

# **COMUNE DI CASCIANA TERME LARI**

**PROVINCIA DI PISA**



## **REALIZZAZIONE NUOVA SEZIONE DI LOCULI NEL CIMITERO COMUNALE DI CEVOLI.**

### **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

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

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

**Luglio 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	8
7 - CARATTERISTICHE LITOTECNICHE	9
8 - CARATTERISTICHE SISMICHE	10
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	16
12 - VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITA' DI LIQUEFAZIONE	16
13 - ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISMICHE	17
14 - GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO EX ART. 186 DEL D- LGS. 152/2006	18
15 - CONCLUSIONI	19

## ALLEGATI

scala

ALL.1 - Inquadramento territoriale"	
ALL.2 - Estratto RU vigente - Carta della fattibilità ex 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 della pericolosità geologica 53/R"	1:10.000
ALL.7 - Carta della pericolosità idraulica 53/R"	1:10.000
ALL.8 - Carta della pericolosità sismica 53/R"	1:10.000
ALL.9 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - MOPS"	1:2.000
ALL.10 - Carta litotecnica e dei dati di base	1:5.000
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 comunale di Cevoli.

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

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

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

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

Sono state prese in considerazione le indagini geologiche di supporto al Piano Strutturale di Casciana Terme Lari approvato con Deliberazione di C.C. n. 20 del 27/03/2019 e del Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari, relativamente agli aspetti di pericolosità, alla fattibilità e alla conformità urbanistica del progetto, così come previsto dall'art. 104 della L.R. n. 65/2014 e s.m.i.. Tenuto conto delle modeste complessità e dimensioni del progetto, ai sensi dell'art. 7, comma 3 del D.P.G.R. n. 36/R/2009, le opere in progetto (realizzazione di una sezione di loculi all'interno del cimitero di Cevoli - volume lordo circa 1.080 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 dinamiche (di cui una partita come statica e poi proseguita come dinamica per rifiuto strumentale) spinte fino alla profondità massima di 11,80 m, di cui un foro attrezzato con tubo piezometrico;
- n° 1 profilo di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica;

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

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

L'area di intervento si colloca all'esterno ed in stretta adiacenza del cimitero posto in Via Pietro Cavallini ubicato in località Cevoli; è compresa nella Tavola IGM della Carta d'Italia (scala 1: 25.000) denominata Pontedera n° 112 IV NE e si attesta sulla parte sommitale di un rilievo collinare pianeggiante con quote comprese tra 90,0 e 100,0 m s.l.m. . L'area è in continuità con il contesto urbano; i campi confinanti a valle del cimitero sono tuttora coltivati e serviti da fossette campestri in buono stato conservativo oltre che essere solcati da alcuni fossi afferenti al reticolo idraulico minore. (**ALL. 1 – Inquadramento Territoriale**)

Il progetto prevede la realizzazione di una sezione di loculi all'esterno del cimitero, in adiacenza alle mura a valle, 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 sezione di loculi (n. 136 loculi e n. 60 ossari disposti su 2 piani) di pianta rettangolare (dimensioni 20,60 x 5,80 m H 8,25 m) in adiacenza all'attuale struttura cimiteriale; saranno altresì realizzati i servizi igienici all'interno dell'attuale cimitero, che ne era privo.

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

Sotto l'aspetto urbanistico l'area oggetto dell'intervento, sottoposta al vincolo delle Aree di rispetto cimiteriale - **G1**, ricade in **zona F1** "*Aree destinate a verde e attrezzature pubbliche sensi del D.M. 1444/68*" secondo il vigente Regolamento Urbanistico dell'estinto Comune di Lari, pertanto l'intervento risulta compatibile e non in contrasto con la destinazione di Piano e con le prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso Strumento Urbanistico mentre le aree al contorno dell'area oggetto dell'intervento ricadono in **zona F2** "*Aree destinate a verde privato*", **zona A** "*Aree storicizzate*" ed in **zona E2** "*Aree agricole di pianura corrispondenti al Subsistema Agricolo della piana del Fiume Cascina*" secondo il vigente Regolamento Urbanistico, pertanto l'intervento risulta compatibile e non in contrasto con la destinazione di Piano e con le



prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso Strumento Urbanistico. **(ALL. 2 - "Estratto RU vigente – Carta della fattibilità ex Reg. 26/R/2007")**

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

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E STRUTTURALE**

La porzione in esame del territorio comunale di Casciana Terme Lari ricade nella parte sommitale di un rilievo collinare limitrofo al centro abitato di Cevoli ed è contornata da aree agricole, ovvero in zona non completamente urbanizzata e da aree storicizzate (Chiesa monumentale).

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 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 rigiocato 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 prevalentemente dalla formazione delle **Sabbie ed argille ad Arctica islandica (q2)**. Le argille sabbiose ad *Arctica* del Pleistocene inferiore marcano l'inizio di un nuovo ciclo sedimentario marino: lo spessore di questa formazione è di 15-25 m ed è pressoché costante su tutto l'areale in esame. La formazione è un deposito argilloso sabbioso di debole spessore con intercalazioni di strati calcarenitici e piccoli livelli conglomeratici ad elementi minuti. In aree diverse da quella studiata è stata riconosciuta una giacitura discordante sulle **Sabbie gialle (p3)**. Litologicamente si tratta di argille grigio-bluastre con intercalati livelli sabbiosi la cui variabilità laterale è fortemente pronunciata. La fauna è caratterizzata dalla presenza dei cosiddetti "ospiti freddi" come l'*Arctica islandica* che dà il nome alla Formazione e da una moltitudine di altri macrofossili tra i quali sono presenti Lamellibranchi, Gasteropodi, Coralli e Brachiopodi. Litotecnica questa formazione si presenta debole e compressibile: la presenza di livelli e bancate argillose favorisce la formazione di piccole falde sospese che saturano il terreno determinandone il decadimento delle proprietà meccaniche.

Al di sotto della formazione delle **Sabbie ed argille ad Arctica islandica (q2)** ed in subordine si collocano le **Sabbie gialle (p3)**. In campagna la formazione si presenta costituita da sabbie fini alternanti con sabbie più grossolane spesso cementate, e da alcuni banchi a cemento calcareo tipici per il contenuto di un fossile, *Amphistegina*, molto diffuso in altre parti della Valdera. Le sabbie hanno composizione silicea e granulometria fine: il colore è generalmente giallo arancio ed in affioramento è spesso evidente una stratificazione. Nella porzione inferiore della formazione gli strati hanno generalmente spessori decimetrici, mentre nella parte alta le sabbie si presentano in bancate di spessore metrico, talvolta interrotte da sottili livelletti argillosi. L'associazione fra la specie *Amphistegina* con la *Globorotalia aemiliana* conduce all'attribuzione della formazione al Pliocene medio (*Bossio et. Alii*).

Nella parte di fondovalle e precisamente lungo le fasce di rispetto dei corsi d'acqua presenti si rilevano le **Alluvioni recenti – a**, datate Olocene, quindi da sedimenti attuali, provenienti dalle varie esondazioni dei tre principali corsi d'acqua presenti: i fiumi Arno, Era e Cascina.

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 dal progetto è interamente caratterizzata, in superficie, da terreni prevalentemente sabbiosi da mediamente a fortemente addensati.

L'area di progetto si colloca nell'abitato di Cevoli nella parte Nord 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 90,0 e 100,0 m s.l.m.) limitrofo al centro abitato di Cevoli ed è contornata da aree agricole, ovvero in zona non completamente urbanizzata ed aree storicizzate. 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. La parte sud ovest è pianeggiante e non presenta caratteristiche morfologiche degne di nota. 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 sempre nell'**ALL.4 - "Carta geomorfologica"** ed in particolare sono rappresentati i seguenti elementi:

### **Forme e processi di versante**

**a) Frane** Nelle aree limitrofe al cimitero si evidenziano morfologie tipiche di una franosità diffusa che comunque non interessano direttamente il cimitero stesso. Sono state considerate quiescenti tutte le frane riconoscibili in fotografia aerea ma prive, all'osservazione diretta, di evidenze di movimento. Gli indizi di attività sono stati verificati anche con il metodo dei *Permanent Scatterers*, al fine di analizzare anche movimenti lenti che non generano forme evidenti in superficie. Nelle aree agricole, in particolare in quelle destinate all'agricoltura estensiva, sono state inserite anche quelle aree che seppur interessate da ciclici modellamenti della superficie, mostrano forme riconducibili (da foto interpretazione) a dissesti pregressi. Sono state considerate attive quelle frane che mostrano evidenze di movimento, quali apertura di fratture superficiali, rotazione e/o inclinazione degli elementi verticali (alberi, pali, fabbricati), lesionamenti di strutture rigide, riferiti ad un tempo commisurabile agli ultimi 20-30 anni.

Nelle aree in cui è presente un dissesto generalizzato, costituito da numerosi fenomeni di ridotta estensione associati a denudamento/erosione del versante, è stata indicata una franosità diffusa, estesa a tutta la porzione del versante interessato.

Nel territorio studiato sono risultati prevalenti i fenomeni franosi per *scivolamento* ed in subordine per *colamento*, che sono stati distinti nella cartografia prodotta.

### **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 dall'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.

## **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 sia ricompresa a *bassa vulnerabilità della risorsa idrica*, sottoclasse **2**, che corrisponde a *"situazioni in cui la risorsa idrica considerata è apparentemente non vulnerabile in base a considerazioni riguardanti la natura degli eventuali acquiferi e quella dei terreni di copertura, ma per cui permangono margini di incertezza dovuti a diversi fattori, quali la scarsa disponibilità di dati, la non precisa definibilità delle connessioni idrogeologiche, e simili"*. Tale situazione si manifesta nelle aree collinari in cui affiorano terreni con bassa permeabilità ed in cui non si rilevano indizi certi di circolazione idrica e con bacino di alimentazione caratterizzato in affioramento da litologie argilloso-sabbiose.

Nella **"Carta idrogeologica"** allegata al Quadro conoscitivo del Piano Strutturale approvato, 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 non si rilevano dati relativi a pozzi mentre nelle aree agricole limitrofe al cimitero è identificato un corso d'acqua afferente al reticolo idrografico minore censito dal Servizio Idrologico della Regione Toscana.

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

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

Carta della Pericolosità Geomorfologica (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade in parte 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 e delle aree a franosità diffusa (che comunque interessano parzialmente l'area interessata dall'intervento in oggetto) l'area a contorno è definita a pericolosità geomorfologica **"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%."* e **"G.4 - Pericolosità geologica molto elevata"** in quanto caratterizzata da *"aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi."* (**ALL. 6 – "Carta della pericolosità geomorfologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011"**)

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

Carta della Pericolosità Idraulica (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade totalmente in classe **"I.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.” (ALL. 7 – “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, come evidenziato nella cartografia, consultabile on line, dell'Autorità di Bacino di Distretto Appennino Settentrionale.

Carta della Pericolosità Sismica Locale (ai sensi del D.P.G.R. 53/R/2011): l'area di intervento ricade in classe “**S.2** - Pericolosità Sismica Locale media” in quanto “....zone stabili suscettibili di amplificazione locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)”.

(ALL. 8 – “Carta della pericolosità idraulica 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 2 di fattibilità (**F.2 (2 – 1) - Fattibilità con normali vincoli**, (vedi ALL. 2 - “Estratto RU vigente – Carta della fattibilità ex Reg. 26/R/2007”) in accordo con le risultanze delle indagini geologiche di supporto al Regolamento Urbanistico, redatte secondo il D.P.G.R. n. 26/R/2007 “Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. 1/2005”. Tale classe di fattibilità si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia. Gli interventi edilizi su aree ricomprese in tali zone non necessitano di indagini di dettaglio a livello di “area complessiva” ma il progetto dovrà basarsi su un'apposita indagine geognostica e/o idrologico-idraulica mirata a verificare a livello locale quanto indicato negli studi condotti a supporto dello strumento urbanistico vigente, al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area nonché il funzionamento del sistema di scolo locale. Relativamente al caso in esame, oltre a raccogliere dati bibliografici di indagini condotte nello stesso cimitero ed in aree limitrofe, è stata condotta un'apposita campagna geognostica composta da:

- n° 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (di cui una partita come statica e poi proseguita come dinamica super pesante per rifiuto strumentale) spinte fino alla profondità massima di 11,80 m, di cui un foro attrezzato con tubo piezometrico;
- n° 1 profilo di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica;

Data la bassa classe di pericolosità idraulica, non si è ritenuto opportuno condurre ulteriori indagini idrologico-idrauliche.

## **6. INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Lo studio ha preso in esame la porzione di territorio interessata dalla Variante 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 nuove indagini effettuate in data 31/12/2018, costituiti da:

- n° 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti che hanno raggiunto una massima profondità di investigazione di 11,80 m dal piano di campagna di cui un foro attrezzato con tubo piezometrico;
- n° 1 profili di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica;

La ricostruzione del modello generale geologico-litostratigrafico, geotecnico e sismico del sottosuolo dell'area in esame si è quindi basata sui dati ricavati dalle indagini geologico – tecniche eseguite in loco ai fini della progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera pubblica da realizzare. Nell' **ALL.10 - "Carta litotecnica e dei dati di base"** è riportata l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche, distinte per tipologia, effettuate. I risultati delle prove geotecniche e sismiche prese a riferimento 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 e, grazie alla prova sismica, definire la categoria di suolo sito specifica secondo le NTC2018. E' stata altresì allegata alla presente relazione una **"Relazione Sismica" (ALL.12)** ricavata dai dati dell'indagine MASW realizzata in loco.

## **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 E3.a1/2.t3** - "Materiali granulari non cementati o poco cementati : sabbie da addensate a moderatamente addensate con presenza di frazione interstiziale coesiva **Sabbie fini caratterizzate da un elevato grado di addensamento che raggiunge spesso la cementazione: sabbie cementate [q2]**" (**All. 10** - "Carta Litotecnica e dei dati di base").

Questa unità è l'affioramento decisamente più esteso dell'area in esame ed è costituito dalle **Sabbie ed argille ad Artica islandica (q2)**; sono costituite in prevalenza da terreni argilloso sabbiosi di debole spessore con intercalazione di strati calcarenitici e piccoli livelli conglomeratici ad elementi minuti. 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 oggetto di intervento è stata basata, oltre che sull'interpretazione di indagini geotecniche eseguite nell'intorno dell'area in esame ricavate dal database delle indagini a supporto delle pratiche edilizie, allegato al Piano Strutturale approvato, sulle correlazioni dei risultati di indagini geognostiche eseguite direttamente in loco per la progettazione definitiva ed esecutiva, ed in particolare sui risultati di n° 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (di cui la prima partita come prova penetrometrica statica interrotta a 6,80 m per rifiuto strumentale) spinte fino ad una profondità massima di 11,80 m circa dal piano di campagna e di n° 1 profili di sismica con metodologia MASW ed interpretazione tomografica; la documentazione relativa a tutte queste indagini è riportata nell'**ALL.11 - "Indagini geognostiche e sismiche di riferimento"**.

Sono stati presi in considerazioni pertanto i risultati desunti dalle seguenti prove penetrometriche statiche/dinamiche e sondaggi geognostici: **C183 - C268 - C269 - C270 - C271 - C294 - C295 - 4868** oltre una prova sismica passiva (tomografia HVSR) **Tr9**.

I risultati delle correlazioni litostratigrafiche hanno consentito, nel loro complesso, di definire con una certa attendibilità il contesto geologico del sottosuolo dell'area in esame che risulta mediamente caratterizzato da terreni superficialmente sabbiosi che passano ancora a terreni sabbiosi da mediamente a fortemente addensati fino alla profondità massima investigata di 11,80 metri dal p.c.. Dall'analisi delle prove effettuate nell'attuale cimitero, in coerenza anche con la geologia evidenziata in superficie e compatibilmente con le quote topografiche, si evidenzia una maggiore presenza di terreni argillosi e limosi nella parte sommitale che passano a terreni sabbiosi

e limosi e successivamente prevalentemente sabbiosi. Nella prima delle due prove effettuate, partita statica, si è verificato un rifiuto strumentale a 6,80 m dal p.c.; la prova è proseguita con modalità "dinamica super pesante" mentre la seconda prova è stata eseguita totalmente come "dinamica super pesante". Durante le prove non è stata riscontrata la presenza della falda freatica.

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 2,0 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente limoso sabbiosi argillosi con intercalati livelli sabbioso limosi ed argille e torbe organiche che presentano le seguenti caratteristiche: valori di  $R_p$  variabili da 7 a 14 kg/cmq
- da 2,0 a 6,0 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente limosi ed argillosi che presentano le seguenti caratteristiche: valori di  $R_p$  variabili da 14 a 130 kg/cmq
- da 6,0 a 10,60 m dal p.c. si hanno terreni prevalentemente sabbiosi a comportamento granulare che presentano le seguenti caratteristiche: valori di  $R_p$  variabili da 200 a 500 kg/cmq

## **8. CARATTERISTICHE SISMICHE**

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

Gli studi geologici di supporto al Piano Strutturale comunale, che comprendono la valutazione degli effetti sismici locali e di sito, in riferimento alle direttive del D.P.G.R. 53/R/2011, attribuiscono all'area in esame una di *pericolosità sismica locale* "**S.2** – Pericolosità sismica media" ("*zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3*") 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

individuare 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. 8 – "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.9 - 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 10      Cevoli - Depositi semicoerenti ed incoerenti di bassa consistenza

Ad ogni buon conto, allegata alla presente relazione si trovano gli esiti dell'indagine MASW eseguita dalla Ditta Penetratio s.n.c. di San Miniato e la "**Relazione Sismica**" (**ALL.12**) ricavata dai dati dell'indagine MASW realizzata in loco.

Nella Relazione Geologica allegata al Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale approvato è stato integrato il capitolo relativo agli studi di Microzonazione Sismica ; nell'integrazione è stata descritta la procedura semiquantitativa per la definizione della qualità della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 1. La procedura consente di definire un "*fattore di qualità*" (FQ) espresso in percentuale

al quale si associa una determinata "*classe di qualità*"; al caso in esame è stato assegnato un FQ pari a 56 e conseguentemente una "*classe di qualità*" pari a B (*migliorare almeno uno dei parametri di studio*). Rilevato che le aree MOPS definite per il territorio comunale rientrano per la maggior parte in classe B e alcune in classe C, sono stati effettuati dallo studio Geoprogetti di Ponsacco (PI) anche gli studi di Microzonazione Sismica di livello II; tali studi sono già stati presentati in Regione Toscana e l'Amministrazione Comunale è in attesa della loro certificazione.

## **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 ed è contornata da aree agricole, pertanto, l'aumento della superficie impermeabile, comunque minimo, non comporterà particolari problematiche dal punto di vista dello smaltimento delle acque piovane.

Il progetto di riqualificazione prevede la realizzazione di caditoie e tubazioni per lo smaltimento delle acque meteoriche, che saranno successivamente convogliate nella fossa campestre presente. 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**

E' stata programmata ed eseguita una campagna geognostica che si è articolata mediante l'esecuzione di n. 2 prove dinamiche super pesanti (di cui la prima prova partita come prova penetrometrica statica **CPT1** interrotta a - 6,80 m per rifiuto strumentale) spinte fino al rifiuto strumentale, eseguite dalla Ditta Penetratio s.n.c. di San Miniato (PI). Nella "**Carta litotecnica e delle indagini**" – **ALL. 10** sono ubicate queste ultime prove (**DSH1** e **DSH2**). L'attrezzatura utilizzata è un penetrometro abilitato ad eseguire sia prove statiche che dinamiche, modello TG63 da 200 kN prodotto dalla Ditta PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT. In dettaglio, la prova penetrometrica dinamica continua DPSH - ISSMFE consiste nella infissione, mediante una massa battente, di una batteria di aste munita all'estremità di una punta conica e nella registrazione del numero di colpi ( $N_{20}$ ) necessari all'approfondimento di tratti consecutivi di 20 cm della prova.

Le caratteristiche dello strumento sono le seguenti:- Peso Massa Battente = 63,50 kg – altezza caduta libera = 0,75 m - punta conica meccanica Ø 51,00 mm, angolo al vertice della punta conica 60° - angolo di apertura  $\alpha = 90^\circ$  - (area punta  $A_p = 20 \text{ cm}^2$ ) – lunghezza delle aste  $L_a = 1,0 \text{ m}$  – avanzamento punta  $\delta = 0,20 \text{ m}$  – numero di colpi punta  $N = N_{20}$  (relativo ad un avanzamento di 20 cm) .

I risultati delle prove effettuate, fornite nell'**ALL.11 - "Indagini geognostiche e sismiche di riferimento"**, hanno consentito di elaborare i grafici del numero di colpi ( $N_{20}$ ) registrati durante la infissione della punta e di ricavare da essi il corrispondente valore di  $N_{spt}$  da utilizzare poi nella caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo secondo abachi e formule esistenti in letteratura, mediante la seguente relazione.

$$N_{spt} = N_{30} = 1,5 N_{20}$$



Le prove penetrometriche effettuate, unitamente alle informazioni geologiche desunte dall'esame in campagna, hanno consentito pertanto di caratterizzare il sottosuolo di intervento, differenziando i livelli a diverso grado di addensamento. L'interpretazione sotto riportata risente della naturale approssimazione caratteristica delle prove indirette, per cui la definizione litologica, derivando da correlazioni empiriche, può talvolta non corrispondere alla realtà, la stratigrafia dedotta dalle indagini è stata correlata, per quanto possibile, con l'osservazione diretta del terreno rimasto sulle aste penetrometriche. Per quanto riguarda l'indice  $N_{spt}$  è possibile valutare il valore dell'angolo di attrito utilizzando vari metodi citati in letteratura; tra quelli proposti è stato utilizzato quello descritto dal *"Road Bridge Specification"* la cui relazione è di seguito riportata:

$$\Phi = 15 + \sqrt{15 N_{spt}}$$

Facendo riferimento a quanto sopra esposto, anche 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. Gli orizzonti litologici mediamente individuabili in corrispondenza della verticale di indagine possono essere così schematizzati.

Prova penetrometrica **CPT1**/31 Dicembre 2018

<b>QUOTE (in metri)</b>		<b>Successione stratigrafica</b>
da 0,00 m	a - 0,60 m	Terreno superficiale rimaneggiato
da - 0,60 m	a - 1,00 m	Limi argillosi mediamente addensati
da - 1,00 m	a - 2,20 m	Limi argillosi e sabbioso limosi con intercalati livelli di argille e torbe organiche
da - 2,20 m	a - 6,00 m	Limi argillosi mediamente addensati con intercalati piccoli livelli di argille e torbe organiche
da - 6,00 m	a - 6,80 m	Sabbie fortemente addensate con intercalati livelli sabbiosi e ghiaiosi

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

Dopo il rifiuto strumentale a - 6,80 m la prova è proseguita in modalità dinamica super pesante.

Prova penetrometrica **DPSH1**/31 Dicembre 2018

<b>QUOTE (in metri)</b>		<b>Successione stratigrafica</b>	<b>LITOTIPO</b>
da - 6,80 m	a - 9,80 m	Terreni sabbiosi addensati	<b>B</b>
da - 9,80 m	a - 10,60 m	Terreni sabbiosi fortemente addensati	<b>C</b>

Durante le prove non è stata riscontrata la falda freatica.

Prova penetrometrica **DPSH2/31** Dicembre 2018

QUOTE (in metri)		Successione stratigrafica	LITOTIPO
da 0,00 m	a - 0,20 m	Terreno superficiale rimaneggiato	
da - 0,20 m	a - 2,60 m	Terreni sabbiosi da debolmente a mediamente addensati	<b>A</b>
da - 2,60 m	a - 6,00 m	Terreni sabbiosi mediamente addensati	<b>A/B</b>
da - 6,00 m	a - 7,60 m	Terreni sabbiosi addensati	<b>B</b>
da - 7,60 m	a - 10,00 m	Terreni sabbiosi fortemente addensati	<b>C</b>
da - 10,00 m	a - 11,00 m	Terreni sabbiosi addensati	<b>B</b>
da - 11,00 m	a - 11,80 m	Terreni sabbiosi da mediamente a fortemente addensati	<b>A/C</b>

Durante la prova non è stata riscontrata la falda freatica; il foro, a prova terminata, è stato attrezzato con tubo piezometrico ma, dai rilievi effettuati con cadenza settimanale, non è stata riscontrata la presenza di acqua.

L'elaborazione dei dati di resistenza alla punta rilevati dagli strumenti, uniti alle conoscenze geologiche dell'area di intervento, utilizzando la Formula olandese ( $R_{pd} = M^2 H / [A e (M + P)] = M^2 H N / [A \delta (M + P)]$ ), permette di stimare i seguenti parametri:

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

**CPT1**

LIVELLO	quota dal p.c.	$\Phi$	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$M_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 a 0,60 m	0°	n.d.	n.d.	0
2	0,60 a 1,00 m	40°	1,43	1,85	125
3	1,00 a 2,20 m	0°	0,39	1,85	28
4	2,20 a 6,00 m	35°	1,15	1,85	132,65
5	6,00 a 6,80 m	42°	0,6	1,85	303

**DPSH1**

LIVELLO	quota dal p.c.	$\Phi$	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$M_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )
6	6,80 a 9,80 m	40°	0	1,95	229,78
7	9,80 a 10,60	43°	0	1,95	571,46

**DPSH2**

LIVELLO	quota dal p.c.	$\Phi$	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Mo (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00 a 0,20 m	0°	n.d.	n.d.	n.d.
2	0,20 a 2,60 m	25°	0	1,85	62,78
3	2,60 a 6,00 m	29°	0	1,85	87,56
4	6,00 a 7,60 m	36°	0	1,85	167,34
5	7,60 a 10,00 m	47°	0	1,95	738,82
6	10,00 a 11,00 m	33°	0	1,95	131,66
7	11,00 a 11,80 m	45°	0	1,95	301,14

Per quanto riguarda i parametri geotecnici caratteristici (valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento), in particolare di  $C'$  e  $\Phi'$ , gli stessi sono determinabili con le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\Phi'k &= \Phi'm (1 + X V\Phi) \\ C'K &= C'm (1 + XVC)\end{aligned}$$

dove:

- $\Phi'k$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;
- $C'k$  = valore caratteristico della coesione;
- $\Phi'm$  = valore medio dell'angolo di attrito,
- $C'm$  = valore medio della coesione;
- $V\Phi$  = coefficiente di variazione (COV) di  $\Phi'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $\Phi'$ ;
- $VC$  = coefficiente di variazione (COV) di  $C'$ , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di  $C'$ ;
- $X$  = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di  $X$  uguale a - 1,645. Per i lavori rilevanti e di grande impatto sul terreno è opportuno utilizzare il metodo suggerito dall'EC7.

Dalle "Istruzioni del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC" risulta che, per modesti lavori, per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi (media spaziale) quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (es. terreno di sedime di fondazioni superficiali) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni delle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Pertanto, ai fini della relativa progettazione si ritiene corretto, in questa fase, la definizione dei seguenti parametri caratteristici per le verifiche geotecniche:

**Fondazioni**

LITOTIPO	$\Phi^\circ$ (medio)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Mo (medio) (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	40°	0	1,85	128

<b>B</b>	32°	0	1,85	180
<b>C</b>	45°	0	1,95	300

Oltre al terreno superficiale rimaneggiato dalla pratica agricola e presenza di terreno di riporto, in particolare la successione è costituita prevalentemente da un orizzonte litologico formato in percentuali variabili sia dalla frazione a granulometria leggermente più grossolana (limo) sia dalla frazione sabbiosa, con diverso grado di addensamento, 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 sarà posto in opera un idoneo sottofondo, i carichi andranno a scaricarsi direttamente sui terreni sabbiosi da debolmente a mediamente addensati.

Dal punto di vista geomeccanico, ai terreni indagati viene attribuito un comportamento prevalentemente di tipo incoerente per l'orizzonte superficiale e alternativamente coesivo e granulare per quelli sottostanti al livello del terreno rimaneggiato e di riporto; 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 30 e 80 kg/cm<sup>2</sup>.

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

In data 31 Dicembre 2018 è stato eseguito un profilo di sismica con metodologia MASW e relativa interpretazione tomografica, nel piazzale esterno al cimitero di Cevoli dove sarà realizzato l'ampliamento, da parte della Ditta Penetratio s.n.c. di San Miniato, utile a definire il profilo verticale della **Vs** (velocità di propagazione delle onde di taglio). In accordo alle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14.01.2008 e successivo aggiornamento 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 **Vs<sub>30</sub>** 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 già citata, la **Vs<sub>30</sub>** media è circa pari a **307 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, aggiornate con D.M. 17.01.2018, tenendo conto dei risultati della prova MASW, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (impostazioni del piano delle fondazioni), per l'area in esame si classifica il suolo di fondazione in categoria:

**C – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V<sub>equivalente</sub> 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 nostro caso si ha una predominanza di terreni sabbiosi da mediamente a fortemente addensati e quindi al di fuori del "fuso granulometrico" tipicamente a rischio di liquefazione

Nel caso in esame, l'indagine penetrometrica svolta ha evidenziato che il suolo di fondazione è costituito da litotipi prevalentemente sabbiosi con vario grado di addensamento. 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 al collasso).

In particolare:

#### **Sito in esame**

**Comune di Casciana Terme Lari - Cevoli – Via P. Cavallini**

#### Coordinate geografiche del punto

- Latitudine (WGS84): 43.5773163 [°]
- Longitudine (WGS84): 10.6136694 [°]
- Latitudine (ED50): 43.5782852 [°]
- Longitudine (ED50): 10.6146641 [°]

- 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 interpolazione: Media ponderata
- Coefficiente di amplificazione topografica (ST): 1,000
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica (SS) - componente orizzontale: 1,00
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica (SS) - componente verticale: 1,500
- 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]

### **Vertici maglia di riferimento**

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20715	43.598940	10.590330	3019.25
2	20716	43.600620	10.659340	4372.01
3	20938	43.550650	10.661650	4875.92
4	20937	43.548970	10.592690	3709.49

### **Parametri sismici**

- Coefficiente d'uso  $C_u$ : 1
- Periodo di riferimento: 50 anni
- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°)
- Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%
- Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

### **Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.044	2.501	0.230
SLD	50	0.057	2.484	0.245
SLV	475	0.141	2.463	0.273
SLC	975	0.176	2.507	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/s²]	0.647	0.834	2.057	2.484
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

### **Fronti di scavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.040	0.080	--
kv	--	0.020	0.040	--
amax [m/s²]	0.647	0.834	2.057	2.484
Beta	--	0.470	0.380	--

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

Con la realizzazione della nuova sezione di loculi, oltre il locale wc, si produrranno terre e rocce da scavo con un volume che, ad oggi, non è possibile quantificare non avendo a disposizione

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

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

## **15. CONCLUSIONI**

Sulla base dei risultati sopra riportati possiamo affermare che:

- dal punto di vista **stratigrafico**, al di sotto dei terreni alterati e di riporto, il terreno è costituito da depositi prevalentemente sabbiosi, caratterizzati da una alternanza di limi e argille in un tratto e in sabbie da mediamente a fortemente addensate in un altro, 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/cm<sup>2</sup>;
- dal punto di vista **idrogeologico**, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche non è stata riscontrata la presenza della falda freatica superficiale;
- dal punto di vista **idraulico** non si evidenziano particolari problemi.

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

Casciana Terme Lari, Luglio 2019

**Dott. Geol. Elena Baldi**



## **INQUADRAMENTO TERRITORIALE**



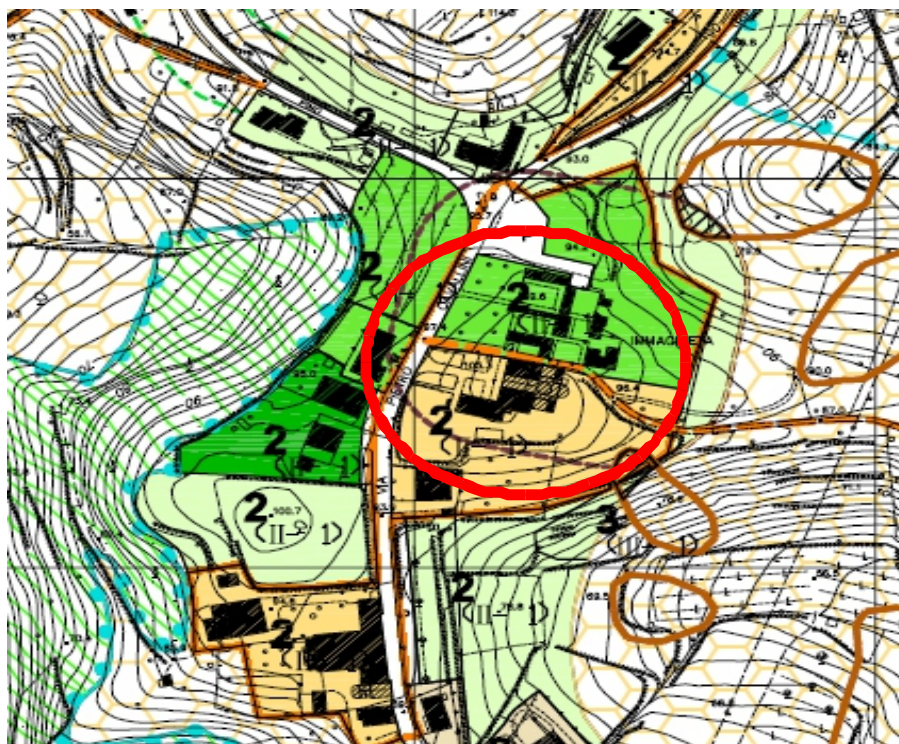


# ESTRATTO REGOLAMENTO URBANISTICO VIGENTE

Tav. 4j - Zone Omogenee - Cevoli - Ripoli

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

Scala 1:2.000



### Legenda



Area oggetto di intervento



Zona A: Aree storizzate



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



Zona F3: Aree destinate a verde privato

Depositi all'aperto



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

### FATTIBILITA' GEOLOGICA

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

3

Classe di Fattibilità massima

(II-3)

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti idraulici

Classe di Fattibilità relativa agli aspetti geomorfologici

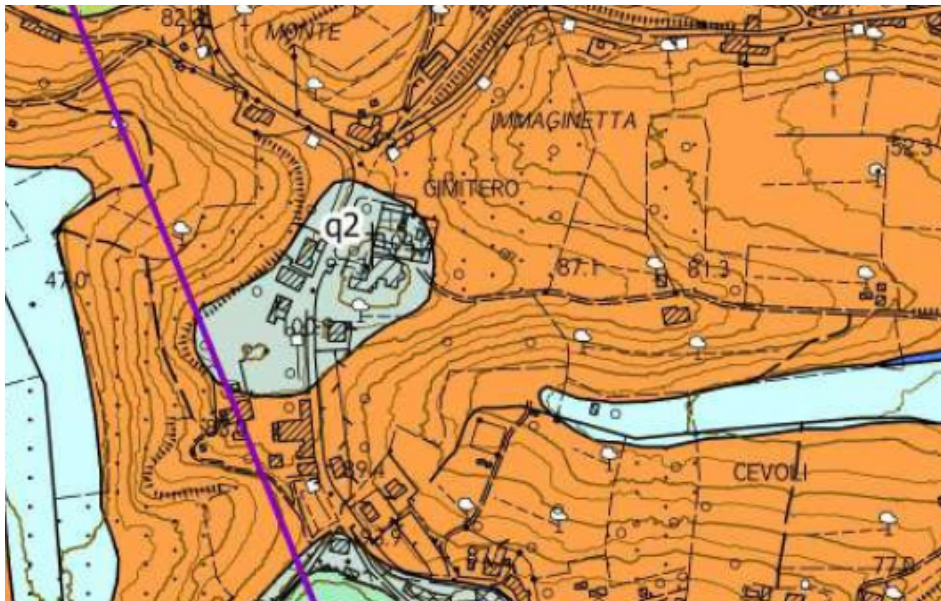
2 (II - 1)

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON NORMALI VINCOLI

si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

## CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10.000

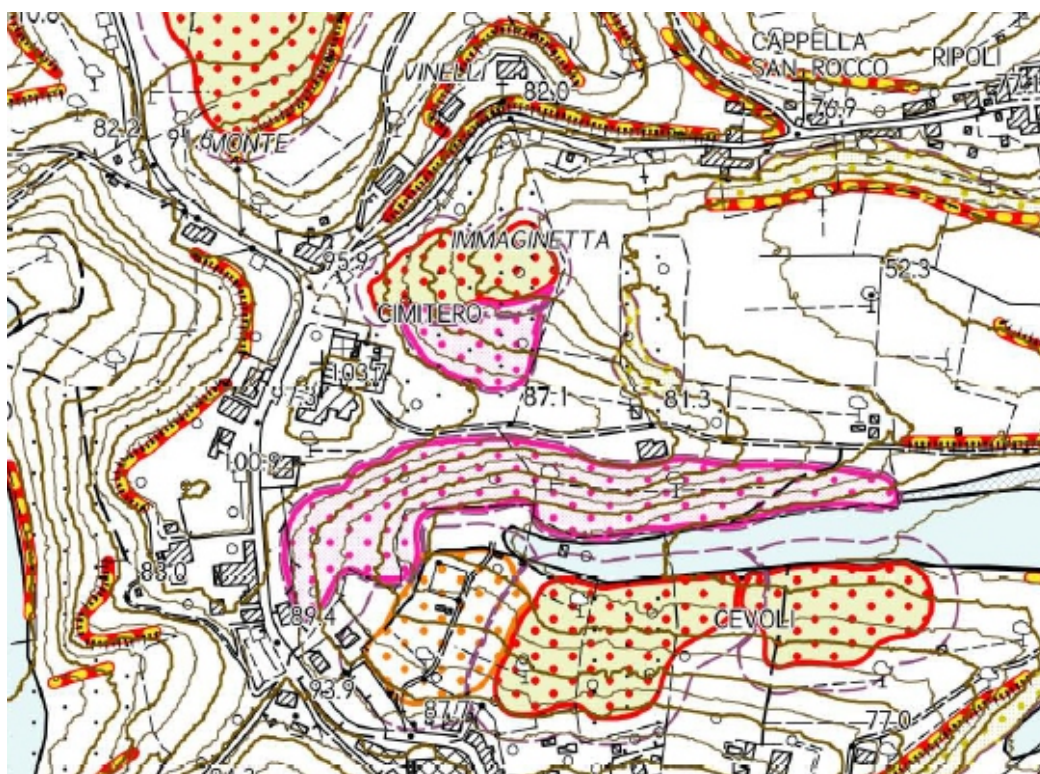






## Legenda

## FORMAZIONI GEOLOGICHE:

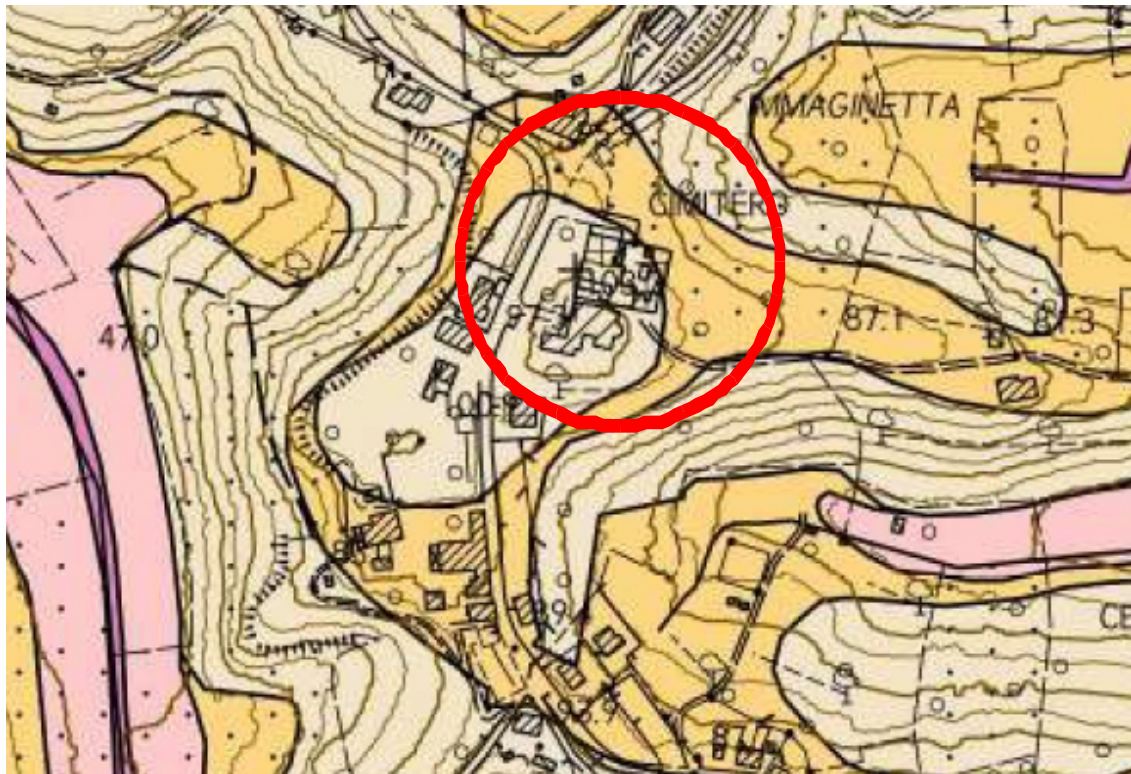
COMPLESSO NEOLITICO	Olocene	[All]	Depositi alluvionali attuali e recenti
	Pleistocene inf.	[q2]	Sabbie ed argille ad Arctica islandica
	Pliocene med.	[p3]	Sabbie gialle



**CARTA GEMORFOLOGICA****Scala 1:10.000***Elementi Lineari* Scarpate morfologiche*Elementi Spaziali* Franosità diffusa attiva Frana di scivolamento attivo Frana di scivolamento quiescente

**CARTA DELLA VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA**

**Scala 1:10.000**



Legenda

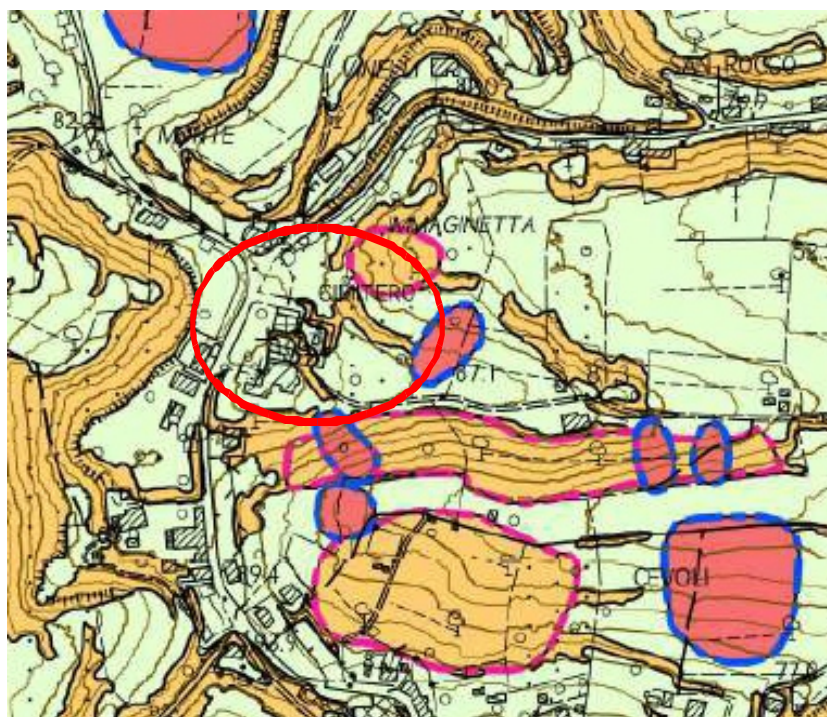
Classi di Vulnerabilità Idrogeologica ai sensi dell'art.20 del PTC Provinciale

 Classe 2 - - - Vulnerabilità bassa



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

Scala 1: 10.000



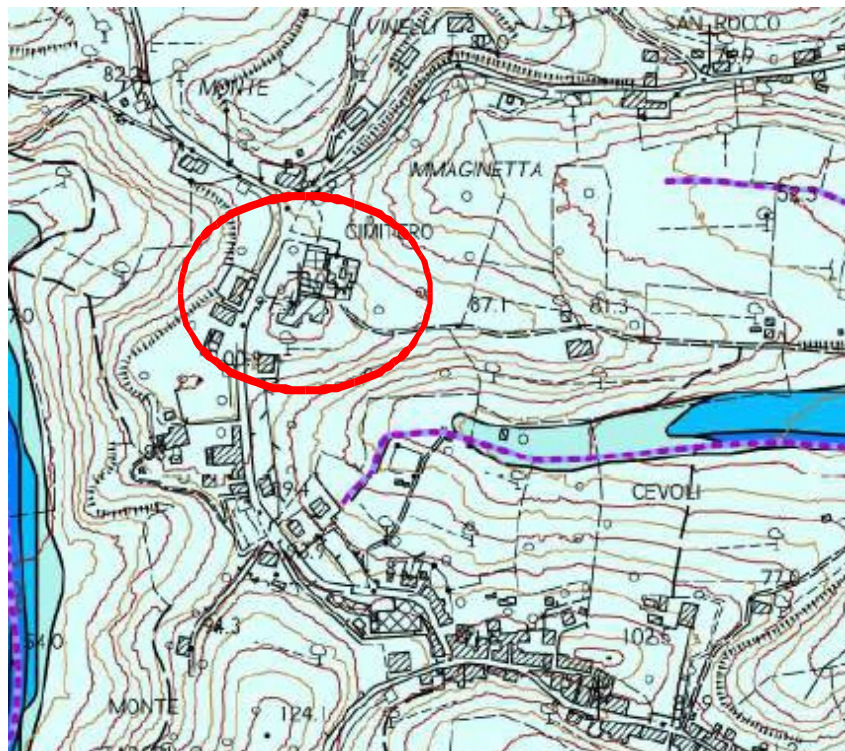
## Legenda

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

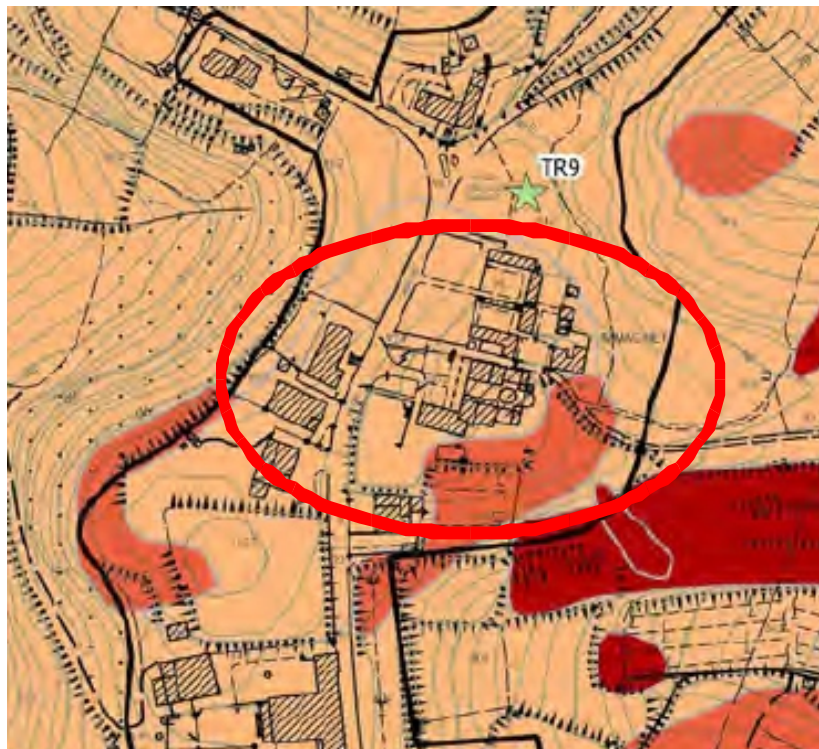
 I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

 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 S2 - Pericolosità sismica media



Classe S.3 - Pericolosità sismica elevata

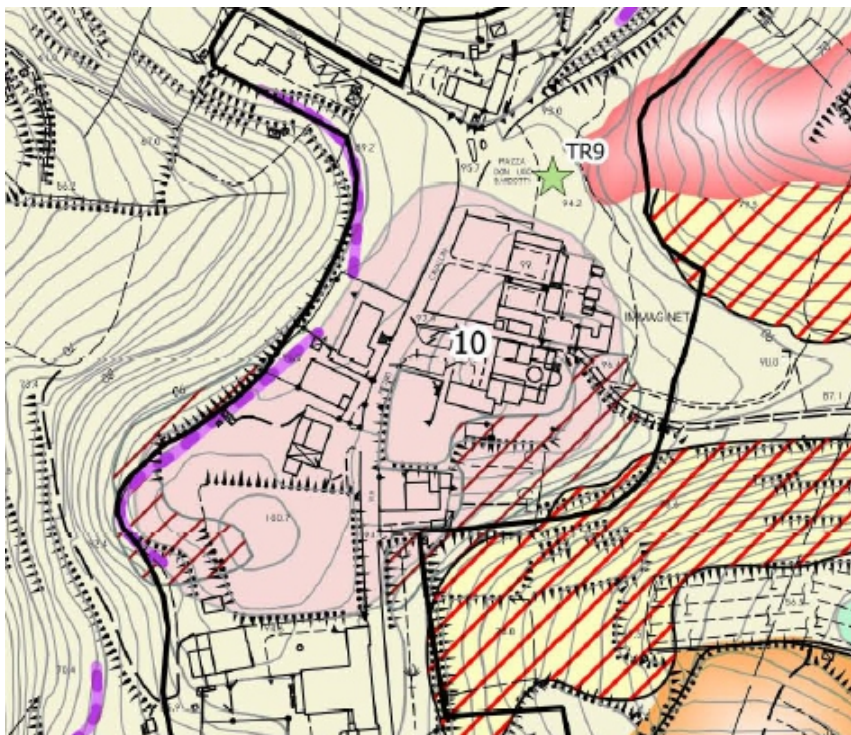


Area oggetto dell'intervento



# CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Scala 1:2.000



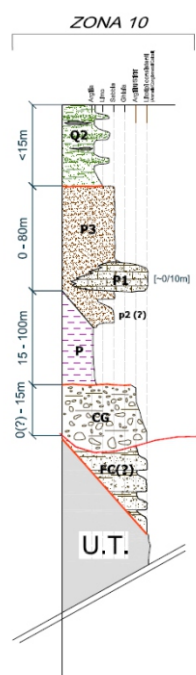
Legenda

## MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Contesto incoerente e semicoerente

ZONA 10



## CLASSI DI CONSISTENZA:

Depositi semicoerenti di elevata consistenza.  
[P3, PC]

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

Scarpate morfologiche

Franosità diffusa attiva

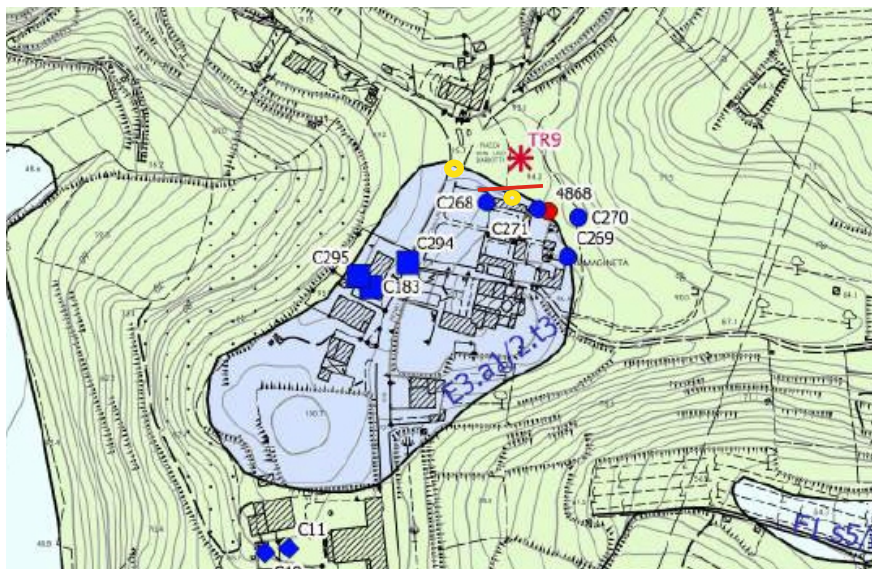
Scala cromatica di Frequenza:

< 2



# 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 GEOGNOSTICHE DB COMUNE CASCIANA TERME LARI

● CPTU    ■ Sondaggio geognostico

## Indagini 2018

MASW 2018 —

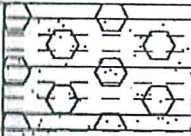

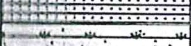
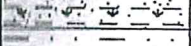
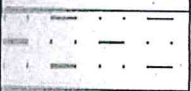
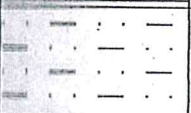
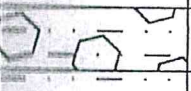
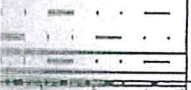



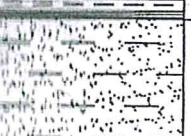
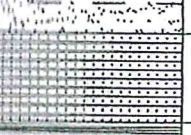


CPT 2018 ●

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

■ E3.a1/2.t3

## **ALL. 11 -INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO**

## STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

p.d.c.		STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE DEI LITOTIPI
netri 1			RIPORTO MISTO A LIMO ARGILLOSO E SABBIA
			LIMO ARGILLOSO, PLASTICO, DEBOLMENTE SABBIOSO E TORBOSO
2			LIMO SABBIOSO DEBOLMENTE ARGILLOSO
			LIMO ARGILLOSO, DEBOLMENTE SABBIOSO E TORBOSO
3			SABBIA LIMOSA FINE, DEBOLMENTE ARGILLOSA
			SABBIA LIMOSA FINE
4			SABBIA LIMOSA CON CONCREZIONI
			SABBIA LIMOSA, PIU' ARGILLOSA VERSO IL BASSO
5			LIMO ARGILLOSO, PLASTICO, DEBOLMENTE SABBIOSO E TORBOSO
			CAMPIONE INDISTURBATO
6			ARGILLA LIMOSA PLASTICA
			SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA, PIU' GROSSOLANA
7			LIMO SABBIOSO ARGILLOSO (la componente argillosa aumenta verso il basso: passaggio graduale)
			ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE, GRIGIASTRE, PLASTICHE
8			SABBIE GIALLE
9			
10			
11			



Committente: Comune di Iari  
Località: Cimitero di Cevoiti

GEOPROGETTI  
Prova penetrometrica n° 1  
Data: 19.07.2000

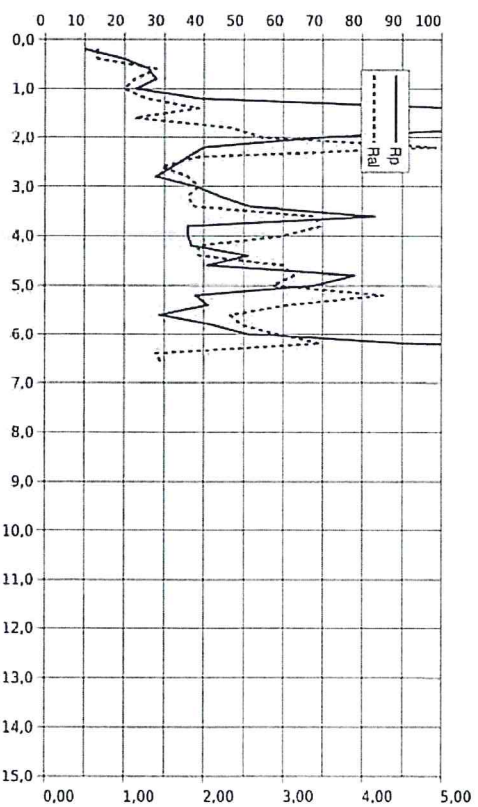
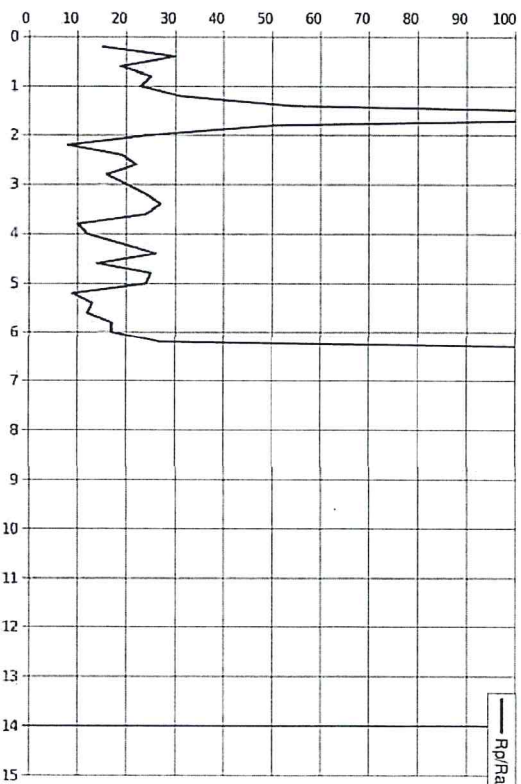
letture di campagna

valori derivati

Prof.	H <sub>2</sub> O	Rat	Rat	Ri	Rat/Rat	Rat	Ri/Rat	Ri/Rat	φ	Dr	Cu	mv	Tipo litologico
0,30		100	200	870	100	0,07	15	770			0,50	20,30	Argilla
0,40		200	300	480	100	0,07	30	280			1,00	17,36	Limo
0,60		260	470	820	210	1,40	19	660			1,04	16,72	Argilla
0,80		260	350	550	170	1,13	25	270			1,12	16,48	Argilla
1,00		350	380	500	180	1,00	23	310			0,92	17,04	Argilla
1,20		350	480	500	170	1,27	31	330			1,56	14,69	Limo
1,40		1040	1330	2850	290	1,93	54	1380	39	62	6,40		Sabbia finissima
1,60		1830	2000	2880	170	1,13	16	1850	42	78	2,64		Sabbia con ghiaia
1,80		1160	1510	4260	350	2,13	50	3100	40	65	1,74		Sabbia finissima
2,00		650	1100	2640	410	2,73	25	1950			2,30		Argilla
2,20		400	1140	1220	740	4,93	19	830			1,60		Argilla
2,40		350	650	860	290	1,93	19	500			1,44		Argilla
2,60		350	540	860	220	1,47	22	540			1,28		Argilla
2,80		280	550	1000	270	1,80	16	720			1,12		Argilla
3,00		380	670	1150	290	1,93	20	770			1,52		Argilla
3,20		440	710	1270	270	1,80	24	830			1,47		Argilla
3,40		510	790	1620	280	1,87	27	1110			1,70		Limo
3,60		850	1340	1820	510	3,40	24	990			2,77		Argilla
3,80		360	880	2160	520	3,47	10	1800			1,44		Argilla
4,00		360	810	1880	450	3,00	12	1520			1,44		Argilla
4,20		370	660	2290	290	1,93	19	1920			1,48		Argilla
4,40		510	800	2340	290	1,93	26	1830			1,70		Limo
4,60		410	860	2810	450	3,00	14	2400			1,37		Argilla
4,80		780	1250	3160	470	3,13	25	2380			2,60		Argilla
5,00		680	1110	3360	430	2,87	24	2680			2,27		Argilla
5,20		380	1020	3520	640	4,27	9	3140			1,52		Argilla
5,40		410	870	3500	460	3,07	13	3090			1,37		Argilla
5,60		280	640	2850	350	2,33	12	2560			1,16		Argilla
5,80		420	790	4120	370	2,47	17	3700			1,40		Argilla
6,00		510	950	4470	440	2,93	17	3960			1,70		Argilla
6,20		520	1440	7000	520	3,47	27	6850	44	84	3,07		Limo
6,40		2510	2720	7350	210	1,40	179	4840			2,65		Sabbia con ghiaia
6,60		2520	2740	7650	220	1,47	172	5140	44	85	2,64		Sabbia con ghiaia
7,00													
7,20													
7,40													
7,60													
7,80													
8,00													
8,20													
8,40													
8,60													
8,80													
9,00													
9,20													
9,40													
9,60													
9,80													
10,00													
10,20													
10,40													
10,60													
10,80													
11,00													
11,20													
11,40													
11,60													
11,80													
12,00													
12,20													
12,40													
12,60													
12,80													
13,00													
13,20													
13,40													
13,60													
13,80													
14,00													
14,20													
14,40													
14,60													
14,80													
15,00													

Committente: Comune di Iari  
Località: Cimitero di Cevoiti

GEOPROGETTI  
Prova penetrometrica n° 1  
Data: 19.07.2000



Comittente: Comune di Lari  
Località: Cimitero di Cevoia

Prova penetrometrica n°: 2  
Data: 19.07.2000

GEOPROGETTI

Intervento di campagna

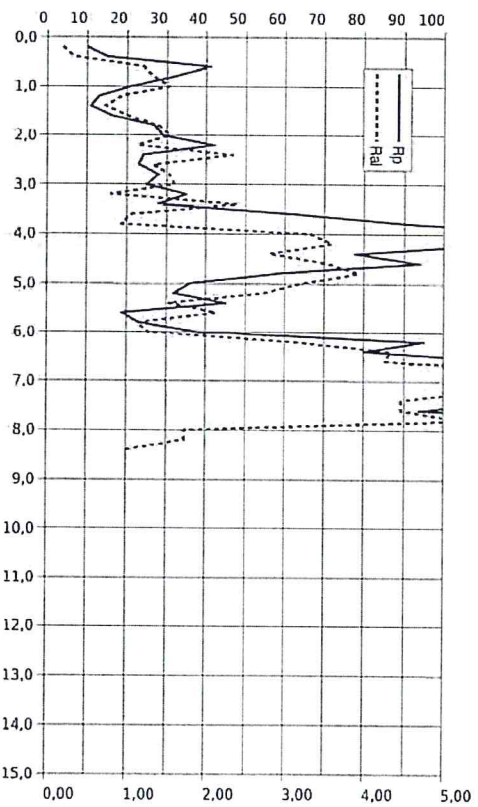
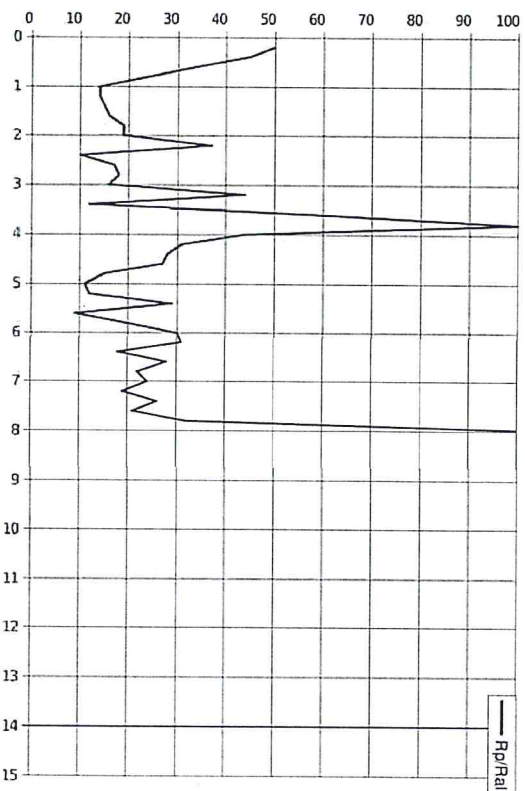
valori derivati

Prof. H	Rai	Rai	Ri	Rai/Rai	Rai	Rai/Rai	Rai/Rai	φ	Dr	Cu	mv	Tipo litologico
0,30	100	130	310	0,30	0,33	45	210			0,25	18,4	Sabbia limosa
0,40	150	200	360	0,40	0,43	45	210			0,25	18,4	Sabbia limosa
0,60	410	520	660	0,60	0,63	34	250			1,37	14,30	Limo sabbioso
0,80	320	520	780	0,80	0,83	24	460			1,28	13,91	Limo sabbioso
1,00	210	440	580	1,00	1,03	14	370			0,84	17,25	Argilla
1,20	130	270	390	1,20	0,93	14	260			0,65	18,72	Argilla
1,40	110	220	540	1,40	0,73	15	430			0,55	19,64	Argilla
1,60	160	310	580	1,60	0,80	16	420			0,80	17,93	Argilla
1,80	270	480	600	1,80	1,00	19	330			1,08	16,60	Argilla
2,00	290	520	910	2,00	1,53	19	620			1,16	16,35	Argilla
2,20	420	590	940	2,20	1,70	37	420			1,40	14,11	Limo sabbioso
2,40	240	590	980	2,40	2,33	10	740			0,96	16,94	Argilla
2,60	220	430	960	2,60	2,00	13,3	17			0,92	17,04	Argilla
2,80	280	510	970	2,80	1,53	18	690			1,12	16,48	Argilla
3,00	250	490	1260	3,00	1,60	16	1010			1,00	16,83	Argilla
3,20	350	470	1390	3,20	0,80	44	1040			1,40	15,42	Limo sabbioso
3,40	280	640	1700	3,40	2,40	12	1420			1,12	16,48	Argilla
3,60	640	800	2100	3,60	1,07	60	1460			10,24	7,15	Sabbia limosa
3,80	950	1070	2700	3,80	0,93	100	1770			7,15	7,15	Sabbia con ghiaia
4,00	1460	1960	3010	4,00	3,33	44	1550			4,87	4,56	Limo sabbioso
4,20	1120	1660	2820	4,20	3,60	31	1700			3,73	5,95	Limo
4,40	780	1200	2840	4,40	2,80	28	2060			2,60	8,50	Limo
4,60	940	1470	2520	4,60	3,53	27	1580			3,13	7,08	Limo
4,80	560	1170	2270	4,80	3,93	15	1690			1,93	11,16	Argilla
5,00	360	840	1630	5,00	4,80	11	1470			1,44	15,24	Argilla
5,20	320	530	1680	5,20	2,73	12	1560			1,28	15,91	Argilla
5,40	340	580	1760	5,40	2,53	29	1310			1,50	13,53	Limo
5,60	150	510	1920	5,60	1,00	20	1600			0,95	17,47	Argilla
5,80	220	400	1920	5,80	1,13	20	1700			0,92	17,04	Argilla
6,00	380	570	2580	6,00	1,40	30	2200			1,57	14,87	Limo
6,20	560	1410	2820	6,20	3,17	31	1890			3,17	7,01	Limo
6,40	800	1450	3880	6,40	4,33	18	2380			2,67	8,30	Argilla
6,60	1100	1820	4230	6,60	4,47	23	2450			3,93	5,64	Limo
6,80	1450	2430	4680	6,80	6,53	22	3150			4,83	4,59	Argilla
7,00	1250	2000	4680	7,00	5,13	24	3180			4,10	5,41	Argilla
7,20	1060	1880	4730	7,20	5,47	19	3670			3,53	6,26	Argilla
7,40	1150	1880	4820	7,40	6,70	26	3670			3,83	5,79	Limo
7,60	940	1610	6800	7,60	6,70	21	5660			3,13	5,66	Argilla
7,80	1710	2500	6800	7,80	5,27	32	5190			3,49	3,49	Limo
8,00	1940	2200	6100	8,00	2,60	1,73	112			4,40	4,40	Sabbia con ghiaia
8,20	2110	2370	7670	8,20	1,73	122	5560			3,13	3,13	Sabbia con ghiaia
8,40	2860	3010	8470	8,40	1,00	286	5610			4,4	86	Sabbia con ghiaia
8,60												
8,80												
9,00												
9,20												
9,40												
9,60												
9,80												
10,00												
10,20												
10,40												
10,60												
10,80												
11,00												
11,20												
11,40												
11,60												
11,80												
12,00												
12,20												
12,40												
12,60												
12,80												
13,00												
13,20												
13,40												
13,60												
13,80												
14,00												
14,20												
14,40												
14,60												
14,80												
15,00												

Comittente: Comune di Lari  
Località: Cimitero di Cevoia

Prova penetrometrica n°: 2  
Data: 19.07.2000

GEOPROGETTI







Committente: Comune di Iari  
Località: Cimitero di Cevoli

Prova penetrometrica n° 4  
Data: 19/07/2000

GEOPROGETTI

letture di campagna

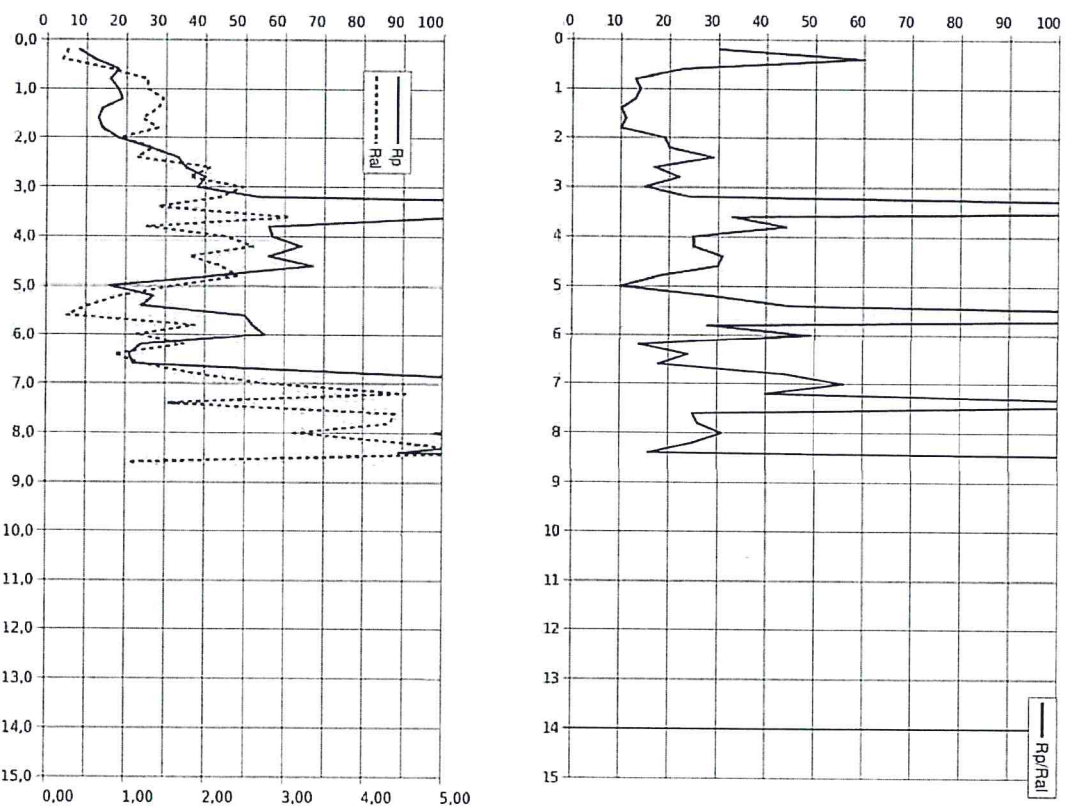
valori derivati

Prof. m	Roi	Rai	Ri	Rai/Roi	Rai/Rai	Ri/Rai	Ri/Rai	φ	Dr	Cu	mv	Tipo litologico
0,20	80	120	230	30	0,20	60	130	25	11	0,40	22,20	Limo
0,40	150	150	390	30	0,20	30	270			0,90	19,13	Sabbia limosa
0,60	160	300	470	120	0,80	23	290			0,90	17,60	Argilla
0,80	160	350	500	190	1,27	13	340			0,80	17,03	Argilla
1,00	180	370	490	190	1,27	14	310			0,90	17,60	Argilla
1,20	180	410	520	220	1,47	13	330			0,90	17,47	Argilla
1,40	140	350	500	210	1,40	10	360			0,70	18,40	Argilla
1,60	130	310	430	180	1,20	11	300			0,65	18,72	Argilla
1,80	140	350	460	210	1,40	10	330			0,70	18,40	Argilla
2,00	180	320	360	140	0,93	19	180			0,90	17,60	Argilla
2,20	260	460	740	200	1,33	20	480			1,04	16,72	Argilla
2,40	330	500	950	170	1,13	29	630			1,32	15,75	Limo
2,60	350	660	1250	310	2,07	17	900			1,40	15,42	Argilla
2,80	400	670	1440	270	1,80	22	1040			1,60	14,50	Argilla
3,00	380	750	1810	370	2,47	15	1430			1,52	14,87	Argilla
3,20	530	860	2560	330	2,20	24	2030			1,77	12,02	Argilla
3,40	2800	3010	2510	210	1,40	200	-290	44	86	2,38		Sabbia con ghiaia
3,60	1010	1470	2560	460	3,07	33	1550			3,37	6,59	Limo sabbioso
3,80	560	750	2430	190	1,27	44	1870			1,87	11,50	Limo sabbioso
4,00	570	910	2470	340	2,27	25	1900			1,90	11,33	Argilla
4,20	640	1030	2410	390	2,60	25	1770			2,13	10,24	Argilla
4,40	560	830	2310	270	1,80	31	1950			1,87	11,50	Limo
4,60	670	1000	2500	330	2,20	30	1830			2,23	9,82	Limo
4,80	420	780	2190	360	2,40	18	1770			1,40	14,11	Argilla
5,00	160	400	1950	240	1,60	10	1790			0,80	17,93	Argilla
5,20	270	410	1550	140	0,93	29	1280			1,08	16,60	Limo
5,40	240	320	1730	80	0,53	45	1490			0,96	16,94	Limo sabbioso
5,60	300	360	1960	40	0,27	188	1460	31	38	1,69	12,57	Sabbia con ghiaia
5,80	550	700	2150	280	1,87	28	1630			1,73	12,30	Limo
6,00	520	720	1960	170	1,13	49	1430	36	41			Sabbia limosa
6,20	260	520	1810	200	1,73	14	1530			0,96	16,94	Argilla
6,40	210	340	1140	130	0,87	24	1230			0,84	17,25	Argilla
6,60	830	1110	2960	180	1,20	18	2130			0,88	17,15	Argilla
6,80	290	400	1560	280	1,87	44	2130			2,77	8,00	Limo sabbioso
7,00	1590	1930	3940	410	2,73	36	2420	41	73	4,38		Sabbia limosa
7,20	1810	2330	4220	410	2,73	40	2410			6,03	3,68	Limo sabbioso
7,40	2150	2380	4890	230	1,23	140	2240	43	82	3,10	3,10	Sabbia con ghiaia
7,60	1120	1780	5450	660	4,40	25	4540			3,73	3,95	Argilla
7,80	1110	1760	5620	650	4,33	26	4710			3,70	6,00	Limo
8,00	980	1450	5850	470	3,13	31	4870			3,27	6,79	Limo
8,20	1130	1810	4730	680	4,53	25	4860			3,77	5,83	Argilla
8,40	880	1740	5400	850	5,67	16	4510			7,47		Argilla
8,60	3110	3270	6880	160	1,07	202	3770	44	87	2,97	2,14	Sabbia con ghiaia
8,80												
9,00												
9,20												
9,40												
9,60												
9,80												
10,00												
10,20												
10,40												
10,60												
10,80												
11,00												
11,20												
11,40												
11,60												
11,80												
12,00												
12,20												
12,40												
12,60												
12,80												
13,00												
13,20												
13,40												
13,60												
13,80												
14,00												
14,20												
14,40												
14,60												
14,80												
15,00												

Committente: Comune di Iari  
Località: Cimitero di Cevoli

Prova penetrometrica n° 4  
Data: 19/07/2000

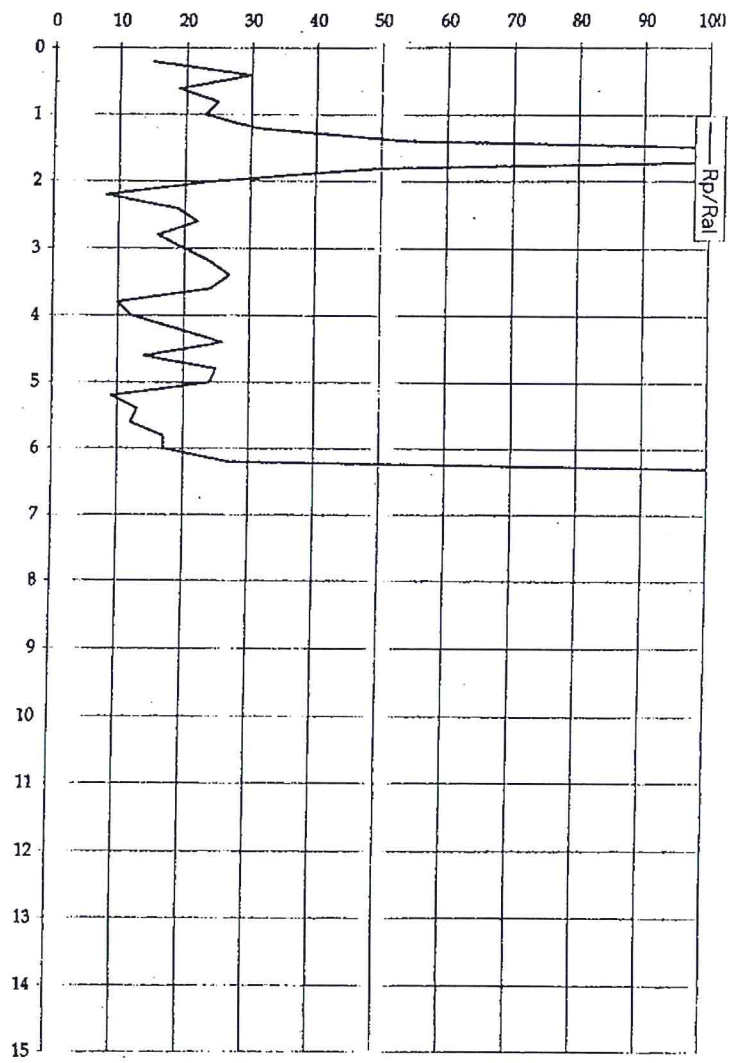
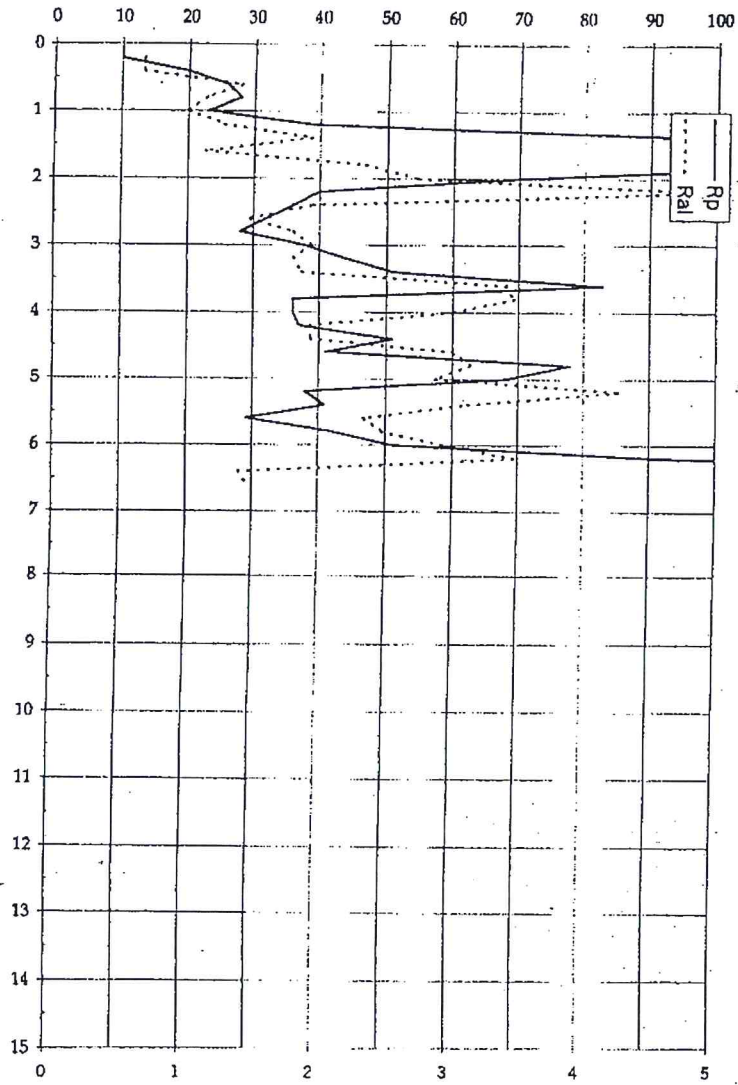
GEOPROGETTI

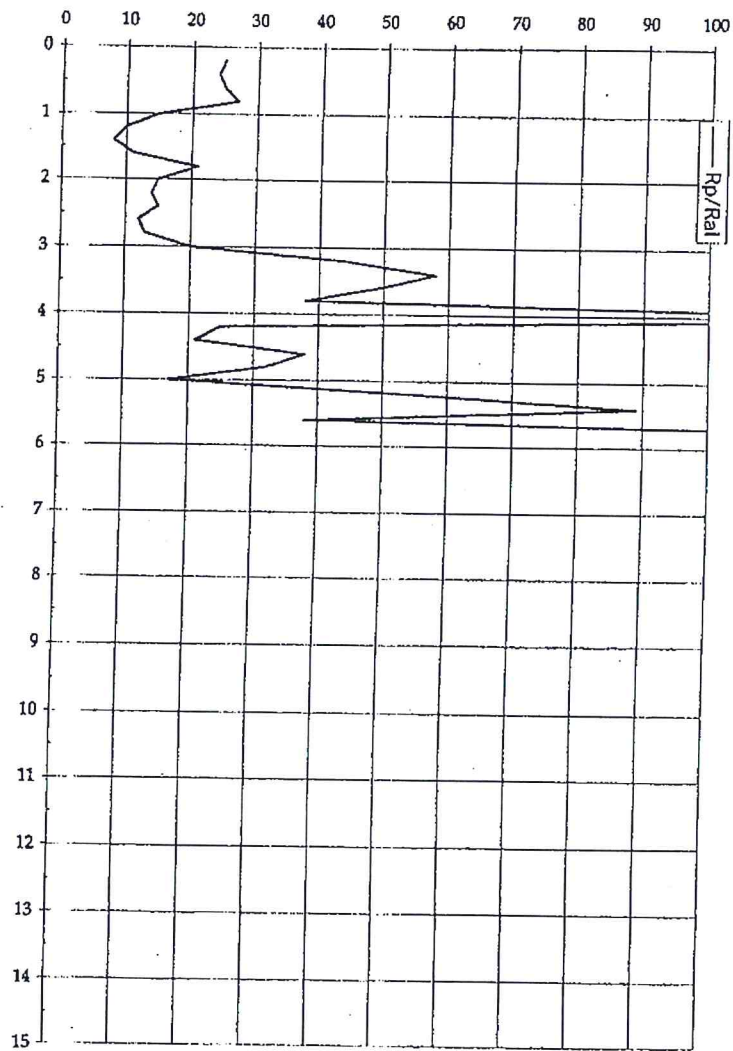
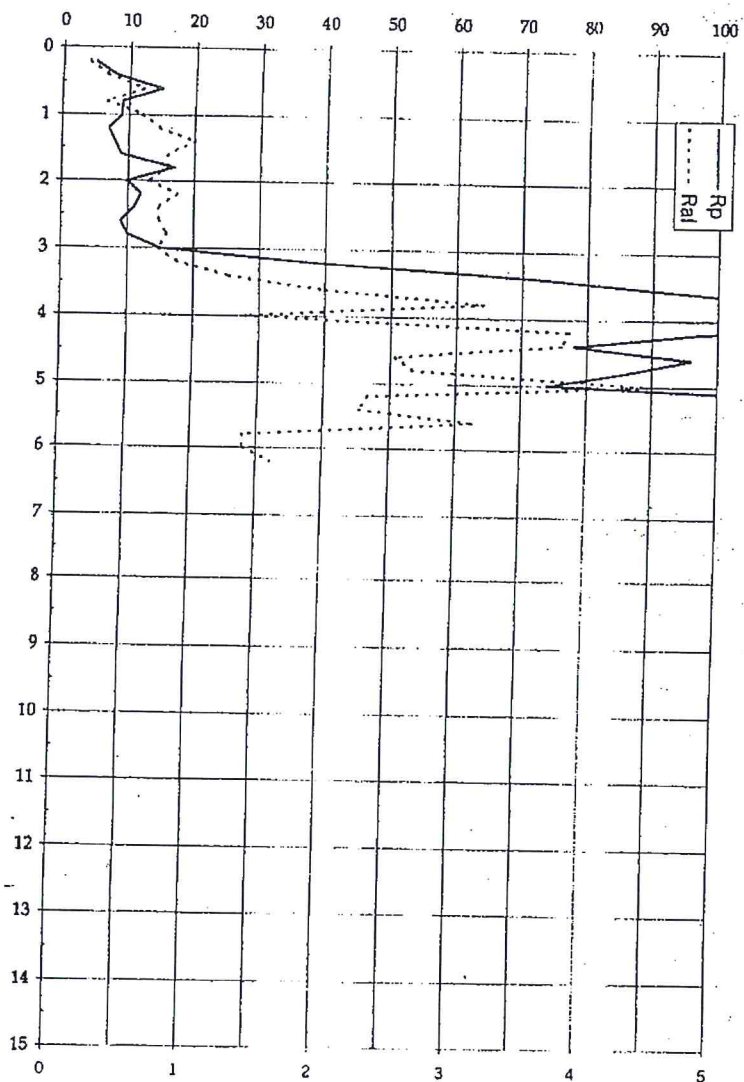


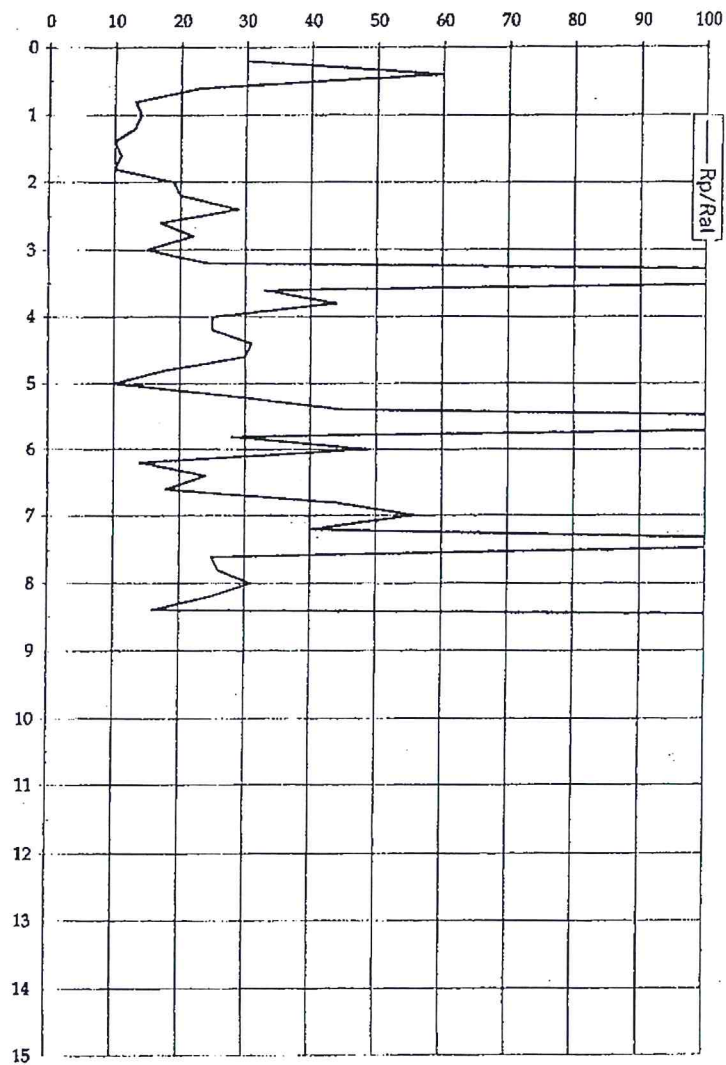
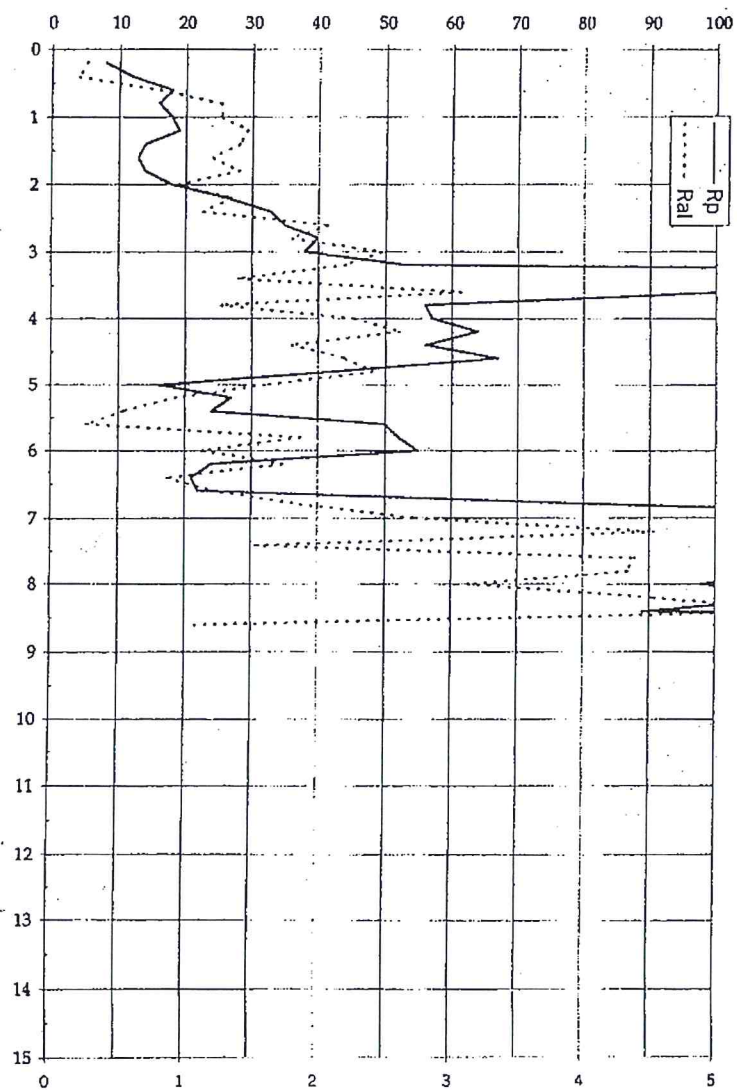
COMMITTENTE		ING. LAUDAZI		LOCALITÀ		CEVO		
LAVORO		SCUOLA		CEVOLI		SONDAGGIO N° 1		
Profondità dal piano di campagna	Spessore degli strati	CAMPIONE N° d'ordine	Scala di riferimento	STRATIGRAFIA	Falda acquifera	Percentuale di Carotaggio	PROVA S.P.T. N° COLPI	DESCRIZIONE LITOLOGICA
	1.50		1				2 4 6 8 10 12 14 16 18	Sabbie
-1.50	1.80		2					Limi sabbiosi (alternanze di sottili livelli sabbiosi fini e limosi)
-3.30	1.10		3					Argille
-4.50	2.50		4					Sabbie (limose nella parte bassa)
-7.00	1.50		5					Limi sabbiosi fini
-8.50	1.90		6					Argille limose
-10.40			7					Sabbie intercalate con un livello di argilla
			8					— FINE



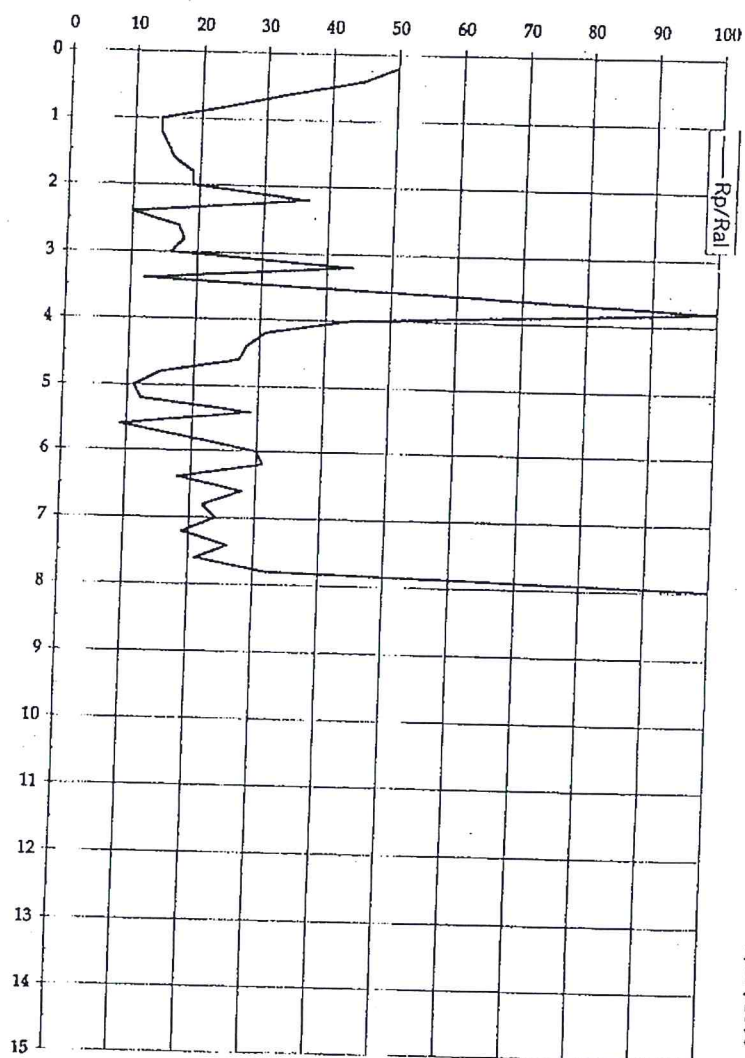
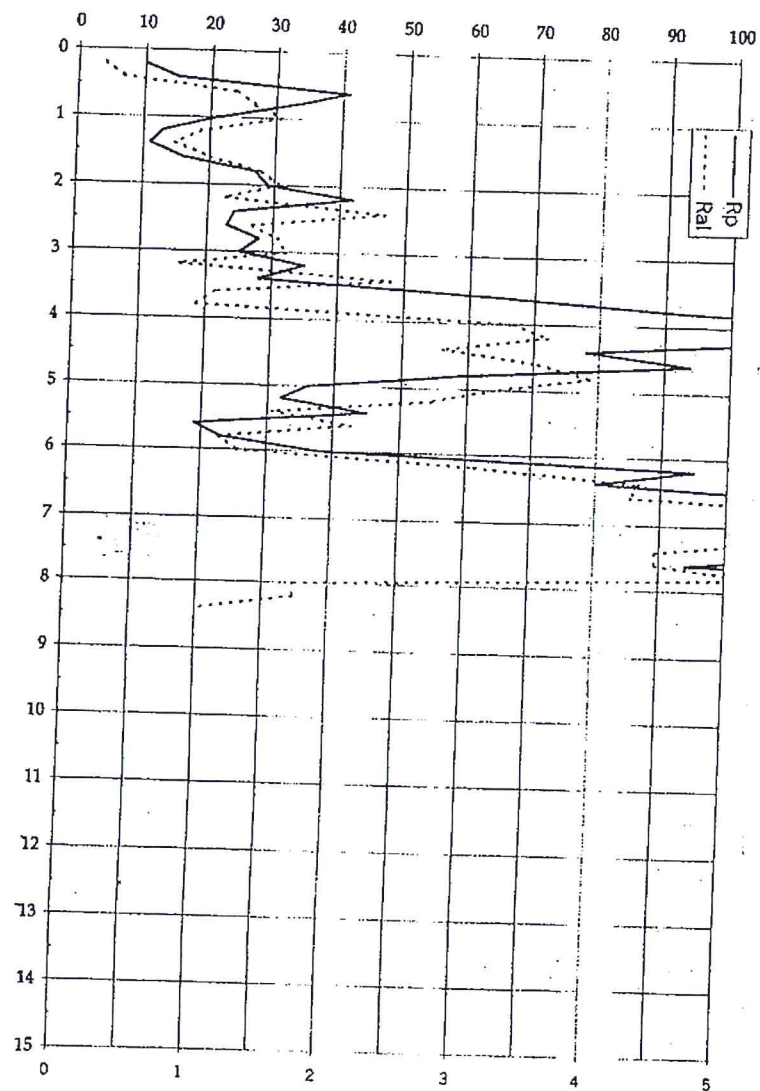
CAMPIONE	No d'ordine	Scala di riferimento	STRATIGRAFIA	Falda acquifera	Percentuale di Carotaggio	PROVA S.P.T. N° COLPI	DESCRIZIONE LITOLOGICA
		3			20 40 60 80	2 4 6 8 10 12 14 16 18	Terreno di riporto
		1					Limi sabbiosi
		2					Argille
		3					Sabbie
	C2	4					Sottile livello argilloso
		5					Sabbie
		6					Limi sabbiosi
		7					Argille
		8					Sabbie grossolane con noduli arenacei
		9					
		10					Argille talora limose
		11					Sabbie
		12					— FINE
		13					

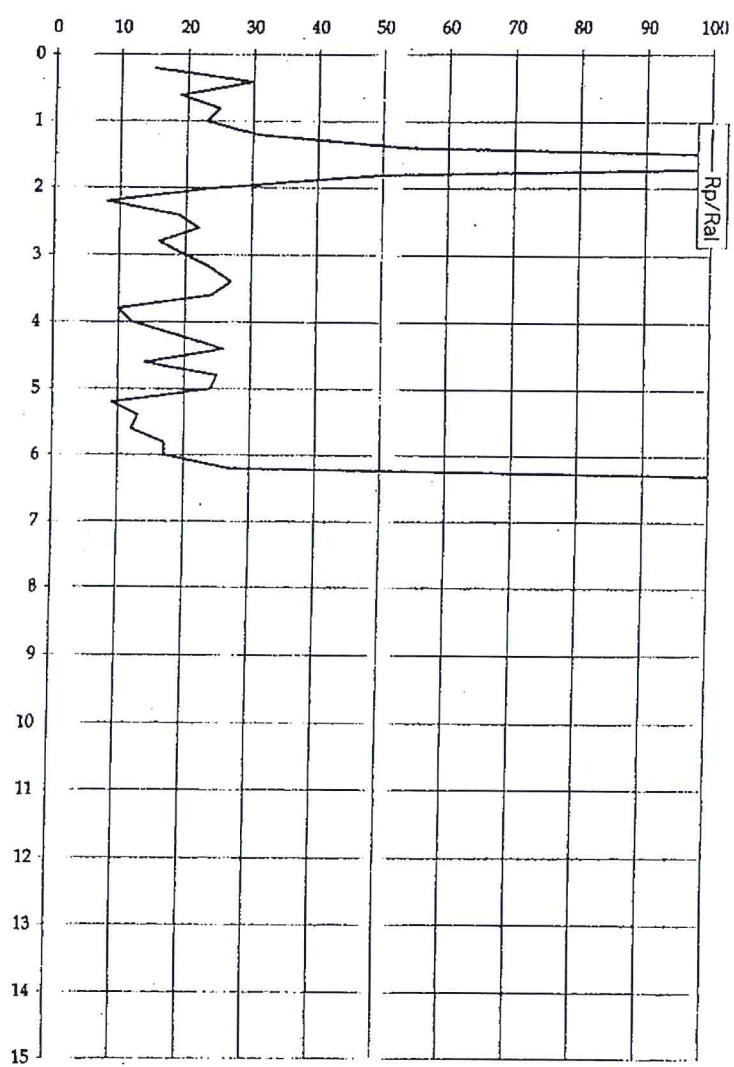
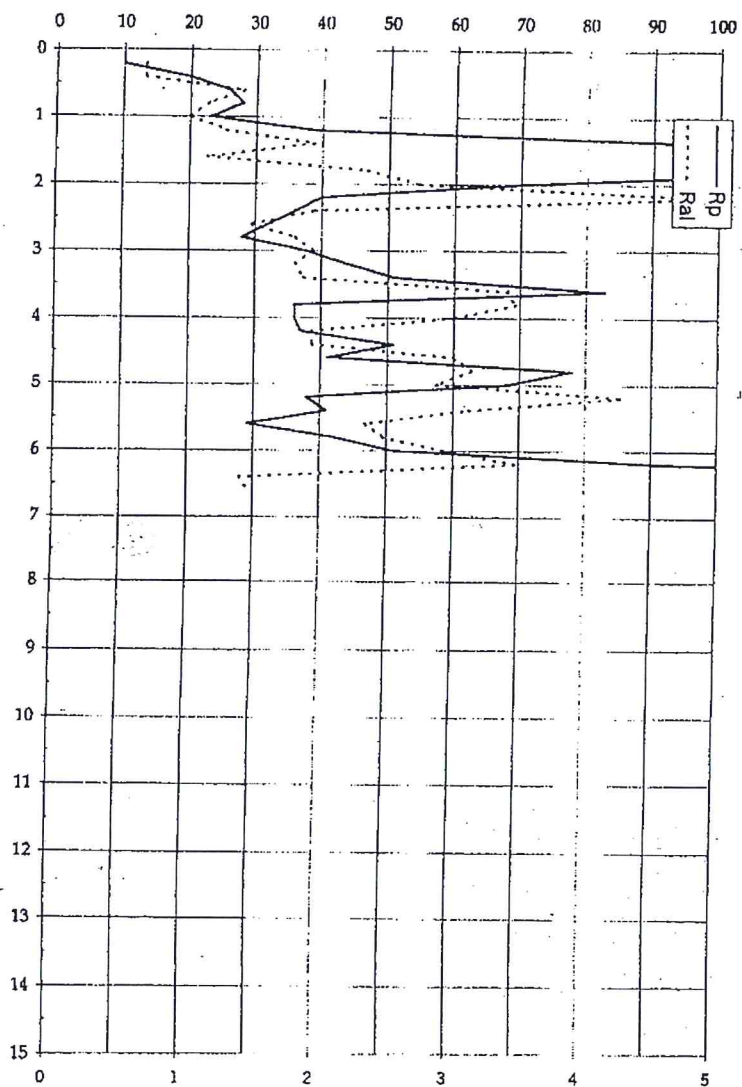












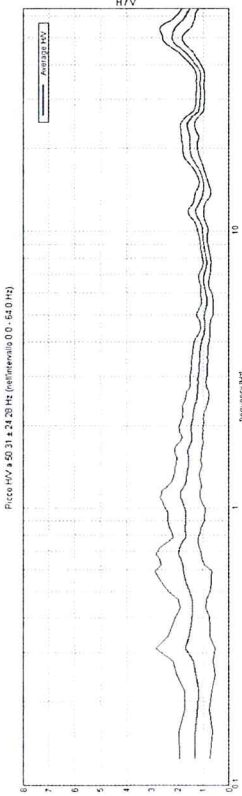
J13\_003\_01\_08\_LARI\_TR, LA CAPANNINA TR3

Strumento: TEP-0085/01-10  
Inizio registrazione: 08/01/13 12:33:54 Fine registrazione: 08/01/13 12:47:55  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Data GPS non disponibile

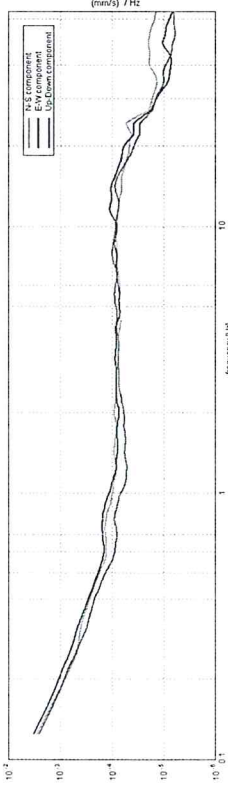
Durata registrazione: 0h14'00".  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestra: 20 s  
Tipo di lisciamiento: Triangular window  
Lisciamiento: 10%

Analisi effettuata sull'intera traccia.

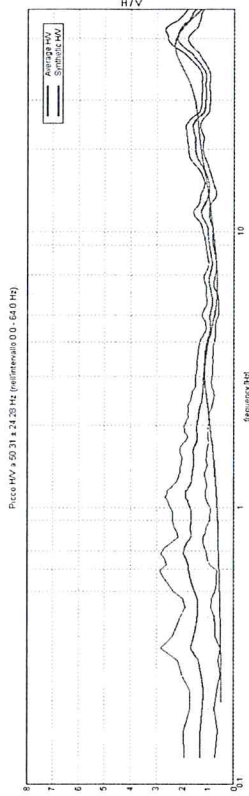
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato

[m]

0.40  
1.00  
3.00  
18.00  
31.00  
inf.

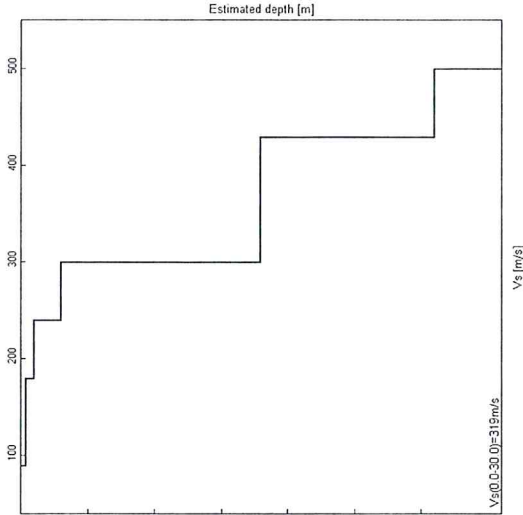
Spessore [m]

0.40  
0.60  
2.00  
15.00  
13.00  
inf.

Vs [m/s]

90  
180  
240  
300  
430  
500

Vs(0.0-30.0)=319m/s





**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1**

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	31/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	profondità prova:	6,80
località:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"Rifiuto strumentale" - proseguita in modalità dinamica (rif. 28-2018 dpsh1) 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. =  $150 \text{ cm}^2$ )

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

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m





**PENETRATIO s.n.c.**

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiaptec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1  
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 46-2018**

(Archivio interno 104L-2018)

committente: A.C. Casciana Terme Lari data: 31/12/18  
cantiere: ampliamento loculi Cimitero di Cevoli profondità prova: 6,80 m  
località: Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI) quota inizio: p.c.  
Note: "Rifiuto strumentale" - proseguita in modalità dinamica (rif. 28-2018 dpsh1)  
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	----	----	----	----	----	3,60	15,0	50,0	15,0	1,00	15,00
0,40	----	----	----	2,53	----	3,80	15,0	30,0	15,0	0,93	16,07
0,60	74,0	112,0	74,0	4,60	16,09	4,00	19,0	33,0	19,0	1,00	19,00
0,80	35,0	104,0	35,0	1,93	18,10	4,20	28,0	43,0	28,0	1,20	23,33
1,00	14,0	43,0	14,0	0,53	26,25	4,40	19,0	37,0	19,0	1,07	17,81
1,20	13,0	21,0	13,0	0,53	24,38	4,60	24,0	40,0	24,0	1,27	18,95
1,40	13,0	21,0	13,0	0,53	24,38	4,80	31,0	50,0	31,0	2,33	13,29
1,60	8,0	16,0	8,0	2,93	2,73	5,00	70,0	105,0	70,0	1,47	47,73
1,80	52,0	96,0	52,0	1,27	41,05	5,20	132,0	154,0	132,0	7,67	17,22
2,00	7,0	26,0	7,0	1,33	5,25	5,40	110,0	225,0	110,0	6,07	18,13
2,20	25,0	45,0	25,0	0,47	53,57	5,60	165,0	256,0	165,0	6,53	25,26
2,40	9,0	16,0	9,0	0,67	13,50	5,80	92,0	190,0	92,0	8,20	11,22
2,60	9,0	19,0	9,0	0,60	15,00	6,00	86,0	209,0	86,0	3,40	25,29
2,80	20,0	29,0	20,0	1,33	15,00	6,20	101,0	152,0	101,0	7,33	13,77
3,00	33,0	53,0	33,0	1,67	19,80	6,40	280,0	390,0	280,0	1,33	210,00
3,20	35,0	60,0	35,0	1,87	18,75	6,60	396,0	416,0	396,0	3,93	100,68
3,40	31,0	59,0	31,0	2,33	13,29	6,80	460,0	519,0	460,0		

**PENETRATIO s.n.c.**

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

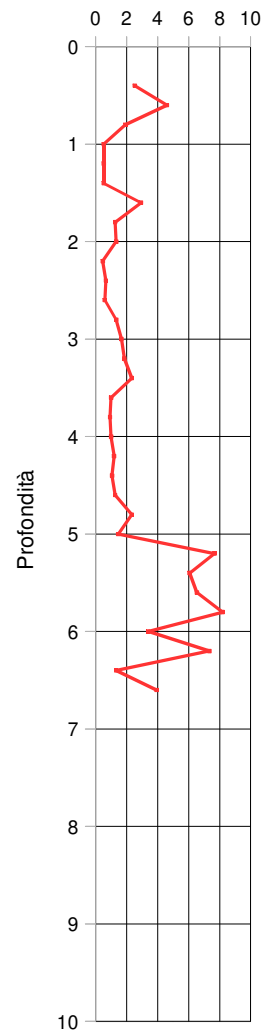
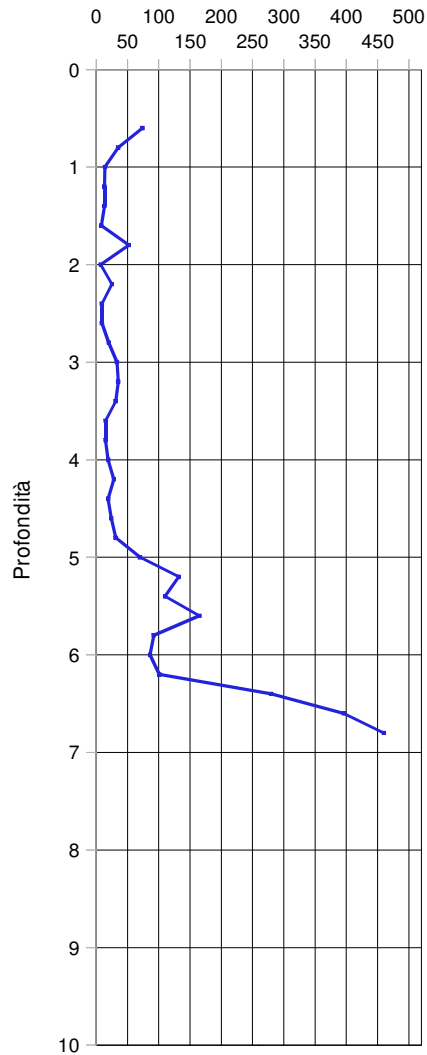
tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1**  
**GRAFICI DELLE RESISTENZE****Rif.** **46-2018**

(Archivio interno 104L-2018)

committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	31/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	profondità prova:	6,8 m
località:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"Rifiuto strumentale" - proseguita in modalità dinamica (rif. 28-2018 dpsh1) foro attrezzato con tubo piezometrico		



## 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. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  (  $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$  )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{\text{max}}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta )  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

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

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

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

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

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

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

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

### CONVERSIONI

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

1 kPa ( kiloPascal ) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa ( MegaPascal ) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t / m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

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

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

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

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

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

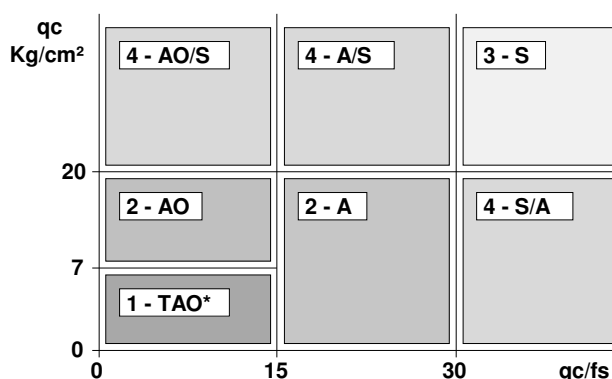
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

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

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

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



### NATURA LITOLOGICA

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

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

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

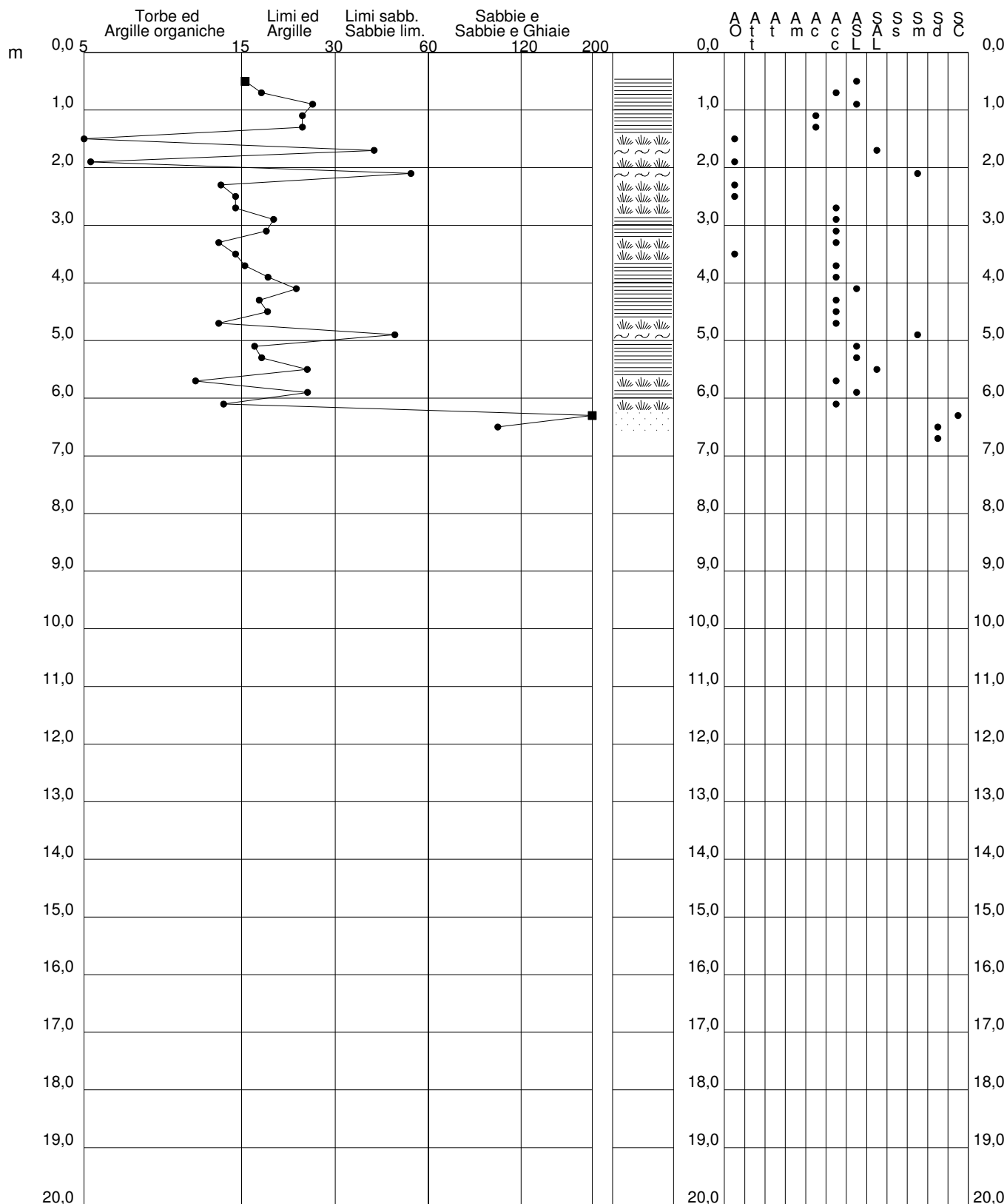
2.0105-157

- committente : A.C. Casciana Terme Lari  
 - lavoro : ampliamento loculi cimitero  
 - località : Cevoli, Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari.  
 - assist. cantiere :

- data : 31/12/2018  
 - 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 : Cevoli, Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari.  
 - assist. cantiere :

- data : 31/12/2018  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,60	74	16	4/:	1,85	0,11	2,47	99,9	419	629	222	100	42	43	45	46	45	32	0,258	123	185	222		
0,80	35	18	4/:	1,85	0,15	1,17	82,9	198	298	105	83	40	41	43	45	41	29	0,198	58	88	105		
1,00	14	26	2///	1,85	0,19	0,64	29,4	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,20	13	24	2///	1,85	0,22	0,60	22,0	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,40	13	24	2///	1,85	0,26	0,60	18,1	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,60	8	3	2///	1,85	0,30	0,40	9,1	70	106	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,80	52	41	3:::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	39	31	0,178	87	130	156		
2,00	7	5	1***	1,85	0,37	0,35	5,9	20	30	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,20	25	54	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	34	28	0,095	42	63	75		
2,40	9	13	2///	1,85	0,44	0,45	6,4	115	173	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,60	9	15	2///	1,85	0,48	0,45	5,8	129	193	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,80	20	15	4/:	1,85	0,52	0,80	10,8	136	204	60	33	33	35	38	41	32	27	0,064	33	50	60		
3,00	33	20	4/:	1,85	0,55	1,10	14,8	187	281	99	48	35	37	39	42	34	29	0,100	55	83	99		
3,20	35	19	4/:	1,85	0,59	1,17	14,7	198	298	105	49	35	37	39	42	34	29	0,101	58	88	105		
3,40	31	13	4/:	1,85	0,63	1,03	11,7	176	264	93	43	34	36	39	41	33	29	0,087	52	78	93		
3,60	15	15	2///	1,85	0,67	0,67	6,3	174	260	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,80	15	16	2///	1,85	0,70	0,67	5,9	187	281	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,00	19	19	2///	1,85	0,74	0,78	6,7	189	284	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,20	28	23	4/:	1,85	0,78	0,97	8,2	185	278	84	34	33	35	38	41	31	28	0,067	47	70	84		
4,40	19	18	2///	1,85	0,81	0,78	5,9	216	325	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,60	24	19	4/:	1,85	0,85	0,89	6,6	218	327	72	27	32	34	37	40	30	28	0,051	40	60	72		
4,80	31	13	4/:	1,85	0,89	1,03	7,6	217	325	93	35	33	35	38	41	31	29	0,068	52	78	93		
5,00	70	48	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	35	32	0,135	117	175	210		
5,20	132	17	4/:	1,85	0,96	4,40	42,0	748	1122	396	82	40	41	43	45	39	35	0,198	220	330	396		
5,40	110	18	4/:	1,85	1,00	3,67	31,9	623	935	330	75	39	40	42	44	38	34	0,175	183	275	330		
5,60	165	25	4/:	1,85	1,04	5,50	50,6	935	1403	495	88	40	42	43	45	39	37	0,217	275	413	495		
5,80	92	11	4/:	1,85	1,07	3,07	23,3	521	782	276	67	37	39	41	43	36	33	0,151	153	230	276		
6,00	86	25	4/:	1,85	1,11	2,87	20,6	487	731	258	64	37	39	41	43	36	33	0,142	143	215	258		
6,20	101	14	4/:	1,85	1,15	3,37	24,1	572	859	303	69	38	40	41	44	36	34	0,156	168	253	303		
6,40	280	210	3:::	1,85	1,18	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	467	700	840		
6,60	396	101	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	40	0,258	660	990	1188		
6,80	460	--	3:::	1,85	1,26	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	767	1150	1380		

**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°**

**1**

**PROLUNGAMENTO PROVA STATICA 46-2018 CPT: Intervallo di profondità: da -6,80 a -10,60 m**

**Riferimento: 28 dpsh1 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	31/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	profondità prova:	10,6
località:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	-6,6
Note:	Prova iniziata in modalità statica (CPT 46-2018) e arrestata per rifiuto strumentale foro attrezzato con tubo piezometrico		

**CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA**

PESO MASSA BATTENTE  $M = 63,50 \text{ kg}$

ALTEZZA CADUTA LIBERA  $H = 0,75 \text{ m}$

DIAMETRO PUNTA CONICA  $D = 51,00 \text{ mm}$

AREA BASE PUNTA CONICA  $A = 20 \text{ cm}^2$

ANGOLO APERTURA PUNTA  $\alpha = 90^\circ$

LUNGHEZZA DELLE ASTE  $L_a = 1,00 \text{ m}$

AVANZAMENTO PUNTA  $\delta = 0,20 \text{ m}$

NUMERO DI COLPI PUNTA  $N = N(20) \Rightarrow$  Relativo ad un avanzamento di 20 cm

RIVESTIMENTO / FANGHI - NO

resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  [funzione del numero di colpi  $N$ ] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

$R_{pd}$  = resistenza dinamica punta [ area  $A$ ]  $M$  = peso massa battente (altezza caduta  $H$ )

$e$  = infissione per colpo =  $\delta / N$   $P$  = peso totale aste e sistema battuta





**PENETRATIO S.N.C.**

Via Paolo Maioli 37, 56028 San Miniato (PI)  
Tel. 0571-418116 – PEC: [penetrationsnc@lamiappec.it](mailto:penetrationsnc@lamiappec.it)

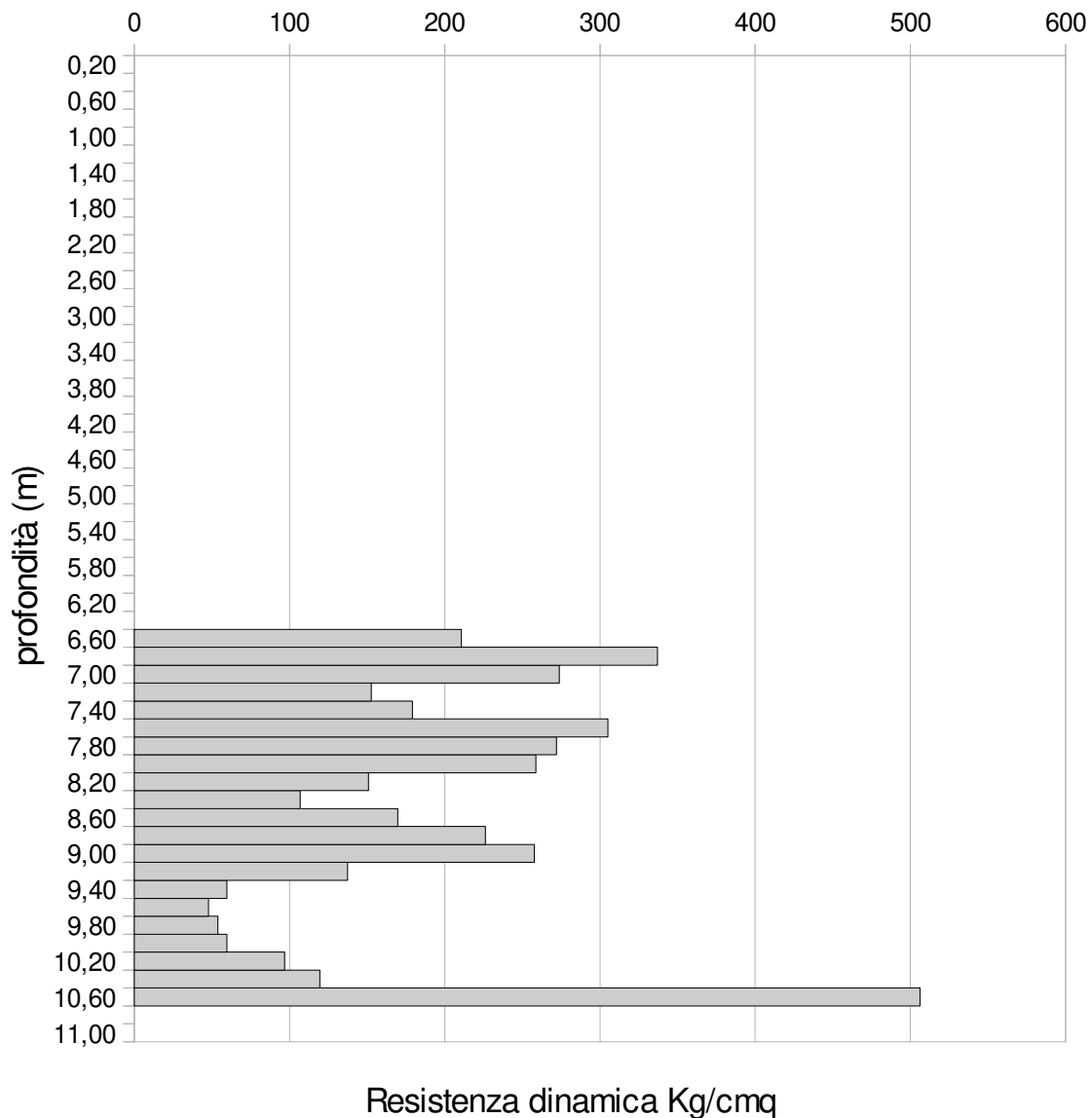
**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****1****Tabella valori di resistenza****Riferimento: 28 dps1 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	10,6
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	-6,6
Note:	Prova iniziata in modalità statica (CPT 46-2018) e arrestata per rifiuto strumentale foro attrezzato con tubo piezometrico		

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	-	-	-	1	da 5,40 a 5,60	-	-	-	6
da 0,20 a 0,40	-	-	-	1	da 5,60 a 5,80	-	-	-	6
da 0,40 a 0,60	-	-	-	1	da 5,80 a 6,00	-	-	-	6
da 0,60 a 0,80	-	-	-	1	da 6,00 a 6,20	-	-	-	7
da 0,80 a 1,00	-	-	-	1	da 6,20 a 6,40	-	-	-	7
da 1,00 a 1,20	-	-	-	2	da 6,40 a 6,60	30	210,66	-	7
da 1,20 a 1,40	-	-	-	2	da 6,60 a 6,80	48	337,05	-	7
da 1,40 a 1,60	-	-	-	2	da 6,80 a 7,00	39	273,85	-	7
da 1,60 a 1,80	-	-	-	2	da 7,00 a 7,20	23	152,56	-	8
da 1,80 a 2,00	-	-	-	2	da 7,20 a 7,40	27	179,10	-	8
da 2,00 a 2,20	-	-	-	3	da 7,40 a 7,60	46	305,13	-	8
da 2,20 a 2,40	-	-	-	3	da 7,60 a 7,80	41	271,96	-	8
da 2,40 a 2,60	-	-	-	3	da 7,80 a 8,00	39	258,69	-	8
da 2,60 a 2,80	-	-	-	3	da 8,00 a 8,20	24	150,84	-	9
da 2,80 a 3,00	-	-	-	3	da 8,20 a 8,40	17	106,85	-	9
da 3,00 a 3,20	-	-	-	4	da 8,40 a 8,60	27	169,70	-	9
da 3,20 a 3,40	-	-	-	4	da 8,60 a 8,80	36	226,27	-	9
da 3,40 a 3,60	-	-	-	4	da 8,80 a 9,00	41	257,69	-	9
da 3,60 a 3,80	-	-	-	4	da 9,00 a 9,20	23	137,35	-	10
da 3,80 a 4,00	-	-	-	4	da 9,20 a 9,40	10	59,72	-	10
da 4,00 a 4,20	-	-	-	5	da 9,40 a 9,60	8	47,78	-	10
da 4,20 a 4,40	-	-	-	5	da 9,60 a 9,80	9	53,75	-	10
da 4,40 a 4,60	-	-	-	5	da 9,80 a 10,00	10	59,72	-	10
da 4,60 a 4,80	-	-	-	5	da 10,00 a 10,20	17	96,70	-	11
da 4,80 a 5,00	-	-	-	5	da 10,20 a 10,40	21	119,46	-	11
da 5,00 a 5,20	-	-	-	6	da 10,40 a 10,60	89	506,27	-	11
da 5,20 a 5,40	-	-	-	6					

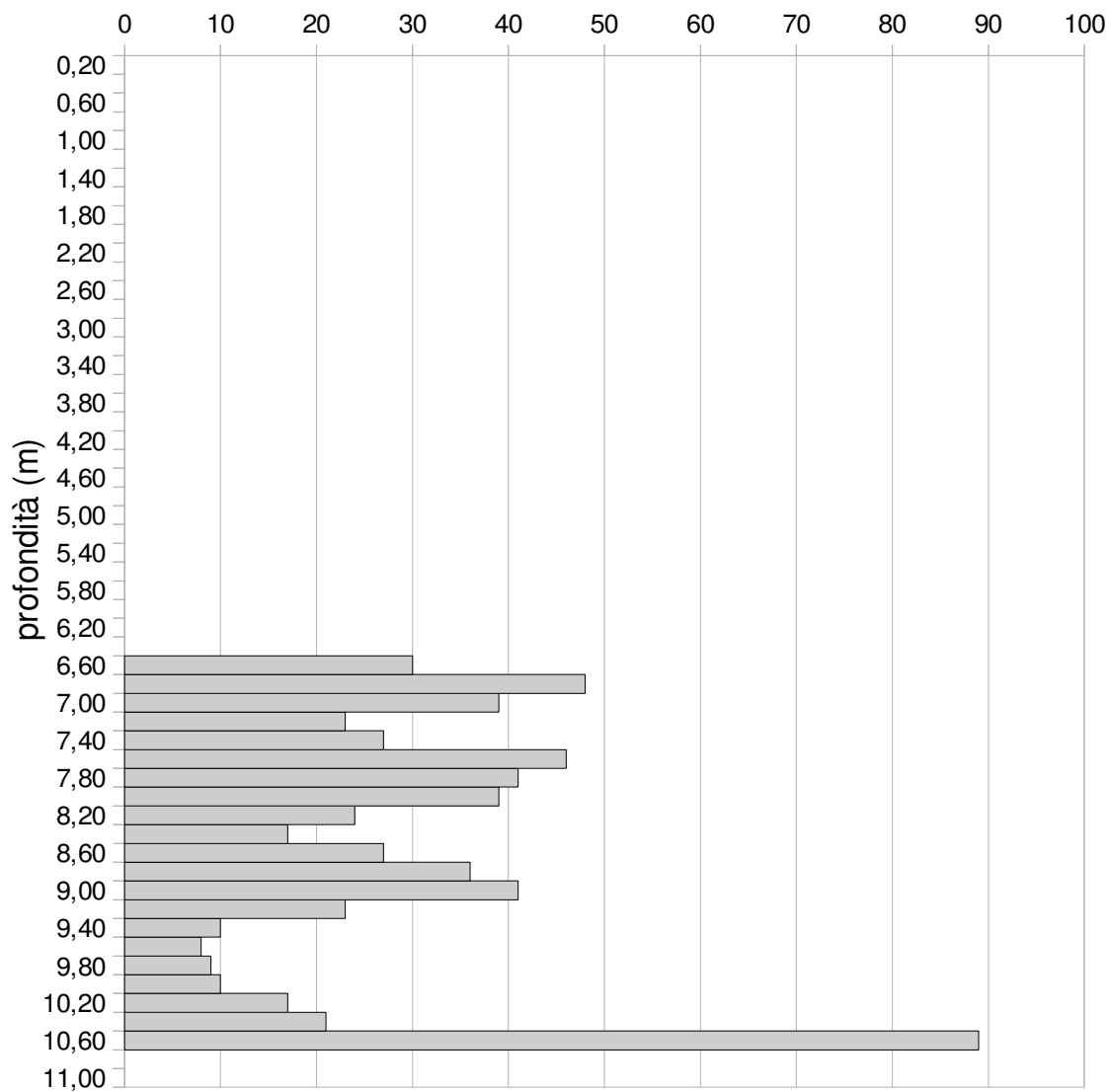
**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****1****Resistenza dinamica - profondità****Riferimento: 28 dpsh1 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	10,60
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	-6,6
Note:	Prova iniziata in modalità statica (CPT 46-2018) e arrestata per rifiuto strumentale foro attrezzato con tubo piezometrico		



**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****1****Grafico Ndp - profondità****Riferimento: 28 dpsh1 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	10,60
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	-6,6
Note:	Prova iniziata in modalità statica (CPT 46-2018) e arrestata per rifiuto strumentale foro attrezzato con tubo piezometrico		



N colpi x 20 cm d'infissione

**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****2****Riferimento: 28 dpsh2 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	data:	31/12/18
cantiere:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	profondità prova:	11,8
località:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"rifiuto strumentale"		

**CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA**

PESO MASSA BATTENTE  $M = 63,50 \text{ kg}$   
ALTEZZA CADUTA LIBERA  $H = 0,75 \text{ m}$   
DIAMETRO PUNTA CONICA  $D = 51,00 \text{ mm}$   
AREA BASE PUNTA CONICA  $A = 20 \text{ cm}^2$   
ANGOLO APERTURA PUNTA  $\alpha = 90^\circ$   
LUNGHEZZA DELLE ASTE  $L_a = 1,00 \text{ m}$   
AVANZAMENTO PUNTA  $\delta = 0,20 \text{ m}$   
NUMERO DI COLPI PUNTA  $N = N(20) \Rightarrow$  Relativo ad un avanzamento di 20 cm  
RIVESTIMENTO / FANGHI - NO

resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  [funzione del numero di colpi  $N$ ] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

$R_{pd}$  = resistenza dinamica punta [ area  $A$ ]  $M$  = peso massa battente (altezza caduta  $H$ )  
 $e$  = infissione per colpo =  $\delta / N$   $P$  = peso totale aste e sistema battuta



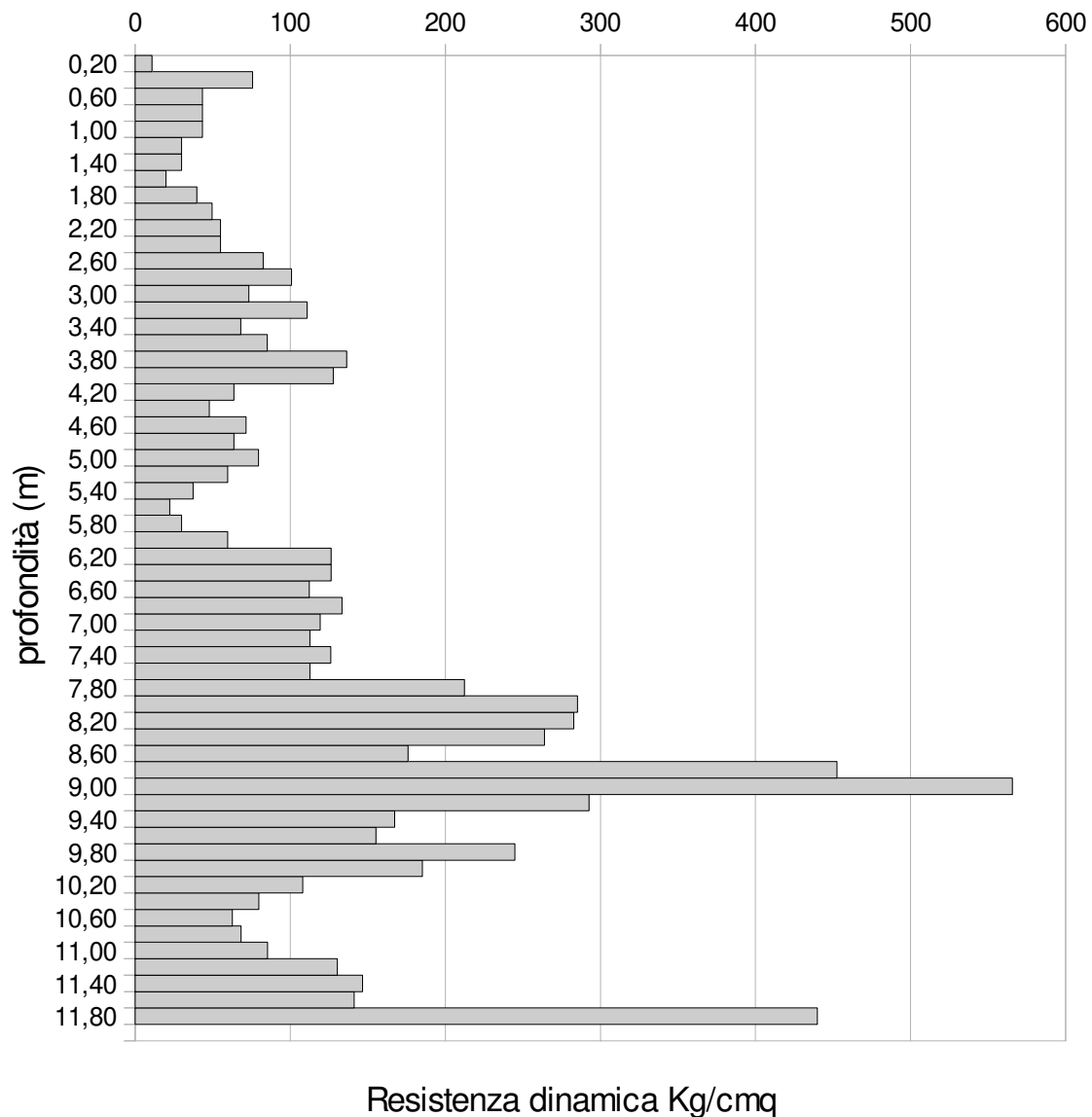
**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****2****Tabella valori di resistenza****Riferimento: 28 dps2 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	11,8
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"rifiuto strumentale"		

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	1	10,83	-	1	da 6,00 a 6,20	18	126,39	-	7
da 0,20 a 0,40	7	75,81	-	1	da 6,20 a 6,40	18	126,39	-	7
da 0,40 a 0,60	4	43,32	-	1	da 6,40 a 6,60	16	112,35	-	7
da 0,60 a 0,80	4	43,32	-	1	da 6,60 a 6,80	19	133,42	-	7
da 0,80 a 1,00	4	43,32	-	1	da 6,80 a 7,00	17	119,37	-	7
da 1,00 a 1,20	3	29,80	-	2	da 7,00 a 7,20	17	112,76	-	8
da 1,20 a 1,40	3	29,80	-	2	da 7,20 a 7,40	19	126,03	-	8
da 1,40 a 1,60	2	19,86	-	2	da 7,40 a 7,60	17	112,76	-	8
da 1,60 a 1,80	4	39,73	-	2	da 7,60 a 7,80	32	212,26	-	8
da 1,80 a 2,00	5	49,66	-	2	da 7,80 a 8,00	43	285,23	-	8
da 2,00 a 2,20	6	55,03	-	3	da 8,00 a 8,20	45	282,83	-	9
da 2,20 a 2,40	6	55,03	-	3	da 8,20 a 8,40	42	263,98	-	9
da 2,40 a 2,60	9	82,55	-	3	da 8,40 a 8,60	28	175,99	-	9
da 2,60 a 2,80	11	100,89	-	3	da 8,60 a 8,80	72	452,53	-	9
da 2,80 a 3,00	8	73,38	-	3	da 8,80 a 9,00	90	565,67	-	9
da 3,00 a 3,20	13	110,76	-	4	da 9,00 a 9,20	49	292,62	-	10
da 3,20 a 3,40	8	68,16	-	4	da 9,20 a 9,40	28	167,21	-	10
da 3,40 a 3,60	10	85,20	-	4	da 9,40 a 9,60	26	155,27	-	10
da 3,60 a 3,80	16	136,32	-	4	da 9,60 a 9,80	41	244,85	-	10
da 3,80 a 4,00	15	127,80	-	4	da 9,80 a 10,00	31	185,13	-	10
da 4,00 a 4,20	8	63,63	-	5	da 10,00 a 10,20	19	108,08	-	11
da 4,20 a 4,40	6	47,73	-	5	da 10,20 a 10,40	14	79,64	-	11
da 4,40 a 4,60	9	71,59	-	5	da 10,40 a 10,60	11	62,57	-	11
da 4,60 a 4,80	8	63,63	-	5	da 10,60 a 10,80	12	68,26	-	11
da 4,80 a 5,00	10	79,54	-	5	da 10,80 a 11,00	15	85,33	-	11
da 5,00 a 5,20	8	59,67	-	6	da 11,00 a 11,20	24	130,33	-	12
da 5,20 a 5,40	5	37,30	-	6	da 11,20 a 11,40	27	146,63	-	12
da 5,40 a 5,60	3	22,38	-	6	da 11,40 a 11,60	26	141,20	-	12
da 5,60 a 5,80	4	29,84	-	6	da 11,60 a 11,80	81	439,88	-	12
da 5,80 a 6,00	8	59,67	-	6					

**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****2****Resistenza dinamica - profondità****Riferimento: 28 dpsh2 2018**

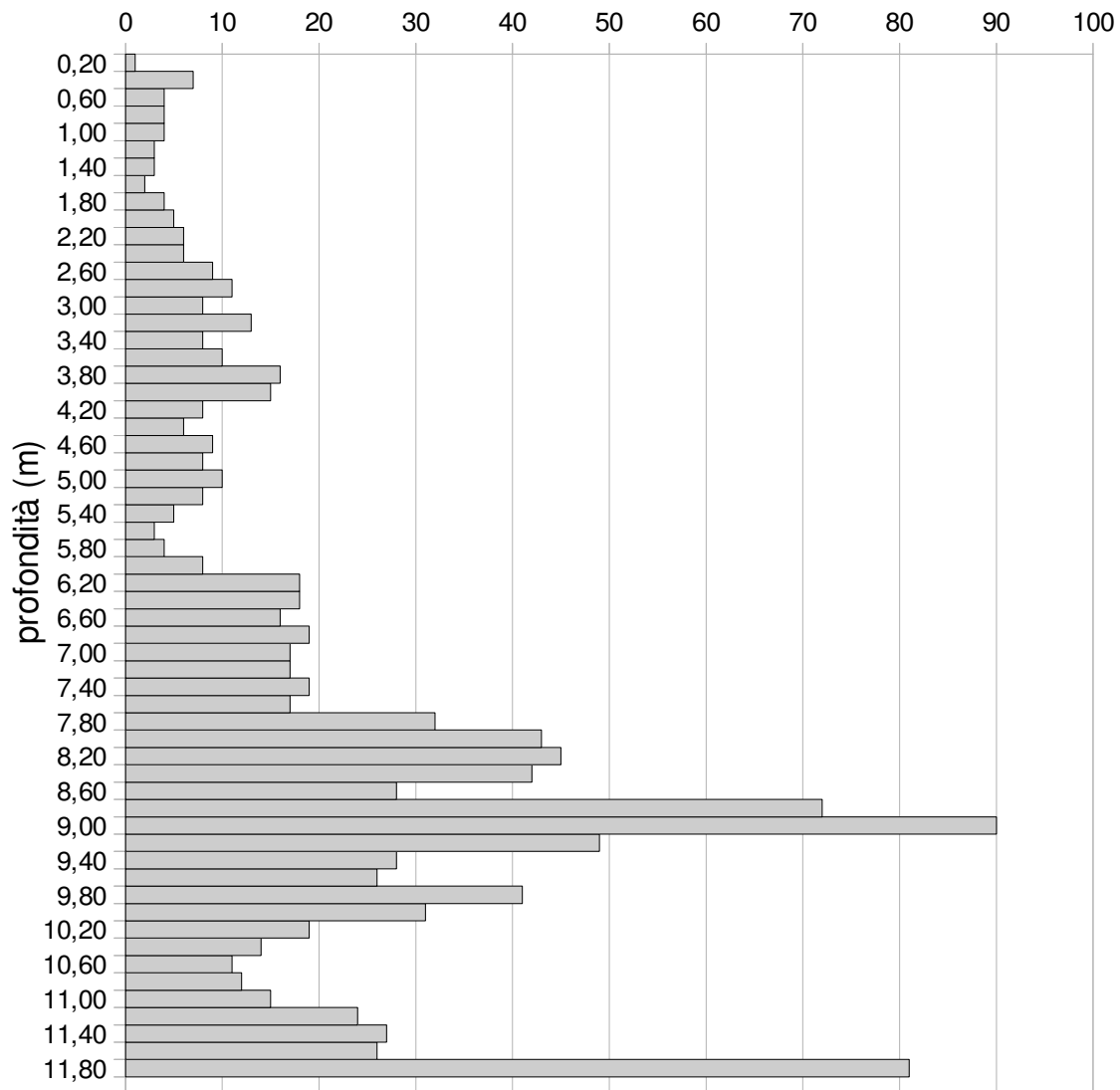
Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	11,80
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"rifiuto strumentale"		





**PROVA PENETROMETRICA DPSH n°****2****Grafico Ndp - profondità****Riferimento: 28 dpsh2 2018**

Committente:	A.C. Casciana Terme Lari	Data	31/12/2018
Località:	ampliamento loculi Cimitero di Cevoli	Prof.tà Prova	11,80
Comune:	Via Pietro Cavallini-Casciana T. Lari (PI)	quota inizio:	p.c.
Note:	"rifiuto strumentale"		



N colpi x 20 cm d'infissione

**PENETRATIO s.n.c**

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)  
P.IVA 02174580502

---

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.  
ESEGUITA IN VIA P. CAVALLINI, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE DI CEVOLI,  
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 P. CAVALLINI, PRESSO IL CIMITERO COMUNALE DI CEVOLI,  
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 Cevoli, sito lungo il corso di Via Pietro Cavallini.

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

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

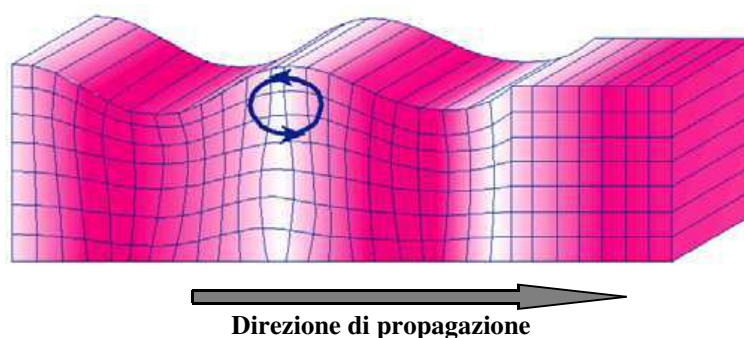
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la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

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

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

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

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



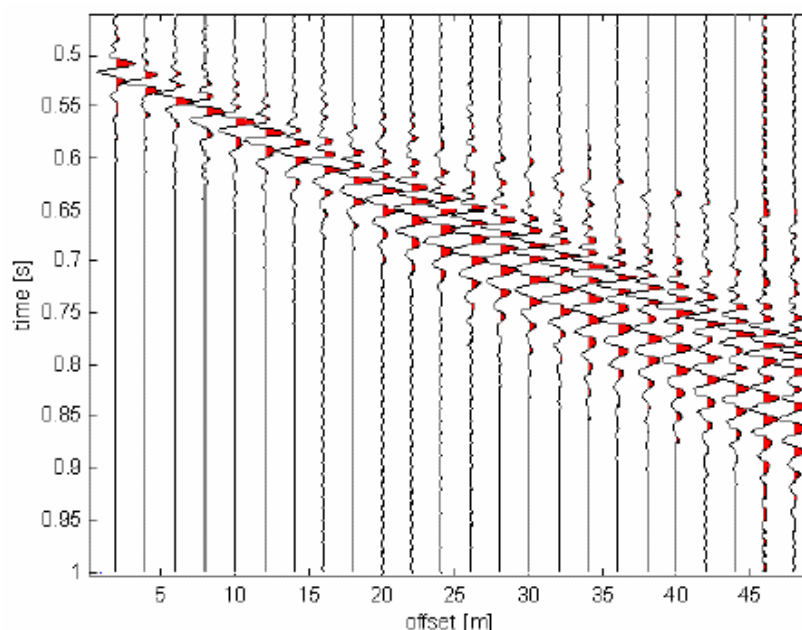
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2,00 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 3,0 m, 5,0 e 9,0 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 9,0 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):     | 182 | 234 | 422 | 562 |
| spessori (m): | 5,9 | 7,5 | 6,5 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1    | 2    | 3    | 4   |
|---------------|------|------|------|-----|
| VS (m/s):     | 182  | 230  | 470  | 534 |
| spessori (m): | 5,69 | 7,89 | 5,39 |     |

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: **307 m/s**
- $V_{s_{30}}$  del modello migliore: **307 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), 07/01/2019

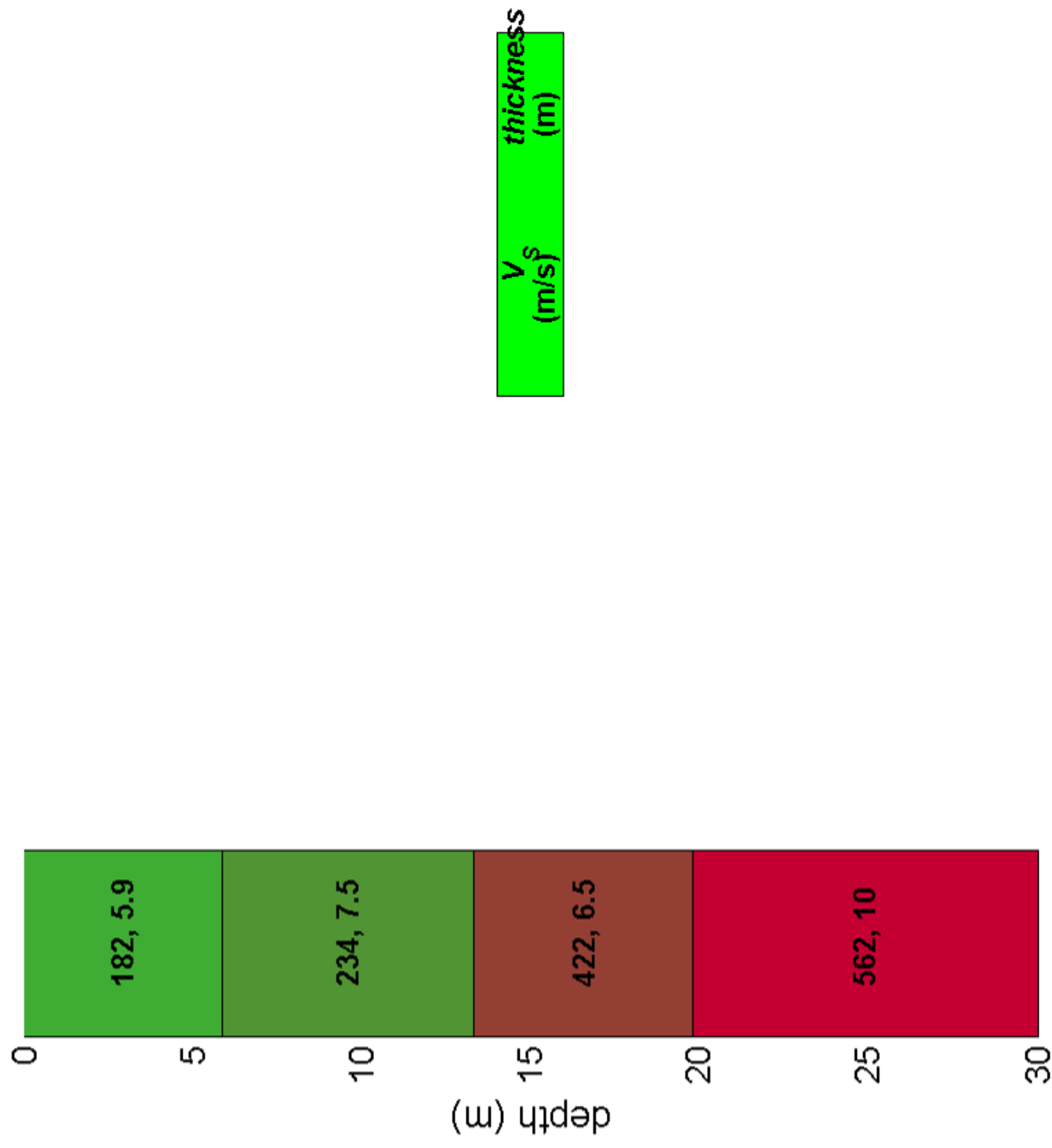
**Penetratio s.n.c.**

Dott. Geol. G. Lotti



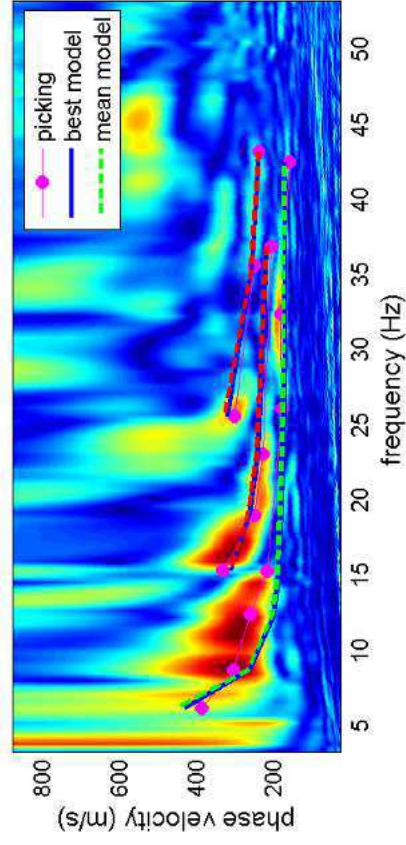
***Allegato 1***

# Subsurface model

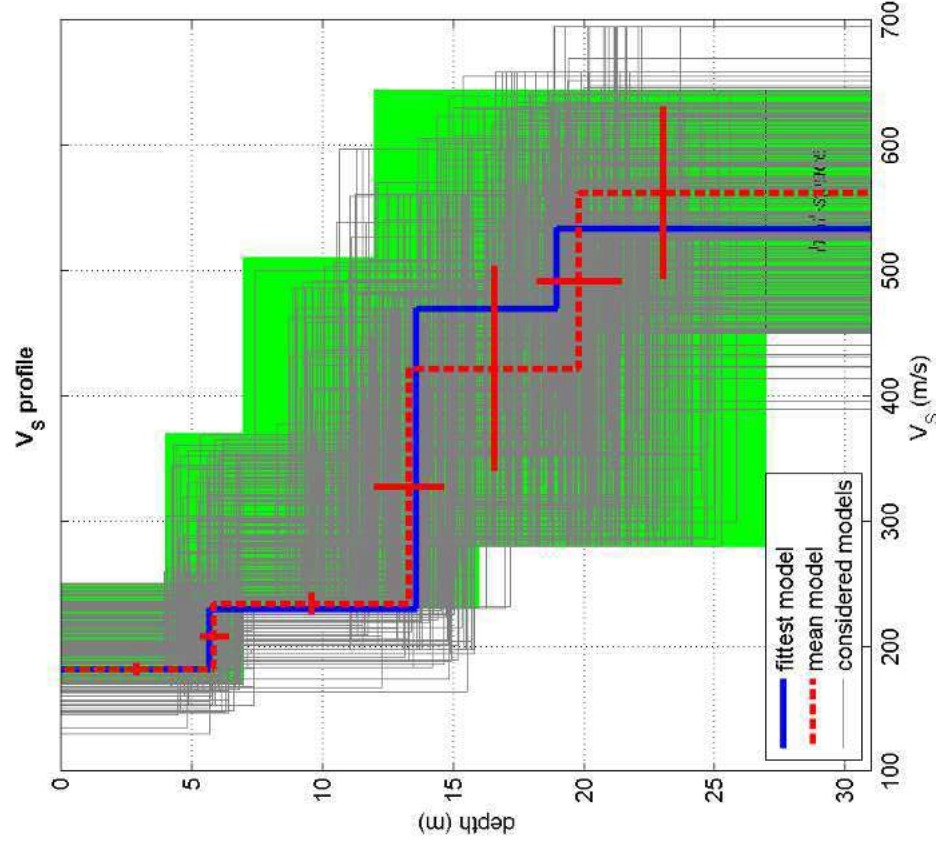
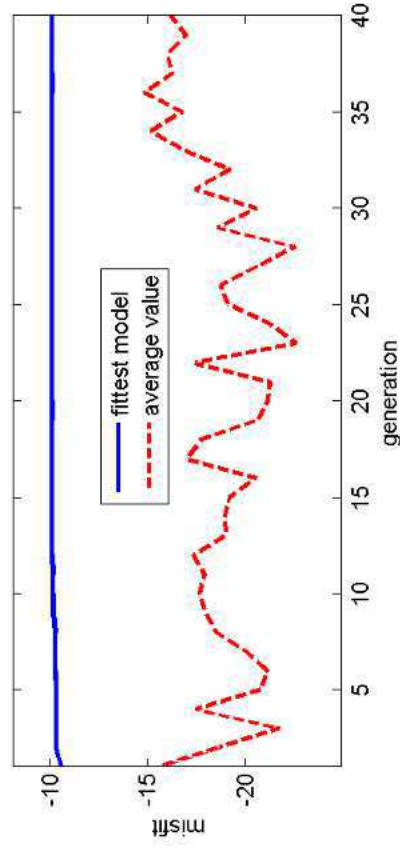




velocity spectrum & dispersion curve



misfit evolution



dataset: 9m.SGY

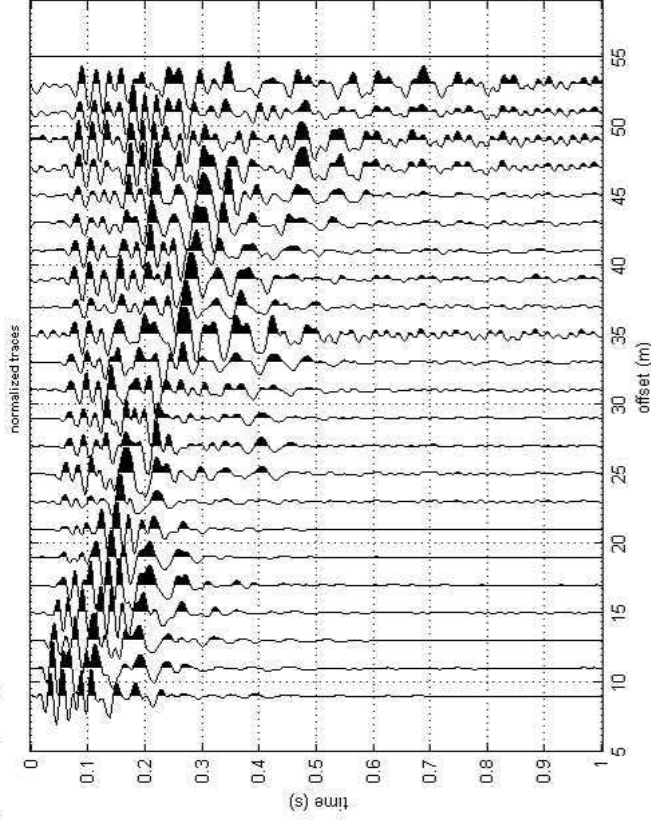
dispersion curve: 9m.cdp

Vs30 (best model): 307 m/s

Vs30 (mean model): 307 m/s

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 9m.SGY  
sampling: 0.131 ms  
minimum offset: 8 m  
geophone spacing: 2 m



resampling

1

resample

accept

data selection

activate

select

cancel

60

save

filtering & spectra

filter

cancel

0-50Hz

spectrum

spectrogram

refraction

refraction

upload

clear refraction

100

save

other tools & setting

1.00215

time length to visualize (s)

done

flip traces

zero padding

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

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity

☐ f-k

group velocity

save

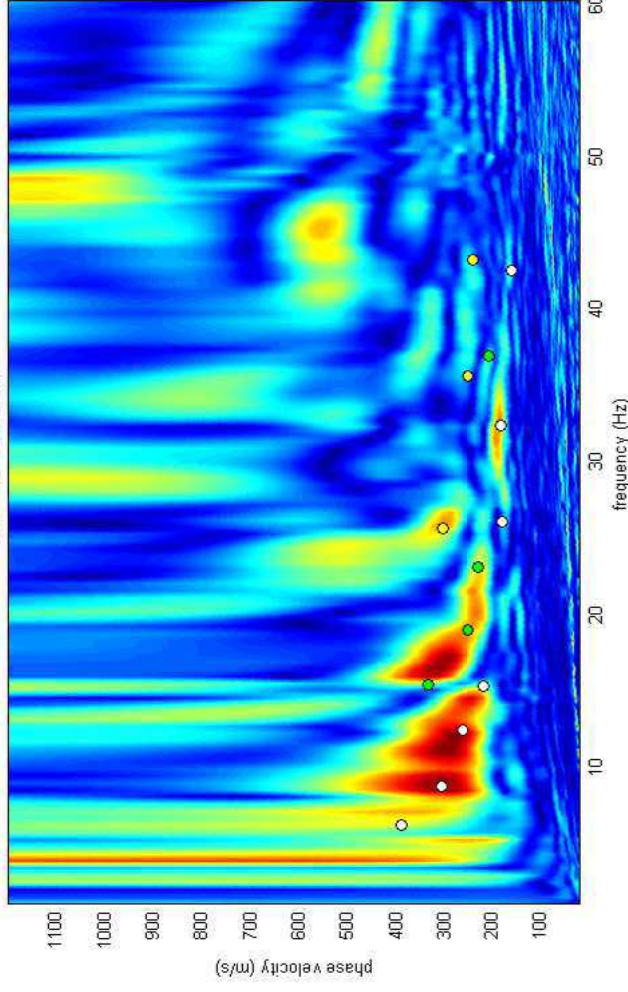
upload

merge

explore spectrum

mode separation

velocity spectrum



general setting

Rayleigh

3

phase vel

0

Reference depth

☐ HV body waves

0

H/V modes (SV ellipticity)

about Poisson

Vs (m/s)

100

180

260

400

600

800

1200

0

Poisson

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

thickness (m)

1

2

5

5

7

80

0

calculate

upload mod.

save model

refresh

report

modelling

synthetics

ZVF

☐ elastic

☐ shows DC

synthetics

visualize curves

input curve

?

picking

?

show f-k

second higher

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

save picking

?

9m.cdp

cancel picking

inversion

inversion

joint DC-HV inv.

WWW.WINISW.COM

***Allegato 2***

## Analyzing phase velocities

```

==o== SECTION#1
dataset: 9m.SGY
minimum offset (m): 9
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 9m.cdp
Number of individuals: 30
Number of generations: 31

```

## Rayleigh-wave dispersion analysis

## Analyzing phase velocities

```

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 170          4          230
          3          280          5          449.4011
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 250    7    370    9    510    11    644
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: -15.5746
-10.6126
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -18.7046
-10.3369
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -21.7249
-10.3369
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -17.4806
-10.3369
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -20.8209
-10.3369
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -21.1128
-10.308
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -20.0709
-10.308
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -18.5342
-10.308
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -17.9937
-10.2029
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -17.698
-10.1861
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -17.9666
-10.1861
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -17.3783
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -19.0305
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -18.9689
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -19.2138
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -20.5427
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -17.0339
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -17.7826
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -20.6492
-10.1516
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -21.1706
-10.1449
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -21.2509
-10.1449
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -17.4695
-10.1449
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -22.5919
-10.1449
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -21.3097
-10.1449
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -19.1413

```

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 26; average &amp; best misfits: -18.757

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 27; average &amp; best misfits: -20.6113

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 28; average &amp; best misfits: -22.5214

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 29; average &amp; best misfits: -18.5884

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 30; average &amp; best misfits: -20.5415

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 31; average &amp; best misfits: -17.4481

-10.1449

Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 1; average &amp; best misfits: -19.2001

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 2; average &amp; best misfits: -16.9159

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 3; average &amp; best misfits: -15.2142

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 4; average &amp; best misfits: -16.788

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 5; average &amp; best misfits: -14.8668

-10.1449

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 6; average &amp; best misfits: -16.2804

-10.1443

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 7; average &amp; best misfits: -16.0289

-10.1443

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 8; average &amp; best misfits: -16.9893

-10.1443

Optimizing Vs &amp; Thickness - generation: 9; average &amp; best misfits: -16.2134

-10.1443

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

Vs (m/s): 182 230 470 534

Thickness (m): 5.7 7.9 5.4

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35

Vp &amp; Density Optimization

p14 =

2

p15 =

14

p16 =

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.1446 | 0.2044 | 0.2909 | 0.3590 | 0.6125 | 0.7609 | 1.0000 |
| 0.4159 | 0.5132 | 0.6248 | 1.0000 | 0      | 0      | 0      |
| 0.5924 | 0.8236 | 1.0000 | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 1; average &amp; best misfits: -10.3351

-9.53238

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 2; average &amp; best misfits: -10.1117

-9.49028

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 3; average &amp; best misfits: -9.8552

-9.4424

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 4; average &amp; best misfits: -9.7834

-9.4424

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 5; average &amp; best misfits: -9.7082

-9.4424

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 6; average &amp; best misfits: -9.6186

-9.4178

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 7; average &amp; best misfits: -9.6216

-9.4178

Optimizing Vp &amp; Density - generation: 8; average &amp; best misfits: -9.6496

-9.4178



Optimizing Vp &amp; Density - generation: 9; average &amp; best misfits: -9.6713

-9.4178

Number of models considered to calculate the average model: 451

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: 9m.SGY

Analyzed curve/spectrum: 9m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 182 234 422 562  
 Standard deviations (m/s): 5 9 82 68

Thickness (m): 5.9 7.5 6.5  
 Standard deviations (m): 0.5 1.3 1.6

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

Vp (m/s): 470 1179 1655 1600  
 Density (gr/cm3): 1.87 2.09 2.18 2.17  
 Vp/Vs ratio: 2.58 5.04 3.92 2.85  
 Poisson: 0.41 0.48 0.47 0.43  
 Shear modulus (MPa): 62 115 388 685  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

| f(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 6.14073 | 451.017  |
| 8.67946 | 265.5061 |
| 12.3562 | 202.3355 |
| 15.2451 | 188.3729 |
| 26.0129 | 174.1408 |
| 32.3159 | 172.6403 |
| 42.4709 | 171.9625 |

First higher mode

Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 15.3327 | 310.0544 |
| 18.9219 | 265.9283 |
| 23.0364 | 243.4048 |
| 36.8681 | 218.4843 |

Second higher mode

Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 25.5752 | 326.4049 |
| 35.555  | 256.433  |
| 43.1712 | 237.8363 |

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 182 230 470 534  
 thickness (m): 5.6964 7.8944 5.3925

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

Vp (m/s): 360 1614 2817 892  
 Density (gr/cm3): 1.81 2.17 2.31 2.03  
 Vp/Vs ratio: 1.98 7.02 5.99 1.67  
 Poisson: 0.33 0.49 0.49 0.22  
 Shear modulus (MPa): 60 115 509 578  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

## dispersion curve (frequency - velocity)

## Fundamental mode)

## best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 6.14073 | 429.4595 |
| 8.67946 | 262.4411 |
| 12.3562 | 198.5482 |
| 15.2451 | 185.4829 |
| 26.0129 | 171.804  |
| 32.3159 | 170.3641 |
| 42.4709 | 169.7389 |

## First higher mode)

## best model

|         |          |
|---------|----------|
| 15.3327 | 308.4041 |
| 18.9219 | 262.4159 |
| 23.0364 | 239.893  |
| 36.8681 | 218.1783 |

## Second higher mode)

## best model

|         |          |
|---------|----------|
| 25.5752 | 318.0028 |
| 35.555  | 255.3814 |
| 43.1712 | 235.7188 |

Vs5 (mean model): 182 m/s

Vs5 (best model): 182 m/s

Vs20 (mean model): 250 m/s

Vs20 (best model): 253 m/s

Vs30 (mean model): 307 m/s

Vs30 (best model): 307 m/s

## ==0== SECTION#5

## For Italian Users:

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

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

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

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

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

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

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

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

=====

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

Number of models used to define the mean model: 451

Vs5 for the best model: 182

Vs30 for the best model: 307

Analyzing phase velocities

Elapsed time is 53.375216 seconds.

***Allegato 3***

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



---

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



## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



---

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



**Ampliamento del Cimitero Comunale di Cevoli, Comune di Casciana Terme Lari (PI), 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://esse1-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:

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

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) 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.

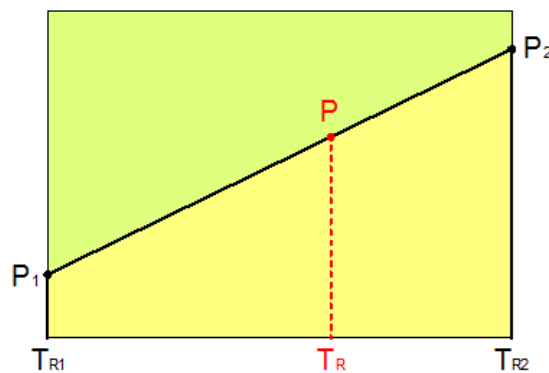
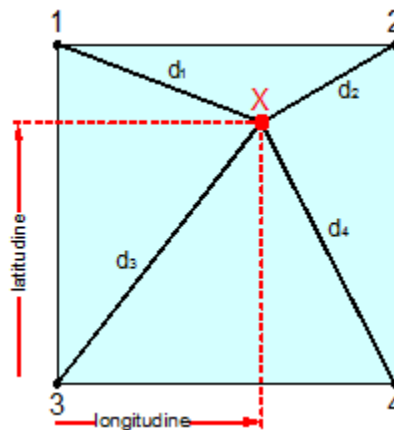


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

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.

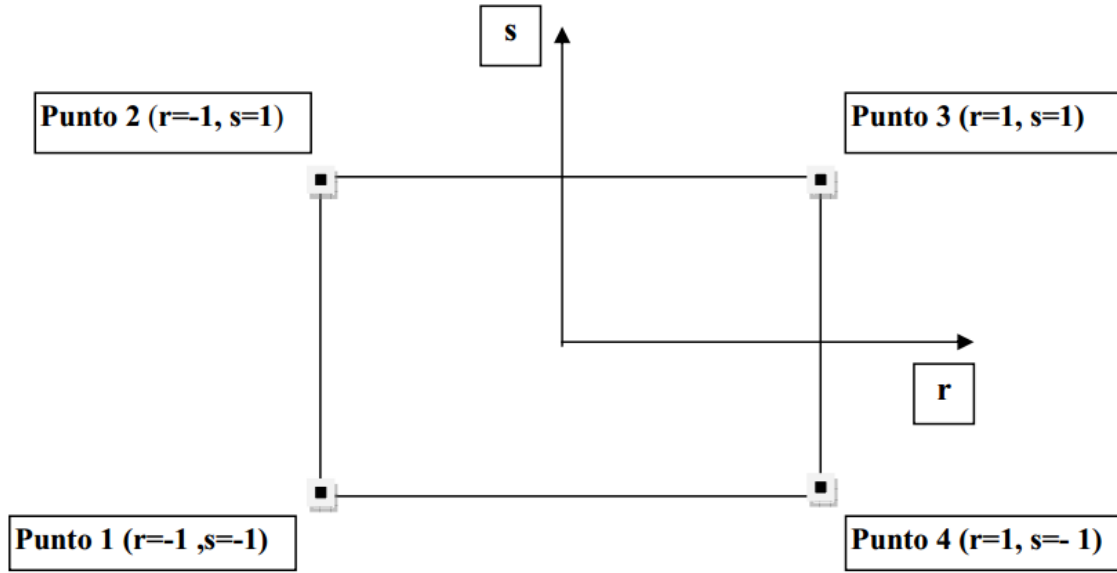


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

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:

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

### 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:

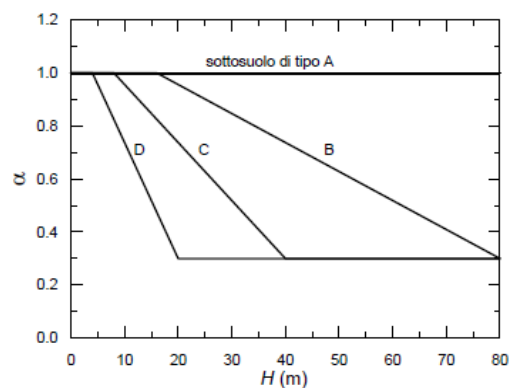


Figura 5.1 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$ .

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  $k_h = 0.2 \cdot a_{\max}/g$

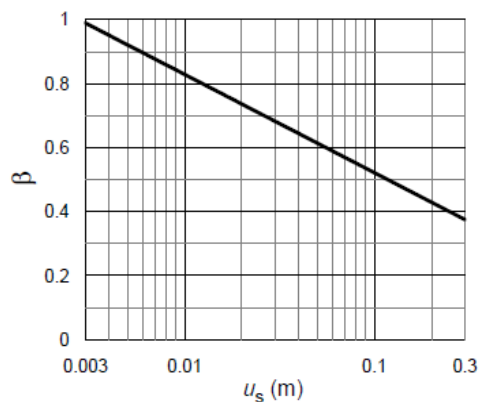


Figura 5.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

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

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

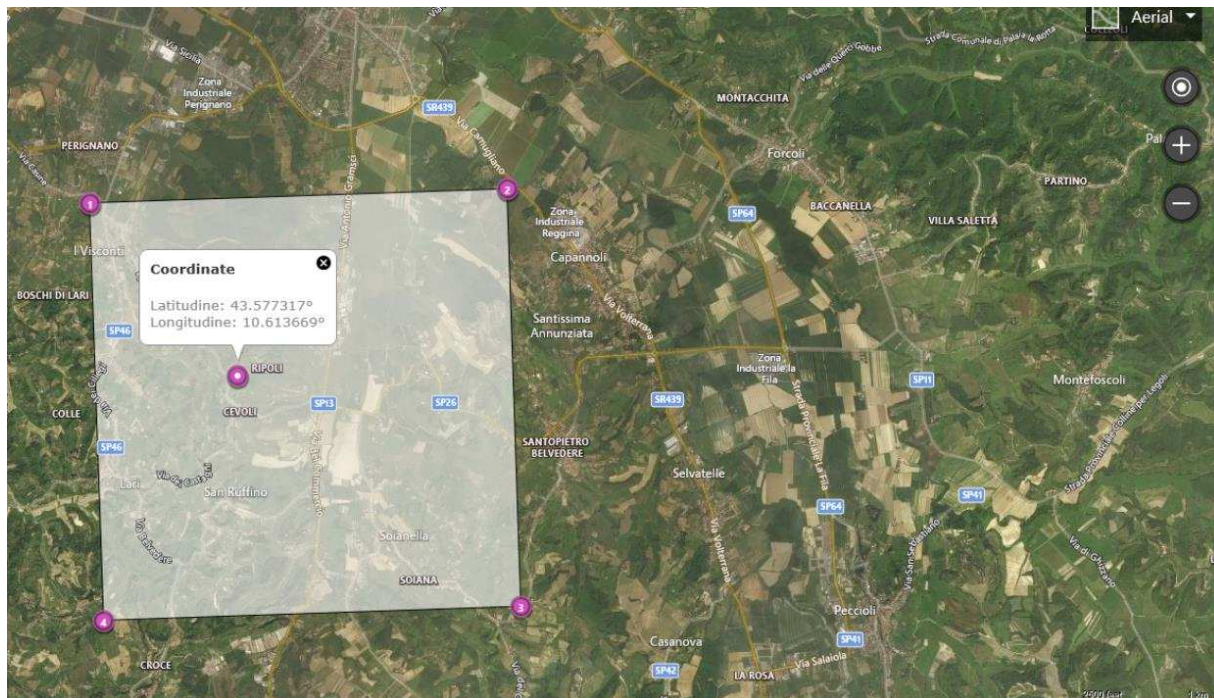
dove:

$S$  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 Cevoli, Comune di Casciana Terme Iari (PI), con realizzaizone 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

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| Latitude (WGS84):  | 43.5773163 [°] |
| Longitude (WGS84): | 10.6136694 [°] |
| Latitude (ED50):   | 43.5782852 [°] |
| Longitude (ED50):  | 10.6146641 [°] |

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 (ED50)<br>[°] | Longitudine<br>(ED50)<br>[°] | Distanza<br>[m] |
|-------|-------|--------------------------|------------------------------|-----------------|
| 1     | 20715 | 43.598940                | 10.590330                    | 3019.25         |
| 2     | 20716 | 43.600620                | 10.659340                    | 4372.01         |
| 3     | 20938 | 43.550650                | 10.661650                    | 4875.92         |
| 4     | 20937 | 43.548970                | 10.592690                    | 3709.49         |

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           | 0.043     | 2.519     | 0.230      |
| SLD          | 50           | 0.056     | 2.488     | 0.244      |
|              | 72           | 0.066     | 2.463     | 0.252      |
|              | 101          | 0.077     | 2.447     | 0.256      |
|              | 140          | 0.089     | 2.436     | 0.260      |
|              | 201          | 0.103     | 2.436     | 0.263      |
| SLV          | 475          | 0.140     | 2.458     | 0.272      |
| SLC          | 975          | 0.175     | 2.504     | 0.279      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.559     | 0.291      |

#### Punto 2

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 30           | 0.044     | 2.506     | 0.231      |
| SLD          | 50           | 0.057     | 2.495     | 0.246      |
|              | 72           | 0.067     | 2.469     | 0.253      |
|              | 101          | 0.078     | 2.459     | 0.257      |
|              | 140          | 0.090     | 2.444     | 0.261      |
|              | 201          | 0.104     | 2.443     | 0.264      |
| SLV          | 475          | 0.141     | 2.464     | 0.274      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.509     | 0.280      |
|              | 2475         | 0.226     | 2.563     | 0.292      |

#### 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     | 2.501     | 0.230      |
| SLD          | 50           | 0.057     | 2.484     | 0.245      |
| SLV          | 475          | 0.141     | 2.463     | 0.273      |
| SLC          | 975          | 0.176     | 2.507     | 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°

### 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> ] | 0.647 | 0.834 | 2.057 | 2.484 |
| Beta                     | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |

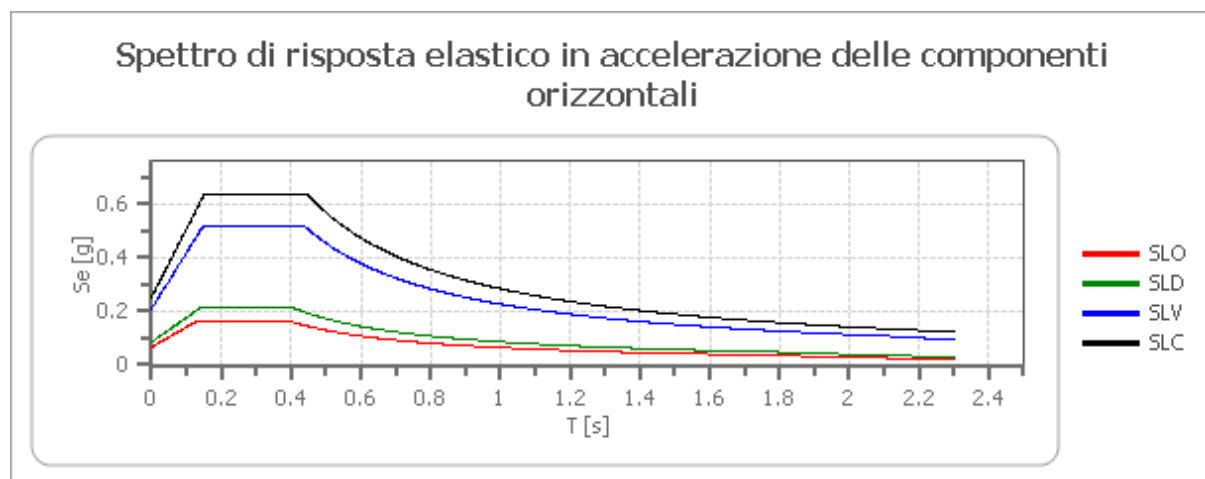
### Muri di sostegno NTC 2018

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | --    | 0.040 | 0.080 | --    |
| kv                       | --    | 0.020 | 0.040 | --    |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.647 | 0.834 | 2.057 | 2.484 |
| Beta                     | --    | 0.470 | 0.380 | --    |

### Fronti di scavo e rilevati

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | --    | 0.040 | 0.080 | --    |
| kv                       | --    | 0.020 | 0.040 | --    |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.647 | 0.834 | 2.057 | 2.484 |
| Beta                     | --    | 0.470 | 0.380 | --    |

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

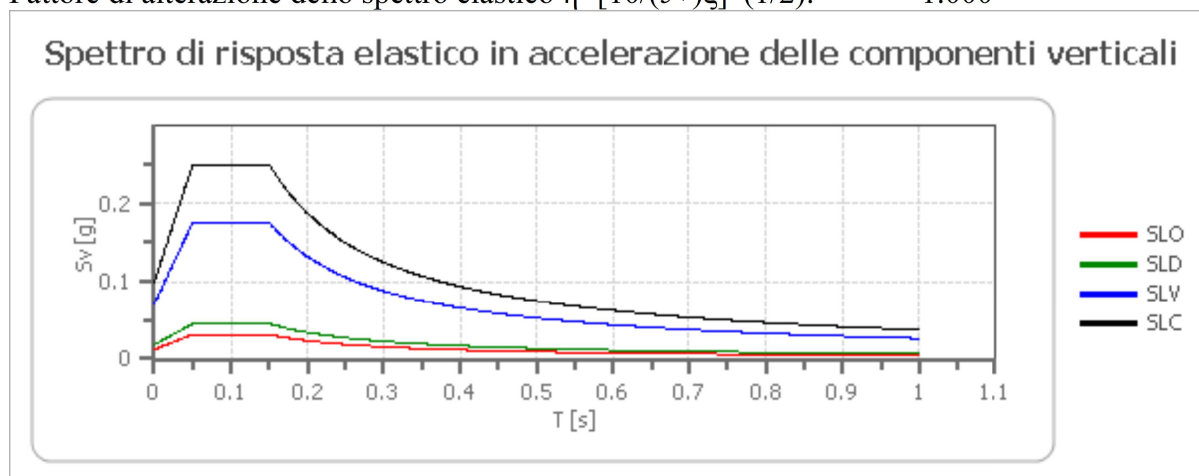


|     | cu  | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-] | $\eta$<br>[-] | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Se(0)<br>[g] | Se(T<br>B)<br>[g] |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------------|
| SLO | 1.0 | 0.044     | 2.501     | 0.230      | 1.500     | 1.710     | 1.000     | 1.500    | 1.000         | 0.131     | 0.393     | 1.776     | 0.066        | 0.165             |
| SLD | 1.0 | 0.057     | 2.484     | 0.245      | 1.500     | 1.670     | 1.000     | 1.500    | 1.000         | 0.136     | 0.409     | 1.827     | 0.085        | 0.211             |
| SLV | 1.0 | 0.141     | 2.463     | 0.273      | 1.490     | 1.610     | 1.000     | 1.490    | 1.000         | 0.146     | 0.439     | 2.163     | 0.210        | 0.517             |
| SLC | 1.0 | 0.176     | 2.507     | 0.280      | 1.440     | 1.600     | 1.000     | 1.440    | 1.000         | 0.149     | 0.448     | 2.304     | 0.253        | 0.635             |

### 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 | 0.044     | 2.501     | 0.230      | 1         | 1.710     | 1.000     | 1.000    | 1.000         | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.012        | 0.031             |
| SLD | 1.0 | 0.057     | 2.484     | 0.245      | 1         | 1.670     | 1.000     | 1.000    | 1.000         | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.018        | 0.045             |
| SLV | 1.0 | 0.141     | 2.463     | 0.273      | 1         | 1.610     | 1.000     | 1.000    | 1.000         | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.071        | 0.176             |
| SLC | 1.0 | 0.176     | 2.507     | 0.280      | 1         | 1.600     | 1.000     | 1.000    | 1.000         | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.100        | 0.250             |

### Spettro di progetto

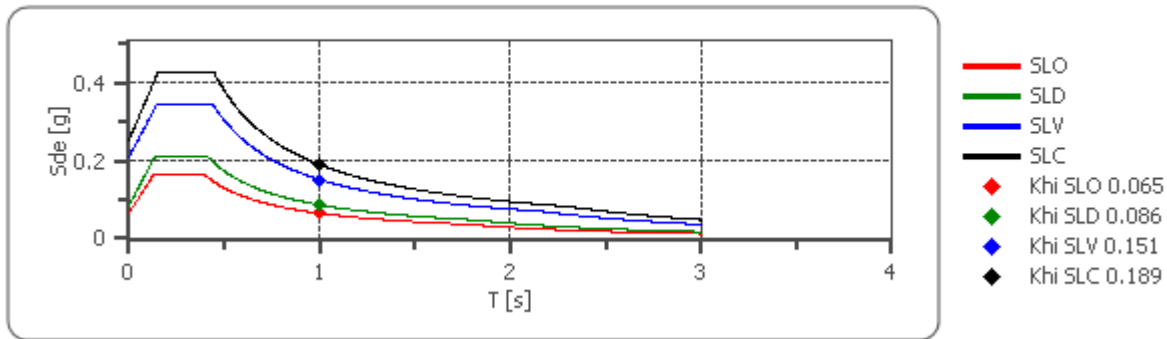
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50

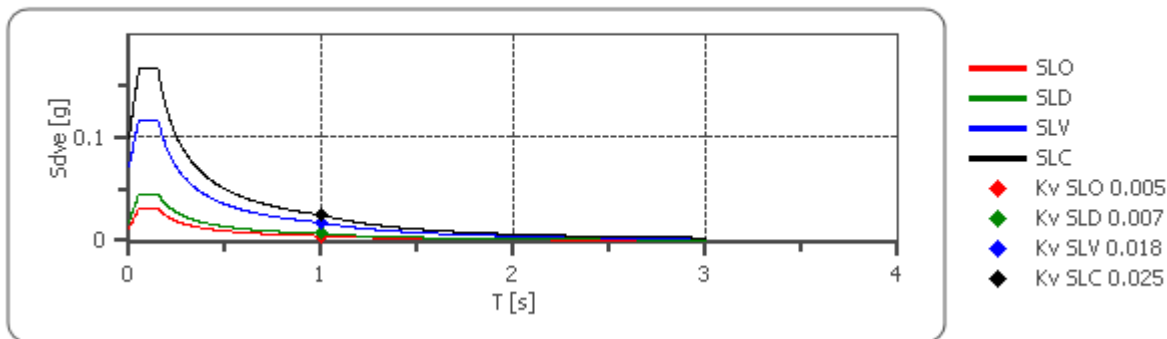
Periodo fondamentale T: 1.00 [s]

|                                 | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| khi = Sde(T)<br>Orizzontale [g] | 0.065 | 0.086 | 0.151 | 0.189 |
| 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>[g] | Sd(T<br>B)<br>[g] |
|------------------------|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------------|
| SLO<br>orizz<br>ontale | 1.0 | 0.044     | 2.501     | 0.230      | 1.500     | 1.710     | 1.000     | 1.500    | 1.000    | 0.131     | 0.393     | 1.776     | 0.066        | 0.165             |
| SLO<br>vertic<br>ale   | 1.0 | 0.044     | 2.501     | 0.230      | 1.500     | 1.710     | 1.000     | 1.000    | 1.000    | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.012        | 0.031             |
| SLD<br>orizz<br>ontale | 1.0 | 0.057     | 2.484     | 0.245      | 1.500     | 1.670     | 1.000     | 1.500    | 1.000    | 0.136     | 0.409     | 1.827     | 0.085        | 0.211             |
| SLD<br>vertic<br>ale   | 1.0 | 0.057     | 2.484     | 0.245      | 1.500     | 1.670     | 1.000     | 1.000    | 1.000    | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.018        | 0.045             |
| SLV<br>orizz<br>ontale | 1.0 | 0.141     | 2.463     | 0.273      | 1.490     | 1.610     | 1.000     | 1.490    | 1.500    | 0.146     | 0.439     | 2.163     | 0.210        | 0.345             |
| SLV<br>vertic<br>ale   | 1.0 | 0.141     | 2.463     | 0.273      | 1.490     | 1.610     | 1.000     | 1.000    | 1.500    | 0.050     | 0.150     | 1.000     | 0.071        | 0.117             |
| SLC<br>orizz<br>ontale | 1.0 | 0.176     | 2.507     | 0.280      | 1.440     | 1.600     | 1.000     | 1.440    | 1.500    | 0.149     | 0.448     | 2.304     | 0.253        | 0.423             |

|                      |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SLC<br>vertic<br>ale | 1.0 | 0.176 | 2.507 | 0.280 | 1.440 | 1.600 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 0.050 | 0.150 | 1.000 | 0.100 | 0.166 |
|----------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

## Indice

|                                                                                 |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Pericolosità sismica di base.....                                               | 2                 |
| Parametri di pericolosità sismica.....                                          | 2                 |
| Pericolosità sismica di sito.....                                               | 5                 |
| Coefficienti sismici.....                                                       | 5                 |
| Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali..... | 5                 |
| Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.....   | 6                 |
| Spettro di progetto.....                                                        | 6                 |
| Indice.....                                                                     | <a href="#">9</a> |