

Committente: Amm. Comunale di Empoli



Relazione geologica, modellazione sismica e modellazione geotecnica relativa al progetto definitivo – esecutivo di costruzione di nuovi loculi nel Cimitero di Fontanella, nel comune di Empoli (FI) e relazione idrogeologica di supporto alla richiesta di Autorizzazione ai fini del Vincolo idrogeologico.

Novembre 2019

Indice

0 – PREMESSA.....	1
1. - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	3
2 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO	4
2.1 - Descrizione del luogo	4
2.2 – Geomorfologia	4
2.3 - Geologia	5
2.4 – Inquadramento idrogeologico generale.	5
2.5 - Studi di supporto agli S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell'area e sulla fattibilità dell'intervento	5
3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI	7
3.1 - Criteri di indagine.....	7
3.2 - Descrizione delle indagini con standards di riferimento delle varie prove	7
3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche.....	8
3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.....	9
3.5 – Categoria di sottosuolo	9
3.6 – Idrogeologia di dettaglio e condizioni piezometriche.....	11
3.7 - Potenziale di liquefazione dei terreni.....	11
4 – MODELLAZIONE SISMICA	11
5 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	14
5.1– Parametri caratteristici e di progetto.....	14
5.2–Contributo alle Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU).....	16
5.2.1 Caratteristiche delle fondazioni e quota d'imposta	16
5.2.2 Calcolo del valore di progetto della resistenza del terreno (Rd).....	16
5.3 - Contributo alla verifica allo Stato Limite di Esercizio (SLE) – Stima dei cedimenti.....	19
5.4 – Considerazioni sulla stabilità dei fronti di scavo e sulla gestione dei materiali di risulta degli scavi.....	20
6 – VINCOLO IDROGEOLOGICO (D.P.G.R. N.48/R DEL 08/08/2003 e s.m.i.): CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI TERRENI E SULL'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	21

ELABORATI CARTOGRAFICI

ALLEGATI

Allegato 1: certificati prova penetrometrica

Allegato 2: indagine sismica M.A.S.W.

Allegato 3: Verifiche di stabilità stato attuale e di progetto

RELAZIONE GEOLOGICA, MODELLAZIONE SISMICA E MODELLAZIONE GEOTECNICA RELATIVA AL PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO DI COSTRUZIONE DI NUOVI LOCULI NEL CIMITERO DI FONTANELLA, NEL COMUNE DI EMPOLI (FI) E RELAZIONE IDROGEOLOGICA DI SUPPORTO ALLA RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE AI FINI DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO.

0 – PREMESSA.

Per incarico del Comune di Empoli vengono esposti e commentati i risultati dell'indagine geologica, geotecnica e sismica a supporto al progetto definitivo-esecutivo di costruzione di nuovi loculi nel Cimitero situato lungo la Strada Provinciale Salaiola, in Loc. Fontanella, nel Comune di Empoli (FI). Vengono inoltre eseguite le opportune valutazioni di carattere geomorfologico, idrogeologico e sulla stabilità dei terreni di supporto alla richiesta di autorizzazione ai fini del Vincolo idrogeologico.

L'intervento riguarda la realizzazione di n.65 loculi, ciascuno con dimensione 75x250x60 cm, nei terreni posti a NE dell'attuale Cimitero, con ingombro in pianta di circa 8,5x7 m ed altezza 4 m.

Per maggiori dettagli riguardo le specifiche tecniche degli interventi si rimanda agli elaborati progettuali a cura dei Tecnici del Settore Lavori Pubblici Comunale.

Tale elaborato è stato redatto ai sensi del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) ed è finalizzato alla caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito ed a fornire un contributo, in relazione ai suddetti modelli, alle verifiche della sicurezza e delle prestazioni attese (SLU e SLE del D.M. 17/01/2018).

Le verifiche finali agli SLU e agli SLE dovranno essere eseguite, tenendo in considerazione i dati della presente relazione, da specifica professionalità (ingegnere strutturale), che esula da quella dello scrivente.

In particolare, il presente elaborato ricostruisce il modello geotecnico del sottosuolo, definendone i parametri caratteristici e il comportamento geomeccanico del volume di terreno direttamente o indirettamente interessato, in ottemperanza all'art. 6 del D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009.

Tenuto conto della complessità, dell'importanza, della rilevanza, dell'uso dell'opera da realizzare e delle conseguenze che l'intervento in progetto può produrre sulle aree circostanti è stata realizzata un'opportuna indagine geognostica che ha permesso, con le metodologie più idonee in

relazione al contesto geologico in esame, di indagare (sia in superficie che in profondità) il volume di terreno significativo.

La classe d'indagine geologica, geofisica e geotecnica dell'intervento in progetto, così come definita all'art. 7 comma 3 del D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009, è la seguente:

classe di indagine n.2, riferita alle opere di volume lordo inferiore a millecinquecento metri cubi con altezza in gronda inferiore a dieci metri. Con riferimento a tale classe d'indagine, la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, o mediante prove geotecniche elaborate mediante le metodologie ufficialmente riconosciute. Le indagini sono effettuate nel sito oggetto di studio o in aree adiacenti caratterizzati dagli stessi contesti geologici, geomorfologici e geotecnici. In presenza di problematiche di versante è prodotta altresì la verifica di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio.

Si fa presente inoltre che l'area in esame è soggetta al Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/1923, L.R. 39/00 – D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.).

1. - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La presente nota è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018 – Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n.7.

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. – Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007.

- Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

- Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali - UNI

- Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI

- Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI

- D.P.G.R. 09/07/2009 N.36/R

Regolamento di Attuazione dell'art.117, commi 1 e 2 della L.R. 1/2005 – Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggetto a rischio sismico.

- D.P.C.M. 06/05/2005

Piano di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) - Stralcio Assetto Idrogeologico.

- D.L. n. 152 del 03/03/2006 e s.m.i.

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) – Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

– L.R. 39/2000 e D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.

Legge Forestale e Regolamento Forestale della Toscana. Si fa presente, che l'area in esame risulta soggetta al Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/1923).

- Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico Comunale

Inoltre, la presente relazione è stata redatta secondo le *“Raccomandazioni per la redazione della Relazione Geologica ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni”*, redatte da Centro Studi del C.N.G.

2 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO DI INTERVENTO

2.1 - Descrizione del luogo

L'area in esame (figg. 1-1a) sorge nella porzione sud del territorio comunale di Empoli (FI), al confine con il Comune di Castelfiorentino, ad una distanza di circa 6,5 km in direzione Sud rispetto al centro urbano di Empoli, in prossimità della Località Fontanella, lungo la Strada Provinciale Salaiola.

Dal punto di vista morfologico l'area si colloca sui terreni Pliocenici, in destra idrografica del Fiume Elsa, a circa 420 m in direzione Est dall'asta fluviale, ad una quota di circa 81 m s.l.m..

2.2 – Geomorfologia

Per avere un inquadramento generale delle caratteristiche geomorfologiche dell'area d'intervento, partendo dall'acquisizione della carta geomorfologica del Piano Strutturale, è stato effettuato un rilievo speditivo di campagna in prossimità dell'area di proprietà della committenza e in un congruo intorno di esso.

Dal punto di vista morfologico, l'area è ubicata su un rilievo collinare pliocenico, in prossimità della zona di crinale, che si sviluppa circa in direzione NE-SW, caratterizzata da basse pendenze.

Immediatamente a valle del comparto, sul versante che degrada verso N-W, le pendenze aumentano e si rileva a valle una scarpata morfologica, comunque ad oggi priva di dissesti. Sui versanti circostanti si rilevano forme erosive e di tipo gravitativo, che risultano comunque esterni al comparto di interesse s.s. (fig.2).

Allo stato attuale di indagine non si rilevano fenomeni morfogenetici di natura gravitativa attivi e/o quiescenti interessanti direttamente il comparto oggetto di intervento.

Si segnala tuttavia immediatamente a valle del comparto d'intervento, la presenza di una scarpata morfologica e di versante con pendenze di circa 1i 25-30 %.

2.3 - Geologia

Nell'area indagata si rileva un'unica unità litologica riferibile al Pliocene (fig. 3):

- *Argille azzurre (FAA)*

Tale unità litologica è formata da terreni argille grigie e turchine, plastiche, con intercalazioni discontinue di sabbie fini più o meno limose che aumentano nelle porzioni superiori della successione. La stratificazione è poco frequente.

Dal punto di vista litotecnico tali terreni risultano avere caratteristiche geotecniche discrete, come osservabile dalla fig. 3a.

2.4 – Inquadramento idrogeologico generale.

Per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nell'area d'intervento, si rileva che l'unità delle argille azzurre plioceniche è caratterizzata nel complesso da una permeabilità bassa (fig.3c), priva di circolazione idrica significativa.

Non si esclude tuttavia la possibilità che si formino piccole falde temporanee superficiali a carattere stagionale o livelli umidi nei primi metri di profondità, in corrispondenza del contatto tra materiali dotati di diverso grado di permeabilità.

Si esclude che l'eventuale intervento di ampliamento del cimitero alteri l'attuale regime idrogeologico dell'area (in ottemperanza a quanto stabilito dall'art. 75 comma 5 del D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.– Regolamento Forestale della Toscana).

2.5 - Studi di supporto agli S.U.G.: considerazioni sulla pericolosità dell'area e sulla fattibilità dell'intervento

Per quanto concerne la pericolosità geologica dell'area in studio, dagli elaborati della Variante al Piano Strutturale del 2013 (Carta della Pericolosità Geologica redatta ai sensi del DPGR 53/R/2011), l'area di intervento si colloca per la sua totalità all'interno di un'area per la quale è stata individuata una classe:

G2 di "pericolosità geologica media" (fig. 4)

Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici, giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 20%.

Come da normativa vigente, oltre allo S.U. comunale, sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per il Piano Stralcio Assetto

Idrogeologico - P.A.I., adottato con DPCM del 06/05/05. Da tali elaborati (Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante – Livello di sintesi – scala 1:25.000) risulta che il comparto interessato dall'intervento in progetto, ricada nelle perimetrazioni **PF2** riguardanti le aree a pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana rispettivamente **media** (fig. 4a).

Per quanto concerne la pericolosità idraulica, dalla Carta di Pericolosità idraulica del P.S., per l'area d'intervento è stata individuata la classe I1 di "pericolosità idraulica bassa", ai sensi del DPGR 53/R/2011 (fig. 4b), mentre nella scheda di fattibilità è indicata una pericolosità idraulica media I.2.

Come da normativa vigente, inoltre, sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per il Piano Gestione del Rischio Alluvioni - P.G.R.A., adottato con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 e approvato con la delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 03/03/2016.

L'area interessata dall'intervento in progetto risulta esclusa da tali perimetrazioni.

Per quanto concerne la pericolosità sismica, dalla scheda di fattibilità del Secondo Regolamento Urbanistico, per l'area d'intervento è stata individuata la classe S2 di "pericolosità sismica locale media", ai sensi del DPGR 53/R (fig. 5).

Fattibilità

La scheda di fattibilità delle Opere Pubbliche specifica per l'intervento di ampliamento del cimitero in loc. Fontanelle (Scheda n. 10 del RU vigente - Fig.5), contenuta nella Relazione Geologica di Fattibilità del vigente Secondo Regolamento Urbanistico Comunale, individua le seguenti classi di fattibilità per l'intervento in progetto:

Condizioni di Fattibilità Geologico-Tecnica: F2 *Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto*

Condizioni di Fattibilità Idraulica: F2 *Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto*

Condizioni di Fattibilità Sismica: F1 *Fattibilità senza particolari limitazioni*

3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

3.1 - Criteri di indagine

Tenendo in considerazione le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del luogo di intervento, nonché tutte le prescrizioni della normativa e quelle derivate da strumenti sovraordinati di gestione del territorio, ai fini della definizione del modello geologico di sintesi per la progettazione è stata eseguita una specifica campagna geognostica nell'area d'interesse.

In particolare, è stata realizzata una prova penetrometrica statica (P1) centrata in corrispondenza dell'area dove sarà realizzato l'ampliamento.

Al fine di determinare la categoria di suolo del terreno di fondazione attraverso il calcolo del parametro V_{seq} , in riferimento all'Ordinanza P.C.M. n°3274/04 ed al D.M. 17/01/2018 ed al DPGR 36/R del 09/07/2009, è stata realizzata un'indagine geofisica mediante M.A.S.W., eseguita in adiacenza al comparto d'intervento.

Per i certificati dell'indagine geofisica si rimanda all'allegato 2 della presente nota.

Per l'ubicazione dei suddetti punti d'indagine si rimanda alla figura 6.

3.2 - Descrizione delle indagini con standards di riferimento delle varie prove

L'apparecchio utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche è un penetrometro statico/dinamico da 20 tonnellate.

La prova penetrometrica condotta in modo statico consente l'infissione nel terreno, a mezzo di un martinetto idraulico, della punta conica tipo "Begemann" misurando ai manometri ogni 20 cm la resistenza alla penetrazione, l'attrito laterale locale, il rapporto di attrito e la pressione totale di spinta.

Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati. In particolare, il rapporto di attrito fornisce un'indicazione della granulometria e consente quindi di distinguere i terreni coesivi dai terreni incoerenti attraverso il diagramma di Searle. Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati.

La prova P1 si è arrestata alla profondità di -9,80 da p.c., in corrispondenza del rifiuto strumentale all'avanzamento. Il foro penetrometrico è stato attrezzato con piezometro per rilevare la presenza di eventuali livelli acquiferi.

Il certificato della prova penetrometrica è riportato in allegato 1.

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della

misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo.

La metodologia di acquisizione si sviluppa in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro V_s , eq.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo delle analisi della prova MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro V_{s30} relativi al sottosuolo del sito indagato.

3.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche.

Sulla base dei dati scaturiti dalle indagini eseguite, si riporta di seguito l'assetto stratigrafico e litologico, verosimilmente ricostruito, dei terreni presenti nell'area oggetto di studio.

Dalle risultanze delle indagini eseguite è emersa una situazione stratigrafica costituita da terreni pliocenici dotati di caratteristiche geotecniche da medie a buone.

In particolare, al di sotto di un sottile strato di terreno rimaneggiato dello spessore massimo di - 1,00 m da p.c. in P1, sono stati attraversati terreni limoso argillosi da compatti a molto compatti fino alla profondità di -9,00 m da p.c.. Al di sotto di tale livello vengono intercettati limi sabbiosi molto consistenti fino alla profondità di f.f. -9,80 m da p.c..

In sintesi, nell'area in cui è previsto l'intervento di ampliamento in progetto si possono raggruppare le seguenti unità litologico-stratigrafiche:

1 - Terreno rimaneggiato (spessore di 1,00 m);

2 – limi argillosi da compatti a molto compatti (dalla base dell'orizzonte 1 fino alla profondità di -9,00 m dal p.c.);

3 – limi sabbiosi molto consistenti (dalla base dell'orizzonte 2 fino alla massima profondità indagata, di -9,80 m dal p.c. attuale raggiunta in P1).

3.4 – Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Le indagini in situ eseguite hanno permesso di attribuire i seguenti parametri geotecnici agli orizzonti sopra definiti, in termini di valori caratteristici come indicato nelle NTC (6.2.2).

Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ (°)	Cu (KN/m ²)	C' (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato	0,00÷-1,00	-	-	-	-	-
2	limi argillosi da compatti a molto compatti	-1,00÷-9,00	22	130	10	18.000	18,5
3	limi sabbiosi molto consistenti	-9,00÷-9,80 Rif.	30	150	5	30.000	18,5

dove:

ϕ = angolo di attrito

Cu= coesione non drenata

C'=Coesione efficace

Ed= modulo edometrico

γ = peso di volume del terreno

3.5 – Categoria di sottosuolo

Al punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche), per la definizione dell'azione sismica di progetto si afferma che:

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 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 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In base ai risultati della campagna geognostica ed in particolare dell'indagine sismica eseguita nel comparto d'intervento, il volume di terreno indagato risulta costituito da terreni a grana fine consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità. Inoltre, il profilo di velocità delle onde S mostra una profondità del substrato sismico $H > 30$ m, pertanto, ponendo $H = 30$ m in base a quanto specificato al punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018, è stato calcolato il parametro:

$$V_{Seq} = 308 \text{ m/s}$$

In riferimento al D.M. 17/01/2018, per il terreno indagato, dall'analisi della $V_{S,eq}$ considerata a partire dall'intradosso della fondazione e verificando la congruenza con la descrizione stratigrafica della tabella sopra (3.2. II NTC 2018), è stato stimato un sottosuolo di **categoria "C"**, ovvero si tratta di "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."

3.6 – Idrogeologia di dettaglio e condizioni piezometriche

Non sono stati intercettati livelli acquiferi durante la realizzazione delle prove geognostiche.

Non si esclude comunque che a seguito di periodi piovosi e per infiltrazione di acque pluviali dallo strato più superficiale di terreno rimaneggiato possano formarsi livelli umidi e/o piccole falde a carattere temporaneo in corrispondenza degli orizzonti di terreno dotati di un diverso grado di permeabilità.

Sulla base delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni, nonché delle specifiche progettuali dell'intervento, si ritiene che l'esecuzione dell'opera non comporti alterazioni del regime idrogeologico dell'area (in ottemperanza con quanto stabilito dall'art. 75 comma 5 del D.P.G.R. n. 48/R del 08/08/2003 – Regolamento Forestale della Toscana).

3.7 - Potenziale di liquefazione dei terreni

In considerazione dell'assetto litostratigrafico e geotecnico riscontrato nel comparto d'intervento e in un intorno significativo di esso, che risulta contraddistinto dall'assenza di sabbie sciolte sottofalda, si ritiene nulla o molto remota la probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione. Non sono state pertanto eseguite le specifiche verifiche a liquefazione.

4 – MODELLAZIONE SISMICA

È stata approvata la nuova classificazione sismica della Regione Toscana con Del. G.R.T. n. 421 del 26/05/2014 (pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04/06/2014).

In riferimento a tale classificazione sismica, il **comune di Empoli (FI) è classificato in zona sismica 3.**

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/08 e nel successivo aggiornamento del D.M. 17/01/18, la stima della pericolosità sismica viene inoltre definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite è definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale per la determinazione dell'azione sismica. In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale del valore dell'accelerazione massima a_g al sito e dei parametri (F_0 e T_c^*), che permettono di definire gli spettri di riposta elastici per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR.

È necessario pertanto determinare i parametri spettrali relativi al sito di intervento utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tab. 1 dell'allegato B del suddetto decreto.

Lo scuotimento al suolo così individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie:

- Categoria di sottosuolo **C**
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica $SS= 1,5$ (tabella 3.2.IV - NTC)
- Coefficiente di amplificazione topografica $ST= 1,20$ (tabella 3.2.V - NTC per categoria topografica T2 in tabella 3.2.III)

Tipo di costruzione	2
Vita nominale VN	≥ 50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso Cu	1,0
Vita o periodo di riferimento VR=VN x Cu	≥ 50 anni

Partendo dunque dai seguenti dati relativi alla costruzione in oggetto:

per il sito di interesse sono stati ricavati, mediante l'utilizzo del programma di calcolo della GeoStru, i seguenti parametri sismici:

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,659292

longitudine: 10,946514

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 20498 Lat: 43,6570 Lon: 10,9333 Distanza: 1097,578

Sito 2 ID: 20499 Lat: 43,6584 Lon: 11,0023 Distanza: 4489,532

Sito 3 ID: 20277 Lat: 43,7084 Lon: 11,0002 Distanza: 6964,143

Sito 4 ID: 20276 Lat: 43,7069 Lon: 10,9311 Distanza: 5439,638

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,044 g

Fo: 2,560

Tc*: 0,246 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,054 g

Fo: 2,566

Tc*: 0,256 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,128 g

Fo: 2,506

Tc*: 0,282 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,163 g

Fo: 2,500

Tc*: 0,287 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,670

St: 1,200

Kh: 0,016

Kv: 0,008

Amax: 0,771

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,650

St: 1,200

Kh: 0,019

Kv: 0,010

Amax: 0,955

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500

Cc: 1,590

St: 1,200

Kh: 0,055

Kv: 0,028

Amax: 2,253

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,460

Cc: 1,590

St: 1,200

Kh: 0,069

Kv: 0,034

Amax: 2,802

Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.658329

longitudine: 10.945526

5 - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

5.1– Parametri caratteristici e di progetto

In relazione alle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni superficiali, nonché delle condizioni geomorfologiche al contorno, per la realizzazione dell'ampliamento saranno realizzate fondazioni profonde, con pali indicativamente di diametro pari a $\phi=600$ mm e lunghezza $L=10$ m. La testa dei

pali si attesterà alla profondità di circa -1,00 m da p.c. attuale in P1, comunque al di sotto del terreno rimaneggiato presente.

Per la scelta progettuale definitiva e la geometria esatta del palo di fondazione, si rimanda alle valutazioni dell'ingegnere strutturale.

Si riporta nuovamente di seguito la tabella in paragrafo 3.4, con le unità litotecniche di riferimento per le necessarie verifiche:

Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ (°)	Cu (KN/m ²)	C' (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato	0,00÷-1,00	-	-	-	-	-
2	limi argillosi da compatti a molto compatti	-1,00÷-9,00	22	130	10	18.000	18,5
3	limi sabbiosi molto consistenti	-9,00÷-9,80 Rif.	30	150	5	30.000	18,5

dove:

ϕ = angolo di attrito

Cu = coesione non drenata

C' = Coesione efficace

Ed = modulo edometrico

γ = peso di volume del terreno

Le resistenze di progetto necessarie per le verifiche della sicurezza (SLU) saranno calcolate tramite formule statiche con la determinazione analitica separata della Resistenza di base (Qb) e della resistenza laterale (Qs) del palo, per le seguenti unità litotecniche:

- **Qs1: Orizzonte 2 – limi argillosi da compatti a molto compatti** (tra testa palo e -9,00 m da p.c. per L palo = 10 m) caratterizzata dai seguenti parametri caratteristici (Vk):
 - Cu = coesione non drenata = 130 kPa
 - C'k = coesione drenata = 10 kPa
 - ϕ_k = angolo di attrito = 22°
 - γ = peso di volume del terreno = 18,5 kN/m³
 - γ' = peso di volume del terreno immerso = 8,5 kN/m³ (in via cautelativa da -5,00 m da p.c.)

- **Qs2 e Qb: Orizzonte 3 – limi sabbiosi molto consistenti** (tra -9,00 m e -10 m da p.c. per L palo = 10 m) caratterizzata dai seguenti parametri caratteristici (Vk):
 - Cu = coesione non drenata = 150 kPa
 - C'k = coesione = 5 kPa
 - ϕ_k = angolo di attrito = 30°
 - γ = peso di volume del terreno = 18,5 kN/m³
 - γ' = peso di volume del terreno immerso = 8,5 kN/m³ (in via cautelativa da -5,00 m da p.c.)

La fattibilità e parametrizzazione geotecnica proposti sono basati sulla campagna d'indagine eseguita, la cui natura puntuale rende obbligatoria la verifica delle assunzioni fatte, in fase di esecuzione dei lavori; **si prescrive quindi l'assistenza geologica durante l'esecuzione degli scavi**. Si ricorda che eventuali difformità rispetto alle ipotesi progettuali comporteranno necessariamente una verifica dei dimensionamenti previsti. Lo scrivente si rende comunque fin da ora disponibile a fornire integrazioni a quelle attuali secondo le diverse esigenze della Committenza, del Progettista Geotecnico (in merito alla necessità di una maggiore definizione della campagna geognostica ai fini della caratterizzazione-modellazione geotecnica), della Direzione Lavori e degli uffici preposti alla disamina della pratica in oggetto.

5.2–Contributo alle Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU)

5.2.1 Caratteristiche delle fondazioni e quota d'imposta

Come contributo alle verifiche allo SLU viene stimata la resistenza di progetto di un singolo palo di fondazione. Per quanto riguarda le verifiche finali, che tengano conto anche delle azioni, si rimanda ai calcoli del progettista strutturale.

- Tipologia fondazione: PALI TRIVELLATI
- Diametro palo (d): 0,60 m
- Lunghezza palo (L): 10,0 m

5.2.2 Calcolo del valore di progetto della resistenza del terreno (Rd)

Il valore di progetto della resistenza di un singolo palo in termini di tensioni totali è stato stimato mediante formule statiche, con la determinazione analitica separata della Resistenza di base (Q_b) e della resistenza laterale (Q_s) del palo. Tali termini vengono determinati separatamente e nell'ipotesi che l'uno non influenzi l'altro.

Avremo quindi:

$$Q_{lim} = Q_b + \sum Q_s$$

con

$$Q_b = A_b (\sigma'_v N_q + C N_c)$$

$$Q_s = A_s \alpha C_u \quad \text{per terreni coesivi}$$

$$Q_s = A_s K_s \sigma'_{vi} \operatorname{tg} \delta \quad \text{per terreni granulari}$$

dove:

A_b = area di base del palo

A_s = area laterale del palo

σ'_v = pressione verticale efficace alla punta del palo

σ'_{vi} = pressione verticale efficace a metà dell'*i*-esimo strato

N_q e N_c = fattori di capacità portante

C = coesione efficace

C_u = coesione non drenata

K_s = coefficiente di pressione laterale sull'interfaccia terra/palo

δ = angolo di attrito sull'interfaccia terra/palo

α = fattore di adesione laterale

Si sottolinea che in virtù della complessità di un'analisi che possa tener conto di tutti i fattori (geometria del palo, metodo di installazione del palo, ecc.) che concorrono alla valutazione della Q_{lim} , in questa sede si perverrà solo ad un valore indicativo, che dovrà comunque essere verificato da un ingegnere abilitato.

Secondo le nuove NTC, per le fondazioni su pali, le verifiche agli SLU devono essere effettuate nei confronti dei seguenti stati limite, quando pertinenti:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO)*

- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali
- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali
- Collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione
- Stabilità globale

- *SLU di tipo strutturale (STR)*

- Raggiungimento della resistenza dei pali
- Raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali

Nella presente relazione viene calcolato il valore delle resistenze nelle condizioni di progetto, come contributo esclusivamente alla verifica allo SLU per collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali. La verifica finale dovrà essere eseguita, tenendo in considerazione tutte le azioni, da parte del progettista strutturale.

La verifica alla stabilità globale deve essere effettuata secondo:

Approccio 1 – Combinazione 2: $DA1.2 = (A2+M1+R2)$

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo:

Approccio 2 – Combinazione 2: $DA2.1 = (A1+M1+R3)$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle (Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.VI)

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

In particolare, la resistenza di progetto R_d si ottiene a partire dal valore della resistenza caratteristica R_k , applicando i coefficienti γ_r della tabella 6.4.II sopra riportata.

Il valore caratteristico della resistenza di un singolo palo, ottenuto con metodi di calcolo analitici, è dato dal minore dei valori di resistenza calcolati con i parametri geotecnici caratteristici, penalizzati dei coefficienti della tabella M1 (unitari), applicando i fattori di correlazione ξ riportati nella tabella 6.4.IV, funzione del numero di verticali indagate.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad [6.4.3]$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad [6.4.4]$$

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Di seguito si riportano in sintesi i diversi coefficienti di riduzione sopraindicati da applicare ed i risultati del calcolo delle resistenze di progetto (nella verifica allo SLU di collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali) nell'approccio e nella combinazione richiesta:

		γ_R		γ_M			ξ	
		γ_b	γ_s	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{c'}$	γ_{cu}	ξ_3	ξ_4
DA2.1	A1+M1+R3	1,35	1,15	1	1	1	1,65	1,55

		Qb(KN)	Qs(KN)	Rkp(KN)	Rks(KN)	Rdb(KN)	Rds(KN)	Rd (KN)
DA2.1	A1+M1+R3	1072	456	631	268	467	233	700

Si ribadisce che nella presente relazione viene calcolato il valore delle resistenze nelle condizioni di progetto, come contributo esclusivamente alla verifica allo SLU per collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali. Le verifiche finali dovranno essere eseguite, tenendo in considerazione tutte le azioni, da parte del progettista strutturale.

5.3 - Contributo alla verifica allo Stato Limite di Esercizio (SLE) – Stima dei cedimenti

In considerazione della tipologia di fondazione in progetto (pali), si stimano ragionevolmente cedimenti assoluti compatibili con le strutture in progetto e con i carichi di esercizio previsti ($Ed < Cd$ dove Ed sono gli spostamenti di progetto e Cd sono gli spostamenti compatibili).

Per quanto concerne le verifiche finali agli SLE e in particolare la stima dei cedimenti edometrici assoluti e differenziali e la valutazione della loro compatibilità con le strutture di progetto, si rimanda comunque ai calcoli dell'ingegnere progettista strutturale, una volta che saranno noti tutti i carichi di esercizio relativi all'intervento in progetto.

5.4 – Considerazioni sulla stabilità dei fronti di scavo e sulla gestione dei materiali di risulta degli scavi.

In considerazione della necessità di eseguire uno sbancamento con altezza massima prevista di circa 1,00 m non si è ritenuto necessaria l'esecuzione di specifiche verifiche sulla stabilità del fronte di scavo (art. 75, comma 3 del D.P.G.R. n. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i. - Regolamento di attuazione della L.R. n. 39 del 21/03/2000 "Legge Forestale della Toscana"- paragrafo 6.8 NTC).

Si specifica tuttavia che, per qualsiasi sbancamento con altezza superiore a 1,50 m sarà comunque opportuna l'adozione di misure preventive antiseppellimento per garantire la stabilità del fronte di scavo durante le fasi operative (paratia di pali ...) e soprattutto la sicurezza delle maestranze, in ottemperanza alla normativa vigente (D. Lgs. n°81/2008). Le opere da realizzare a sostegno delle pareti dello scavo dovranno essere dimensionate dal progettista strutturista tenendo in considerazione i parametri geotecnici caratteristici e di progetto.

Si ritiene opportuno comunque effettuare le operazioni di scavo in periodi non piovosi, operando per settori e non a fronte unico, oltre alla realizzazione a breve termine delle strutture stesse.

Lo stoccaggio definitivo e/o lo smaltimento del materiale di risulta degli scavi dovrà essere gestito nel rispetto della normativa vigente e in particolare del D.L. 152/06, D.Lgs. 4/2008 e s.m.i. e DPR 120/2017.

In particolare, ai sensi dell'art. 24, comma 4 del DPR 120/2017 ("Utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce escluse dalla disciplina rifiuti"), *in fase di progettazione esecutiva o comunque prima dell'inizio dei lavori,, il proponente o l'esecutore:*

effettua il campionamento dei terreni, nell'area interessata dai lavori, per la loro caratterizzazione al fine di accertarne la non contaminazione ai fini dell'utilizzo allo stato naturale, in conformità con quanto pianificato in fase di autorizzazione;

redige, accertata l'idoneità delle terre e rocce scavo all'utilizzo ai sensi e per gli effetti dell'articolo 185, comma 1, lettera c), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, un apposito progetto in cui sono definite:

- 1) le volumetrie definitive di scavo delle terre e rocce;*
- 2) la quantità delle terre e rocce da riutilizzare;*
- 3) la collocazione e durata dei depositi delle terre e rocce da scavo;*
- 4) la collocazione definitiva delle terre e rocce da scavo.*

Le analisi chimiche delle terre saranno conservate dal proponente e tenute a disposizione per eventuali controlli, in conformità al DPR 120/2017.

6 – VINCOLO IDROGEOLOGICO (D.P.G.R. N.48/R DEL 08/08/2003 e s.m.i.): CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI TERRENI E SULL'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA

In relazione alla vicinanza di un pendio, alle condizioni geomorfologiche al contorno, nonché in ottemperanza all'art. 75 comma 4 del D.P.G.R. n. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.- Regolamento di attuazione della L.R. n. 39 del 21/03/2000 "Legge Forestale della Toscana", sono state eseguite specifiche analisi di stabilità del versante, sia nello stato attuale che nelle condizioni di progetto (realizzazione ampliamento cimitero).

A tal proposito, partendo dunque dai parametri geotecnici ottenuti con le indagini geognostiche sopra descritte, dalla ricostruzione schematica della situazione in superficie e in profondità (stratigrafia), è stato utilizzato un programma di calcolo per l'analisi di stabilità dei pendii (SSAP 2010 Slope Stability Analysis Program).

È stata presa in esame la sezione di fig.6, nello stato attuale e simulando lo stato di progetto.

- *Verifica Stato Attuale*

Per lo stato attuale, la verifica di stabilità globale è stata effettuata in condizioni drenate (a lungo termine), tenendo conto anche delle condizioni di amplificazione sismica del sito.

La verifica allo stato attuale non evidenzia problemi di instabilità, coefficiente di sicurezza minimo sempre maggiore di 1,1 (F_s minimo= 1,4); la verifica allo SLU risulta quindi soddisfatta.

- *Verifica Stato di Progetto*

Per lo stato di progetto, la verifica di stabilità è stata effettuata in via cautelativa secondo Combinazione A2+M2+R2 (DA1.2) delle NTC 2018, in condizioni drenate (a lungo termine).

Si precisa che nella verifica di stabilità è stato applicato sulla testa del versante, in via cautelativa, un sovraccarico dovuto all'opera da realizzare, benché saranno realizzate fondazioni profonde.

La verifica allo stato di progetto non evidenzia problemi di instabilità, coefficiente di sicurezza minimo sempre maggiore di 1,1 (F_s minimo= 1,4); la verifica allo SLU risulta quindi soddisfatta.

Le verifiche di stabilità sono riportate in allegato 3.

In seguito agli approfondimenti realizzati in questa fase di studio relativamente alle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e litotecniche dei terreni d'interesse, si ritiene, che la realizzazione delle opere non comprometta e/o alteri la stabilità dei terreni in oggetto, né l'assetto idrogeologico dell'area.

Si raccomanda comunque di operare la redistribuzione dei terreni di scavo in loco mediante adeguata compattazione evitandone il posizionamento all'interno di fossi campestri e/o di impluvi esistenti (artt. 76 e 77 del D.P.G.R. n. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.- Regolamento di attuazione della L.R. n. 39 del 21/03/2000 "Legge Forestale della Toscana).

A livello di area complessiva si consiglia di operare una manutenzione periodica delle opere di raccolta esistenti.

In estrema sintesi, se saranno rispettati i condizionamenti indicati nella presente nota, la realizzazione degli interventi in progetto non altererà la stabilità dei terreni in oggetto, né l'assetto idrogeologico dell'area (art. 75 comma 4 e 5 del D.P.G.R. n. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.- regolamento forestale).

Certaldo, novembre 2019

IdroGeo Service S.r.l.
Engineering and Consulting

Il Direttore Tecnico
Dott. Geol.
Alessandro MURRATZU

Il Tecnico Responsabile
Dott. Geol.
Simone FIASCHI

Collaboratore Tecnico
Dott. Geol. Alice Ciulli

ELABORATI CARTOGRAFICI



Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 15.000

658.205,6

4.837.021



4.834.217

655.480,2

EPSG:25832

 area d'interesse

Fig.1

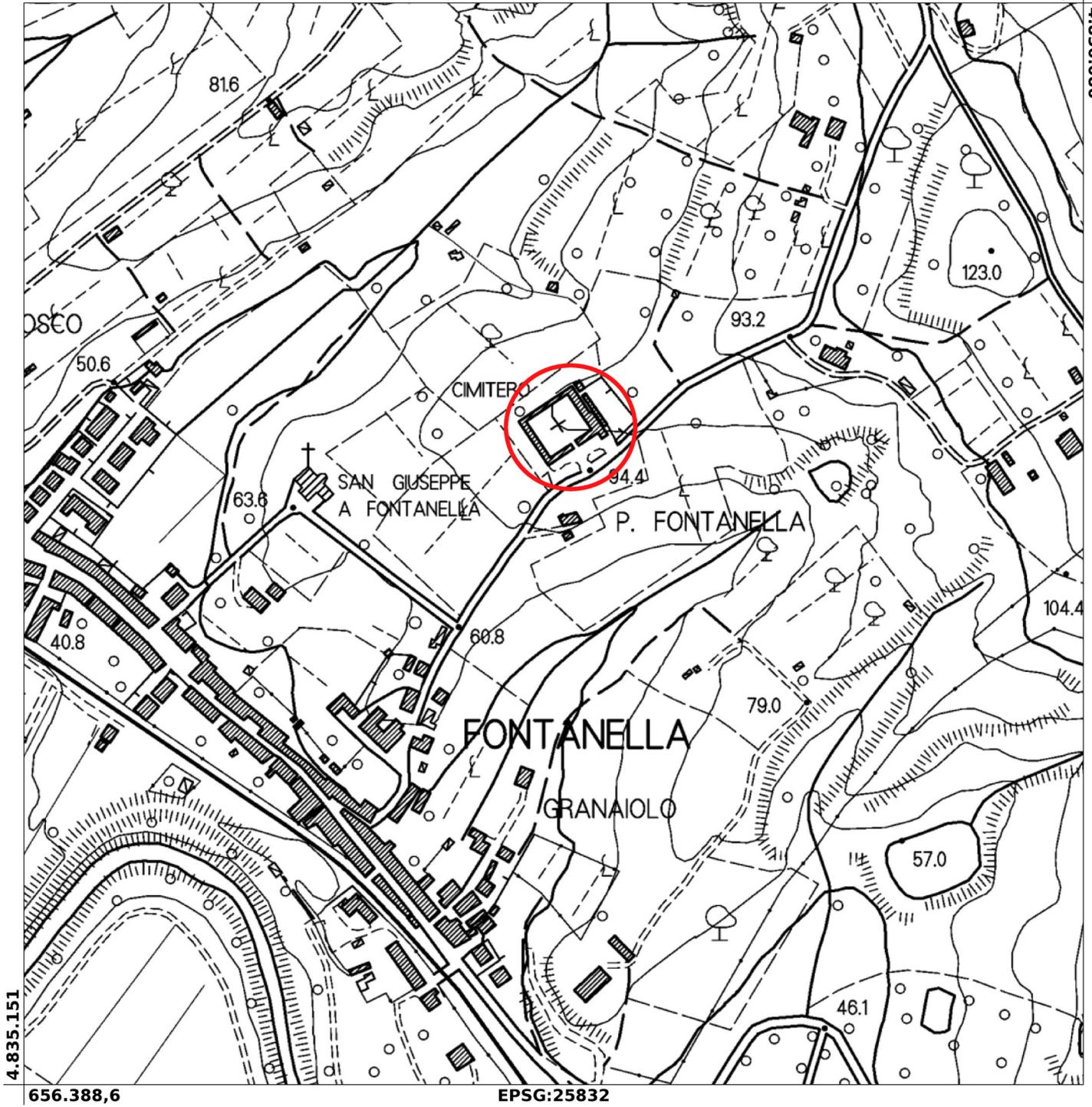


Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 5.000

657.297,1

4.836.086

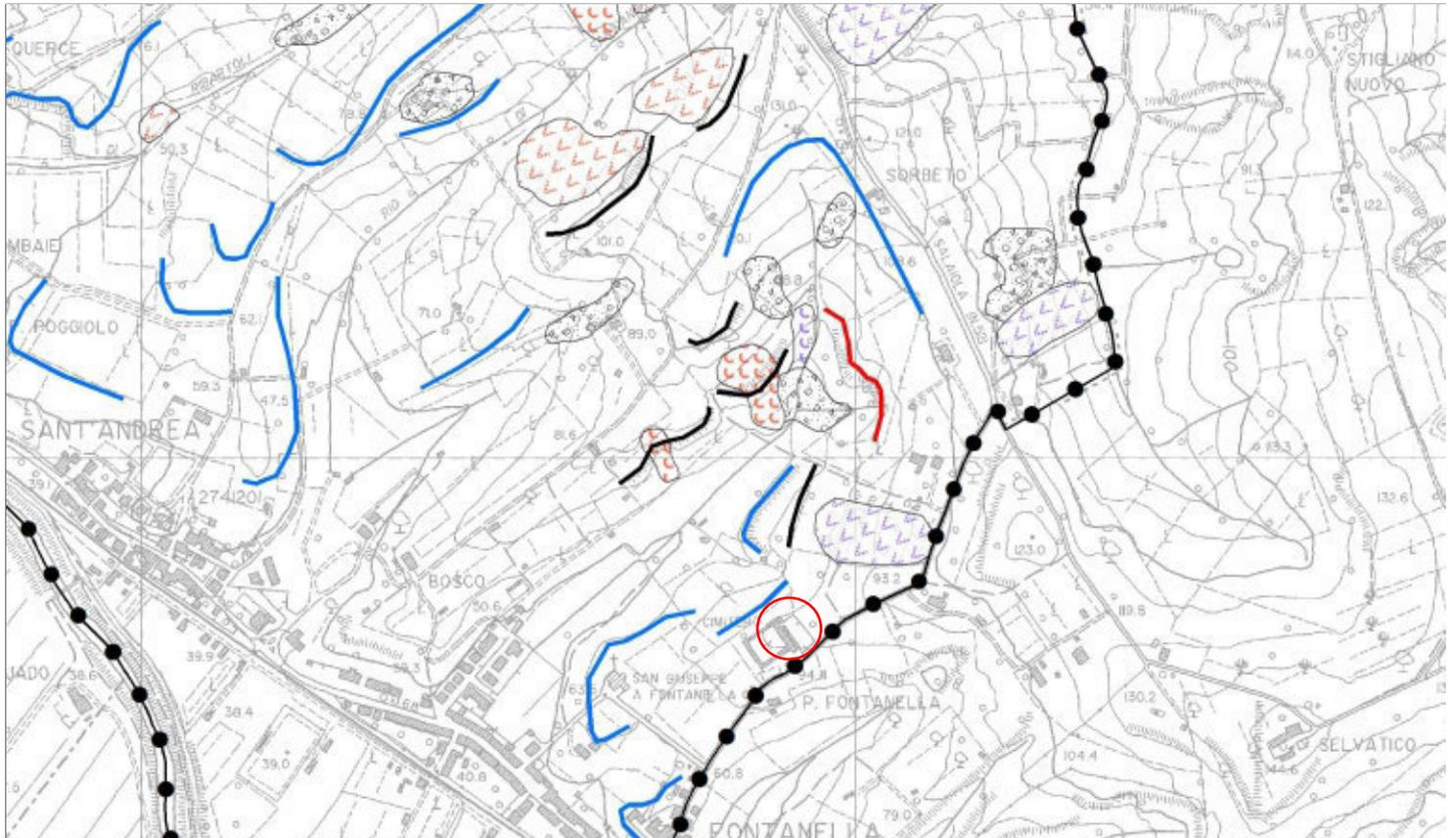


 area d'interesse

Fig.1a

CARTA GEOMORFOLOGICA

(Estratto Variante P.S. 2013)
scala 1:10.000



Legenda

-  cave attive
-  cave dismesse
-  cave dismesse ripristinate e/o rinaturalizzate
-  Laghetti collinari
-  Corona di frana e/o scarpata quiescente o inattiva e/o scarpata morfologica di maggiore entità
-  Corona di frana e/o scarpata quiescente o inattiva e/o scarpata morfologica di modesta entità
-  Corona di frana e/o scarpata attiva di maggiore entità
-  Corona di frana e/o scarpata attiva di modesta entità
-  Area calanchiva
-  Area con presenza di soliflusso localizzato
-  Frana attiva per scorrimento
-  Frana attiva per colamento a dinamica lenta
-  Frana quiescente per scorrimento
-  Frana quiescente per colamento a dinamica lenta
-  Colluvio e/o detrito di versante
-  Riporto
-  Confine comunale



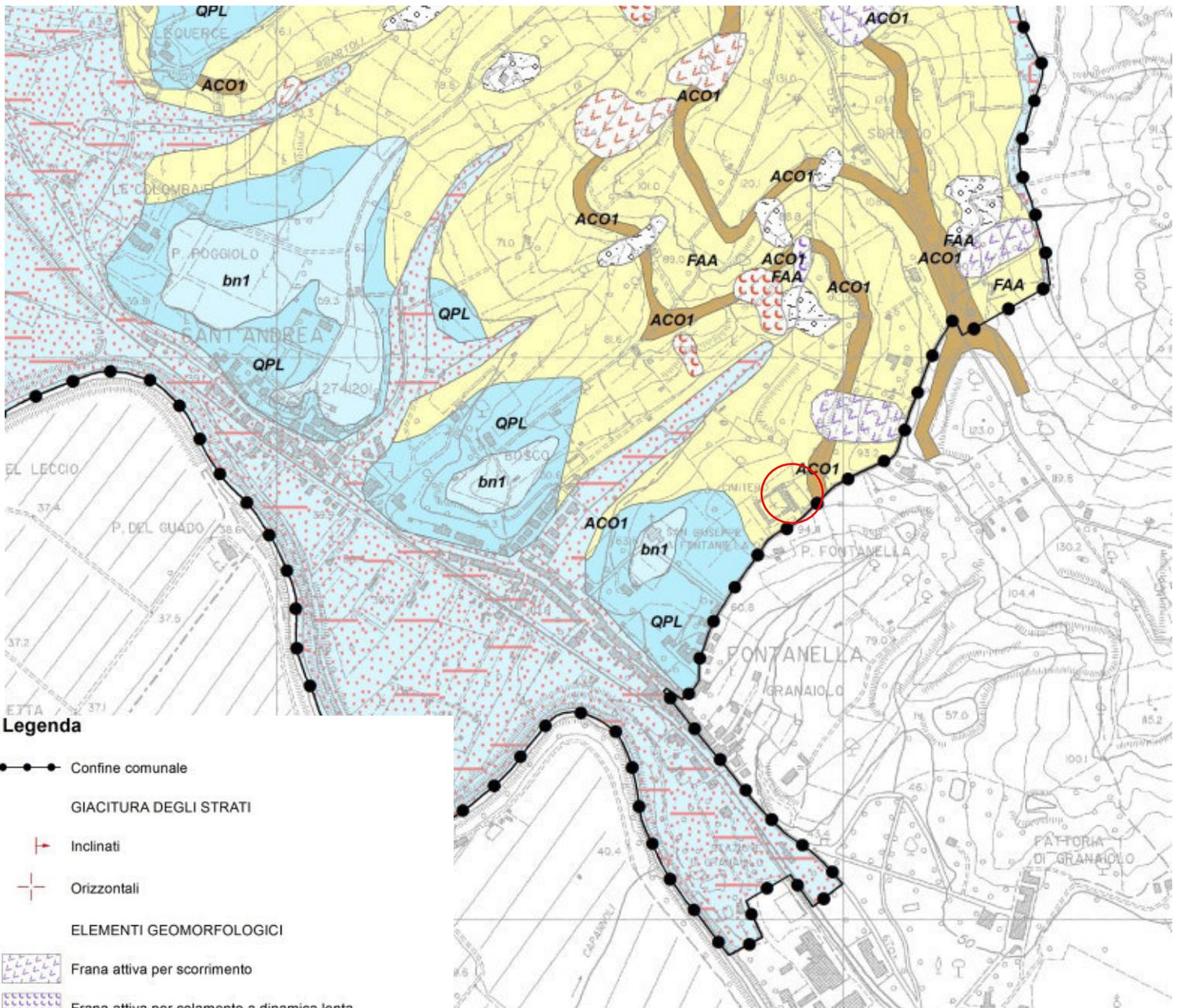
Area in oggetto

Fig. 2

CARTA GEOLOGICA

(Estratto Variante P.S. 2013)

scala 1:10.000



Legenda

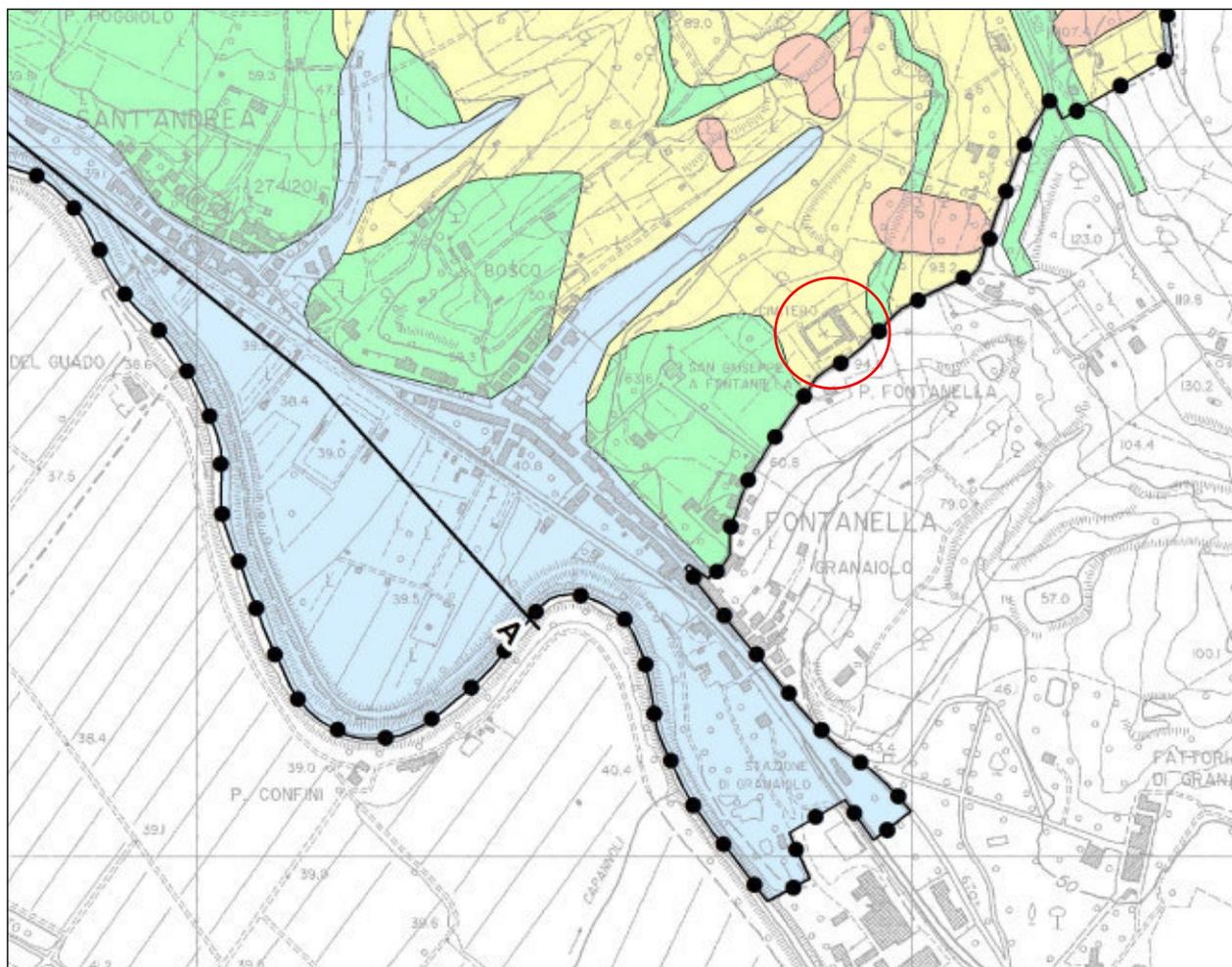
- Confine comunale
- GIACITURA DEGLI STRATI
- ┆ Inclinati
- ┆ Orizzontali
- ELEMENTI GEOMORFOLOGICI
- Frana attiva per scorrimento
- Frana attiva per colamento a dinamica lenta
- Frana quiescente per scorrimento
- Frana quiescente per colamento a dinamica lenta
- FORMAZIONI GEOLOGICHE
- Detriti di versante (dt)
- Alluvioni: Ghiaie Sabbie (bc)
- Alluvioni: Sabbie Limi (be) **OLOCENE**
- Alluvioni: Limi Argille (bf)
- Alluvioni terrazzate (bn1)
- Conglomerati Sabbie Limi (QPL) **PLEISTOCENE**
- Argille azzurre (FAA)
- Ghiaie e Conglomerati (ACO2) **PLIOCENE**
- Sabbie marine (ACO1)

Area in oggetto

Fig. 3

CARTA GEOLITOTECNICA

(Estratto Variante P.S. 2013)
scala 1:10.000



Legenda

- Confine comunale
- Traccia delle sezioni geologico-tecniche
- - - Isobata del tetto dello strato scadente
-  PIANURA: Aree con presenza di terreni scadenti a profondità inferiori a 10 m
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche buone
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche discrete
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche scadenti
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche buone
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche discrete
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche scadenti

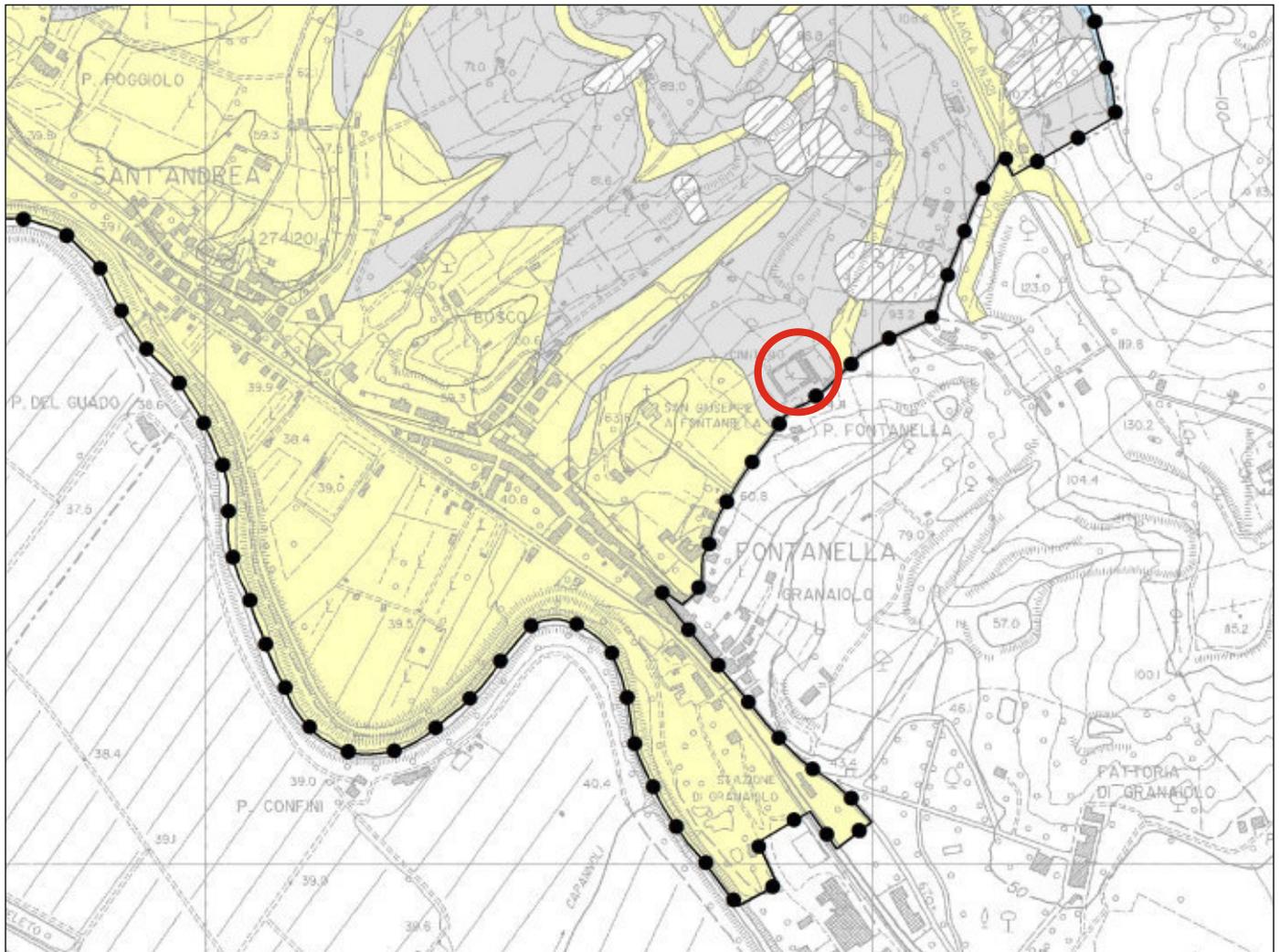
 Area in oggetto

Fig. 3a

CARTA IDROGEOLOGICA

(Estratto Variante P.S. 2013)

scala 1:10.000



Legenda

● Pozzi

▭ Aree di rispetto dei campi pozzi

— Isopiezometriche (m, s.l.m.), luglio 2002

● Confine comunale

Classi di permeabilità

CLASSE 1 Bassa

CLASSE 2 Media

CLASSE 3 Elevata

▨ Corpi detritici e/o corpi di frana con permeabilità da bassa a media

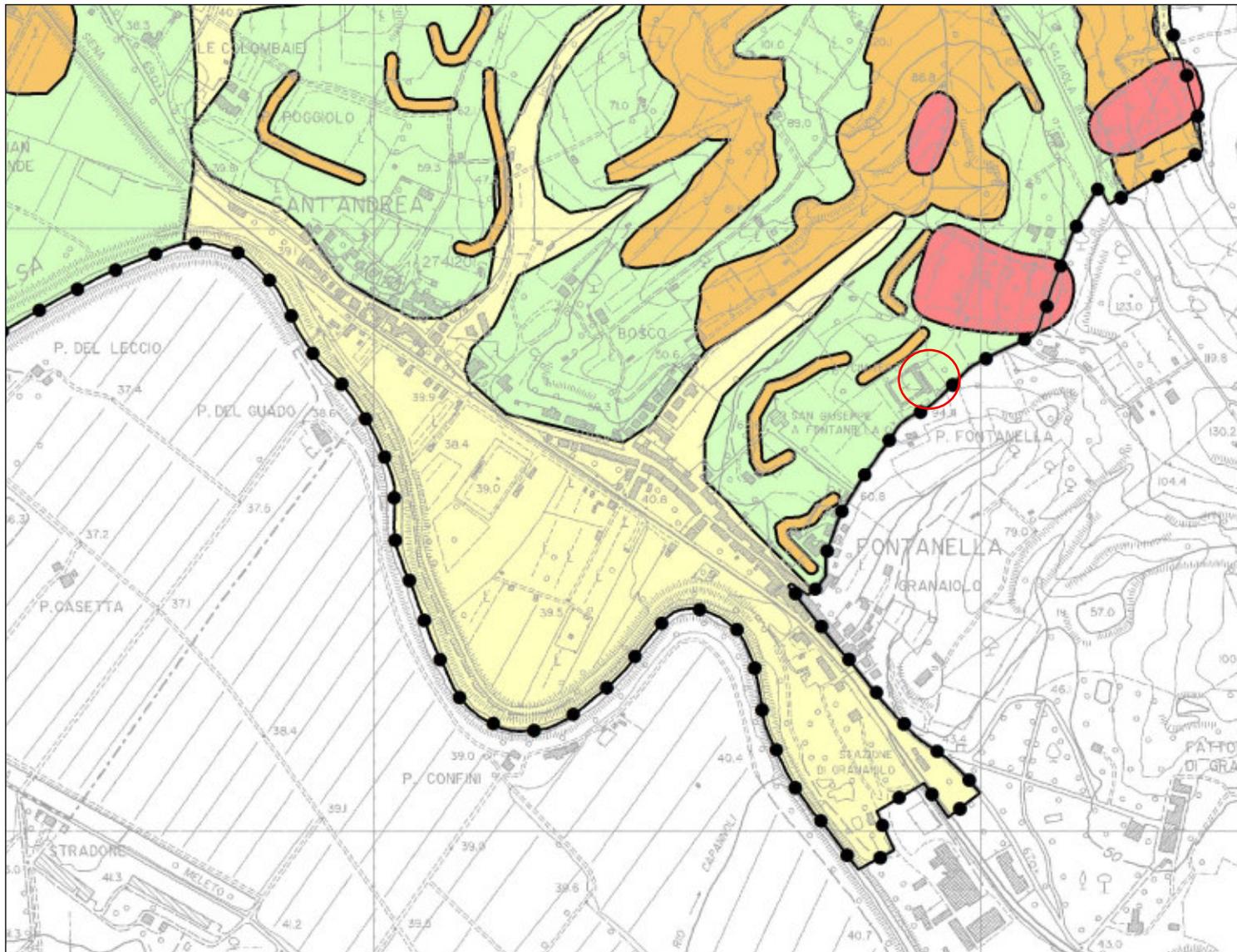
○ Area in oggetto

Fig. 3c

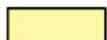
CARTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

(Estratto Variante P.S. 2013)

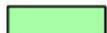
scala 1:10.000



LEGENDA:

 G1 PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA

Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

 G2 PERICOLOSITA' GEOLOGICA MEDIA

Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 20%.

 G3 PERICOLOSITA' GEOLOGICA ELEVATA

Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'attività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 20%.

 G4 PERICOLOSITA' GEOLOGICA MOLTO ELEVATA

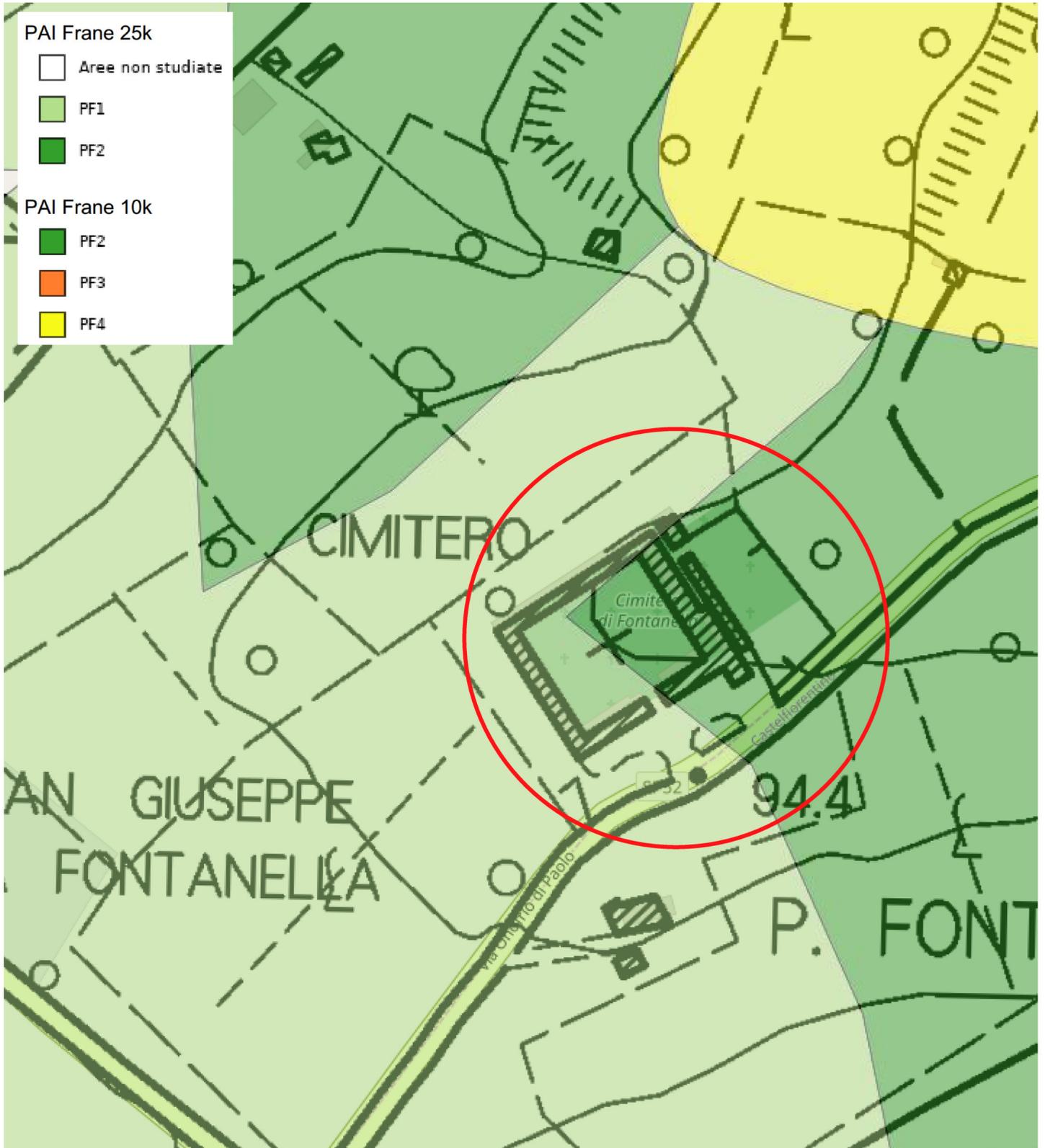
Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi e da intensi fenomeni erosivi.

 DISCARICA

 CONFINE COMUNALE

 Area in oggetto

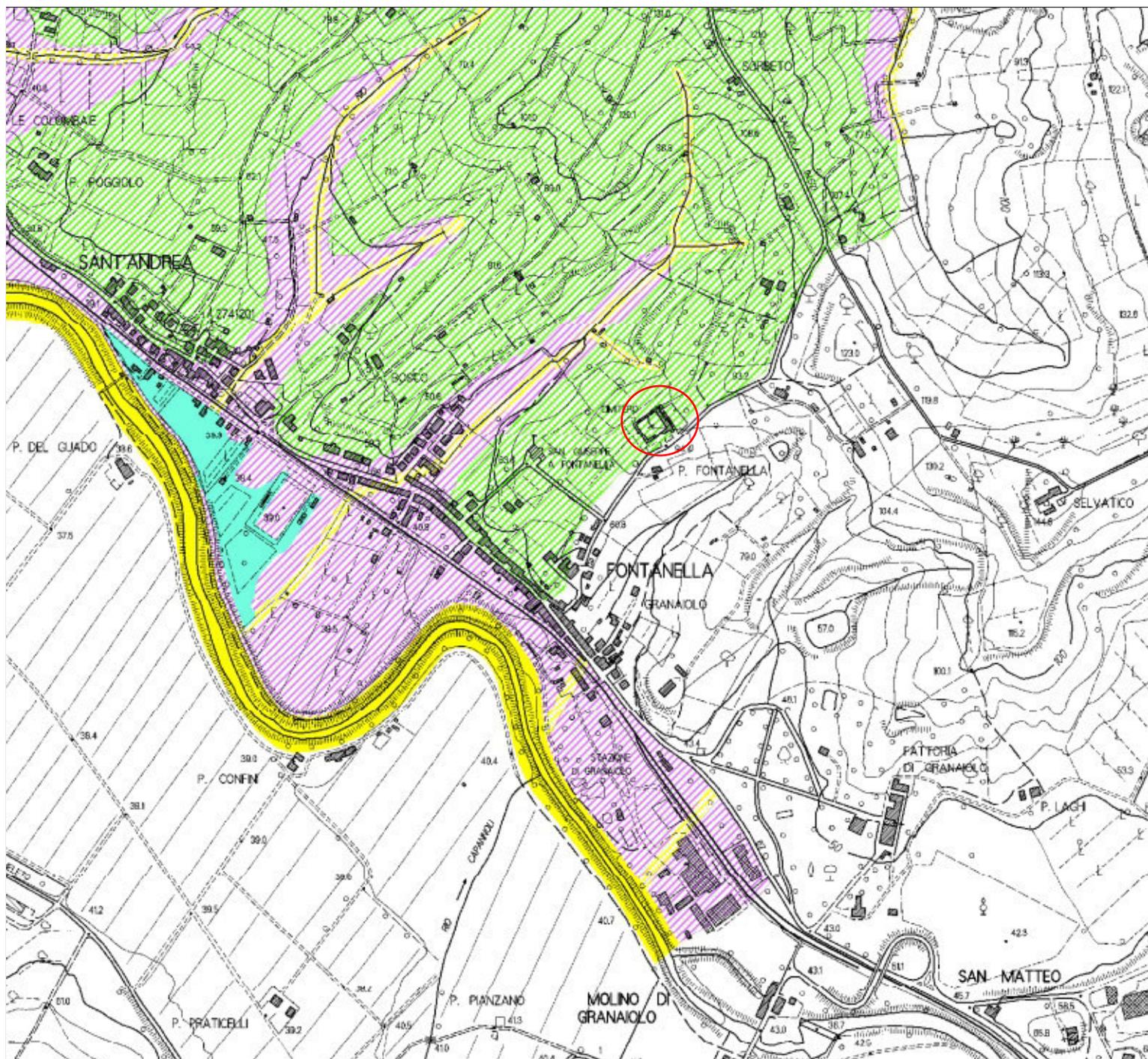
Fig. 4



CARTA PERICOLOSITA' IDRAULICA

(Estratto Variante P.S. 2013)

scala 1:10.000



Legenda

Pericolosità definita da studi idraulici

Pericolosità su base geomorfologica e storico-inventariale

I3 Pericolosità idraulica elevata

I1 Pericolosità idraulica modesta

I4 Pericolosità idraulica molto elevata

I2 Pericolosità idraulica media

I3 Pericolosità idraulica elevata

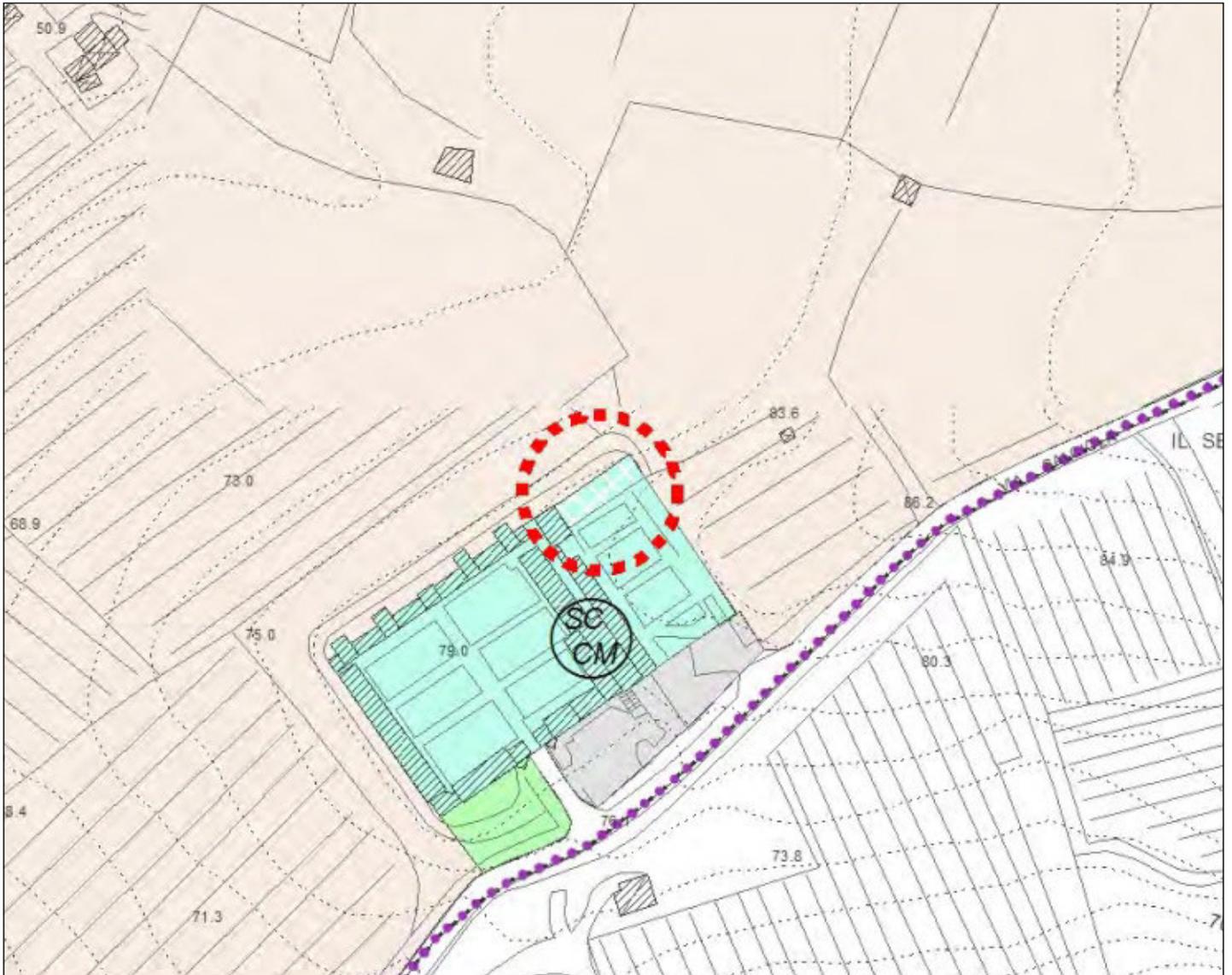
I4 Pericolosità idraulica molto elevata

Area in oggetto

SCHEDA DI FATTIBILITA'

(Estratto Relazione Geologica di fattibilità - Secondo Regolamento Urbanistico)

scala 1:2.000



ATTREZZATURE scheda n.	10
Utoe	13
Descrizione	Ampliamento cimitero Fontanella
Sf	138
If	\
articolo NTA di riferimento	Art. 87 Zone per attrezzature cimiteriali

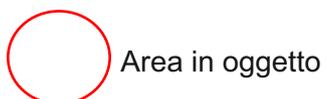


Fig. 5

1. VALUTAZIONE DI PERICOLOSITA'

1.1 - Caratteristiche geologico tecniche dell'area:

Siamo in presenza delle argille della Successione pliocenica caratterizzate generalmente da un livello superficiale decompresso e alterato con resistenza alla rottura bassa dove R_p può scendere a valori inferiori a 10 kg/cm^2 .

1.2 - Pericolosità Geologica: G.2 Pericolosità geologica media.

1.3 - Pericolosità Idraulica: I.2 Pericolosità idraulica media.

1.4 - Pericolosità Sismica: S.2 Pericolosità sismica locale media.

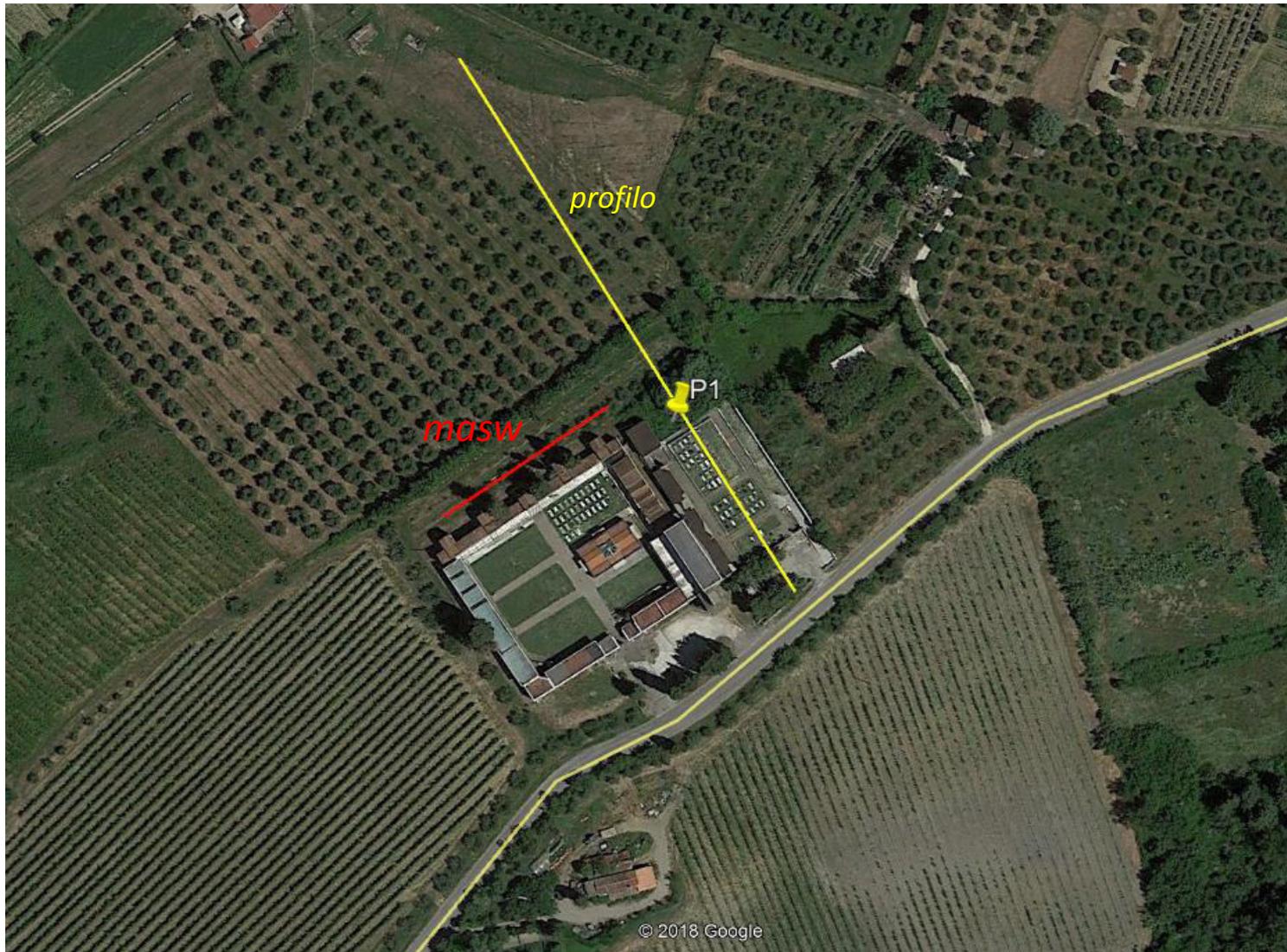
2. CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

2.1 - Condizioni di Fattibilità Geologico-tecnica: F2 Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.

2.2 - Condizioni di Fattibilità Idraulica: F2 Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.

2.3 - Condizioni di Fattibilità Sismica: F2 Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.

UBICAZIONE INDAGINI



PROVA PENETROMETRICA



MASW



Profilo per verifiche di
stabilità

Fig.6

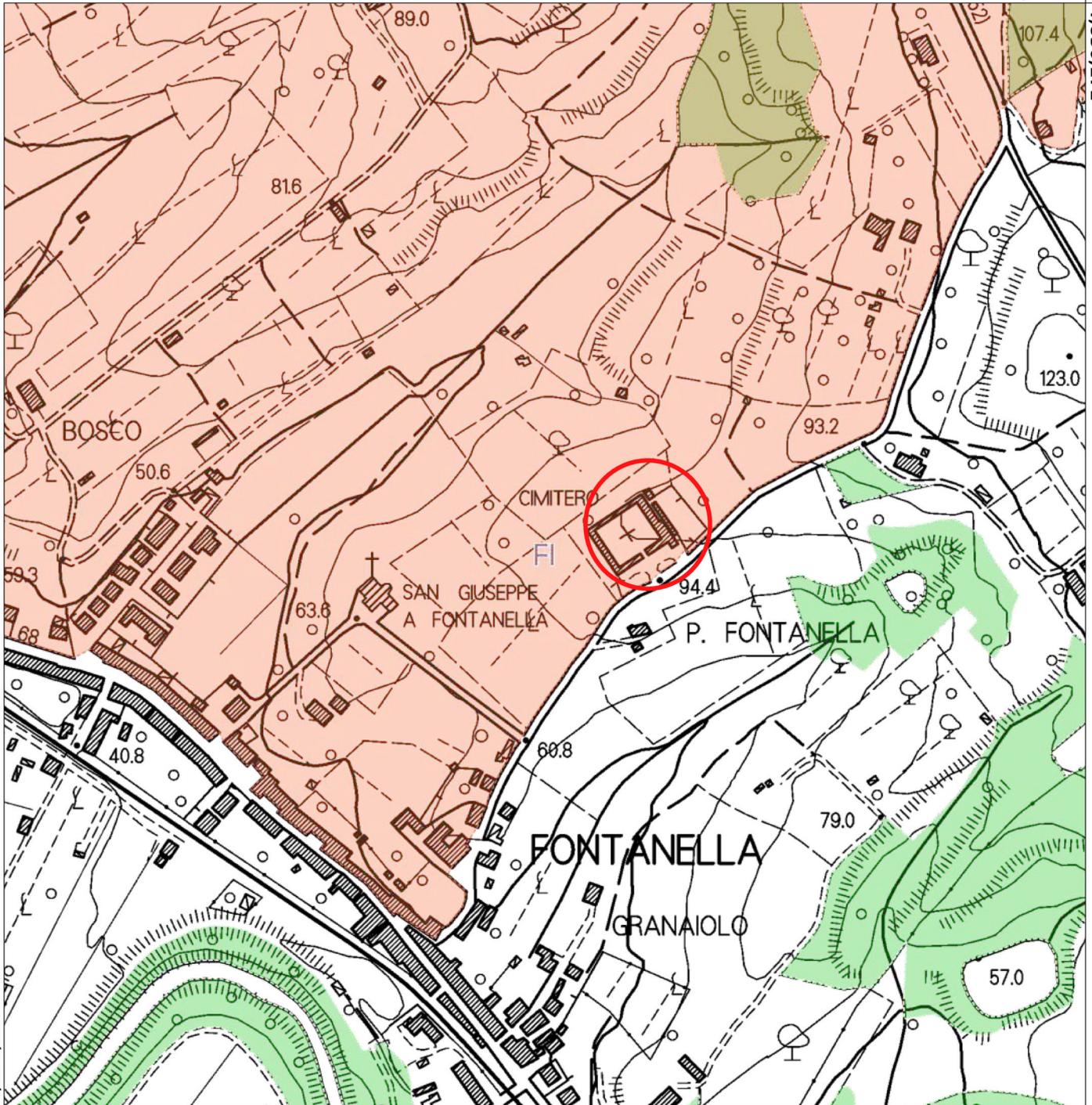


Regione Toscana - SITA: Vincolo idrogeologico

Scala 1 : 5,000

657,231.6

4,836,171



EPSG:25832

Regio Decreto 3267/1923 (Fonte Amministrazioni Provinciali)

 R.D. n.3267/1923

Aree boscate (Fonte Uso del suolo 2016_RT)

 Zone boscate: Zone con vegetazione arbustiva e/o erbacea;
Strade in aree boscate

 area in oggetto

Fig.7

ALLEGATO 1:

Certificato prova penetrometrica

PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

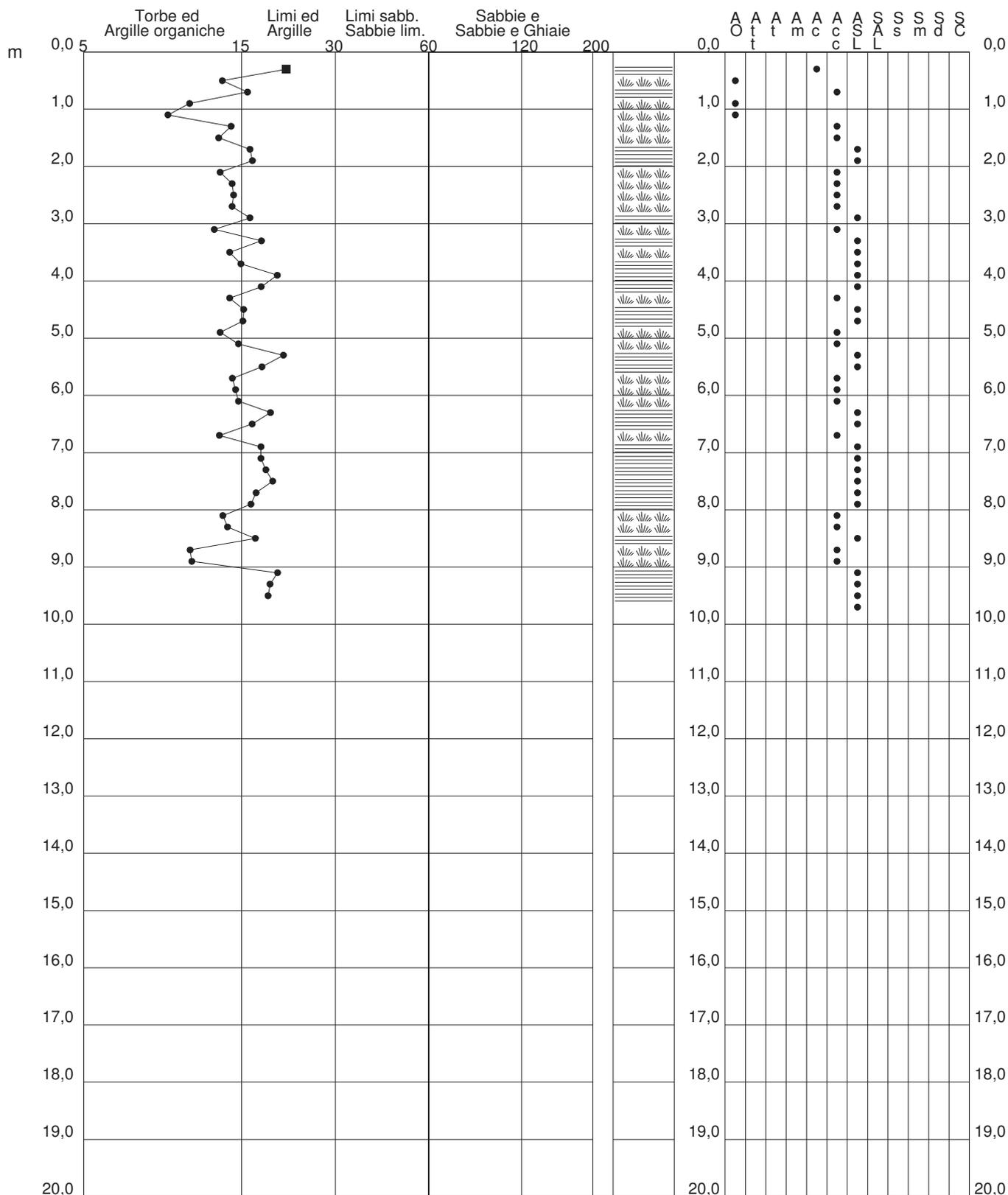
2.0105-157

- committente : Soc. IdroGeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Fontanella - Empoli (FI)
 - assist. cantiere :

- data : 31/10/2019
 - 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 : Soc. IdroGeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Fontanella - Empoli (FI)
 - assist. cantiere :

- data : 31/10/2019
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	13	22	2///	1,85	0,07	0,60	86,7	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	20	14	4/:	1,85	0,11	0,80	74,1	136	204	60	70	38	40	42	44	40	27	0,160	33	50	60	
0,80	24	16	4/:	1,85	0,15	0,89	59,0	151	227	72	70	38	40	42	44	39	28	0,158	40	60	72	
1,00	38	11	4/:	1,85	0,19	1,27	69,5	215	323	114	80	39	41	43	44	40	30	0,190	63	95	114	
1,20	46	9	4/:	1,85	0,22	1,53	70,3	261	391	138	82	39	41	43	45	40	31	0,197	77	115	138	
1,40	63	15	4/:	1,85	0,26	2,10	85,9	357	536	189	89	40	42	43	45	41	32	0,220	105	158	189	
1,60	70	13	4/:	1,85	0,30	2,33	82,9	397	595	210	89	41	42	44	45	41	32	0,221	117	175	210	
1,80	60	17	4/:	1,85	0,33	2,00	59,0	340	510	180	81	39	41	43	45	40	32	0,194	100	150	180	
2,00	78	17	4/:	1,85	0,37	2,60	71,8	442	663	234	88	40	42	43	45	40	33	0,215	130	195	234	
2,20	85	13	4/:	1,85	0,41	2,83	71,0	482	723	255	88	40	42	43	45	40	33	0,217	142	213	255	
2,40	79	15	4/:	1,85	0,44	2,63	58,1	448	672	237	84	40	41	43	45	40	33	0,202	132	198	237	
2,60	77	15	4/:	1,85	0,48	2,57	50,9	436	655	231	81	39	41	43	44	39	33	0,193	128	193	231	
2,80	82	15	4/:	1,85	0,52	2,73	50,2	465	697	246	81	39	41	43	44	39	33	0,194	137	205	246	
3,00	60	17	4/:	1,85	0,55	2,00	31,2	340	510	180	69	38	40	41	44	37	32	0,156	100	150	180	
3,20	85	13	4/:	1,85	0,59	2,83	44,4	482	723	255	79	39	41	42	44	39	33	0,187	142	213	255	
3,40	140	18	4/:	1,85	0,63	4,67	76,9	793	1190	420	95	41	43	44	46	41	36	0,240	233	350	420	
3,60	93	14	4/:	1,85	0,67	3,10	42,9	527	791	279	79	39	41	43	44	39	33	0,188	155	233	279	
3,80	78	16	4/:	1,85	0,70	2,60	32,2	442	663	234	72	38	40	42	44	38	33	0,165	130	195	234	
4,00	111	20	4/:	1,85	0,74	3,70	46,9	629	944	333	83	40	41	43	45	39	34	0,199	185	278	333	
4,20	88	18	4/:	1,85	0,78	2,93	33,0	499	748	264	74	38	40	42	44	38	33	0,170	147	220	264	
4,40	70	14	4/:	1,85	0,81	2,33	23,4	397	595	210	65	37	39	41	43	36	32	0,144	117	175	210	
4,60	69	16	4/:	1,85	0,85	2,30	21,8	391	586	207	63	37	39	41	43	36	32	0,139	115	173	207	
4,80	76	16	4/:	1,85	0,89	2,53	23,3	431	646	228	65	37	39	41	43	36	33	0,146	127	190	228	
5,00	43	13	4/:	1,85	0,93	1,43	10,9	244	366	129	45	34	37	39	42	33	30	0,091	72	108	129	
5,20	46	15	4/:	1,85	0,96	1,53	11,2	261	391	138	46	34	37	39	42	33	31	0,095	77	115	138	
5,40	75	21	4/:	1,85	1,00	2,50	19,8	425	638	225	62	37	39	41	43	35	32	0,136	125	188	225	
5,60	63	18	4/:	1,85	1,04	2,10	15,2	357	536	189	55	36	38	40	42	34	32	0,118	105	158	189	
5,80	46	15	4/:	1,85	1,07	1,53	9,8	261	392	138	44	34	36	39	41	32	31	0,088	77	115	138	
6,00	50	15	4/:	1,85	1,11	1,67	10,4	283	425	150	46	34	37	39	42	33	31	0,093	83	125	150	
6,20	47	15	4/:	1,85	1,15	1,57	9,3	273	410	141	43	34	36	39	41	32	31	0,086	78	118	141	
6,40	58	19	4/:	1,85	1,18	1,93	11,6	329	493	174	49	35	37	39	42	33	31	0,102	97	145	174	
6,60	79	17	4/:	1,85	1,22	2,63	16,4	448	672	237	59	36	38	40	43	35	33	0,128	132	198	237	
6,80	57	13	4/:	1,85	1,26	1,90	10,5	323	485	171	47	35	37	39	42	33	31	0,097	95	143	171	
7,00	77	18	4/:	1,85	1,30	2,57	14,8	436	655	231	57	36	38	40	43	34	33	0,121	128	193	231	
7,20	77	18	4/:	1,85	1,33	2,57	14,3	436	655	231	56	36	38	40	42	34	33	0,120	128	193	231	
7,40	76	19	4/:	1,85	1,37	2,53	13,6	431	646	228	55	36	38	40	42	34	33	0,117	127	190	228	
7,60	72	20	4/:	1,85	1,41	2,40	12,2	408	612	216	52	35	38	40	42	33	32	0,110	120	180	216	
7,80	65	17	4/:	1,85	1,44	2,17	10,4	368	553	195	48	35	37	39	42	33	32	0,100	108	163	195	
8,00	66	17	4/:	1,85	1,48	2,20	10,3	374	561	198	48	35	37	39	42	32	32	0,099	110	165	198	
8,20	63	14	4/:	1,85	1,52	2,10	9,4	363	545	189	46	34	37	39	42	32	32	0,094	105	158	189	
8,40	68	14	4/:	1,85	1,55	2,27	10,1	385	578	204	48	35	37	39	42	32	32	0,099	113	170	204	
8,60	67	17	4/:	1,85	1,59	2,23	9,6	383	575	201	47	35	37	39	42	32	32	0,096	112	168	201	
8,80	54	11	4/:	1,85	1,63	1,80	7,1	406	609	162	39	33	36	38	41	31	31	0,077	90	135	162	
9,00	43	11	4/:	1,85	1,66	1,43	5,2	456	685	129	31	32	35	38	40	29	30	0,059	72	108	129	
9,20	99	20	4/:	1,85	1,70	3,30	14,4	561	842	297	59	36	38	40	43	34	34	0,127	165	248	297	
9,40	117	19	4/:	1,85	1,74	3,90	17,2	663	995	351	64	37	39	41	43	35	35	0,141	195	293	351	
9,60	109	19	4/:	1,85	1,78	3,63	15,4	618	927	327	61	37	39	41	43	34	34	0,133	182	273	327	
9,80	105	--	3:::	1,85	1,81	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	34	34	0,128	175	263	315	

PENETRATIO s.n.c.

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

Rif. 57-2019

(Archivio interno 106L-2019)

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1

committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	data:	31/10/19
Comune:	Empoli (FI)	profondità prova:	9,80
località:	Fontanella	quota inizio:	p.c.
		profondità falda:	-

Note:

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

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

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

Sistema di misura: cella di carico AEP con visualizzatore Pagani

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

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

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

Spinta massima rilevabile dalla cella di carico 200 kN

Passo di lettura 0,20 m



PENETRATIO s.n.c.

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

tel.0571418116

PEC: penetratiosnc@lamiaptec.it

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
TABULATO DELLA PROVA****Rif. 57-2019**

(Archivio interno 106L-2019)

committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	data:	31/10/19
Comune:	Empoli (FI)	profondità prova:	9,80 m
località:	Fontanella	quota inizio:	p.c.
		profondità falda:	-

Note:

profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs	profondità	letture di campagna		qc	fs	qc/fs
(metri)	punta	Punta + laterale	(Kg/cmq)			(metri)	punta	Punta +laterale	(Kg/cmq)		
0,20	----	----	----	0,67	----	5,20	46,0	94,0	46,0	3,00	15,33
0,40	13,0	23,0	13,0	23,00	13,0	5,40	75,0	120,0	75,0	3,53	21,23
0,60	20,0	29,0	20,0	29,00	20,0	5,60	63,0	116,0	63,0	3,47	18,17
0,80	24,0	46,0	24,0	46,0	24,0	5,80	46,0	98,0	46,0	3,13	14,68
1,00	38,0	60,0	38,0	3,53	38,0	6,00	50,0	97,0	50,0	3,33	15,00
1,20	46,0	99,0	46,0	5,00	9,20	6,20	47,0	97,0	47,0	3,07	15,33
1,40	63,0	138,0	63,0	4,33	14,54	6,40	58,0	104,0	58,0	3,00	19,33
1,60	70,0	135,0	70,0	5,27	13,29	6,60	79,0	124,0	79,0	4,67	16,93
1,80	60,0	139,0	60,0	3,60	16,67	6,80	57,0	127,0	57,0	4,27	13,36
2,00	78,0	132,0	78,0	4,60	16,96	7,00	77,0	141,0	77,0	4,27	18,05
2,20	85,0	154,0	85,0	6,33	13,42	7,20	77,0	141,0	77,0	4,27	18,05
2,40	79,0	174,0	79,0	5,40	14,63	7,40	76,0	140,0	76,0	4,07	18,69
2,60	77,0	158,0	77,0	5,20	14,81	7,60	72,0	133,0	72,0	3,67	19,64
2,80	82,0	160,0	82,0	5,60	14,64	7,80	65,0	120,0	65,0	3,73	17,41
3,00	60,0	144,0	60,0	3,60	16,67	8,00	66,0	122,0	66,0	3,93	16,78
3,20	85,0	139,0	85,0	6,60	12,88	8,20	63,0	122,0	63,0	4,60	13,70
3,40	140,0	239,0	140,0	7,73	18,10	8,40	68,0	137,0	68,0	4,80	14,17
3,60	93,0	209,0	93,0	6,47	14,38	8,60	67,0	139,0	67,0	3,87	17,33
3,80	78,0	175,0	78,0	5,00	15,60	8,80	54,0	112,0	54,0	5,00	10,80
4,00	111,0	186,0	111,0	5,47	20,30	9,00	43,0	118,0	43,0	3,93	10,93
4,20	88,0	170,0	88,0	4,87	18,08	9,20	99,0	158,0	99,0	4,87	20,34
4,40	70,0	143,0	70,0	4,87	14,38	9,40	117,0	190,0	117,0	6,07	19,29
4,60	69,0	142,0	69,0	4,33	15,92	9,60	109,0	200,0	109,0	5,73	19,01
4,80	76,0	141,0	76,0	4,80	15,83	9,80	105,0	191,0	105,0		
5,00	43,0	115,0	43,0	3,20	13,44						

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**

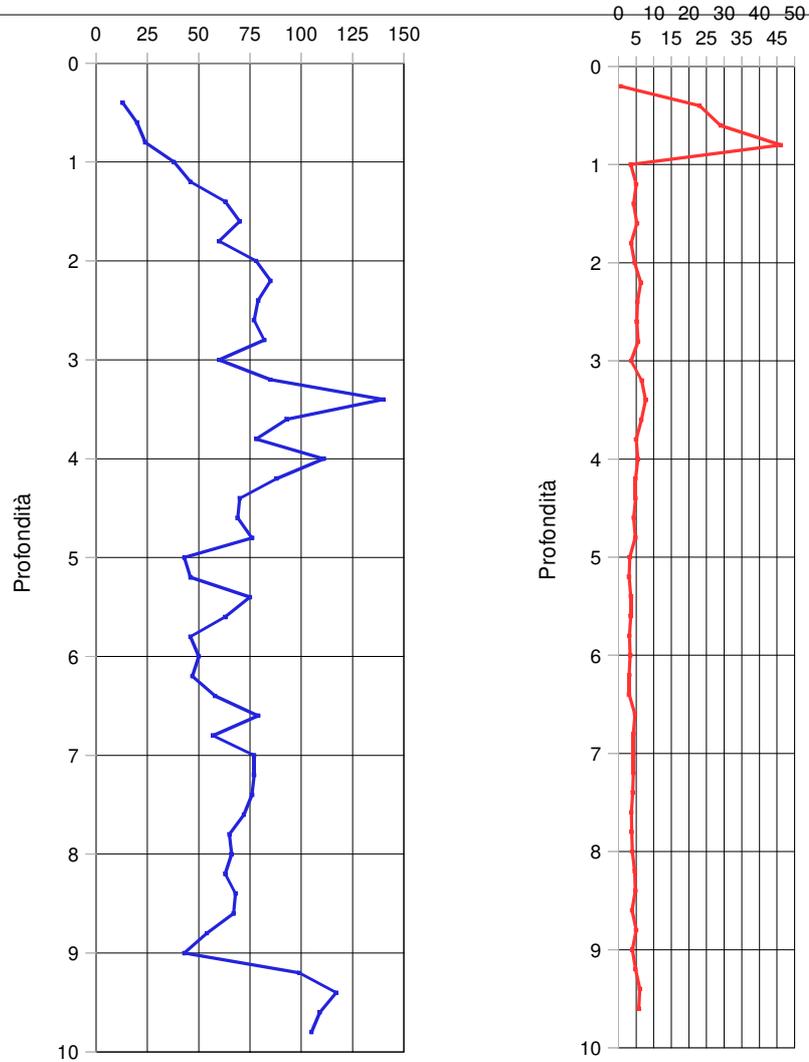
Rif. **57-2019**

(Archivio interno 106L-2019)

committente: Soc. IdroGeo Service Srl
Comune: Empoli (FI)
località: Fontanella

data: 31/10/19
profondità prova: 9,80 m
quota inizio: p.c.
profondità falda: -

Note:



qc (kg/cm²)



fs (kg/cm²)



LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

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

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

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

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

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

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

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

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

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

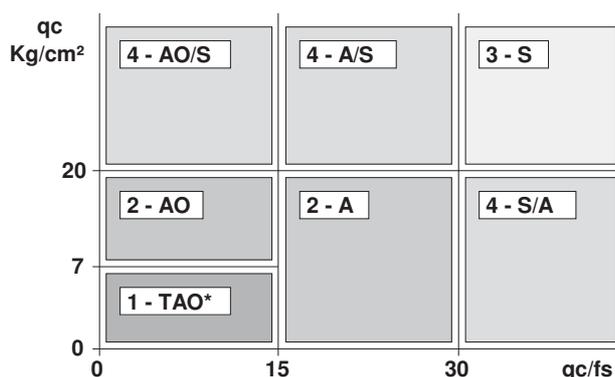
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

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

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

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



NATURA LITOLOGICA

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

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

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

ALLEGATO 2:

Indagine sismica M.A.S.W.

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 LOC. FONTANELLA, STRADA PROVINCIALE SALAIOLA
NEL COMUNE DI EMPOLI (FI)**

~~~~~



**Novembre 2019**

**Committente: Soc. IdroGeo Service Srl**



**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 LOC. FONTANELLA, STRADA PROVINCIALE SALAIOLA  
NEL COMUNE DI EMPOLI (FI)**



**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 su indicazioni della Soc. IdroGeo Service Srl in Loc. Fontanella, in prossimità dell'area cimiteriale che si sviluppa lungo il corso della S.P. Salaiola nel Comune di Empoli (FI).

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

**2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH**

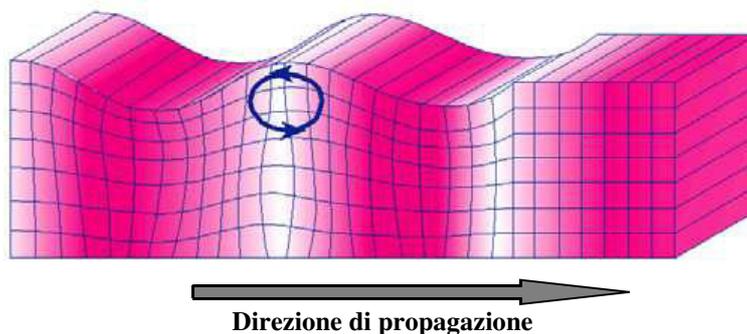
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la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

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

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

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

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



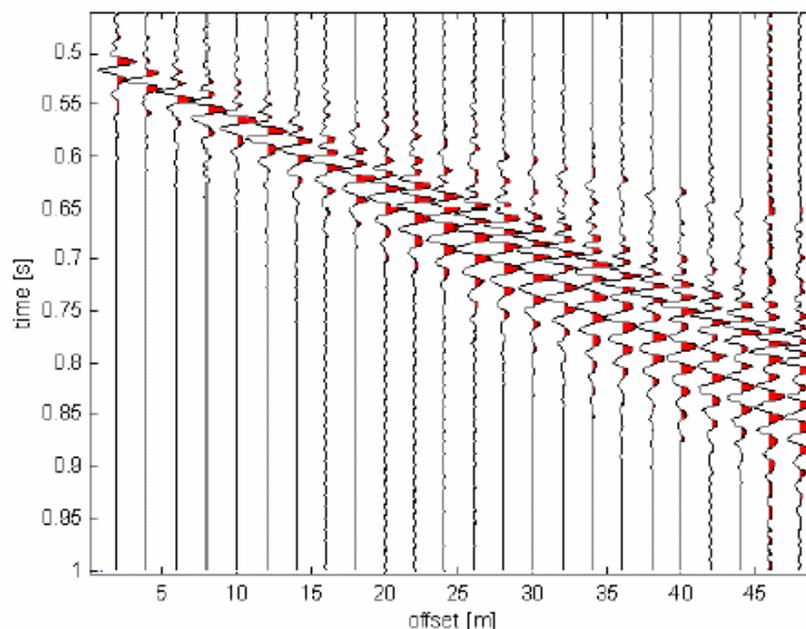
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2,00 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2,0 m, 6,0 m e 10,0 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 più prossimo a quello reale tante più informazioni del sito si avranno a disposizione e quindi tanto più gli intervalli di ricerca saranno stringenti.

É 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 primo e secondo modo superiore utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 6,0 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 sismostratigrafico, 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 Vs e gli spessori dei livelli sismici costituenti i due modelli.

- secondo il MODELLO MEDIO

| strato n.     | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| VS (m/s):     | 151 | 212 | 410 | 499 |
| spessori (m): | 5,1 | 5,2 | 7,1 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1    | 2    | 3   | 4   |
|---------------|------|------|-----|-----|
| VS (m/s):     | 150  | 207  | 447 | 521 |
| spessori (m): | 5,21 | 4,68 | 5   |     |

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 quindi definito dal parametro  $V_{s_{30}}$ .

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

- $V_{s_{30}}$  del *modello medio*: **297 m/s**
- $V_{s_{30}}$  del *modello migliore*: **308 m/s**

Per le categorie di suolo che permettono l'approccio semplificato si rimanda alla Tab. 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018.

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

San Miniato (PI), 07/11/2019

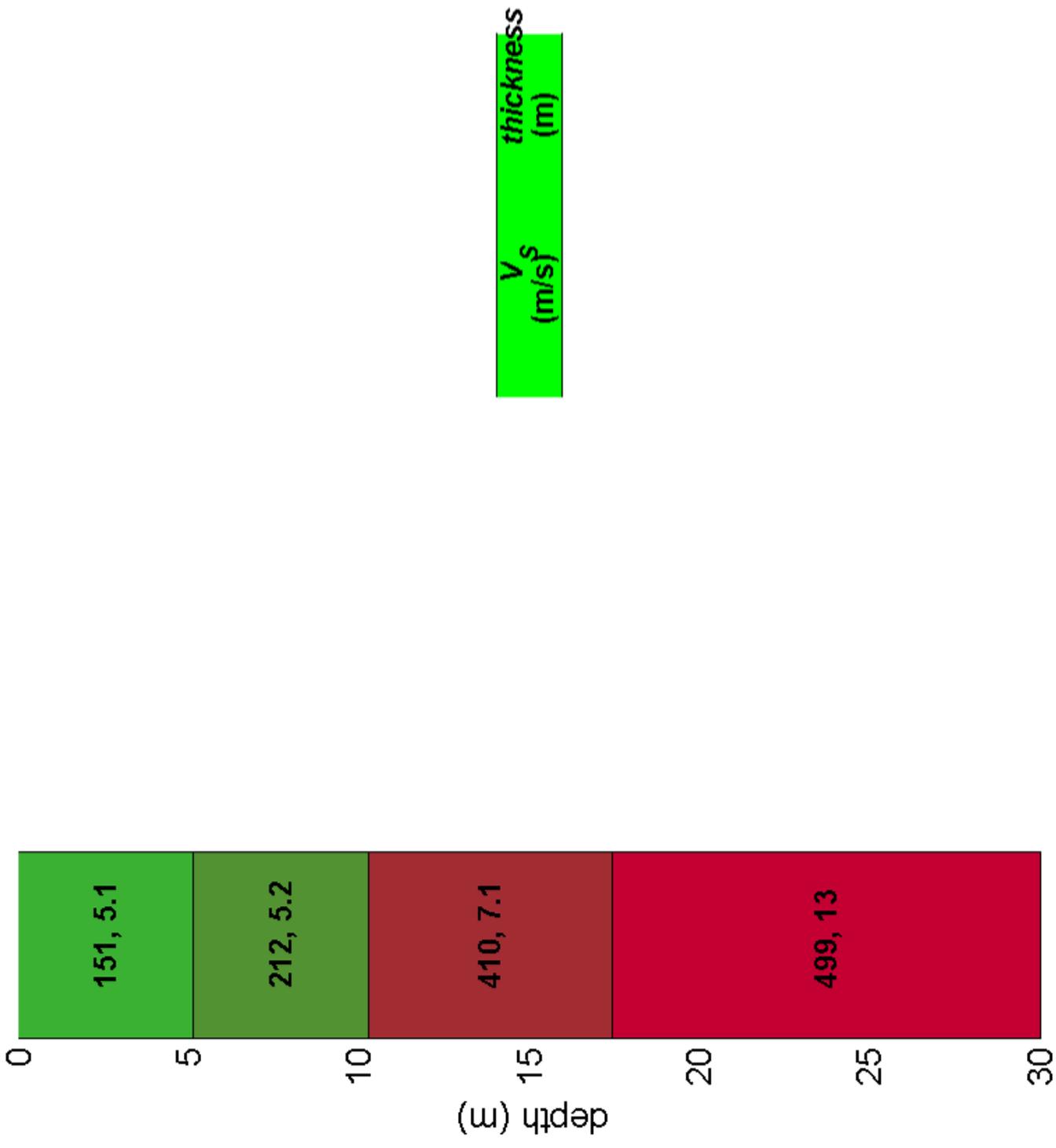
**Penetratio s.n.c.**

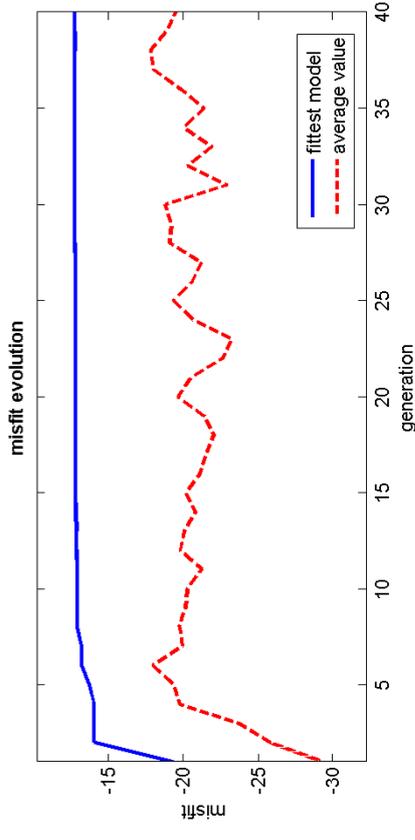
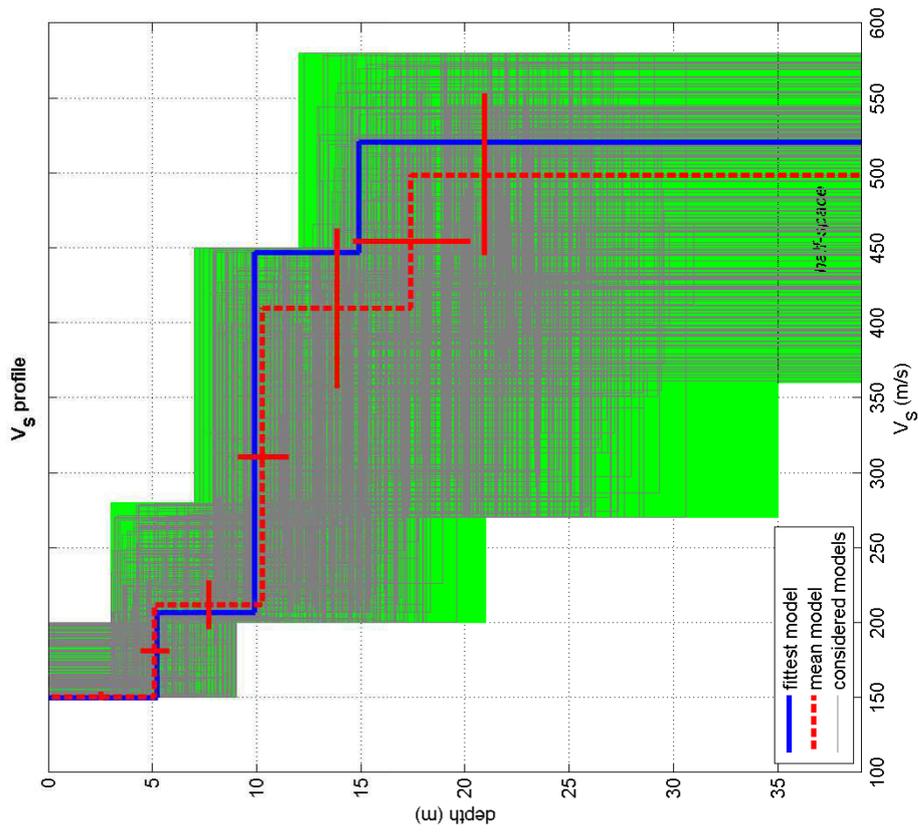
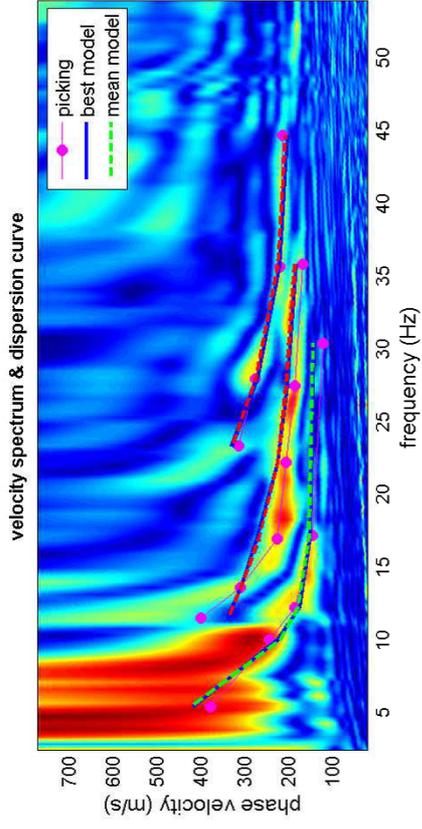
Dott. Geol. G. Lotti



***Allegato 1***

## Subsurface model

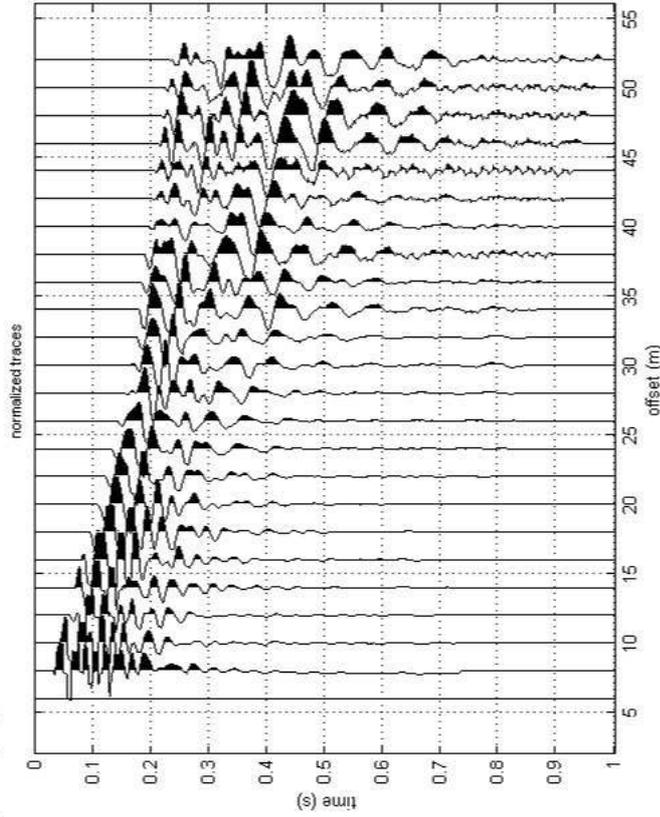




dataset: 6m.SGY  
 dispersion curve: 6m.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 308 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 297 m/s

### #1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 6m.SGY  
 sampling: 0.131 ms  
 minimum offset: 6 m  
 geophone spacing: 2 m



resampling:

data selection:

refraction:

filtering & spectra:

other tools & setting:

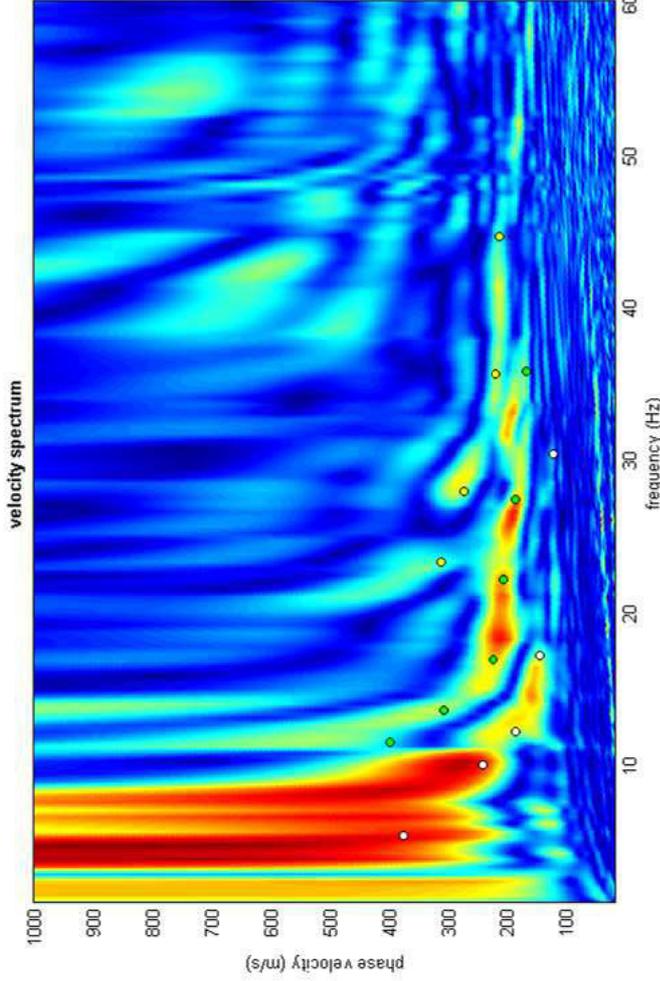
### #2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity  f-k  group velocity

handling the spectra:

explore spectrum



general setting:     Refraction  HV body waves  HV modes (SV ellipticity)

Vs (m/s):

Poisson:

thickness (m):

modelling:   elastic  shows DC

actions:

visualize curves:

picking

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

6m.cdp

inversion



***Allegato 2***

## Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1

dataset: 6m.SGY

minimum offset (m): 6

geophone spacing (m): 2

sampling (ms): 0.131

Dispersion curve: 6m.cdp

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

## Rayleigh-wave dispersion analysis

### Analyzing phase Velocities

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 150 3 200 4 270 5 360

Adopted search space (maximum Vs & thickness): 200 9 280 12 450 14 580

Adopted Poisson values: 0.4 0.35 0.35 0.35

Output folder: C:\Users\Giuseppe\Desktop\sismiche temp\output\_disp

==o== SECTION#2

### Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -29.3061  
-19.2958

Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -25.8003  
-14.0783

Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -23.711  
-14.0783

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -19.7811  
-14.0783

Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -19.4027  
-13.7481

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -17.9848  
-13.2394

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -19.9359  
-13.2394

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -19.751  
-12.9348

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -20.1576  
-12.9348

Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -20.2807  
-12.9348

Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -21.2554  
-12.9348

Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -19.8026  
-12.9182

Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -20.0713  
-12.9182

Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -20.8373  
-12.8408  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -20.1953  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -21.1382  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -21.5396  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -22.0368  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -21.3985  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -19.6585  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -20.5465  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -22.6721  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -23.2222  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -20.6987  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -19.3508  
-12.8217  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -20.6254  
-12.8138  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -21.2243  
-12.8138  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -19.1197  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -19.2363  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -18.8229  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -22.9471  
-12.7958

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -20.3037  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -21.917  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -20.0434  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -21.4034  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -19.8527  
-12.7958  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -18.0227  
-12.7958

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -17.8185  
 -12.7958  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -18.8864  
 -12.7891  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -19.4597  
 -12.7891

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

Vs (m/s): 150 207 447 521

Thickness (m): 5.2 4.7 5

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35

Vp & Density Optimization

p14 =

2

p15 =

15

p16 =

|        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.1761 | 0.3288 | 0.4008 | 0.5650 | 1.0000 | 0      |
| 0.3205 | 0.3792 | 0.4721 | 0.6187 | 0.7654 | 1.0000 |
| 0.5217 | 0.6256 | 0.7981 | 1.0000 | 0      | 0      |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -13.3387  
 -11.6714  
 Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -12.5331  
 -11.6714  
 Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -12.2842  
 -11.6714  
 Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -12.0507  
 -11.6714  
 Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -11.8989  
 -11.6714  
 Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -11.8403  
 -11.6573  
 Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -11.8787  
 -11.6516  
 Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -11.8328  
 -11.6516  
 Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -11.7893  
 -11.6516

Number of models considered to calculate the average model: 379

#####

RESULTS

#####

Dataset: 6m.SGY  
Analyzed curve/spectrum: 6m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s):                   151 212 410 499  
Standard deviations (m/s): 3 16 53 53

Thickness (m):               5.1               5.2               7.1  
Standard deviations (m): 0.7               1.2               2.8

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):                   821 859 1337 1751  
Density (gr/cm3):           2.01 2.02 2.12 2.19  
Vp/Vs ratio: 5.44   4.05   3.26   3.51  
Poisson: 0.48   0.47   0.45   0.46  
Shear modulus (MPa): 46           91           357           545  
Estimated static shear modulus (MPa): 0           0           0           0

Fundamental mode

Mean model  
f(Hz)       VR(m/s)  
5.35284     422.5491  
9.99259     218.9572  
12.1812     179.2915  
17.1711     154.5191  
30.39       144.9606

First higher mode

Mean model  
11.4808     337.1947  
13.5818     308.118  
16.9084     268.0327  
22.161      224.5221  
27.4135     205.5456  
35.8176     186.2646

Second higher mode

Mean model  
23.299      327.6643  
27.9388     274.7215

35.6425      224.7618  
44.6594      206.9718

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 150 207 447 521  
thickness (m): 5.2143      4.6815      5

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):                      444 1007 1183 897  
Density (gr/cm3):              1.86 2.06 2.09 2.03  
Vp/Vs ratio: 2.96      4.86      2.65      1.72  
Poisson: 0.44      0.48      0.42      0.25  
Shear modulus (MPa): 42              88              419              550  
Estimated static shear modulus (MPa): 0              0              0              0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 5.35284 | 417.5126 |
| 9.99259 | 224.7187 |
| 12.1812 | 176.1679 |
| 17.1711 | 151.3663 |
| 30.39   | 142.8711 |

First higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 11.4808 | 339.4111 |
| 13.5818 | 308.9125 |
| 16.9084 | 271.6268 |
| 22.161  | 225.3307 |
| 27.4135 | 203.1709 |
| 35.8176 | 183.0159 |

Second higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 23.299  | 329.7024 |
| 27.9388 | 271.8779 |
| 35.6425 | 220.6667 |
| 44.6594 | 202.6354 |

Vs5 (mean model): 151 m/s

Vs5 (best model): 150 m/s

Vs20 (mean model): 247 m/s

Vs20 (best model): 255 m/s

Vs30 (mean model): 297 m/s

Vs30 (best model): 308 m/s

==o== SECTION#5

For Italian Users:

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

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

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

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

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

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

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

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

=====

winMASW  
Surface Waves & Beyond  
www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 379  
Vs5 for the best model: 150  
Vs30 for the best model: 308  
Analyzing phase velocities

Elapsed time is 29.743487 seconds.

***Allegato 3***

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in Loc. Fontanella, S.P. Salaiola nel Comune di Empoli (FI).*

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



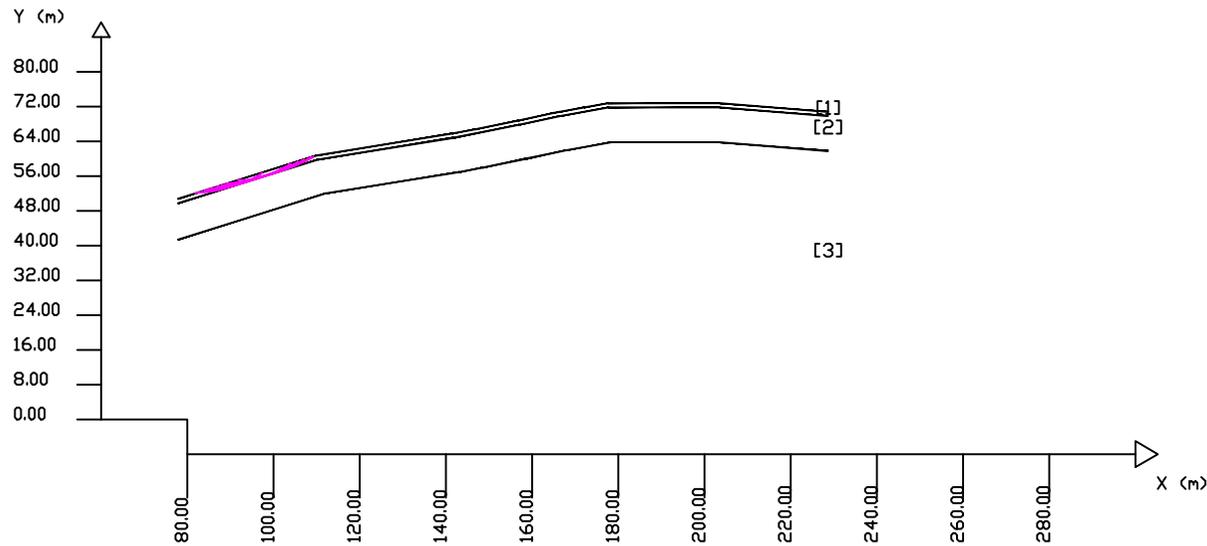
**ALLEGATO 3:**

*Verifiche di stabilità*

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

Data : 15/11/2019  
 Localita' : Fontanella - Empoli  
 Descrizione : Stato attuale  
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Borselli (2016)



**DATI 10 SUP. CON MINOR Fs**

Fs minimo : 1.4039  
 Range Fs : 1.4039 - 1.4595  
 Differenza % Range Fs : 3.82  
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0550

**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

Campione Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 6.0  
 Range X inizio generazione : 80.8 - 216.6  
 Range X termine generazione : 95.9 - 225.7  
 Livello Y minimo considerato : 13.1

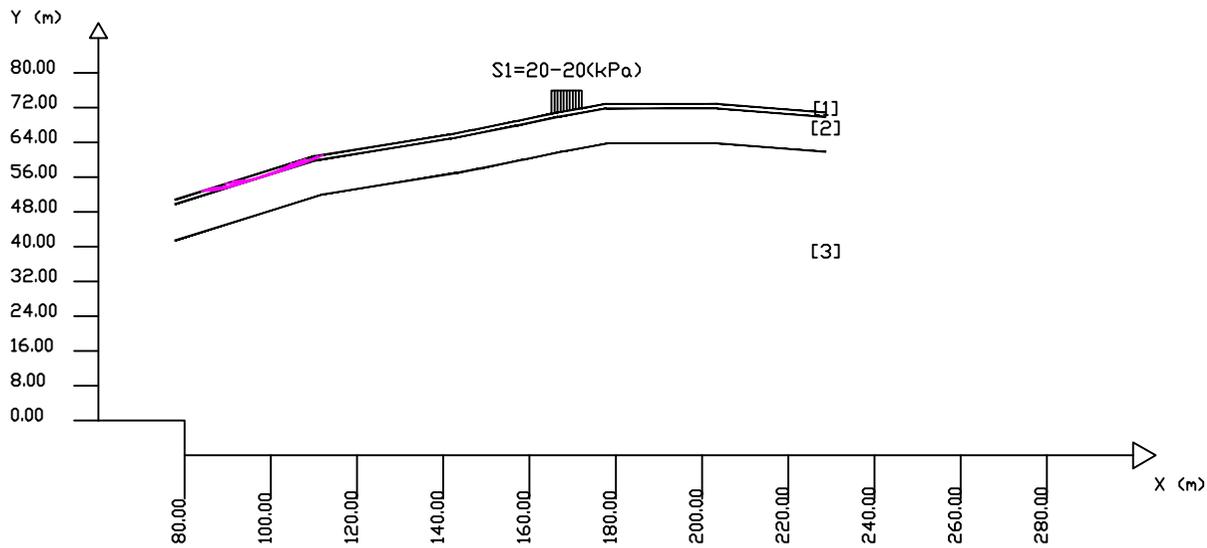
| #  | Parametri Geotecnici degli strati # | -----     |           |               |                  |  |
|----|-------------------------------------|-----------|-----------|---------------|------------------|--|
| N. | phi`<br>deg                         | C`<br>kPa | Cu<br>kPa | Gamm<br>kN/m3 | GammSat<br>kN/m3 |  |
| 1  | 20.00                               | 2.00      | 0         | 18.00         | 19.00            |  |
| 2  | 22.00                               | 10.00     | 0         | 18.50         | 19.50            |  |
| 3  | 30.00                               | 5.00      | 0         | 18.50         | 19.50            |  |

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

Data : 15/11/2019  
 Localita' : Fontanella - Empoli  
 Descrizione : Stato di Progetto - condizioni sismiche  
 [n] = N. strato o lente

Sn --> Sovraccarico

Modello di calcolo : Borselli (2016)



**DATI 10 SUP. CON MINDR Fs**

Fs minimo : 1.4079  
 Range Fs : 1.4079 - 1.4516  
 Differenza % Range Fs : 3.01  
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0550

**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

Campione Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 6.0  
 Range X inizio generazione : 80.8 - 216.6  
 Range X termine generazione : 95.9 - 225.7  
 Livello Y minimo considerato : 13.1

| # Parametri Geotecnici degli strati # ----- |       |       |     |       |         |
|---------------------------------------------|-------|-------|-----|-------|---------|
| N.                                          | phi'  | C'    | Cu  | Gamm  | GammSat |
| ..                                          | deg   | kPa   | kPa | kN/m3 | kN/m3   |
| 1                                           | 20.00 | 2.00  | 0   | 18.00 | 19.00   |
| 2                                           | 22.00 | 10.00 | 0   | 18.50 | 19.50   |
| 3                                           | 30.00 | 5.00  | 0   | 18.50 | 19.50   |