

COMUNE DI CASCIANA TERME LARI

PROVINCIA DI PISA



REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA SEZIONE DI LOCULI NEL CIMITERO COMUNALE DI LAVAIANO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

(ai sensi del D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni")

Indagini geologiche	Dr. Geol. Elena Baldi
Responsabile del Procedimento	Arch. Nicola Barsotti
Relazioni strutturali	Ing. Giovanni Di Cecilia
Staff di progettazione	Ing. Giovanni Di Cecilia Geol. Elena Baldi Geom. Luca Cipolli
Sindaco	Mirko Terreni
Assessore ai Lavori Pubblici	Marianna Bosco

Settembre 2019

INDICE

	pag.
1 - PREMESSA	3
2 - UBICAZIONE, CONFORMITA' URBANISTICA E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO	4
3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E STRUTTURALE	5
4 - ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI	6
5 - PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO	7
6 - INDAGINI GEOGNOSTICHE	10
7 - CARATTERISTICHE LITOTECNICHE	10
8 - CARATTERISTICHE SISMICHE	11
9 - VERIFICA TECNICO-IDRAULICA	13
10 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA DEL TERRENO	13
11 - ANALISI DEI DATI RICAVATI DALLA INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA IN ESAME	15
12 - VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITA' DI LIQUEFAZIONE	15
13 - ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISMICHE	16
14 - GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO EX ART. 186 DEL D. LGS. 152/2006	17
15 - CONCLUSIONI	17

ALLEGATI

ALL.1 Inquadramento territoriale	
ALL.2 Estratto RU vigente – Carta della Fattibilità ex Reg. 26/R/2007	1:2.000
ALL.3 Carta geologica e geomorfologica	1:10.000
ALL.4 Carta della Vulnerabilità idrogeologica	1:10.000
ALL.5 Carta della pericolosità idraulica PGRA	1:10.000
ALL.6 Carta della pericolosità geologica 53/R	1:10.000
ALL.7 Carta della pericolosità idraulica 53/R	1:10.000
ALL.8 Carta della pericolosità sismica 26/R	1:10.000
ALL.9 Carta litotecnica e delle indagini	1:5.000
ALL.10 Indagini geognostiche e sismiche di riferimento	

1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Casciana Terme Lari, la sottoscritta, in qualità di dipendente della stessa Amministrazione, iscritta al n. 283 dell'Elenco Speciale dell'Ordine dei Geologi della Toscana, ha eseguito i rilievi geologici, geognostici e geotecnici a supporto della progettazione definitiva ed esecutiva per la realizzazione di una nuova sezione di loculi nel cimitero di Lavaiano.

La presente relazione viene redatta al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra alluvioni e bedrock sismico, per la stima dei cedimenti e per definire spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti.

Nella classificazione sismica della Regione Toscana (DGRT n.878 del 08/10/2012 e successivo aggiornamento DGRT n.421 del 26/05/2014 e DGRT n. 1271 del 12/12/2016) il territorio comunale di Casciana Terme Lari si colloca in zona sismica **3** caratterizzata da accelerazione orizzontale massima convenzionale (a_g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,125-0,150g.

Il presente lavoro è stato svolto in ottemperanza della seguente normativa:

- Ord. P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Ord. P.C.M. n. 3519 del 11/05/06 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- L.R. n. 58 del 16/10/2009 "Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico";
- D.G.R.T. n. 878 del 08/10/2012 "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M n. 3519/20006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 – Revoca della DGRT n. 431/2006";
- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" e Circolare 2 Febbraio 2009 n° 617/C.S. LL. PP.;
- D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni"
- D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009 "Regolamento di attuazione dell'art. 117, commi 1 e 2 della Legge Regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico" ;
- L.R. n. 65 del 18/11/2014 "Norme per il governo del territorio";
- L.R. n. 41 del 24/07/2012 "Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014";
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale, approvato con deliberazione n.235 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno;
- D.P.C.M. 06/05/2005 "Approvazione del Piano di Bacino del Fiume Arno, Stralcio Assetto Idrogeologico" solo relativamente alla perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante;
- Piano Strutturale di Casciana Terme Lari approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019 e Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari;
- Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i., art. 186 "Terre e rocce da scavo";
- D.P.R. n. 120 del 13/06/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo*omissis*.."

Sono state prese in considerazione le indagini geologiche di supporto al Piano Strutturale di Casciana Terme Lari approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019 e del Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari, relativamente agli aspetti di pericolosità, alla fattibilità e alla conformità urbanistica del progetto, così come previsto dall'art. 104 della L.R. n. 65/2014 e s.m.i. . Tenuto conto delle modeste complessità e dimensioni del progetto, ai sensi dell'art. 7, comma 3 del D.P.G.R. n. 36/R/2009, le opere in progetto (realizzazione di una sezione di loculi all'interno del cimitero di Lavaiano - volume lordo circa 710 mc) possono essere inserite nella classe di indagine 2 *"Opere di volume lordo inferiore a 1.500 mc con altezza in gronda inferiore a 10 m"* e, pertanto, per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si possono effettuare indagini geofisiche, quali sismica a rifrazione o riflessione oppure mediante prove geotecniche o in alternativa potrebbero ritenersi sufficienti considerazioni basate su indagini geologiche, geofisiche e geotecniche già eseguite in prossimità dell'intervento in aree caratterizzate dallo stesso contesto geologico, geomorfologico e geotecnico. Dall'analisi del database delle indagini geologiche/geotecniche allegato alle indagini geologiche di supporto al Piano Strutturale, si evince che non vi sono indagini eseguite in loco e pertanto, trattandosi di opera pubblica, sono state effettuate le seguenti nuove indagini:

- n° 2 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità massima di 9,80 m, di cui un foro attrezzato con tubo piezometrico;
- n° 1 profilo di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica;

Sulla base delle "Norme tecniche per le Costruzioni", la presente relazione costituisce un elaborato di supporto all'intervento in progetto.

2. UBICAZIONE, CONFORMITA' URBANISTICA E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

L'area di intervento si colloca all'interno del cimitero posto in Via Maremmana ubicato in località Lavaiano; è compresa nella Tavola IGM della Carta d'Italia (scala 1: 25.000) denominata Pontedera n° 112 IV NE e si presenta ampiamente pianeggiante con quote comprese tra 10,0 e 12,0 m s.l.m.. L'area è inserita al di fuori del contesto urbano; i campi confinanti sono tuttora coltivati e serviti da fossette campestri in buono stato conservativo.

(ALL. 1 – Inquadramento Territoriale)

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova sezione di loculi all'interno del cimitero per ottemperare alle esigenze espresse nel Piano Regolatore Cimiteriale approvato con Delibera del Consiglio Comunale n. 16 del 02/03/2017.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova sezione di loculi composta da n. 2 fabbricati con identica struttura tipo, uguali ed indipendenti, costruiti affiancati. La sezione avrà pianta rettangolare (dimensioni circa 26,05 x 5,30 m) e lo stesso gli annessi servizi igienici (dimensioni circa 4,60 x 2,50 m); saranno strutture staccate realizzate all'interno dell'attuale struttura cimiteriale.

Per dettagli tecnici più specifici riguardanti gli interventi si vedano i corrispondenti elaborati progettuali allegati al progetto da approvare.

Sotto l'aspetto urbanistico l'area oggetto dell'intervento, sottoposta al vincolo delle Aree di rispetto cimiteriale – **G1**, ricade in **zona F1** *"Aree destinate a verde e attrezzature pubbliche sensi del D.M. 1444/68"* secondo il vigente Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari, pertanto l'intervento risulta compatibile e non in contrasto con la destinazione di Piano e con le prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso Strumento Urbanistico mentre le aree al contorno dell'area oggetto dell'intervento ricadono in **zona E2** *"Aree agricole di pianura corrispondenti al Subsistema Agricolo della piana del Fiume Cascina"* secondo il vigente Regolamento Urbanistico, pertanto l'intervento risulta compatibile e non in contrasto con la destinazione di Piano e con le prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche di

Attuazione dello stesso Strumento Urbanistico. (**ALL. 2: "Estratto RU vigente – Carta della Fattibilità ex Reg. 26/R/2007"**)

Dato il livello di approfondimento progettuale ad oggi in nostro possesso (preliminare), di seguito saranno fornite al progettista definitivo ed esecutivo delle indicazioni per la scelta delle opere da adottare, sulla base delle indagini preliminari svolte.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E STRUTTURALE

La porzione in esame del territorio comunale di Casciana Terme Lari ricade nella parte nord occidentale del fondovalle alluvionale, esattamente limitrofa al centro abitato di Lavaiano ed è contornata da aree agricole, ovvero in zona non completamente urbanizzata.

L'area in esame, dal punto di vista geologico, è composta prevalentemente dalla formazione delle **"Alluvioni recenti – a"**, datate Olocene, quindi da sedimenti attuali, provenienti dalle varie esondazioni dei tre principali corsi d'acqua presenti: i fiumi Arno, Era e Cascina. Nei tre bacini suddetti la distribuzione di questi depositi è diversa, sia in senso areale che in verticale, avendosi spessori crescenti tra la valle del Cascina e la Pianura dell'Arno. Nel dominio dell'Arno, il più esteso, predominano i materiali più fini (limi ed argille) legati sia all'esondazione di questo fiume che dei numerosi torrenti e botri presenti. La loro deposizione è collegata con le fasi di sovralluvionamento sviluppatosi in tutta la pianura pisana man mano che il livello del mare risaliva, durante la deglaciazione post-wurmiana.

I materiali predominanti sono limi, argille e argille limose, in proporzioni variabili, mentre in sottordine si trovano sabbie e ghiaie, distribuite però a diversa profondità, come si evince dalle prove geotecniche effettuate in zona; i depositi alluvionali presentano variazione litologiche laterali e verticali tipiche del sistema deposizionale a cui sono legati (deposizione fluviale e lacustre). In generale in questi sedimenti prevalgono le sabbie nelle zone adiacenti ai corsi d'acqua attuali, mentre nelle zone più lontane sono più diffuse le argille. I suoli superficiali dove prevalgono i sedimenti sabbioso-limosi e limo-sabbiosi garantiscono un apprezzabile drenaggio verticale mentre nei sedimenti fini limo-argillosi l'infiltrazione verticale risulta difficoltosa per cui la circolazione delle acque piovane si concentra nel primo metro, provocando saturazioni e ristagni temporanei nei periodi molto umidi.

Sulla **"Carta geologica e geomorfologica"** (**ALL. 3**), estratta dagli elaborati redatti a supporto del Piano Strutturale comunale, è distinta l'unità litostratigrafica precedentemente descritta ed affiorante nell'ambito della zona di studio; l'area interessata dalla variante è interamente caratterizzata, in superficie, da terreni alluvionali prevalentemente sabbioso-limosi.

L'area di progetto si colloca nell'abitato di Lavaiano nella parte Nord del territorio comunale ed è compresa nella Tavola IGM della Carta d'Italia (scala 1: 25.000) denominata Pontedera. Dal punto di vista geomorfologico, il territorio si presenta pianeggiante, in relazione alla presenza di depositi alluvionali messi in posto dai corsi d'acqua presenti; la zona della pianura settentrionale presenta quote minime proprio in prossimità dell'abitato di Lavaiano (quote comprese tra 10,0 e 12,0 m s.l.m.). La parte di pianura è compresa nel più vasto complesso delle alluvioni del Fiume Arno e dei suoi affluenti i quali, come detto in precedenza, hanno subito delle modifiche significative dei loro tracciati sia per cause naturali che per interventi dell'uomo (in particolare il Fiume Cascina). Di tali cambiamenti restano tracce alquanto evidenti oltre che nella morfologia anche nella disposizione e nell'orientamento dei campi coltivati che vengono di volta in volta ricavati nelle aree abbandonate dai corsi d'acqua.

L'area in esame non risulta interessata dall'evoluzione di alcun processo geomorfologico significativo. La parte nord è pianeggiante e non presenta caratteristiche morfologiche degne di nota. Il reticolo idrografico del territorio indagato presenta una direzione generalmente E-W (Fossa Nuova).

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici presenti in un ampio intorno della zona in esame, questi sono cartografati e distinti sempre nell'**ALL. 3 "Carta geologica e geomorfologica"** ed in particolare sono rappresentati i seguenti elementi:

Forme e processi fluviali

i) Alluvioni: Sono i depositi alluvionali riferiti ai depositi successivamente re-incisi dal corso d'acqua (alluvioni terrazzate) ed a quelli di più recente deposizione (alluvioni recenti ed attuali)

L'assetto generale di tale settore di pianura è da considerarsi fondamentalmente stabile dal punto di vista morfologico; essendo inoltre questo stesso settore più agevole per gli insediamenti, in virtù anche della sua favorevole posizione geografica, le modifiche morfologiche più rilevanti sono state qui operate dall'uomo soprattutto nel corso degli ultimi decenni durante i quali l'espansione urbanistica ha avuto il maggiore impulso. Attualmente, infatti la morfologia risulta modificata dalle recenti urbanizzazioni che hanno rialzato in alcuni punti il piano di campagna ed hanno portato alla modifica del reticolo idraulico minore, per la realizzazione sia delle condotte fognarie sia delle canalizzazioni di allontanamento dell'acqua piovana. Queste modifiche morfologiche operate dall'uomo hanno agito sull'altimetria delle aree di pianura e sui flussi della rete idrografica minore per la realizzazione di insediamenti abitativi e/o produttivi, rilevati stradali ed opere di urbanizzazione in generale.

4. ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI

Le aree del Comune di Casciana Terme Lari che sono state interessate in passato da episodi alluvionali e che risultano particolarmente fragili dal punto di vista idraulico sono tutte concentrate nel fondovalle del Fiume Cascina, o nei suoi affluenti, e nella pianura settentrionale che si estende tra gli abitati di Perignano e Lavaiano. La pianura di Lavaiano e Perignano è caratterizzata da quote altimetriche relativamente modeste comprese tra gli 8 ed i 20 m s.l.m. L'andamento delle isoipse evidenzia una direzione di drenaggio diretta circa Sud-Est Nord-Ovest. Gli assi drenanti principali sono rappresentati dalla Fossa Nuova che corre in corrispondenza del confine con i Comuni di Ponsacco e Pontedera e dal Fosso Zannone che recapita sia le acque provenienti dalle Colline attraverso il Fosso di Fagiolaia, il Rio Petagnoli ed il Rio Zannoncino, sia le acque di alcuni fossi minori presenti nel fondovalle. Il reticolo drenante minore è costituito da una serie di fosse campestri e capofossi che talvolta presentano situazioni di fragilità indotte da interventi antropici (strade, ponticelli, strettoie, ecc).

Relativamente all'area sud del Comune di Casciana Terme Lari, interessata prevalentemente dal Fiume Cascina e dai suoi affluenti, in tempi recenti, ad opera della Provincia di Pisa, la zona è stata messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno duecentennale (Tr200) a seguito dell'adeguamento del Ponte San Marco e della realizzazione di due casse di laminazione che hanno drasticamente abbattuto il rischio idraulico per le aree di La Capannina fino all'abitato di Ponsacco. Anche nella pianura di Perignano e Lavaiano sono stati realizzati degli interventi di messa in sicurezza attraverso le casse di laminazione ubicate lungo il Torrente Zannone, il Torrente Zannoncino ed il Rio Galletta, che hanno ridotto le condizioni di rischio idraulico locale principalmente nell'area di Perignano. Circa l'abitato di Lavaiano, il rischio idraulico locale è stato drasticamente abbattuto con le sistemazioni operate lungo il Fiume Cascina, che negli anni 1991-1993 aveva interessato, con le sue esondazioni, questa porzione di territorio.

Sul territorio comunale sono stati censiti molti pozzi freatici essenzialmente ad uso domestico concentrati principalmente nelle zone di pianura ed in particolar modo in corrispondenza dei centri abitati di Perignano, Spinelli, Le Quattro Strade e Lavaiano. I motivi di tale concentrazione sono da ricercare sia nell'assetto idrogeologico del territorio comunale sia nella maggiore estensione degli agglomerati urbani. I dati relativi ai pozzi censiti sono stati raccolti in un database allegato alle indagini geologiche a supporto del Piano Strutturale comunale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 29/03/2019. La loro elaborazione ed interpretazione ha consentito di ricostruire l'andamento delle isopieze: la falda freatica superficiale subisce oscillazioni modeste tra il periodo di massima ricarica e quello di magra

stagionale (mediamente 1 metro): l'escursione massima, salvo situazioni locali non rappresentative, è dell'ordine di 2 metri. Dato comunque che l'intervento sarà realizzato all'interno dell'attuale struttura cimiteriale, non vi sono pozzi per tutto l'area sottoposta a vincolo cimiteriale.

Per la parte della pianura settentrionale, dove si inserisce la frazione di Lavaiano, la direzione di flusso è Sud-Est Nord-Ovest e risente fortemente dell'assetto del substrato. Nel complesso si tratta di una falda estremamente superficiale, contenuta in terreni mediamente permeabili e direttamente influenzata dall'infiltrazione delle acque meteoriche; in conclusione, con tutta probabilità, siamo in presenza di un acquifero poco produttivo, con tetto prossimo alla superficie e pertanto da considerare vulnerabile. Non essendoci caratteristiche idrogeologiche di rilievo non è stato prodotto alcun estratto della carta idrogeologica.

La valutazione della vulnerabilità idrogeologica del territorio è stata condotta, a partire dal quadro delle informazioni acquisite nel presente lavoro in coerenza con quanto indicato all'art. 20 del P.T.C. della Provincia di Pisa. Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi si evidenzia come l'area in esame sia totalmente ricompresa nella classe **3** "a media vulnerabilità della risorsa idrica", sottoclasse **3a**, che corrisponde a "situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un certo grado di protezione insufficiente tuttavia a garantirne la salvaguardia" in essa ricadono, nelle aree di pianura, le zone in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda compresi tra i 15 ed i 30 giorni, quali quelle interessate da falde libere in materiali alluvionali scarsamente permeabili con falda prossima al piano campagna. (**ALL. 4 "Carta della Vulnerabilità Idrogeologica"**)

5. PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA, IDRAULICA E SISMICA E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO

Dall'analisi della cartografia tematica a supporto del Piano strutturale di Casciana Terme Lari approvato con deliberazione di C. C. n. 20 del 27/03/2019 e Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari si evince la seguente classificazione di pericolosità e fattibilità:

Carta della Pericolosità Geomorfologica (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade in classe "**G.2** – Pericolosità Geologica Media" (aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto). (**ALL. 5 – "Carta della pericolosità geomorfologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

L'area in oggetto è esclusa dalla "*Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante*", allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, approvato con D.P.C.M 06/05/2005, come evidenziato nella cartografia, consultabile on line, dell'Autorità di Bacino di Distretto Appennino Settentrionale.

Carta della Pericolosità Idraulica (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade totalmente in classe "**I.2** – Pericolosità Idraulica Media" (*aree della pianura alluvionale esterne alle zone giudicate fragili per episodi di esondazione con $Tr < 200$ anni*). Le aree relative alle fasce di rispetto dei Fossi Grotta e della Palazzetta, comunque a congrua distanza dell'area oggetto di intervento, ricadono in classe "**I.4** – Pericolosità Idraulica Molto Elevata" (*aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr.30$ anni*) mentre una piccola fascia esterna alle stesse fasce di rispetto ricade in classe "**I.3** - Pericolosità Idraulica Elevata". (**ALL. 7 – "Carta della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

La classe di pericolosità (inferiore rispetto alla definizione ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007 che prevedeva una classe I.3, ma determinata dai nuovi studi idraulici a supporto della redazione del Nuovo Piano Strutturale, che hanno tenuto conto degli interventi di messa in sicurezza idraulica realizzati dalla Provincia di Pisa) non contempla una valutazione di interventi di messa in sicurezza idraulica; tenendo conto dei risultati dello studio idrologico-idraulico condotto a

supporto del Piano Strutturale, gli interventi in progetto sono coerenti con quanto indicato nella L.R. 41/2018.

Con Decreto del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino settentrionale n. 73 del 26/09/2019 sono state apportate delle modifiche della perimetrazione delle aree a pericolosità da alluvione della cartografia di P.G.R.A. riguardanti il reticolo secondario dei bacini appartenenti alla UoM Arno; in particolare, tale Decreto recepisce la nota della Regione Toscana – Ufficio Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa (prot.n. AOOGR/568453/N.060.060 del 14 dicembre 2018, agli atti dell'Autorità di Bacino al prot. n. 5812 del 1 agosto 2019) con la quale si trasmette il parere positivo espresso sullo studio idrologico-idraulico redatto a supporto del Piano Strutturale di Casciana Terme Lari, per la modifica e l'aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione del P.G.R.A. inerenti il reticolo secondario, ai sensi dell'art.14, commi 5 e 7, della disciplina di P.G.R.A. Pertanto, nella cartografia del Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale di cui il Bacino del Fiume Arno, approvata con deliberazione n. 235 del 03/03/2016 del Comitato Istituzionale dell'AdB del F. Arno, così come modificata dal Decreto n. 73/2019, inerente la perimetrazione delle aree soggette a rischio alluvioni, evidenzia che la zona in esame è totalmente ricompresa nella classe **P1** di pericolosità da alluvione bassa corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale. Tale classificazione fa riferimento alla classe di pericolosità idraulica ex D.P.G.R. n. 53/R/2011 (**I.2** – Pericolosità Idraulica Media). Un estratto della relativa cartografia di riferimento dell'Autorità di Bacino di Distretto Settentrionale è riportato nell'**ALL.6 "Carta della Pericolosità idraulica P.G.R.A."**.

Nelle aree **P1** gli indirizzi per gli strumenti del governo del territorio relativi alla disciplina di PGRA sono contenuti nell'art.11 che di seguito riportiamo:

Art. 11– Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) – Indirizzi per gli strumenti governo del territorio

1. Nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico.

Carta della Pericolosità Sismica Locale (ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007 e in subordine del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade in classe **S3** (Zona sismica 9 ai sensi del G.R.T. 431 del 19/06/2006 "*Zona con presenza di depositi alluvionali del ciclo stratigrafico plio-pleistocenico (complesso neoautoctono)*" ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007 secondo l'aggiornamento del Quadro Conoscitivo a corredo del Regolamento Urbanistico ex Comune di Lari. L'area in oggetto, nell'ambito degli studi di Micro Zonazione Sismica di Livello I e II, non è stata ulteriormente studiata e pertanto nell'inquadramento geologico del Nuovo Piano Strutturale non è stata assegnata una classe di pericolosità Sismica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011. Nell'ambito della progettazione definitiva ed esecutiva dell'intervento in oggetto è stata eseguito un profilo di sismica con metodologia MASW e relativa interpretazione tomografica; dall'analisi di tali dati si potrebbe presumibilmente assegnare all'area una classe "**S.2** – Pericolosità sismica media" ("*zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)*") ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011 in continuità alla classificazione sismica dell'abitato di Lavaiano . (**ALL. 8 – "Carta della pericolosità sismica ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007 "**)

Carta della Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007): all'area di intervento è stata assegnata la classe 3 di fattibilità (**F.3 (2 – 3) - Fattibilità condizionata**, (vedi **ALL. 2: "Estratto RU vigente – Carta della fattibilità ex Reg. 26/R/2007"**) in accordo con le risultanze delle indagini geologiche di supporto al Regolamento Urbanistico, redatte secondo il D.P.G.R. n. 26/R/2007 "Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. 1/2005". Tale classe di fattibilità si riferisce:

- a) alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi;
- b) sono richieste indagini di dettaglio condotte a livello di "area complessiva" sia come supporto alla redazione di strumenti urbanistici attuativi che nel caso sia ipotizzato un intervento diretto;
- c) l'esecuzione di quanto previsto dai risultati di tali indagini in termini di interventi di attenuazione del rischio idraulico, bonifica, miglioramento dei terreni e/o tecniche fondazionali particolari devono costituire condizioni da recepire all'interno della richiesta del titolo abilitativo occorrente.
- d) La documentazione da presentare a corredo della realizzazione dei progetti è la seguente:

d2 Se le condizioni alla fattibilità trovano motivazione nel livello di pericolosità idraulica, il progetto dell'intervento deve essere supportato da un'esaustiva documentazione geologica ed idrologico-idraulica esplicativa degli approfondimenti condotti ed al minimo composta da:

- sezioni quotate, possibilmente dedotte da un rilievo piano altimetrico di dettaglio, che mettano in evidenza la posizione e la quota dell'intervento in oggetto rispetto al battente idraulico indicato nel P.S.;
- schema dettagliato del funzionamento del reticolo idrografico minore in un congruo intorno dell'area di intervento, se non trattasi di zone totalmente urbanizzate; – studio di dettaglio del contesto idrogeologico, qualora siano previste immissioni di acque reflue nel suolo e nel sottosuolo mediante subirrigazione, fertirrigazione e spandimento acque di vegetazione;

Per la classe di fattibilità 3 sono applicate le seguenti prescrizioni generali e particolari per il Sistema Territoriale della pianura:

- *i nuovi interventi sul territorio dovranno essere accompagnati, in ottemperanza delle normative vigenti, da appositi studi geologico-tecnici che analizzino l'interazione tra le trasformazioni in progetto ed il contesto geologico, idraulico ed idrogeologico in cui si inseriscono, nonché forniscano indicazioni specifiche per la mitigazione dello stato di rischio accertato;*

- *a) Riduzione del rischio idraulico. Nelle aree di pianura, le trasformazioni in progetto dovranno essere volte alla riduzione del rischio idraulico, attraverso la messa in sicurezza rispetto agli eventi critici emersi negli studi idraulici inseriti nel Piano Strutturale. Qualunque altro intervento, anche di ristrutturazione che non comporti aumento della superficie coperta, deve essere finalizzato alla mitigazione del livello di rischio accertato.;*

- *b) Impermeabilizzazioni. Particolari accorgimenti dovranno essere posti anche nella progettazione delle superfici coperte, preferendo le soluzioni che permettano la riduzione della velocità dell'acqua.*

I nuovi spazi pubblici o privati destinati a viabilità pedonale o meccanizzata sono realizzati con modalità costruttive idonee a consentire l'infiltrazione o la ritenzione anche temporanea delle acque, salvo che tali modalità costruttive non possano essere utilizzate per comprovati motivi di sicurezza igienico-sanitaria e statica o di tutela dei beni culturali e paesaggistici.

E' vietato il convogliamento delle acque piovane in fognatura o nei corsi d'acqua, quando sia tecnicamente possibile il loro convogliamento in aree permeabili, senza determinare fenomeni di ristagno e/o di instabilità

Tenuto conto dell'attuale classificazione di pericolosità idraulica (I.2) si ritengono esaustive le indagini e gli studi effettuati per il presente lavoro e di conseguenza compatibili anche con la classe di **Fattibilità ex D.P.G.R. n. 26/R/2007**; si propone pertanto, per il redigendo Piano Operativo Comunale una classe di Fattibilità (2-2-2) in accordo con le

risultanza degli studi geologici ed idraulici a supporto del Piano Strutturale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 29/03/2019.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Lo studio ha preso in esame la porzione di territorio interessata dal progetto di realizzazione e si è articolato secondo le seguenti fasi:

- verifica dell'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area in studio e di un congruo intorno il cui equilibrio potrebbe risultare potenzialmente modificabile dagli interventi previsti;
- ricostruzione del modello geologico, litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo in esame sulla base di una apposita campagna geognostica, eseguita in data 29/12/2018, costituita da :
 - n° 2 prove penetrometriche statiche CPT che hanno raggiunto una profondità massima di investigazione tra 8/10 m dal piano di campagna;
 - n° 1 misurazione sismica puntuale di tipo MASW con interpretazione tomografica;
- verifica dello stato di pericolosità geologica ed idraulica delle aree interessate ed aggiornamento delle relative classi di pericolosità ai nuovi criteri previsti dalle nuove direttive per le indagini geologico-tecniche impartite dalla D.P.G.R. n.53/R/2011, partendo dalle classi di pericolosità individuate per il nuovo Piano Strutturale;
- verifica della pericolosità sismica dell'area in esame ai sensi della D.P.G.R. n.53/R/2011, tenendo conto degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1 redatti per il nuovo Piano Strutturale e degli studi a supporto del Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari, redatti secondo il D.P.G.R. n. 26/R/2007;
- raffronto tra la "pericolosità geologica, idraulica e sismica" della porzione di territorio in esame e le "tipologie di intervento" previste dal progetto e verifica delle condizioni di fattibilità geologica, idraulica e sismica degli interventi stessi ai sensi della D.P.G.R. n.53/R/2011.

La ricostruzione del modello generale geologico-litostratigrafico, geotecnico e sismico del sottosuolo dell'area in esame si è quindi basata sull'interpretazione di n. 2 prove CPT e di un profilo MASW, eseguiti nell'area dove sarà realizzato l'ampliamento del cimitero. Nell'**ALL. 9 "Carta litotecnica e delle indagini"** è riportata l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche, distinte per tipologia, mentre i risultati delle prove geotecniche e sismiche sono riportati nell'**ALL.10 "Indagini geognostiche e sismiche di riferimento"**, dove dalle letture di campagna dei valori della resistenza di punta, della resistenza laterale e della spinta totale del penetrometro è stato possibile ricavare una stima dei parametri geotecnici e della sequenza stratigrafica dei terreni attraversati, mentre dai risultati della prova sismica è stato ricavato il valore della Vs30.

7. CARATTERISTICHE LITOTECNICHE

Da un punto di vista litotecnico le indagini geologiche di supporto al nuovo Piano Strutturale del Comune di Casciana Terme Lari classificano quest'area come **Unità F1.s5/6.t2**

- ***"Depositi alluvionali misti, con limi e sabbie poco consistenti: materiali con consistenza limitata o nulla, da poco consistenti a privi di consistenza, prevalentemente limi, con presenza di frazione sabbiosa - (a)"*** (ALL. 9 – "Carta Litotecnica e delle indagini").

Questa unità è l'affioramento decisamente più esteso dell'area in esame ed è costituito interamente dalle **Alluvioni recenti (a)** che formano l'intero settore pianeggiante; sono terreni costituiti in prevalenza da terreni limosi con diffusi livelli sabbiosi.

La classificazione litotecnica dei terreni è stata effettuata con i criteri del progetto VEL della Regione Toscana "Istruzioni tecniche per le indagini geologico-tecniche, le indagini geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alle valutazioni degli effetti locali nei comuni classificati sismici", seguendo la "Legenda schematica per la definizione di unità litologico-tecniche nel substrato e nella copertura". E' stato altresì tenuto conto dell'acclività dei

terreni indagati; dalle indagini a supporto del Piano Strutturale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019 si evince che la classe di pendenza della zona in esame è da 0 a 10%.

La ricostruzione della successione stratigrafica del sottosuolo nell'area interessata dal progetto è stata basata sulle correlazioni dei risultati di indagini geognostiche eseguite all'interno del cimitero ed in particolare costituite da n. 2 prove penetrometriche statiche CPT e da una prova sismica puntuale di tipo MASW con relativa interpretazione tomografica; la documentazione relativa alle indagini è riportata nell'**ALL. 10 "Indagini geognostiche e sismiche di riferimento"**.

I risultati delle correlazioni litostratigrafiche hanno consentito, nel loro complesso, di definire con una certa attendibilità il contesto geologico del sottosuolo dell'intera area in esame che risulta mediamente caratterizzato da terreni superficialmente argillo limosi che passano alternativamente a terreni argillosi, limo argillosi (prevalentemente) e limo sabbiosi fino alla profondità massima investigata di circa 10 metri dal p.c..

La sequenza litostratigrafica tipo dedotta dalle suddette prove penetrometriche di riferimento può essere, come di seguito, sintetizzata:

- da 0,0 a 0,6 m dal p.c. terreno vegetale e terreno di riporto
- da 0,6 a 1,2/1,8 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente sabbioso limosi a comportamento granulare che presentano le seguenti caratteristiche: valori di R_p variabili da 40 a 65 kg/cmq
- da 1,2/1,8 a 3,2/5,8 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente argillosi di natura organica coesivi che presentano le seguenti caratteristiche: valori di R_p variabili da 5 a 13 kg/cmq
- da 5,8 a 8,8/9,8 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente argilloso limosi con presenza di argille organiche che presentano le seguenti caratteristiche: valori di R_p variabili da 8 a 20 kg/cmq

8. CARATTERISTICHE SISMICHE

Nella classificazione sismica della Regione Toscana (DGRT n.878 del 08/10/2012 e successivo aggiornamento DGRT n.421 del 26/05/2014) il territorio comunale di Casciana Terme Lari si colloca in zona sismica **3** caratterizzata da accelerazione orizzontale massima convenzionale (a_g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,125-0,150g.

Come già indicato nei paragrafi precedenti, per l'area oggetto di intervento non è stata prevista nessuna classificazione di pericolosità sismica e quindi non è stata elaborata una MOPS sito specifica; tenuto conto comunque delle risultanze delle indagini sismiche effettuate per la progettazione definitiva, si può ragionevolmente dedurre che valgano le considerazioni fatte per il limitrofo centro abitato di Lavaiano e pertanto di seguito se ne espongono i dati.

Al fine di ottemperare alla definizione delle classi di pericolosità sismica, ai sensi del DPGR 53/R/2011, e di redigere gli elaborati MOPS previsti dalla stessa normativa ai punti 2.1 (B7, C5) e 2.2, è stato effettuato, dallo studio Geoprogetti di Ponsacco (PI), uno studio di Microzonazione sismica di Livello 1, a supporto del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale del Comune di Casciana Terme Lari. Gli studi di Livello 1 vengono concretizzati nella carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica" (MOPS) la quale individua le microzone in cui è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica. Nello specifico vengono distinte le seguenti situazioni:

- zone nelle quali non sono previste significative modifiche dello scuotimento che l'evento sismico causerebbe su terreni rigidi e pianeggianti;
- zone nelle quali lo scuotimento è amplificato per stratigrafia, topografia e per morfologie sepolte;

- zone suscettibili di frane in terreni e in roccia;
- zone suscettibili di liquefazioni e/o addensamento;
- zone interessate da faglie attive e capaci e/o strutture tettoniche;
- zone interessate da cedimenti diffusi e differenziali;
- zone di contatto tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti,

La delimitazione delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) nel Comune di Casciana Terme Lari, è stata effettuata sulla base delle informazioni ricavate dalla banca dati stratigrafica raccolta nell'ambito delle indagini geologiche a supporto del Piano Strutturale, dalla cartografia tecnica (CTR) di maggior dettaglio nonché dalla cartografia geologica. Le microzone individuate sono state rappresentate in una Tavola, esplicitandone le "stratigrafie tipo" riferite ad ogni singola zona nell'Appendice 1. A partire dalla carta delle MOPS è stata infine definita in legenda, seguendo i criteri del D.P.G.R. 53/R/2011, la carta della pericolosità sismica locale (esclusivamente per il centro abitato di Lavaiano).

In sintesi per la realizzazione della cartografia di pericolosità sismica, lo studio è stato articolato come segue:

- Delimitazione delle aree all'interno delle quali definire la cartografia di pericolosità sismica (aree MOPS);
- realizzazione della carta MOPS: delimitazione delle zone caratterizzate dalla medesima successione stratigrafica di massima e realizzazione delle rispettive "colonne stratigrafiche tipo";
- classificazione della qualità della carta MOPS limitatamente all'estensione delle UTOE;• attribuzione delle classi di pericolosità sismica locale a partire dalla carta MOPS.

Lo studio MOPS è stato realizzato, secondo quanto disposto dal D.P.G.R. 53/R, in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune di concerto con la struttura regionale competente, ha individuato secondo le specifiche di cui al paragrafo 1.B1.2 delle istruzioni del programma VEL e perimetrato secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli Indirizzi e Criteri della Microzonazione Sismica del Dipartimento di Protezione Civile nazionale. Sulla base di ciò, sono stati definiti gli areali di studio ed in particolare l'area oggetto di variante è stata così classificata:

- Territorio del perimetro urbanizzato a prevalente carattere residenziale di Lavaiano

Successivamente, ai sensi degli ICMS, tutto l'areale analizzato è stato suddiviso in:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- Zone suscettibili di instabilità

individuando in cartografia anche le forme di superficie che possono produrre fenomeni di amplificazione topografica. L'area oggetto di studio rientra nella classe:

9.3 – Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali per amplificazione stratigrafica

A partire dalla carta geologica, dopo aver analizzato le indagini geognostiche presenti in banca dati, sono state definite 17 microzone omogenee in prospettiva sismica che presentano potenziale amplificazione locale in ragione della natura litologica del substrato.

Le Colonne stratigrafiche Tipo (dove sono indicate la Classe di Consistenza dei terreni indicati, la loro natura litologica e la Formazione Geologica di riferimento) mostrano una successione di terreni semplificata, rappresentativa di una vasta area e quindi, per sua natura, non rappresentativa di un sito specifico.

Negli estratti cartografici delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica "**Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS**" allegati al nuovo Piano Strutturale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019, sono state rappresentate le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali distinte puntualmente come di seguito:

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
(prive di un alto contrasto di impedenza sismica)

9. VERIFICA TECNICO-IDRAULICA

In virtù della futura trasformazione dell'area, in questo paragrafo si analizzano le condizioni di sicurezza idraulica in termini di smaltimento delle acque piovane; l'aumento della superficie impermeabile potrebbe comportare impaludamento o danni sia alle costruende strutture sia agli edifici circostanti. Bisognerà perciò valutare il comportamento delle acque piovane nel lotto in esame in presenza degli edifici e di conseguenza la superficie permeabile effettiva; l'area nella quale sarà realizzato l'ampliamento del cimitero non rientra in una zona di espansione residenziale (l'ampliamento tra l'altro avverrà all'interno dell'attuale struttura cimiteriale) ed è contornata da aree agricole, pertanto, l'aumento della superficie impermeabile, comunque minimo, non comporterà particolari problematiche dal punto di vista dello smaltimento delle acque piovane.

Il progetto di riqualificazione prevede la realizzazione di caditoie per lo smaltimento delle acque meteoriche; come consiglio generico, a livello di progetto esecutivo, per quanto possibile, dovrà essere limitato l'utilizzo di fognature pubbliche per la dispersione delle acque meteoriche provenienti dai pluviali e il loro diverso smaltimento non dovrà arrecare danni alle persone o alle cose mentre le opere accessorie dovranno favorire l'infiltrazione naturale.

10. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO -GEOTECNICA DEL TERRENO

Nell'area oggetto di indagine sono state condotte n.2 prove penetrometriche statiche dalla Ditta Penetratio s.n.c. di San Miniato (PI) con penetrometro statico/dinamico Pagani TG63 da 200 kN. Le caratteristiche dello strumento sono le seguenti:- punta conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$) - manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2) - velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

Le prove penetrometriche statiche effettuate, unitamente alle informazioni geologiche desunte dall'esame in campagna, hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo di intervento, differenziando i livelli a diverso grado di addensamento, sulla base di correlazioni empiriche proposte da pubblicazioni scientifiche, si sono attribuiti i parametri geotecnici medi ai vari litotipi presenti nel sottosuolo dell'area d'indagine per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo. Nella "**Carta litotecnica e delle indagini**" – **ALL. 9** sono ubicate queste ultime prove.

Prova penetrometrica **CPT1**/Dicembre 2018

QUOTE (in metri)		Successione stratigrafica
da 0,00 m	a - 0,60 m	Terreno superficiale rimaneggiato
da - 0,60 m	a - 1,20 m	Limi argillosi mediamente addensati
da - 1,20 m	a - 5,80 m	Torbe ed argille organiche
da - 5,80 m	a - 8,80 m	Limi argillosi con intercalate argille organiche

- la quota 0,00 m è riferita al piano di campagna attuale presso il fabbricato

Durante le prove non è stata riscontrata la falda freatica.

Prova penetrometrica **CPT2**/Dicembre 2018

QUOTE (in metri)		Successione stratigrafica
da 0,00 m	a - 0,60 m	Terreno superficiale rimaneggiato
da - 0,60 m	a - 1,80 m	Limi argillosi mediamente addensati
da - 1,80 m	a - 2,60 m	Torbe ed argille organiche
da - 2,60 m	a - 3,20 m	Limi argillosi mediamente addensati
da - 3,20 m	a - 9,80 m	Torbe ed argille organiche con intercalati livelli di limi argillosi

Durante le prove non è stata riscontrata la falda freatica.

L'elaborazione dei dati di resistenza alla punta rilevati dagli strumenti, uniti alle conoscenze geologiche dell'area di intervento, permette di stimare i seguenti parametri:

- Caratteristiche litologiche dei terreni attraversati;
- Peso di volume (γ);
- Angolo di attrito interno (Φ);
- Coesione non drenata (C_u);
- Modulo di deformazione edometrico (M_o).

CPT1

LIVELLO	quota dal p.c.	Φ	C_u (kg/cm²)	γ (t/m³)	M_o (kg/cm²)
1	0,00 a 0,60 m	0°	n.d.	n.d.	n.d.
2	0,60 a 1,20 m	0°	0,54	1,85	42,50
3	1,20 a 5,80 m	35°	0,90	1,85	76,00
4	5,80 a 8,80 m	35°	1,42	1,85	128,35

CPT2

LIVELLO	quota dal p.c.	Φ	C_u (kg/cm²)	γ (t/m³)	M_o (kg/cm²)
1	0,00 a 0,60 m	0°	n.d.	n.d.	n.d.
2	0,60 a 1,80 m	0°	0,64	1,85	46,57
3	1,80 a 2,60 m	38°	1,36	1,85	123,00
4	2,60 a 3,20 m	37°	1,10	1,85	99,00
5	3,20 a 9,80 m	36°	1,31	1,85	117,28

È presente uno strato di argille organiche e torbe che si attesta ad una profondità compresa tra - 1,20/1,80 m a - 2,60 m dal p.c. oltre al terreno superficiale rimaneggiato dalla pratica agricola. In particolare la successione è costituita da un orizzonte litologico formato in percentuali variabili sia dalla frazione fine (argilla) sia dalla frazione a granulometria leggermente più grossolana (limo) con caratteristiche fisico-meccaniche diverse a seconda della prevalenza di una o dell'altra. Tenuto conto che per la realizzazione dell'ampliamento del cimitero comunale sarà posto in opera un idoneo sottofondo, i carichi andranno a scaricarsi direttamente sui terreni limo - argillosi.

Dal punto di vista geomeccanico, ai terreni indagati viene attribuito un comportamento prevalentemente di tipo incoerente per l'orizzonte superficiale e coesivo per quelli sottostanti al livello delle argille organiche; si può pertanto ritenere che la capacità portante del terreno nello

strato nel quale sarà posto in opera il sottofondo è caratterizzata da valori di Q_c compresi tra 35 e 80 kg/cm².

11. ANALISI DEI DATI RICAVATI DALLA INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA IN ESAME

In data 29 Dicembre 2018 è stata effettuata un'analisi tomografica di tipo MASW all'interno dell'attuale struttura cimiteriale dove sarà realizzato l'ampliamento in oggetto, da parte della Ditta Penetratio s.n.c. di San Miniato (PI), utile a definire il profilo verticale della **V_s** (velocità di propagazione delle onde di taglio). In accordo alle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14.01.2008, aggiornate con D.M. 17.01.2018, le procedure di tipo MASW fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Il parametro **V_{s30}** determinato con questo particolare tipo di indagine di risposta sismica locale corrisponde alla velocità equivalente di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde superficiali.

In base ai risultati della prova MASW, la **V_{s30}** è = **252 m/s**.

Secondo quanto descritto nell'Ordinanza del P.C.M. n. 3274, come modificata dal O.P.C.M. n. 3519 del 11/05/2006, e secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14.01.2008, tenendo conto dei risultati della prova MASW, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (impostazioni del piano delle fondazioni), per l'area in esame si classifica il suolo di fondazione in categoria:

C – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{equivalente}$ compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec"

12. VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITA' DI LIQUEFAZIONE

Il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento tellurico nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica, che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare. Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente. Per tali motivazioni, soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale rischio.

Nel caso in esame, le indagini penetrometriche svolte hanno evidenziato che il suolo di fondazione è costituito da litotipi argilloso limosi con vario grado di addensamento con intercalati livelli di argille organiche. Per tale motivo esso non risulta potenzialmente soggetto a fenomeni di liquefazione. Non risulta altresì manifesta alcuna delle n. 4 circostanze previste al punto 7.11.3.4.2 delle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17.01.2018, come di seguito elencate:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$
e pertanto la verifica a liquefazione può essere omessa.

13. ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISIMICHE

Con l'ausilio del software GEOSTRU, sono stati calcolati i parametri sismici sito - specifici riferiti all'area in esame per i quattro stati limite **SLO** (operatività), **SLD** (danno), **SLV** (salvaguardia della vita) e **SLC** (prevenzione fal collasso).

In particolare:

Sito in esame

Comune di Casciana Terme Lari - loc. Lavaiano – Via Maremmana

- latitudine: 43,6213074 (°)
- longitudine: 10,5725555 (°)
- Zona sismica: 3
- Tipo di costruzione: 2 (opere ordinarie);
- Vita nominale: 50 anni
- Classe d'uso: II "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti ... omissis...";
- Tipo di interpretazione. Media ponderata
- Coefficiente di amplificazione topografica (ST): 1,000
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica (SS) - componente orizzontale: 1,000
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica (SS) - componente verticale: 1,500

Vertici maglia di riferimento:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20714	43.597210	10.521360	4916.15
2	20715	43.598940	10.590330	2869.35
3	20493	43.648910	10.587950	3310.01
4	20492	43.647180	10.518920	5187.41

Parametri sismici

- Coefficiente d'uso: 1
- Periodo di riferimento: 50 anni
- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

Punto d'indagine

Stato limite	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0.042	2.543	0.230
SLD	63	50	0.054	2.502	0.245

SLV	10	475	0.135	2.474	0.273
SLC	5	975	0.169	2.513	0.280

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.048	0.059
kv	0.006	0.008	0.024	0.029
amax [m/s ²]	0.615	0.796	1.979	2.398
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Fronti di cavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.038	0.077	--
kv	--	0.019	0.038	--
amax [m/s ²]	0.615	0.796	1.979	2.398
Beta	--	0.470	0.380	--

Per ulteriori parametri specifici e dettagli si rimanda alla **"Relazione Sismica"** allegata alla presente relazione.

14 . GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO EX ART. 186 DEL D. LGS. 152/2006

Con la realizzazione della nuova sezione di loculi, oltre il locale wc, si produrranno terre e rocce da scavo con un volume che, ad oggi, non è possibile quantificare non avendo a disposizione i volumi di scavo e reinterro delle fondazioni. Le terre e rocce da scavo, ottenute quali sottoprodotti ai sensi dell'art. 186 del D.gs. 152/2006, ivi compresi quanto riportato dall'art. 185, comma 1, lett. c *"il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato scavato"*, possono essere utilizzate quali reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati. I quantitativi escavati comunque saranno minimi e, ai sensi del D.P.R. 120/2017 *"Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164"*, deriveranno da un "piccolo cantiere", pertanto sarà presentata al competente Dipartimento provinciale ARPAT l'autocertificazione che attesterà il riutilizzo nello stesso sito di produzione.

Nel caso specifico, a livello di progetto esecutivo dell'opera, dovrà essere valutata correttamente la quantità di terre e rocce da scavo, sia da utilizzare nel sito in progetto sia eventualmente da impiegare in altri progetti ed opere già autorizzati (eventualità comunque da scartare data l'esiguità dell'opera in progetto) ed, eventualmente, dovrà essere verificata la sussistenza dei requisiti di cui al comma 1, lett. c), dell'art. 185 del D.lgs. 152/2006 e s.m.i. per il riutilizzo nel sito di produzione; la non contaminazione sarà verificata ai sensi dell'All. 4 del D.P.R. 120/2017.

15. CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati sopra riportati possiamo affermare che:

- dal punto di vista **stratigrafico**, al di sotto dei terreni alterati e di riporto, il terreno è costituito da depositi alluvionali recenti e attuali, caratterizzati da una alternanza di limi e argille con intercalati livelli di argille organiche per tutto il tratto indagato;

- dal punto di vista **geomorfologico** nell'area in studio non sono presenti fenomeni di dissesto in atto la cui evoluzione possa interessare l'opera da realizzare o che l'intervento stesso possa in qualche modo compromettere ulteriormente il fenomeno;
- dal punto di vista **geomeccanico**, i terreni più superficiali, al di sotto del materiale di riporto e di quello alterato sono caratterizzati da valori di Q_c compresi tra 35 e 80 kg/cm²;
- dal punto di vista **idrogeologico**, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche non è stata riscontrata la presenza della falda freatica superficiale;
- dal punto di vista **idraulico** non si evidenziano particolari problemi.

Pertanto si ritiene che non esistano motivi di carattere geologico-tecnico che possano impedire la ricostruzione della struttura in progetto, purché si adottino gli accorgimenti consigliati.

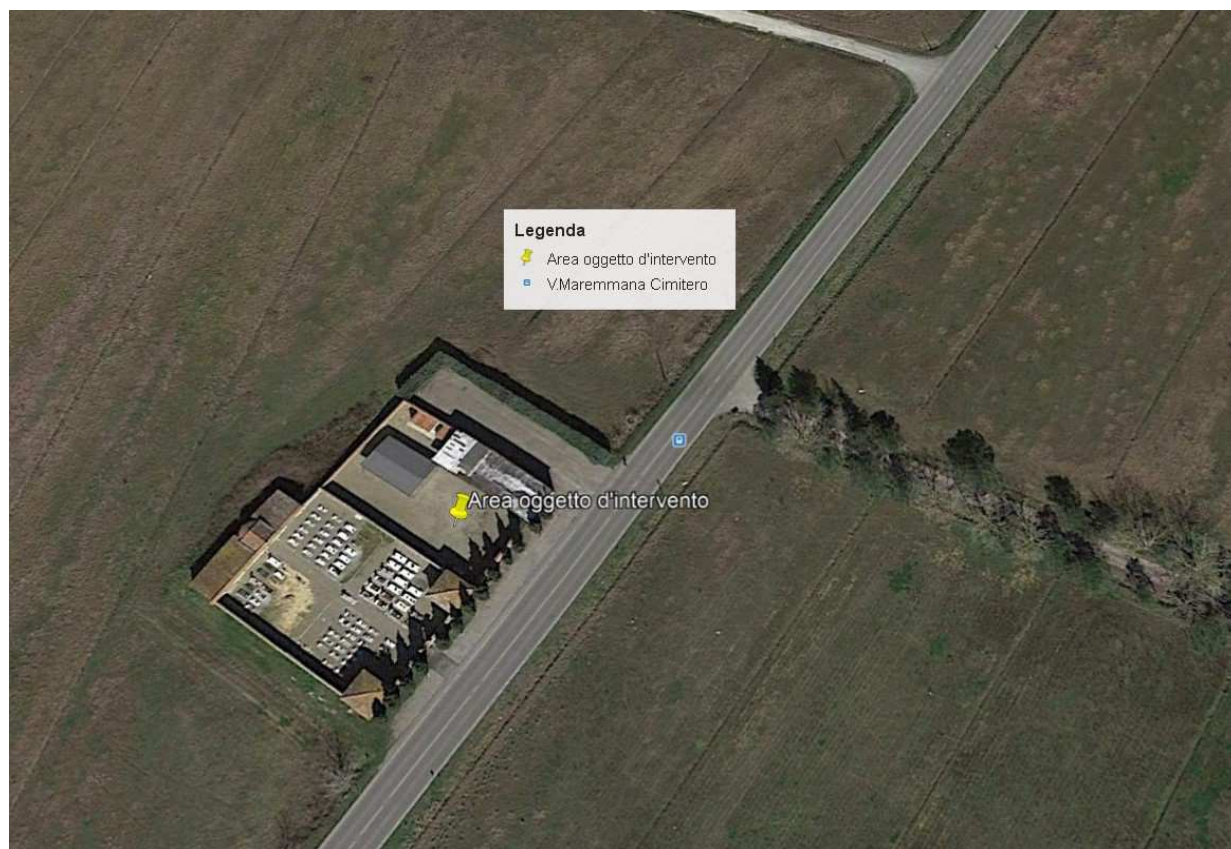
Casciana Terme Lari, Settembre 2019

Dott. Geol. Elena Baldi



INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Via Maremmana - Lavaiano

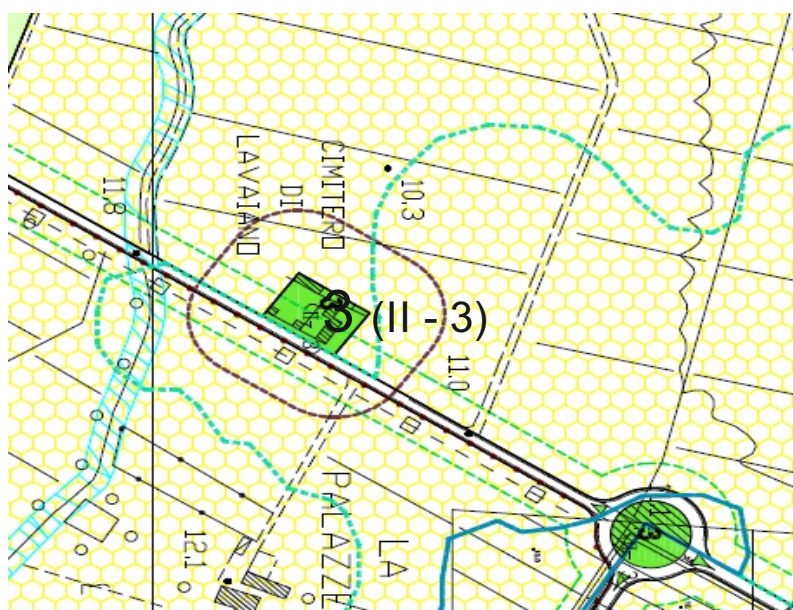


ESTRATTO REGOLAMENTO URBANISTICO VIGENTE

Tav. 4a - Zone Omogenee - Lavaiano

CARTA DELLA FATTIBILITA' EX REG.26/R/2007

Scala 1:2.000



Legenda



Zona F1: Aree destinate a verde e attrezzature pubbliche ai sensi del D.M. 1444/68

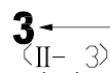


Zona E2: Aree agricole di pianura corrispondenti al Subsystema Agricolo della piana del Fiume Cascina

Area oggetto di intervento

FATTIBILITA' GEOLOGICA

(ai sensi della D.P.G.R. 27/04/2007 n. 26/r)



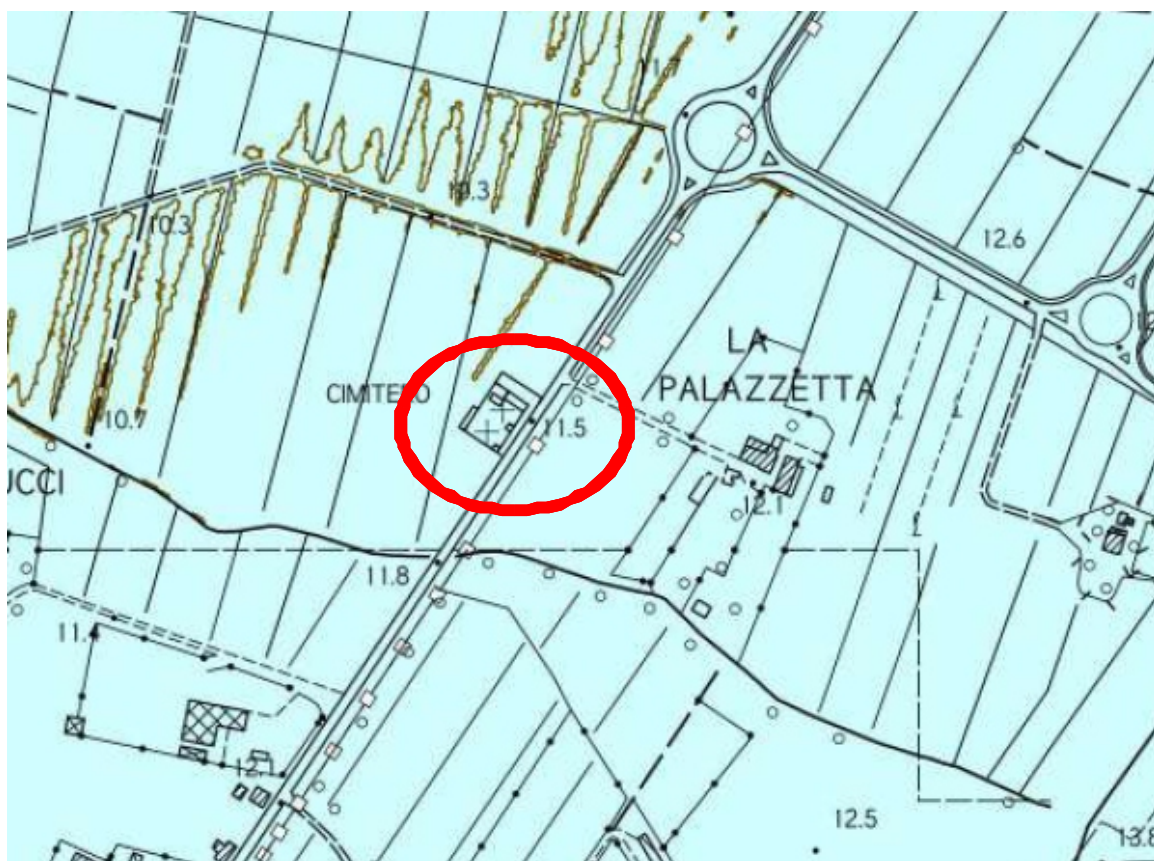
Classe di Fattibilità massima

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti idraulici

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti geomorfologici

CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

Scala 1:10.000



Legenda

Formazioni Geologiche

[All] Depositi alluvionali attuali e recenti

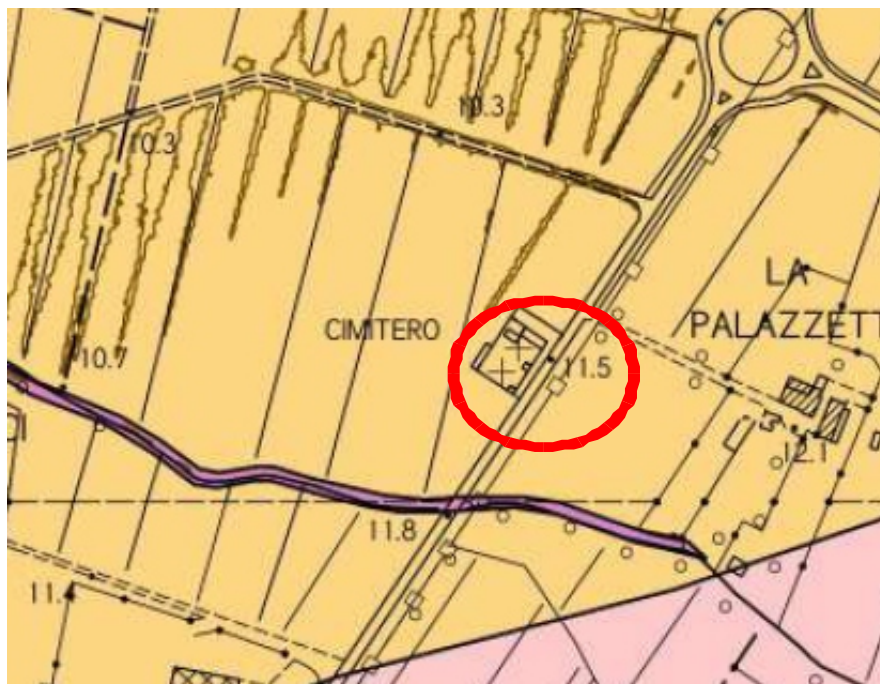
Elementi Spaziali

Depositi alluvionali attuali e recenti

Area in esame

CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

Scala 1:10.000



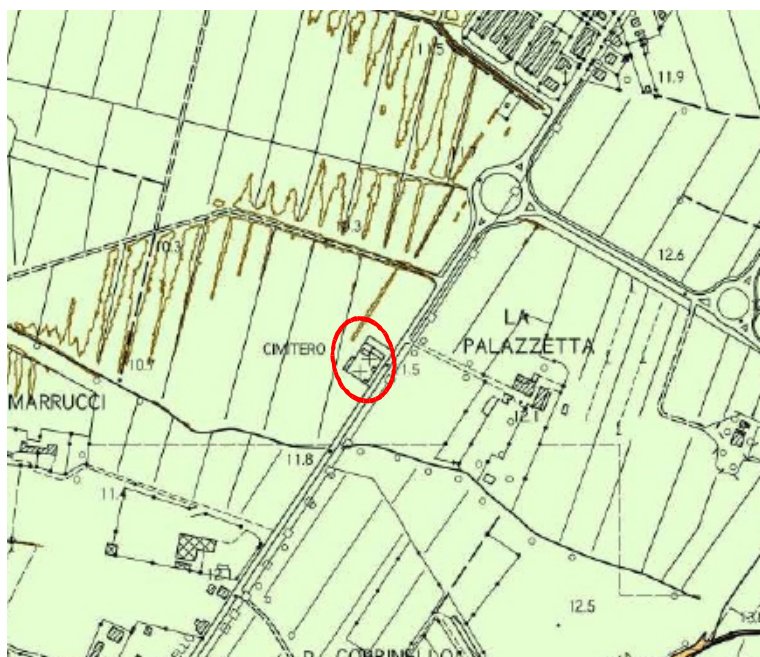
Legenda

Classi di Vulnerabilità Idrogeologica ai sensi dell'art.20 del PTC Provinciale

Classe 3 - Sottoclasse 3A - Vulnerabilità media


CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA AI SENSI DEL D.P.G.R. 53/R/2011

Scala 1:10.000



Legenda

Classi di Pericolosità ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011 n. 53/R

 G.2 - Pericolosità geologica media






Area in esame

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA P.G.R.A.

Scala 1:10.000



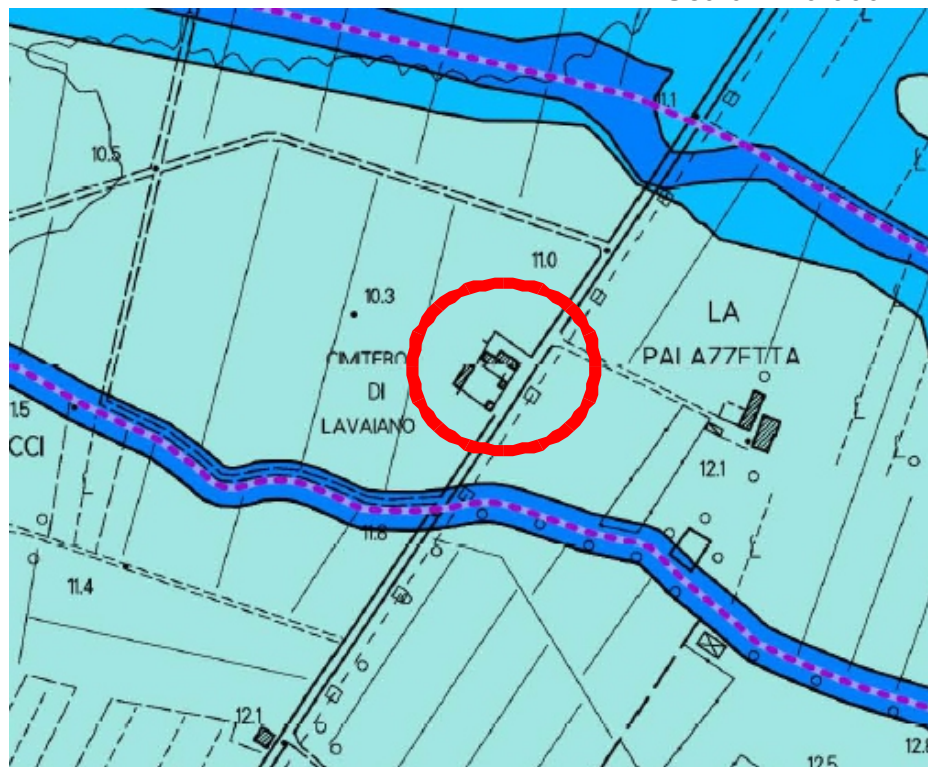
Pericolosità Idraulica

 P1  P2  P3

 Area in esame

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA AI SENSI DEL D.P.G.R. N. 53/R/2011

Scala 1:10.000



Legenda

Pericolosità Idraulica ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

I.1 - Pericolosità idraulica bassa

I.2 - Pericolosità idraulica media

I.3 - Pericolosità idraulica elevata

I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

----- Reticolo idrografico di riferimento della Regione Toscana (L.R. 79/2012)

○ Area in esame

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA AI SENSI DEL D.P.G.R. N. 26/R/2007

Scala 1:10.000



Legenda

Zona sismica di riferimento (Del. G.R.T. 431 del 19/06/2006) 3S		GRADO DI PERICOLOSITA' SISMICA
SIMBOLOGIA	TIPOLOGIA DELLE SITUAZIONI	
(1)	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	S4
(2A)	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	S3
(2B)	Zona potenzialmente franosa (sede di intensi fenomeni di erosione)	S3
(4)	Zona con terreni particolarmente scendenti (ex cavi ricolmi)	S3
(8)	Zona di bordo della valle e di raccordo con il versante	S3
(9)	Zona con presenza di depositi alluvionali e di depositi del ciclo stratigrafico plio-pleistocenico (complesso neoaustroalpino)	S3
(10)	Zona con presenza di coperture colluviali	S3

N.B.

L'area in esame non è stata esaminata, durante gli studi per il Nuovo Piano Strutturale, ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R/2011.

In seguito alle indagini sismiche effettuate per la progettazione dei nuovi loculi si può ipotizzare la seguente classe di pericolosità sismica

Legenda

Classi di Pericolosità sismica ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

Classe S2 - Pericolosità sismica media


CARTA LITOTECNICA E DELLE INDAGINI

Scala 1:5.000




Legenda

CLASSI LITOTECNICHE (SECONDO V.E.L. REGIONE TOSCANA)

 F1.s5/6.t2

Indagini eseguite Dicembre 2018

 MASW

 CPT

ALL. 10 INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano	profondità prova:	8,80
località:	Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	Foro attrezzato con tubo piezometrico		

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, autoancorante

Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750

Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani

Punta: conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)

Manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)

Velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m



PENETRATIO s.n.c.

Via P.Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiaptec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 43-2018**

(Archivio interno 101L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari data: 29/12/18
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano profondità prova: 8,80 m
località: Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI) quota inizio: p.c.
Note: Foro attrezzato con tubo piezometrico

profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs	profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs
(metri)	punta	Punta + laterale	(Kg/cmq)			(metri)	punta	Punta +laterale	(Kg/cmq)		
0,20	----	----	----	----	----	4,60	28,0	60,0	28,0	2,27	12,35
0,40	----	----	----	1,13	----	4,80	27,0	61,0	27,0	2,00	13,50
0,60	15,0	32,0	15,0	0,73	20,45	5,00	33,0	63,0	33,0	2,00	16,50
0,80	9,0	20,0	9,0	0,27	33,75	5,20	30,0	60,0	30,0	2,00	15,00
1,00	8,0	12,0	8,0	0,40	20,00	5,40	33,0	63,0	33,0	2,33	14,14
1,20	13,0	19,0	13,0	0,80	16,25	5,60	31,0	66,0	31,0	2,07	15,00
1,40	19,0	31,0	19,0	1,20	15,83	5,80	30,0	61,0	30,0	2,27	13,24
1,60	22,0	40,0	22,0	1,60	13,75	6,00	31,0	65,0	31,0	2,33	13,29
1,80	26,0	50,0	26,0	2,00	13,00	6,20	33,0	68,0	33,0	2,53	13,03
2,00	29,0	59,0	29,0	2,27	12,79	6,40	38,0	76,0	38,0	3,13	12,13
2,20	26,0	60,0	26,0	2,47	10,54	6,60	37,0	84,0	37,0	2,87	12,91
2,40	25,0	62,0	25,0	2,40	10,42	6,80	41,0	84,0	41,0	2,60	15,77
2,60	25,0	61,0	25,0	2,67	9,38	7,00	48,0	87,0	48,0	2,93	16,36
2,80	23,0	63,0	23,0	2,27	10,15	7,20	49,0	93,0	49,0	3,40	14,41
3,00	23,0	57,0	23,0	2,13	10,78	7,40	46,0	97,0	46,0	3,13	14,68
3,20	25,0	57,0	25,0	2,27	11,03	7,60	47,0	94,0	47,0	3,60	13,06
3,40	23,0	57,0	23,0	2,00	11,50	7,80	45,0	99,0	45,0	3,07	14,67
3,60	22,0	52,0	22,0	2,13	10,31	8,00	43,0	89,0	43,0	3,67	11,73
3,80	22,0	54,0	22,0	2,00	11,00	8,20	44,0	99,0	44,0	2,60	16,92
4,00	26,0	56,0	26,0	1,87	13,93	8,40	42,0	81,0	42,0	3,40	12,35
4,20	28,0	56,0	28,0	2,33	12,00	8,60	55,0	106,0	55,0	3,60	15,28
4,40	28,0	63,0	28,0	2,13	13,13	8,80	50,0	104,0	50,0		

PENETRATIO s.n.c.

Via P.Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)

tel.0571418116

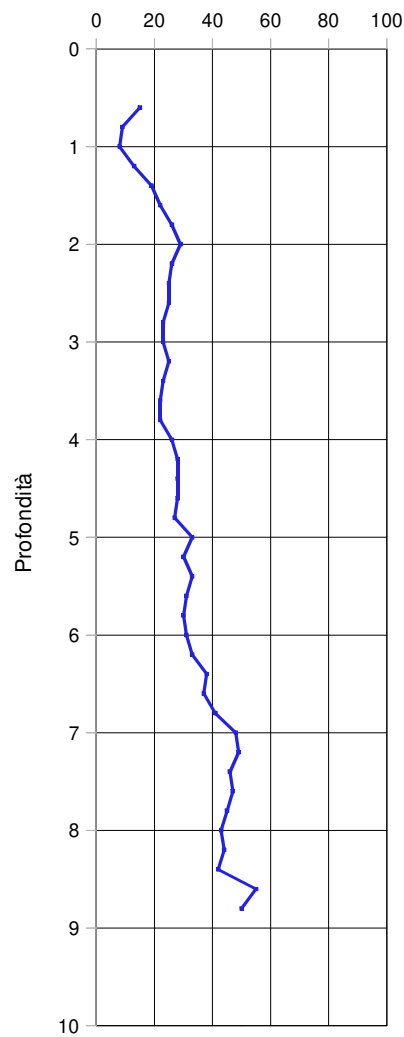
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
GRAFICI DELLE RESISTENZE**Rif.****43-2018**

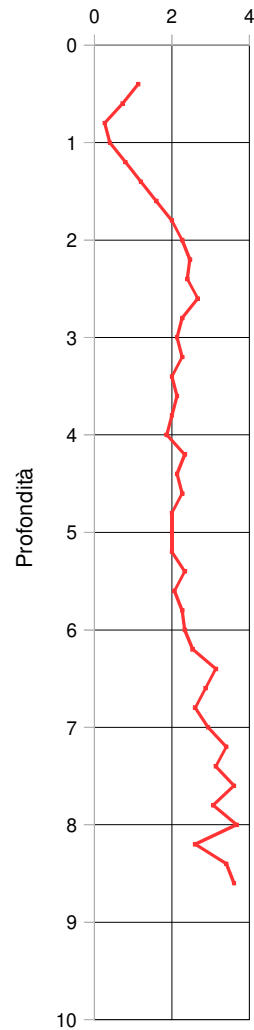
(Archivio interno 101L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano
località: Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI)
Note: Foro attrezzato con tubo piezometrico

data: 29/12/18
profondità prova: 8,8 m
quota inizio: p.c.



qc (kg/cmq)



fs (kg/cmq)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano	profondità prova:	9,80
località:	Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	-		

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Penetrometro: statico/dinamico PAGANI TG 63-200 da 20 ton, autoancorante

Sistema di ancoraggio: aste elicoidali di serie (mm) Ø100x750

Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani

Punta: conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)

Manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)

Velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m



PENETRATIO s.n.c.

Via P.Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiaptec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 43-2018**

(Archivio interno 101L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari data: 29/12/18
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano profondità prova: 9,80 m
località: Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI) quota inizio: p.c.
Note: -

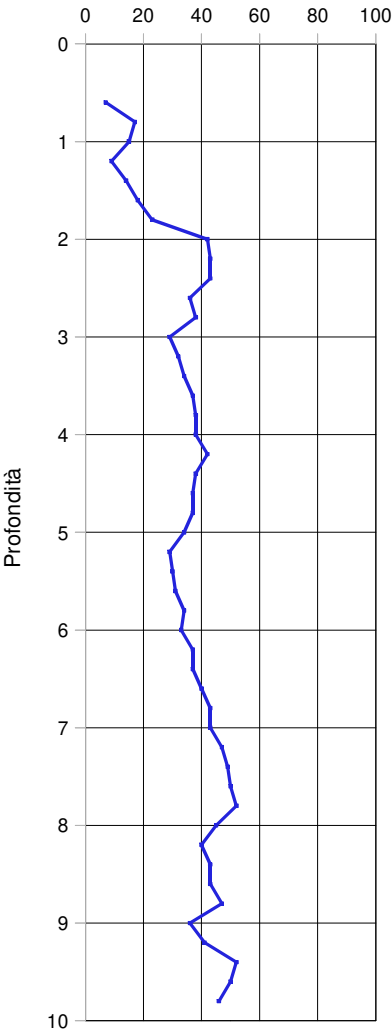
profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs	profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs
(metri)	punta	Punta + laterale	(Kg/cmq)			(metri)	punta	Punta + laterale	(Kg/cmq)		
0,20	----	----	----	----	----	5,20	29,0	65,0	29,0	2,20	13,18
0,40	----	----	----	1,80	----	5,40	30,0	63,0	30,0	2,27	13,24
0,60	7,0	34,0	7,0	0,60	11,67	5,60	31,0	65,0	31,0	2,00	15,50
0,80	17,0	26,0	17,0	1,00	17,00	5,80	34,0	64,0	34,0	2,00	17,00
1,00	15,0	30,0	15,0	0,73	20,45	6,00	33,0	63,0	33,0	2,20	15,00
1,20	9,0	20,0	9,0	0,47	19,29	6,20	37,0	70,0	37,0	2,67	13,88
1,40	14,0	21,0	14,0	0,80	17,50	6,40	37,0	77,0	37,0	2,73	13,54
1,60	18,0	30,0	18,0	1,27	14,21	6,60	40,0	81,0	40,0	2,73	14,63
1,80	23,0	42,0	23,0	1,67	13,80	6,80	43,0	84,0	43,0	2,73	15,73
2,00	42,0	67,0	42,0	2,80	15,00	7,00	43,0	84,0	43,0	2,87	15,00
2,20	43,0	85,0	43,0	3,13	13,72	7,20	47,0	90,0	47,0	3,40	13,82
2,40	43,0	90,0	43,0	3,20	13,44	7,40	49,0	100,0	49,0	3,47	14,13
2,60	36,0	84,0	36,0	2,20	16,36	7,60	50,0	102,0	50,0	3,87	12,93
2,80	38,0	71,0	38,0	2,40	15,83	7,80	52,0	110,0	52,0	3,80	13,68
3,00	29,0	65,0	29,0	1,87	15,54	8,00	45,0	102,0	45,0	3,80	11,84
3,20	32,0	60,0	32,0	1,73	18,46	8,20	40,0	97,0	40,0	3,13	12,77
3,40	34,0	60,0	34,0	2,20	15,45	8,40	43,0	90,0	43,0	3,33	12,90
3,60	37,0	70,0	37,0	2,47	15,00	8,60	43,0	93,0	43,0	2,67	16,13
3,80	38,0	75,0	38,0	2,60	14,62	8,80	47,0	87,0	47,0	3,40	13,82
4,00	38,0	77,0	38,0	2,53	15,00	9,00	36,0	87,0	36,0	3,13	11,49
4,20	42,0	80,0	42,0	2,47	17,03	9,20	41,0	88,0	41,0	2,40	17,08
4,40	38,0	75,0	38,0	2,73	13,90	9,40	52,0	88,0	52,0	3,67	14,18
4,60	37,0	78,0	37,0	2,80	13,21	9,60	50,0	105,0	50,0	4,07	12,30
4,80	37,0	79,0	37,0	2,47	15,00	9,80	46,0	107,0	46,0		
5,00	34,0	71,0	34,0	2,40	14,17						

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
GRAFICI DELLE RESISTENZE

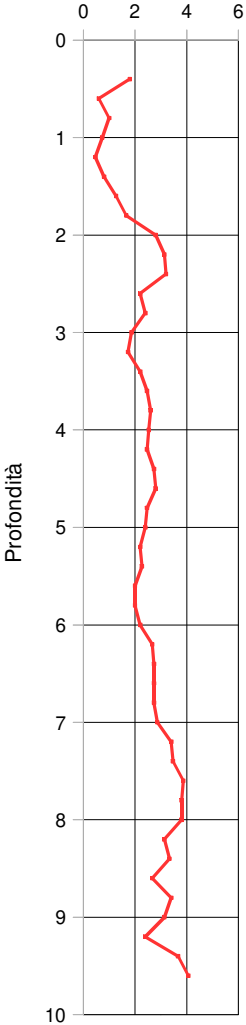
Rif.	43-2018
-------------	----------------

(Archivio interno 101L-2018)

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Lavaiano	profondità prova:	9,8 m
località:	Lavaiano, Via Maremmana-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	-		



qc (kg/cm²)



fs (kg/cm²)



LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (\varnothing 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow spinta) $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

fase 1 - resistenza alla punta $q_c \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale $f_s \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (L_t) \times C_t$

$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$

- L1. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (MegaPascal) = 1 MN/m² = 1000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t / m² = 10 kg/cm²

kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **$F = (q_c / f_s)$**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \%$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi

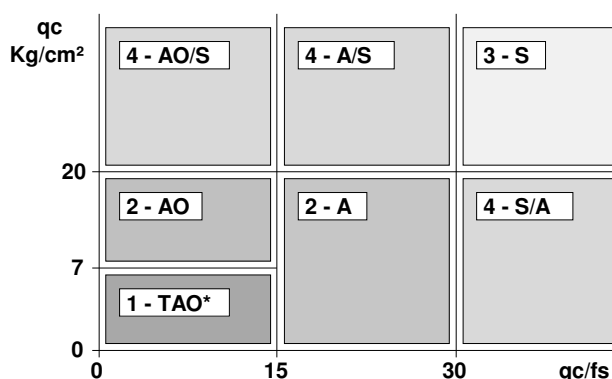
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$q_c \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se $(q_c / f_s) > 30$

$q_c \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se $(q_c / f_s) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ)
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = indice plastico]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - q_c - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - q_c - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - q_c - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media uniforme/ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata
 ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniforme
- ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]

PROVA PENETROMETRICA STATICA

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

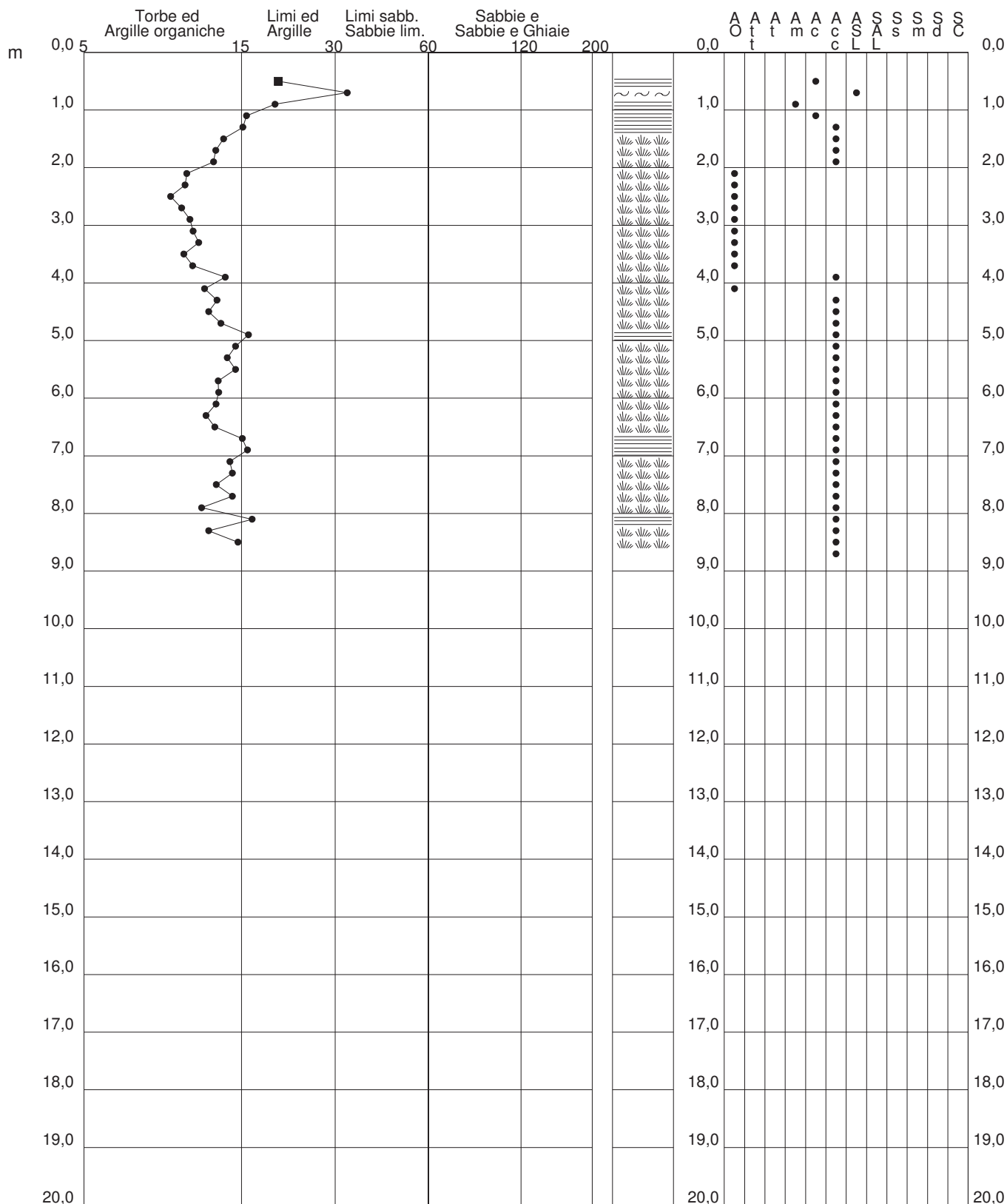
2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Lavaiano, Via Maremmana - Casciana Terme Lari
 - assist. cantiere :

- data : 29/10/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

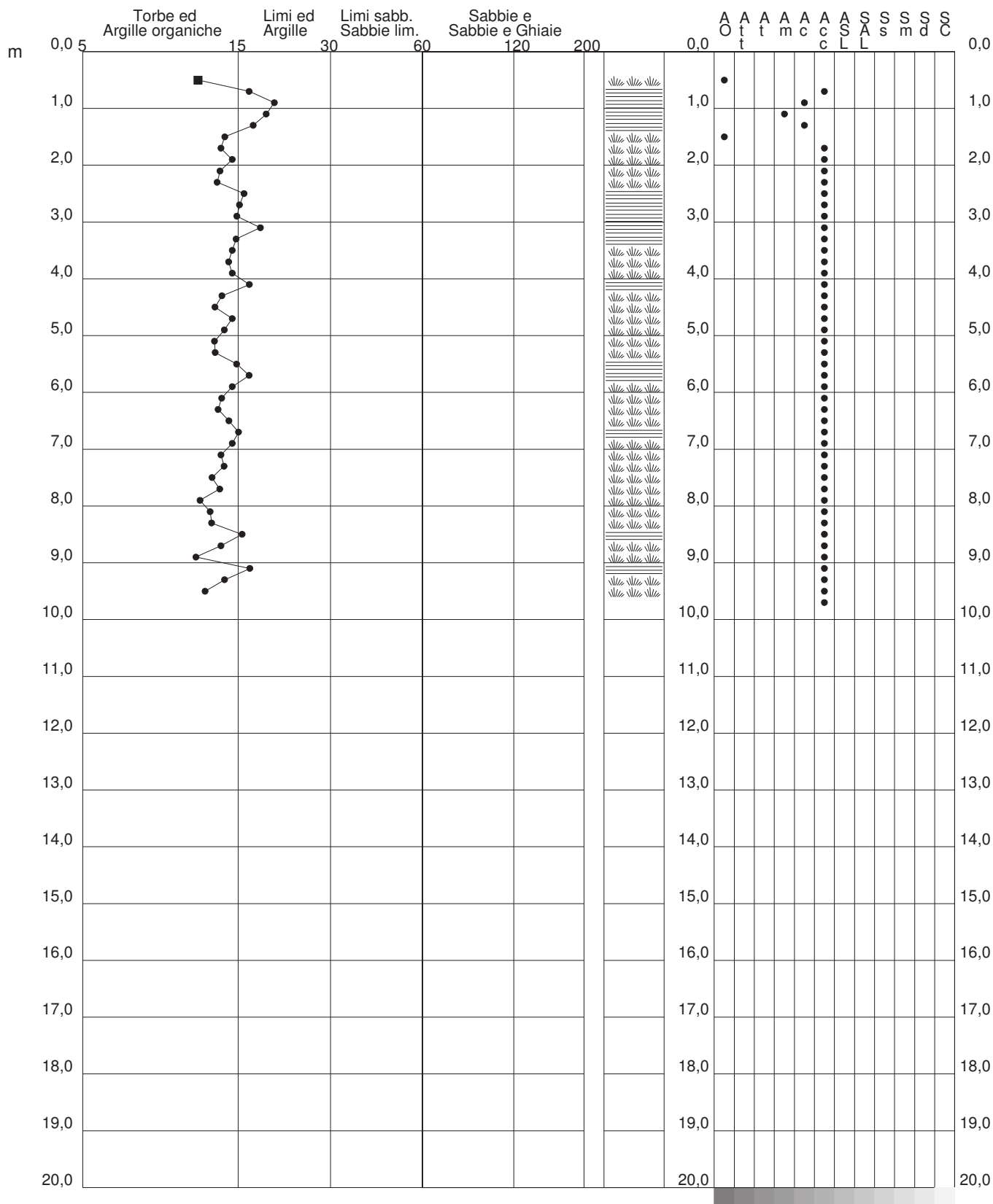
2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Lavaiano, Via Maremmana-Casciana Terme Lari
 - assist. cantiere :

- data : 29/12/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Lavaiano, Via Maremmana - Casciana Terme Lari
 - assist. cantiere :

- data : 29/10/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA														NATURA GRANULARE													
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²						
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
0,60	15	20	2:///	1,85	0,11	0,67	59,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
0,80	9	34	4:/:	1,85	0,15	0,45	25,2	77	115	38	36	33	36	38	41	34	26	0,070	15	23	27						
1,00	8	20	2:///	1,85	0,19	0,40	16,5	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
1,20	13	16	2:///	1,85	0,22	0,60	22,0	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
1,40	19	16	2:///	1,85	0,26	0,78	24,7	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--						
1,60	22	14	4:/:	1,85	0,30	0,85	23,3	144	216	66	50	35	37	40	42	35	28	0,103	37	55	66						
1,80	26	13	4:/:	1,85	0,33	0,93	22,6	158	237	78	53	35	38	40	42	36	28	0,110	43	65	78						
2,00	29	13	4:/:	1,85	0,37	0,98	21,3	167	251	87	54	36	38	40	42	36	29	0,114	48	73	87						
2,20	26	11	4:/:	1,85	0,41	0,93	17,6	158	237	78	48	35	37	39	42	34	28	0,098	43	65	78						
2,40	25	10	4:/:	1,85	0,44	0,91	15,4	155	232	75	44	34	37	39	42	34	28	0,090	42	63	75						
2,60	25	9	4:/:	1,85	0,48	0,91	13,9	155	232	75	42	34	36	39	41	33	28	0,085	42	63	75						
2,80	23	10	4:/:	1,85	0,52	0,87	12,0	148	221	69	38	33	36	38	41	32	28	0,074	38	58	69						
3,00	23	11	4:/:	1,85	0,55	0,87	11,0	148	221	69	36	33	36	38	41	32	28	0,070	38	58	69						
3,20	25	11	4:/:	1,85	0,59	0,91	10,7	155	232	75	37	33	36	38	41	32	28	0,073	42	63	75						
3,40	23	12	4:/:	1,85	0,63	0,87	9,4	150	226	69	33	33	35	38	41	31	28	0,064	38	58	69						
3,60	22	10	4:/:	1,85	0,67	0,85	8,5	158	237	66	30	32	35	38	40	31	28	0,058	37	55	66						
3,80	22	11	4:/:	1,85	0,70	0,85	7,9	169	254	66	29	32	35	37	40	30	28	0,055	37	55	66						
4,00	26	14	4:/:	1,85	0,74	0,93	8,3	176	264	78	33	33	35	38	41	31	28	0,064	43	65	78						
4,20	28	12	4:/:	1,85	0,78	0,97	8,2	185	278	84	34	33	35	38	41	31	28	0,067	47	70	84						
4,40	28	13	4:/:	1,85	0,81	0,97	7,8	197	296	84	33	33	35	38	41	31	28	0,065	47	70	84						
4,60	28	12	4:/:	1,85	0,85	0,97	7,4	210	315	84	32	33	35	38	41	31	28	0,062	47	70	84						
4,80	27	14	4:/:	1,85	0,89	0,95	6,8	225	338	81	30	32	35	38	40	30	28	0,058	45	68	81						
5,00	33	16	4:/:	1,85	0,93	1,10	7,8	224	336	99	36	33	36	38	41	31	29	0,070	55	83	99						
5,20	30	15	4:/:	1,85	0,96	1,00	6,6	247	370	90	32	32	35	38	41	30	29	0,061	50	75	90						
5,40	33	14	4:/:	1,85	1,00	1,10	7,1	250	374	99	34	33	35	38	41	31	29	0,066	55	83	99						
5,60	31	15	4:/:	1,85	1,04	1,03	6,3	271	406	93	31	32	35	38	40	30	29	0,060	52	78	93						
5,80	30	13	4:/:	1,85	1,07	1,00	5,7	288	431	90	29	32	35	37	40	30	29	0,055	50	75	90						
6,00	31	13	4:/:	1,85	1,11	1,03	5,7	298	446	93	29	32	35	37	40	30	29	0,056	52	78	93						
6,20	33	13	4:/:	1,85	1,15	1,10	6,0	304	456	99	31	32	35	38	40	30	29	0,059	55	83	99						
6,40	38	12	4:/:	1,85	1,18	1,27	6,8	300	450	114	35	33	35	38	41	31	30	0,068	63	95	114						
6,60	37	13	4:/:	1,85	1,22	1,23	6,4	317	476	111	33	33	35	38	41	30	30	0,064	62	93	111						
6,80	41	16	4:/:	1,85	1,26	1,37	7,0	316	474	123	36	33	36	38	41	31	30	0,070	68	103	123						
7,00	48	16	4:/:	1,85	1,30	1,60	8,2	309	464	144	40	34	36	39	41	31	31	0,081	80	120	144						
7,20	49	14	4:/:	1,85	1,33	1,63	8,1	319	478	147	40	34	36	39	41	31	31	0,081	82	123	147						
7,40	46	15	4:/:	1,85	1,37	1,53	7,2	339	509	138	38	33	36	38	41	31	31	0,074	77	115	138						
7,60	47	13	4:/:	1,85	1,41	1,57	7,2	349	524	141	38	33	36	38	41	31	31	0,075	78	118	141						
7,80	45	15	4:/:	1,85	1,44	1,50	6,6	370	555	135	36	33	36	38	41	30	31	0,070	75	113	135						
8,00	43	12	4:/:	1,85	1,48	1,43	6,0	391	587	129	33	33	35	38	41	30	30	0,065	72	108	129						
8,20	44	17	4:/:	1,85	1,52	1,47	6,0	401	602	132	34	33	35	38	41	30	31	0,065	73	110	132						
8,40	42	12	4:/:	1,85	1,55	1,40	5,5	421	631	126	31	32	35	38	41	30	30	0,061	70	105	126						
8,60	55	15	4:/:	1,85	1,59	1,83	7,5	390	584	165	40	34	36	39	41	31	31	0,080	92	138	165						
8,80	50	--	3:::	1,85	1,63	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	30	31	0,071	83	125	150						

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Lavaiano, Via Maremmana-Casciana Terme Lari
 - assist. cantiere :

- data : 29/12/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	7	12	1***	1,85	0,11	0,35	26,4	14	21	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	17	17	2////	1,85	0,15	0,72	45,6	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	15	20	2////	1,85	0,19	0,67	31,2	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	9	19	2////	1,85	0,22	0,45	15,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	14	17	2////	1,85	0,26	0,64	19,3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	18	14	2////	1,85	0,30	0,75	20,1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	23	14	4:/:	1,85	0,33	0,87	20,8	148	221	69	48	35	37	39	42	35	28	0,100	38	58	69
2,00	42	15	4:/:	1,85	0,37	1,40	33,1	238	357	126	66	37	39	41	43	38	30	0,149	70	105	126
2,20	43	14	4:/:	1,85	0,41	1,43	30,3	244	366	129	65	37	39	41	43	37	30	0,144	72	108	129
2,40	43	13	4:/:	1,85	0,44	1,43	27,2	244	366	129	63	37	39	41	43	37	30	0,138	72	108	129
2,60	36	16	4:/:	1,85	0,48	1,20	19,7	204	306	108	55	36	38	40	42	35	30	0,116	60	90	108
2,80	38	16	4:/:	1,85	0,52	1,27	19,2	215	323	114	55	36	38	40	42	35	30	0,116	63	95	114
3,00	29	16	4:/:	1,85	0,55	0,98	12,8	167	251	87	44	34	37	39	42	33	29	0,089	48	73	87
3,20	32	18	4:/:	1,85	0,59	1,07	13,1	181	272	96	46	34	37	39	42	34	29	0,093	53	80	96
3,40	34	15	4:/:	1,85	0,63	1,13	13,1	193	289	102	46	34	37	39	42	34	29	0,095	57	85	102
3,60	37	15	4:/:	1,85	0,67	1,23	13,6	210	315	111	48	35	37	39	42	34	30	0,098	62	93	111
3,80	38	15	4:/:	1,85	0,70	1,27	13,1	215	323	114	47	35	37	39	42	34	30	0,097	63	95	114
4,00	38	15	4:/:	1,85	0,74	1,27	12,3	215	323	114	46	34	37	39	42	33	30	0,094	63	95	114
4,20	42	17	4:/:	1,85	0,78	1,40	13,1	238	357	126	48	35	37	39	42	34	30	0,100	70	105	126
4,40	38	14	4:/:	1,85	0,81	1,27	10,9	215	323	114	44	34	37	39	42	33	30	0,089	63	95	114
4,60	37	13	4:/:	1,85	0,85	1,23	10,0	210	315	111	42	34	36	39	41	32	30	0,084	62	93	111
4,80	37	15	4:/:	1,85	0,89	1,23	9,5	213	319	111	41	34	36	39	41	32	30	0,081	62	93	111
5,00	34	14	4:/:	1,85	0,93	1,13	8,1	221	332	102	37	33	36	38	41	31	29	0,073	57	85	102
5,20	29	13	4:/:	1,85	0,96	0,98	6,5	249	373	87	30	32	35	38	40	30	29	0,059	48	73	87
5,40	30	13	4:/:	1,85	1,00	1,00	6,3	260	391	90	31	32	35	38	40	30	29	0,059	50	75	90
5,60	31	16	4:/:	1,85	1,04	1,03	6,3	271	406	93	31	32	35	38	40	30	29	0,060	52	78	93
5,80	34	17	4:/:	1,85	1,07	1,13	6,7	273	410	102	33	33	35	38	41	31	29	0,065	57	85	102
6,00	33	15	4:/:	1,85	1,11	1,10	6,2	291	436	99	31	32	35	38	41	30	29	0,061	55	83	99
6,20	37	14	4:/:	1,85	1,15	1,23	6,9	290	435	111	34	33	35	38	41	31	30	0,067	62	93	111
6,40	37	14	4:/:	1,85	1,18	1,23	6,6	303	455	111	34	33	35	38	41	30	30	0,066	62	93	111
6,60	40	15	4:/:	1,85	1,22	1,33	7,0	306	459	120	36	33	36	38	41	31	30	0,070	67	100	120
6,80	43	16	4:/:	1,85	1,26	1,43	7,4	310	464	129	37	33	36	38	41	31	30	0,074	72	108	129
7,00	43	15	4:/:	1,85	1,30	1,43	7,1	323	484	129	37	33	36	38	41	31	30	0,072	72	108	129
7,20	47	14	4:/:	1,85	1,33	1,57	7,7	323	485	141	39	33	36	38	41	31	31	0,078	78	118	141
7,40	49	14	4:/:	1,85	1,37	1,63	7,8	331	496	147	40	34	36	39	41	31	31	0,079	82	123	147
7,60	50	13	4:/:	1,85	1,41	1,67	7,8	340	511	150	40	34	36	39	41	31	31	0,079	83	125	150
7,80	52	14	4:/:	1,85	1,44	1,73	7,9	348	522	156	41	34	36	39	41	31	31	0,081	87	130	156
8,00	45	12	4:/:	1,85	1,48	1,50	6,4	384	576	135	35	33	35	38	41	30	31	0,068	75	113	135
8,20	40	13	4:/:	1,85	1,52	1,33	5,3	414	621	120	30	32	35	38	40	30	30	0,058	67	100	120
8,40	43	13	4:/:	1,85	1,55	1,43	5,7	418	627	129	32	33	35	38	41	30	30	0,062	72	108	129
8,60	43	16	4:/:	1,85	1,59	1,43	5,5	431	646	129	32	32	35	38	41	30	30	0,061	72	108	129
8,80	47	14	4:/:	1,85	1,63	1,57	6,0	431	647	141	34	33	35	38	41	30	31	0,067	78	118	141
9,00	36	11	4:/:	1,85	1,66	1,20	4,2	465	697	108	24	31	34	37	40	28	30	0,047	60	90	108
9,20	41	17	4:/:	1,85	1,70	1,37	4,8	472	709	123	28	32	35	37	40	29	30	0,054	68	103	123
9,40	52	14	4:/:	1,85	1,74	1,73	6,3	454	681	156	36	33	36	38	41	30	31	0,071	87	130	156
9,60	50	12	4:/:	1,85	1,78	1,67	5,8	475	712	150	34	33	35	38	41	30	31	0,067	83	125	150
9,80	46	--	3:::	1,85	1,81	--	--	--	--	--	31	32	35	38	40	29	31	0,059	77	115	138

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.
ESEGUITA IN VIA MAREMMANA, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE DI LAVAIANO,
NEL COMUNE DI CASCIANA TERME LARI (PI)**



~~~~~

**Gennaio 2019**

**Committente: A. C. Casciana Terme Lari**



**INDICE**

|                                                       |   |
|-------------------------------------------------------|---|
| 1 PREMESSE.....                                       | 3 |
| 2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH..... | 3 |
| 3 IL METODO M.A.S.W.....                              | 5 |
| 4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE.....         | 6 |
| 5 INTERPRETAZIONE DEI DATI.....                       | 7 |

**ALLEGATI:**

- *Grafici “common-shot gather”, spettro di velocità, profilo verticale onde S e modello sismostratigrafico*
- *Report di calcolo*
- *Documentazione fotografica*

## **RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA IN VIA MAREMMANA, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE DI LAVAIANO, NEL COMUNE DI CASCIANA TERME LARI (PI)**



### **1 PREMESSE**

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita per conto dell'A.C. di Casciana Terme Lari (PI) nel Cimitero comunale di Lavaiano sito lungo il corso di Via Maremmana.

L'indagine M.A.S.W. è stata effettuata con l'obiettivo di determinare il parametro  $V_{seq}$ , necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, volendo procedere con l'approccio semplificato secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018 – “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”).

### **2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH**

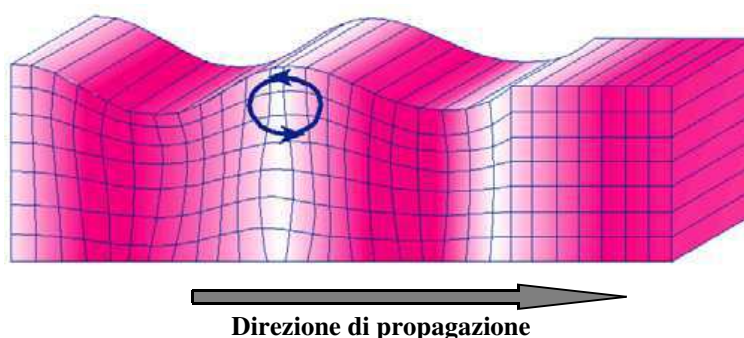
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92 V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ .

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



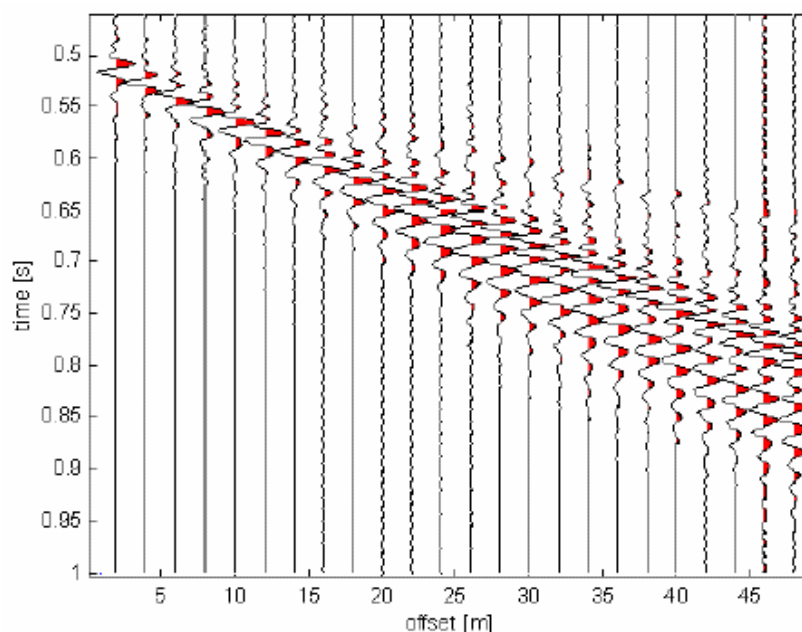
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 17/01/2018, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



**Fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

### **3 IL METODO M.A.S.W.**

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è un'efficiente e accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

### **4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE**

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB



- . distortion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)
  - 800 msec (6121 punti)
  - 1000 msec
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66  $\mu$ V RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 1,50 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2,0 m, 3,0 m e 5,00 m dalla linea geofonica
- tempo di acquisizione: 1.000 msec

Il profilo è da considerare orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine del decimetro).

## **5 INTERPRETAZIONE DEI DATI**

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW versione 6.0 professional, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite il processo d'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh acquisite con la tecnica MASW. Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il processo si articola in due fasi:

- determinazione dello spettro di velocità dove è possibile identificare la curva di dispersione, mediante il picking riconoscendo il solo modo fondamentale o anche i modi superiori.
- inversione della curva di dispersione mediante algoritmi genetici.

Per il processo d'inversione si procede definendo un intervallo di ricerca sia per quanto riguarda le velocità che per gli spessori, all'interno del quale il software valuta tutte le possibili soluzioni fornendo quella più rispondente al picking eseguito. Risulta evidente che la rispondenza tra modello reale del sito e quello ottenuto dal processo d'inversione risente fortemente degli intervalli impostati all'interno dei quali il software esegue la ricerca. Il modello calcolato sarà tanto più prossimo a quello reale quante più informazioni si avranno a disposizione per il sito in esame e quindi tanto più gli intervalli di ricerca saranno stringenti.

È possibile inoltre procedere con la modellazione diretta inserendo un modello di partenza del sito e confrontando la curva sintetica calcolata dal software con quella di dispersione ottenuta dalle rilevazioni con tecnica MASW.

Nel caso in esame il *picking* della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il modo fondamentale e il primo e secondo modo superiore utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 3,0 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione. Anche gli spettri relativi agli altri shots sono risultati confrontabili con quello preso in esame.

I profili di velocità delle onde S ottenuti sono profili semplificati multistrato derivanti da parametri di partenza quali spessori e ranges di velocità. Tali parametri sono stimabili con indagini aggiuntive quali sondaggi geognostici, prove penetrometriche, indagini di sismica in foro o a rifrazione. In assenza di tali approfondimenti non è possibile ottenere il modello reale sismo-stratigrafico, ma sarà comunque possibile fornire un valore di  $V_{s,eq}$  affidabile.

Il software winMasw presenta come soluzione due modelli: il *modello migliore*, cioè quello che presenta la differenza minore tra la curva osservata e calcolata, e un *modello medio* calcolato secondo un'operazione statistica, fornendo per ciascun modello il valore di  $V_{s,eq}$ .

Di seguito sono riportate le velocità  $V_{s,eq}$  e gli spessori dei livelli sismici costituenti i due modelli.

- secondo il MODELLO MEDIO

| strato n.     | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| VS (m/s):     | 158 | 216 | 259 | 366 |
| spessori (m): | 4,0 | 6,5 | 9,7 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1   | 2    | 3     | 4   |
|---------------|-----|------|-------|-----|
| VS (m/s):     | 158 | 218  | 255   | 405 |
| spessori (m): | 4,0 | 6,16 | 11,15 |     |



Poichè, come evidenziato dalle tabelle sopra riportate e nella colonna sismostratigrafica in allegato 1, l'indagine sismica non ha intercettato il substrato ( $V_s > 800$  m/s) entro la profondità di -30,00 m dal p.c. di riferimento, in ottemperanza con quanto riportato nel D.M. 17 gennaio 2018, il valore della  $V_{s_{eq}}$  è definito dal parametro  $V_{s_{30}}$ .

Con i dati ottenuti per la zona di indagine si ha:

- $V_{s_{30}}$  del modello medio: **251 m/s**
- $V_{s_{30}}$  del modello migliore: **253 m/s**

Fermo restando che la scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al Progettista, sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito oltre ai risultati della presente indagine sismica, si osserva che il valore della  $V_{s_{30}}$  determinato identifica una categoria di sottosuolo di tipo **C** secondo la tabella 3.2.II del DM 17 gennaio 2018 (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni), corrispondente a *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Per la consultazione del report si rimanda all'allegato 2 in calce.

San Miniato (PI), 7/01/2019

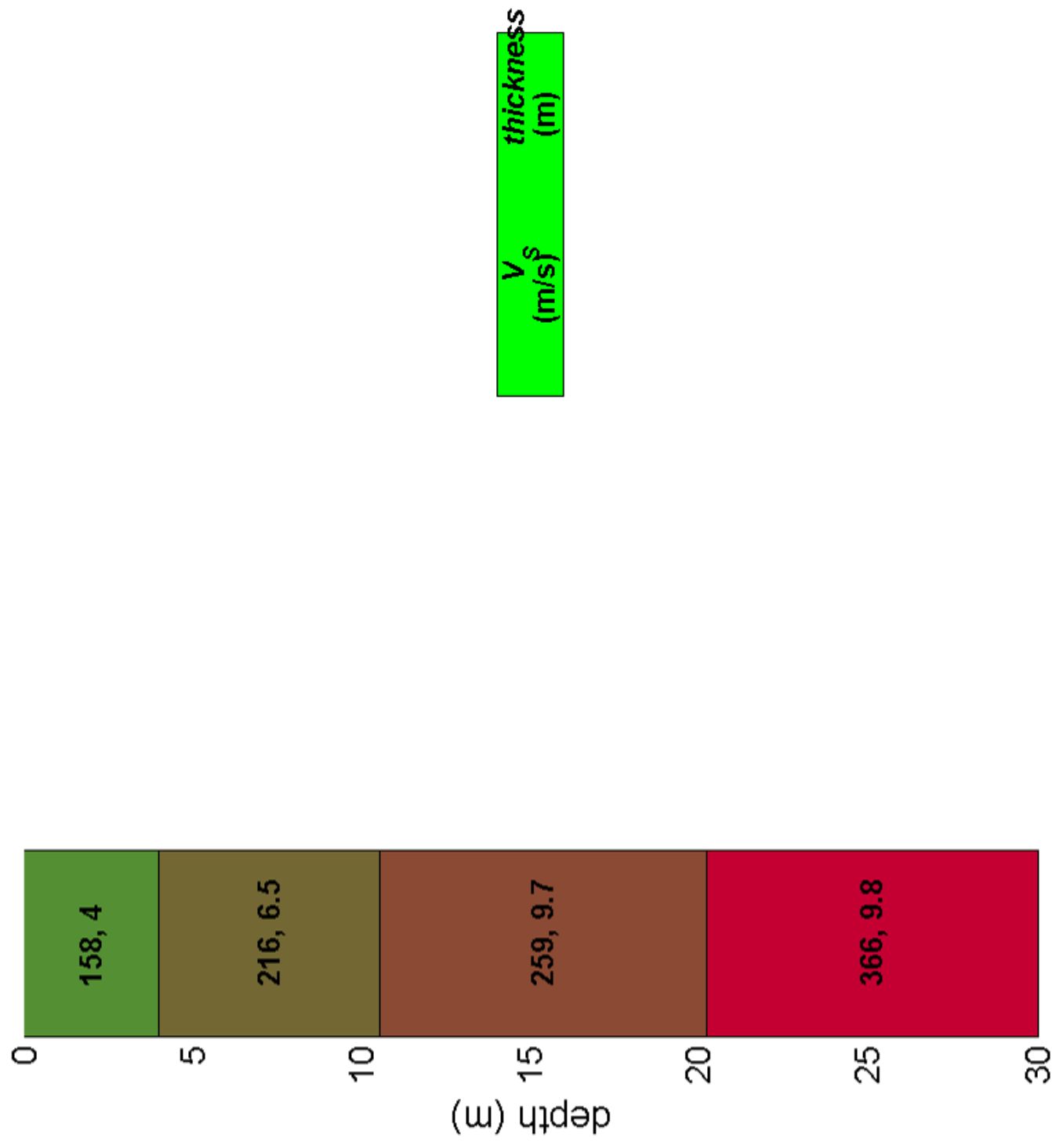
**Penetratio s.n.c.**

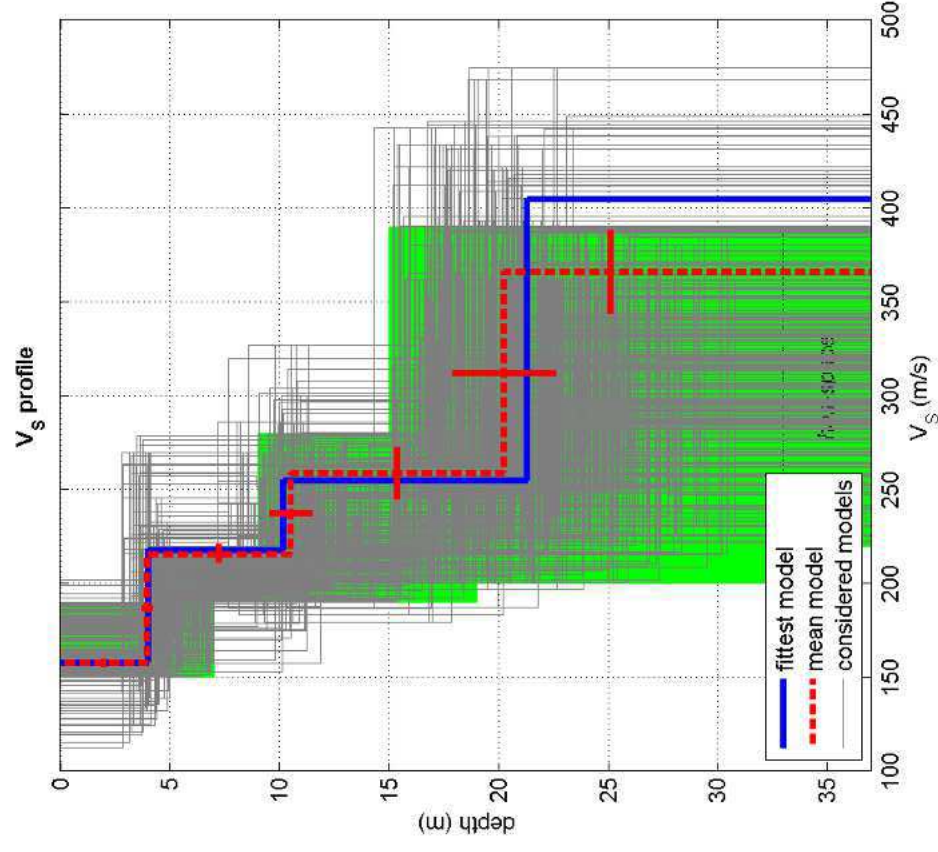
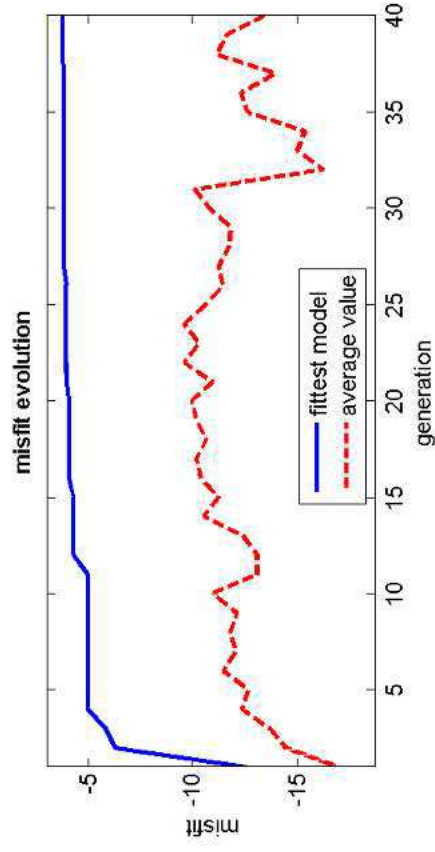
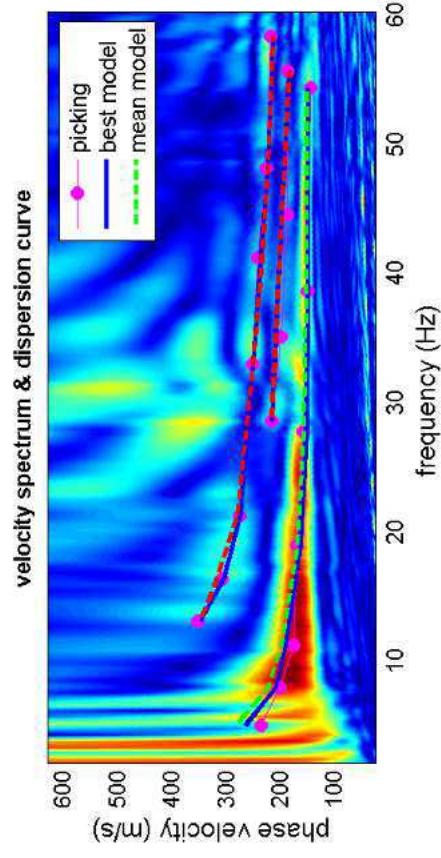
Dott. Geol. G. Lotti



***Allegato 1***

# Subsurface model

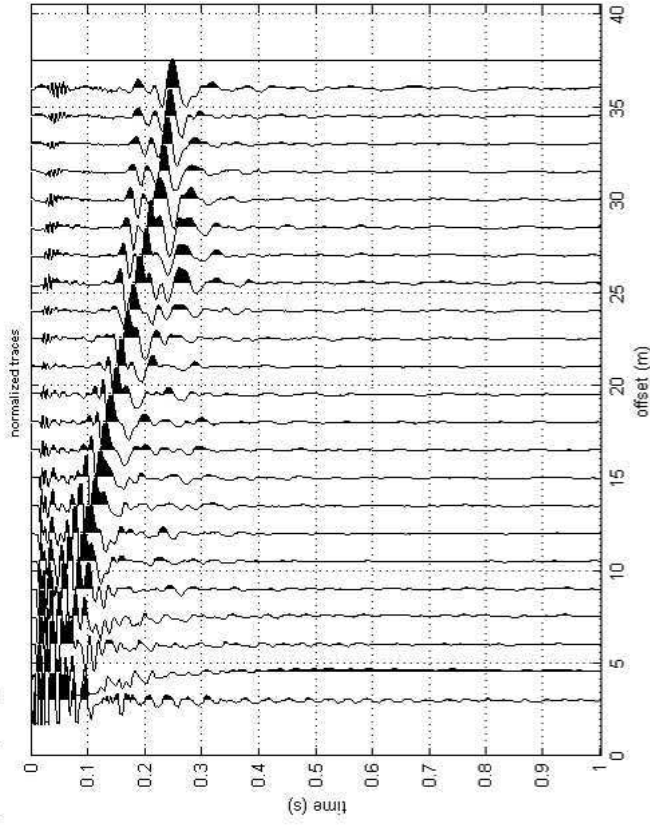




dataset: 3m sp 1.5m.SGY  
 dispersion curve: 3m.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 253 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 251 m/s

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 3m sp 1.5m.SGY  
sampling: 0.131 ms  
minimum offset: 3 m  
geophone spacing: 1.5 m



resampling

1

resample

accept

data selection

activate

select

cancel

60

save

filtering & spectra

filter

cancel

spectrum

spectrogram

refraction

refraction

upload

clear refraction

100

save

other tools & setting

1.00215

time length to visualize (s)

done

flip traces

zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity

☐ f-k

group velocity

handling the spectra

save

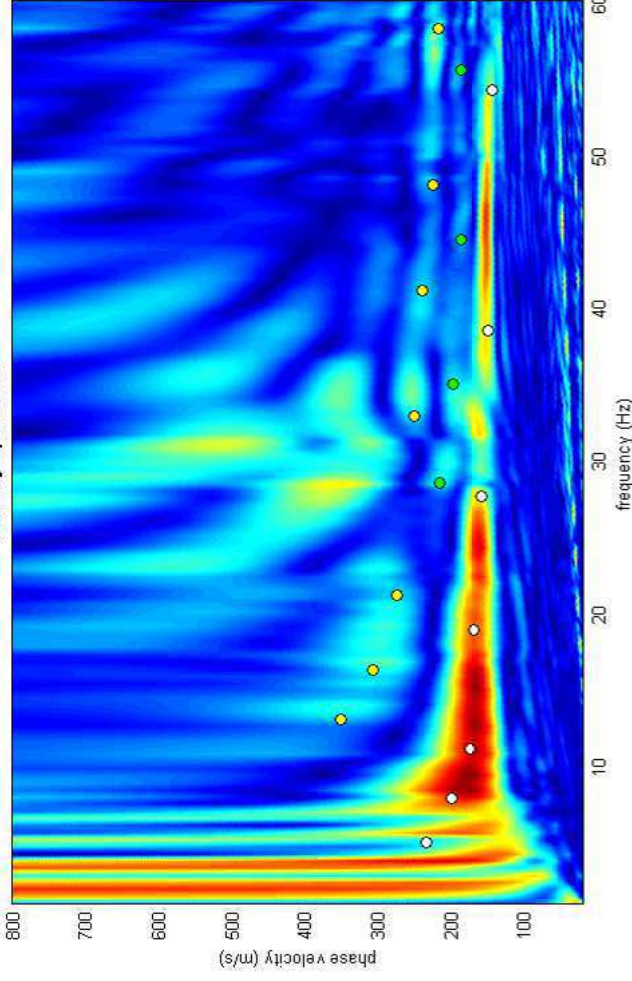
upload

merge

explore spectrum

mode separation

velocity spectrum



general setting

Rayleigh

3

phase vel

Refraction

0

Reference depth

H/V body waves

0

H/V modes (SW ellipticity)

about Poisson

Vs (m/s)

100

180

260

400

600

800

1200

0

Poisson

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

thickness (m)

1

2

5

5

7

80

0

calculate

upload mod

save model

refresh

report

modelling

synthetics

Z/VF

elastic

shows DC

synthetics

visualize curves

input curve

?

picking

?

show f-k

second higher

to select the last point of the considered mode click the right button

save picking

?

3m.cdp

cancel picking

inversion

inversion

joint DC-HV inv.

WWW.WINISW.COM

***Allegato 2***

## Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1

dataset: 3m sp 1.5m.SGY  
 minimum offset (m): 3  
 geophone spacing (m): 1.5  
 sampling (ms): 0.131  
 Dispersion curve: 3m.cdp  
 Number of individuals: 30  
 Number of generations: 31

## Rayleigh-wave dispersion analysis

## Analyzing phase Velocities

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 150 4 190 5 200 6 220  
 Adopted search space (maximum Vs & thickness): 190 7 220 12 280 14 390  
 Adopted Poisson values: 0.4 0.35 0.35 0.35

Output folder: C:\studio giuseppe\lavori\sismiche\output\_disp

==o== SECTION#2

## Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -16.9754  
 -12.6028  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -14.4706  
 -6.30347  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -13.6944  
 -5.86152  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -12.3809  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -12.6781  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -11.4966  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -12.088  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -11.8481  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -12.1556  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -10.9721  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -13.1015  
 -5.0071  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -13.1062  
 -4.31624  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -12.4157  
 -4.31624  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -10.5498  
 -4.31624  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -11.2621  
 -4.31624  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -10.3827  
 -4.08793  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -10.2221  
 -4.08793  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -10.6834  
 -4.08793  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -10.2056  
 -4.08793  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -9.9835  
 -4.0879  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -10.9723  
 -4.00688  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -9.6296  
 -3.9857  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -10.3501  
 -3.98568  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -9.6069  
 -3.9857  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -10.6284  
 -3.98568

2 - winMASW\_report(lavaiano)  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -11.4785  
 -3.98568  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -11.2607  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -11.7454  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -11.8444  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -10.8336  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -10.1144  
 -3.84398  
 Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -16.2539  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -15.0056  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -15.3547  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -12.651  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -12.3391  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -13.9416  
 -3.84398  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -11.1402  
 -3.79165  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -11.6666  
 -3.79165  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -13.4294  
 -3.79165

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

Vs (m/s): 158 218 255 405  
 Thickness (m): 4 6.2 11  
 Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35  
 Vp & Density Optimization

p14 =

2

p15 =

18

p16 =

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0921 | 0.1454 | 0.2050 | 0.3485 | 0.5098 | 0.7097 | 1.0000 |
| 0.5135 | 0.6300 | 0.8000 | 1.0000 | 0      | 0      | 0      |
| 0.2239 | 0.2794 | 0.3635 | 0.5647 | 0.7058 | 0.8244 | 1.0000 |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Rayleigh wave analysis  
 Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -3.823  
 -3.6037  
 Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -3.7939  
 -3.5931  
 Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -3.8135  
 -3.5883  
 Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -3.8263  
 -3.5883  
 Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -3.7964  
 -3.5798  
 Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -3.8359  
 -3.5798  
 Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -3.7971  
 -3.5798  
 Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -3.7971  
 -3.5798  
 Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -3.8332



-3.5798

Number of models considered to calculate the average model: 69

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: 3m sp 1.5m.SGY

Analyzed curve/spectrum: 3m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 158 216 259 366

Standard deviations (m/s): 2 5 14 22

Thickness (m): 4.0 6.5 9.7

Standard deviations (m): 0.2 1.0 2.4

Approximate values for vp, density, Poisson &amp; Shear modulus

Vp (m/s): 707 497 599 1297

Density (gr/cm3): 1.97 1.88 1.93 2.12

vp/Vs ratio: 4.47 2.30 2.31 3.54

Poisson: 0.47 0.38 0.39 0.46

Shear modulus (MPa): 49 88 129 284

Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

f(Hz) VR(m/s)

5.00267 280.6195

7.89157 220.9362

11.1306 197.144

18.9219 167.8225

27.6762 155.4166

38.5314 151.7063

54.2891 150.6443

First higher mode

Mean model

28.5516 215.1476

35.0297 207.7769

44.4843 196.8901

55.6022 182.4935

Second higher mode

Mean model

13.0566 346.5882

16.2957 316.3386

21.198 278.1155

32.9287 249.6649

41.1577 233.0918

48.0736 221.7435

58.316 212.364

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 158 218 255 405

thickness (m): 4 6.16551 11.1422

Approximate values for vp, density, Poisson &amp; Shear modulus

Vp (m/s): 321 369 468 2727

Density (gr/cm3): 1.78 1.81 1.87 2.30

vp/Vs ratio: 2.03 1.69 1.84 6.73

Poisson: 0.34 0.23 0.29 0.49

3agina p

2 - winMASW\_report(lavaiano)  
 Shear modulus (MPa): 44 86 122 377  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)  
 best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 5.00267 | 262.6734 |
| 7.89157 | 207.3853 |
| 11.1306 | 189.087  |
| 18.9219 | 162.2685 |
| 27.6762 | 151.4143 |
| 38.5314 | 148.3842 |
| 54.2891 | 147.62   |

First higher mode)  
 best model

|         |          |
|---------|----------|
| 28.5516 | 214.3209 |
| 35.0297 | 207.0172 |
| 44.4843 | 196.2373 |
| 55.6022 | 181.8634 |

Second higher mode)  
 best model

|         |          |
|---------|----------|
| 13.0566 | 345.6858 |
| 16.2957 | 304.0102 |
| 21.198  | 272.551  |
| 32.9287 | 249.1706 |
| 41.1577 | 234.7431 |
| 48.0736 | 222.4057 |
| 58.316  | 211.8267 |

Vs5 (mean model): 167 m/s  
 Vs5 (best model): 167 m/s

Vs20 (mean model): 217 m/s  
 Vs20 (best model): 217 m/s

Vs30 (mean model): 251 m/s  
 Vs30 (best model): 253 m/s

==0== SECTION#5

For Italian Users:

Dalla normativa vigente (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanato con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°8 del 20/02/2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definite come descritto al § 3.2.3. del D.M. 17.01.2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la determinazione delle azioni sismiche.

Results saved in the folder "C:\studio giuseppe\lavori\sismiche\output\_disp".

=====

winMASW  
Surface Waves & Beyond  
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

Number of models used to define the mean model: 69  
Vs5 for the best model: 167  
Vs30 for the best model: 253  
Analyzing phase velocities  
Elapsed time is 108.370395 seconds.

***Allegato 3***

## ***DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA***



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in Via Maremmana, presso il Cimitero Comunale di Lavaiano, nel Comune di Casciana Terme Lari (PI).*



## ***DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA***



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in Via Maremmana, presso il Cimitero Comunale di Lavaiano, nel Comune di Casciana Terme Lari (PI).*