

COMUNE DI CASCIANA TERME LARI

PROVINCIA DI PISA



REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA SEZIONE DI LOCULI NEL CIMITERO DI CASCIANA TERME

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 di calcolo	Ing. Giovanni Di Cecilia
Staff di progettazione	Ing. Giovanni Di Cecilia Dr. Geol. Elena Baldi Geom. Luca Cipolli
Sindaco	Mirko Terreni
Assessore ai Lavori Pubblici	Marianna Bosco

Giugno 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	9
7 - CARATTERISTICHE LITOTECNICHE	10
8 - CARATTERISTICHE SISMICHE	11
9 - VERIFICA TECNICO-IDRAULICA	12
10 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA DEL TERRENO	12
11 - ANALISI DEI DATI RICAVATI DALLA INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA IN ESAME	14
12 - VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITA' DI LIQUEFAZIONE	15
13 - ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISMICHE	15
14 - GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO EX ART. 186 DEL D. LGS. 152/2006	17
15 - CONCLUSIONI	17

ALLEGATI

	scala
ALL.1 - Inquadramento territoriale	
ALL.2 - Estratto R.U. vigente - Fattibilità ex D.P.G.R. n. 26/R/2007	1:2.000
ALL.3 - Carta Geologica	1:10.000
ALL.4 - Carta Geomorfologica	1:10.000
ALL.5 - Carta della Vulnerabilità Idrogeologica	1:10.000
ALL.6 - Carta litotecnica e dei dati di base	1:5.000
ALL.7 - Carta della Pericolosità Geologica 53/R	1:10.000
ALL.8 - Carta della Pericolosità Idraulica 53/R	1:10.000
ALL.9 - Carta della pericolosità sismica 53/R	1:2.000
ALL.10 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - MOPS	1:2.000
ALL.11 Indagini geognostiche e sismiche di riferimento	
ALL. 12 Relazione Sismica	

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 Casciana Terme.

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" e s.m.i.;
- L.R. n. 65 del 18/11/2014 "Norme per il governo del territorio";
- L.R. n. 41 del 24/07/2018 "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 Casciana Terme;
- 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 Casciana Terme, 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 Casciana Terme - volume lordo circa 782 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 vi sono alcune indagini eseguite in loco; comunque, trattandosi di opera pubblica, sono state effettuate le seguenti nuove indagini:

- n° 2 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità massima di 14,00 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 fronte alla Strada provinciale n. 48 del Monte Vaso ubicato in località Casciana Terme; è compresa nella Tavola IGM della Carta d'Italia (scala 1: 25.000) denominata Pontedera n° 112 IV NE e si attesta su di un rilievo collinare con quote comprese tra 135,0 e 150,0 m s.l.m.. L'area è limitrofa al contesto urbano; i campi confinanti con il cimitero sono tuttora coltivati e serviti da fossette campestri in buono stato conservativo. In destra idrografica ed a valle del cimitero stesso scorrono alcuni fossi afferenti al reticolo idraulico minore. (**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); le n. 2 strutture saranno 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 è totalmente inserita nelle fasce di rispetto cimiteriale ex art. 63 R.D. 1265/34 e D.P.R. 285/90, ricade in **zona C "Cimitero ex art. 63"** secondo il vigente Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Casciana Terme, 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 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 su di un rilievo collinare limitrofo al centro abitato di Casciana Terme ed è contornata da aree agricole, ovvero in zona non completamente urbanizzata.

Le formazioni geologiche ivi riscontrate fanno parte del così detto **Complesso Neoautoctono**. Questo complesso giace in trasgressione sulle unità precedenti. In questa zona la sedimentazione inizia nel Pliocene inferiore ed assume un assetto geometrico tranquillo, disturbato solamente dai sistemi di faglie. La tettonica fragile distensiva inizia a manifestarsi con fratture precedenti la sedimentazione di questi terreni, manifestandosi già nel Miocene e probabilmente subito dopo l'accavallamento delle unità alloctone su quella Toscana. L'ingressione marina del Pliocene inferiore, con la trasgressione del conglomerato (**cg**) e della formazione delle argille azzurre (**p**), è determinata e pilotata da questo regime fragile che innesca il formarsi di questi bacini sedimentari. Alcune di queste fratture hanno certamente avuto influenza successivamente, altre si sono attivate nel Pleistocene inferiore. L'individuazione in campagna di queste ultime rispetto alle prime non è agevole.

L'area in esame, dal punto di vista geologico, è composta dalla formazione delle **Argille e Sabbie con travertini (qt)**. In affioramento questa formazione si mostra come un'alternanza di banchi di calcari porosi (travertini) ed argille sabbiose e torbose di ambiente continentale. Nei pozzi e sondaggi eseguiti fra il 1952 ed il 1967, all'interno e nei pressi del Complesso Termale, lo spessore dei sedimenti continentali appare variabile dai circa 18 metri del Pozzo Mathelda, ai 25 metri del Pozzo 2. Al di sotto di questi depositi continentali si trovano le formazioni plioceniche, soprattutto **p** e **p2**, a loro volta sovrastanti direttamente al **Calcere massiccio (g1)** ad una profondità variabile fra i -50 metri, dal piano campagna, del Pozzo Mathelda, ai -64/65 metri del Pozzo 1. L'origine dei travertini è dovuta alla termalità delle acque calcarifere della sorgente maggiore ubicata in corrispondenza del cosiddetto "Cratere", là dove evidentemente si assottiglia la copertura impermeabile argillosa della formazione pliocenica delle **Argille azzurre (p)**. La sorgente nel Pleistocene superiore doveva far parte in realtà di un insieme di scaturigini allineate nei pressi e lungo un sistema importante di faglie che permetteva la miscelazione di acque di circolazione profonda, quindi calde, collegate al circuito idrico di Larderello con quelle di origine meteorica, quindi fredde, di assorbimento locale nel piccolo nucleo mesozoico affiorante a SO. Non è pensabile che tale piccolo nucleo calcareo permeabile superficiale rappresenti l'unica area di assorbimento in grado di giustificare la termalità e la quantità di acque alimentanti le sorgenti. Le acque calde ricche in carbonato di calcio dovevano confluire in aree di acquitrino andando ad incrostare, evaporando, i vegetali e dando luogo ad un sedimento poroso, indurito successivamente per l'esposizione all'aria. Infatti, in esposizione fresca, il banco di travertino presenta all'osservazione straterelli pieni di vuoti, allungati nel senso della stratificazione, lasciati dalla decomposizione dei vegetali. Si notano anche sottili laminazioni ondulate e vacuoli a disposizione raggiata testimonianti l'originaria presenza di alghe o muschi.

Al di sotto della formazione delle **Argille e Sabbie con travertini (qt)** ed in subordine si collocano le **Argille azzurre (p3)**. Affiorano nella porzione meridionale del territorio comunale, con spessori massimi, in affioramento, di un centinaio di metri. Le **Argille (p)** sono quelle tipiche azzurro-grigie di facies marina, monotone per tutto il loro spessore (chiamate nella zona anche "mattaione") che, localmente e nella parte alta della formazione, diventano sabbioso-siltose: il loro spessore che è sempre più grande man mano che ci si allontana dal nucleo a Serie Toscana e Ligure, cioè esso aumenta allontanandosi dalla sponda del bacino specialmente verso Est, verso la Val d'Era, dove raggiunge spessori considerevoli. Una precisa datazione stratigrafica è stata eseguita da Bossio poco più a Sud degli affioramenti individuati, all'interno del Comune di Casciana Terme: in tali argille sono state documentate macrofaune e microfaune riferibili al Pliocene inferiore-medio (*Bossio et. Alii*).

Sulla "**Carta geologica**" (**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 dall'ampliamento è interamente caratterizzata, in

superficie, da terreni prevalentemente limoso argillosi con intercalazione di terreni sabbiosi mediamente addensati.

L'area di progetto si colloca limitrofa all'abitato di Casciana Terme nella parte Sud orientale 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 collinare (quote comprese tra 135,0 e 150,0 m s.l.m.) ed è contornato da aree agricole, ovvero in zona non completamente urbanizzata. Il paesaggio della zona collinare è fortemente influenzato dalle variazioni litologiche. In corrispondenza degli affioramenti di natura prevalentemente sabbiosa, dove sono concentrati i principali insediamenti abitativi, i versanti sono infatti caratterizzati da elevata acclività e sono orlati da scarpate sub-verticali; quasi sempre alla base dei versanti è presente una copertura boschiva. In corrispondenza invece dei versanti sui quali sono presenti alternanze di formazioni sabbiose ed argillose, i pendii degradano con deboli pendenze e sono modellati dai terrazzi agricoli. In corrispondenza di queste alternanze si concentra la gran parte dei fenomeni di dissesto.

L'area in esame non risulta interessata dall'evoluzione di alcun processo geomorfologico significativo. Il reticolo idrografico del territorio indagato presenta una direzione generalmente E - W.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici presenti in un ampio intorno della zona in esame, questi sono cartografati e distinti nell'**ALL. 4 "Carta geomorfologica"** ed in particolare sono rappresentati i seguenti elementi:

Forme e processi di versante

b) Scarpate morfologiche

Si tratta di zone a forte acclività, talvolta subverticali, generate dall'arretramento del margine del crinale in litologie compatte, incoerenti o litoidi. Nella zona collinare, sono in generale presenti fratture sub verticali, parallele alla scarpata, determinate dagli sforzi di trazione cui il materiale è sottoposto per il continuo scalzamento al piede causato dalla erosione areale che interessa il piede del versante. In maniera minore intervengono, localmente e in forma parassita, anche fenomeni di ribaltamento e crollo di piccole masse isolate dalle diverse famiglie di discontinuità presenti.

In destra idrografica comunque a valle del cimitero in esame si possono osservare i seguenti aspetti geomorfologici:

Forme e processi fluviali

g) Alvei fluviali in erosione ed impluvi con tendenza all'approfondimento

Quando gli impluvi sono impostati in corrispondenza di litotipi facilmente erodibili, allora il processo erosivo mostra una tendenza all'approfondimento rispetto al livello di scorrimento attuale, con erosione delle sponde dell'alveo.

4. ASPETTI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI

Da un punto di vista idrogeologico, dalle indagini geologiche di supporto al nuovo Piano Strutturale del Comune di Casciana Terme Lari, redatte dallo studio Geoprogetti di Ponsacco (PI), data la natura collinare dell'area in esame non si rilevano informazioni particolari visto che la maggior parte dei dati idrogeologici sono concentrati nelle aree di fondovalle.

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 riportiamo nell'**ALL.5 "Carta della vulnerabilità idrogeologica"** un estratto cartografico del nuovo P.S. delle aree soggette a vulnerabilità idrogeologica, in cui si evidenzia come l'area in esame, data la

natura geologica dei suoi sedimenti, sia ricompresa in **classe 4 a vulnerabilità elevata**, sottoclasse **4a**, che corrisponde a *"situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un grado di protezione insufficiente; in essa ricadono, omissis....., nonché, nelle aree collinari e montuose, le zone di affioramento di terreni litoidi altamente permeabili, le zone di affioramento di terreni sciolti a permeabilità elevata con sufficiente estensione e ricarica, le zone di infiltrazione in terreni a permeabilità medio-alta, le zone di alimentazione delle sorgenti di principale importanza emergenti da litologie mediamente permeabili"*,

Tale situazione si manifesta nelle aree collinari in cui affiorano terreni con alta permeabilità ed in cui si rilevano indizi certi di circolazione idrica e con bacino di alimentazione caratterizzato in affioramento da litologie sabbiose con intercalati travertini; per completezza si rileva tuttavia che l'area oggetto di intervento si trova al di fuori del limite della concessione mineraria dei Bagni di Casciana Terme. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche non è stata riscontrata alcuna falda. Nel realizzare le strutture in progetto si dovrà pertanto prestare particolare attenzione a non intercettare l'acquifero sottostante stante l'alta permeabilità dei terreni.

Nella **TAV.QC03.c.2"Carta idrogeologica - Sud"**, parte integrante del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale sono individuate, in un intorno significativo della zona in esame, la rete idrografica principale e secondaria di scolo delle acque superficiali, le curve isopieze relative all'acquifero superficiale con i relativi pozzi superficiali censiti; nell'area strettamente interessata dall'intervento si rilevano dati relativi ad un pozzo freatico ad uso irriguo, comunque ubicato al fuori del limite della concessione mineraria dei Bagni di Casciana Terme (i dati si possono consultare nel data base dei dati da pozzi elaborato QC03 - Allegato 2, parte integrante del Quadro Conoscitivo del nuovo Piano Strutturale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019), mentre nelle aree agricole a valle è identificato un corso d'acqua (Fosso Bottegone) afferente al reticolo idrografico minore censito dal Servizio Idrologico della Regione Toscana, che comunque non interferisce in alcun modo con l'area oggetto di intervento.

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 Casciana Terme 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 totalmente in classe "**G.2** – Pericolosità Geologica Media" (...*aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto*) mentre marginalmente, in corrispondenza delle scarpate morfologiche (che comunque interessano parzialmente l'area interessata dall'intervento in oggetto) l'area a contorno è definita in classe "**G.3** – Pericolosità geologica Elevata" in quanto caratterizzata da "*aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, omissis ..; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.*" (**ALL. 7 – "Carta della Pericolosità Geologica 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.1** - Pericolosità Idraulica Bassa" in quanto caratterizzata da "*aree collinari*

o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali non ricorrono le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda. Le aree relative alle fasce di rispetto del Fosso Bottegone, comunque a congrua distanza ed a valle dell'area oggetto di intervento, ricadono in classe **"I.4 – Pericolosità Idraulica Molto Elevata"** (aree interessate da allagamenti per eventi con Tr.30 anni) (**ALL. 8 – "Carta della Pericolosità Idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

L'area in esame non rientra nella perimetrazione cartografica del Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale (ex Bacino del Fiume Arno), approvata con deliberazione n.235 del 03/03/2016 del Comitato Istituzionale dell'AdB del F. Arno, inerente la perimetrazione delle aree soggette a rischio alluvioni.

Carta della Pericolosità Sismica Locale (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade in classe **"S.3 - Pericolosità Sismica Locale elevata"** in quanto *"...zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri"*; (**ALL. 9 – "Carta della Pericolosità Sismica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

Carta della Fattibilità (ai sensi del D.P.G.R. 26/R/2007): all'area di intervento è stata assegnata la classe di fattibilità **(3* (III – 1) - 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 dell'estinto Comune di Casciana Terme, redatte secondo il D.P.G.R. n. 26/R/2007 "Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. 1/2005". In tali studi la Pericolosità per gli aspetti geomorfologici era classificata in classe 3 e quindi per tale aspetto viene indicata la classe di fattibilità 3.

La classe di fattibilità 3 si riferisce:

- ❖ 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;
- ❖ 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;
- ❖ 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.

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

- carta geologica e geomorfologica di dettaglio;
- risultati di indagini geognostiche condotte per aumentare il grado di conoscenza delle caratteristiche litologiche e litotecniche del sottosuolo;
- sezioni quotate, possibilmente dedotte da un rilievo planoaltimetrico di dettaglio, che mostrino con precisione il rapporto tra morfologia attuale e morfologia di progetto;

- risultati di specifiche verifiche di stabilità del versante nelle condizioni attuali e di progetto qualora siano previsti consistenti operazioni di sbancamento e riporto;
- studio di dettaglio delle condizioni di stabilità del versante e del contesto idrogeologico, qualora siano previste immissioni di acque reflue nel suolo e nel sottosuolo mediante subirrigazione, fertirrigazione e spandimento acque di vegetazione;
- un'analisi accurata delle problematiche rilevate e l'indicazione degli interventi per la mitigazione del rischio.

Relativamente al caso in esame, oltre a raccogliere dati bibliografici di indagini condotte in aree limitrofe, è stata condotta un'apposita campagna geognostica composta da:

- n° 2 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità massima di 14,0 m, di cui un foro attrezzato con tubo piezometrico;
- n° 1 profilo di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica;

Relativamente all'attuale classificazione di pericolosità geologica dell'area (Piano Strutturale approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019) in classe **G.2** (quindi in classe più bassa rispetto al vigente Regolamento Urbanistico) si ritiene la campagna geognostica esaustiva ad approfondire il quadro conoscitivo geomorfologico. Si ritiene altresì di non eseguire verifiche di stabilità in quanto l'attuale struttura cimiteriale poggia su di un rilievo in cui non ci sono evidenze di fenomeni franosi in atto o quiescenti. Si ritiene altresì esaustiva la campagna geognostica anche ai fini della classe di pericolosità sismica **S.3**, tenuto conto anche degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1 e 2 (questi ultimi in fase di certificazione da parte della Regione Toscana).

Data la bassa classe di pericolosità idraulica, non si è ritenuto opportuno condurre ulteriori indagini idrologico-idrauliche; non sono previste consistenti operazioni di sbancamento e riporto né immissioni di acque reflue nel suolo e nel sottosuolo.

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 raccolta di dati esistenti relativi a sondaggi, prove geotecniche e sismiche (rilevati dal Database delle indagini geologico-tecniche allegate alle pratiche edilizie comunali e dei dati da pozzi - elaborato QC03 - allegati 1 - parti 1 e 2 - 2, parte integrante del Piano Strutturale approvato), e 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 14,0 m dal piano di campagna;
 - n° 1 misurazione sismica puntuale di tipo MASW con interpretazione tomografica;
- 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;
- raffronto tra la "pericolosità geologica, idraulica e sismica" della porzione di territorio in esame e le "tipologie di intervento" previste 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, oltre che sui dati ricavati da indagini geognostiche effettuate nell'area in esame (n. 1 prova penetrometrica statica - n. **4507** del Database delle indagini allegate al Piano Strutturale adottato e n. 1 indagine sismica tomografica - n. **Tr24** delle prove allegate agli studi di Microzonazione Sismica), sull'interpretazione di n. 2 prove CPT e di un profilo MASW, eseguiti nell'area dove sarà realizzato l'ampliamento del cimitero. Nell'**ALL. 6**

"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.11 "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 tomografica e della MASW 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.s3/4.t1 - "Argille con bancate di travertini, con variazioni laterali e verticali della consistenza: materiali con consistenza limitata o nulla, da poco consistenti a privi di consistenza, prevalentemente argille con presenza di frammenti lapidei - (qt)"** (ALL.6 - "Carta Litotecnica e delle indagini").

Questa unità è l'affioramento decisamente più esteso dell'area in esame ed è costituito interamente dalle **Argille e Sabbie con travertini (qt)**; in affioramento questa formazione si presenta come un'alternanza di banchi di calcari porosi (travertini) ed argille sabbiose e torbose di ambiente continentale.

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 27/07/2019 si evince che le classi di pendenza della zona in esame variano da 0 a 15%.

La ricostruzione della successione stratigrafica del sottosuolo nell'area interessata dal progetto è stata basata, oltre che sui dati ricavati da indagini geognostiche effettuate nell'area in esame, 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. 11 "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 14 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 4,0/6,0 m dal p.c. si hanno terreni argilloso limosi con presenza di argille organiche che presentano le seguenti caratteristiche: valori di Rp variabili da 13 a 23 kg/cmq
- da 4,0/6,0 a 14,0 dal p.c si hanno terreni prevalentemente limoso argillosi a comportamento granulare che presentano le seguenti caratteristiche: valori di Rp variabili da 30 a 90 kg/cmq

Si precisa che, nonostante le prove siano state condotte a breve distanza l'una dall'altra (entro 15 m lineari), si rileva una certa differenza nella stratigrafia, dovuta molto probabilmente

alla tipologia dei depositi affioranti (argille e sabbie con intercalati travertini); in particolare, si rilevano livelli di limi sabbiosi e sabbie limose a quote diverse rispetto alle 2 prove.

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 è stata prevista la classe di pericolosità sismica **S.3** e quindi è stata elaborata una MOPS sito specifica.

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, di cui si riporta uno stralcio nella presente Relazione. (**ALL. 9 – "Carta della Pericolosità Sismica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

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 Casciana Terme

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 dell'**ALL.10 "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – MOPS"**, parte integrante del Quadro Conoscitivo del 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)**

- Zona 14 Casciana Terme - Depositi semicoerenti ed incoerenti di bassa consistenza

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 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, in data 29 Dicembre 2018, 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. 6** 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 - 1,00 m	Torbe ed argille organiche
da - 1,00 m	a - 6,00 m	Limi argillosi mediamente addensati
da - 6,00 m	a - 7,00 m	Limi sabbiosi con intercalate argille organiche
da - 7,00 m	a - 14,00	Limi argillosi mediamente addensati

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

Durante la prova 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 con intercalate argille organiche
da - 1,80 m	a - 2,60 m	Sabbie ghiaiose con intercalate argille organiche
da - 2,60 m	a - 3,20 m	Limi sabbiosi con intercalate argille organiche e sabbie limose
da - 3,20 m	a - 4,40 m	Limi sabbiosi con intercalate sabbie limose e sabbie ghiaiose
da - 4,40 m	a - 14,00 m	Limi argillosi mediamente addensati

Durante la prova non è stata riscontrata la falda freatica. Tuttavia, tenuto conto dell'alta vulnerabilità idrogeologica dell'area, dovuta alla presenza dei travertini, nel realizzare le strutture di fondazione si dovrà prestare comunque attenzione a non intercettare l'acquifero profondo.

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	Cu (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Mo (kg/cm ²)
1	0,00 a 0,60 m	0°	n.d.	n.d.	n.d.
2	0,60 a 1,00 m	0°	0,75	1,85	58,00
3	1,00 a 6,00 m	29°	0,82	1,85	62,20
4	6,00 a 7,00 m	35°	0,86	1,85	69,00
5	7,00 a 14,00	33°/35°	1,22	1,85	103,00

CPT2

LIVELLO	quota dal p.c.	Φ	Cu (kg/cm ²)	γ (t/m ³)	Mo (kg/cm ²)
1	0,00 a 0,60 m	0°	n.d.	n.d.	n.d.
2	0,60 a 1,80 m	37°/39°	1,13	1,85	100,00
3	1,80 a 2,60 m	40°	0,0	1,85	0,0
4	2,60 a 3,20 m	43°	0,0	1,85	0,0
5	3,20 a 4,40 m	35°	0,0	1,85	0,0
6	4,40 a 14,00 m	31°/33°	1,45	1,85	143,41

È presente uno strato di argille organiche e torbe che si attesta ad una profondità compresa tra - 1,20/1,80 m a - 2,60/3,20 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 sia 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 = **261 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 (oltre che dei risultati della prova HVSR **Tr24**, eseguita

all'esterno della mura perimetrali del cimitero), 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 - Cimitero Casciana Terme – Via Monte Vaso

- latitudine: 43.5221596 (°) (WGS84) 43.5231285 (°) (ED50)
- longitudine: 10.6187496 (°) (WGS84) 10.6197433 (°) (ED50)
- 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	21159	43.498990	10.595050	3342.14
2	21160	43.500680	10.663940	4351.32
3	20938	43.550650	10.661650	4558.09
4	20937	43.548970	10.592690	3607.23

Parametri sismici

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

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.044	2.480	0.229
SLD	50	0.057	2.477	0.244
SLV	475	0.141	2.470	0.273
SLC	975	0.176	2.510	0.280

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.017	0.050	0.061
kv	0.007	0.009	0.025	0.030
amax [m/s ²]	0.654	0.842	2.058	2.483
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Fronti di cavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.040	0.080	--
kv	--	0.020	0.040	--
amax [m/s ²]	0.654	0.842	2.058	2.483
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. 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 prevalentemente continentali (argille con intercalati travertini), 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, ma si dovrà tenere conto dell'alta vulnerabilità idrogeologica dell'area in esame dovuta alla presenza dei travertini;
- 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.

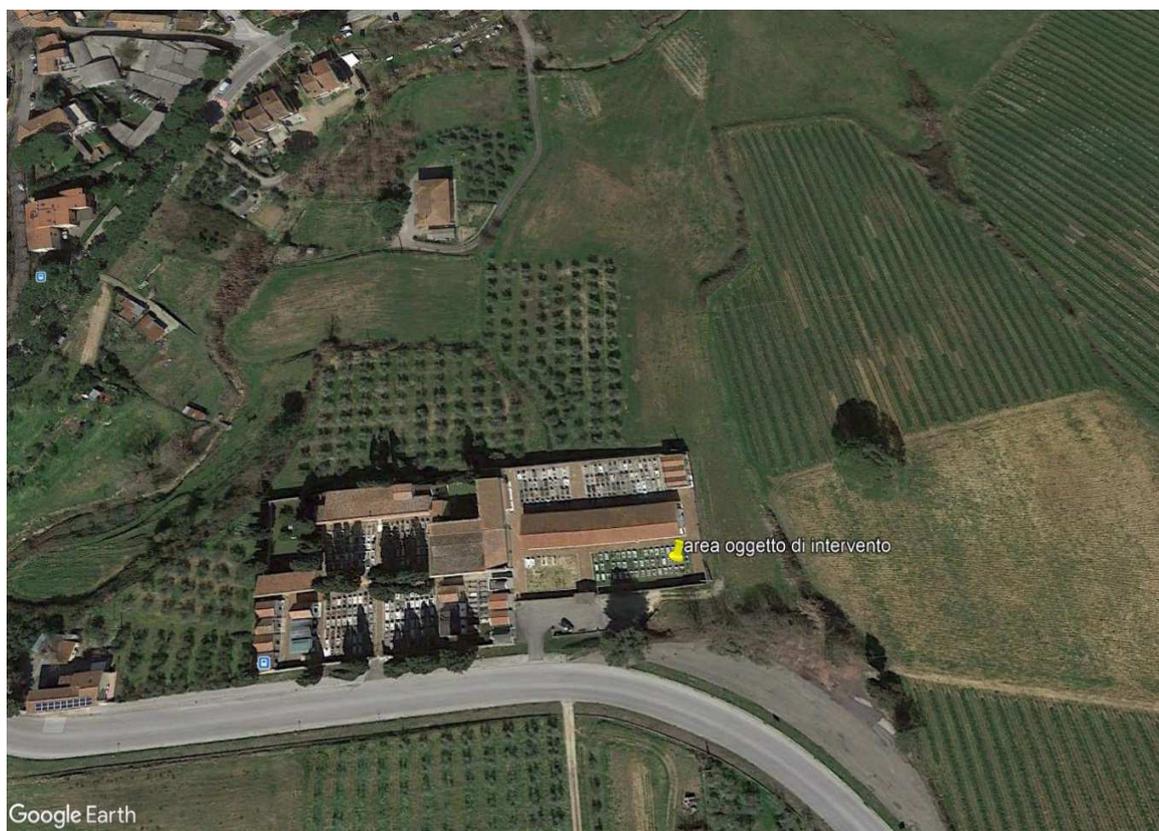
Casciana Terme Lari, Giugno 2019

Dott. Geol. Elena Baldi



INQUADRAMENTO TERRITORIALE

S.P. 48 Monte Vaso - Casciana Terme

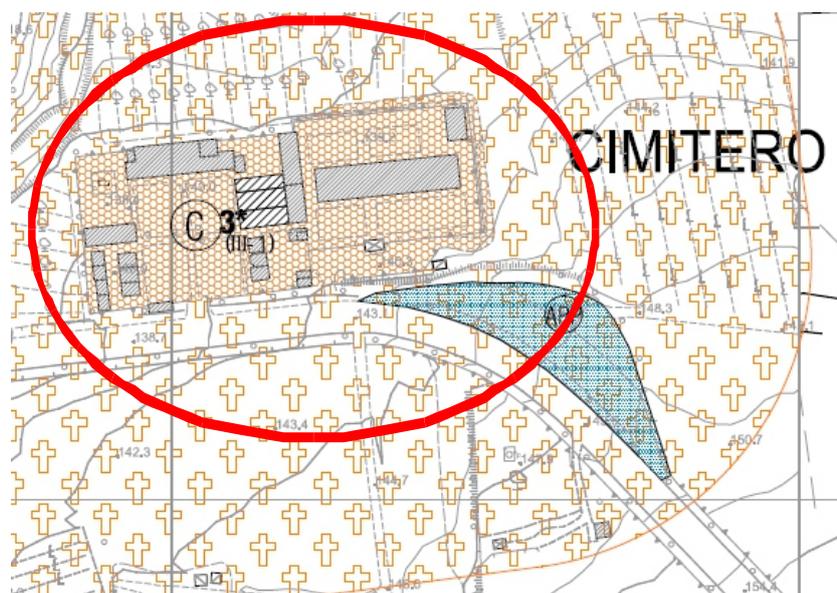


ESTRATTO REGOLAMENTO URBANISTICO VIGENTE

Tav. 3 - UTOE n° 1 - Casciana Terme

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

Scala 1:2.000



Legenda



Cimitero. Art.63



Area oggetto di intervento

FATTIBILITA' GEOLOGICA

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

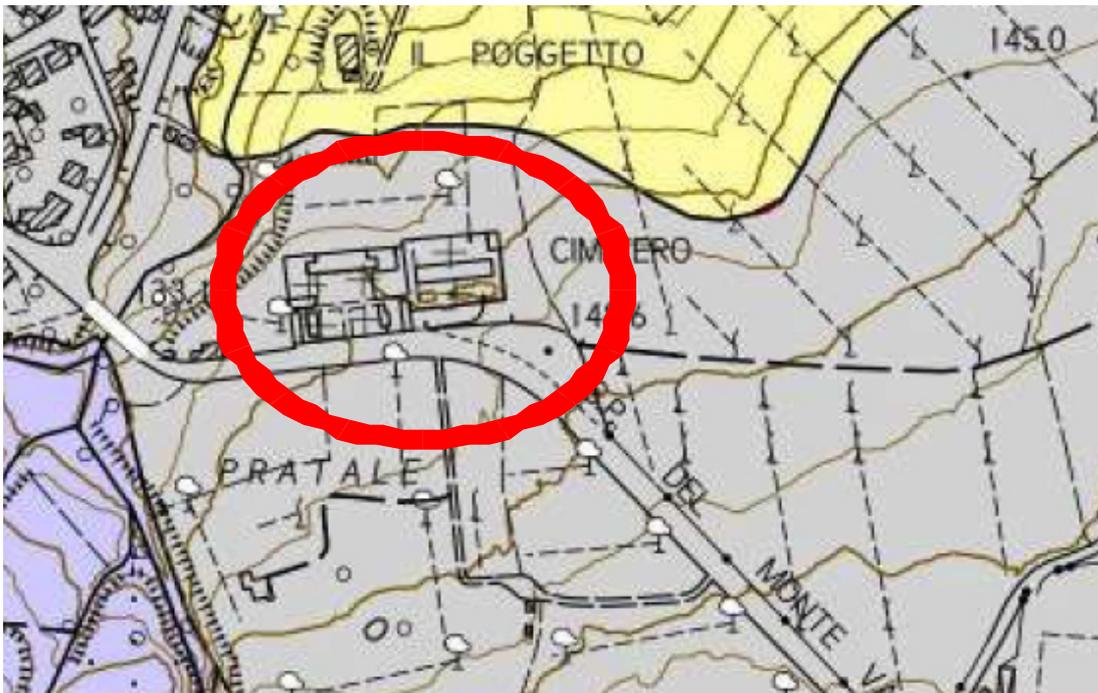
3*
(IH-1)

Classe di Fattibilità massima

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti idraulici

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti geomorfologici

CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:10.000)



LEGENDA

COMPLESSO NEOAUTOCTONO	Pleistocene sup.		[qt] Argille e sabbie con travertini
	Pliocene inf.		[p] Argille azzurre
FALDA TOSCANA	Giurese		[g1] Calcare massiccio

CARTA GEMORFOLOGICA

Scala 1:10.000

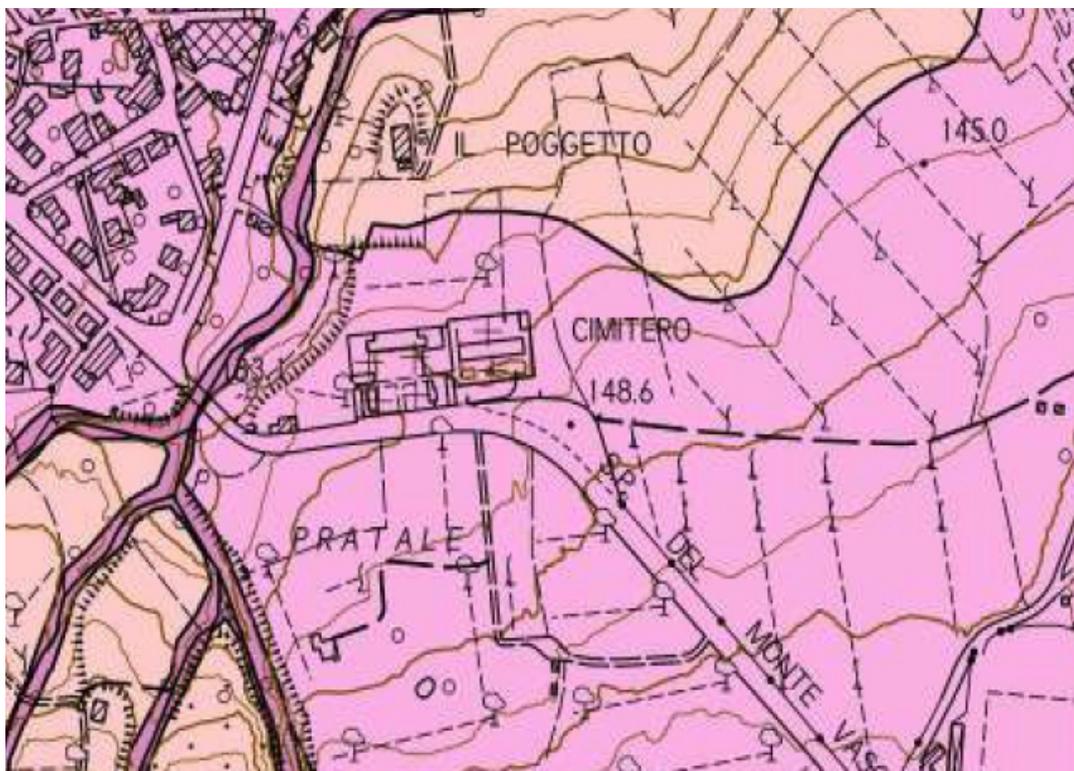


Elementi Lineari

 Scarpate morfologiche

 Alvei fluviali in erosione

Carta della vulnerabilità idrogeologica (scala 1:10.000)

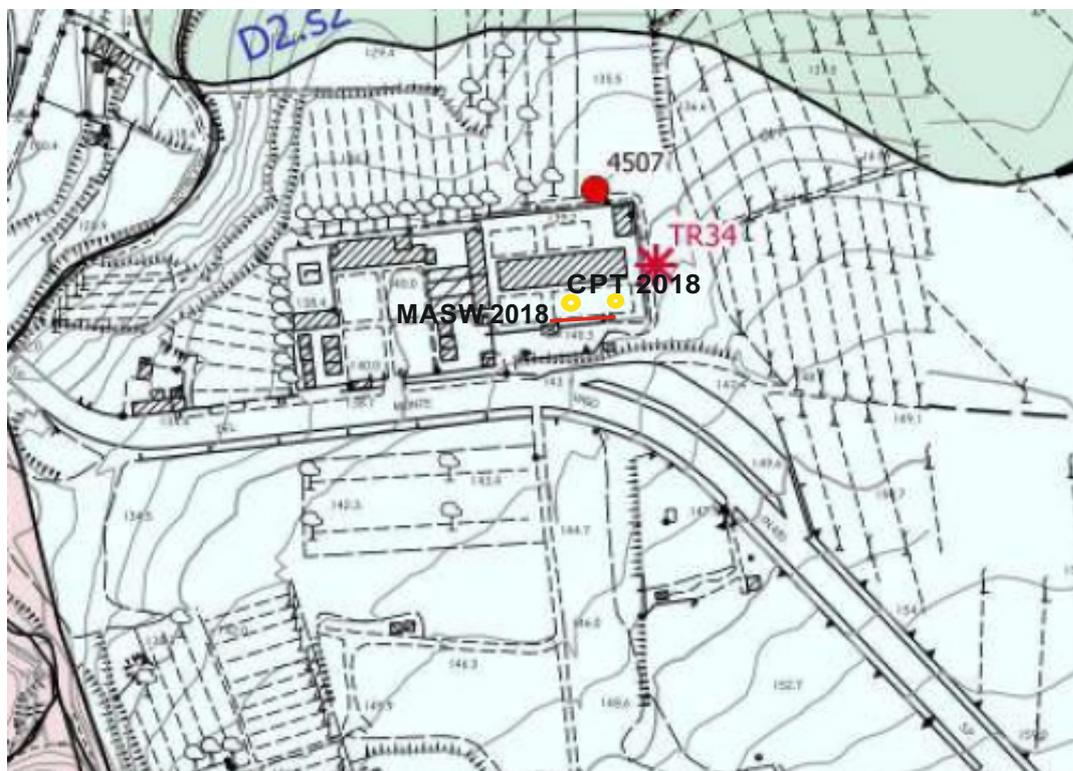


Classi di Vulnerabilità Idrogeologica ai sensi dell'art.20 del PTC Provinciale

- Classe 1 - - - Vulnerabilità irrilevante
- Classe 2 - - - Vulnerabilità bassa
- Classe 3 - Sottoclasse 3A - Vulnerabilità media
- Classe 3 - Sottoclasse 3B - Vulnerabilità media
- Classe 4 - Sottoclasse 4A - Vulnerabilità elevata**
- Classe 4 - Sottoclasse 4B - Vulnerabilità elevata
- Limite comunale

CARTA LITOTECNICA E DEI DATI DI BASE

Scala 1: 5.000



Legenda

GEOFISICA ACQUISITA NELL'AMBITO DEL PIANO STRUTTURALE

Tromografia *

INDAGINI DB PROVINCIA DI PISA

CPT ●

Indagini 2010 -2014 e 2018

MASW 2018 —

CPT 2018 ●

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

□ F2.s3/4.t1

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

Scala 1: 10.000



Legenda

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

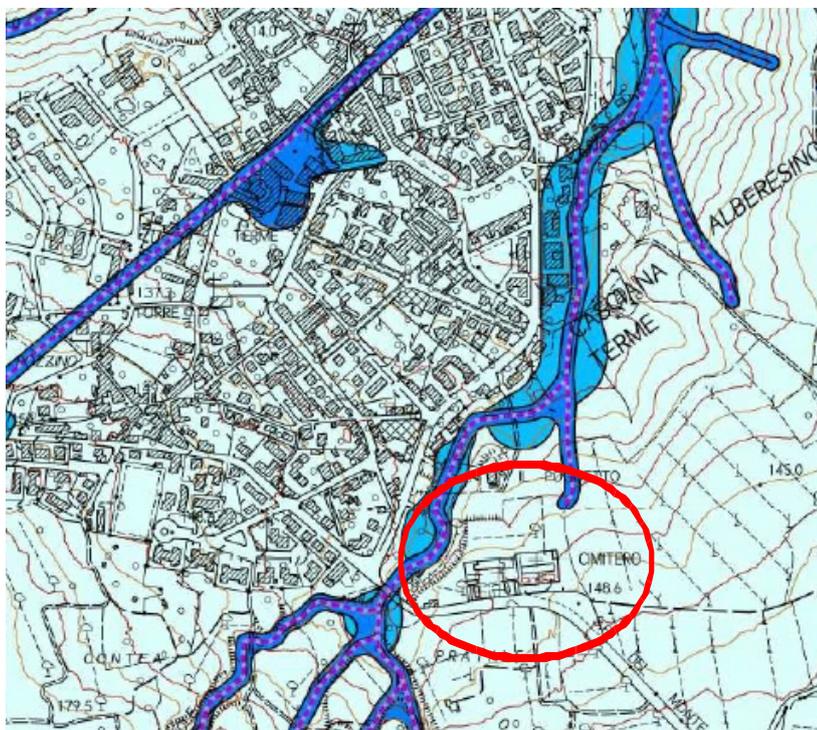
 G.2 - Pericolosità geologica media

 G.3 - Pericolosità geologica elevata

 Area oggetto dell'intervento

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

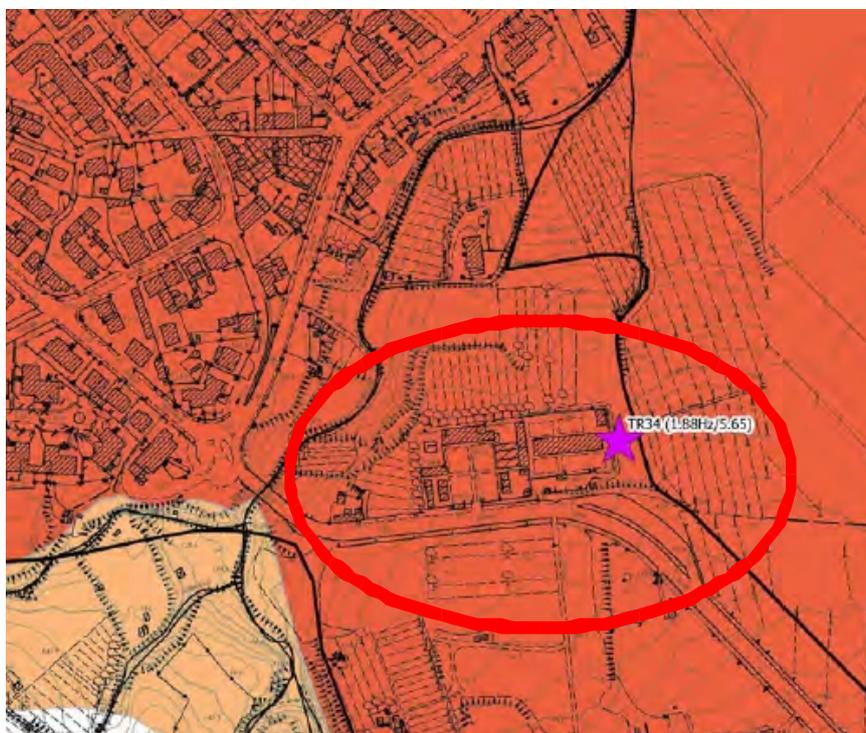
 I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

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

 Area oggetto dell'intervento

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

Scala 1: 2.000



Legenda

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

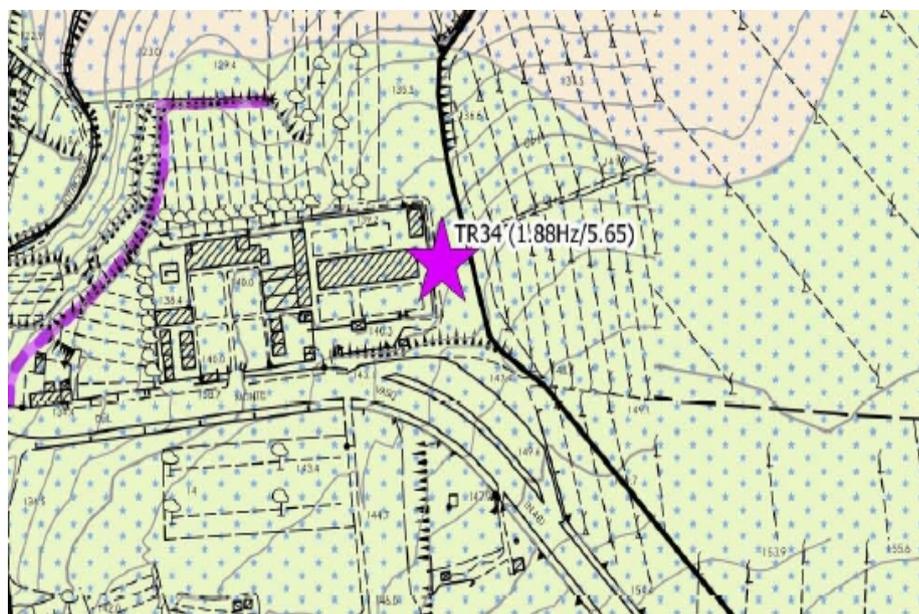
 Classe S.2 - Pericolosità sismica media

 Classe S.3 - Pericolosità sismica elevata

 Area oggetto dell'intervento

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Scala 1:2.000



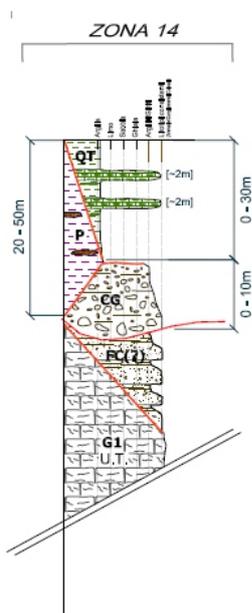
Legenda

MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Contesto incoerente e semicoerente

ZONA 14



CLASSI DI CONSISTENZA:

Depositi semicoerenti e incoerenti di bassa consistenza. [Q2, QT, Q11, dt, At]

Scarpate morfologiche

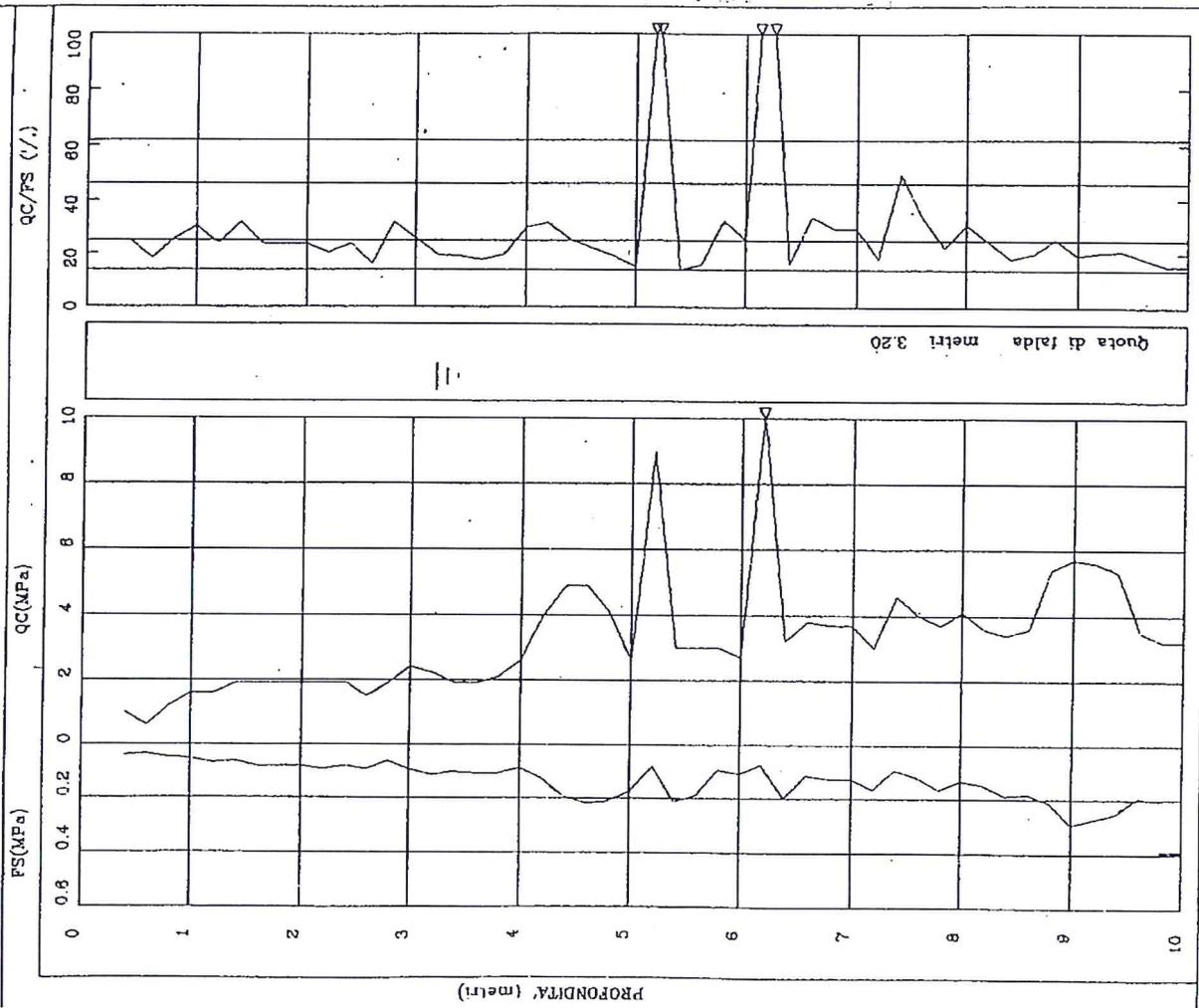
Scala cromatica di Frequenza:

da 1.5 Hz a 2.0 Hz

ALL. 11 -INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO

parametri geotecnici sismaici

PROFONDITA' [metri]	Qc [kg/cmq]	Ps [kg/cmq]	Qc/7s	Qt [kgf]	δ [kg/dac]	σ _{ev} [kg/cmq]	γ [gradi]	D _t [%]	C _s [kg/cmq]	σ _v [cmq/t]	Colonna Stratig.
0.2	10,1	1,4	25	150	1,80	,04	-	-	-	-	
0.4	6,3	,3	19	230	1,80	,07	-	-	-	-	
0.6	12,3	,5	26	270	1,90	,11	-	-	,40	23,7	
1.0	16,3	,5	31	380	1,72	,14	-	-	,75	32,2	
1.2	16,3	,5	31	380	1,91	,18	-	-	,48	21,0	
1.4	16,3	,7	24	470	1,91	,22	-	-	,64	19,4	
1.6	19,3	,6	32	590	1,91	,26	-	-	,64	19,4	
1.8	19,4	,8	24	680	1,70	,29	-	-	,76	16,7	
2.0	19,4	,8	24	810	1,92	,33	-	-	,76	19,8	
2.2	19,4	,8	24	930	1,92	,37	-	-	,76	19,8	
2.4	19,4	,9	21	1090	1,92	,41	-	-	,76	19,8	
2.6	19,4	,8	24	1290	1,92	,45	-	-	,76	19,8	
2.8	15,5	,9	17	1290	1,92	,48	-	-	,76	19,8	
3.0	19,5	,6	33	1380	1,91	,52	-	-	,60	19,6	
3.2	24,5	,9	26	1500	1,70	,56	-	-	,76	16,7	
3.4	21,5	1,1	21	1650	1,93	,60	-	-	,96	16,3	
3.6	19,5	1,1	20	1760	1,93	,61	-	-	,88	17,8	
3.8	18,6	1,1	17	1820	1,92	,63	-	-	,75	19,8	
4.0	20,6	1,1	19	1890	1,92	,65	-	-	,72	19,6	
4.2	25,6	,9	30	2000	1,92	,67	-	-	,80	19,4	
4.4	29,6	1,9	15	2100	1,93	,69	-	-	,80	15,6	
4.6	48,6	1,9	25	2570	1,94	,71	-	-	,16	13,5	
4.8	48,7	2,2	22	2770	1,99	,73	-	-	,16	8,2	
5.0	40,7	2,1	19	2820	1,99	,75	-	-	,92	8,2	
5.2	25,7	1,7	15	3450	1,97	,77	-	-	,60	9,8	
5.4	89,7	,8	112	3430	2,05	,81	-	-	,00	15,6	
5.6	29,7	2,1	14	4220	1,94	,82	-	-	,16	13,5	
5.8	29,9	1,9	16	3210	1,94	,84	-	-	,16	13,4	
6.0	29,9	,9	32	3180	1,75	,86	-	-	,16	11,1	
6.2	26,9	1,1	25	3950	1,94	,88	-	-	,04	14,9	
6.4	100,9	,7	138	3660	2,30	,90	-	-	,24	3,3	
6.6	31,9	2	16	3900	1,95	,92	-	-	,24	12,5	
6.8	38	1,1	34	3670	1,79	,94	-	-	,04	8,8	
7.0	37	1,3	29	3780	1,79	,95	-	-	,04	9,0	
7.2	37	1,3	29	3820	1,79	,97	-	-	,04	9,0	
7.4	30	1,7	18	4000	1,94	,99	-	-	,16	13,3	
7.6	46	,9	49	4350	1,83	1,00	-	-	,16	7,2	
7.8	40,2	1,2	34	4320	1,80	1,02	-	-	,16	8,3	
8.0	37,2	1,7	22	4410	1,96	1,04	-	-	,16	10,8	
8.2	41,2	1,3	31	4610	1,81	1,06	-	-	,16	8,1	
8.4	36,2	1,5	25	4670	1,96	1,08	-	-	,16	11,0	
8.6	34,2	1,9	18	4890	1,95	1,09	-	-	,16	11,7	
8.8	36,2	1,8	20	5090	1,96	1,11	-	-	,16	11,0	
9.0	54,2	2,1	25	5230	2,00	1,15	-	-	,16	7,4	
9.2	57,2	2,9	20	5460	2,00	1,17	-	-	,16	7,0	
9.4	56,2	2,7	21	5500	2,00	1,17	-	-	,16	7,1	
9.6	55,2	2,5	21	5610	2,00	1,19	-	-	,16	7,5	
9.8	35,2	1,9	18	5620	1,98	1,21	-	-	,16	11,4	
10.0	37,2	2,1	16	5700	1,95	1,23	-	-	,16	12,4	



J15_045_07_11_CASCIANA_TERME_LARI_TR, CIMITERO TR34

Strumento: TEP-0085/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 10/07/15 09:53:16 Fine registrazione: 10/07/15 10:13:17

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Coordinate GAUSS BOAGA: 1631103; 4820102

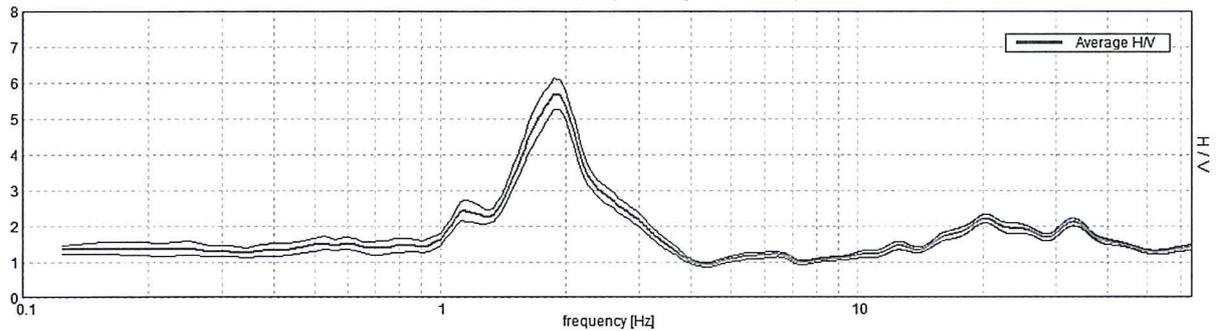
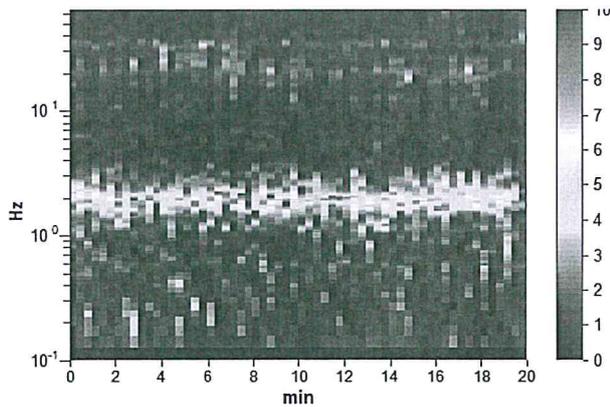
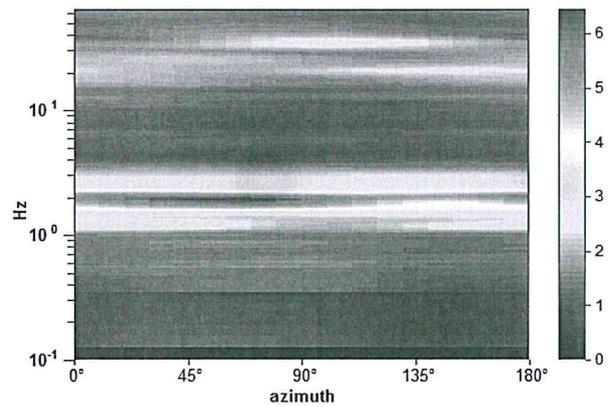
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

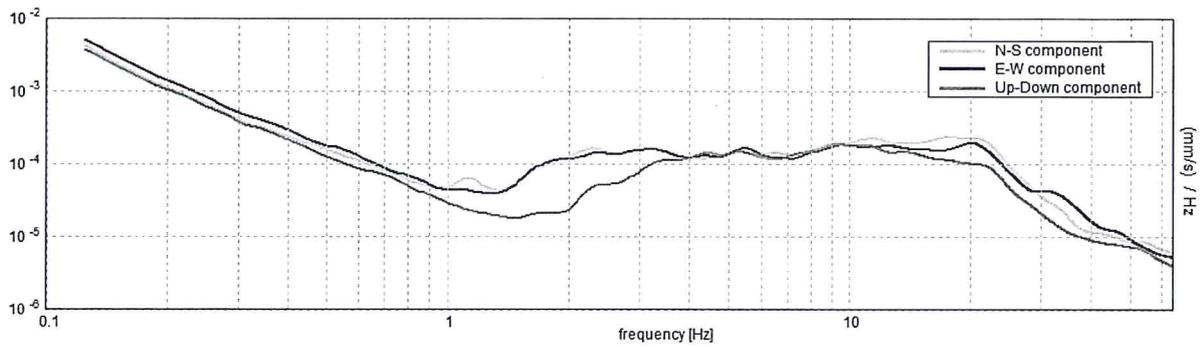
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

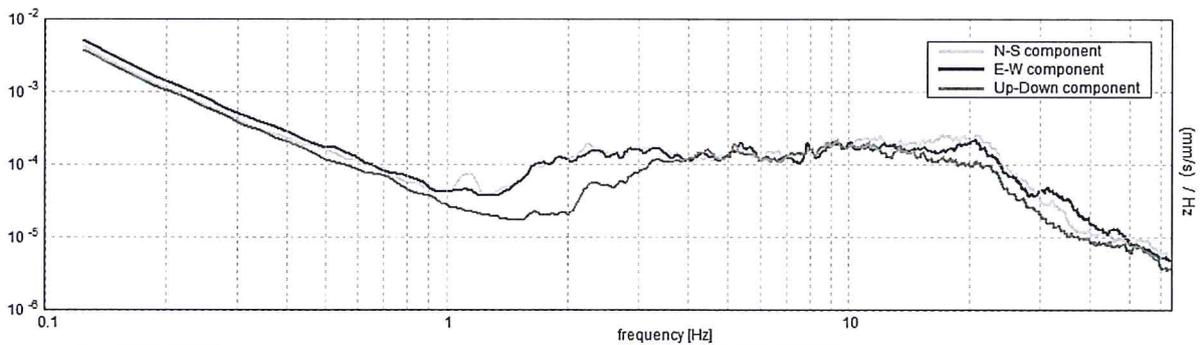
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALEMax. H/V at 1.88 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).**SERIE TEMPORALE H/V****DIREZIONALITA' H/V**

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (Con lisciamento all'1%)



Picco H/V a 1.88 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

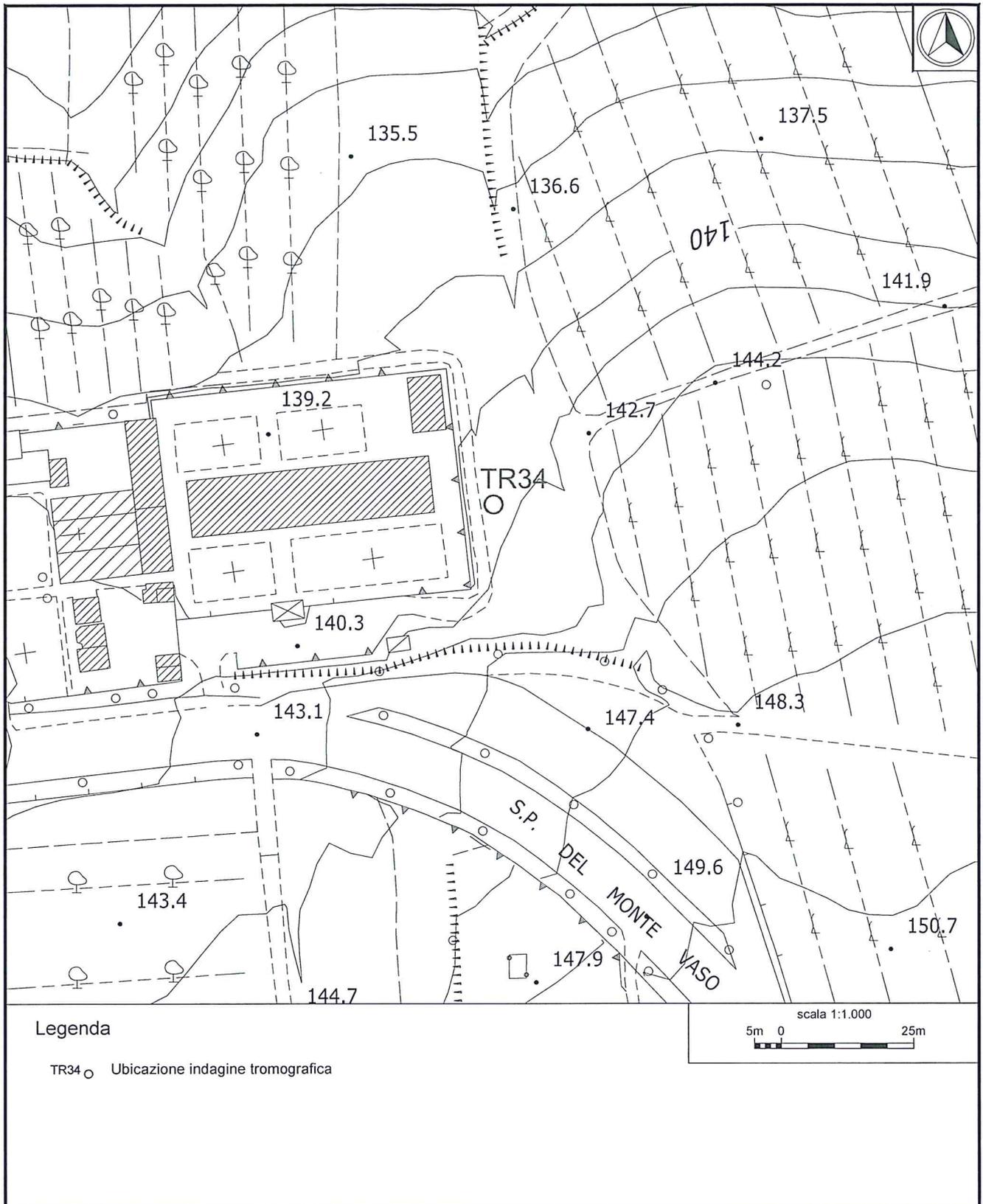
$f_0 > 10 / L_w$	$1.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2250.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 91	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.69 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00913 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01712 < 0.1875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4344 < 1.78$	OK	

TR34. Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005:



Ubicazione indagine in sismica passiva TR34. Dettaglio.



Indagine Tromografica – TR34 - Documentazione fotografica.

PENETRATIO s.n.c.

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

Rif. 44-2018

(Archivio interno 102L-2018)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Casciana	profondità prova:	14,00
località:	Casciana, S.P. n°48 – 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 cm²)

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@lamiapec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 44-2018**

(Archivio interno 102L-2018)

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Casciana	profondità prova:	14,00 m
località:	Casciana, S.P. n°48 – Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	-		

profondità (metri)	letture di campagna		qc (Kg/cmq)	fs	qc/fs	profondità (metri)	letture di campagna		qc (Kg/cmq)	fs	qc/fs
	punta	Punta + laterale					punta	Punta +laterale			
0,20	----	----	----	----	----	7,20	23,0	60,0	23,0	1,20	19,17
0,40	----	----	----	0,93	----	7,40	27,0	45,0	27,0	1,27	21,32
0,60	23,0	37,0	23,0	1,73	13,27	7,60	37,0	56,0	37,0	1,67	22,20
0,80	19,0	45,0	19,0	1,67	11,40	7,80	32,0	57,0	32,0	1,80	17,78
1,00	13,0	38,0	13,0	0,73	17,73	8,00	30,0	57,0	30,0	1,60	18,75
1,20	23,0	34,0	23,0	1,27	18,16	8,20	30,0	54,0	30,0	1,67	18,00
1,40	15,0	34,0	15,0	0,93	16,07	8,40	31,0	56,0	31,0	2,13	14,53
1,60	17,0	31,0	17,0	1,07	15,94	8,60	28,0	60,0	28,0	1,40	20,00
1,80	19,0	35,0	19,0	1,47	12,95	8,80	29,0	50,0	29,0	2,00	14,50
2,00	19,0	41,0	19,0	1,53	12,39	9,00	31,0	61,0	31,0	2,13	14,53
2,20	14,0	37,0	14,0	0,93	15,00	9,20	37,0	69,0	37,0	2,20	16,82
2,40	15,0	29,0	15,0	1,00	15,00	9,40	28,0	61,0	28,0	2,07	13,55
2,60	18,0	33,0	18,0	1,13	15,88	9,60	29,0	60,0	29,0	2,13	13,59
2,80	21,0	38,0	21,0	1,13	18,53	9,80	41,0	73,0	41,0	2,47	16,62
3,00	19,0	36,0	19,0	1,00	19,00	10,00	45,0	82,0	45,0	2,67	16,88
3,20	16,0	31,0	16,0	1,00	16,00	10,20	45,0	85,0	45,0	2,73	16,46
3,40	18,0	33,0	18,0	1,00	18,00	10,40	44,0	85,0	44,0	2,33	18,86
3,60	20,0	35,0	20,0	1,07	18,75	10,60	43,0	78,0	43,0	2,80	15,36
3,80	22,0	38,0	22,0	1,33	16,50	10,80	37,0	79,0	37,0	2,80	13,21
4,00	20,0	40,0	20,0	1,47	13,64	11,00	38,0	80,0	38,0	2,20	17,27
4,20	22,0	44,0	22,0	1,27	17,37	11,20	40,0	73,0	40,0	2,53	15,79
4,40	20,0	39,0	20,0	1,27	15,79	11,40	41,0	79,0	41,0	2,73	15,00
4,60	21,0	40,0	21,0	1,07	19,69	11,60	40,0	81,0	40,0	2,40	16,67
4,80	20,0	36,0	20,0	1,20	16,67	11,80	41,0	77,0	41,0	2,53	16,18
5,00	20,0	38,0	20,0	1,40	14,29	12,00	32,0	70,0	32,0	2,20	14,55
5,20	21,0	42,0	21,0	1,33	15,75	12,20	38,0	71,0	38,0	2,27	16,76
5,40	20,0	40,0	20,0	1,40	14,29	12,40	42,0	76,0	42,0	2,27	18,53
5,60	23,0	44,0	23,0	1,13	20,29	12,60	33,0	67,0	33,0	2,47	13,38
5,80	23,0	40,0	23,0	1,20	19,17	12,80	42,0	79,0	42,0	2,47	17,03
6,00	24,0	42,0	24,0	1,33	18,00	13,00	39,0	76,0	39,0	2,60	15,00
6,20	21,0	41,0	21,0	3,87	5,43	13,20	40,0	79,0	40,0	2,47	16,22
6,40	70,0	128,0	70,0	1,60	43,75	13,40	44,0	81,0	44,0	2,73	16,10
6,60	130,0	154,0	130,0	2,60	50,00	13,60	50,0	91,0	50,0	3,27	15,31
6,80	26,0	65,0	26,0	2,93	8,86	13,80	37,0	86,0	37,0	2,33	15,86
7,00	22,0	66,0	22,0	2,47	8,92	14,00	39,0	74,0	39,0		

PENETRATIO s.n.c.

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

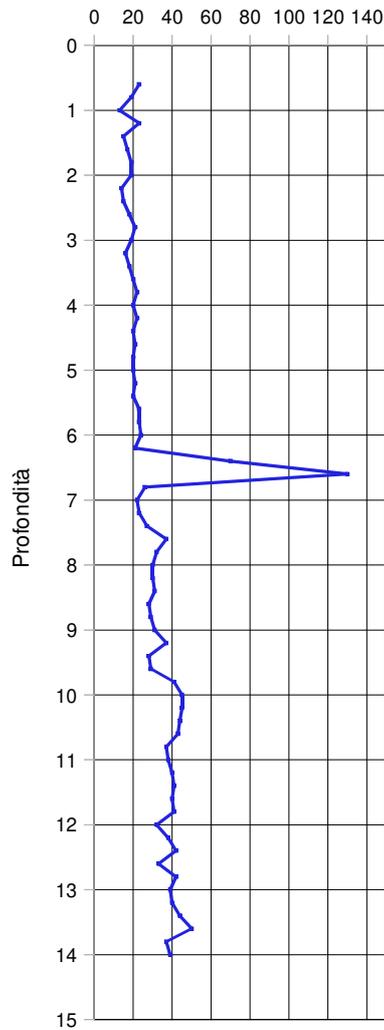
**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
GRAFICI DELLE RESISTENZE**

Rif. **44-2018**

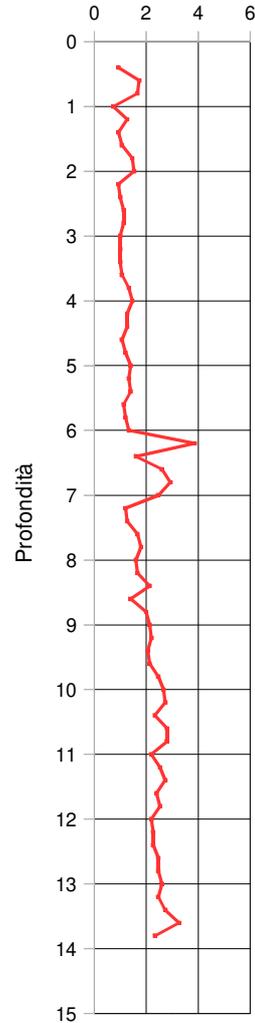
(Archivio interno 102L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Casciana
località: Casciana, S.P. n°48 – Casciana T. Lari (PI)
Note: -

data: 29/12/18
profondità prova: 14 m
quota inizio: p.c.



qc (kg/cm²)



fs (kg/cm²)



PENETRATIO s.n.c.

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

Rif. 44-2018

(Archivio interno 102L-2018)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Casciana	profondità prova:	14,00
località:	Casciana, S.P. 48 – 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 2
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 44-2018**

(Archivio interno 102L-2018)

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	29/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Casciana	profondità prova:	14,00 m
località:	Casciana, S.P. 48 – 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	----	----	----	----	----	----	7,20	60,0	99,0	60,0	2,33	25,71	
0,40	----	----	----	----	0,93	----	7,40	59,0	94,0	59,0	2,67	22,13	
0,60	19,0	33,0	19,0	1,73	10,96	7,60	53,0	93,0	53,0	2,93	18,07		
0,80	34,0	60,0	34,0	2,27	15,00	7,80	51,0	95,0	51,0	3,13	16,28		
1,00	61,0	95,0	61,0	1,73	35,19	8,00	49,0	96,0	49,0	3,20	15,31		
1,20	34,0	60,0	34,0	2,67	12,75	8,20	50,0	98,0	50,0	2,73	18,29		
1,40	34,0	74,0	34,0	2,33	14,57	8,40	56,0	97,0	56,0	3,60	15,56		
1,60	34,0	69,0	34,0	2,60	13,08	8,60	55,0	109,0	55,0	2,60	21,15		
1,80	45,0	84,0	45,0	2,33	19,29	8,80	41,0	80,0	41,0	2,60	15,77		
2,00	95,0	130,0	95,0	2,40	39,58	9,00	51,0	90,0	51,0	2,20	23,18		
2,20	105,0	141,0	105,0	1,13	92,65	9,20	53,0	86,0	53,0	2,53	20,92		
2,40	90,0	107,0	90,0	1,33	67,50	9,40	52,0	90,0	52,0	2,87	18,14		
2,60	61,0	81,0	61,0	13,20	4,62	9,60	44,0	87,0	44,0	2,40	18,33		
2,80	353,0	551,0	353,0	2,47	143,11	9,80	52,0	88,0	52,0	2,67	19,50		
3,00	153,0	190,0	153,0	3,53	43,30	10,00	50,0	90,0	50,0	2,87	17,44		
3,20	147,0	200,0	147,0	0,87	169,62	10,20	47,0	90,0	47,0	2,93	16,02		
3,40	32,0	45,0	32,0	1,40	22,86	10,40	51,0	95,0	51,0	3,53	14,43		
3,60	37,0	58,0	37,0	1,00	37,00	10,60	49,0	102,0	49,0	2,87	17,09		
3,80	31,0	46,0	31,0	0,60	51,67	10,80	50,0	93,0	50,0	2,73	18,29		
4,00	27,0	36,0	27,0	0,60	45,00	11,00	48,0	89,0	48,0	2,73	17,56		
4,20	28,0	37,0	28,0	0,87	32,31	11,20	49,0	90,0	49,0	2,80	17,50		
4,40	26,0	39,0	26,0	0,80	32,50	11,40	48,0	90,0	48,0	2,73	17,56		
4,60	29,0	41,0	29,0	1,07	27,19	11,60	47,0	88,0	47,0	2,53	18,55		
4,80	36,0	52,0	36,0	2,07	17,42	11,80	44,0	82,0	44,0	2,73	16,10		
5,00	47,0	78,0	47,0	1,73	27,12	12,00	45,0	86,0	45,0	2,80	16,07		
5,20	45,0	71,0	45,0	1,73	25,96	12,20	48,0	90,0	48,0	2,80	17,14		
5,40	48,0	74,0	48,0	2,07	23,23	12,40	51,0	93,0	51,0	2,93	17,39		
5,60	49,0	80,0	49,0	2,00	24,50	12,60	45,0	89,0	45,0	2,73	16,46		
5,80	46,0	76,0	46,0	1,80	25,56	12,80	49,0	90,0	49,0	3,00	16,33		
6,00	34,0	61,0	34,0	1,60	21,25	13,00	47,0	92,0	47,0	2,60	18,08		
6,20	33,0	57,0	33,0	1,33	24,75	13,20	51,0	90,0	51,0	2,73	18,66		
6,40	44,0	64,0	44,0	1,80	24,44	13,40	45,0	86,0	45,0	3,00	15,00		
6,60	46,0	73,0	46,0	2,40	19,17	13,60	45,0	90,0	45,0	3,13	14,36		
6,80	50,0	86,0	50,0	2,80	17,86	13,80	52,0	99,0	52,0	2,87	18,14		
7,00	57,0	99,0	57,0	2,60	21,92	14,00	50,0	93,0	50,0				

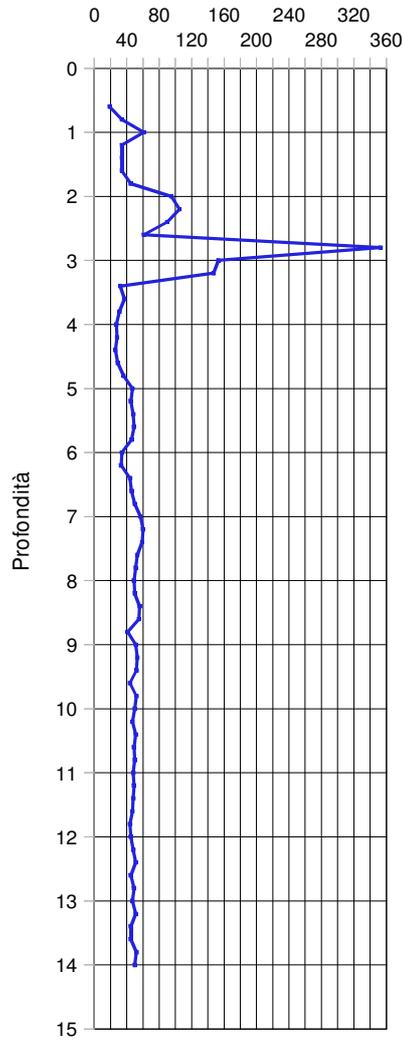
**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
GRAFICI DELLE RESISTENZE**

Rif. **44-2018**

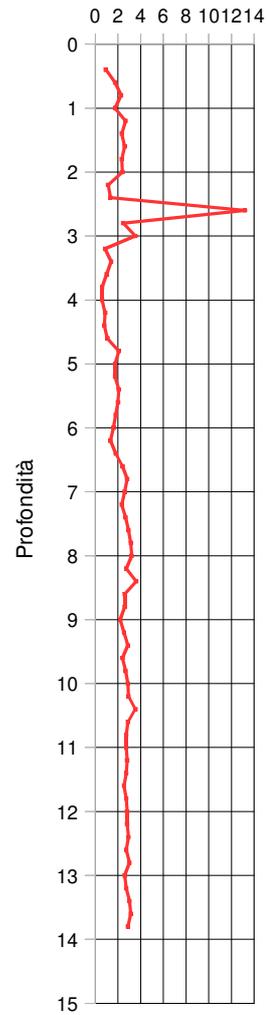
(Archivio interno 102L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Casciana
località: Casciana, S.P. 48 – Casciana T. Lari (PI)
Note: Foro attrezzato con tubo piezometrico

data: 29/12/18
profondità prova: 14 m
quota inizio: p.c.



qc (kg/cmq)



fs (kg/cmq)



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) $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

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

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

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

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

- 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 (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

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

$$1 \text{ kPa (kiloPascal)} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa (MegaPascal)} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **$F = (qc / fs)$**

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

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	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 qc e di $FR = (fs / qc) \%$

- 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

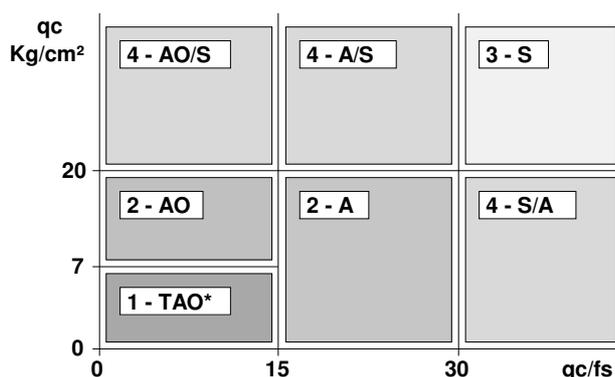
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

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

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

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



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 - qc - 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 - qc]
- 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' - qc] 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 - qc - natura] (Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati) [correlazioni : Dr - qc - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - qc - 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

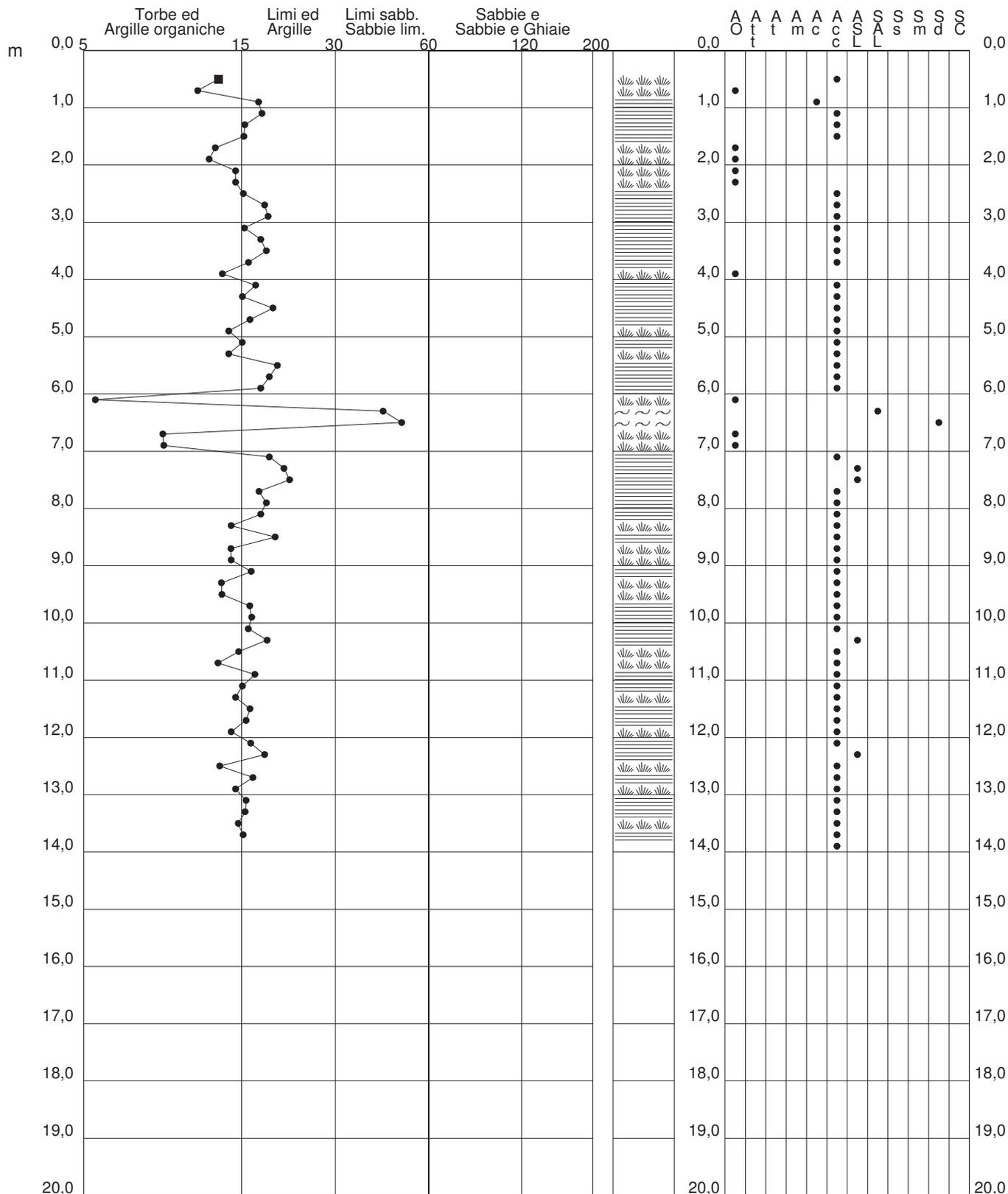
2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Casciana, S.P. 48 - 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 VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

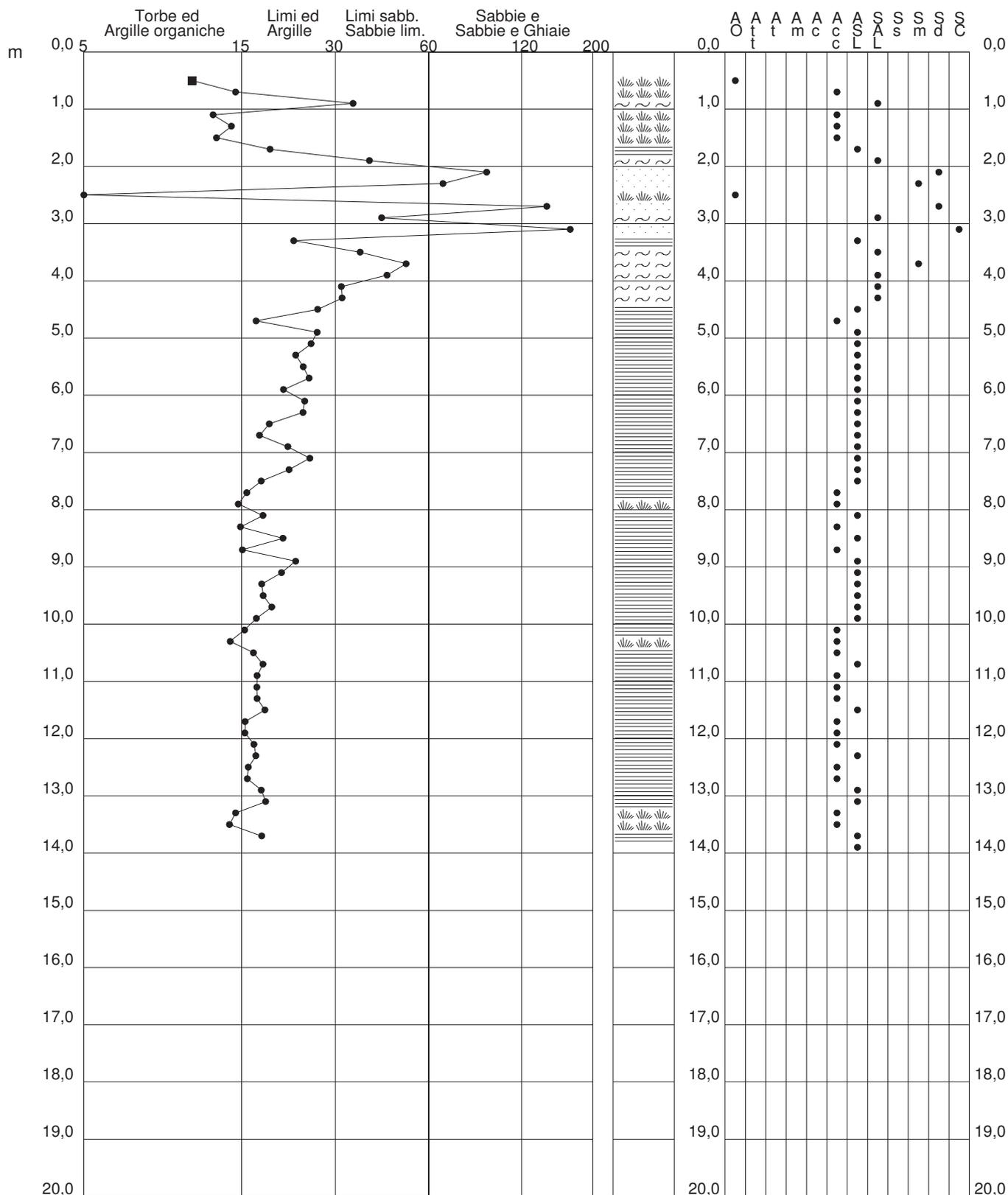
2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Casciana, S.P. 48 - 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 : Casciana, S.P. 48 - 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/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	omy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	23	13	4/:	1,85	0,11	0,87	82,1	148	221	69	75	39	40	42	44	40	28	0,175	38	58	69	
0,80	19	11	2////	1,85	0,15	0,78	49,8	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	13	18	2////	1,85	0,19	0,60	27,6	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	23	18	4/:	1,85	0,22	0,87	34,5	148	221	69	58	36	38	40	43	37	28	0,126	38	58	69	
1,40	15	16	2////	1,85	0,26	0,67	20,5	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	17	16	2////	1,85	0,30	0,72	19,2	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	19	13	2////	1,85	0,33	0,78	18,1	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	19	12	2////	1,85	0,37	0,78	15,8	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	14	15	2////	1,85	0,41	0,64	11,0	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	15	15	2////	1,85	0,44	0,67	10,4	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	18	16	2////	1,85	0,48	0,75	10,9	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	21	19	4/:	1,85	0,52	0,82	11,2	140	210	63	34	33	35	38	41	32	27	0,067	35	53	63	
3,00	19	19	2////	1,85	0,55	0,78	9,5	133	200	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	16	16	2////	1,85	0,59	0,70	7,7	144	216	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	18	18	2////	1,85	0,63	0,75	7,8	152	228	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	20	19	4/:	1,85	0,67	0,80	7,9	160	241	60	27	32	34	37	40	30	27	0,051	33	50	60	
3,80	22	16	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	20	14	4/:	1,85	0,74	0,80	6,9	186	280	60	24	31	34	37	40	30	27	0,046	33	50	60	
4,20	22	17	4/:	1,85	0,78	0,85	7,0	195	293	66	26	32	34	37	40	30	28	0,050	37	55	66	
4,40	20	16	4/:	1,85	0,81	0,80	6,1	214	321	60	22	31	34	37	40	29	27	0,041	33	50	60	
4,60	21	20	4/:	1,85	0,85	0,82	6,0	225	337	63	22	31	34	37	40	29	27	0,042	35	53	63	
4,80	20	17	4/:	1,85	0,89	0,80	5,5	241	361	60	20	31	34	36	40	29	27	0,037	33	50	60	
5,00	20	14	4/:	1,85	0,93	0,80	5,2	253	380	60	19	31	33	36	39	28	27	0,035	33	50	60	
5,20	21	16	4/:	1,85	0,96	0,82	5,2	264	396	63	19	31	34	36	40	28	27	0,037	35	53	63	
5,40	20	14	4/:	1,85	1,00	0,80	4,8	277	416	60	17	30	33	36	39	28	27	0,032	33	50	60	
5,60	23	20	4/:	1,85	1,04	0,87	5,0	286	428	69	21	31	34	37	40	29	28	0,039	38	58	69	
5,80	23	19	4/:	1,85	1,07	0,87	4,8	298	446	69	20	31	34	36	40	28	28	0,038	38	58	69	
6,00	24	18	4/:	1,85	1,11	0,89	4,8	308	462	72	20	31	34	37	40	28	28	0,039	40	60	72	
6,20	21	5	4/:	1,85	1,15	0,82	4,1	320	480	63	15	30	33	36	39	27	27	0,029	35	53	63	
6,40	70	44	3:::	1,85	1,18	--	--	--	--	--	56	36	38	40	42	34	32	0,119	117	175	210	
6,60	130	50	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	37	35	0,178	217	325	390	
6,80	26	9	4/:	1,85	1,26	0,93	4,3	351	527	78	20	31	34	37	40	28	28	0,038	43	65	78	
7,00	22	9	4/:	1,85	1,30	0,85	3,7	366	548	66	14	30	33	36	39	27	28	0,027	37	55	66	
7,20	23	19	4/:	1,85	1,33	0,87	3,7	376	564	69	14	30	33	36	39	27	28	0,028	38	58	69	
7,40	27	21	4/:	1,85	1,37	0,95	4,0	383	574	81	19	31	34	36	40	28	28	0,037	45	68	81	
7,60	37	22	4/:	1,85	1,41	1,23	5,3	384	575	111	30	32	35	37	40	30	30	0,057	62	93	111	
7,80	32	18	4/:	1,85	1,44	1,07	4,3	403	605	96	24	31	34	37	40	29	29	0,045	53	80	96	
8,00	30	19	4/:	1,85	1,48	1,00	3,8	416	624	90	21	31	34	37	40	28	29	0,040	50	75	90	
8,20	30	18	4/:	1,85	1,52	1,00	3,7	428	642	90	20	31	34	37	40	28	29	0,039	50	75	90	
8,40	31	15	4/:	1,85	1,55	1,03	3,8	438	657	93	21	31	34	37	40	28	29	0,040	52	78	93	
8,60	28	20	4/:	1,85	1,59	0,97	3,4	447	670	84	17	30	33	36	39	27	28	0,032	47	70	84	
8,80	29	14	4/:	1,85	1,63	0,98	3,3	457	685	87	18	30	33	36	39	27	29	0,034	48	73	87	
9,00	31	15	4/:	1,85	1,66	1,03	3,5	469	703	93	19	31	34	36	40	28	29	0,037	52	78	93	
9,20	37	17	4/:	1,85	1,70	1,23	4,2	475	713	111	25	31	34	37	40	28	30	0,047	62	93	111	
9,40	28	14	4/:	1,85	1,74	0,97	3,0	476	713	84	15	30	33	36	39	27	28	0,028	47	70	84	
9,60	29	14	4/:	1,85	1,78	0,98	3,0	485	728	87	15	30	33	36	39	27	29	0,030	48	73	87	
9,80	41	17	4/:	1,85	1,81	1,37	4,4	506	759	123	27	32	34	37	40	29	30	0,051	68	103	123	
10,00	45	17	4/:	1,85	1,85	1,50	4,8	513	769	135	30	32	35	37	40	29	31	0,057	75	113	135	
10,20	45	16	4/:	1,85	1,89	1,50	4,7	525	787	135	29	32	35	37	40	29	31	0,056	75	113	135	
10,40	44	19	4/:	1,85	1,92	1,47	4,5	537	805	132	28	32	35	37	40	29	31	0,053	73	110	132	
10,60	43	15	4/:	1,85	1,96	1,43	4,2	548	822	129	27	32	34	37	40	29	30	0,051	72	108	129	
10,80	37	13	4/:	1,85	2,00	1,23	3,4	562	844	111	21	31	34	37	40	28	30	0,040	62	93	111	
11,00	38	17	4/:	1,85	2,03	1,27	3,5	573	860	114	21	31	34	37	40	28	30	0,041	63	95	114	
11,20	40	16	4/:	1,85	2,07	1,33	3,6	585	878	120	23	31	34	37	40	28	30	0,043	67	100	120	
11,40	41	15	4/:	1,85	2,11	1,37	3,7	595	893	123	23	31	34	37	40	28	30	0,044	68	103	123	
11,60	40	17	4/:	1,85	2,15	1,33	3,5	605	907	120	22	31	34	37	40	28	30	0,042	67	100	120	
11,80	41	16	4/:	1,85	2,18	1,37	3,5	615	923	123	22	31	34	37	40	28	30	0,042	68	103	123	
12,00	32	15	4/:	1,85	2,22	1,07	2,5	565	847	96	13	30	33	36	39	26	29	0,026	53	80	96	
12,20	38	17	4/:	1,85	2,26	1,27	3,0	620	930	114	19	31	34	36	40	27	30	0,036	63	95	114	
12,40	42	19	4/:	1,85	2,29	1,40	3,4	645	967	126	22	31	34	37	40	27	30	0,042	70	105	126	
12,60	33	13	4/:	1,85	2,33	1,10	2,5	586	879	99	13	30	33	36	39	26	29	0,026	55	83	99	
12,80	42	17	4/:	1,85	2,37	1,40	3,3	661	991	126	21	31	34	37	40	27	30	0,040	70	105	126	
13,00	39	15	4/:	1,85	2,40	1,30	2,9	651	976	117	18	31	33	36	39	27	30	0,035	65	98	117	
13,20	40	16	4/:	1,85	2,44	1,33	2,9	663	995	120	19	31	33	36	39	27	30	0,036	67	100	120	
13,40	44	16	4/:	1,85	2,48	1,47	3,3	692	1038	132	22	31	34	37	40	27	31	0,041	73	110	132	
13,60	50	15	4/:	1,85	2,52	1,67	3,8	709	1064	150	26	32	34	37	40	28	31	0,049	83	125	150	
13,80	37	16	4/:	1,85	2,55	1,23	2,5	651	977	111	15	30	33	36	39	26	30	0,029	62	93	111	

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero
 - località : Casciana, S.P. 48 - 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/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	omy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	19	11	2////	1,85	0,11	0,78	71,3	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	34	15	4/:	1,85	0,15	1,13	80,0	193	289	102	82	39	41	43	45	41	29	0,195	57	85	102	
1,00	61	35	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	42	32	0,245	102	153	183	
1,20	34	13	4/:	1,85	0,22	1,13	48,2	193	289	102	72	38	40	42	44	39	29	0,164	57	85	102	
1,40	34	15	4/:	1,85	0,26	1,13	39,7	193	289	102	68	38	39	41	43	38	29	0,153	57	85	102	
1,60	34	13	4/:	1,85	0,30	1,13	33,6	193	289	102	65	37	39	41	43	38	29	0,143	57	85	102	
1,80	45	19	4/:	1,85	0,33	1,50	41,2	255	383	135	71	38	40	42	44	38	31	0,163	75	113	135	
2,00	95	40	3:::	1,85	0,37	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	41	34	0,239	158	238	285	
2,20	105	93	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	41	34	0,243	175	263	315	
2,40	90	67	3:::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	40	33	0,217	150	225	270	
2,60	61	5	4/:	1,85	0,48	2,03	38,1	346	519	183	73	38	40	42	44	38	32	0,168	102	153	183	
2,80	353	143	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	588	883	1059	
3,00	153	43	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	36	0,258	255	383	459	
3,20	147	170	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	98	42	43	44	46	41	36	0,251	245	368	441	
3,40	32	23	4/:	1,85	0,63	1,07	12,1	181	272	96	44	34	37	39	42	33	29	0,090	53	80	96	
3,60	37	37	3:::	1,85	0,67	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	34	30	0,098	62	93	111	
3,80	31	52	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	40	34	36	39	41	32	29	0,081	52	78	93	
4,00	27	45	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	31	28	0,067	45	68	81	
4,20	28	32	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	31	28	0,067	47	70	84	
4,40	26	32	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	31	32	35	38	40	31	28	0,059	43	65	78	
4,60	29	27	4/:	1,85	0,85	0,98	7,5	208	312	87	33	33	35	38	41	31	29	0,065	48	73	87	
4,80	36	17	4/:	1,85	0,89	1,20	9,1	211	317	108	40	34	36	39	41	32	30	0,079	60	90	108	
5,00	47	27	4/:	1,85	0,93	1,57	12,1	266	400	141	48	35	37	39	42	33	31	0,099	78	118	141	
5,20	45	26	4/:	1,85	0,96	1,50	10,9	255	383	135	45	34	37	39	42	33	31	0,093	75	113	135	
5,40	48	23	4/:	1,85	1,00	1,60	11,3	272	408	144	47	35	37	39	42	33	31	0,096	80	120	144	
5,60	49	24	4/:	1,85	1,04	1,63	11,1	278	417	147	47	35	37	39	42	33	31	0,096	82	123	147	
5,80	46	26	4/:	1,85	1,07	1,53	9,8	261	392	138	44	34	36	39	41	32	31	0,088	77	115	138	
6,00	34	21	4/:	1,85	1,11	1,13	6,4	287	430	102	32	33	35	38	41	30	29	0,063	57	85	102	
6,20	33	25	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	44	24	4/:	1,85	1,18	1,47	8,2	283	424	132	40	34	36	39	41	31	31	0,079	73	110	132	
6,60	46	19	4/:	1,85	1,22	1,53	8,3	291	436	138	40	34	36	39	41	32	31	0,081	77	115	138	
6,80	50	18	4/:	1,85	1,26	1,67	8,9	298	447	150	43	34	36	39	41	32	31	0,086	83	125	150	
7,00	57	22	4/:	1,85	1,30	1,90	10,1	323	485	171	46	34	37	39	42	32	31	0,095	95	143	171	
7,20	60	26	4/:	1,85	1,33	2,00	10,4	340	510	180	47	35	37	39	42	33	32	0,098	100	150	180	
7,40	59	22	4/:	1,85	1,37	1,97	9,9	335	502	177	46	34	37	39	42	32	32	0,095	98	148	177	
7,60	53	18	4/:	1,85	1,41	1,77	8,4	334	502	159	42	34	36	39	41	32	31	0,084	88	133	159	
7,80	51	16	4/:	1,85	1,44	1,70	7,7	350	525	153	40	34	36	39	41	31	31	0,080	85	128	153	
8,00	49	15	4/:	1,85	1,48	1,63	7,1	369	554	147	38	33	36	38	41	31	31	0,075	82	123	147	
8,20	50	18	4/:	1,85	1,52	1,67	7,1	379	569	150	38	33	36	38	41	31	31	0,075	83	125	150	
8,40	56	16	4/:	1,85	1,55	1,87	7,9	374	562	168	41	34	36	39	41	31	31	0,083	93	140	168	
8,60	55	21	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	41	16	4/:	1,85	1,63	1,37	5,0	449	673	123	29	32	35	37	40	29	30	0,057	68	103	123	
9,00	51	23	4/:	1,85	1,66	1,70	6,4	430	646	153	36	33	36	38	41	30	31	0,072	85	128	153	
9,20	53	21	4/:	1,85	1,70	1,77	6,6	437	655	159	37	33	36	38	41	30	31	0,073	88	133	159	
9,40	52	18	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	44	18	4/:	1,85	1,78	1,47	4,9	491	736	132	30	32	35	38	40	29	31	0,057	73	110	132	
9,80	52	19	4/:	1,85	1,81	1,73	5,9	481	722	156	35	33	35	38	41	30	31	0,068	87	130	156	
10,00	50	17	4/:	1,85	1,85	1,67	5,5	501	752	150	33	33	35	38	41	30	31	0,064	83	125	150	
10,20	47	16	4/:	1,85	1,89	1,57	5,0	521	782	141	31	32	35	38	40	29	31	0,059	78	118	141	
10,40	51	14	4/:	1,85	1,92	1,70	5,4	524	786	153	33	33	35	38	41	30	31	0,064	85	128	153	
10,60	49	17	4/:	1,85	1,96	1,63	5,0	541	812	147	31	32	35	38	40	29	31	0,060	82	123	147	
10,80	50	18	4/:	1,85	2,00	1,67	5,0	551	827	150	31	32	35	38	41	29	31	0,060	83	125	150	
11,00	48	18	4/:	1,85	2,03	1,60	4,6	566	849	144	29	32	35	37	40	29	31	0,057	80	120	144	
11,20	49	18	4/:	1,85	2,07	1,63	4,7	576	865	147	30	32	35	37	40	29	31	0,057	82	123	147	
11,40	48	18	4/:	1,85	2,11	1,60	4,4	589	883	144	29	32	35	37	40	29	31	0,055	80	120	144	
11,60	47	19	4/:	1,85	2,15	1,57	4,2	599	899	141	27	32	35	37	40	28	31	0,052	78	118	141	
11,80	44	16	4/:	1,85	2,18	1,47	3,8	614	922	132	25	31	34	37	40	28	31	0,047	73	110	132	
12,00	45	16	4/:	1,85	2,22	1,50	3,8	624	936	135	25	32	34	37	40	28	31	0,048	75	113	135	
12,20	48	17	4/:	1,85	2,26	1,60	4,1	630	945	144	27	32	34	37	40	28	31	0,051	80	120	144	
12,40	51	17	4/:	1,85	2,29	1,70	4,3	641	961	153	29	32	35	37	40	29	31	0,055	85	128	153	
12,60	45	16	4/:	1,85	2,33	1,50	3,6	658	987	135	24	31	34	37	40	28	31	0,045	75	113	135	
12,80	49	16	4/:	1,85	2,37	1,63	3,9	663	994	147	26	32	34	37	40	28	31	0,050	82	123	147	
13,00	47	18	4/:	1,85	2,40	1,57	3,7	679	1018	141	25	31	34	37	40	28	31	0,047	78	118	141	
13,20	51	19	4/:	1,85	2,44	1,70	4,0	681	1022	153	27	32	34	37	40	28	31	0,052	85	128	153	
13,40	45	15	4/:	1,85	2,48	1,50	3,4	695	1043	135	22	31	34	37	40	27	31	0,043	75	113	135	
13,60	45	14	4/:	1,85	2,52	1,50	3,3	704	1055	135	22	31	34	37	40	27	31	0,042	75			

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.
ESEGUITA IN VIA DEL MONTE VASO S.P. N°48, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE
DI CASCIANA, 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 DEL MONTE VASO S.P. N°48, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE DI CASCIANA, 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 Casciana sito lungo il corso di Via del Monte Vaso S.P. n°48.

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**

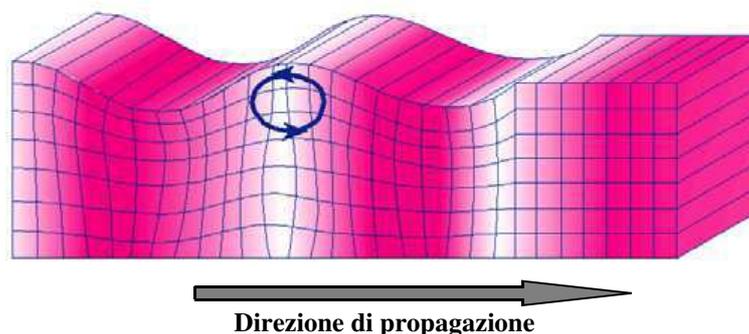
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la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



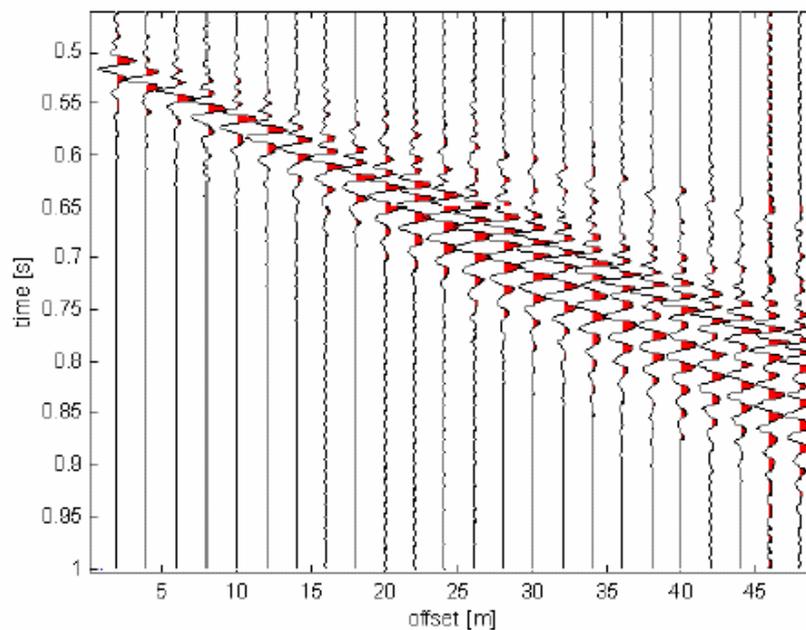
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

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

- . distorsion: 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 uV 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: 2,00 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 4,0 m, 5,0 e 6,0 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 5,0 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):     | 155 | 224 | 297 | 419 |
| spessori (m): | 5,1 | 7,3 | 8,6 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1    | 2    | 3    | 4   |
|---------------|------|------|------|-----|
| VS (m/s):     | 150  | 197  | 295  | 447 |
| spessori (m): | 3,62 | 5,71 | 12,5 |     |

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*: **259 m/s**
- $V_{s_{30}}$  del *modello migliore*: **264 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

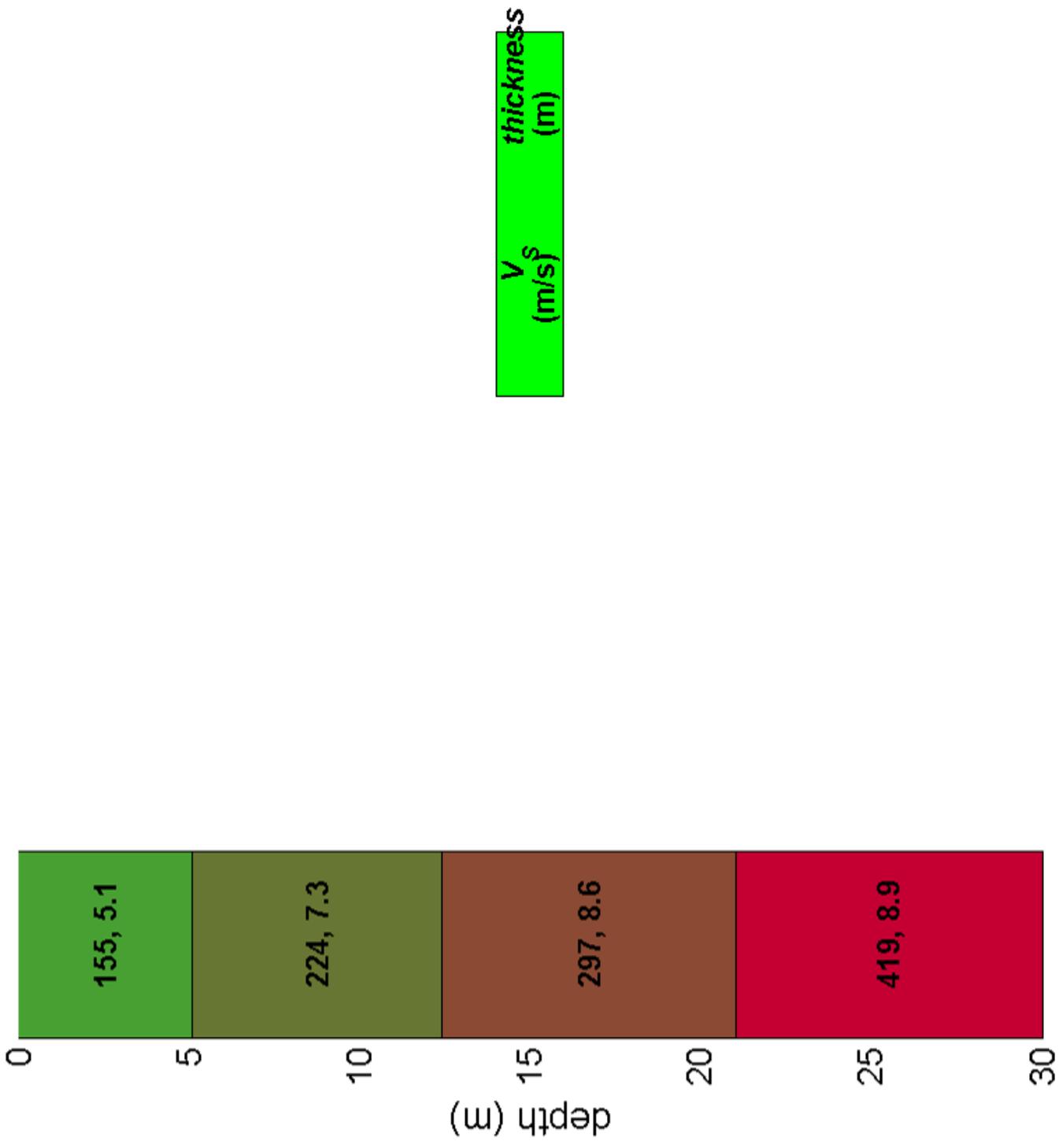
**Penetratio s.n.c.**

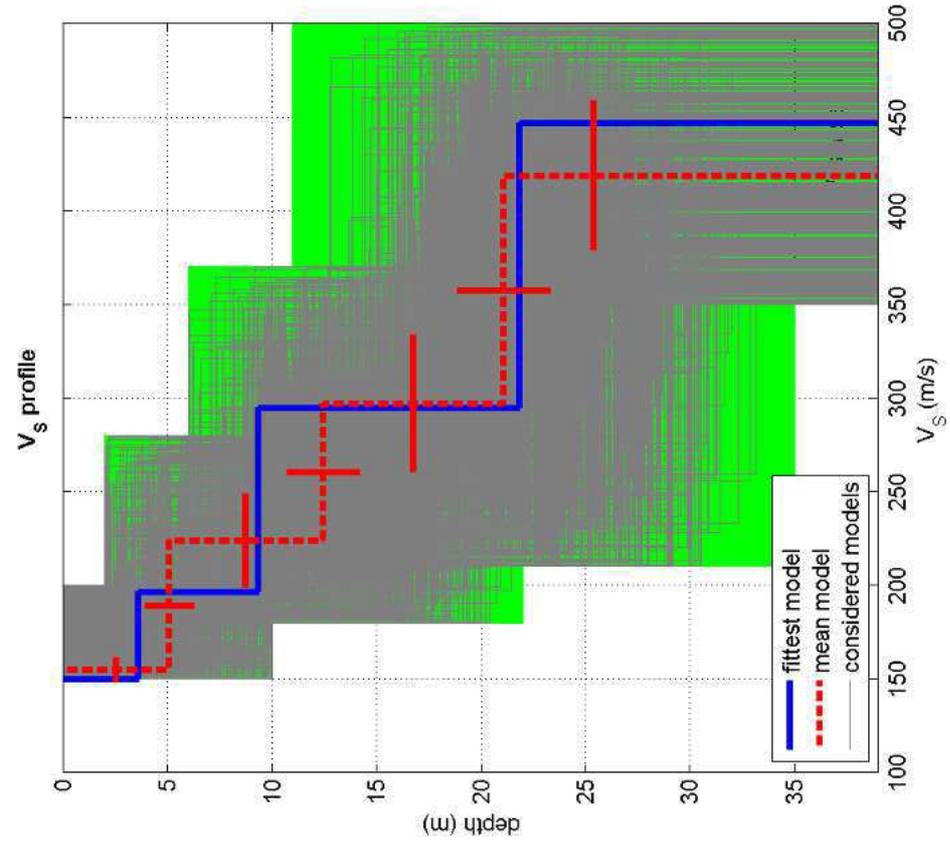
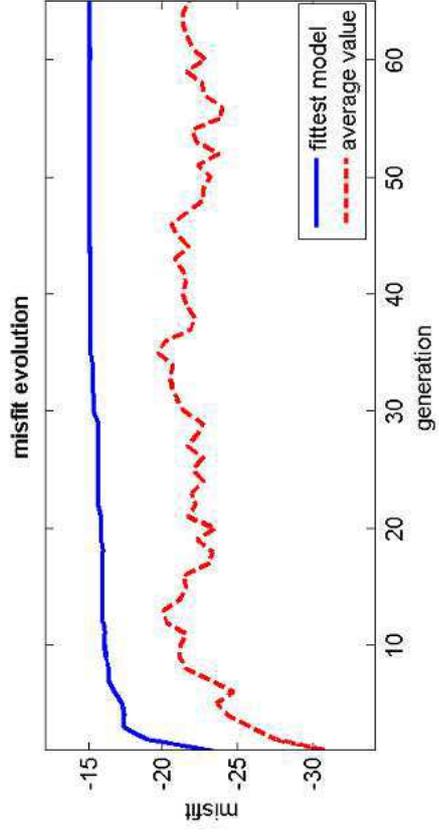
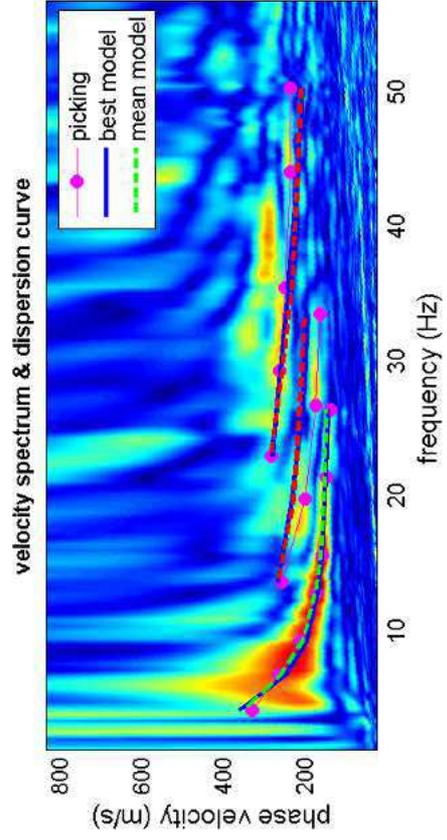
Dott. Geol. G. Lotti



***Allegato 1***

# Subsurface model

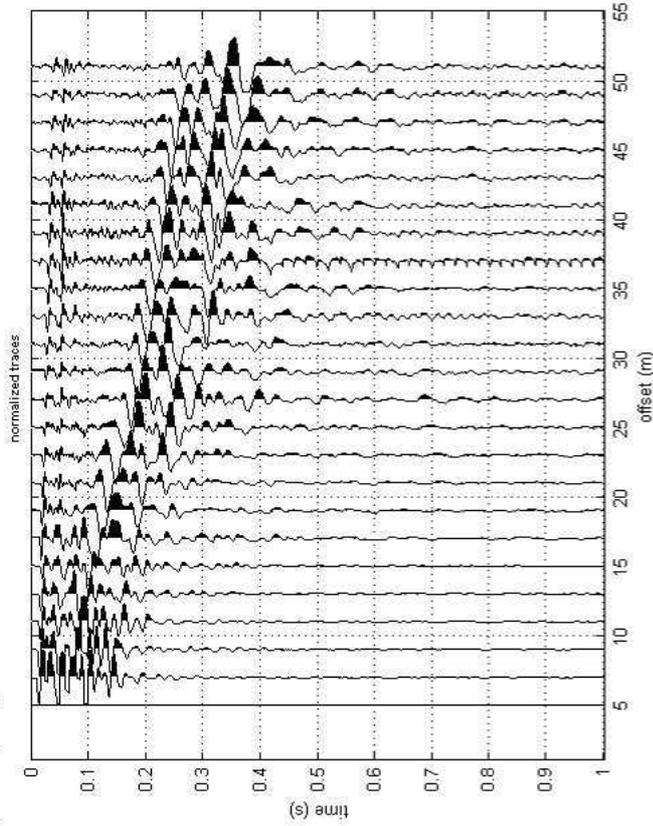




dataset: 5m sp2m.SGY  
 dispersion curve: 5m.cdp  
 $V_s30$  (best model): 264 m/s  
 $V_s30$  (mean model): 259 m/s

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 5m\_sp2m.SGY  
 sampling: 0.131 ms  
 minimum offset: 5 m  
 geophone spacing: 2 m



resampling: 1  
 resample: 60  
 activate: select  
 cancel: cancel  
 save: save

filtering & spectra: filter, cancel, spectrum, spectrogram

refraction: refraction: 100  
 upload: upload  
 clear refraction: clear refraction  
 save: save

other tools & setting: 1.00215, time length to visualize (s): done, flip traces, zero padding

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

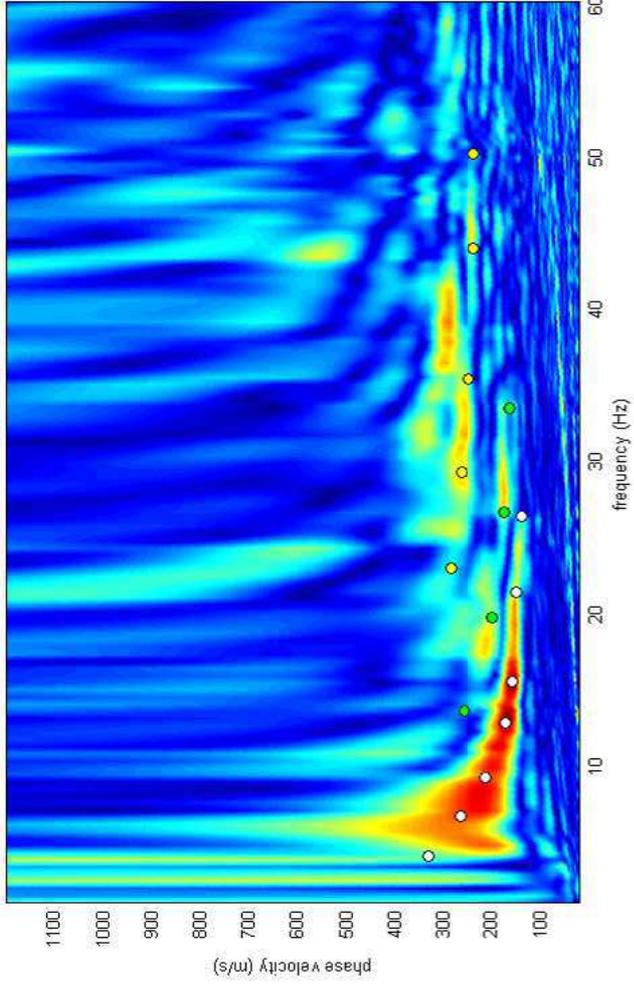
MASW: compute velocity spectrum

phase velocity:  F-k  
 group velocity:

handling the spectra: save, upload, merge

explore spectrum, mode separation

velocity spectrum



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, 5m.cdp, cancel picking

inversion: inversion, joint DC-HV inv.

general setting: Rayleigh: 3, phase vel, Reference depth, HV body waves, HV modes (SW ellipticity): 0

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

thickness (m): 1, 2, 5, 5, 7, 80, 0

modelling: Z/VF, elastic, shows DC, synthetics

calculate, upload mod., save model, refresh, report



***Allegato 2***

## Analyzing phase velocities

```

==o== SECTION#1
dataset: 5m sp2m.SGY
minimum offset (m): 5
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 5m.cdp
Number of individuals: 50
Number of generations: 51

```

## Rayleigh-wave dispersion analysis

## Analyzing phase Velocities

```

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 150    2  180    4  210    5  350
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 200   10  280   12  370   13  500
Adopted Poisson values: 0.35    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: -31.0334
-23.3479
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -27.485
-18.9097
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -25.9894
-17.3593
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -24.4164
-17.3593
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -23.6091
-17.2511
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -24.7056
-16.7741
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -23.2401
-16.3572
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -21.5798
-16.3572
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -21.1483
-16.1758
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -21.2404
-16.1022
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -21.5815
-16.1022
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -20.2841
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -20.0927
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -21.2436
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -21.5496
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -21.4079
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -23.0823
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -23.352
-15.9563
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -22.3012
-15.8389
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -23.5381
-15.8389
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -21.6791
-15.8389
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -22.222
-15.6284
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -21.948
-15.6284
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -22.7485
-15.6284
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -22.007
-15.6284

```

Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -22.7152  
-15.6284  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -21.6626  
-15.6284  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -22.3311  
-15.6284  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -22.6761  
-15.6284  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -21.4636  
-15.3686  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -20.9697  
-15.3468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -20.6278  
-15.2917  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -20.5412  
-15.2917  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -20.6584  
-15.2917  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -19.7131  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -20.2074  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -21.9092  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -22.1303  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -21.6441  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -21.3479  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -21.5781  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -21.3884  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -20.8312  
-15.1468  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -21.7384  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -20.9928  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -20.5936  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -21.6594  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -22.7062  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -22.691  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -23.192  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -22.3492  
-15.1149

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -23.7475  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -22.3057  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -21.9957  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -23.8883  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -23.9634  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -22.778  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -22.6456  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -21.6152  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -22.8999  
-15.1149  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -22.0498  
-15.113

Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -21.6364  
-15.113  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -21.3525  
-15.113  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -21.3546  
-15.113  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -21.7988  
-15.113

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

Vs (m/s): 150 197 295 447  
Thickness (m): 3.6 5.7 13

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35  
Vp & Density Optimization

p14 =  
2

p15 =  
16

p16 =  
0.1532 0.2529 0.3492 0.4853 0.5882 0.8107 1.0000  
0.4060 0.5892 0.7959 1.0000 0 0 0  
0.4574 0.5830 0.7051 0.8761 1.0000 0 0  
0 0 0 0 0 0 0

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -15.2682  
-14.8416  
Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -15.2382  
-14.8416  
Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -15.2899  
-14.8416  
Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -15.3589  
-14.8416  
Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -15.3611  
-14.8416  
Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -15.3038  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -15.3272  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -15.2935  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -15.3027  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 10; average & best misfits: -15.3503  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 11; average & best misfits: -15.3251  
-14.8365  
Optimizing Vp & Density - generation: 12; average & best misfits: -15.3017  
-14.8169  
Optimizing Vp & Density - generation: 13; average & best misfits: -15.3276  
-14.8169  
Optimizing Vp & Density - generation: 14; average & best misfits: -15.2996  
-14.8169  
Number of models considered to calculate the average model: 1481

#####  
RESULTS  
#####

Dataset: 5m sp2m.SGY  
Analyzed curve/spectrum: 5m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities  
Analyzing Rayleigh-wave Dispersion

=====

## MEAN MODEL

Vs (m/s): 155 224 297 419  
 Standard deviations (m/s): 6 25 36 40

Thickness (m): 5.1 7.3 8.6  
 Standard deviations (m): 1.2 1.7 2.2

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 350 512 924 1482  
 Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.80 1.89 2.03 2.15  
 Vp/Vs ratio: 2.26 2.29 3.11 3.54  
 Poisson: 0.38 0.38 0.44 0.46  
 Shear modulus (MPa): 43 95 179 377  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

## Fundamental mode

Mean model

| f(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 4.03971 | 351.4478 |
| 6.66598 | 258.1381 |
| 9.20471 | 204.1098 |
| 12.794  | 173.3255 |
| 15.5078 | 160.9472 |
| 21.3731 | 150.2079 |
| 26.363  | 147.437  |

## First higher mode

Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 13.5818 | 264.5758 |
| 19.7098 | 226.9712 |
| 26.6257 | 211.9813 |
| 33.454  | 199.7674 |

## Second higher mode

Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 22.9489 | 283.1367 |
| 29.2519 | 254.3478 |
| 35.3799 | 230.628  |
| 43.9591 | 216.1581 |
| 50.1746 | 209.5161 |

===== SECTION#4

## BEST MODEL

Vs (m/s): 150 197 295 447  
 thickness (m): 3.62951 5.71636 12.509

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 274 326 1447 940  
 Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.74 1.78 2.14 2.04  
 Vp/Vs ratio: 1.83 1.65 4.91 2.10  
 Poisson: 0.29 0.21 0.48 0.35  
 Shear modulus (MPa): 39 69 187 407  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

## Fundamental mode)

best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 4.03971 | 359.1875 |
| 6.66598 | 245.835  |
| 9.20471 | 194.1295 |
| 12.794  | 167.8196 |
| 15.5078 | 158.5012 |
| 21.3731 | 147.3528 |
| 26.363  | 142.9709 |

## First higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 13.5818 | 266.264  |
| 19.7098 | 231.3602 |
| 26.6257 | 204.0142 |
| 33.454  | 193.5901 |

Second higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 22.9489 | 278.7034 |
| 29.2519 | 259.8393 |
| 35.3799 | 239.561  |
| 43.9591 | 215.4893 |
| 50.1746 | 204.7026 |

Vs5 (mean model): 155 m/s  
Vs5 (best model): 160 m/s

Vs20 (mean model): 220 m/s  
Vs20 (best model): 224 m/s

Vs30 (mean model): 259 m/s  
Vs30 (best model): 264 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

Number of models used to define the mean model: 1481

Vs5 for the best model: 160

Vs30 for the best model: 264

Analyzing phase velocities

Elapsed time is 176.757372 seconds.

***Allegato 3***

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in Via del Monte Vaso S.P. n°48, presso il Cimitero Comunale di Casciana, nel Comune di Casciana Terme Lari (PI).*

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in Via del Monte Vaso S.P. n°48, presso il Cimitero Comunale di Casciana, nel Comune di Casciana Terme Lari (PI).*



**Ampliamento del cimitero comunale di Casciana Terme con  
realizzazione di una nuova sezione di loculi**

**Giugno 2019**

**Pericolosità sismica di base**

## 1 PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la *pericolosità sismica di base* per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

## 2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = periodo di riferimento

$V_N$  = vita nominale

$C_U$  = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

**Tab. 2.1** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

| TIPI DI COSTRUZIONI |                                                | Valori minimi di $V_N$ (anni) |
|---------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1                   | Costruzioni temporanee e provvisorie           | 10                            |
| 2                   | Costruzioni con livelli di prestazioni         | 50                            |
| 3                   | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100                           |

Nel caso specifico  $V_N = 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $C_U = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $C_U = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $C_U = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso  $C_U = 1$ .

Ricavati i valori di  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

### 3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei

confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento*  $P_{VR}$  (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

**Tabella 3.1-** Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$

|                                                  |     |                                   |
|--------------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| Stato limite di esercizio: operatività           | SLO | <b><math>P_{VR} = 81\%</math></b> |
| Stato limite di esercizio: danno                 | SLD | <b><math>P_{VR} = 63\%</math></b> |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita     | SLV | <b><math>P_{VR} = 10\%</math></b> |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | <b><math>P_{VR} = 5\%</math></b>  |

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  $V_R = 50$  anni, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

**Tabella 3.2-** Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$

|                                                  |     |                               |
|--------------------------------------------------|-----|-------------------------------|
| Stato limite di esercizio: operatività           | SLO | <b><math>T_R = 30</math></b>  |
| Stato limite di esercizio: danno                 | SLD | <b><math>T_R = 50</math></b>  |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita     | SLV | <b><math>T_R = 475</math></b> |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | <b><math>T_R = 975</math></b> |

#### 4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://essel-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

**Tabella 4.1-** Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

| ID    | LON    | LAT     | $T_R = 30$ |       |         | $T_R = 50$ |       |         | $T_R = 72$ |       |         | $T_R = 101$ |       |         |
|-------|--------|---------|------------|-------|---------|------------|-------|---------|------------|-------|---------|-------------|-------|---------|
|       |        |         | $a_g$      | $F_0$ | $T_C^*$ | $a_g$      | $F_0$ | $T_C^*$ | $a_g$      | $F_0$ | $T_C^*$ | $a_g$       | $F_0$ | $T_C^*$ |
| 13111 | 6.5448 | 45.1340 | 0.263      | 2.500 | 0.180   | 0.340      | 2.510 | 0.210   | 0.394      | 2.550 | 0.220   | 0.469       | 2.490 | 0.240   |
| 13333 | 6.5506 | 45.0850 | 0.264      | 2.490 | 0.180   | 0.341      | 2.510 | 0.210   | 0.395      | 2.550 | 0.220   | 0.469       | 2.490 | 0.240   |
| 13555 | 6.5564 | 45.0350 | 0.264      | 2.500 | 0.180   | 0.340      | 2.510 | 0.200   | 0.393      | 2.550 | 0.220   | 0.466       | 2.500 | 0.240   |
| 13777 | 6.5621 | 44.9850 | 0.263      | 2.500 | 0.180   | 0.338      | 2.520 | 0.200   | 0.391      | 2.550 | 0.220   | 0.462       | 2.510 | 0.240   |
| 12890 | 6.6096 | 45.1880 | 0.284      | 2.460 | 0.190   | 0.364      | 2.510 | 0.210   | 0.431      | 2.500 | 0.220   | 0.509       | 2.480 | 0.240   |
| 13112 | 6.6153 | 45.1390 | 0.286      | 2.460 | 0.190   | 0.366      | 2.510 | 0.210   | 0.433      | 2.500 | 0.220   | 0.511       | 2.480 | 0.240   |
| 13334 | 6.6210 | 45.0890 | 0.288      | 2.460 | 0.190   | 0.367      | 2.510 | 0.210   | 0.434      | 2.500 | 0.220   | 0.511       | 2.490 | 0.240   |
| 13556 | 6.6268 | 45.0390 | 0.288      | 2.460 | 0.190   | 0.367      | 2.510 | 0.210   | 0.433      | 2.510 | 0.220   | 0.510       | 2.490 | 0.240   |
| 13778 | 6.6325 | 44.9890 | 0.288      | 2.460 | 0.190   | 0.366      | 2.520 | 0.210   | 0.430      | 2.510 | 0.220   | 0.507       | 2.500 | 0.240   |
| 14000 | 6.6383 | 44.9390 | 0.286      | 2.470 | 0.190   | 0.363      | 2.520 | 0.210   | 0.426      | 2.520 | 0.220   | 0.502       | 2.500 | 0.240   |
| 14222 | 6.6439 | 44.8890 | 0.284      | 2.470 | 0.190   | 0.360      | 2.530 | 0.210   | 0.421      | 2.530 | 0.220   | 0.497       | 2.500 | 0.240   |
| 12891 | 6.6803 | 45.1920 | 0.306      | 2.430 | 0.200   | 0.389      | 2.500 | 0.210   | 0.467      | 2.470 | 0.230   | 0.544       | 2.490 | 0.230   |
| 10228 | 6.6826 | 45.7940 | 0.283      | 2.420 | 0.200   | 0.364      | 2.460 | 0.220   | 0.430      | 2.460 | 0.240   | 0.505       | 2.440 | 0.250   |
| 13113 | 6.6860 | 45.1430 | 0.309      | 2.430 | 0.200   | 0.391      | 2.510 | 0.210   | 0.470      | 2.470 | 0.230   | 0.546       | 2.490 | 0.230   |
| 10450 | 6.6885 | 45.7450 | 0.278      | 2.440 | 0.200   | 0.356      | 2.480 | 0.220   | 0.415      | 2.500 | 0.230   | 0.485       | 2.470 | 0.250   |
| 13335 | 6.6915 | 45.0930 | 0.310      | 2.430 | 0.200   | 0.392      | 2.510 | 0.210   | 0.470      | 2.480 | 0.230   | 0.546       | 2.500 | 0.230   |
| 10672 | 6.6942 | 45.6950 | 0.275      | 2.450 | 0.200   | 0.351      | 2.490 | 0.210   | 0.406      | 2.520 | 0.230   | 0.475       | 2.490 | 0.250   |
| 13557 | 6.6973 | 45.0430 | 0.311      | 2.440 | 0.200   | 0.392      | 2.520 | 0.210   | 0.469      | 2.480 | 0.230   | 0.545       | 2.500 | 0.230   |
| 13779 | 6.7029 | 44.9930 | 0.310      | 2.440 | 0.200   | 0.391      | 2.520 | 0.210   | 0.467      | 2.480 | 0.230   | 0.543       | 2.500 | 0.230   |

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

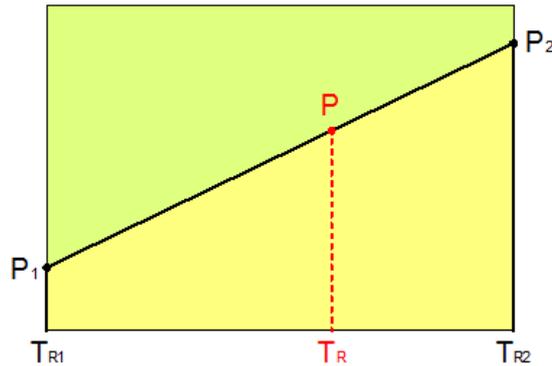
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_{1,2}$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1,2}$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

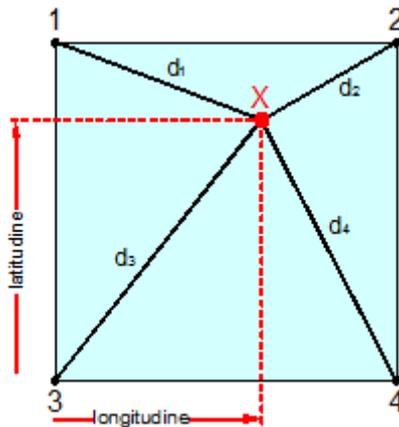
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i d_i}{\sum_{i=1}^4 d_i} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g, F_o, T_C^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



**Figura 4.1** - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2



**Figura 4.2** - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

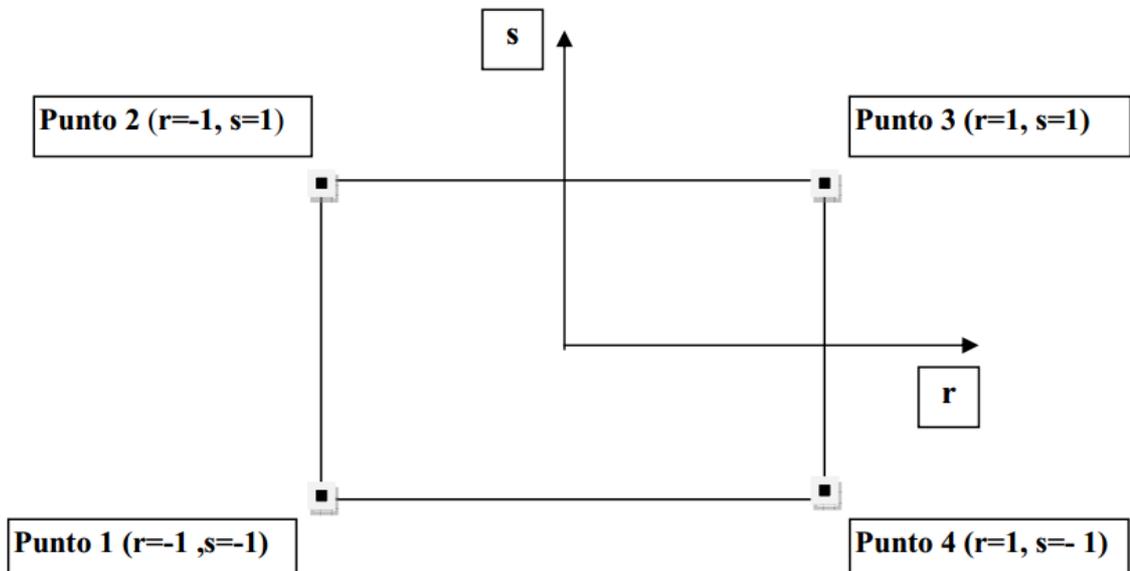
$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha, \text{lon}\alpha, \text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine,

espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



**Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.**

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $a_g, F_0, T_C^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

## 5 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### 5.1 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

### 5.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella 5.1.

**Tabella 5.1-** Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

|                         | Categoria di sottosuolo |            |
|-------------------------|-------------------------|------------|
|                         | A                       | B, C, D, E |
|                         | $\beta_s$               | $\beta_s$  |
| $0.2 < a_g(g) \leq 0.4$ | 0.30                    | 0.28       |
| $0.1 < a_g(g) \leq 0.2$ | 0.27                    | 0.24       |
| $a_g(g) \leq 0.1$       | 0.20                    | 0.20       |

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto  $a_g/g$ .  $S_T$  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: } S_T = 1.0; \mathbf{T2: } S_T = 1.20; \mathbf{T3: } S_T = 1.20; \mathbf{T4: } S_T = 1.40.$$

### 5.3 Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_h = k_h \cdot W \text{ ed } F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$\beta_s = 0.38$  nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)  
 $\beta_s = 0.47$  nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$ .

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

#### 5.4 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente  $\beta_m$  possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

$S$  è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e di amplificazione topografica  $S_T$ .

$a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

#### 5.5 Paratie

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{\max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

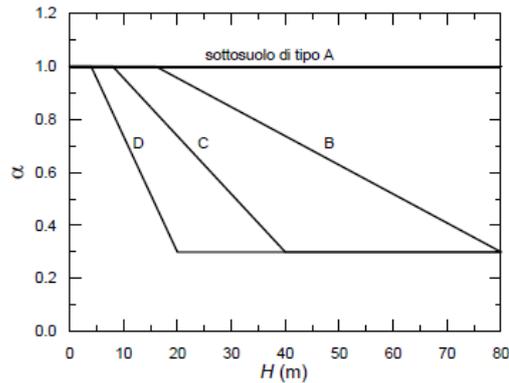
$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} \quad (5.8)$$

dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:



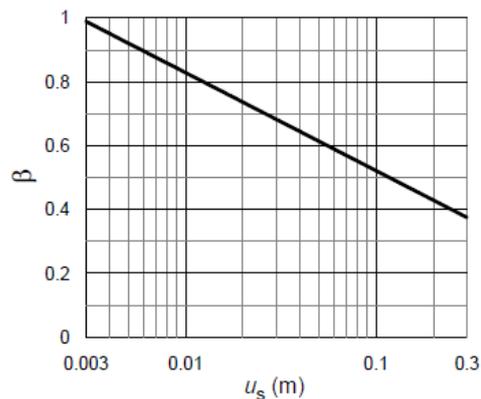
**Figura 5.1** - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$ .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente  $V_s$ . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  si ha  $\beta = 1$ ;  $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se  $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$  deve assumersi  $k_h = 0.2 \cdot a_{\max}/g$



**Figura 5.2** - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

L'accelerazione di picco  $a_{\max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

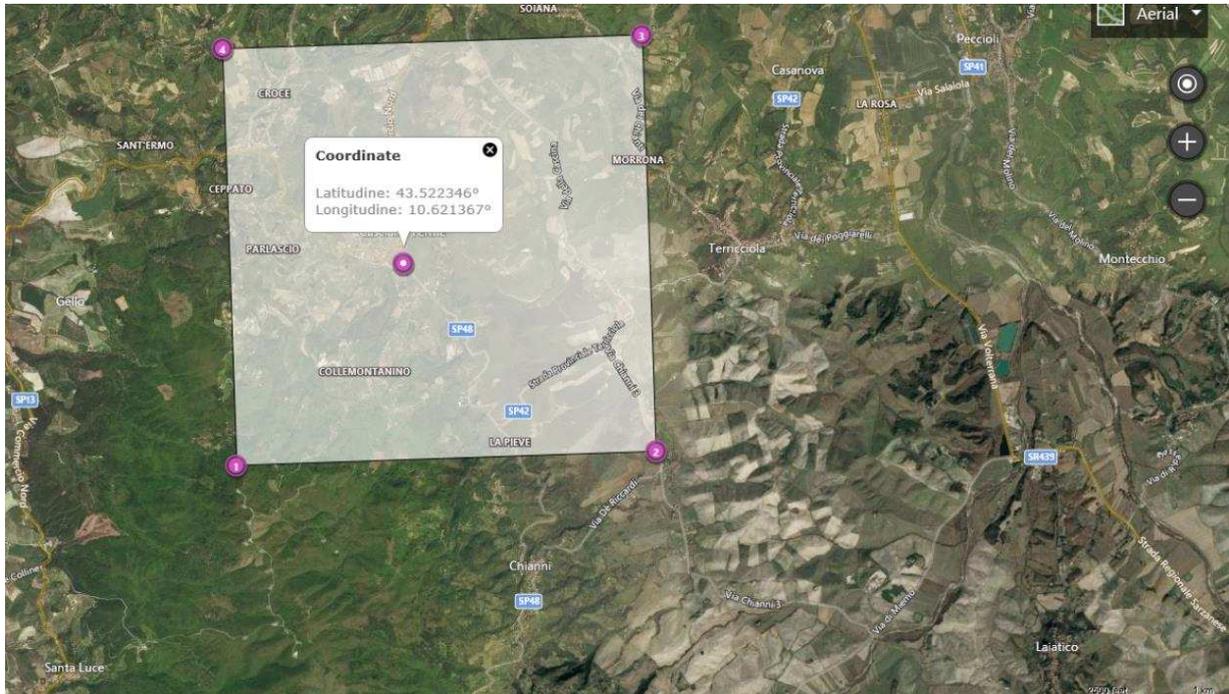
dove:

$S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Descrizione: Ampliamento del cimitero comunale di Casciana Terme con realizzazione di una nuova sezione di loculi



|                              |            |
|------------------------------|------------|
| Vita nominale (Vn):          | 50 [anni]  |
| Classe d'uso:                | II         |
| Coefficiente d'uso (Cu):     | 1          |
| Periodo di riferimento (Vr): | 50 [anni]  |
| Periodo di ritorno (Tr) SLO: | 30 [anni]  |
| Periodo di ritorno (Tr) SLD: | 50 [anni]  |
| Periodo di ritorno (Tr) SLV: | 475 [anni] |
| Periodo di ritorno (Tr) SLC: | 975 [anni] |

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Latitudine (WGS84):  | 43.5221596 [°] |
| Longitudine (WGS84): | 10.6187496 [°] |
| Latitudine (ED50):   | 43.5231285 [°] |
| Longitudine (ED50):  | 10.6197433 [°] |

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

| Punto | ID    | Latitudine<br>(ED50)<br>[°] | Longitudine<br>(ED50)<br>[°] | Distanza<br>[m] |
|-------|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|
| 1     | 21159 | 43.498990                   | 10.595050                    | 3342.14         |
| 2     | 21160 | 43.500680                   | 10.663940                    | 4351.32         |
| 3     | 20938 | 43.550650                   | 10.661650                    | 4558.09         |
| 4     | 20937 | 43.548970                   | 10.592690                    | 3607.23         |

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.044     | 2.480     | 0.228      |
| SLD          | 50           | 0.057     | 2.477     | 0.242      |
|              | 72           | 0.067     | 2.466     | 0.250      |
|              | 101          | 0.078     | 2.467     | 0.253      |
|              | 140          | 0.090     | 2.447     | 0.258      |
|              | 201          | 0.103     | 2.454     | 0.261      |
|              | 475          | 0.140     | 2.468     | 0.272      |
| SLV          | 475          | 0.140     | 2.468     | 0.272      |
| SLC          | 975          | 0.175     | 2.509     | 0.279      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.569     | 0.289      |

#### Punto 2

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.045     | 2.469     | 0.230      |
| SLD          | 50           | 0.058     | 2.478     | 0.244      |
|              | 72           | 0.068     | 2.461     | 0.251      |
|              | 101          | 0.079     | 2.472     | 0.254      |
|              | 140          | 0.090     | 2.459     | 0.259      |
|              | 201          | 0.104     | 2.464     | 0.262      |
|              | 475          | 0.141     | 2.478     | 0.273      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.516     | 0.280      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.572     | 0.290      |

**Punto 3**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.045     | 2.477     | 0.230      |
| SLD          | 50           | 0.058     | 2.481     | 0.246      |
|              | 72           | 0.068     | 2.466     | 0.252      |
|              | 101          | 0.079     | 2.472     | 0.255      |
|              | 140          | 0.091     | 2.455     | 0.260      |
|              | 201          | 0.105     | 2.454     | 0.263      |
| SLV          | 475          | 0.141     | 2.471     | 0.273      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.511     | 0.280      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.572     | 0.291      |

**Punto 4**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.044     | 2.491     | 0.228      |
| SLD          | 50           | 0.057     | 2.472     | 0.244      |
|              | 72           | 0.067     | 2.459     | 0.250      |
|              | 101          | 0.078     | 2.460     | 0.254      |
|              | 140          | 0.090     | 2.445     | 0.259      |
|              | 201          | 0.104     | 2.444     | 0.261      |
| SLV          | 475          | 0.141     | 2.463     | 0.272      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.505     | 0.279      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.570     | 0.290      |

**Punto d'indagine**

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.044     | 2.480     | 0.229      |
| SLD          | 50           | 0.057     | 2.477     | 0.244      |
| SLV          | 475          | 0.141     | 2.470     | 0.273      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.510     | 0.280      |

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

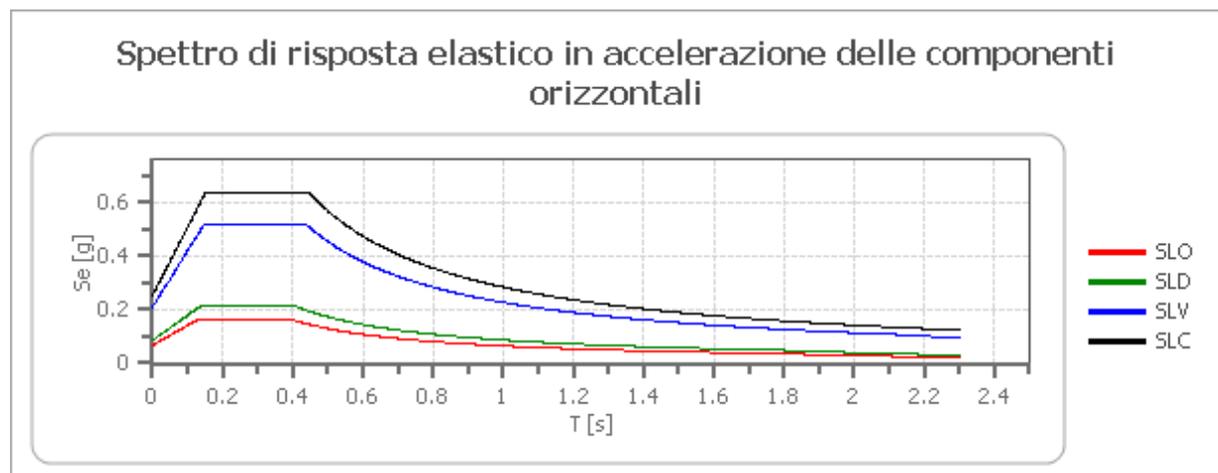
### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0.013 | 0.017 | 0.050 | 0.061 |
| kv                       | 0.007 | 0.009 | 0.025 | 0.030 |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.654 | 0.842 | 2.058 | 2.483 |
| Beta                     | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |

### Fronti di cavo e rilevati

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | --    | 0.040 | 0.080 | --    |
| kv                       | --    | 0.020 | 0.040 | --    |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.654 | 0.842 | 2.058 | 2.483 |
| Beta                     | --    | 0.470 | 0.380 | --    |

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



|     | cu  | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-]  | $\eta$<br>[-] | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Se(0)<br>[g] | Se(T<br>B)<br>[g] |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------------|
| SLO | 1.0 | 0.04<br>4 | 2.48<br>0 | 0.22<br>9  | 1.50<br>0 | 1.71<br>0 | 1.00<br>0 | 1.50<br>0 | 1.00<br>0     | 0.13<br>0 | 0.39<br>1 | 1.77<br>8 | 0.06<br>7    | 0.16<br>5         |
| SLD | 1.0 | 0.05      | 2.47      | 0.24       | 1.50      | 1.67      | 1.00      | 1.50      | 1.00          | 0.13      | 0.40      | 1.82      | 0.08         | 0.21              |

|     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |     | 7    | 7    | 4    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6    | 7    | 9    | 6    | 3    |
| SLV | 1.0 | 0.14 | 2.47 | 0.27 | 1.49 | 1.61 | 1.00 | 1.49 | 1.00 | 0.14 | 0.43 | 2.16 | 0.21 | 0.51 |
|     |     | 1    | 0    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6    | 9    | 3    | 0    | 8    |
| SLC | 1.0 | 0.17 | 2.51 | 0.28 | 1.44 | 1.60 | 1.00 | 1.44 | 1.00 | 0.14 | 0.44 | 2.30 | 0.25 | 0.63 |
|     |     | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 9    | 8    | 3    | 3    | 6    |

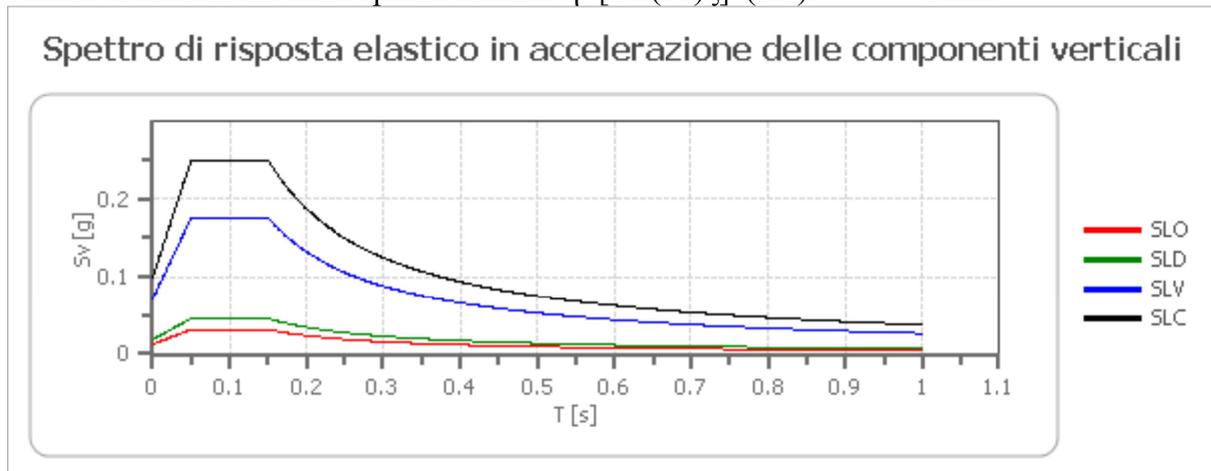
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{1/2}$ :

1.000



|     | cu  | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-] | $\eta$<br>[-] | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Se(0)<br>[g] | Se(T<br>B)<br>[g] |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------------|
| SLO | 1.0 | 0.04      | 2.48      | 0.22       | 1         | 1.71      | 1.00      | 1.00     | 1.00          | 0.05      | 0.15      | 1.00      | 0.01         | 0.03              |
|     |     | 4         | 0         | 9          |           | 0         | 0         | 0        | 0             | 0         | 0         | 0         | 3            | 1                 |
| SLD | 1.0 | 0.05      | 2.47      | 0.24       | 1         | 1.67      | 1.00      | 1.00     | 1.00          | 0.05      | 0.15      | 1.00      | 0.01         | 0.04              |
|     |     | 7         | 7         | 4          |           | 0         | 0         | 0        | 0             | 0         | 0         | 0         | 8            | 6                 |
| SLV | 1.0 | 0.14      | 2.47      | 0.27       | 1         | 1.61      | 1.00      | 1.00     | 1.00          | 0.05      | 0.15      | 1.00      | 0.07         | 0.17              |
|     |     | 1         | 0         | 3          |           | 0         | 0         | 0        | 0             | 0         | 0         | 0         | 1            | 6                 |
| SLC | 1.0 | 0.17      | 2.51      | 0.28       | 1         | 1.60      | 1.00      | 1.00     | 1.00          | 0.05      | 0.15      | 1.00      | 0.10         | 0.25              |
|     |     | 6         | 0         | 0          |           | 0         | 0         | 0        | 0             | 0         | 0         | 0         | 0            | 0                 |

### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q:

1.50

Fattore di struttura spettro verticale q:

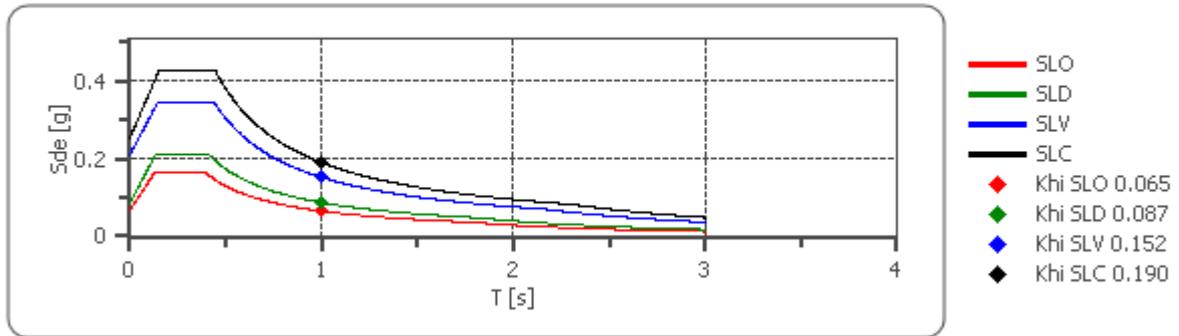
1.50

Periodo fondamentale T:

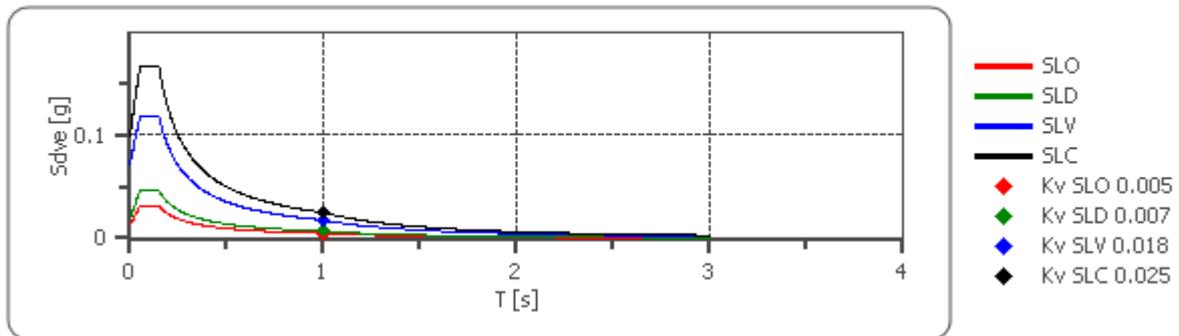
1.00 [s]

|                                 | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| khi = Sde(T)<br>Orizzontale [g] | 0.065 | 0.087 | 0.152 | 0.190 |
| kv = Sdve(T)<br>Verticale [g]   | 0.005 | 0.007 | 0.018 | 0.025 |

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



|                            | cu  | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-]  | q<br>[-]  | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Sd(0<br>)<br>[g] | Sd(T<br>B)<br>[g] |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-------------------|
| SLO<br>orizz<br>ontal<br>e | 1.0 | 0.04<br>4 | 2.48<br>0 | 0.22<br>9  | 1.50<br>0 | 1.71<br>0 | 1.00<br>0 | 1.50<br>0 | 1.00<br>0 | 0.13<br>0 | 0.39<br>1 | 1.77<br>8 | 0.06<br>7        | 0.16<br>5         |
| SLO<br>verti<br>cale       | 1.0 | 0.04<br>4 | 2.48<br>0 | 0.22<br>9  | 1.50<br>0 | 1.71<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 0.05<br>0 | 0.15<br>0 | 1.00<br>0 | 0.01<br>3        | 0.03<br>1         |
| SLD<br>orizz<br>ontal<br>e | 1.0 | 0.05<br>7 | 2.47<br>7 | 0.24<br>4  | 1.50<br>0 | 1.67<br>0 | 1.00<br>0 | 1.50<br>0 | 1.00<br>0 | 0.13<br>6 | 0.40<br>7 | 1.82<br>9 | 0.08<br>6        | 0.21<br>3         |

|                            |     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SLD<br>verti<br>cale       | 1.0 | 0.05<br>7 | 2.47<br>7 | 0.24<br>4 | 1.50<br>0 | 1.67<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 0.05<br>0 | 0.15<br>0 | 1.00<br>0 | 0.01<br>8 | 0.04<br>6 |
| SLV<br>orizz<br>ontal<br>e | 1.0 | 0.14<br>1 | 2.47<br>0 | 0.27<br>3 | 1.49<br>0 | 1.61<br>0 | 1.00<br>0 | 1.49<br>0 | 1.50<br>0 | 0.14<br>6 | 0.43<br>9 | 2.16<br>3 | 0.21<br>0 | 0.34<br>5 |
| SLV<br>verti<br>cale       | 1.0 | 0.14<br>1 | 2.47<br>0 | 0.27<br>3 | 1.49<br>0 | 1.61<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 1.50<br>0 | 0.05<br>0 | 0.15<br>0 | 1.00<br>0 | 0.07<br>1 | 0.11<br>7 |
| SLC<br>orizz<br>ontal<br>e | 1.0 | 0.17<br>6 | 2.51<br>0 | 0.28<br>0 | 1.44<br>0 | 1.60<br>0 | 1.00<br>0 | 1.44<br>0 | 1.50<br>0 | 0.14<br>9 | 0.44<br>8 | 2.30<br>3 | 0.25<br>3 | 0.42<br>4 |
| SLC<br>verti<br>cale       | 1.0 | 0.17<br>6 | 2.51<br>0 | 0.28<br>0 | 1.44<br>0 | 1.60<br>0 | 1.00<br>0 | 1.00<br>0 | 1.50<br>0 | 0.05<br>0 | 0.15<br>0 | 1.00<br>0 | 0.10<br>0 | 0.16<br>7 |

## Indice

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>Pericolosità sismica di base.....</u>                                                 | <u>11</u> |
| <u>  Parametri di pericolosità sismica.....</u>                                          | <u>12</u> |
| <u>Pericolosità sismica di sito.....</u>                                                 | <u>15</u> |
| <u>  Coefficienti sismici.....</u>                                                       | <u>15</u> |
| <u>  Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.....</u> | <u>15</u> |
| <u>  Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.....</u>   | <u>16</u> |
| <u>  Spettro di progetto.....</u>                                                        | <u>16</u> |
| <u>Indice.....</u>                                                                       | <u>20</u> |