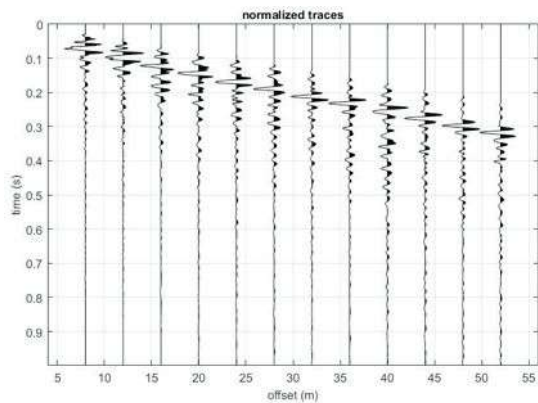




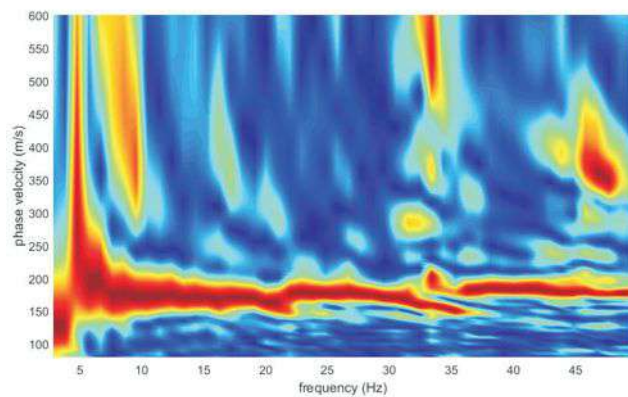
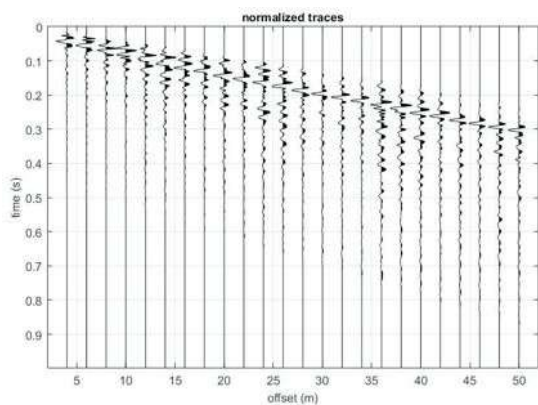
dataset: 4m.sgy  
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
minimum offset: 4 m  
geophone spacing: 4 m



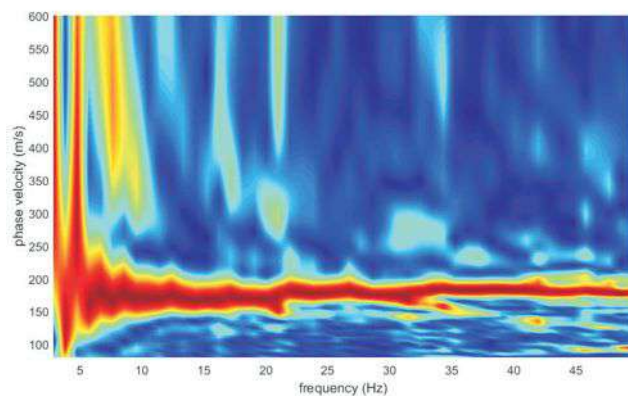
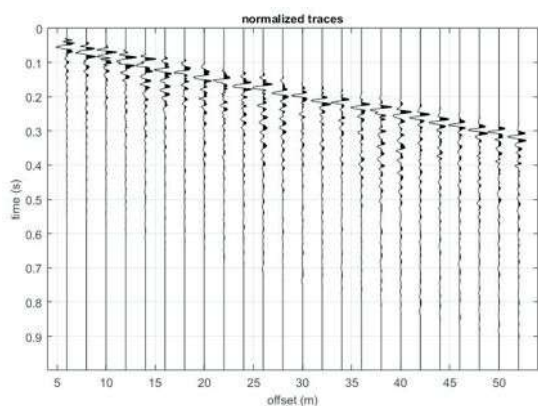
dataset: 6m.sgy  
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
minimum offset: 6 m  
geophone spacing: 4 m



dataset: 8m.sgy  
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
minimum offset: 8 m  
geophone spacing: 4 m



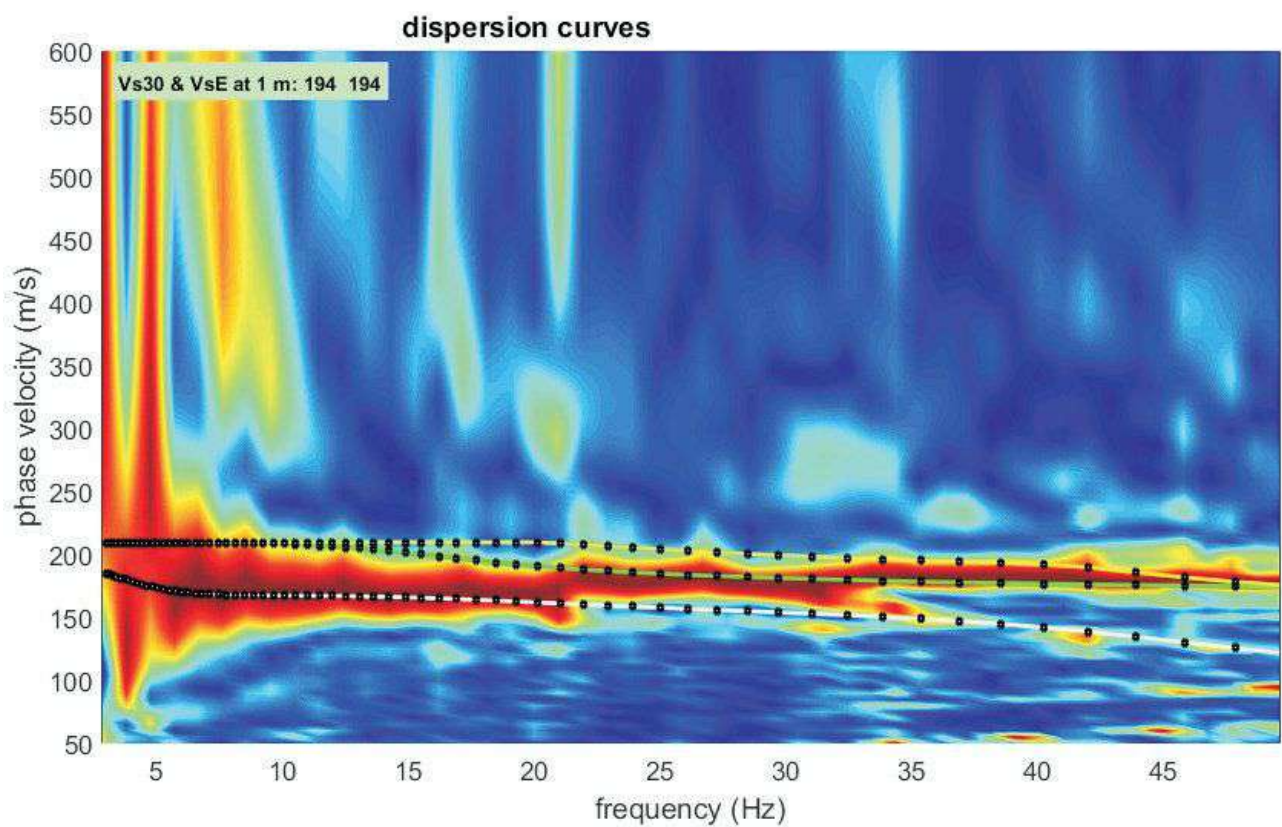
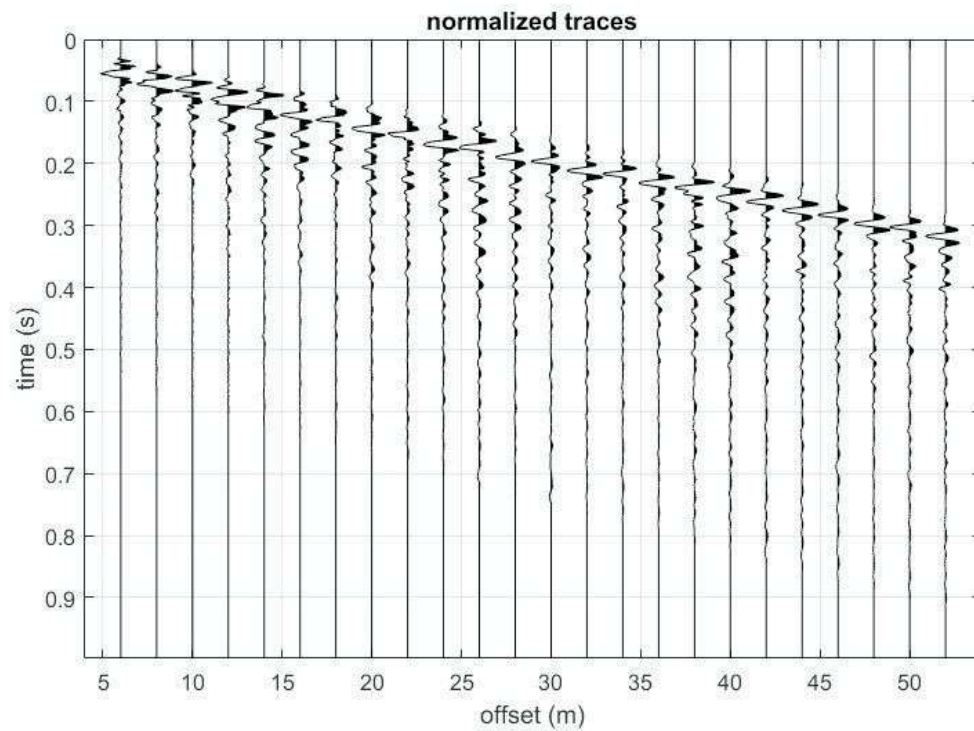
dataset: 4m-24.sgy  
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
minimum offset: 4 m  
geophone spacing: 2 m



dataset: 6m-24.sgy  
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
minimum offset: 6 m  
geophone spacing: 2 m

COMMON-SHOT GATHER E SPETTRI DI VELOCITA' DI FASE RELATIVI AI VARI SHOTS

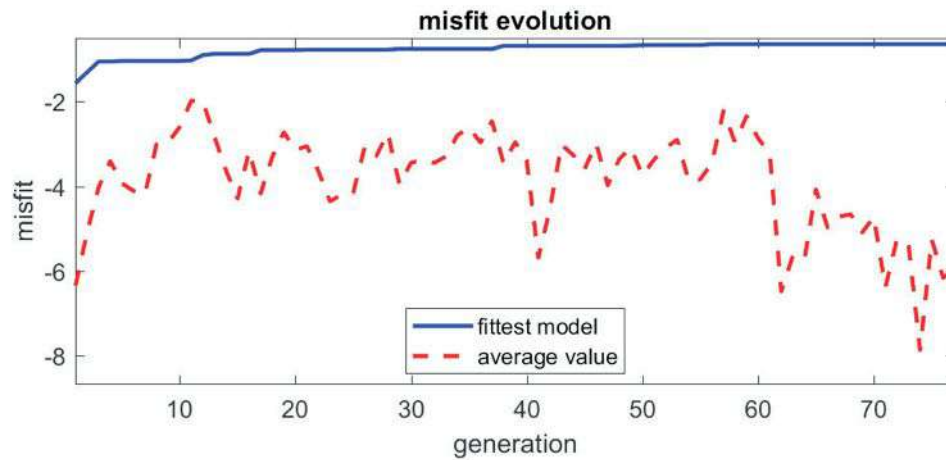
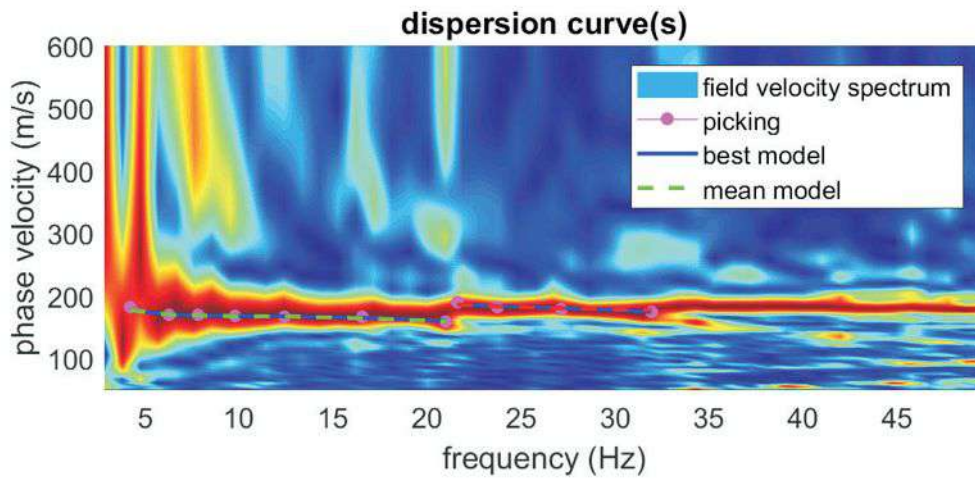
dataset: 6m-24.sgy-CLEAN.sgy  
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples  
 minimum offset: 6 m  
 geophone spacing: 2 m



Vs	Poisson	thickness
100	0.4	0.9
180	0.351	3.5
200	0.349	4
170	0.35	7
210	0.351	0

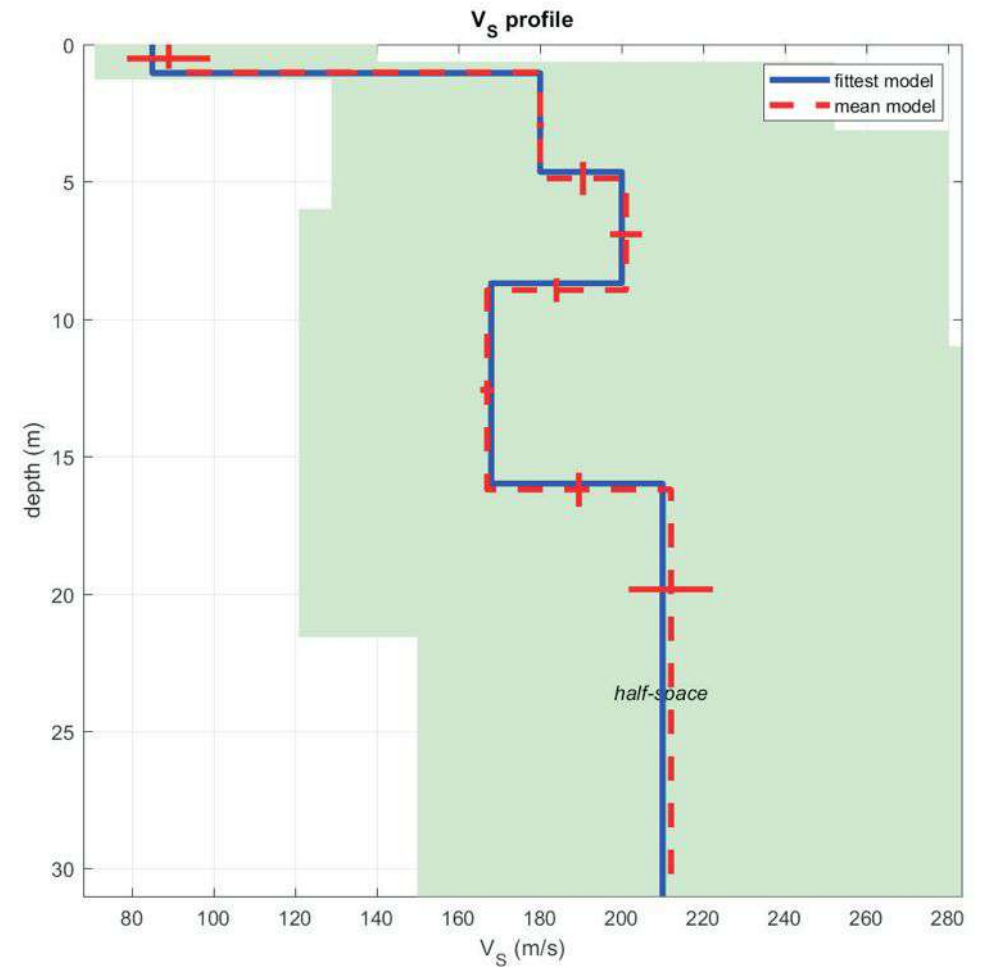
elaborazione da  
 modello diretto  
 shot a 24 geofoni  
 offset minimo = 6 m





layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	85	1.0399	1.0399
2	180	3.5977	4.6375
3	200	4.0539	8.6914
4	168	7.2955	15.9869
5	210	0	0

**best model**



**dataset: 6m-24.sgy-CLEAN.sgy**

**dispersion curve: picking-6-24₂.cdp**

**Vs30 & VsE (best model): 184 184 m/s**

**Vs30 & VsE (mean model): 186 186 m/s**

elaborazione per picking e inversione  
con riferimento ai dati dello shot  
a offset minimo = 6 m linea a 24 geofoni

## ELABORAZIONE PER PICKING E INVERSIONE

===== SECTION#1

dataset: 6m-24.sgy-CLEAN.sgy  
sampling (ms): 0.256  
minimum offset (m): 6  
geophone spacing (m): 2  
offsets (m): 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48  
50 52  
Dispersion curve: picking-6-24_2.cdp  
Number of individuals: 32  
Number of generations: 61

Rayleigh-wave dispersion analysis  
Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 71 129 143 121 150  
Adopted search space (maximum Vs): 140 252 280 238 294

Adopted search space (minimum Poisson): 0.20002 0.17567 0.17484 0.17506 0.17538  
Adopted search space (maximum Poisson): 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25 18 21  
Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5 36 42

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
Adopted search space (maximum reference frequency): 31.9471

Adopted search space (minimum thickness): 0.64286 2.5 2.8571 5  
Adopted search space (maximum thickness): 1.26 4.9 5.6 9.8

===== SECTION#2

Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-6.343	-1.5716
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-5.0831	-1.311
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-4.0229	-1.0593
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-3.4046	-1.0593
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-3.9291	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-4.1089	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-4.1848	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-3.0089	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-2.9645	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-2.6043	-1.0447
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-1.9842	-1.0326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-1.9922	-0.90733
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-2.8237	-0.87801
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-3.6219	-0.87801
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-4.292	-0.87801
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-3.1699	-0.87801
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-4.1723	-0.78958
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-3.307	-0.78958
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-2.7268	-0.78958
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-3.143	-0.78814
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-3.0533	-0.78142
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-3.6491	-0.78142
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-4.3578	-0.78142
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-4.1946	-0.78142
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-4.1551	-0.7808
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-3.0687	-0.7808
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-3.284	-0.7808
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-2.7446	-0.7808
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-3.9565	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-3.4457	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-3.3855	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits:	-3.4497	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits:	-3.2982	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits:	-2.8014	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits:	-2.6125	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits:	-2.9708	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits:	-2.4659	-0.76139
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits:	-3.4657	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits:	-2.9605	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits:	-3.392	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits:	-5.686	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits:	-4.5441	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits:	-3.0194	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits:	-3.2598	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits:	-3.595	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits:	-2.9903	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits:	-3.9781	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits:	-3.357	-0.68974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits:	-3.0906	-0.68394
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits:	-3.7465	-0.67329
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits:	-3.3736	-0.67329
Optimizing Vs & Thickness - generation: 52; average & best misfits:	-3.0961	-0.67328
Optimizing Vs & Thickness - generation: 53; average & best misfits:	-2.9029	-0.67328
Optimizing Vs & Thickness - generation: 54; average & best misfits:	-3.8727	-0.67328
Optimizing Vs & Thickness - generation: 55; average & best misfits:	-3.8368	-0.67328

Optimizing Vs & Thickness - generation: 56; average & best misfits: -3.4557 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 57; average & best misfits: -2.2276 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 58; average & best misfits: -2.9626 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 59; average & best misfits: -2.3469 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 60; average & best misfits: -2.8705 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 61; average & best misfits: -3.217 -0.64787

Adopted search space (minimum Vs): 71 129 143 121 150  
 Adopted search space (maximum Vs): 140 252 280 238 294

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25 18 21  
 Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5 36 42

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
 Adopted search space (maximum reference frequency): 31.9471

Adopted search space (minimum Poisson): 0.20002 0.17567 0.17484 0.17506 0.17538  
 Adopted search space (maximum Poisson): 0.497 0.497 0.497 0.497 0.497

Adopted search space (minimum thickness): 0.64286 2.5 2.8571 5  
 Adopted search space (maximum thickness): 1.26 4.9 5.6 9.8

Now a finer search around the most promising search space area

#### Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -6.4802 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -5.6415 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -5.7284 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -4.0737 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -4.9725 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -4.7145 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -4.6621 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -5.0901 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -4.7194 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -6.3838 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -5.2545 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -5.3741 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -7.8645 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -5.254 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -6.1619 -0.64787  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -5.9611 -0.64787

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 85 180 200 168 210  
 Thickness (m): 1 3.6 4.1 7.3

Number of models considered to calculate the average model: 111

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: 6m-24.sgy-CLEAN.sgy  
 Analyzed curve/spectrum: picking-6-24_2.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities  
 Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

#### MEAN MODEL

Vs (m/s): 89 180 201 167 212  
 Standard deviations (m/s): 10 1 4 2 10  
 Thickness (m): 1.0 3.9 4.1 7.3  
 Standard deviations (m): 0.1 0.6 0.4 0.6

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 210 499 394 355 454  
 Density (gr/cm3): 1.68 1.89 1.83 1.80 1.86  
 Vp/Vs ratio: 2.36 2.77 1.96 2.13 2.14  
 Poisson: 0.39 0.43 0.32 0.36 0.36  
 Shear modulus (MPa): 13 61 74 50 84  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

f (Hz)	VR(m/s)
4.22152	177.2146
6.27526	169.4973
7.84577	167.9419
9.7787	167.49
12.4365	166.8805

16.544        163.9854  
21.0139      159.2116

First higher mode

Mean model

21.6179        185.414  
23.7321        182.9383  
27.1751        179.8656  
31.9471        176.778

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 85   180   200   168   210  
thickness (m): 1.0399        3.5977        4.0539        7.2955

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):	203	633	381	373	442
Density (gr/cm3):	1.67	1.94	1.82	1.82	1.86
Vp/Vs ratio:	2.39	3.52	1.91	2.22	2.10
Poisson:	0.39	0.46	0.31	0.37	0.35
Shear modulus (MPa):	12	63	73	51	82
Estimated static shear modulus (MPa):	0	0	0	0	0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F (Hz)	VR(m/s)
4.22152	177.2835
6.27526	169.8272
7.84577	168.1889
9.7787	167.6734
12.4365	167.1145
16.544	164.5135
21.0139	159.8486

First higher mode)

best model

21.6179	185.7741
23.7321	183.3478
27.1751	180.3893
31.9471	173.9997

===== SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 31 m

Inversion quality: very good

Vs30 & VsE (mean model): 186   186 m/s  
Vs30 & VsE (best model): 184   184 m/s

=====

winMASW - Surface Waves & Beyond  
www.winmasw.com

**HVSR 4****Ubicazione:**

43°39'38.79"N

10°17'3.40"E

Via Arnino

Comune di Pisa (PI)

Strumento: TRZ-0195/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 08/05/00 02:04:09 Fine registrazione: 08/05/00 02:44:09

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h40'00". Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

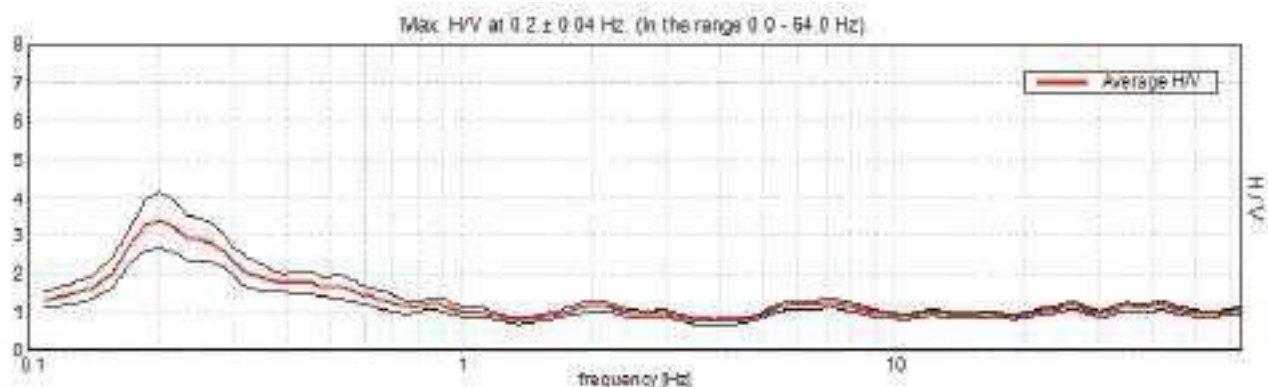
Lunghezza finestre: 50 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

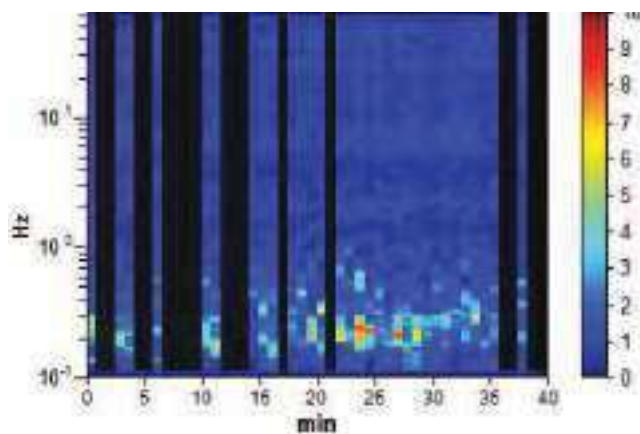
Lisciamento: 10%



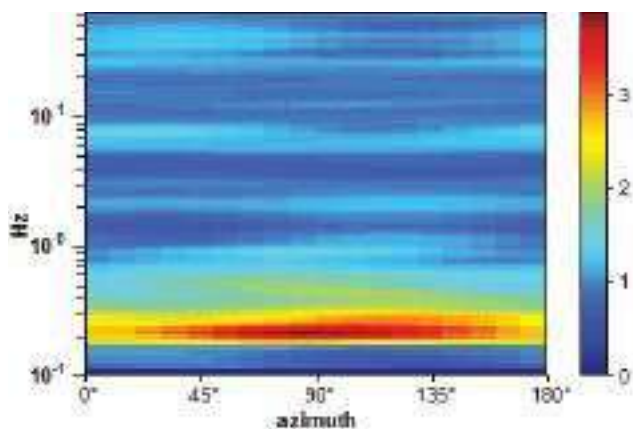
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



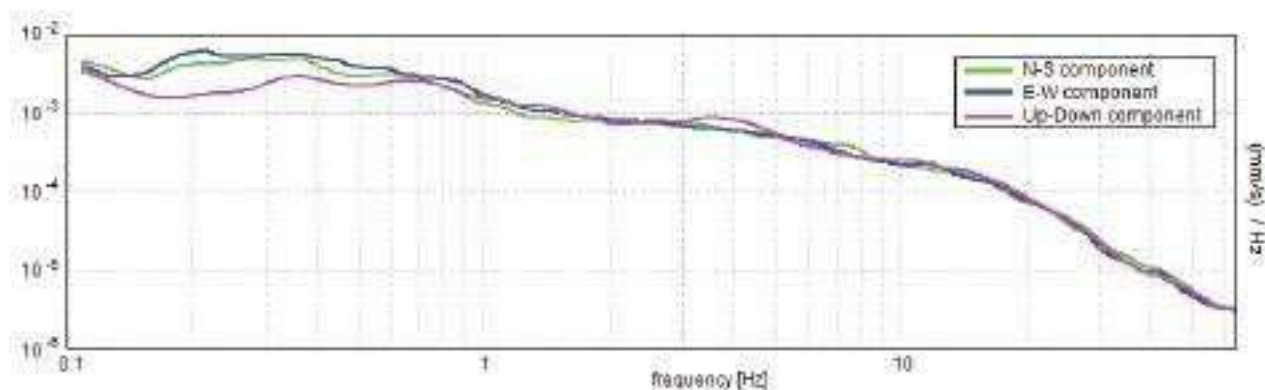
## SERIE TEMPORALE H/V



## DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





**Picco H/V a  $0.2 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz) con ampiezza pari a 3.2**

**Secondo picco H/V a 0.86Hz con ampiezza prossima a 1.3**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.20 > 0.20$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$314.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 20	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.141 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.40 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.19243  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03909 < 0.04063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7286 < 2.5$	OK	

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



Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TABELLA RIEPILOGATIVA DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE SECONDO IL *METODO DI ROBERTSON & WRIDE, 1997*

SITO OGGETTO DELLA VERIFICA : COMUNE DI PISA - COMPARTO N.1 - SCHEDA NORMA 38.3 - MARINA DI PISA – VIA ARNINO

VERTICALE DI RIFERIMENTO : PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT1 – MAX PROFONDITA' RAGGIUNTA DALLA PROVA CPT1 E DI CALCOLO : -15.00 m dal piano di campagna locale (p.c.)

Quota inizio-fine (m dal p.c.)	Qc (kPa)	fs (kPa)	γ (kN/m³)	σvo (kPa)	σ'vo (kPa)	Q n=1 (adim)	Q n=0.5 (adim)	F o Fr (%)	CN o Cq n=1 (adim)	CN o Cq n=0.5 (adim)	IC n=1 (adim)	IC n=0.5 (adim)	qc1N n=0.5 (adim)	Kc (adim)	(qc1N)cs (adim)	CRR7.5 Mw=7.5 (adim)	CRRcorr. (Mw=5.68, MSF=2,0364)	CRRcorr. (Mw=6.14, MSF=1,6684)	rd (adim)	CSR (adim)	FSLiq. Mw=5.68 (adim)	FSLiq. Mw=6.14 (adim)
0.00 - 0.20	0,000	0,000	17,65	3,530	3,530		-----	-----	28,720	5,359		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,99847	0,10345	-----	-----
0.20 - 0.40	0,000	0,000	17,65	7,061	7,061		-----	-----	14,360	3,789		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,99694	0,10329	-----	-----
0.40 - 0.60	5991,958	39,227	18,73	10,807	10,807	553,446	180,685	0,656	9,382	3,063	1,27	1,60	181,011	0,9620	174,139	0,57110	1,16300	0,9528	0,99541	0,10313	11,28	9,24
0.60 - 0.80	3756,007	46,092	17,55	14,318	14,318	261,329	98,202	1,232	7,082	2,661	1,68	1,98	98,578	1,2675	124,948	0,26142	0,53235	0,4361	0,99388	0,10298	5,17	4,24
0.80 - 1.00	5521,232	98,068	18,44	18,005	18,005	305,645	128,798	1,782	5,631	2,373	1,77	2,00	129,219	1,3031	168,390	0,52405	1,06719	0,8743	0,99235	0,10282	10,38	8,50
1.00 - 1.20	7482,593	150,044	19,42	21,889	21,889	340,846	158,366	2,011	4,632	2,152	1,79	1,98	158,830	1,2781	203,007	0,85807	1,74739	1,4316	0,99082	0,10266	17,02	13,94
1.20 - 1.40	9836,226	71,590	20,59	26,008	26,008	377,205	191,038	0,730	3,899	1,975	1,40	1,61	191,545	0,9717	186,133	0,67972	1,38420	1,1340	0,98929	0,10250	13,50	11,06
1.40 - 1.60	7776,797	196,136	19,61	29,930	29,930	258,830	140,625	2,532	3,388	1,841	1,94	2,09	141,168	1,4414	203,474	0,86344	1,75834	1,4405	0,98776	0,10234	17,18	14,08
1.60 - 1.80	8178,876	144,160	19,81	33,892	33,892	240,319	138,941	1,770	2,992	1,730	1,83	1,98	139,519	1,2720	177,468	0,59981	1,22146	1,0007	0,98623	0,10218	11,95	9,79
1.80 - 2.00	6805,923	169,658	19,12	37,717	37,717	179,447	109,445	2,507	2,688	1,640	2,02	2,16	110,055	1,5723	173,044	0,56189	1,14425	0,9374	0,98470	0,10202	11,22	9,19
2.00 - 2.20	6413,651	124,546	18,93	41,502	41,502	153,537	98,229	1,955	2,443	1,563	1,98	2,11	98,869	1,4761	145,940	0,36907	0,75159	0,6157	0,98317	0,10187	7,38	6,04
2.20 - 2.40	4452,290	104,933	17,95	45,092	45,092	97,739	65,179	2,381	2,249	1,500	2,18	2,30	65,846	1,9397	127,719	0,27375	0,55748	0,4567	0,98164	0,10171	5,48	4,49
2.40 - 2.60	2490,929	104,933	18,93	48,877	48,877	49,963	34,689	4,297	2,074	1,440	2,56	2,68	35,383	3,7783	133,690	0,30222	0,61544	0,5042	0,98011	0,10155	6,06	4,97
2.60 - 2.80 ( <b>L.F.</b> )	2598,804	98,068	19,03	52,682	51,701	49,247	35,166	3,852	1,961	1,400	2,53	2,64	35,893	3,5286	126,652	0,26894	0,54768	0,4487	0,97858	0,10331	5,30	4,34
2.80 - 3.00	2598,804	110,817	19,03	56,487	53,544	47,481	34,504	4,359	1,894	1,376	2,58	2,68	35,270	3,8153	134,566	0,30661	0,62439	0,5115	0,97705	0,10680	5,85	4,79
3.00 - 3.20	3187,212	98,068	17,26	59,939	55,034	56,824	41,864	3,136	1,842	1,357	2,43	2,52	42,666	2,8516	121,668	0,24750	0,50401	0,4129	0,97552	0,11008	4,58	3,75
3.20 - 3.40	3481,416	91,203	17,46	63,430	56,563	60,427	45,133	2,668	1,793	1,339	2,36	2,45	45,971	2,5048	115,148	0,22199	0,45206	0,3704	0,97399	0,11317	3,99	3,27
3.40 - 3.60	4560,165	110,817	17,95	67,020	58,191	77,214	58,495	2,466	1,742	1,320	2,26	2,34	59,367	2,0846	123,756	0,25627	0,52187	0,4275	0,97246	0,11604	4,50	3,68
3.60 - 3.80	4383,642	117,682	17,85	70,589	59,798	72,127	55,390	2,729	1,696	1,302	2,31	2,39	56,297	2,2610	127,285	0,27178	0,55347	0,4534	0,97093	0,11875	4,66	3,82
3.80 - 4.00	10169,658	130,431	20,59	74,708	61,955	162,939	127,367	1,292	1,637	1,279	1,83	1,91	128,310	1,1930	153,072	0,41355	0,84217	0,6900	0,96940	0,12111	6,95	5,70
4.00 - 4.20	13602,040	215,750	20,59	78,827	64,112	210,931	167,726	1,595	1,582	1,258	1,83	1,89	168,704	1,1789	198,884	0,81162	1,65280	1,3541	0,96787	0,12330	13,40	10,98
4.20 - 4.40	14876,925	203,001	20,59	82,946	66,269	223,241	180,477	1,372	1,530	1,237	1,76	1,82	181,489	1,1209	203,431	0,86295	1,75733	1,4397	0,96634	0,12532	14,02	11,49
4.40 - 4.60	12131,019	254,977	20,59	87,065	68,426	176,015	144,594	2,117	1,482	1,217	1,97	2,03	145,639	1,3327	194,096	0,76004	1,54776	1,2680	0,96481	0,12719	12,17	9,97
4.60 - 4.80	10081,396	144,160	20,59	91,184	70,583	141,539	118,091	1,443	1,437	1,199	1,91	1,96	119,169	1,2521	149,217	0,38898	0,79214	0,6490	0,96328	0,12894	6,14	5,03
4.80 - 5.00	8512,308	163,774	19,91	95,165	72,602	115,935	98,103	1,946	1,397	1,182	2,06	2,11	99,212	1,4715	145,990	0,36937	0,75219	0,6162	0,96175	0,13061	5,76	4,72
5.00 - 5.20	7629,695	144,160	19,52	99,068	74,543	101,023	86,620	1,914	1,360	1,166	2,10	2,15	87,760	1,5355	134,751	0,30755	0,62630	0,5131	0,96022	0,13222	4,74	3,88
5.20 - 5.40	5864,470	130,431	18,63	102,795	76,308	75,506	65,502	2,264	1,329	1,153	2,24	2,28	66,671	1,8803	125,362	0,26322	0,53603	0,4391	0,95869	0,13381	4,01	3,28
5.40 - 5.60	7629,695	124,546	19,52	106,698	78,249	96,142	84,458	1,656	1,296	1,138	2,07	2,11	85,656	1,4650	125,490	0,26378	0,53718	0,4401	0,95716	0,13523	3,97	3,25
5.60 - 5.80	8129,842	183,387	19,71	110,640	80,229	99,953	88,911	2,287	1,264	1,124	2,16	2,19	90,138	1,6390	147,740	0,37990	0,77364	0,6338	0,95563	0,13654	5,67	4,64
5.80 - 6.00	6462,685	130,431	18,93	114,426	82,053	77,368	69,598	2,055	1,236	1,112	2,20	2,24	70,853	1,7432	123,512	0,25523	0,51976	0,4258	0,95410	0,13786	3,77	3,09
6.00 - 6.20	7835,638	176,523	19,61	118,349	84,014	91,858	83,615	2,287	1,207	1,099	2,18	2,21	84,897	1,6832	142,900	0,35138	0,71556	0,5862	0,95257	0,13903	5,15	4,22
6.20 - 6.40	8325,978	163,774	19,81	122,310	86,013	95,377	87,845	1,996	1,179	1,086	2,13	2,15	89,155	1,5521	138,376	0,32642	0,66472	0,5446	0,95104	0,14012	4,74	3,89
6.40 - 6.60	6953,025	150,044	19,12	126,135	87,876	77,688	72,323	2,198	1,154	1,074	2,22	2,24	73,660	1,7651	130,014	0,28439	0,57913	0,4745	0,94951	0,14121	4,10	3,36
6.60 - 6.80	7845,445	183,387	19,61	130,058	89,837	85,882	80,839	2,377	1,129	1,062	2,22	2,23	82,202	1,7391	142,960	0,35173	0,71626	0,5868	0,94798	0,14219	5,04	4,13
6.80 - 7.00	8139,649	144,160	19,81	134,020	91,837	87,172	82,962	1,801	1,104	1,051	2,13	2,14	84,351	1,5229	128,459	0,27714	0,56437	0,4624	0,94645	0,14310	3,94	3,23
7.00 - 7.20	6374,424	196,136	18,93	137,805	93,660	66,588	63,998	3,145	1,083	1,040	2,38	2,39	65,412	2,2512	147,255	0,37696	0,76764	0,6289	0,94492	0,14405	5,33	4,37
7.20 - 7.40	6080,220	156,909	18,73	141,551	95,444	62,221	60,368	2,642	1,062	1,031	2,35	2,36	61,807	2,1138	130,648	0,28739	0,58526	0,4795	0,94339	0,14496	4,04	3,31
7.40 - 7.60	6080,220	65,706	18,73	145,298	97,229	61,041	59,774	1,107	1,043	1,021	2,11	2,11	61,237	1,4637	89,633	0,14697	0,29930	0,2452	0,94186	0,14583	2,05	1,68
7.60 - 7.80	7472,786	144,160	19,42	149,181	99,150	73,864	73,042	1,968	1,023	1,011	2,20	2,21	74,529	1,6696	124,436	0,25919	0,52783	0,4324	0,94033	0,14659	3,60	2,95
7.80 - 8.00	6688,242	91,203	19,03	152,986	100,993	64,710	64,582	1,396	1,004	1,002	2,15	2,15	66,093	1,5343	101,408	0,17698	0,36042	0,2953	0,93880	0,14734	2,45	2,00
8.00 - 8.20	6590,174	144,160	19,03	156,791	102,836	62,560	63,003	2,241	0,986	0,993	2,30	2,29	64,538	1,9023	122,770	0,25209	0,51337	0,4206	0,93727	0,14806	3,47	2,84
8.20 - 8.40	3255,860	110,817	17,36	160,263	104,346	29,667	30,095	3,580	0,972	0,986	2,67	2,67	31,653	3,6512	115,573	0,22357	0,45527	0,3730	0,93574	0,14891	3,06	2,50
8.40 - 8.60	6884,378	91,203	19,12	164,087	106,208	63,275	64,759	1,357	0,955	0,977	2,15	2,14	66,340	1,5161	100,580	0,17463	0,35561	0,2913	0,93421	0,14954	2,38	1,95
8.60 - 8.80	4540,551	65,706	17,95	167,677	107,836	40,551	41,819	1,503	0,940	0,970	2,33	2,32	43,423	1,9616	85,180	0,13748	0,27996	0,2294	0,93268	0,15026	1,86	1,53
8.80 - 9.00	7188,389	137,295	19,32	171,541	109,738	63,942	66,521	1,957	0,924	0,961	2,25	2,24	68,147	1,7376	118,409	0,23440	0,47733	0,3911	0,93115	0,15081	3,17	2,59
9.00 - 9.20	5619,300	117,682	18,53	175,248	111,483	48,833	51,205	2,162	0,910	0,954	2,36	2,35	52,853	2,0789	109,874	0,20336	0,41413	0				

SEGUE TABELLA RIEPILOGATIVA DELLA VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE SECONDO IL *METODO DI ROBERTSON & WRIDE, 1997*

Quota inizio-fine (m dal p.c.)	Qc (kPa)	fs (kPa)	γ (kN/m³)	σvo (kPa)	σ'vo (kPa)	Q n=1 (adim)	Q n=0.5 (adim)	F o Fr (%)	CN o Cq n=1 (adim)	CN o Cq n=0.5 (adim)	IC n=1 (adim)	IC n=0.5 (adim)	qc1N n=0.5 (adim)	Kc (adim)	(qc1N)cs (adim)	CRR7.5 Mw=7.5 (adim)	CRRcorr. (Mw=5.68, MSF=2,0364)	CRRcorr. (Mw=6.14, MSF=1,6684)	rd (adim)	CSR (adim)	FSLiq. Mw=5.68 (adim)	FSLiq. Mw=6.14 (adim)
9.80 - 10.00	3275,473	104,933	17,36	189,919	118,306	26,081	28,172	3,401	0,857	0,926	2,70	2,65	29,906	3,6755	109,920	0,20351	0,41444	0,3395	0,90700	0,15086	2,75	2,25
10.00 - 10.20	5727,175	137,295	18,53	193,626	120,051	46,093	50,155	2,481	0,845	0,919	2,42	2,38	51,910	2,2506	116,826	0,22829	0,46489	0,3809	0,90166	0,15068	3,09	2,53
10.20 - 10.40	8178,876	130,431	19,81	197,588	122,051	65,393	71,746	1,634	0,831	0,911	2,19	2,15	73,522	1,5544	114,285	0,21882	0,44561	0,3651	0,89632	0,15034	2,96	2,43
10.40 - 10.60	4256,154	46,092	17,85	201,157	123,658	32,792	36,214	1,137	0,820	0,906	2,33	2,28	38,010	1,8871	71,727	0,11432	0,23280	0,1907	0,89098	0,15017	1,55	1,27
10.60 - 10.80	843,385	78,454	14,91	204,138	124,677	5,127	5,685	12,273	0,813	0,902	3,60	3,47	7,501	13,6057	102,057	0,13501	0,27495	0,2253	0,88564	0,15024	1,83	1,50
10.80 - 11.00	1529,862	32,362	16,48	207,434	126,011	10,495	11,699	2,447	0,805	0,897	2,93	2,84	13,534	5,1203	69,300	0,11095	0,22595	0,1851	0,88030	0,15014	1,50	1,23
11.00 - 11.20	2020,202	12,749	16,67	210,768	127,383	14,205	15,921	0,705	0,796	0,892	2,55	2,46	17,776	2,5914	46,064	0,08909	0,18143	0,1486	0,87496	0,15000	1,21 (*)	0,99 (**)
11.20 - 11.40	7610,081	32,362	19,52	214,671	129,324	57,185	64,582	0,438	0,784	0,885	1,92	1,86	66,457	1,1524	76,588	0,12178	0,24799	0,2032	0,86962	0,14956	1,66	1,36
11.40 - 11.60	6207,708	124,546	18,83	218,437	131,128	45,675	51,942	2,079	0,773	0,879	2,38	2,32	53,836	2,0195	108,723	0,19952	0,40631	0,3329	0,86428	0,14917	2,72	2,23
11.60 - 11.80	4383,642	117,682	17,85	222,006	132,735	31,353	35,873	2,828	0,764	0,874	2,59	2,53	37,786	2,8984	109,518	0,20216	0,41169	0,3373	0,85894	0,14885	2,77	2,27
11.80 - 12.00	4187,506	65,706	17,75	225,557	134,324	29,496	33,949	1,658	0,755	0,869	2,46	2,40	35,882	2,2958	82,377	0,13199	0,26878	0,2202	0,85360	0,14851	1,81	1,48
12.00 - 12.20	3402,962	78,454	17,36	229,028	135,833	23,366	27,045	2,472	0,746	0,864	2,65	2,58	28,997	3,1792	92,186	0,15286	0,31128	0,2550	0,84826	0,14819	2,10	1,72
12.20 - 12.40	3501,030	51,976	17,46	232,519	137,362	23,795	27,695	1,590	0,738	0,859	2,53	2,45	29,666	2,5366	75,250	0,11963	0,24361	0,1996	0,84292	0,14784	1,65	1,35
12.40 - 12.60	3795,234	91,203	17,55	236,030	138,911	25,622	29,990	2,562	0,730	0,854	2,63	2,55	31,979	3,0472	97,444	0,16605	0,33815	0,2770	0,83758	0,14745	2,29	1,88
12.60 - 12.80	4393,449	58,841	17,85	239,600	140,519	29,561	34,800	1,417	0,722	0,849	2,42	2,35	36,807	2,1068	77,543	0,12336	0,25122	0,2058	0,83224	0,14703	1,71	1,40
12.80 - 13.00	3805,041	91,203	17,55	243,111	142,068	25,072	29,678	2,561	0,714	0,845	2,63	2,55	31,703	3,0622	97,082	0,16510	0,33620	0,2754	0,82690	0,14661	2,29	1,88
13.00 - 13.20	4001,177	78,454	17,65	246,641	143,636	26,139	31,111	2,090	0,706	0,840	2,57	2,48	33,155	2,6907	89,210	0,14603	0,29737	0,2436	0,82156	0,14616	2,03	1,67
13.20 - 13.40	3118,564	58,841	17,26	250,093	145,126	19,765	23,647	2,051	0,699	0,836	2,66	2,57	25,708	3,1317	80,510	0,12853	0,26175	0,2144	0,81622	0,14574	1,80	1,47
13.40 - 13.60	4981,857	65,706	18,14	253,722	146,793	32,210	38,755	1,390	0,691	0,831	2,39	2,31	40,835	1,9651	80,244	0,12805	0,26077	0,2136	0,81088	0,14521	1,80	1,47
13.60 - 13.80	7257,036	58,841	19,32	257,586	148,695	47,073	57,004	0,841	0,682	0,826	2,13	2,05	59,102	1,3681	80,859	0,12917	0,26304	0,2155	0,80554	0,14458	1,82	1,49
13.80 - 14.00	5687,947	91,203	18,53	261,293	150,440	36,072	43,938	1,681	0,674	0,821	2,40	2,31	46,054	1,9938	91,823	0,15200	0,30954	0,2536	0,80020	0,14400	2,15	1,76
14.00 - 14.20	5295,675	71,590	18,34	264,960	152,145	33,065	40,503	1,423	0,666	0,816	2,39	2,30	42,637	1,9363	82,558	0,13233	0,26948	0,2208	0,79486	0,14342	1,88	1,54
14.20 - 14.40	2451,701	137,295	18,93	268,746	153,969	14,178	17,471	6,289	0,659	0,812	3,07	2,97	19,622	6,4059	125,697	0,26470	0,53903	0,4416	0,78952	0,14278	3,78	3,09
14.40 - 14.60	2353,633	130,431	18,93	272,531	155,792	13,358	16,558	6,267	0,651	0,807	3,09	2,98	18,727	6,5559	122,769	0,25209	0,51335	0,4206	0,78418	0,14213	3,61	2,96
14.60 - 14.80	4913,210	51,976	18,14	276,160	157,459	29,449	36,699	1,121	0,644	0,802	2,37	2,27	38,884	1,8523	72,024	0,11475	0,23367	0,1914	0,77884	0,14153	1,65	1,35
14.80 - 15.00	5109,346	58,841	18,24	279,808	159,145	30,347	38,019	1,218	0,637	0,798	2,38	2,28	40,222	1,8774	75,513	0,12005	0,24446	0,2003	0,77350	0,14091	1,73	1,42

1,21 (*) per Mw = 5.68 : livelletto da cosiderarsi potenzialmente liquefacibile secondo il D.M. 17/01/2018 essendo FSLiq. < 1,25, ma non secondo il metodo di *Robertson & Wride* (FSLiq. > 1);

0,99 (**) per Mw = 6.14 : stesso livelletto da cosiderarsi potenzialmente liquefacibile sia secondo il D.M. 17/01/2018 (FSLiq. < 1,25) sia secondo il metodo di *Robertson & Wride* (FSLiq. < 1);

	Livelletti argilloso limosi / limoso argillosi intercalati alle sabbie che dovrebbero essere esclusi dalla verifica di liquefazione essendo IC > 2,60.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- ⇒ qc (kPa) = resistenza alla punta misurata del penetrometro statico (CPT); fs (kPa) = resistenza di attrito laterale misurata al manicotto della punta del penetrometro statico (CPT);
- ⇒ γ (kN/m³) = peso di volume; σvo (kPa) = pressione litostatica verticale; σ'vo (kPa) = pressione litostatica verticale efficace;
- ⇒ Q (adim.) : resistenza alla punta Qc normalizzata alla tensione litostatica e alla pressione atmosfericadi riferimento = [(Qc – σvo) / Pa]] * (Pa/σ'vo)ⁿ, con Pa = pressione atmosferica = 101,395 kPa (1 atm) e l’esponente n = 0,5 ottenuto attraverso l’iterazione prevista dal *Metodo di Robertson & Wride 1997* finalizzata al calcolo di IC;
- ⇒ F o Fr (%) : rapporto di frizione = [fs / (Qc – σvo)] * 100 per il calcolo di IC;
- ⇒ IC (adim.) : indice di comportamento del tipo di suolo = [(3,47 – log Q)² + (log Fr + 1,22)²]^{0.5};
- ⇒ qc1N (adim.) : resistenza alla punta qc corretta per tener conto della pressione litostatica = CN * (Qc / Pa), dove CN = (Pa / σ'vo)ⁿ ≤ 1,7 (con valore dell’esponente n uguale a quello utilizzato per il calcolo di IC);
- ⇒ Kc (adim.) : coefficiente di correzione della resistenza qc1N dovuta al contenuto di frazione fine (FC) = (-0,403 Ic⁴ + 5,581 Ic³ – 21,63 Ic² + 33,75 Ic – 17,88) per IC > 1,64,
- ⇒ (qc1N)cs (adim.) : resistenza alla punta qc1N corretta in relazione dal contenuto di frazione di fine = (qc1N * Kc);
- ⇒ CRR_{7,5} (adim.) : Cyclic Resistance Ratio (Rapporto di resistenza agli sforzi di taglio ciclico per un terremoto di magnitudo Mw di 7.5) = 93 * [(qc1N)cs / 1000]³ + 0,08 (se 50 ≤ (qc1N)cs < 160)
- ⇒ CRRcorr. (adim.): Rapporto di Resistenza agli sforzi di taglio ciclici corretto in relazione alla magnitudo momento Mw di riferimento per il sito = CRR_{7,5} * MSF;
- ⇒ MSF (adim.) : Magnitude Scaling Factor (Fattore di scala della magnitudo) = 10^{2,24} / Mw^{2,56} (*NCEER, Idriss, 1995 - 1997*), Mw di riferimento = 5.68 e 6.14 (da ZS9 – Zona Sismogenetica 916 Versilia-Chianti);
- ⇒ MSF per Mw 5.68 = 2,0364, MSF per Mw 6.14 = 1,6684;
- ⇒ CSR (adim.) : Cyclic Stress Ratio (Rapporto di sollecitazione di taglio ciclica indotta dal sisma) = 0.65 (Amax/g) * rd * (σvo / σ'vo),  
con Amax riferita allo SLV per la Classe d’Uso 2 (Tr = 475 anni) e g = 9,81 m/sec² (accelerazione di gravità), per il sito in esame Amax (SLV) = 1,564 m/sec², da cui 1,564 / 9,81 = 0,1594 g;
- ⇒ rd (adim.) : Fattore di riduzione della sollecitazione indotta dall’azione sismica con la profondità = 1 – 0,00765 * z (per z < 9,15 m, *NCEER 1997*) e rd = 1,174 – 0,0267 * z (per 9,15 ≤ z < 23 m, *NCEER 1997*)
- ⇒ FSLiq. (adim.) : Fattore di Sicurezza nei confronti della liquefazione = CRRcorr / CSR, secondo *Robertson & Wride* FSLiq. ≥ 1 terreni non liquefacibili, secondo NTC 2018 FSLiq. ≥ 1,25 terreni non liquefacibili.