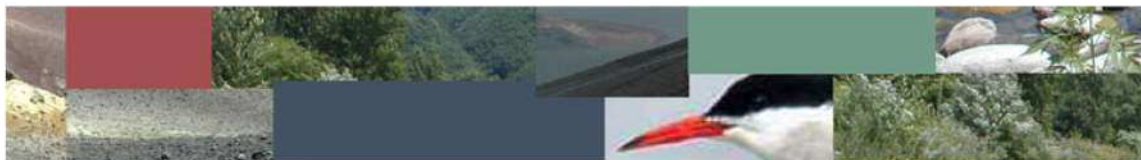


COMUNE DI MASSA

**STUDIO GEOLOGICO A SUPPORTO DELLA PROPOSTA DI VARIANTE URBANISTICA E  
PIANO DI RECUPERO DEL COMPLESSO EX OLIVIERO POSTO IN VIA LUNGOMARE DI  
LEVANTE – LOCALITA' RONCHI POVEROMO.**



Progettista: Studio Associato Bocelli

## *Relazione Geologica*

Ottobre 2022

aggiornamento Dicembre 2025

## INDICE

<b>1 – PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3 – IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>4 - AMBIENTE IDRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>5 – CONSIDERAZIONE SUL RISCHIO IDRAULICO E GEOLOGICO.....</b>	<b>11</b>
<b>6 – MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1.- Penetrometria statica.....</b>	<b>13</b>
<b>7 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>14</b>
<b>8 - INDAGINI GEOFISICHE.....</b>	<b>19</b>
<b>9 - FATTIBILITA' GEOLOGICA SISMICA ED IDRAULICA SECONDO RU.....</b>	<b>20</b>
<b>10. – VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO E CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' AI SENSI DELLA DEL REGOLAMENTO REGIONALE 5/R/2020.....</b>	<b>21</b>
<b>10.1 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti geologici .....</b>	<b>24</b>
<b>10.2 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti idraulici .....</b>	<b>26</b>
<b>10.3 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti sismici .....</b>	<b>28</b>
<b>11 – DISPOSIZIONI IN MATERIA DI PERMEABILITA' DEI SUOLI – INVARIANZA IDRAULICA - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>30</b>

Tavola 1 – Corografia

Tavola 2 – Carta geologica

Tavola 3 – Carta della pericolosità sismica

Tavola 4 – Carta della pericolosità geologica ed idraulica

ALLEGATO 1 – PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 2 – INDAGINI SISMICHE

## 1 – PREMESSA

Per incarico dello Studio Associato Bocelli è stato eseguito uno studio di fattibilità geologica a supporto della “Proposta di Variante Urbanistica e Piano di Recupero” da eseguirsi presso il complesso denominato ex Oliviero posto in via Lungomare di Levante, Località Ronchi Poveromo, Comune di Massa (v. Fig. 1 e Tav.1).

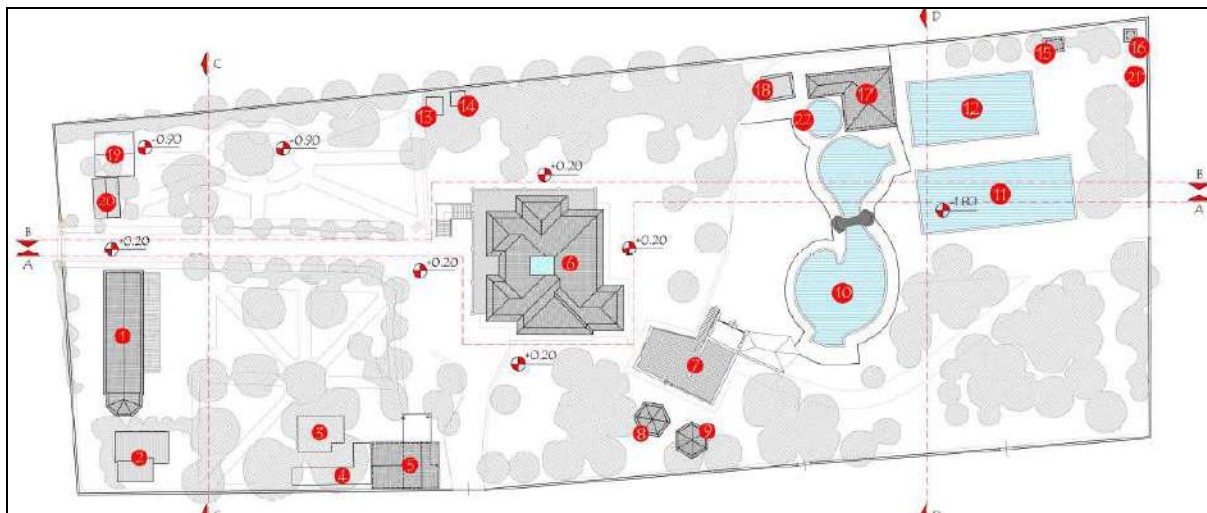


Fig. 1 - Area oggetto d'intervento – Stato attuale

NUMERO EDIFICIO	DESCRIZIONE EDIFICIO	TIPO DI INTERVENTO
1	Alloggio residenziale del Proprietario	Non oggetto di P.d.R.
2	Alloggi personale e Magazzino	Non oggetto di P.d.R.
3	Alloggi del personale	Oggetto di P.d.R.
4	Alloggi del personale	Oggetto di P.d.R.
5	Alloggio del custode	Non oggetto di P.d.R.
6	Villa	Non oggetto di P.d.R.
7	Locali di servizio	Oggetto di P.d.R.
8	Spogliatoi	Non oggetto di P.d.R.
9	Docce	Non oggetto di P.d.R.
10	Piscina	Non oggetto di P.d.R.
11	Piscina	Oggetto di P.d.R.
12	Piscina	Oggetto di P.d.R.
13	Locale tecnico	Oggetto di intervento
14	Locale tecnico	Oggetto di intervento
15	Locale tecnico	Oggetto di intervento
16	Locale tecnico	Oggetto di intervento
17	Spogliatoio e Magazzini	Oggetto di P.d.R.
18	Locale di deposito	Oggetto di P.d.R.
19	Serra	Oggetto di P.d.R.
20	Garage	Oggetto di P.d.R.
21	Direzione *	Non oggetto di P.d.R.
22	Piscina	Oggetto di P.d.R.

Il complesso si compone di varie strutture realizzate attorno al fabbricato principale sviluppato su due piani in muratura ordinaria, di vecchia costruzione, sistemato a villa, costituita al piano terra da vari locali tenuti come deposito, cantine e/o magazzini, al piano primo composto da ampio soggiorno e molteplici camere con servizi igienici (Fab. n.6). Nelle immediate vicinanze vi è un secondo fabbricato posto su due piani fuori terra, in muratura ordinaria, composto da locali, con annessi servizi, guardaroba ed ufficio (Fab. 7).

A corredo vi sono n. 4 piscine interrate di varia forma (Fabb. nn. 10,11,12 e 22), un piccolo fabbricato in struttura lignea (Fab. 17) e due strutture esagonali in ferro e muratura (Fabb. 8 e 9) oltre a n. 3 piccole costruzioni in muratura ad un piano adibite a depositi vari e servizi tecnici (Fabb. nn. 15, 16 e 18).



Lo studio in generale è stato condotto in ottemperanza alle seguenti leggi e strumenti di governo del territorio sovraordinati:

- Legge Regionale 10 novembre 2014, n. 65 “Norme per il governo del territorio” ;
- Piano di indirizzo territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico, approvato con Del.G.R. n.37 del 27.03.2015;
- DGRT n. 741 del 6 Agosto 2012 “Approvazione delle nuove specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica”, con riferimento all’All.A, All.B e Appendice I;
- OPCM n. 3907 del 13.11.2010;
- OPCM 4007/2012, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall’Art. 11 della Legge n. 77 del 24/06/2009.
- LR n. 58/2009 inerente le norme regionali in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico;
- Standard di rappresentazione ed archiviazione informativa , versione 2.0 –beta II (Commissione Tecnica per la MS, art. 5 comma 7 dell’O.P.C.M. n. 3907 del 13.11.2010 (Giugno 2012));
- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome;
- Volume di “Ingegneria Sismica 2/2011”.
- “La norma sismica relativa alla riclassificazione del territorio regionale”, approvata con Del. G.R. n.431 del 19.06.2006, in attuazione della O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 che modifica l’O.P.C.M. n.3274 del 20.03.2003, recentemente sostituita dalla Del.G.R. n.878 del 08.10.2012,
- Decreto Ministeriale LL.PP. 17.01.2018, Testo Unitario – Norme Tecniche delle Costruzioni;
- Circ 21 gennaio 2019, n° 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17-01-2018.
- Regolamento 30 gennaio 2020, n. 5/R Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.
- Istruzioni Programma VEL (Valutazione degli effetti locali) L.R. 56 del 30/07/97;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per il Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale ai sensi dell’art. 4 comma 3 del D.Lgs. 219/2010, con deliberazione n. 235 del 3 marzo 2016 del Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino del fiume Arno;  
Distretto Settentrionale - Piano di Gestione delle Acque - Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016;
- Variante al P.T.C. di adeguamento e conformità al P.I.T- Delibera di C.P. n. 9 del 13/04/2005,
- P.T.C. (Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Massa Carrara; Variante di adeguamento e conformità al P.I.T. del 2005) approvato con D.C.P. n°9 del 13/04/2005;
- Piano Strutturale approvato con deliberazione del Consiglio comunale n. 66 del 9/12/2010;
- Deliberazione del Consiglio comunale n. 16 del 26/02/2015. Aggiornamento geomorfologico e definizione della pericolosità geologica del territorio.
- Deliberazione del Consiglio comunale n. 34 del 12/05/2015. Aggiornamento delle indagini idrologiche e idrauliche, del reticolo idraulico, della dinamica costiera e definizione degli ambiti di pertinenza fluviali;
- Deliberazione del Consiglio comunale n. 50 del 14/05/2015. Aggiornamento del quadro conoscitivo del piano strutturale relativo agli studi di microzonazione sismica e alla definizione della pericolosità sismica
- L.R. 24 luglio 2018 n° 41 - Disposizioni in materia rischio alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n° 49 . Modifiche alla L.R: 80/2015 e L.R. 65/2014

In questa fase la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata ottenuta attraverso indagini eseguite in situ in una precedente campagna geognostica (anno 2016).

L’area è soggetta a vincolo idrogeologico ma non fa parte delle aree boscate (v.FIG.3).

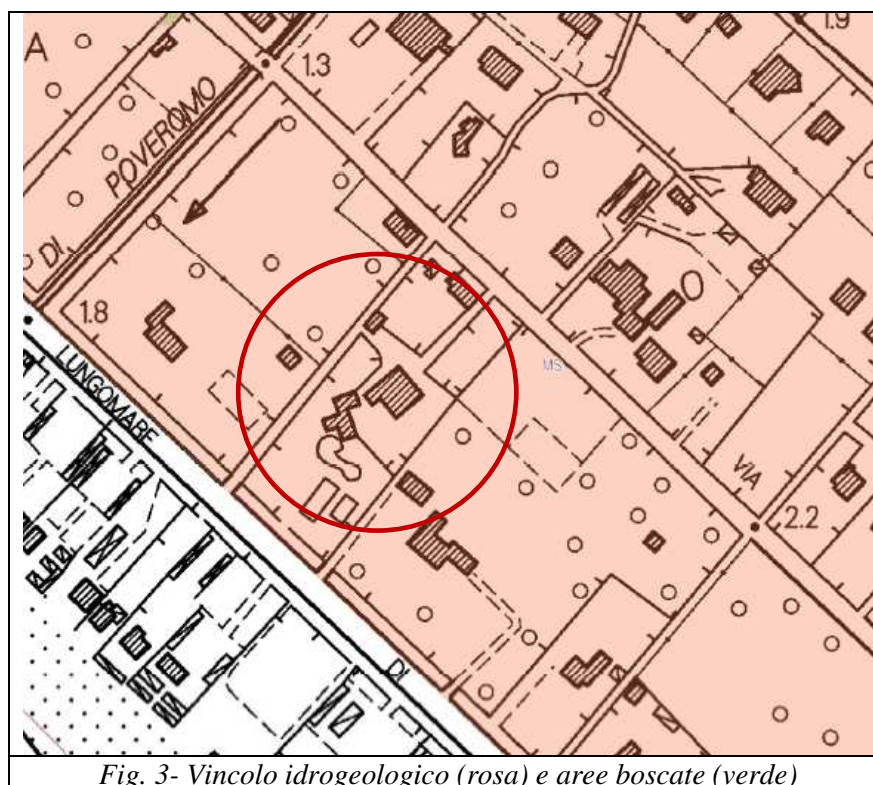


Fig. 3- Vincolo idrogeologico (rosa) e aree boscate (verde)

## 2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le Alpi Apuane costituiscono una finestra tettonica nell'Appennino settentrionale in cui affiorano le unità più profonde dell'orogene. Diverse fasi tettoniche hanno portato alla strutturazione dell'edificio a falde così come oggi ci appare. Si passa infatti da un fase compressiva precoce denominata Fase Ligure (Cretacico superiore – Eocene medio) che ha interessato le Unità Liguri interne e successivamente quelle esterne (Elter et alii, 1964), con la quale si ha la formazione di una catena di età eocenica con coinvolgimento di crosta oceanica e relativa copertura, ad una fase, a partire dall'Oligocene, compressiva denominata Toscana durante la quale le Unità Liguri, già strutturate nel ciclo precedente, si accavallano sul Dominio toscano. Durante questa fase l'Unità tettonica della Falda Toscana è deformata ed interessata da metamorfismo solo anchizonale (Cerrina Feroni et alii, 1983; Reutter et alii, 1983; Carosi et alii, 2003), la sottostante Unità tettonica dell'Autoctono Auctt. è intensamente deformata con pieghe isoclinali chilometriche e raggiunge un metamorfismo in facies scisti verdi. (v Fig.4).

A partire dal Tortoniano un'importante fase distensiva caratterizzata da faglie a basso angolo interessa tutto il margine interno dell'Appennino settentrionale. L'esumazione del complesso metamorfico apuano deriva dalla denudazione tettonica causata dal sollevamento isostatico ed erosione connesse con la tettonica distensiva miocenica e più recente, che ha anch'essa prodotto deformazioni penetrative duttili nel complesso metamorfico. La distensione si realizza nell'Unità tettonica dell'Autoctono Auctt. mediante zone di taglio duttili spesso lungo le linee delle precedenti strutture compressive e nell'Unità tettonica della Falda Toscana e nelle Liguridi mediante faglie dirette a basso angolo e rotazione di blocchi. I due complessi sono separati da un orizzonte (Calcere Cavernoso) che ha funzionato come superficie di thrust NE-vergente durante le fasi compressive e come superficie di scollamento durante la tettonica distensiva (Carmignani & Kligfield, 1990). Le più recenti fasi deformative sono costituite da faglie normali ad alto angolo che dislocano le faglie precedenti ed sono caratterizzate da faglie che delimitano le depressioni tettoniche del Serchio e della Versilia colmate da sedimenti pliocenici e quaternari. L'evoluzione del paesaggio dell'area ha inizio con il sollevamento della dorsale delle Apuane e l'inizio dell'approfondimento del reticolo di drenaggio.

Il sollevamento dell'area è iniziato nel Pliocene Inferiore-Medio quando dei corsi d'acqua drenavano verso N e NE andando a costituire delle pianure alluvionali i cui depositi sono oggi conservati in Lunigiana (Aulla-Olivola) e nella Valle del Serchio (Garfagnana-Barga). Successivamente, con l'apertura del Bacino tirrenico e la definitiva creazione del rilievo delle Alpi Apuane, si imposta il drenaggio attuale. Durante il Quaternario recente l'area è stata soggetta alle dinamiche erosive e deposizionali tipiche dell'alternanza dei periodi glaciali-interglaciali. Durante l'ultima glaciazione, sulle parti alte dei rilievi, sono state modellate numerose forme glaciali e crio-nivali mentre i depositi corrispondenti sono presenti in lembi ridotti prevalentemente nelle valli esposte a N dove l'accumulo glaciale era maggiore. Nell'area costiera i corsi d'acqua, all'uscita dal settore montuoso, depositavano ingenti quantità di sedimenti provenienti dalla degradazione dei versanti in ambiente freddo e arido con formazione di ampie conoidi alluvionali a cui erano associate estese pianure alluvionali che si raccordavano al livello marino che era circa 120 m più basso dell'attuale. Con il miglioramento climatico olocenico i versanti hanno cominciato a rivegetarsi e la diminuzione di produzione di detrito ha favorito la progressiva incisione dei corsi d'acqua che ha interessato anche le conoidi alluvionali precedentemente deposte. La risalita del livello marino ha portato nella fase di massima trasgressione al modellamento di una falesia a spese delle conoidi stesse (Sestini, 1950). Successivamente con l'affermarsi dello sfruttamento antropico e la degradazione della vegetazione dei versanti il carico solido dei corsi d'acqua è aumentato provocando l'arretramento della linea di riva e la formazione di una fascia di dune e stagni paralleli alla costa.

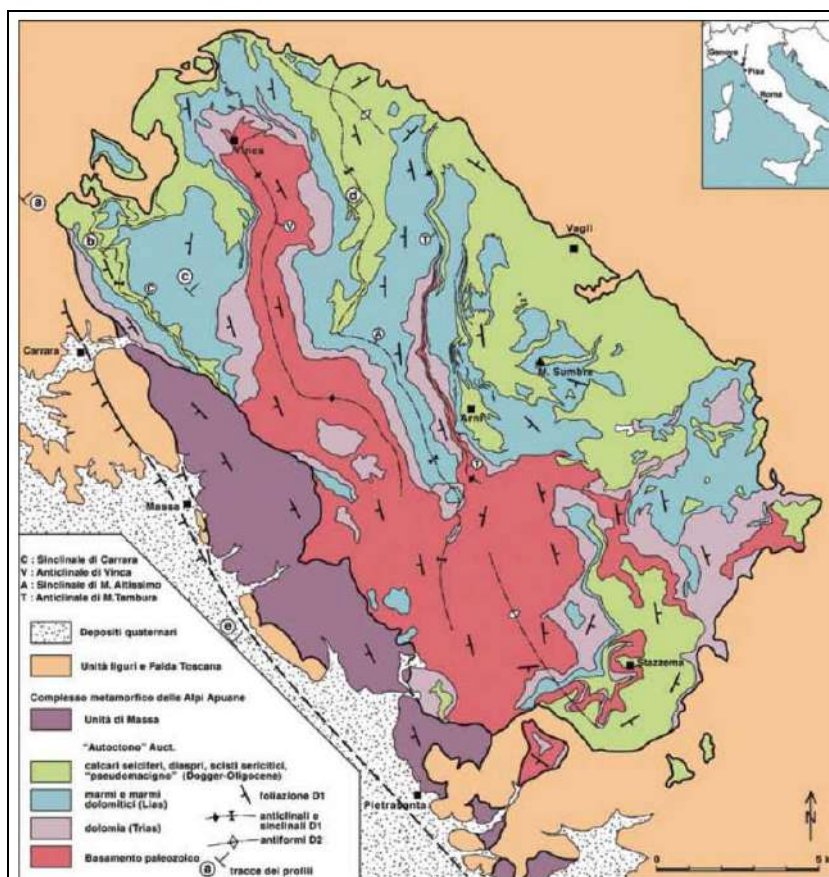


Fig. 4 – Schema tettonico Alpi Apuane

L'area di studio è ubicata a sud dell'autostrada Viareggio Genova in zona subpianeggiante. Infatti l'attuale assetto del territorio è la diretta conseguenza della dinamica fluviale, marina e della subsidenza avvenuta a partire con la fine dell'ultima glauciazione (Wurm), circa 10.000 anni fa. In particolare è dovuta agli apporti alluvionali del Torrente Frigido, piuttosto che a quelli del Torrente Canalmagro.

Con il passaggio ad un clima più temperato sono diminuiti gli apporti solidi dai corsi d'acqua e hanno prevalso le dinamiche marine con l'insabbiamento delle foci e la formazione di sempre più estesi litorali marini e cordoni dunali. Da un punto di vista geologico affiorano le sabbie litorali e più a monte le sabbie di dune costiere. Si tratta dei depositi di spiaggia e dunali, orientati in direzione NO-SE, che costituiscono il sistema di avanzamento della linea di costa a seguito della massima trasgressione olocenica attribuibile all'optimum climatico. Tale avanzamento è legato all'incremento del carico solido del Fiume Frigido e dei Torrenti Ricortola e Magliano. Si tratta di un sistema complesso di cordoni litorali, barre sabbiose e dune costiere di origine eolica e marina il cui riconoscimento è oggi quasi completamente impedito dalla forte antropizzazione dell'area. Originariamente comprendevano anche aree di retroduna occupate da piccoli stagni o interessate da fenomeni di ruscellamento che ne rielaboravano i depositi. (v. Tav.2)

Dal rilievo di campagna l'intera area appare stabile ed il drenaggio delle acque meteoriche avviene tramite alcuni fossi campestri che redimano le acque verso valle.

### 3 – IDROGEOLOGIA

La zona in esame è solcata da un reticolo idrografico che trae origine dalle pendici collinari poste a monte. Questi corsi d'acqua hanno carattere torrentizio.

Le sabbie marine ed eoliche della fascia costiera rappresentano un acquifero libero di buona permeabilità, sovrastante quello costituito dai depositi alluvionali, che si trovano ad una profondità massima di 30-35 metri presso la costa. In alcune zone, dove non ci sono né i conglomerati né i livelli limosi, c'è un unico acquifero monostrato (ovviamente con variazioni di permeabilità dovuta alla granulometria). Le sabbie marine rappresentano l'acquifero sfruttato soprattutto da pozzi ad uso agricolo o domestico.

Nell'area in esame i depositi quaternari sono dotati di una permeabilità primaria che varia in funzione della natura stratigrafica e granulometrica.

Sulla base delle informazioni esistenti, dai dati stratigrafici ottenuti e dalla tipologia di progetto in essere è da ritenere che l'intervento vada ad interessare prevalentemente o esclusivamente i depositi sabbiosi e quindi la porzione superficiale degli acquiferi, siano in comunicazione fra loro.

Misure piezometriche evidenziano un livello di falda posto a partire da circa 0.75 m dal p.c., con escursione di circa -1.00 m. durante l'arco dell'anno. (v Fig.5) Tali valori trovano conferma anche nelle misure piezometriche registrate presso il piezometro *Sat1 - Massa*, posto a circa 700 m ad est dell'area in esame, il cui andamento nell'anno 2020 è indicato nella figura seguente con una media piezometrica di 0.86 m dal p.c.. (v Fig. 6).

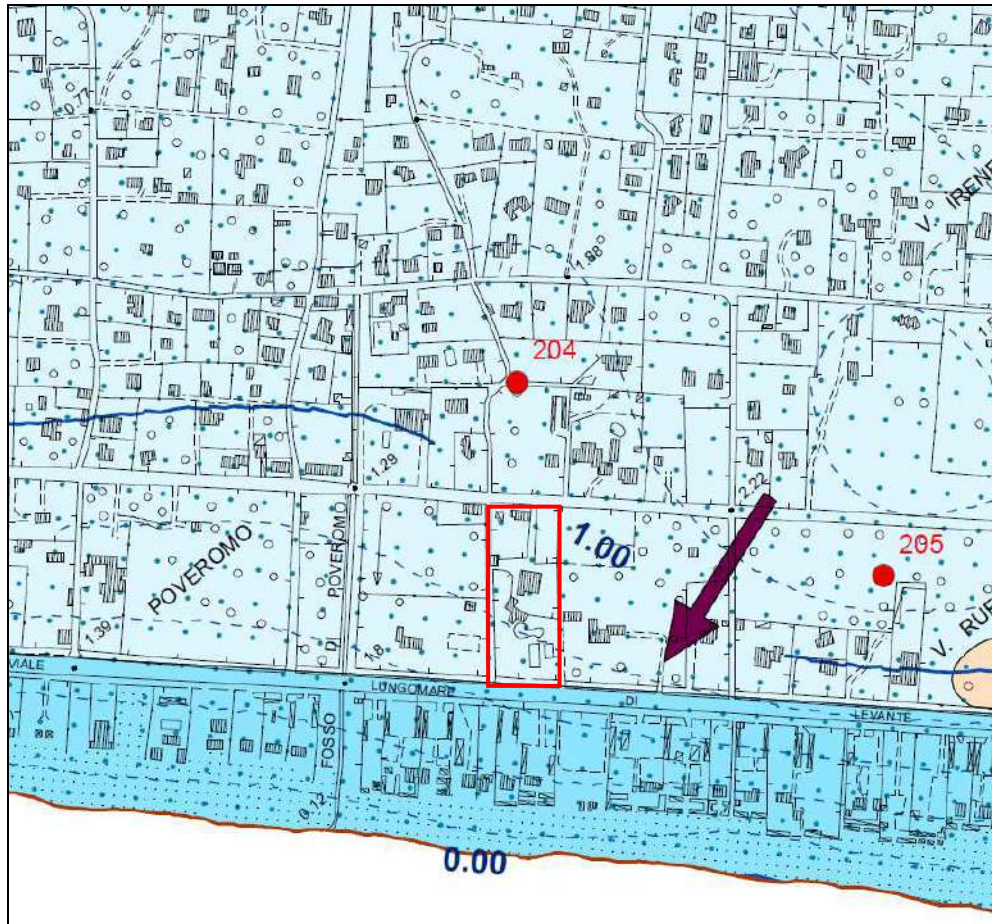


Fig. 5 – Carta piezometrica – Aprile – Tab. B PS.

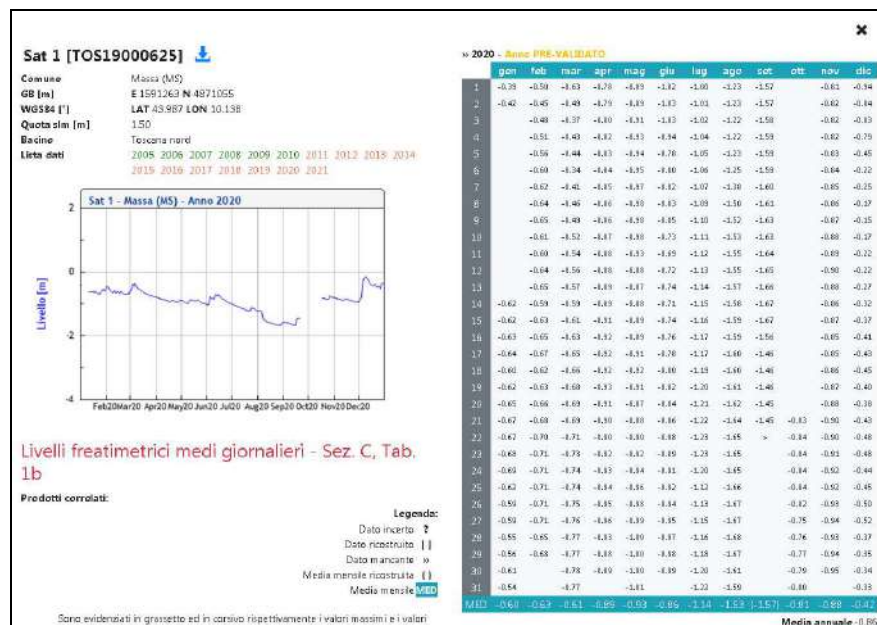


Fig. 6 - Andamento freaticometrico sulla base dei dati medi giornalieri. (www.sir.toscana.it stazione TOS19000625)

Si riportano di seguito le misure piezometriche effettuate durante la campagna d'indagine eseguita in situ (anno 2016).

<i>n° identificativo</i>	<i>Livello da p.c. m</i>
<i>CPTI</i>	<i>1.50 ottobre 2016</i>

La soggiacenza e la natura stratigrafica dei terreni comporta un grado di protezione della falda molto basso (v. Fig.7), sono pertanto da applicarsi, come previsto dall'art. 18 delle NTG, le disposizioni e i criteri contenuti negli art. 53, 54 e 55 della Disciplina di Piano del PS vigente (Titolo IV, Capo II "Lo statuto per la risorsa acqua").

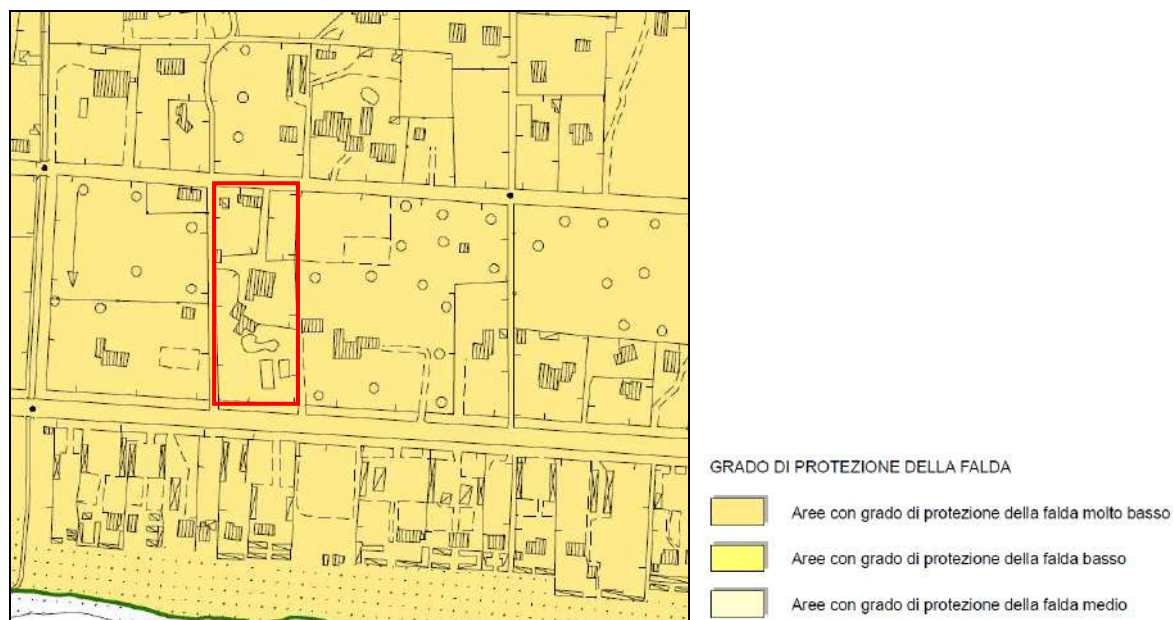


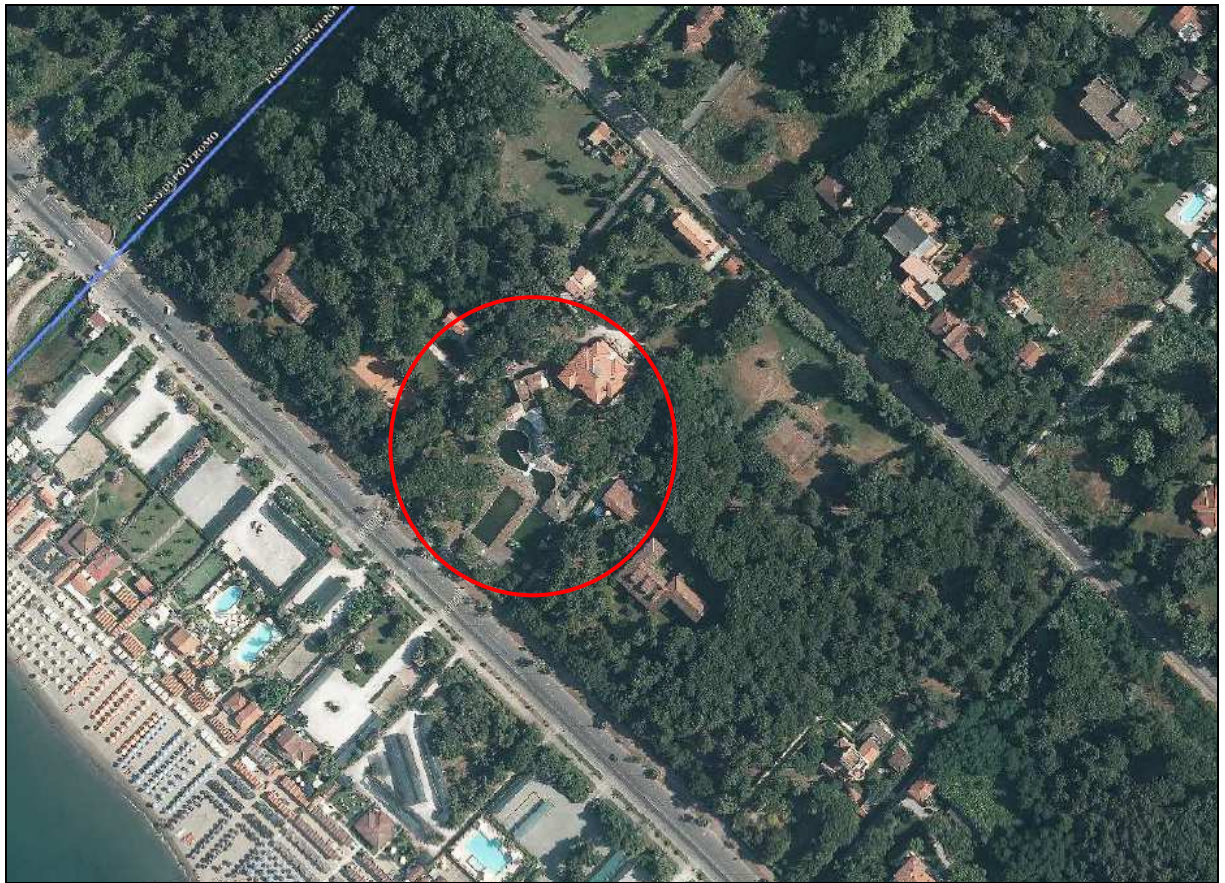
Fig. 7 – Carta delle aree con problematiche idrogeologiche

#### 4 - AMBIENTE IDRICO

Il reticolo idrografico e di gestione, individuato dalla Regione Toscana attuando quanto disposto dalla Legge regionale 79/2012, è stato approvato, in fase di prima attuazione nel 2013 e più volte aggiornato in seguito a modifiche territoriali o infrastrutturali.

Le precedenti versioni, le cui istruttorie preliminari si sono svolte congiuntamente con tutti i soggetti pubblici coinvolti, sono state approvate con delibera di Consiglio 101/2016, 20/2019 e delibera di Consiglio 28/2020, nonché con delibere di Giunta 1357/2017, 899/2018 e 904/2020 per correggere meri errori cartografici. Il reticolo aggiornato e attualmente vigente è stato approvato con delibera di Consiglio 81/2021 e relativo allegato A.

Il corso d'acqua più vicino all'area di intervento è il **Fosso Poveromo** (TN 30069) che risulta tuttavia ad una distanza superiore a 10.00 m dal ciglio di sponda così da non essere soggetto alle disposizioni della L.R.41/2018 (v. Fig.8). Anche la cartografia delle pertinenze fluviali del Piano Strutturale del Comune di Massa - Tav. 22-3b - non individua alcuna appartenenza (v. Fig.9).



*Fig. 8 - Reticolo idrografico Regione Toscana - DCR 81/2021*



*Fig. 9 – Carta delle Pertinenze fluviali – Tav 22-3b*

## 5 – CONSIDERAZIONE SUL RISCHIO IDRAULICO E GEOLOGICO

Il tema della fragilità idraulica si pone come uno degli aspetti fondamentali nel governo del territorio; la crescente interazione tra la rete idrografica e l'attività antropica necessita, infatti, di un'analisi delle condizioni di rischio cui sono sottoposti beni e persone. Tale condizione può essere collegata sia a fenomeni di esondazione e/o dinamica in alveo sia a fenomeni di ristagno dovuto alla difficoltà di drenaggio da parte della rete scolante, favorite anche, da situazioni geomorfologiche locali particolari, quali le aree depresse.

Per definire le pericolosità dell'area in esame si farà riferimento alle varie cartografie redatte dai vari Enti di gestione del territorio, come di seguito specificato.

### STRUMENTI URBANISTICI COMUNE DI MASSA . v. Tav.4.

<b>Pericolosità geologica</b>	G2 - media
<b>Pericolosità idraulica</b>	I1 bassa /I2 – media <i>su porzione del comparto</i>
<b>Area interessata da eventi alluvionali aventi Tr 200 anni</b>	ASSENTI
<b>Area interessata da battenti di esondazione nell'ipotesi di rottura arginale Tr 30 anni</b>	ASSENTI
<b>Fenomeni di ristagno</b>	ASSENTI
<b>Area soggetta a colate detritiche</b>	ASSENTI
<b>Fenomeni di subsidenza</b>	ASSENTI
<b>Problematiche di natura costiera</b>	ASSENTI

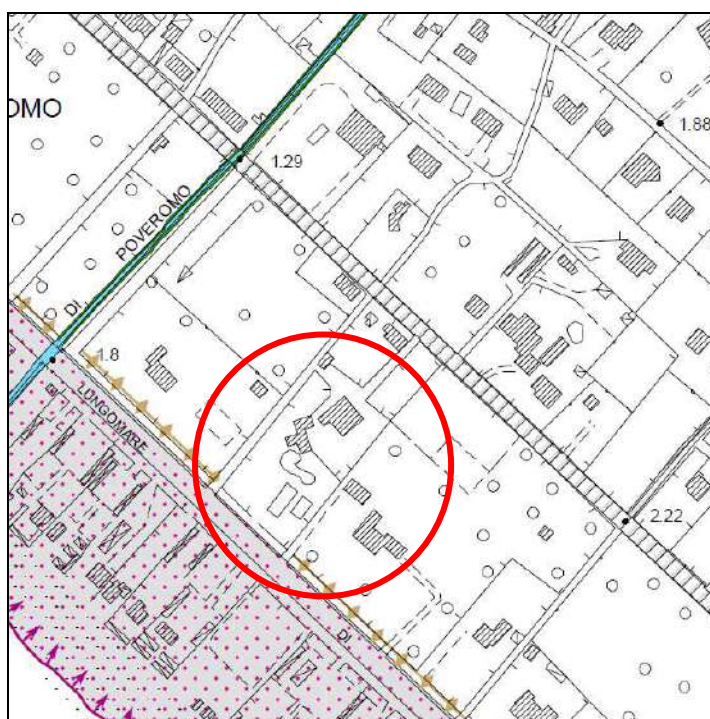
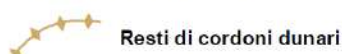


Fig. 10 – Carta delle arre con problematiche di natura costiera

### FORME, PROCESSI E DEPOSITI DOVUTI AL VENTO



## DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE

Per effettuare una ulteriore valutazione della pericolosità idraulica è stato valutato lo studio del Distretto Appennino Settentrionale “*Piano di Gestione Rischio Alluvioni*”, dove si rileva che la zona ricade all’interno delle aree P1 (v. Fig.11).

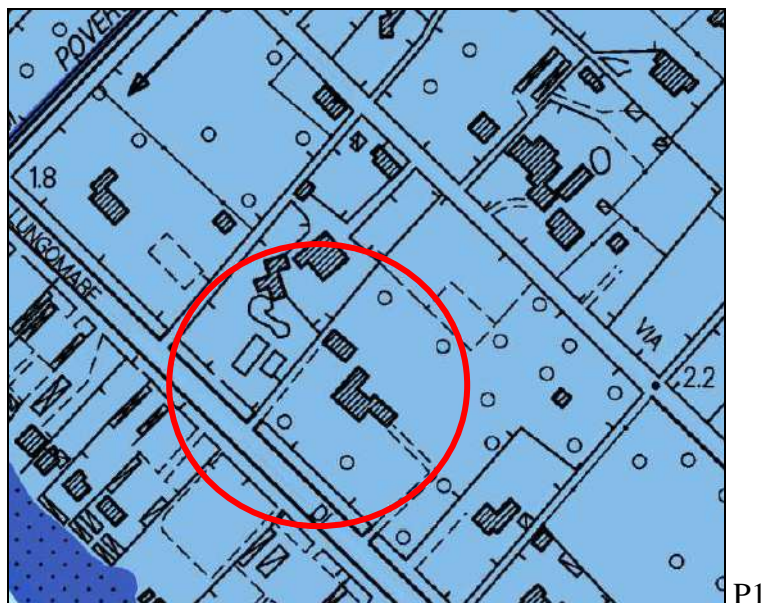


Fig. 11 - PGRA - Mappa della pericolosità da alluvione fluviale e costiera

## 6 – MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Gli studi sono iniziati a partire dall’acquisizione del quadro diagnostico emergente, dalle attività e dalle indagini svolte sull’area. Infatti la caratterizzazione e la modellazione geologica della zona consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e più in generale, di pericolosità del sito. Con riferimento ai dati di conoscenza è stata eseguita la distinzione dei terreni attraversati e la loro caratterizzazione geotecnica.

Al fine di approfondire le conoscenze locali sono state realizzate, in situ, due prove penetrometriche statiche ed un profilo sismico MASW (v. Fig.12). I relativi diagrammi riportano, in funzione della profondità in metri sotto la superficie del terreno, le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta. Con riferimento ai dati rilevati dalle prove e, in particolare, dai rilievi geologici è stata effettuata la distinzione dei terreni attraversati e la loro caratterizzazione geotecnica.

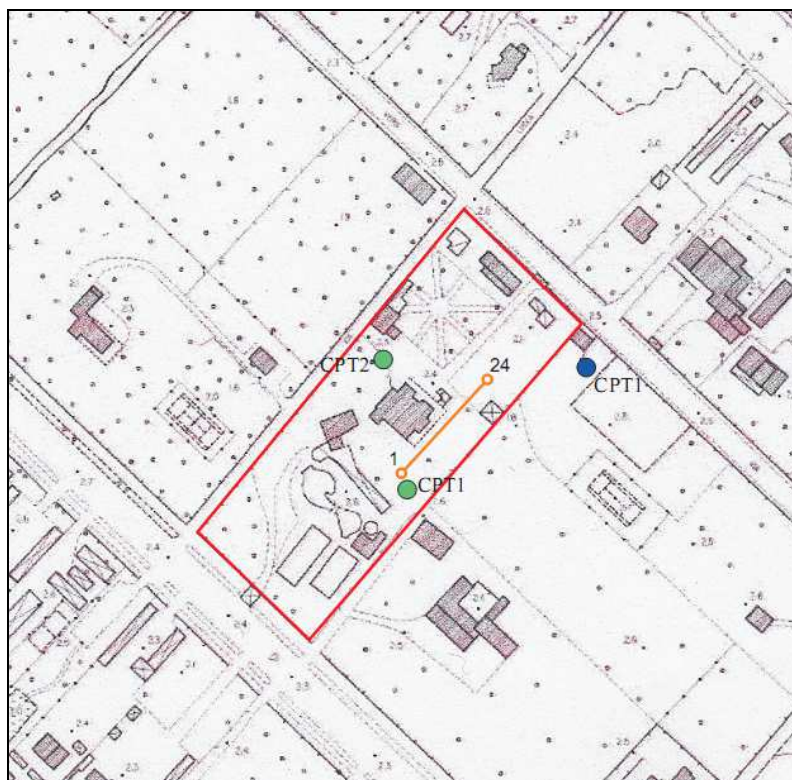


Fig. 12 - Carta delle indagini

- CPT1 ● Indagini geognostiche campagna 2016
- CPT1 ● Indagini geognostiche campagna 2014
- Indagini sismiche - campagna 2016

### 6.1.- Penetrometria statica

Le prove sono state eseguite con penetrometro statico tipo Gouda da 200 kN di spinta, dotato di punta meccanica tipo Begemann. I diagrammi della prova, vedi All. 1, riportano in funzione della profondità in metri sotto la superficie del terreno le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta, rispettivamente di:

- R<sub>p</sub>*: resistenza alla punta (kg/cm<sup>q</sup>);
- R<sub>l</sub>*: resistenza di attrito laterale locale (kg/cm<sup>q</sup>);
- R<sub>p</sub>/R<sub>l</sub>*: rapporto Begemann.

Il valore del rapporto *R<sub>p</sub>/R<sub>l</sub>* (rapporto Begemann) dipende dalla granulometria dei terreni attraversati e permette pertanto la ricostruzione della stratigrafia dei terreni stessi, come riportato a fianco dei diagrammi con simbologia standardizzata (AGI 1977). Nelle tabelle allegare sono inoltre riportati i valori derivati di:

- peso dell'unità di volume del terreno ( $\gamma$  in t/mc);
- angolo di attrito interno ( $\varphi$  in gradi) [da correlazioni di Meyerhof]
- densità relativa (*D<sub>r</sub>* in %);
- coesione non drenata (*c<sub>u</sub>* in kg/cm<sup>q</sup>);
- modulo di deformazione edometrico (*E<sub>o</sub>* in kg/cm<sup>q</sup>).

Secondo quanto indicato dalla Circolare 2 febbraio 2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici è possibile assumere, come parametri “caratteristici”, i parametri “medi” derivanti dalle indagini geotecniche eseguite nel sito.

I parametri di progetto derivano invece dall’applicazione dei coefficienti di riduzione parziali, previsti dal D.M. 17/01/18, che dovranno essere presi in considerazione nella relazione geotecnica. Sulla base dei dati ricavati dalle prove è stato possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica e i relativi parametri geotecnici.

#### Prova P1

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERISTICI	
da 0,00 m a 0.80 m Limi sabbiosi e/o riporto	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 29° = 0,009 cmq/ kg
da 0.80 a 2.40 m Sabbie e sabbie limose	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 30° = 0,007 cmq/ kg
da 2.40 a 3.20 m Sabbie addensate	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 32° = 0,004 cmq/ kg
da 3,20 a 9.20 m Sabbie	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 30° = 0,008 cmq/ kg
da 9,20 a 10 m Sabbie addensate	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,95 t/mc = 32° = 0,005 cmq/ kg

#### Prova P2

INTERVALLO DI PROFONDITA' E LITOLOGIA	PARAMETRI CARATTERISTICI	
da 0,00 m a 0.80 m Limi sabbiosi e/o riporto	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,85 t/mc = 29° = 0,010 cmq/ kg
da 0.80 a 11.00 m Sabbie e locali passaggi di sabbie limose	peso di volume, $\gamma$ angolo di attrito Coeff. compressibilità, (medio)	= 1,90 t/mc = 30° = 0,008 cmq/ kg

## 7 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA

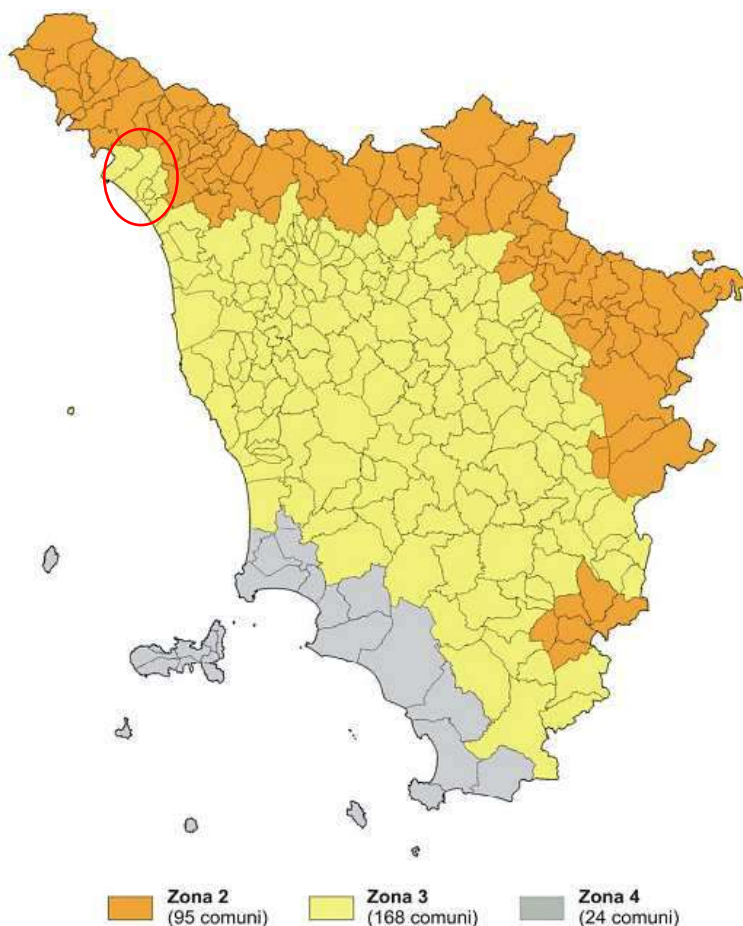
L’azione sismica sui manufatti è generata dal moto non uniforme del sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Con il termine di “zonazione sismica” s’intende, convenzionalmente, l’operazione di suddivisione del territorio nazionale in aree (zone sismiche) a differente livello di pericolosità, cioè in aree alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità da prendere a base per la determinazione delle azioni sismiche e di quanto altro specificato nelle norme tecniche. L’operazione ha per obiettivo la definizione del livello di esposizione alle azioni sismiche delle varie parti del paese e l’assegnazione ad ogni zona di alcuni parametri ingegneristici utili per la progettazione strutturale. In termini molto

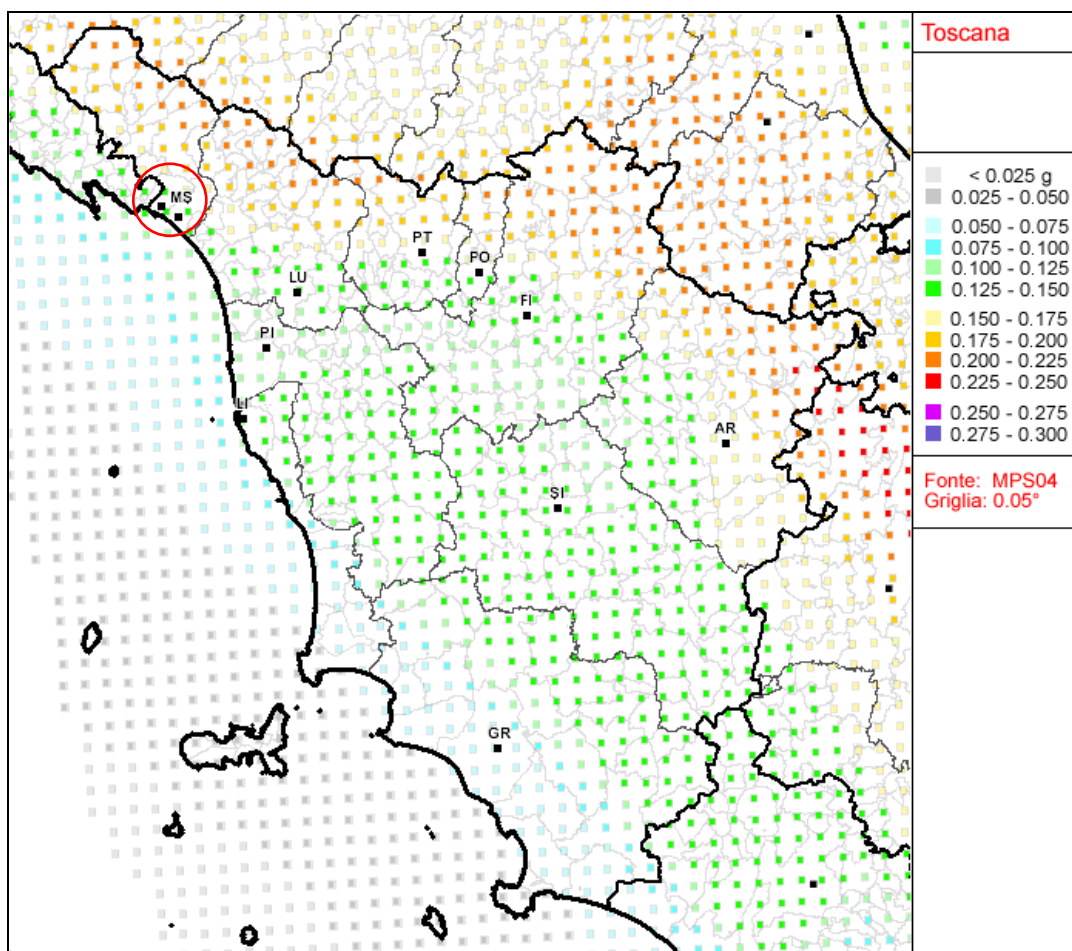
semplificati, le ricerche di supporto per una zonazione sismica comprendono studi di sismicità storica, ricerche di geologia strutturale e studi sismologici.

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana realizzato nel 2012, il territorio comunale di Massa ricade nella Zona 3. Si riporta di seguito le modifiche di classificazione succedute negli anni.

Cod. ISTAT	Comune	CLASSIFICAZIONI SISMICHE PRECEDENTI									ATTUALE Del. G.R.T. n°421/26 maggio 2014 e Comuni fuusi al 01/01/2019				
		Regio Decreto 13 marzo 1927 n°431	n.c. dal 1929	Regio Decreto 25 marzo 1935 n°940	n.c.	Regio Decreto 22 novembre 1937 n°2105	n.c.	Legge 25 novembre 1962 n°1684	n.c.	Decreto Ministeriale 19 marzo 1962		2	Ord. P.C.M. n°3274 20 marzo 2003 Del. G.R.T. n°504 16 giugno 2003	2	Ord. P.C.M. n°3519 28 aprile 2006 Del. G.R.T. n°431 18 giugno 2006
045010	MASSA	2	n.c. dal 1929	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	2	2	3,5	3	3		



L'O.P.C.M 3519 del 28 aprile 2006 suddivide le zone 1,2 e 3 in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  con intervalli minori di 0.025 g ricavati dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale allegata al testo dell'ordinanza. La mappa è consultabile all'indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it> che assegna al Comune di Massa un valore di  $a(g)$  compreso tra 0.125 g e 0.150 g. In particolare la Regione Toscana fornisce, per ogni comune, il parametro **ag(475) rif**, che rappresenta la massima accelerazione attesa al suolo (PGA) corrispondente al tempo di ritorno di 475 anni (Mappa di pericolosità sismica INGV, 2004 - 50° percentile), espressa in g e riferita alle coordinate della sede comunale.



Nella figura 12 è riportata la storia sismica del Comune di Massa così come dedotta dal Data Base Macrosismico Italiano DBMI11 (Locati, Camassi e Stucchi, 2011). Si vede che le informazioni disponibili riguardano solo il periodo successivo al 1700 ed individuano almeno tre eventi caratterizzati al sito da effetti di VII grado MCS analoghi quindi a quelli recentemente osservati nel corso dell'ultimo terremoto che ha colpito le province di Modena e Ferrara nel 2012.

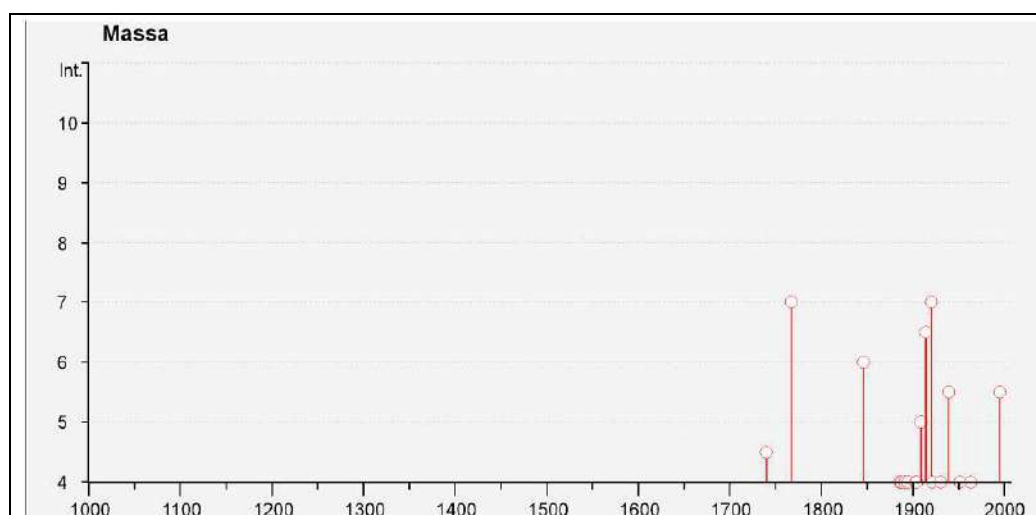


Figura 12. Storia sismica del Comune di Massa dedotta dal DBMI11 (Locati, Camassi e Stucchi, 2011). In corrispondenza di ciascuna data (in ascissa) è riportata l'intensità dei risentimenti documentati nel capoluogo comunale seconda la scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Nella Tabella 1 sono invece riportate le indicazioni di dettaglio riguardo ai principali terremoti riportati nella figure precedente. Come si vede, dei quattro eventi principali, tre sono caratterizzati da sorgenti sismiche poste nell'area della Garfagnana (eventi del 1914 e 1920) e della Lunigiana (evento del 1767). Solo un evento è legato a sorgenti non appenniniche (terremoto di Orciano Pisano del 1846). Sembra quindi che la zona sismogenica potenzialmente più pericolosa sia quella associata ai due graben appenninici della Garfagnana e della Lunigiana posti rispettivamente a Est e a Nord del capoluogo e capaci di generare eventi con magnitudo relativamente elevata (attorno a 6.0 Mw).

Intensità al sito	Tempo di occorrenza	Località epicentrale	Intensità Massima all'epicentro	Magnitudo stimata
VII	1767 01 21 07:45	Fivizzano	VII	5.4
VI	1846 08 14 12:00	Toscana settentrionale	IX	5.9
VI-VII	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	VII	5.8
VII	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	X	6.5

Tab. 1 Dettagli relativi agli eventi sismici principali che hanno interessato il Comune di Massa.

L'Amministrazione Comunale, in fase di revisione urbanistica, ha effettuato indagini attraverso misure di rumore sismico ambientale a stazione singola finalizzate alla redazione di carte delle frequenze di risonanza del sottosuolo e, insieme ad altre tipologie di elaborati (carta delle indagini, carta geologico-tecnica, ecc.), alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) (v. Fig. 14).

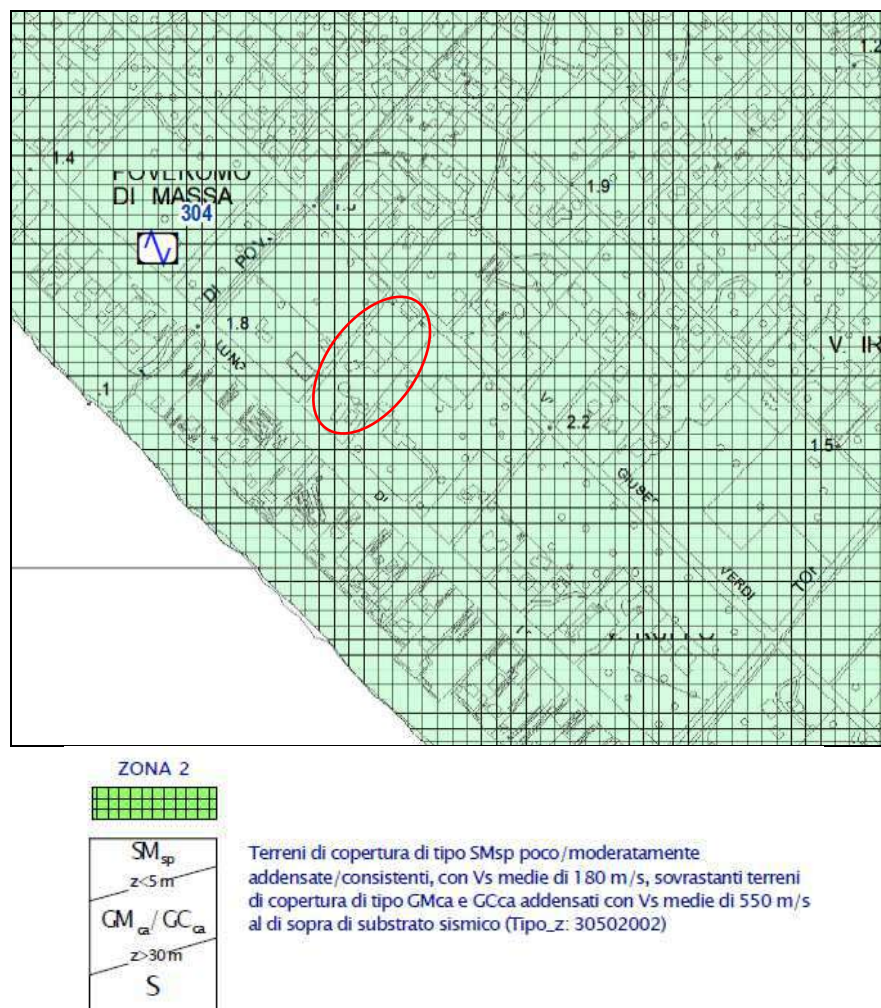


Fig. 14 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - MOPS

In particolare è stata utilizzata la tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con tromografo digitale (indagine sismica con metodologia dei microtremori). La misura del rumore sismico ambientale è stata acquisita con strumentazione tromografica portatile, dotata di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità (moto) di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V. L'elaborazione del microtremore registrato fornisce i rapporti spettrali HVSr o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970) e consente di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

E' stato principalmente analizzato l'intervallo di frequenze di maggiore interesse ingegneristico, ossia quello compreso tra 1 e 20 Hz. I risultati ottenuti sono sintetizzati nella Carta delle frequenze principali di risonanza nell'intervallo 1-20 Hz, riportata di seguito (v. Fig.15).

Come emerge dai risultati, il territorio esplorato presenta una generale variabilità di frequenze  $f_0$ . Nel caso specifico le misure eseguite in prossimità del sito in esame HVSr\_13 mostrano picchi stratigrafici significativi per valori di frequenza prossimi a 1 compatibili con l'assetto stratigrafico della piana dove il bedrock sismico si trova a profondità maggiori di 100 m

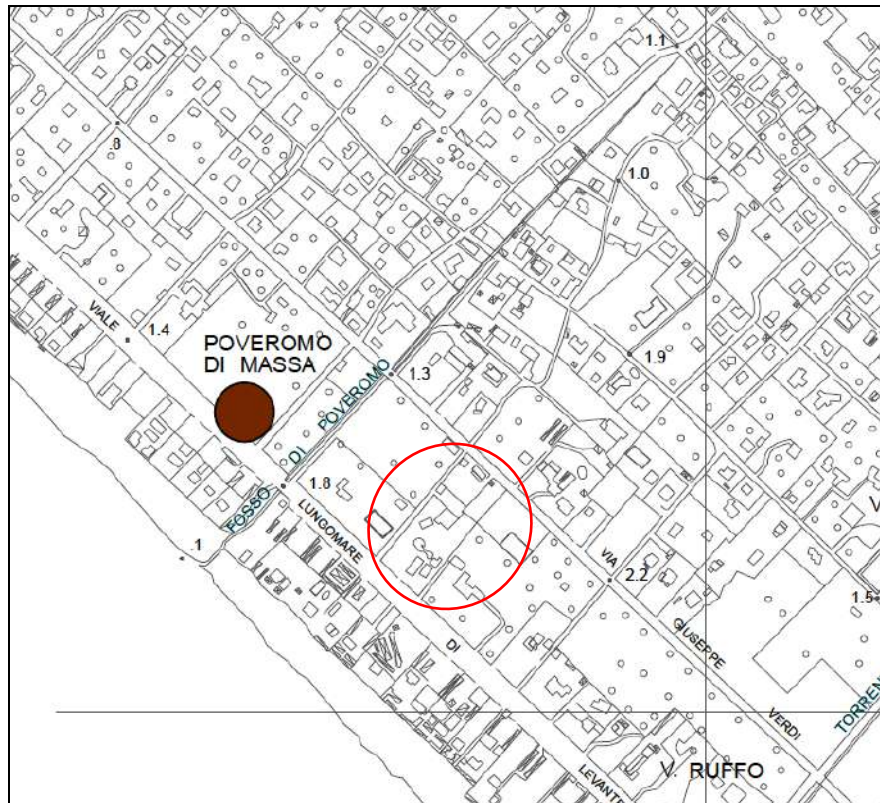


Fig. 15 - Carta delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo nell'intervallo 1-20Hz

## Legenda

$f_0$  = frequenza di risonanza (Hz)  
A = ampiezza rapporto H/V

- NESSUNA RISONANZA
- $1.0 \leq f_0 < 2.5$  / A n.d.
- $1.0 \leq f_0 < 2.5$  / A > 5.0

Gli studi eseguiti hanno permesso di classificare i terreni con pericolosità Sismica S3 – elevata (v. tav.3).

## 8 - INDAGINI GEOFISICHE

La stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. L’azione sismica di base, alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l’elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell’azione sismica stessa.

Per la classificazione sismica dell’area, nel novembre 2016, è stato eseguito uno studio MASW per il quale è stato utilizzato un sismografo Ambrogeo Echo 12/24/2002 a 16 bit.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di valutare la variazione di velocità delle onde di taglio con la profondità basandosi sulla registrazione delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) 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 (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione di ciascuna componente.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d’onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni su questa parte del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il processo che consente di determinare la variazione di velocità delle onde di taglio con la profondità consiste in tre fasi: la prima prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, la seconda consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, la terza ed ultima fase consiste nell’individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica, corrispondente al modello di suolo assegnato.

Per la determinazione dei profili di velocità si è formulato, inizialmente, un modello sismostratigrafico basato sulle informazioni ricavate dall’analisi dei primi arrivi in rifrazione e dai dati delle prove penetrometriche. Tale modello è stato successivamente sottoposto ad inversione per affinamento del profilo. Attraverso lo studio dei tempi di percorso delle onde di compressione e di taglio e quindi delle velocità, si può risalire alla disposizione geometrica e alle caratteristiche meccanicoelastiche dei litotipi presenti nell’area di indagine.

L’indagine eseguita ha permesso di definire la velocità equivalente nei primi 30 m di spessore cgeè risultata pari a  $V_{Seq} = 213$  m/s., così da classificare i terreni in classe “C”: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

## 9 - FATTIBILITA' GEOLOGICA SISMICA ED IDRAULICA SECONDO RU

Per la definizione della fattibilità dell'opera si utilizza la matrice di correlazione riportata nelle norme del RU, come di seguito riportato.

### **Fattibilità geologica F2g – per l'intero lotto**

1. *L'attuazione degli interventi previsti è subordinata alla effettuazione, a livello esecutivo, dei normali studi geologico tecnici previsti dalla normativa vigente in materia, in particolare il D.M. 14/1/08 e il DPGR n° 36/R/09, finalizzati anche alla verifica del non aggravio dei processi geomorfologici presenti nell'area di intervento;*

2. *I contenuti e gli elaborati minimi degli studi geologici, idrogeologici e geotecnici dovranno essere i seguenti:*

- a) *indagini geognostiche di dettaglio realizzate all'interno del sito oggetto di intervento, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione (l'approfondimento di indagine di tipo geologico geotecnico è richiesto soltanto a supporto dell'intervento che prevede variazioni dei carichi sul terreno e/o modificazioni morfologiche del suolo). Le indagini penetrometriche di tipo dinamico, eseguite utilizzando strumentazione "media" o "leggera", dovranno essere evitate fatto salvo i casi di difficoltà logistiche di accesso alle aree;*
- b) *definizione dettagliata dei parametri geotecnici, delle caratteristiche della falda e della sua oscillazione stagionale, valutazione dei cedimenti e del rischio liquefazione;*
- c) *per tutti gli interventi che comportino l'impermeabilizzazione dei suoli, occorre documentare l'adozione di misure di compensazione rivolte al perseguimento dell'invarianza idraulica della trasformazione, secondo i criteri e le modalità definiti all'art. 21.*
- d) *analisi sulla regimazione delle acque superficiali, descrizione delle opere esistenti di tipo superficiale e/o profondo, con l'indicazione di soluzioni per la eliminazione locale delle acque superficiali o drenate con modalità che non producano effetti di erosione e dissesto;*
- e) *verifiche di stabilità globale per eventuali sbancamenti di dimensioni significative ed indicazione della tipologia delle opere di sostegno necessarie;*
- f) *che l'intervento previsto non deve modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area;*
- g) *che l'intervento non costituisca una problematica dal punto di vista geotecnico per eventuali edifici e/o strutture limitrofe;*
- h) *per gli interventi che interferiscano con l'acquifero, dovranno essere indicati gli accorgimenti messi in atto per la protezione delle strutture, sia in fase di cantiere che ad opera conclusa, oltre agli accorgimenti individuati per evitare la contaminazione della falda.*

### **Fattibilità Sismica F3s – per l'intero lotto**

1. *L'attuazione degli interventi nelle aree a pericolosità sismica elevata (S.3) deve essere supportata sia in sede di predisposizione dei piani attuativi che degli interventi edilizi diretti, oltre che dalle indagini geognostiche previste dal D.M.11/1/08 e dal DPGR.n.36/R/09, da specifiche indagini geognostiche e geofisiche secondo le situazioni seguenti:*

- a) *nel caso di zone suscettibili di instabilità di versante quiescente, oltre a rispettare le prescrizioni riportate nelle condizioni di fattibilità geologica di cui al comma 2 dell' art. 36 delle presenti NTG, le indagini specifiche conterranno le verifiche di sicurezza e la corretta definizione dell'azione sismica al fine di ricostruire l'assetto sepolto del fenomeno gravitativo;*
- b) *nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono da realizzare adeguate indagini geognostiche e geotecniche basate su sondaggi e analisi di campioni di terreno finalizzate alle verifiche dei cedimenti;*
- c) *per i terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica sono da realizzare adeguate indagini geognostiche e geotecniche basate su sondaggi, analisi granulometriche su campioni di terreno e prove CPT finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni. Nel caso di opere di particolare importanza quali gli edifici e le opere infrastrutturali di interesse strategico e rilevante di cui all'allegato A del DPGR.n.36/R/09 saranno da privilegiare prove di laboratorio volte alla caratterizzazione dinamica in*

- condizioni prossime alla rottura (prove triassiali cicliche di liquefazione o altre prove non standard), atte all'effettuazione di analisi dinamiche;
- d) in presenza di zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse è da realizzare una campagna di indagini geofisiche di superficie, opportunamente tarata mediante indagini geognostiche dirette, che definisca geometrie e velocità sismiche dei litotipi posti a contatto al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica;
  - e) nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro una profondità compresa tra 5 e 80 metri, è realizzata una campagna di indagini geofisiche (ad esempio profili sismici a riflessione/rifrazione, prove sismiche in foro, profili MASW) e geotecniche (ad esempio sondaggi, preferibilmente a c.c.) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico;
  - f) nelle zone di bordo della valle è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo (sismica a rifrazione/riflessione) orientate in direzione del maggior approfondimento del substrato geologico e/o sismico;

### **Fattibilità Idraulica FI2 – per intero lotto**

1. Per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture ricadenti nelle aree soggette a inondazioni con tempi di ritorno superiori a 200 anni (Pericolosità I.2) è richiesta una indagine di approfondimento, anche soltanto qualitativa, in termini di raccolta di dati e notizie in cui vengano indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare un aggravio di pericolosità in altre aree;

2. Per le aree in basso morfologico devono essere verificati i problemi di ristagno e adottate misure di mitigazione. Dovrà essere prodotta una relazione di valutazione del battente idrico previsto in relazione alla storicità dell'evento in quell'area oltre che in relazione all'evento pluviometrico considerato;

Non vengono segnalate problematiche di esondazione e/o ristagno, così da non necessitare interventi atti alla mitigazione di eventi alluvionali e/o di compensazione idraulica.

## **10. – VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO E CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DEL REGOLAMENTO REGIONALE 5/R/2020**

Il **rischio sismico (R)** rappresenta la probabilità che si verifichino danni da un terremoto in un dato intervallo temporale, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle opere in progetto e della natura dei beni.

Per la valutazione della **pericolosità sismica (P)**, si è fatto riferimento alla pericolosità di base dell'area omogenea e agli studi di microzonazione sismica.

Per la valutazione della **vulnerabilità sismica (V – propensione al danno dell'edificato)** e dell'**esposizione sismica (E – importanza degli elementi sul territorio)** si fa riferimento alle informazioni di natura statistica relative alle singole aree omogenee.

Per la valutazione dei parametri sopra specificati si è fatto riferimento all'Allegato A (Delibera n. 31 del 20/01/2020) del DPGRT 5/R/2020 “*Criteri per la valutazione dei fattori di rischio sismico*”. In ottemperanza all'Allegato di cui sopra la **Classe di Pericolosità sismica** è ottenuta dalla combinazione della combinazione della Classe di Pericolosità di base (P) e l'Indice di Pericolosità Locale (Iploc).

Per Classe Pericolosità di base (P) si intende l'accelerazione orizzontale massima del terreno in condizioni di suolo rigido pianeggiante (Ag), per tempo di ritorno pari a 475 anni, così come riportato nel paragrafo 3.2 delle NTA di cui al DM 14/01/2018. Sono state individuate 4 Classi di Pericolosità di Base in funzione di ag significativi che individuano a partire dal valore di 0,150 g zone con pericolosità medio alta e medio bassa. In presenza di accelerazioni molto superiori (>0,200 g) o molto inferiori (<0,125 g) sono state individuate zone a pericolosità alta o bassa, come indicato nella Tab 1, riportata di seguito:

Tabella 1

Pericolosità Sismica di base	Valori di Ag	Classe di Pericolosità (P)
alta	Superiori a 0,200g	4
medio-alta	Superiori a 0,150g e inferiori a 0,200g	3
medio-bassa	Superiori a 0,125g e inferiori o uguali a 0,150g	2
bassa	Inferiori o uguali a 0,125g	1

Nel caso specifico abbiamo una  $a_g 475 = 0,131g$ , pertanto si ricade in Pericolosità sismica di base medio bassa a cui corrisponde **P=2**.

L'Indice di Pericolosità Locale (Iploc) viene definito sulla base degli studi di Microzonazione sismica, individuando 4 Indici di riferimento al tipo di effetto locale descritto, come indicato nella Tab. 2, riportata di seguito:

Tabella 2

Pericolosità Sismica di base	Valori di Ag	Indice di Pericolosità locale (Iploc)
Molto elevata	Zona instabili (classe S4)	4
elevata	Zone stabili suscettibili di amplificazione con alto contrasto di impedenza sismica e altre tipologie di terreni (classe S3)	3
media	Zone stabili suscettibili di amplificazione (classe S2)	2
bassa	Zone stabili (classe S1)	1

Nel caso in esame, sulla base degli studi di Microzonazione Sismica, alle aree oggetto di variante è attribuita una classe di pericolosità S3 da cui ne consegue un Indice di Pericolosità sismica locale **Iploc = 3**.

La **Classe di Pericolosità sismica (P)** assume valori compresi tra 1 e 4 ed è ottenuta dalla combinazione tra la Classe di Pericolosità di base (Tab. 1) e l'Indice di Pericolosità locale (Tab. 2), secondo le relazioni e la Tab. 3 sotto riportati:

$$IP = P + I_{ploc}$$

Tabella 3

Pericolosità sismica	Valore di IP	Classe di Pericolosità (P <sub>2</sub> )
alta	IP ≥ 6	4
medio	IP = 5	3
medio-bassa	IP = 4	2
bassa	IP ≤ 3	1

Pertanto applicando l'equazione di cui sopra si ottiene un **IP = 5** da cui si ottiene, in base alla Tab. 3 la

**Classe di Pericolosità sismica P<sub>2</sub> = 3.**

La **Classe di Vulnerabilità sismica (V)** assume valori compresi tra 1 e 4, derivanti dalla somma degli Indici dei vari fattori di vulnerabilità. Valori superiori a 4 sono da considerarsi equivalenti a 4. Nella Tab. 4 viene riportato lo schema per la determinazione delle varie Classi di Vulnerabilità sismica:

Tabella 4

Vulnerabilità sismica	Valore di Iv	Classe di Vulnerabilità (V)
alta	Iv ≥ 4	4
medio	Iv = 3	3
medio-bassa	Iv = 2	2
bassa	Iv ≤ 1	1

L'Indice di Vulnerabilità (Iv) viene determinato mediante la seguente equazione:

$$Iv = Ie + (It + Ia + Iu + Is + Ic)$$

*Iv = indice di vulnerabilità;*

*Ie = indice di epoca di costruzione;*

*It = indice di tipologia strutturale;*

*Ia = indice di altezza;*

*Iu = indice di vulnerabilità urbana;*

*Is = indice di tipologia specialistica;*

*Ic = indice di classificazione sismica.*

Tralasciando nel dettaglio le tabelle relative agli indici di cui sopra si riportano solamente i risultati inerenti i singoli parametri considerando come l'area sia stata oggetto di una completa ristrutturazione con alcuni edifici da ricostruire:

Ie = 1, It = -1, Ia = 1, Iu = 0, Is = 1, Ic = 0.

Pertanto si ottiene un  
 $I_v = 2$ , da cui si ricava secondo la Tab. 4, sopra riportata, la

**Classe di Vulnerabilità sismica  $V=2$  medio bassa .**

Per quanto attiene all'**Esposizione sismica (E)** questa è connessa con la natura, qualità e quantità dei beni esposti e esprime la possibilità di subire un danno economico e sociale, sia in termini di vite umane che in termini di beni esposti. A tale proposito, è stato ritenuto di dover attribuire un valore alto.

Pertanto è stato assunto  **$E = 4$**

Il **Rischio Sismico** si ricava dalla seguente espressione  **$IR = P + V + E$** .

Pertanto sulla base delle elaborazioni e considerazioni di cui sopra avremo  **$IR = 3 + 2 + 4 = 9$**  e, in applicazione della Tab. 5, che viene riportata di seguito, otterremo una **Classe di Rischio Sismico pari a 3**.

Tabella 5

Vulnerabilità sismica	Valore di IR	Classe di Rischio
alta	$IR \geq 10$	4
medio-alta	$8 \leq IR < 10$	3
medio-bassa	$6 \leq IR < 8$	2
bassa	$IR < 6$	1

**10.1 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti geologici**

Le condizioni di fattibilità delle opere in progetto è stata definita in ottemperanza del Regolamento Regionale 5/R/2020 e della relativa Deliberazione n. 31 del 20/01/2020 – Allegato – A, considerando le specifiche condizioni di pericolosità che caratterizzano l'area.

Si riporta per ogni singolo edificio le relative fattibilità in funzione degli interventi in progetto e delle pericolosità territoriali riscontrate:

**FATTIBILITA' GEOLOGICA**

Numero edificio	Descrizione edificio stato attuale	Descrizione edificio stato di progetto	Tipo di intervento	Fattibilità
1	Alloggio residenziale del Proprietario	Dependance ospiti	Manutenzione ordinaria	F1
2	Alloggio personale e magazzino	Magazzino	Manutenzione ordinaria	F1
3	Alloggi del personale	-	Demolito con recupero volume	F1
4	Alloggi del	-	Demolito con	F1

	<i>personale</i>		<i>recupero volume</i>	
5	<i>Alloggio del custode</i>	<i>Alloggio del personale</i>	<i>Manutenzione ordinaria</i>	<i>F1</i>
6	<i>Villa</i>	<i>Villa</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
7	<i>Locali di servizio</i>	<i>Spogliatoi, magazzino e cucina</i>	<i>Ristrutturazione</i>	<i>F2</i>
8	<i>Spogliatoi</i>	<i>Locale tecnico</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
9	<i>Docce</i>	<i>Locale tecnico</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
10	<i>Piscina</i>	<i>Piscina idromassaggio</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
11	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
12	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
13	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
14	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
15	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
16	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
17	<i>Spogliatoio e magazzini</i>	<i>Centro benessere e palestra</i>	<i>Sostituzione edilizia con ampliamento</i>	<i>F2</i>
18	<i>Locale di deposito</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
19	<i>Serra</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
20	<i>Garage</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
21	<i>Direzione</i>	-	<i>Non oggetto intervento</i>	
22	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
23		<i>Magazzino</i>	<i>Intervento realizzato recuperando parte del volume demolito</i>	<i>F2</i>
24		<i>Tettoia e ripostiglio</i>	<i>Intervento realizzato recuperando parte del volume demolito</i>	<i>F2</i>
	<i>Riqualficazione e sistemazione aree a verde privato</i>			<i>F1</i>

Ai sensi del paragrafo 3.2 (*Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici*) delle Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche di cui alla suddetta Deliberazione n. 31/2020, per la pericolosità geologica attribuita alle aree, sono individuate le seguenti condizioni e prescrizioni:

<b>FATTIBILITA' GEOLOGICA</b>	<b>Condizioni di attuazione</b>	<b>Approfondimenti geologici</b>
<i>F1</i>	<i>Fattibilità senza particolari limitazioni</i>	
<i>F.2</i>	<i>Le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio, al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area</i>	<p><i>Facendo riferimento alle indagini geologiche e geotecniche già eseguite, si dovranno approfondire le conoscenze stratigrafiche locali al fine di ricostruire il modello geotecnico del terreno, necessario alle verifiche richieste ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17.01.2018 e s.s.m.m.i.i.).</i></p> <p><i>Per tutte le nuove costruzioni per le quali è prevista la realizzazione di vani interrati, questi dovranno essere resi stagni e non dovrà essere prevista la messa in opera di apparecchiature permanenti per la depressione della tavola d'acqua.</i></p> <p><i>La messa in opera di impianti di depressione della tavola d'acqua, funzionali alla costruzione di vani interrati, è subordinata all'esito di uno studio di dewatering che analizzi e valuti la compatibilità del drenaggio forzato dello scavo di fondazione con particolare riferimento alla stabilità degli edifici/manufatti limitrofi all'area di intervento.</i></p>

## 10.2 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti idraulici

Ai sensi del paragrafo 3.3 (*Criteri generali di fattibilità in relazione al rischio di alluvioni*) delle Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche di cui alla suddetta Deliberazione n. 31/2020, l'attribuzione della fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla L.R. 41/2018, oltre quanto previsto dalla pianificazione di bacino.

### FATTIBILITA' IDRAULICA

<i>Numero edificio</i>	<i>Descrizione edificio stato attuale</i>	<i>Descrizione edificio stato di progetto</i>	<i>Tipo di intervento</i>	<i>Fattibilità</i>
<i>1</i>	<i>Alloggio residenziale del Proprietario</i>	<i>Dependance ospiti</i>	<i>Manutenzione ordinaria</i>	<i>F1</i>
<i>2</i>	<i>Alloggio personale e magazzino</i>	<i>Magazzino</i>	<i>Manutenzione ordinaria</i>	<i>F1</i>
<i>3</i>	<i>Alloggi del personale</i>	-	<i>Demolito con recupero volume</i>	<i>F1</i>
<i>4</i>	<i>Alloggi del personale</i>	-	<i>Demolito con recupero volume</i>	<i>F1</i>

5	<i>Alloggio del custode</i>	<i>Alloggio del personale</i>	<i>Manutenzione ordinaria</i>	<i>F1</i>
6	<i>Villa</i>	<i>Villa</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
7	<i>Locali di servizio</i>	<i>Spogliatoi, magazzino e cucina</i>	<i>Ristrutturazione</i>	<i>F2</i>
8	<i>Spogliatoi</i>	<i>Locale tecnico</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
9	<i>Docce</i>	<i>Locale tecnico</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
10	<i>Piscina</i>	<i>Piscina idromassaggio</i>	<i>Manutenzione straordinaria</i>	<i>F1</i>
11	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
12	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
13	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
14	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
15	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
16	<i>Locale tecnico</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
17	<i>Spogliatoio e magazzini</i>	<i>Centro benessere e palestra</i>	<i>Sostituzione edilizia con ampliamento</i>	<i>F2</i>
18	<i>Locale di deposito</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
19	<i>Serra</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
20	<i>Garage</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
21	<i>Direzione</i>	-	<i>Non oggetto intervento</i>	
22	<i>Piscina</i>	-	<i>Demolito</i>	<i>F1</i>
23		<i>Magazzino</i>	<i>Intervento realizzato recuperando parte del volume demolito</i>	<i>F2</i>
24		<i>Tettoia e ripostiglio</i>	<i>Intervento realizzato recuperando parte del volume demolito</i>	<i>F2</i>
	<i>Riqualificazione e sistemazione aree a verde privato</i>			<i>F1</i>

<b>FATTIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>Condizioni di attuazione</b>	<b>Approfondimenti idraulici</b>
<b>F1</b>	<i>Fattibilità senza particolari limitazioni</i>	
<b>F2</b>	<i>Non è necessario dettare condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere idraulico</i>	<i>Si prescrive, che per le nuove costruzioni il piano di calpestio sia rialzato, rispetto al piano campagna circostante, di almeno 10 cm.</i>

### 10.3 – Criteri generali di fattibilità per gli aspetti sismici

Ai sensi del paragrafo 3.6 (*Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici*) delle Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche di cui alla suddetta Deliberazione n. 31/2020, per la pericolosità sismica dell'area, sono individuate le seguenti condizioni e prescrizioni:

#### FATTIBILITA' SISMICA

<i>Numero edificio</i>	<i>Descrizione edificio stato attuale</i>	<i>Descrizione edificio stato di progetto</i>	<i>Tipo di intervento</i>	<i>Fattibilità</i>
1	Alloggio residenziale del Proprietario	Dependance ospiti	Manutenzione ordinaria	F1
2	Alloggio personale e magazzino	Magazzino	Manutenzione ordinaria	F1
3	Alloggi del personale	-	Demolito con recupero volume	F1
4	Alloggi del personale	-	Demolito con recupero volume	F1
5	Alloggio del custode	Alloggio del personale	Manutenzione ordinaria	F1
6	Villa	Villa	Manutenzione straordinaria	F1
7	Locali di servizio	Spogliatoi, magazzino e cucina	Ristrutturazione	F3
8	Spogliatoi	Locale tecnico	Manutenzione straordinaria	F2
9	Docce	Locale tecnico	Manutenzione straordinaria	F2
10	Piscina	Piscina idromassaggio	Manutenzione straordinaria	F2
11	Piscina	-	Demolito	F1
12	Piscina	-	Demolito	F1
13	Locale tecnico	-	Demolito	F1
14	Locale tecnico	-	Demolito	F1
15	Locale tecnico	-	Demolito	F1
16	Locale tecnico	-	Demolito	F1
17	Spogliatoio e magazzini	Centro benessere e palestra	Sostituzione edilizia con ampliamento	F3
18	Locale di deposito	-	Demolito	F1
19	Serra	-	Demolito	F1
20	Garage	-	Demolito	F1
21	Direzione	-	Non oggetto intervento	
22	Piscina	-	Demolito	F1
23		Magazzino	Intervento realizzato	F3

			<i>recuperando parte del volume demolito</i>	
24		<i>Tettoia e ripostiglio</i>	<i>Intervento realizzato recuperando parte del volume demolito</i>	F3
	<i>Riqualificazione e sistemazione aree a verde privato</i>			F1

<b>FATTIBILITA' SISMICA</b>	<b>Condizioni di attuazione</b>	<b>Approfondimenti sismici</b>
<b>F1</b>	<i>Fattibilità senza particolari limitazioni</i>	<i>Fattibilità senza particolari limitazioni</i>
<b>F2</b>	<i>Per i terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica sono effettuati indagini geognostiche e verifiche geotecniche per il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni e della distribuzione areale dell'Indice del potenziale di liquefazione (LPI), così come indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione" – LIQ, approvate con la deliberazione della Giunta regionale 23 febbraio 2015, n.144 (Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione sismica).</i>	<i>La caratterizzazione sismica in sede di intervento diretto farà riferimento ai dati desumibili dagli studi di supporto al PS ed al PO, opportunamente integrati dagli approfondimenti dettati dalla normativa vigente sovracomunale (NTC 2018): dovrà inoltre accertare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno. Nel caso di frequenza indicativamente inferiore a 1 Hz la fattibilità degli interventi di nuova edificazione deve tener conto dell'analisi combinata della frequenza fondamentale del terreno e del periodo proprio delle tipologie edilizie, al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura.</i>
<b>F3</b>	<i>Per i terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica sono effettuati indagini geognostiche e verifiche geotecniche per il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni e della distribuzione areale dell'Indice del potenziale di liquefazione (LPI), così come indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione" – LIQ, approvate con la deliberazione della Giunta regionale 23 febbraio 2015, n.144 (Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione sismica).</i>	<i>La caratterizzazione sismica in sede di intervento diretto farà riferimento ai dati desumibili dagli studi di supporto al PS, opportunamente integrati dagli approfondimenti dettati dalla normativa vigente sovracomunale (NTC 2018): dovrà inoltre accertare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura. Le indagini di approfondimento consisteranno in una specifica campagna di indagini geofisiche (quali, ad esempio, profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro e, ove risultino significativi, profili MASW) e geognostiche (quali,</i>

		<i>ad esempio, pozzi o sondaggi, preferibilmente a carotaggio continuo) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti per valutare l'entità del (o dei) contrasti di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico o entro le coperture stesse, ovvero definisca il modello sismico, il profilo di velocità delle onde di taglio Vs ed il parametro Vseq</i>
--	--	--

## 11 – DISPOSIZIONI IN MATERIA DI PERMEABILITA' DEI SUOLI – INVARIANZA IDRAULICA - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli interventi in esame prevedono una “*Proposta di Variante Urbanistica e Piano di Recupero*” da eseguirsi presso il complesso denominato Oliviero posto in via Lungomare di Levante, Località Ronchi, Comune di Massa. Il progetto nel suo complesso prevede una modifica dello stato dei luoghi mediante demolizione di edifici esistenti e/o loro accorpamento con riqualificazione generale dell'area. Nel complesso gli interventi vedono una migioria complessiva nei confronti delle aree impermeabili e semipermeabili essendo previsto una loro diminuzione, come di seguito specificato:

Tipologia superficie scolante	Stato iniziale Sup. mq	Stato finale Sup. mq
Sup permeabile a verde	7354.49	7897.19
Sup impermeabile	3309.25	2966.45
Sup. semipermeabile	1730.26	1530.36

Alla luce di tali dati non risulta necessario prevedere lo smaltimento delle acque meteoriche, intercettate da queste superfici, nel suolo degli spazi scoperti, pertinenziali o autonomi, dell'area interessata, o, in subordine, nel reticolo idrografico superficiale, contenendo l'entità media delle portate scaricate entro il limite massimo coincidente con quello fornito dall'area nella situazione pre-intervento. In altre parole la situazione finale risulta migliorativa rispetto a quella iniziale.

Anche dal punto di vista idraulico non si prevedono particolari problematiche nei confronti dei fenomeni di allagamento e/o ristagno. Pertanto anche da questo punto di vista non si prevedono particolari accortezze nei confronti dei manufatti e delle aree presenti. Si consiglia tuttavia, al fine di migliorare la sicurezza dei nuovi edifici, sopraelevare il piano di calpestio di almeno 10 cm., rispetto al piano campagna circostante e di regimare le acque meteoriche, verso il reticolo minore, posto lungo la viabilità principale.

Infine i sopralluoghi eseguiti non hanno evidenziato situazioni di potenziale instabilità locale e/o generale di versante, essendo il lotto collocato in area pianeggiante. Sulla base delle considerazioni effettuate gli interventi in oggetto possono essere classificati di modesto impatto così da poter omettere le relative verifiche di stabilità di versante (*art 75 comma 8 DPGR 8 agosto 2003, n. 48/R*), anche alla luce del fatto che la zona risulta pianeggiante.

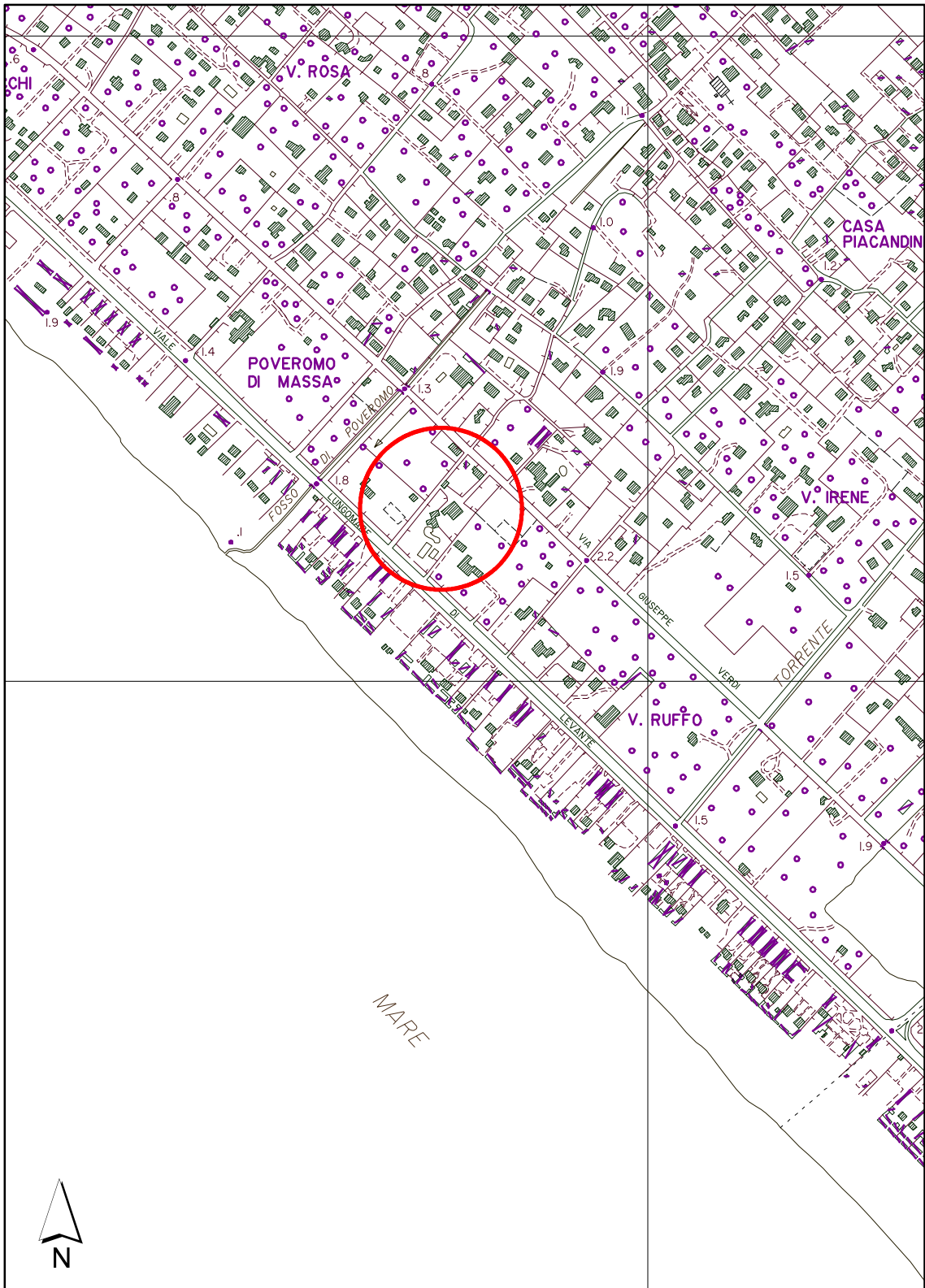
*Art 75 – comma 8. Solo per opere di modesto rilievo ed entità o per aree già note e di sicura ed accertata stabilità può essere ritenuta sufficiente una relazione geologica semplificata che si basi su notizie e dati idonei a caratterizzare l'area e ad accertare la fattibilità delle opere o movimenti di terreno.*

Gli interventi citati consentono di affermare che il progetto nel suo essere non indurrà aumenti significativi né del rischio idraulico alle aree limitrofe, né dei picchi di piena a valle dei manufatti, conseguenti ad eventuali fenomeni di ristagno e/o di esondazione; gli interventi risultano fattibili dal punto di vista idraulico, sismico e geologico.

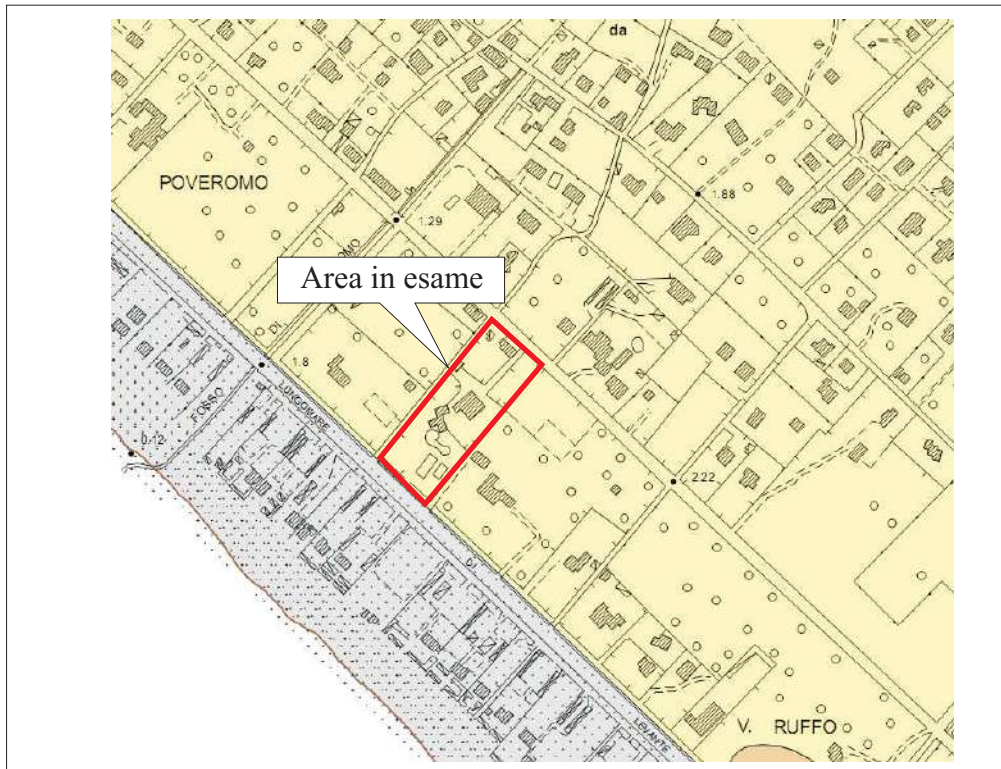
Lucca, 13/10/2022

Studio di Geologia  
Geol. Simone Stefani

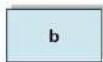
# INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO



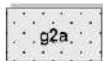
## TAV.2 - CARTA GEOLOGICA



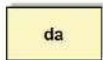
### DEPOSITI OLOCENICI ED ATTUALI



Depositi alluvionali attuali:  
Depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione attraverso processi fluviali ordinari, composti prevalentemente da ghiaie, ciottoli, sabbie limose e/o limi sabbiosi

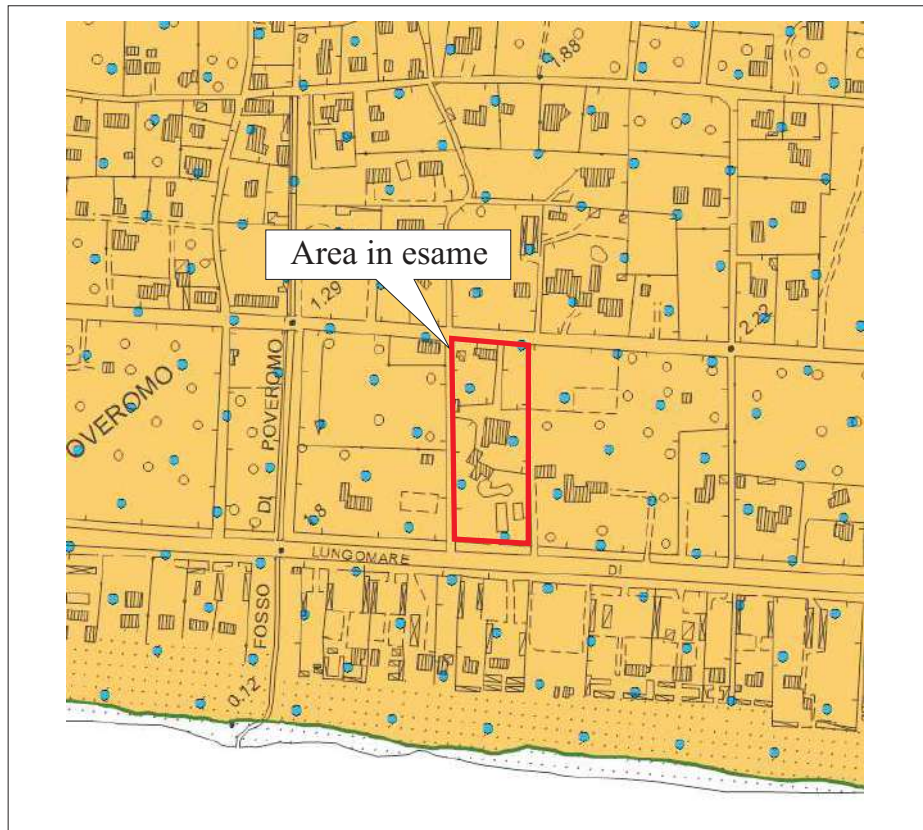


Sabbie di spiaggia recenti ed attuali



Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia:  
Sabbie di ambiente litorale, delle dune e dei tomboli costieri. Sabbie medie e fini che localmente possono presentarsi da debolmente limose a limose con modeste lenti di limo.

### TAV.3 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA



S3	<p><b>Pericolosità sismica locale elevata:</b> aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti (2A) e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana (2B1) per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica (pendii caratterizzati da coperture detritiche s.l. con pendenza media &gt;25%); zone con terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche variabili da mediocri a particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi (4); terreni soggetti a liquefazione dinamica (5); zone con possibile amplificazione sismica connesse a zone di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante (8); zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici (9, 10, 11); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-mecchaniche significativamente diverse (12); presenza di faglie e/o contatti tettonici (13).</p>
----	---

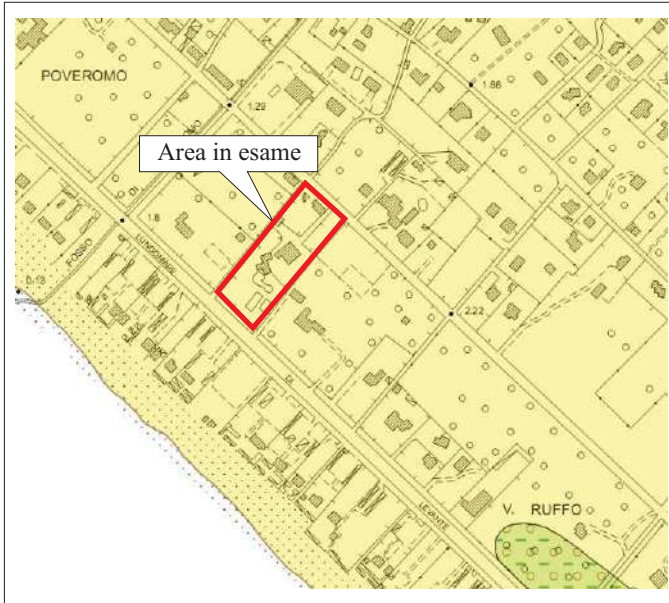
## TAV.4 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA

G.2

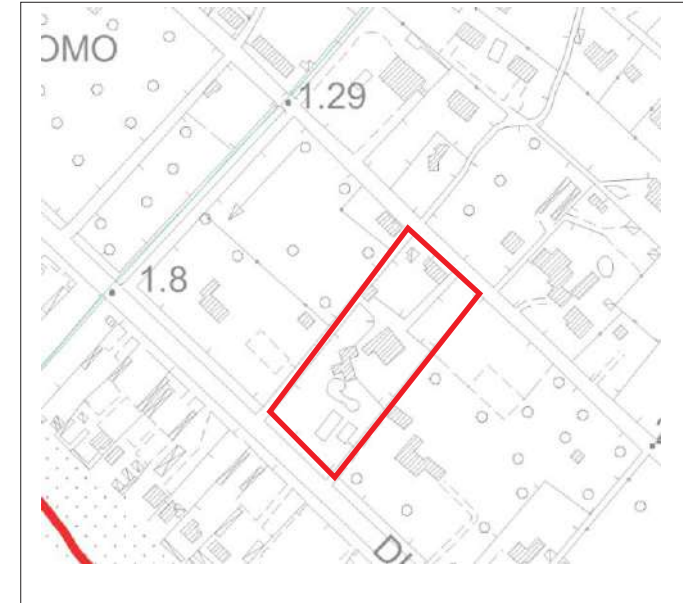
### Classe G.2: Pericolosità media

Are in cui sono presenti fenomeni erosivi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e glaciali dalle cui valutazioni risulta una bassa propensione al dissesto.

Are nelle quali sono al massimo prevedibili, sulla base di valutazioni geologiche, litologiche e climatiche (pendenze generalmente inferiori ai 25%) limitati processi di degrado riconoscibili e neutralizzabili a livello di intervento diretto.



Carta dei battenti - TR 200 anni



### LEGENDA

Pericolosità idraulica ai sensi del 53/R:

- I.4
- I.3
- I.2



Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. 70Q16704  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



## RELAZIONE TECNICA

Committente:  
Geol. Simone Stefani  
Località: Via Lucca  
Loc. Poveromo - Massa  
Data Indagine: 31/10/2016  
Codice lavoro: 161031a

# PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132/Q

56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel/Fax: 050 9910582

e-mail: [info@gaiaservizi.com](mailto:info@gaiaservizi.com)

P.IVA: 01966780502

Data elaborazione: 02/11/2016

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 019667250508 N. REA PI - 145167

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1: Prova penetrometrica CPT 1



Figura 2: Prova penetrometrica CPT 2

# LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**TG63-200 - Pagani - Piacenza**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

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

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = [( L_2 ) - ( L_1 )] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = 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  $CT$  .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta .

## CONVERSIONI

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

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

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

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

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

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

# LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	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.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**1**

riferimento

**161031a**

certificato n°

473/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec.: 31/10/2016

Pagina: 1

Data certificato: 02/11/2016

Elaborato:

Falda: -1,50 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0		0,00	0,00										
0,40	41,0	48		41,00	0,47	87	1,1								
0,60	29,0	34		29,00	0,33	88	1,1								
0,80	16,0	44		16,00	1,87	9	11,7								
<b>1,00</b>	36,0	46		36,00	0,67	54	1,9								
1,20	50,0	66		50,00	1,07	47	2,1								
1,40	56,0	75		56,00	1,27	44	2,3								
1,60	46,0	60		46,00	0,93	49	2,0								
1,80	43,0	66		43,00	1,53	28	3,6								
<b>2,00</b>	46,0	60		46,00	0,93	49	2,0								
2,20	44,0	59		44,00	1,00	44	2,3								
2,40	47,0	69		47,00	1,47	32	3,1								
2,60	73,0	94		73,00	1,40	52	1,9								
2,80	88,0	106		88,00	1,20	73	1,4								
<b>3,00</b>	92,0	112		92,00	1,33	69	1,4								
3,20	91,0	105		91,00	0,93	98	1,0								
3,40	55,0	63		55,00	0,53	104	1,0								
3,60	39,0	56		39,00	1,13	35	2,9								
3,80	34,0	49		34,00	1,00	34	2,9								
<b>4,00</b>	55,0	65		55,00	0,67	82	1,2								
4,20	53,0	61		53,00	0,53	100	1,0								
4,40	58,0	67		58,00	0,60	97	1,0								
4,60	51,0	68		51,00	1,13	45	2,2								
4,80	53,0	62		53,00	0,60	88	1,1								
<b>5,00</b>	50,0	60		50,00	0,67	75	1,3								
5,20	40,0	50		40,00	0,67	60	1,7								
5,40	40,0	47		40,00	0,47	85	1,2								
5,60	38,0	46		38,00	0,53	72	1,4								
5,80	36,0	46		36,00	0,67	54	1,9								
<b>6,00</b>	37,0	47		37,00	0,67	55	1,8								
6,20	39,0	45		39,00	0,40	98	1,0								
6,40	45,0	65		45,00	1,33	34	3,0								
6,60	54,0	70		54,00	1,07	50	2,0								
6,80	45,0	57		45,00	0,80	56	1,8								
<b>7,00</b>	46,0	58		46,00	0,80	58	1,7								
7,20	47,0	60		47,00	0,87	54	1,9								
7,40	43,0	55		43,00	0,80	54	1,9								
7,60	38,0	48		38,00	0,67	57	1,8								
7,80	44,0	51		44,00	0,47	94	1,1								
<b>8,00</b>	46,0	54		46,00	0,53	87	1,2								
8,20	50,0	55		50,00	0,33	152	0,7								
8,40	51,0	56		51,00	0,33	155	0,6								
8,60	64,0	80		64,00	1,07	60	1,7								
8,80	53,0	60		53,00	0,47	113	0,9								
<b>9,00</b>	46,0	53		46,00	0,47	98	1,0								
9,20	48,0	58		48,00	0,67	72	1,4								
9,40	60,0	69		60,00	0,60	100	1,0								
9,60	61,0	75		61,00	0,93	66	1,5								
9,80	61,0	69		61,00	0,53	115	0,9								
<b>10,00</b>	60,0	69		60,00	0,60	100	1,0								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

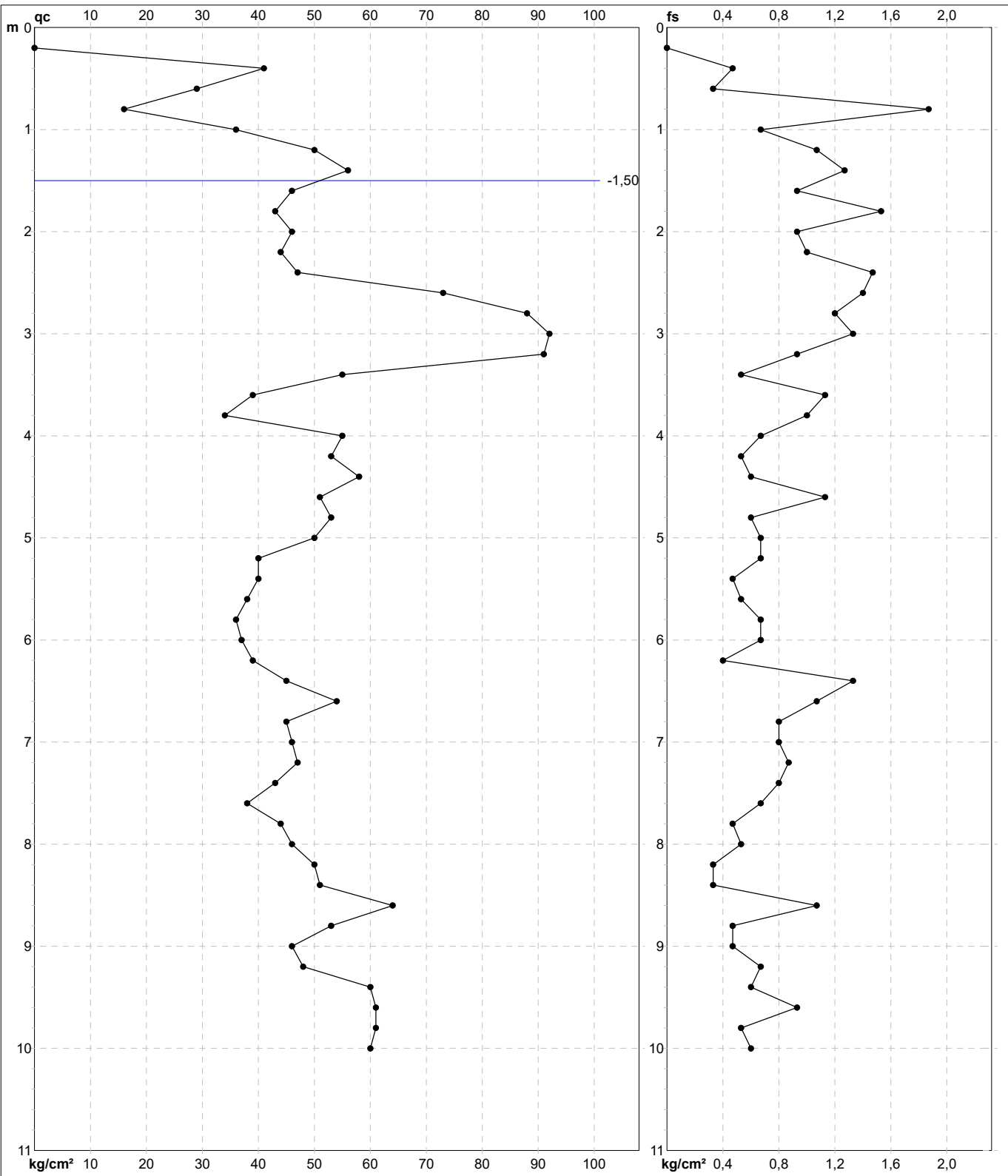
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>161031a</b>
certificato n°	473/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 31/10/2016  
 Scala: 1:55    Data certificato: 02/11/2016  
 Pagina: 1    Quota inizio:  
 Elaborato:    Falda: -1,50 m da p.c.



Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile: Geol. Jacopo Martini	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. punta:

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**1**

riferimento

**161031a**

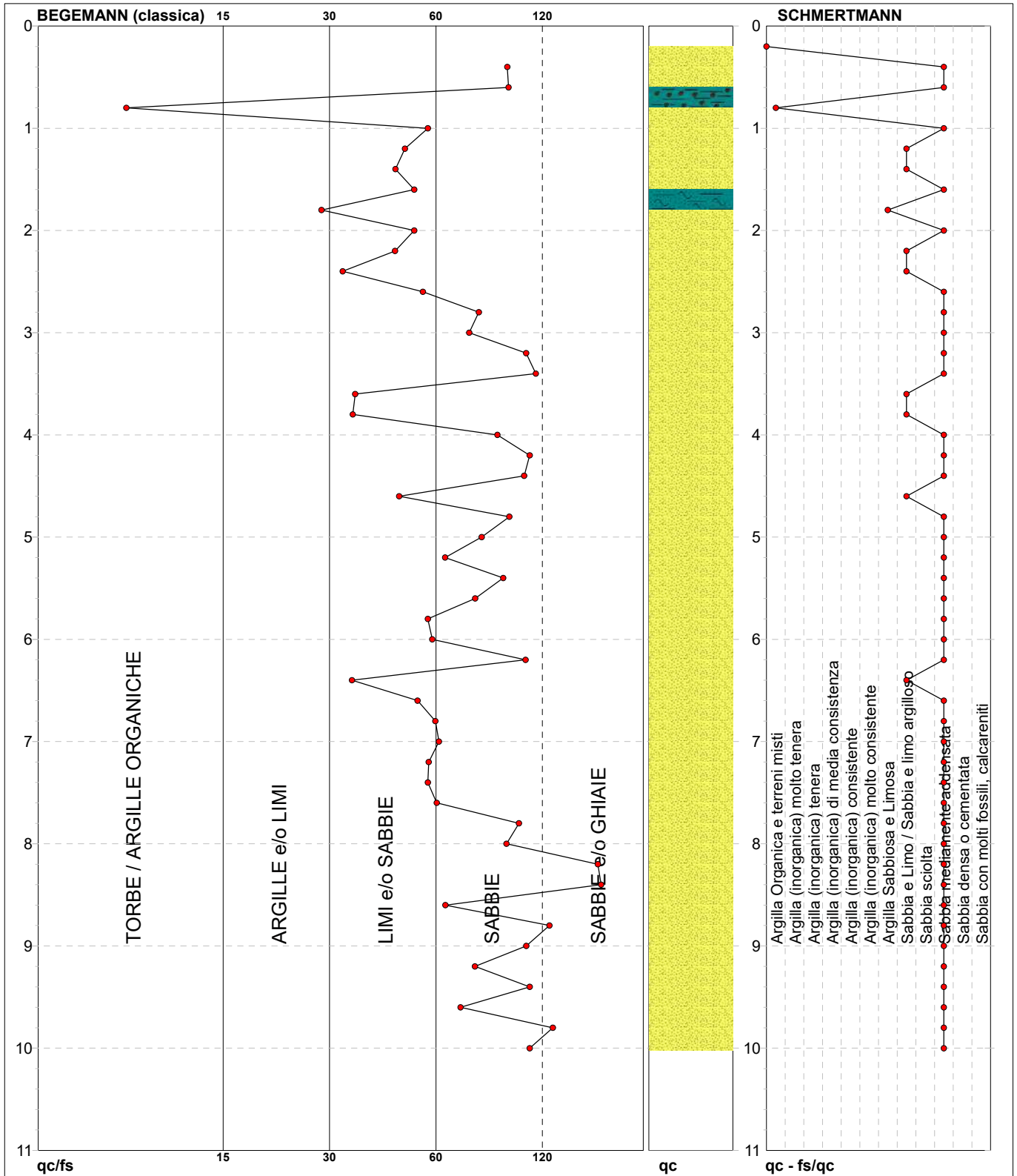
certificato n°

473/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:55**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data eseg.: **31/10/2016**  
 Data certificato: **02/11/2016**  
 Falda: **-1,50 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	7 punti, 12,96%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,85%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 14,81%
Argille e/o Limi :	1 punti, 1,85%			Sabbia mediamente addensata:	39 punti, 72,22%
Limi e/o Sabbie :	22 punti, 40,74%				
Sabbie:	23 punti, 42,59%				
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 3,70%				



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT**

**2**

riferimento

**161031a**

certificato n°

474/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data eseg.: 31/10/2016

Pagina: 1

Data certificato: 02/11/2016

Elaborato:

Falda: Non rilevata

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0		0,00	0,00										
0,40	25,0	30		25,00	0,33	76	1,3								
0,60	37,0	54		37,00	1,13	33	3,1								
0,80	29,0	48		29,00	1,27	23	4,4								
<b>1,00</b>	45,0	62		45,00	1,13	40	2,5								
1,20	46,0	64		46,00	1,20	38	2,6								
1,40	48,0	66		48,00	1,20	40	2,5								
1,60	35,0	56		35,00	1,40	25	4,0								
1,80	41,0	49		41,00	0,53	77	1,3								
<b>2,00</b>	40,0	50		40,00	0,67	60	1,7								
2,20	37,0	46		37,00	0,60	62	1,6								
2,40	36,0	45		36,00	0,60	60	1,7								
2,60	30,0	44		30,00	0,93	32	3,1								
2,80	41,0	50		41,00	0,60	68	1,5								
<b>3,00</b>	41,0	51		41,00	0,67	61	1,6								
3,20	44,0	54		44,00	0,67	66	1,5								
3,40	45,0	57		45,00	0,80	56	1,8								
3,60	40,0	50		40,00	0,67	60	1,7								
3,80	39,0	47		39,00	0,53	74	1,4								
<b>4,00</b>	40,0	48		40,00	0,53	75	1,3								
4,20	42,0	50		42,00	0,53	79	1,3								
4,40	44,0	52		44,00	0,53	83	1,2								
4,60	41,0	49		41,00	0,53	77	1,3								
4,80	36,0	46		36,00	0,67	54	1,9								
<b>5,00</b>	22,0	26		22,00	0,27	81	1,2								
5,20	40,0	49		40,00	0,60	67	1,5								
5,40	42,0	50		42,00	0,53	79	1,3								
5,60	42,0	53		42,00	0,73	58	1,7								
5,80	46,0	54		46,00	0,53	87	1,2								
<b>6,00</b>	40,0	49		40,00	0,60	67	1,5								
6,20	41,0	45		41,00	0,27	152	0,7								
6,40	29,0	34		29,00	0,33	88	1,1								
6,60	42,0	50		42,00	0,53	79	1,3								
6,80	51,0	56		51,00	0,33	155	0,6								
<b>7,00</b>	36,0	43		36,00	0,47	77	1,3								
7,20	52,0	55		52,00	0,20	260	0,4								
7,40	34,0	46		34,00	0,80	43	2,4								
7,60	33,0	41		33,00	0,53	62	1,6								
7,80	40,0	46		40,00	0,40	100	1,0								
<b>8,00</b>	43,0	47		43,00	0,27	159	0,6								
8,20	68,0	76		68,00	0,53	128	0,8								
8,40	42,0	53		42,00	0,73	58	1,7								
8,60	40,0	53		40,00	0,87	46	2,2								
8,80	57,0	61		57,00	0,27	211	0,5								
<b>9,00</b>	45,0	60		45,00	1,00	45	2,2								
9,20	49,0	62		49,00	0,87	56	1,8								
9,40	43,0	46		43,00	0,20	215	0,5								
9,60	37,0	48		37,00	0,73	51	2,0								
9,80	41,0	46		41,00	0,33	124	0,8								
<b>10,00</b>	50,0	55		50,00	0,33	152	0,7								
10,20	46,0	54		46,00	0,53	87	1,2								
10,40	59,0	64		59,00	0,33	179	0,6								
10,60	43,0	57		43,00	0,93	46	2,2								
10,80	47,0	61		47,00	0,93	51	2,0								
<b>11,00</b>															

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
 fs = resistenza laterale calcolata  
 alla stessa quota di qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**2**

riferimento

**161031a**

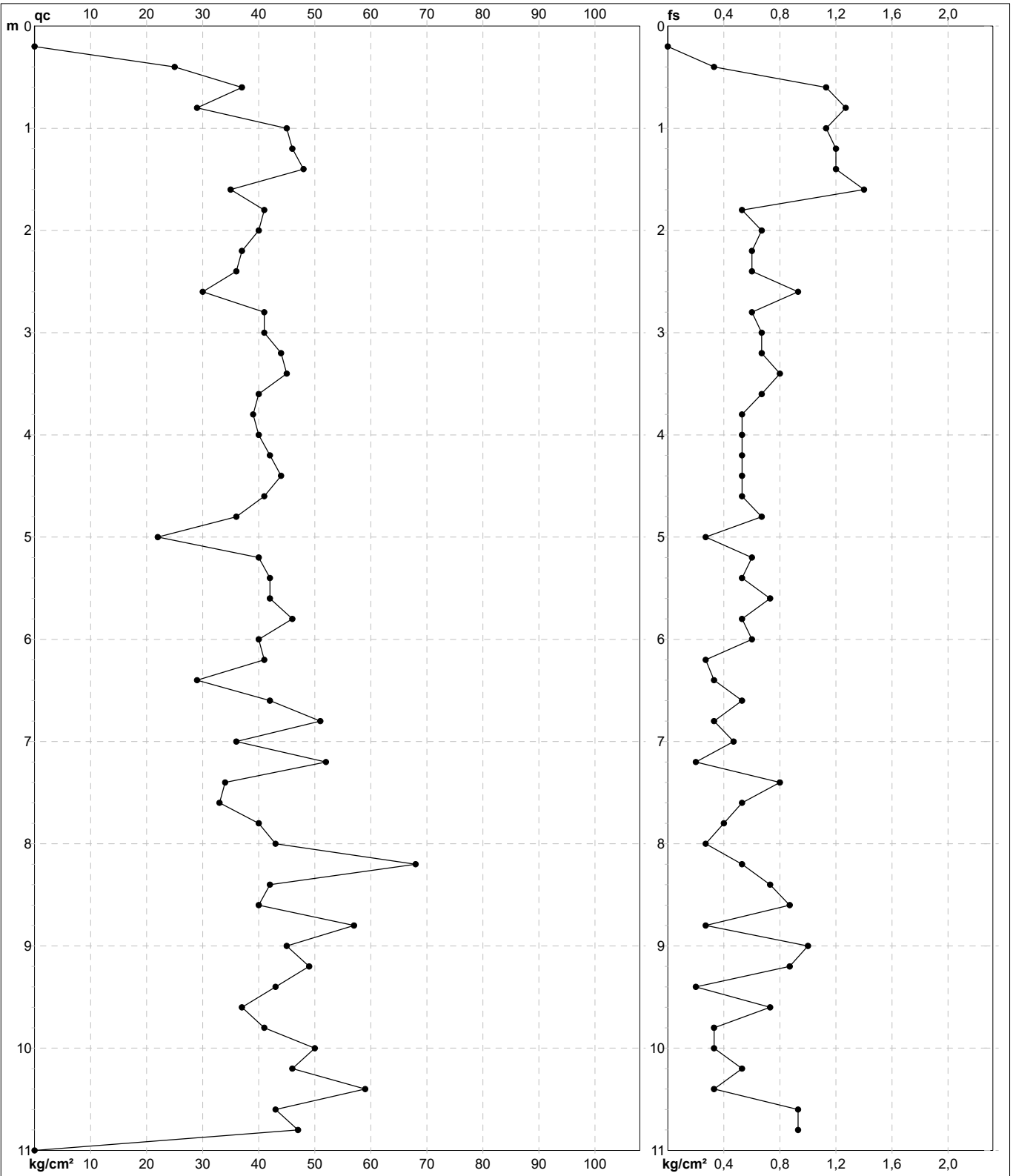
certificato n°

474/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:55**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data esec.: **31/10/2016**  
 Data certificato: **02/11/2016**  
 Quota inizio:  
 Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: TG63-200  
 Responsabile: Geol. Jacopo Martini  
 Assistente:

Preforo: m  
 Corr.astine: kg/ml  
 Cod. punta:

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**2**

riferimento

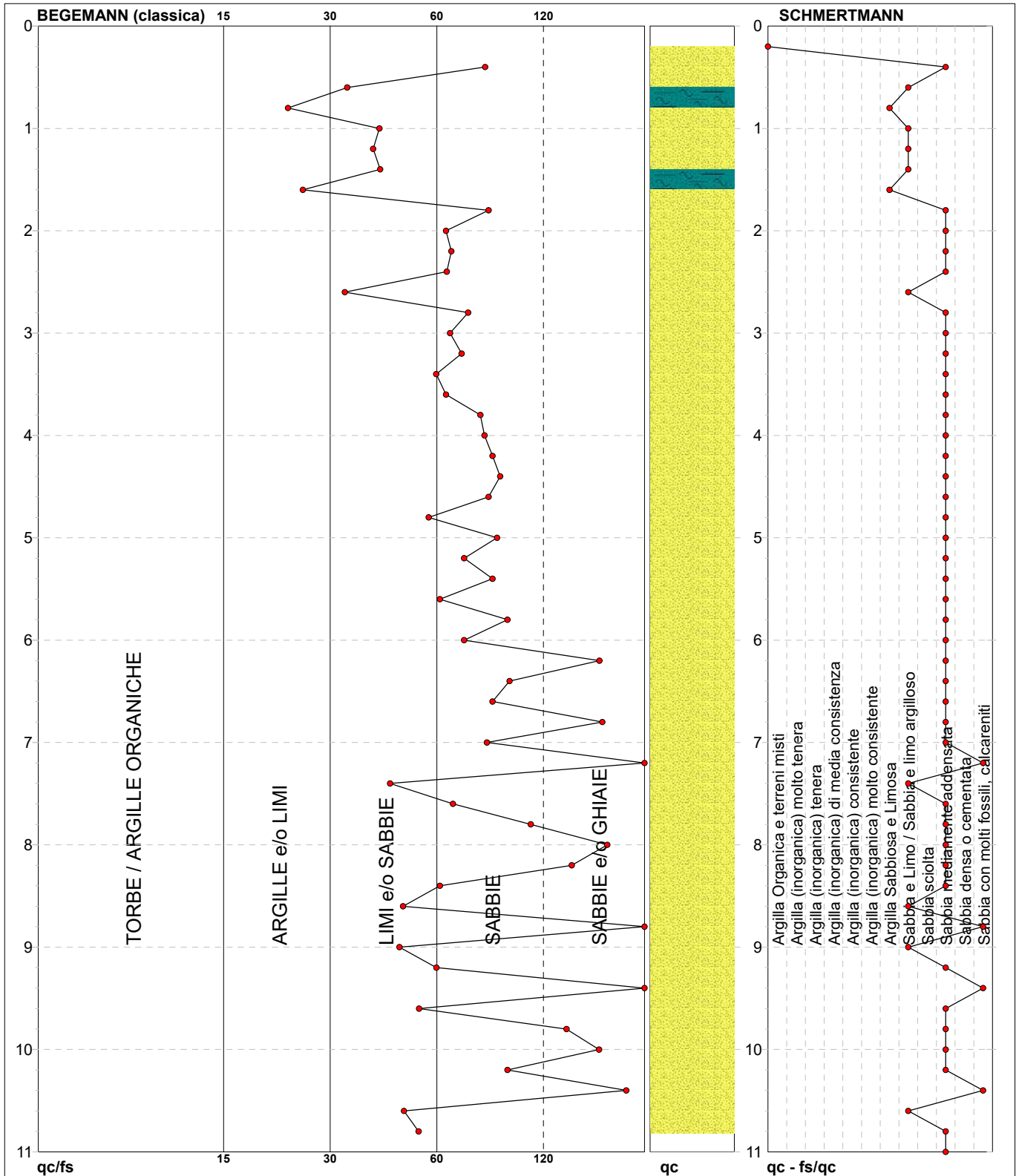
**161031a**

certificato n°

474/16

Committente: **Geol. Simone Stefani**  
 Cantiere: **161031a**  
 Località: **Via Lucca - Loc. Poveromo - Massa**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:55**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:  
 Data eseg.: **31/10/2016**  
 Data certificato: **02/11/2016**  
 Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille org. :	1 punti, 1,85%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg. :	9 punti, 16,67%
Argille e/o Limi :	2 punti, 3,70%	Sabbia mediamente addensata:	38 punti, 70,37%
Limi e/o Sabbie :	19 punti, 35,19%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	4 punti, 7,41%
Sabbie:	22 punti, 40,74%		
Sabbie e/o Ghiaie :	10 punti, 18,52%		



SIMONE STEFANI - GEOLOGO  
GEOLOGIA – ECOLOGIA - AMBIENTE

## PROSPEZIONI SISMICHE

### RELAZIONE TECNICA



**Novembre 2016**

**Committente: Pax International s.r.l.**

**Località: RONCHI, Massa**

**Tipologia d'indagine: MASW attiva con onde di Rayleigh**

**Data indagini di campagna: 31/10/2016**

STUDIO DI GEOLOGIA – GEOLOGO STEFANI SIMONE  
55100 LUCCA via della Chiesa 609/A – S. Angelo– cell. 338/5451349  
Email: sferalucca@alice.it - p.IVA 01711310464

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. GENERALITA' SUL METODO MASW ATTIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI .....</b>	<b>4</b>
<b>4. ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>4</b>
<b>5. RISULTATI DELLA PROSPEZIONE SISMICA .....</b>	<b>4</b>

---

## 1. PREMESSA

Su incarico della Società Pax International s.r.l. è stata eseguita un'indagine sismica in località Ronchi nel Comune di Massa, utilizzando il metodo MASW attivo in onde di Rayleigh.

Le seguenti note espongono le metodologie d'indagine ed i risultati ottenuti.

## 2. GENERALITA' SUL METODO MASW ATTIVO

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consiste in una tipologia di indagine sismica che permette di valutare le condizioni elastiche del terreno per scopi di ingegneria geotecnica. Il metodo si basa sull'analisi della dispersione delle onde di superficie. Tali onde si generano in seguito alla complessa interferenza fra onde P e S e si propagano lungo la superficie libera della Terra dove si attua una grande variazione delle proprietà elastiche dei mezzi a causa del contatto fra aria e terreno. Le onde di superficie sono rappresentate dalle onde di Rayleigh e di Love. Esse sono caratterizzate da velocità di propagazione inferiori a quelle delle onde P e S e da ampiezze molto maggiori.

Le onde di Rayleigh esistono anche in un semispazio omogeneo e sono generate dall'interferenza fra onde P e onde S polarizzate sul piano verticale (Sv) incidenti sulla superficie libera del terreno. Le onde di Love compaiono solo in un mezzo in cui la velocità delle onde S aumenta con la profondità e si generano in seguito ad interferenza costruttiva di onde S polarizzate sul piano orizzontale (SH) soggette a riflessioni multiple fra la superficie libera del terreno e un'interfaccia sottostante separante due porzioni del mezzo con caratteristiche diverse.

Se un determinato mezzo attraversato dalle onde di superficie presenta una variazione delle proprietà elastiche con la profondità, le onde saranno caratterizzate dal fenomeno della dispersione. Tale fenomeno si origina dal fatto che le diverse componenti dell'onda di superficie si spostano con velocità diverse, più alte per le lunghezze d'onda più lunghe che interessano spessori maggiori di terreno, più basse per lunghezze d'onda brevi che interessano gli strati più superficiali.

La curva di dispersione rappresenta l'andamento delle velocità con cui si propaga ciascuna fase componente la perturbazione in funzione della lunghezza d'onda. Ne consegue che lo studio della curva di dispersione permette di conoscere la variazione delle caratteristiche del terreno con la profondità espressa in termini di velocità delle onde S.

Nella pratica comune delle indagini MASW, la curva di dispersione è ottenuta disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni) ad intervalli regolari lungo un allineamento rettilineo e registrando mediante un sismografo l'intero treno di onde generato da una sorgente controllata (MASW attiva).

L'analisi della curva di dispersione, tramite opportuni software, fornisce un modello sismostratigrafico monodimensionale del terreno rappresentato tramite la variazione della

---

velocità delle onde S con la profondità. Tale modello permette, in definitiva, di determinare il parametro  $VS_{30}$  utilizzabile per la progettazione sismica secondo l'approccio semplificato definito dal D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

### **3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI DATI**

Il sistema impiegato per l'acquisizione dei dati in campagna è costituito da:

- sismografo AMBROGEO "ECHO12-24/2002" a 24 canali con risoluzione a 16 bit;
- due cavi della lunghezza di 70 m ciascuno dotati di take-outs per il collegamento dei sensori ogni 5 m;
- computer per la registrazione dei dati mediante il software "Echo2007" che consente la regolazione dei parametri di acquisizione e la visualizzazione dei segnali;
- sensori per la ricezione dei segnali costituiti da 24 geofoni "Sunfull" a componente verticale con frequenza propria pari a 4,5 hz;
- sorgente energizzante costituita da una mazza con maglio da 8 kg e da una piastra di battuta in alluminio;
- trigger installato in prossimità del maglio della mazza che consente l'avvio della registrazione dei segnali al momento dell'impatto della mazza sulla piastra.

### **4. ELABORAZIONE DATI**

La ricostruzione del profilo verticale di  $V_s$  è stata ottenuta mediante l'utilizzo del software *WinMasw 4.3 Standard*, prodotto da Eliosoft.

Tramite esso avviene la determinazione dello spettro di velocità, l'identificazione delle curve di dispersione, la modellazione diretta e/o l'inversione di queste ultime.

L'output del software è costituito da un profilo verticale di velocità rispetto alla profondità.

### **5. RISULTATI DELLA PROSPEZIONE SISMICA**

L'indagine è stata effettuata mediante uno stendimento composto da 24 geofoni verticali disposti con spaziatura di 2 m, per una lunghezza della base sismica di 48 m.

I risultati della presente indagine sono stati ottenuti dal processing del dataset con offset minimo di 10 m ottenuto energizzando ad una estremità dello stendimento.

Il profilo sismico verticale, espresso in termini di spessori e velocità delle onde di taglio per ciascun sismostrato, è riassunto nella tabella sottostante.

---

	Velocità onde SH (m/s)	Deviazioni standard (m/s)	Spessore (m)	Deviazioni standard (m)
<b>sismostrato 1</b>	121	5	1,5	0,1
<b>sismostrato 2</b>	183	9	4,6	0,7
<b>sismostrato 3</b>	142	14	2,0	0,2
<b>sismostrato 3</b>	246	18		

Dai dati tabellati è possibile calcolare il valore del parametro  $VS_{30}$  per i terreni investigati mediante l'equazione

$$VS_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

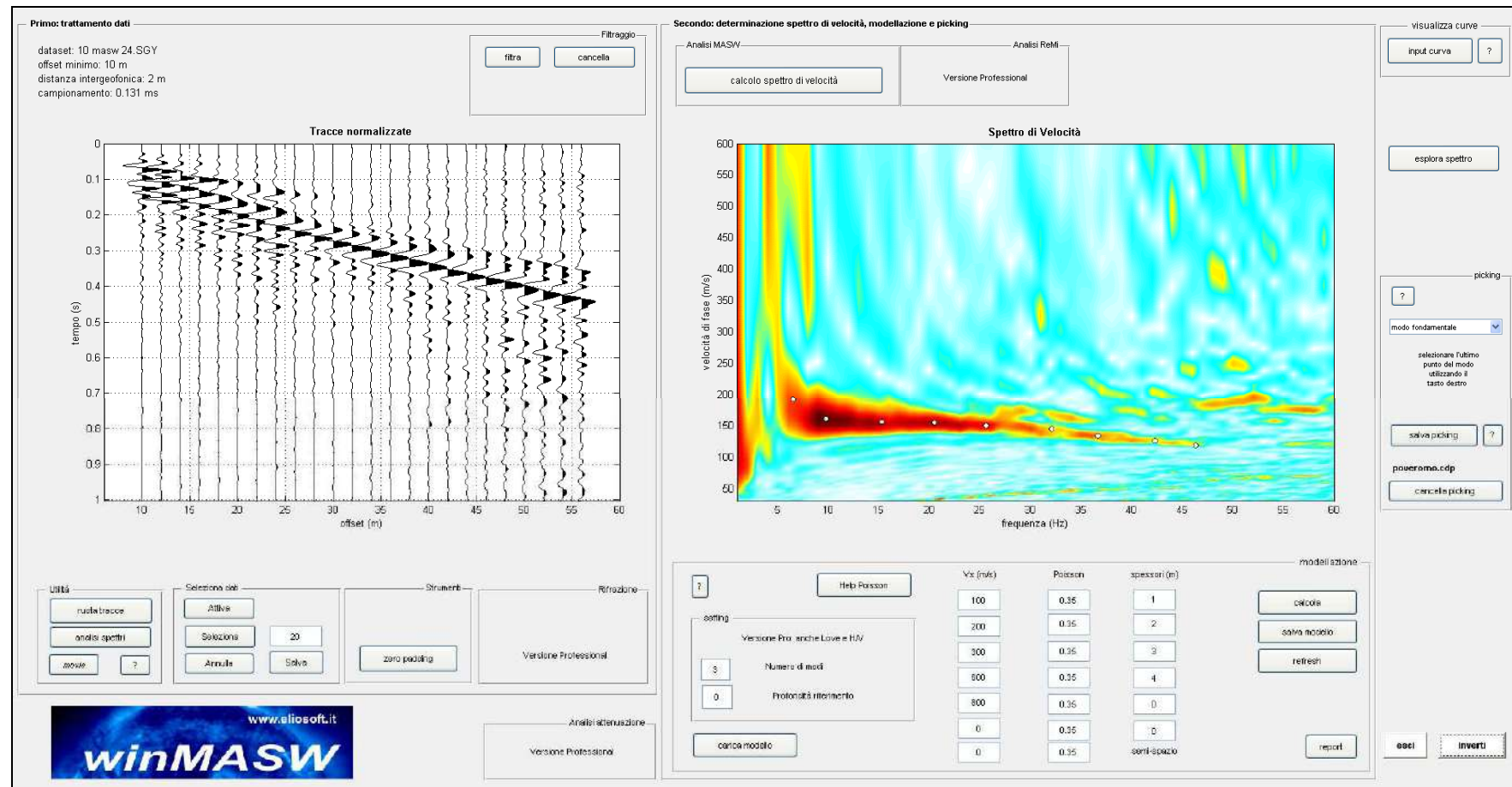
dove:

$h_i$  = spessore i-esimo di ogni singolo sismostrato

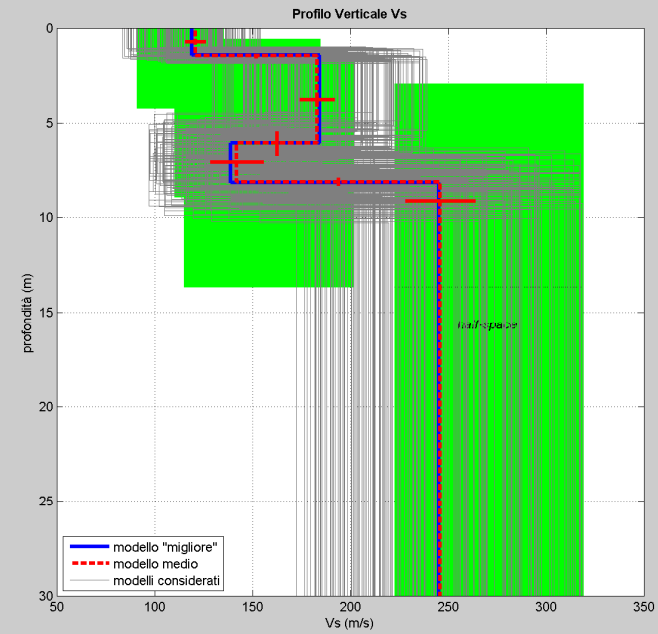
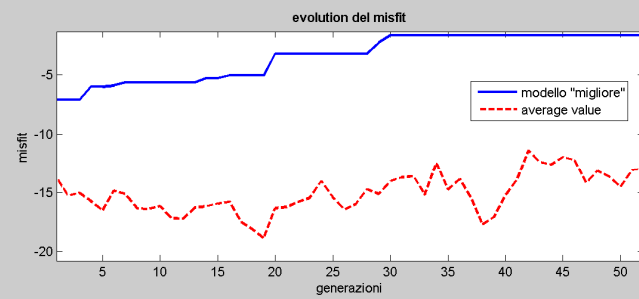
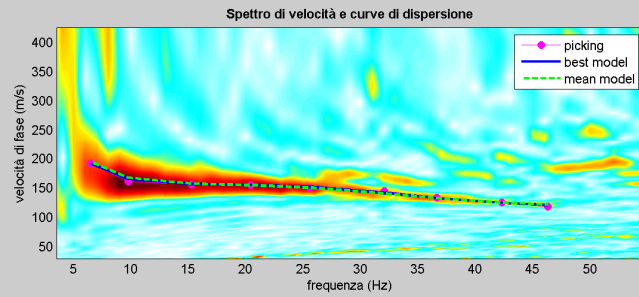
$V_i$  = velocità i-esima di ogni singolo sismostrato

Il profilo di velocità ottenuto permette di valutare un valore di  $VS_{30} = 213$  m/s con riferimento al piano campagna.

Lucca, novembre 2016

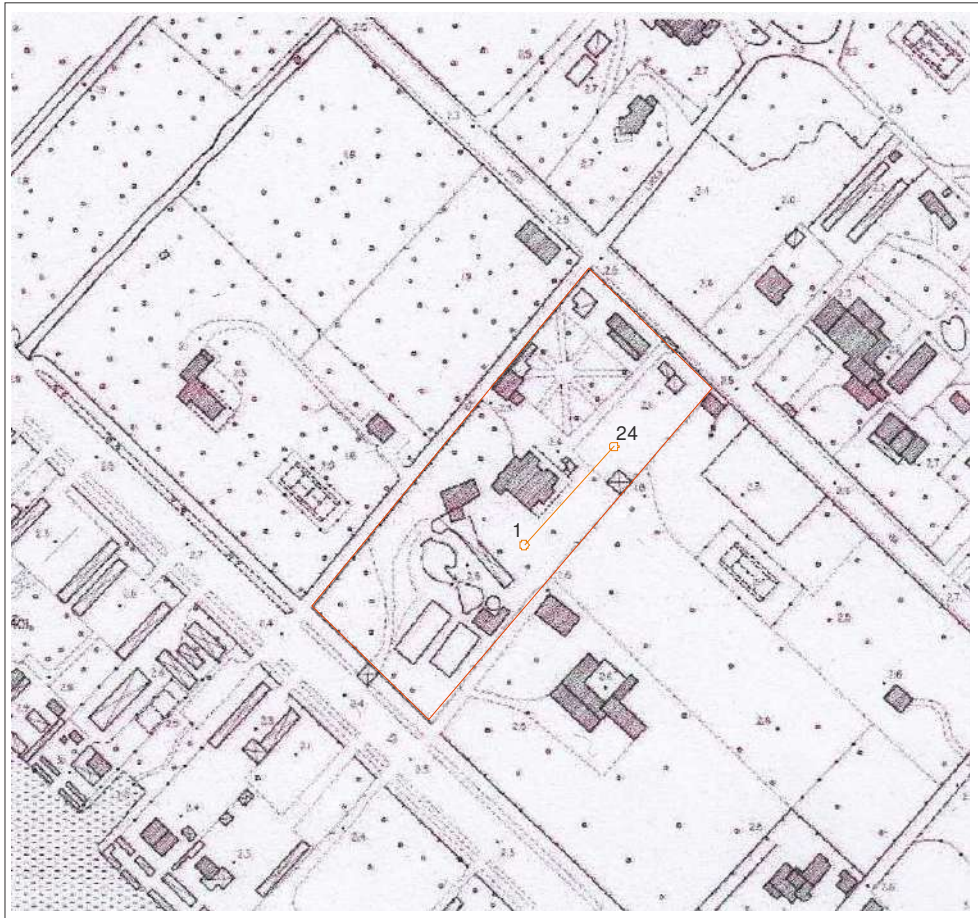


Prospezione MASW: dataset di campagna (a sinistra) e relativo spettro di velocità con modello diretto della curva di dispersione sperimentale (a destra).



dataset: 10 masw 24.SGY  
 curve di dispersione: poveromo.cdp  
 VS30 (modello "migliore"): 212 m/s  
 VS30 (modello medio): 213 m/s

Prospezione MASW: risultati della elaborazione dopo modellazione diretta.



Ubicazione indagine e disposizione geofoni