

**COMUNE DI Crespina Lorenzana – (Pisa)**

**PIANO DI RECUPERO**

*Loc. Lavoria, Via Lavoria*

---

**RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'**

*(D.P.G.R. 5/R-2020; NTC 2018)*

COMMITTENTE:	BERNARDINI GASTONE S.R.L.
GEOLOGO:	DR. GEOL. ERALDO SANTARNECCHI
COLLABORATRICE:	DOT.SSA GEOL. CINZIA LOCCI
DATA:	NOVEMBRE 2021

IL GEOLOGO

Dr. Geol. Eraldo Santarnecki  
*Iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione  
Toscana con numero di riferimento 240*

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO .....</b>	<b>3</b>
2.1	Ubicazione ed inquadramento geologico-geomorfologico.....	3
<b>3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ SECONDO GLI STRUMENTI URBANISTICI ATTUALMENTE IN VIGORE (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL D.P.G.R. 25 OTTOBRE 2011, N. 53/R).....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>RISCHIO SISMICO .....</b>	<b>5</b>
4.1	Categorie del suolo di fondazione .....	7
4.2	Indagine sismica MASW .....	9
<b>5</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL DPGR 30 GENNAIO 2020 N. 5/R).....</b>	<b>10</b>
5.1	Carta della Pericolosità Geologica .....	11
5.2	Carta della Pericolosità da alluvione .....	11
5.3	Carta delle aree a Pericolosità Sismica Locale .....	12
<b>6</b>	<b>STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>12</b>
6.1	Prova penetrometrica dinamica in foro SPT.....	14
<b>7</b>	<b>CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA .....</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>PRESCRIZIONI RELATIVE AGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....</b>	<b>18</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>19</b>
	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>20</b>

## 1 PREMESSA

Nella presente relazione di Fattibilità si riferisce di uno studio geologico – tecnico di supporto al Piano di Recupero (R.Q. n. 31 – Tav. n. 11 Utoe n. 3A - “Lavoria Ovest”) previsto in Via Lavoria, Loc. Lavoria, nel Comune di Crespina Lorenzana (PI) .

Nello specifico, il progetto prevede il recupero funzionale dell’area tramite l’ampliamento dei due edifici esistenti per le porzioni di volume ricadenti nel comparto RQ 31 per un massimo di 600 mq di SUL, al fine di collegare fisicamente i due volumi esistenti (vedi pianta piano terra di figura 13 allegata).

Per i particolari architettonici, fare completo riferimento agli elaborati redatti dal Progettista.

Dopo un inquadramento di carattere geomorfologico ed idraulico dell’area d’intervento e di un suo congruo intorno, viene illustrata la ricostruzione geostratigrafica resa possibile attraverso la realizzazione delle seguenti indagini geognostiche:

- n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto ad una profondità dal p.c. locale di – 10.0 m (vedi log stratigrafico di figura 8 allegata); durante l’avanzamento del sondaggio è stato prelevato n. 1 campione indisturbato di terreno sottoposto successivamente ad analisi di laboratorio (vedi allegato 1) per la determinazione dei parametri fisico-meccanici (da parte di laboratorio certificato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti ai sensi del D.P.R. 06/06/2001 n. 380), ed eseguita n. 1 prova penetrometrica dinamica in foro SPT alla profondità di -7.5 m dal p.c. (vedi allegato 2).
- n. 1 prova penetrometrica di tipo statico CPT spinta sino a -10.0 m di profondità dal p.c. (vedi allegato 3).

Per la definizione della categoria sismica di suolo e quindi della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, è stata appositamente eseguita in sito un’indagine sismica superficiale con tecnica MASW (vedi allegato 4).

L'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite viene riportata nell'estratto google di figura 12 allegata.

Si riporta inoltre l'inquadramento dell'area di intervento in termini di Pericolosità secondo gli strumenti urbanistici attualmente in vigore (Variante Generale al Regolamento Urbanistico Comunale redatta ai sensi del DPGR 53/R-2011), e l'inquadramento dell'area in termini di Pericolosità secondo il nuovo DPGR 5/R-2020.

Infine, verranno date indicazioni per la realizzazione degli interventi previsti dal Piano di Recupero.

## **2 INQUADRAMENTO**

### **2.1 Ubicazione ed inquadramento geologico-geomorfologico**

L'area in esame si colloca in Loc. Lavoria a Sud dello scolmatore dell'Arno e della superstrada Fi-Pi-Li, ad una quota media sul l.m.ml. di circa 10.3 m (vedi corografia di figura 1 allegata).

Dal punto di vista geomorfologico, trattandosi di un'area sub-pianeggiante, non si ravvisano segni di instabilità morfologica che possano influenzare l'intervento in progetto.

Dal punto di vista geologico l'area in oggetto è caratterizzata dalla Formazione delle Sabbie e Limi di Vicarello del Pleistocene inf costituiti da limi argillosi e sabbie fini (vedi carta geologica di figura 2 allegata).

La stratigrafia di dettaglio, nell'area in esame, è stata comunque accertata in sito tramite la realizzazione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo che ha permesso di rilevare la presenza di depositi limoso-argillosi coesivi sino a -7.0 m di profondità, seguiti da sabbie limose sino alla profondità indagata.

Sotto il profilo idrogeologico, all'interno degli strati sabbiosi superficiali può originarsi la presenza di una falda; durante l'esecuzione della campagna geognostica (Luglio e Novembre 2020) non è stata rilevata presenza di acqua all'interno del foro penetrometrico e del foro del sondaggio almeno sino alla profondità di -10.0 m indagata; tuttavia, da dati idrogeologici in nostro possesso,

non si esclude la presenza di un livello piezometrico nei periodi maggiormente piovosi ad una quota di circa -3.5 m dal p.c.

### **3 CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ SECONDO GLI STRUMENTI URBANISTICI ATTUALMENTE IN VIGORE (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL D.P.G.R. 25 OTTOBRE 2011, N. 53/R).**

Gli elaborati di supporto alla Variante al Regolamento Urbanistico Comunale redatti ai sensi del DPGR 53/R-2011 inseriscono l'area in esame nelle seguenti classi di Pericolosità:

- **Classe di Pericolosità Geologica media - G.2** (vedi figura 3 allegata) comprendente le aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.
- **Classe di Pericolosità Idraulica media – I.2** (vedi figura 4 allegata), comprendente le aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 200 e 500 anni.
- **Classe di Pericolosità Sismica Locale massima elevata – S.3** (vedi figura 5 allegata), a causa della presenza di terreni suscettibili a fenomeni di liquefazione dinamica nel settore Nord del fabbricato; la parte Sud ricade, invece, nella Classe di Pericolosità Sismica media – S.2.

Alla luce di tali classi di pericolosità, all'area in esame è stata assegnata una Classe di Fattibilità geologica ed idraulica con normali vincoli F2, ed una classe di fattibilità sismica condizionata F3 (vedi figura 6 allegata).

Infine, in seguito alla consultazione delle mappe di piano e rischio di alluvioni predisposte per il P.G.R.A. del bacino dell'Arno, nel Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, individuato nell' art. 64 del D.L. 152/2006, è stato possibile constatare che l'area d'indagine ricade all'interno di una zona contrassegnata da **classe di pericolosità da alluvione bassa P1**, corrispondente ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale (vedi figura 7 allegata).

Facendo riferimento all' art. 11 comma 1 della Disciplina di Piano della Unit of Management, nella aree a P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico e l'intervento in progetto non risulta soggetto a parere dell'Autorità di Bacino.

#### **4 RISCHIO SISMICO**

Il territorio del Comune di Crespina Lorenzana, classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982, in seguito all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 e successivamente con Deliberazione GRT n. 878 del 8 Ottobre 2012 della Regione Toscana, viene inserito nella zona sismica 3 alla quale corrisponde un accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, di 0.15  $a_g/g$ .

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e successive NTC 2018, invece, la stima della pericolosità sismica viene 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" presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di intervento, che rappresenta l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo, in un detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. In base a quanto riportato nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR, legato alla "vita nominale" dell'edificio in progetto VN ( $VR = VN \times C_u$  dove  $C_u$  è il coefficiente d'uso legato alla categoria dell'edificio), e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

Per descrivere la pericolosità sismica in un generico sito con un livello di precisione sufficiente, sia in termini geografici che in termini temporali, i risultati dello studio di pericolosità sismica devono essere forniti:

- a) in corrispondenza dei punti di un reticolo (“reticolo di riferimento”) i cui nodi, individuati in termini di latitudine e longitudine, debbono distare di un passo  $\leq 0,05^\circ$ ;
- b) per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadendo in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;
- c) in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sottosuolo rigido affiorante.

In particolare, i caratteri del moto sismico sul sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica PVR.

**$a_g$**  = accelerazione massima al sito;

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

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

Il valore di  $a_g$  viene desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dall' INGV, mentre  $F_o$  e  $T_C^*$  vengono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e della morfologia di superficie (con la determinazione della categoria di sottosuolo specifica del sito e dei coefficienti di amplificazione topografica ST e stratigrafica Ss).

#### 4.1 Categorie del suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, 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 delle NTC (vedi tabella 1) , 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 dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove ovvero, 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 propaga-zione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{I=1,N} h_i/V_{s_i}}$$

In cui  $H$  è la 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  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità, ottenendo pertanto la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{I=1,N} h_i/V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $< 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori; NSPT,  $c_u$  e  $V_s$  sono i valori rappresentativi degli strati considerati.

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

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
--	--

Tabella 1

La velocità media delle onde di taglio e quindi la categoria sismica di suolo, è stata determinata tramite l'esecuzione di un'indagine sismica superficiale con tecnica **MASW** (vedi sua ubicazione nella figura 12 allegata).

Nel paragrafo successivo vengono riportati i risultati ottenuti con tale indagine.

#### 4.2 Indagine sismica MASW

L'indagine sismica è stata svolta in data Ottobre 2018 attraverso l'esecuzione di un profilo sismico la cui ubicazione è riportata nell'estratto google di figura 12 allegata alla presente relazione. La tecnica MASW consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (minimo 12) di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva posta ad una data distanza dal primo ricevitore.

Tale tecnica, attraverso la registrazione delle modalità di propagazione delle onde superficiali (Onde di Rayleigh) permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio Sv lungo un profilo verticale.

L'indagine realizzata è stata condotta mediante uno stendimento sismico costituito da 24 geofoni allineati e separati tra loro da una distanza intergeofonica costante di 1.5 m.

Il sismografo utilizzato è stato attrezzato con 12 canali a 16 bit, collegati a 12 geofoni verticali da 4,5 Hz, mentre, per l'energizzazione è stata utilizzata una massa di 4.0 kg battente perpendicolarmente al terreno.

La lunghezza complessiva dello stendimento, fra il primo e l'ultimo geofono, è stata quindi di 36.0 m e sono state eseguite due energizzazioni, disposte rispettivamente a 2.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono, in modo da ottenere due profili 1 – D da poter confrontare.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata effettuata mediante software "MASW 2.0.0.9" (software per la determinazione dello spettro di velocità e

l'inversione della curva di dispersione sperimentale secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

Nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche adottate per l'indagine MASW realizzata in sito:

N. GEOFONI	<b>24</b>
DISTANZA INTERGEOFONICA	<b>1.5 m</b>
LUNGHEZZA COMPLESSIVA STENDIMENTO	<b>36.0 m</b>
N. PUNTI DI SCOPPIO	<b>2</b>
OFF SET SCOPPI	<b>2 m</b>
TIPO DI ENERGIZZAZIONE	<b>Mazza battente da 4.0 Kg</b>
TEMPO DI ACQUISIZIONE	<b>2 sec.</b>
INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO	<b>4000 Hz</b>

Tabella 2 – caratteristiche adottate per indagine MASW

Il modello conseguito dell'elaborazione dei sismogrammi ottenuti con il profilo G1-G24 di figura 12 individua un valore di  $V_{s30}$  pari a 298 m/s al quale corrisponde una **categoria di suolo sismico di tipo C** così come indicato nella tab. 3.2.11 del D.M. 17/01/18.

In allegato 4 vengono riportati i risultati e l'elaborazione completa dell'indagine MASW eseguita.

## **5 CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL DPGR 30 GENNAIO 2020 N. 5/R).**

Come previsto dall'allegato A punto C (Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche) del DPGR 5/R-2020, sono state prodotte una serie di cartografie, in scala di dettaglio, che illustrano la pericolosità dell'area in esame secondo i criteri dettati dal DPGR stesso. In particolare, è stata caratterizzata l'area interessata dagli interventi previsti dal Piano di Recupero, in

termini di pericolosità geologica, pericolosità da alluvione, e pericolosità sismica locale.

Nei paragrafi seguenti vengono indicati i criteri utilizzati per la redazione delle cartografie prodotte.

### **5.1 Carta della Pericolosità Geologica**

La carta della Pericolosità Geologica (figura 9) è stata redatta facendo riferimento alle classi di pericolosità geologica indicate in allegato A, punto C1 del D.P.G.R. 5/R-2020.

La pericolosità indicata, per l'area in esame, è stata valutata sulla base di sopralluoghi in sito, della campagna geognostica eseguita e tenendo conto delle classi di pericolosità indicate nella Variante Generale al R.U. Comunale.

All'area in oggetto è stata assegnata una classe di **Pericolosità Geologica media (classe G.2)** comprendente le aree con elementi geomorfologici, litologici e giacitureali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

L'indagine geognostica eseguita in sito potrà, inoltre, essere riutilizzata nella fase successiva di realizzazione dell'intervento diretto vista l'appartenenza alla Classe di indagine n. 3 ai sensi dell'art. 7 comma 3 del DPGR 36/R-2009 (volume lordo < 6.000 mc).

### **5.2 Carta della Pericolosità da alluvione**

La carta della Pericolosità da alluvioni (figura 10) è stata redatta facendo riferimento alle classi di pericolosità indicate al punto C.2 dell'allegato A del D.P.G.R. 5/R-2020.

La pericolosità indicata, per l'area in esame, è stata valutata sulla base della Classe di Pericolosità indicata dal PGRA.

All'area in oggetto è stata assegnata una **Classe di Pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità – P1** corrispondente ad aree inondabili da aventi per tempo di ritorno superiore a 200 anni.

### 5.3 Carta delle aree a Pericolosità Sismica Locale

L'area in esame è stata distinta in base alle caratteristiche di Pericolosità Sismica Locale tenendo conto delle classi indicate dal D.P.G.R. 5R/2020 di cui al punto C.3.

Sulla base della cartografia Mops a supporto della Variante al R.U. Comunale, dalla quale emerge la presenza di terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica (vedi figura 5), nonché alla luce dei risultati delle indagini geognostiche e sismiche eseguite, all'area in esame è stata attribuita una **Classe di Pericolosità Sismica Locale elevata (S3)** ai sensi del DPGR 5/R-2020 (figura 11).

Alla luce di quanto sopra, nella fase successiva di realizzazione dell'intervento diretto dovrà essere eseguita la verifica alla liquefazione dei terreni.

Infine, l'indagine geofisica eseguita in questa fase di fattibilità potrà essere riutilizzata nella fase successiva di realizzazione dell'intervento diretto (classe di indagine n. 3 secondo il DPGR 36/R-2009).

## 6 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

Come già accennato precedentemente, ai fini della caratterizzazione specifica dei terreni presenti nell'area in esame, sono state eseguite le seguenti indagini (vedi loro ubicazione nell'estratto di figura 12):

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo spinto ad una profondità dal p.c. di – 10.0 m (vedi log stratigrafico di figura 8 allegata). Durante la perforazione è stato prelevato n. 1 campione indisturbato di terreno successivamente sottoposto ad analisi geotecniche di laboratorio (vedi allegato 1), ed eseguita una prova penetrometrica dinamica in foro SPT (vedi allegato 2)
- n° 1 prova penetrometrica di tipo statico spinta sino a -10.0 m di profondità dal p.c. (vedi allegato 3) realizzata a margine di Via Lavoria.

Mediante l'analisi delle carote estratte durante il sondaggio, unitamente ai dati della prova statica, è stato possibile ricostruire la seguente stratigrafia media (vedi sezione D-D di figura 14 allegata):

- Strato n° 1 – TERRENO DI RIPORTO (P.C. – 1.80 M)

Si tratta di un primo spessore di terreno di riporto limoso-sabbioso poco addensato con frammenti di materiale arido caratterizzato da scadenti e disomogenee proprietà fisico-meccaniche.

- Strato n° 2 – LIMO ARGILLOSO COMPATTO (1.80 M – 7.00 M)

Si tratta di un livello coesivo limoso-argilloso di colore marrone compatto.

Nella prova penetrometrica statica tale livello è stato intercettato sino ad una profondità di -5.0 m dal p.c., considerata la differenza di quota tra la strada ed il fabbricato esistente.

Le caratteristiche fisico - meccaniche di questo livello sono state definite sulla base dei risultati di laboratorio riferiti al campione di terreno prelevato durante l'avanzamento del sondaggio a -2.0 m di profondità (vedi allegato 1).

Nello specifico, sul campione di terreno sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Determinazione del peso di volume “ $\gamma$ ”
- Determinazione dell'umidità naturale “w”
- prova di taglio diretto consolidata drenata per la determinazione della coesione efficace  $c'$  e dell'angolo di attrito  $\phi'$ .

A tale livello vengono attribuiti i seguenti parametri geotecnici minimi:

- peso di volume  $\gamma = 2.0$  t/mc
- coesione efficace  $c' = 0.22$  Kg/cmq
- angolo di attrito  $\phi' = 20.9^\circ$
- coesione non drenata  $C_u = 0.76$  Kg/cmq
- modulo edometrico  $M_o = 110$  Kg/cmq

Il valore della coesione non drenata  $C_u$  è stato ricavato dividendo per due la resistenza al pocket penetrometer  $R_p$  misurata in laboratorio (150 KPa – vedi allegato 1).

Il modulo edometrico  $M_o$  è stato ricavato, invece, dall'elaborazione della prova penetrometrica statica (vedi allegato 3).

- Strato n° 3 – SABBIA LIMOSA ADDENSATA (7.00 M - 10.00 M)

Si tratta di un livello incoerente addensato di colore marrone.

Le caratteristiche fisico - meccaniche di questo livello sono state definite dall'elaborazione della prova penetrometrica in foro SPT 1 eseguita durante l'avanzamento del sondaggio a -7.5 m di profondità (vedi allegato 2), e della prova statica (vedi allegato 3).

A tale strato sono stati attribuiti così i seguenti parametri geotecnici minimi :

- peso di volume  $\gamma = 1.7$  t/mc
- Angolo di attrito  $\phi = 31^\circ$
- modulo edometrico  $M_o = 128$  Kg/cmq

Nella tabella seguente si descrivono gli orizzonti litologici, con i relativi parametri geotecnici "medi" lungo la verticale della prova penetrometrica statica eseguita in data Luglio 2020.

**Prova penetrometrica statica CPT 1**

<b>STRATO</b>	<b>PROFONDITÀ (m)</b>	<b>LITOLOGIA</b>	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	<b>Cu</b> (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	<b>M<sub>o</sub></b> (Kg/cmq)
1	p.c. – 0.80	Terreno rimaneggiato	-	-	-	-
2	0.80 – 5.00	Limo argilloso	2.19	2.44	-	110
3	5.00 – 10.00	Sabbia limosa	1.80	-	32	128

*Tabella 3 – Parametri geotecnici lungo la verticale di prova CPT 1  $\gamma$  - peso di volume; Cu – coesione non drenata;  $\phi$ : angolo di attrito;  $M_o$  – Modulo edometrico.*

### 6.1 Prova penetrometrica dinamica in foro SPT

Come già precedentemente accennato, durante l'avanzamento del sondaggio è stata eseguita n. 1 prova SPT in foro.

La prova consiste nell'infissione a percussione di una punta conica di forma e dimensioni normalizzate che penetrando consente di valutarne la resistenza meccanica alla penetrazione, contando il numero N dei colpi necessari per l'avanzamento di 30 cm.

Il dispositivo utilizzato per la prova ha le seguenti caratteristiche:

- ✓ Maglio in acciaio del peso di 63,5 kg
- ✓ Dispositivo di sganciamento per una caduta libera di 0,76 m
- ✓ Punta conica con angolo di apertura di 60°

In allegato 2 si riporta la parametrizzazione geotecnica ottenuta con i valori di  $N_{spt}$  di tabella 4 .

<b>Prova</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b><math>N_{spt}</math> (colpi) <math>N_1-N_2-N_3</math></b>
SPT 1 S1	7.50 – 7.95	7 – 11 - 18

Tabella 4

## 7 CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA

L'area in ampliamento, avente una superficie di 574.84 mq, ad oggi si presenta per circa la metà permeabile; il progetto prevede l'impermeabilizzazione di tale superficie.

Le acque meteoriche che cadranno su tale superficie saranno raccolte tramite una rete drenante e convogliate verso la fognatura esistente.

Risulta pertanto necessario prevedere per l'area in esame, se non il miglioramento, almeno il mantenimento delle condizioni di deflusso delle acque superficiali analogo alle condizioni pre-intervento, in modo da evitare che la fognatura possa ricevere una portata d'acqua superiore a quella che attualmente riceve.

Per tale motivo dovrà essere prevista la realizzazione di una vasca di trattenuta con pozzetto dotato di bocca tarata atta a contenere temporaneamente il volume

di acqua in esubero (rispetto alla situazione pre-intervento) a seguito dell'impermeabilizzazione del suolo.

Nella tabella seguente vengono indicate le caratteristiche di permeabilità delle superfici scolanti dell'area in esame sia allo stato attuale che nelle condizioni di progetto.

	STATO ATTUALE	STATO MODIFICATO
Tipologia area scolante	Superficie (mq)	Superficie (mq)
Aree impermeabili	276.69	574.84
Aree permeabili	298.15	-

Tenuto conto della tipologia dello strato superficiale dei terreni presenti in sito si possono distinguere i seguenti coeff. di deflusso:

Impermeabili –  $e = 0.95$

Aree a verde –  $e = 0.15$

Come pioggia critica per il sistema locale, si considera la pioggia oraria ventennale, che è comunemente presa a riferimento per le valutazioni locali dei surplus derivanti dalla impermeabilizzazione dei suoli.

Piogge di maggiore durata, pur dando luogo a volumi idrici maggiori, comportano piogge meno intense con portate di afflusso alla rete idrica superficiale inferiore a quelle presa in riferimento. Piogge di durata inferiore, pur dando luogo a portate più elevate, danno origine, altresì, a volumi idrici insignificanti comportando un sottodimensionamento degli eventuali dispositivi di ritenzione.

In queste condizioni è possibile stimare la portata scolante dell'area in esame sia allo stato attuale che modificato.

Per il calcolo è stata presa in considerazione una **pioggia critica oraria ventennale** pari a **55.90 mm** ricavata dalle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica - Aggiornamento 2012 del Settore Idrologico e Geologico della Regione Toscana riferita alla stazione di Lorenzana.

Considerando tale pioggia oraria ventennale calcoliamo le varie volumetrie attraverso la seguente relazione:

$$Q = C \times h \times S$$

Con:

C = coefficiente di deflusso

h = altezza di pioggia in metri

S = superficie del lotto

• **STATO ATTUALE (SITUAZIONE PRE-INTERVENTO)**

Superficie permeabile	$0,15 \times 0,0559 \times 298.15 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$
Superficie impermeabile	$0,95 \times 0,0559 \times 276.69 = 14,7 \text{ m}^3/\text{h}$
<b>TOTALE</b>	<b>17,2 m<sup>3</sup>/h</b>

• **STATO MODIFICATO**

Superficie permeabile	-
Superficie impermeabile	$0,95 \times 0,0559 \times 574,84 = 30,5 \text{ m}^3/\text{h}$
<b>TOTALE</b>	<b>30,5 m<sup>3</sup>/h</b>

Secondo le normative in materia, quindi, nelle condizioni di progetto al reticolo idrografico superficiale potrà essere convogliata una portata che al massimo è pari a **17.2 m<sup>3</sup>/h**.

Le portate di deflusso in eccesso, nella condizione post-intervento, saranno quindi pari a:

$$30.5 \text{ m}^3/\text{h} - 17.2 \text{ m}^3/\text{h} = 13,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Da quanto su esposto, la **vasca di trattenimento** dovrà trattenere le acque di deflusso in eccesso pari a **13,3 m<sup>3</sup>** dovute all'impermeabilizzazione della porzione del Lotto.

Le acque trattenute, a tempo debito, dovranno essere rilasciate nel pozzetto dotato alla base di una bocca tarata che farà defluire alla pubblica fognatura le acque drenate con una portata massima di 17.2 m<sup>3</sup>/h.

Tale pozzetto dovrà essere dotato alla sommità di un troppopieno che, in caso di un evento critico superiore a quello considerato per il calcolo delle portate di

deflusso in eccesso, dovrà impedire l'istaurarsi di sovrappressioni all'interno della rete drenante da realizzare sul lotto in esame.

Il dimensionamento della "bocca tarata" è ricavabile applicando la seguente relazione:

$$Q = \mu S (2gh)^{\frac{1}{2}}$$

Dove:

$\mu$  = costante (funzione del materiale e della forma della sezione di deflusso)

S = superficie della sezione di deflusso (m<sup>2</sup>)

G = accelerazione di gravità (m/sec)

h = altezza del battente d'acqua

## 8 PRESCRIZIONI RELATIVE ALL'INTERVENTO IN PROGETTO

Alla luce dei risultati delle indagini geognostiche condotte sul sito e della definizione delle Classi di Pericolosità di appartenenza ai sensi del D.P.G.R. 5/R-2020, si possono esprimere le seguenti considerazioni:

- L'area interessata dal progetto risulta caratterizzata dalla presenza di uno strato superficiale di terreno di riporto di 1.80 m di spessore caratterizzato da scadenti e disomogenee caratteristiche fisico-meccaniche, da oltrepassare per l'imposta delle strutture di fondazione.
- L'impermeabilizzazione di parte della superficie oggetto del Piano di Recupero comporterà un incremento della portata di deflusso delle acque superficiali nella rete fognaria esistente rispetto alle condizioni pre-intervento; pertanto, ai fini dell'invarianza idraulica dovrà essere prevista la realizzazione di una vasca di trattenuta da 13.3 mc.
- Le indagini geognostiche e sismiche potranno essere riutilizzate nella fase successiva di intervento diretto alla luce della volumetria in progetto (Classe di indagine n. 3 ai sensi del DPGR 36/R-2009).

## 9 CONCLUSIONI

La presente relazione di Fattibilità geologica è stata redatta a supporto del Piano di Recupero (R.Q. n. 31 – Tav. n. 11 Utoe n. 3A - “Lavoria Ovest”) previsto in Via Lavoria, Loc. Lavoria, nel Comune di Crespina Lorenzana (PI) .

Si è proceduto ad un inquadramento dell’area oggetto di intervento in termini di Pericolosità Geologica e Pericolosità Sismica Locale sulla base di quanto dettato dal D.P.G.R. 5/R-2020 (Regolamento di attuazione dell’art. 104 della Legge Regionale 10 Novembre 2014 n. 65 contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche).

All’area in esame sono state attribuite le seguenti classi di Pericolosità:

- Classe di Pericolosità Geologica G.2 media
- Classe di Pericolosità da alluvioni P1 bassa
- Classe di Pericolosità Sismica Locale S.3 elevata

**Alle condizioni e nei limiti sopra esposti, gli interventi previsti dal presente Piano di Recupero risultano fattibili dal punto di vista geologico – tecnico, sismico ed idrologico - idraulico.**

Ponte a Egola, Novembre 2021

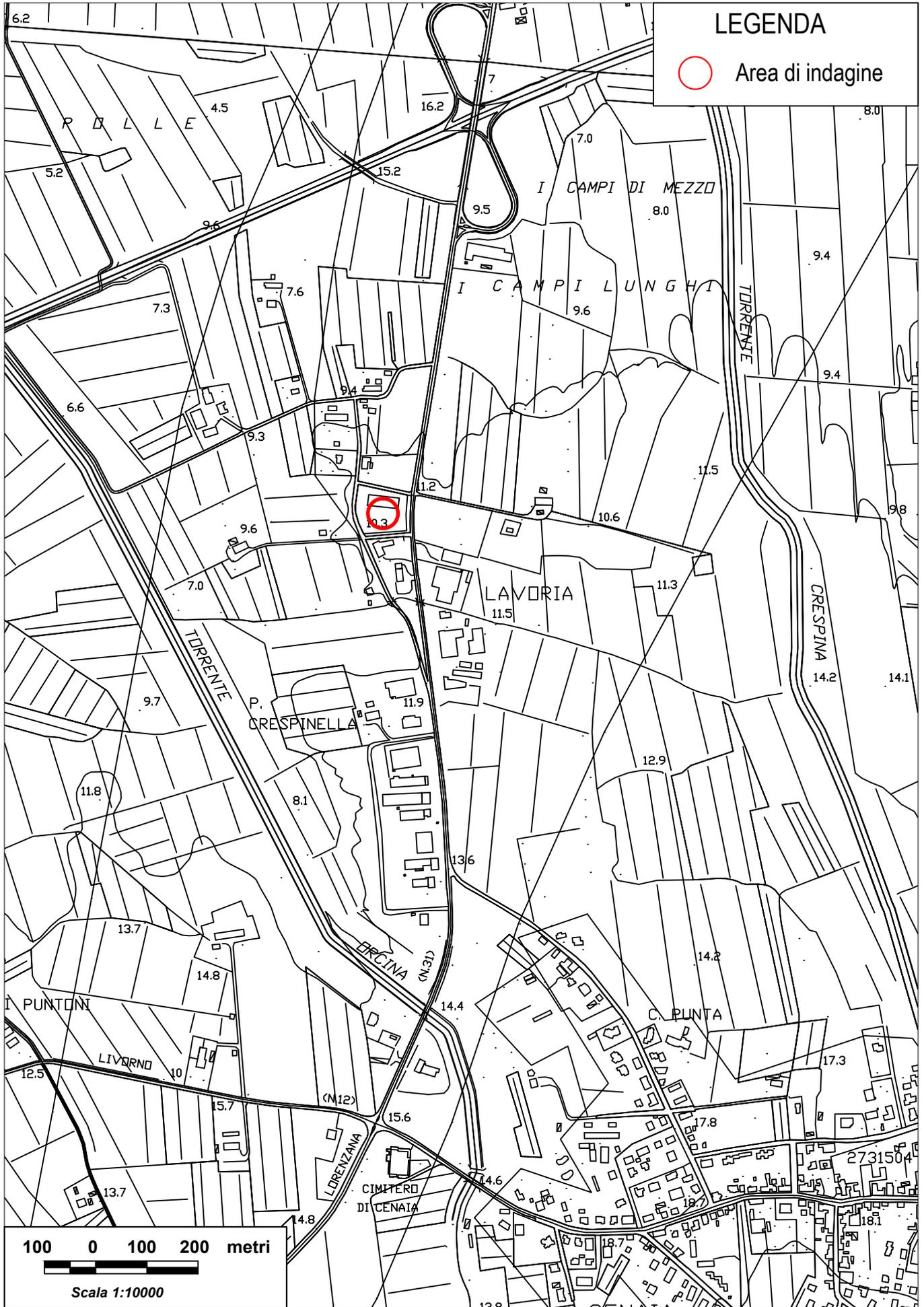
Dott. Geol. Eraldo Santarnecki



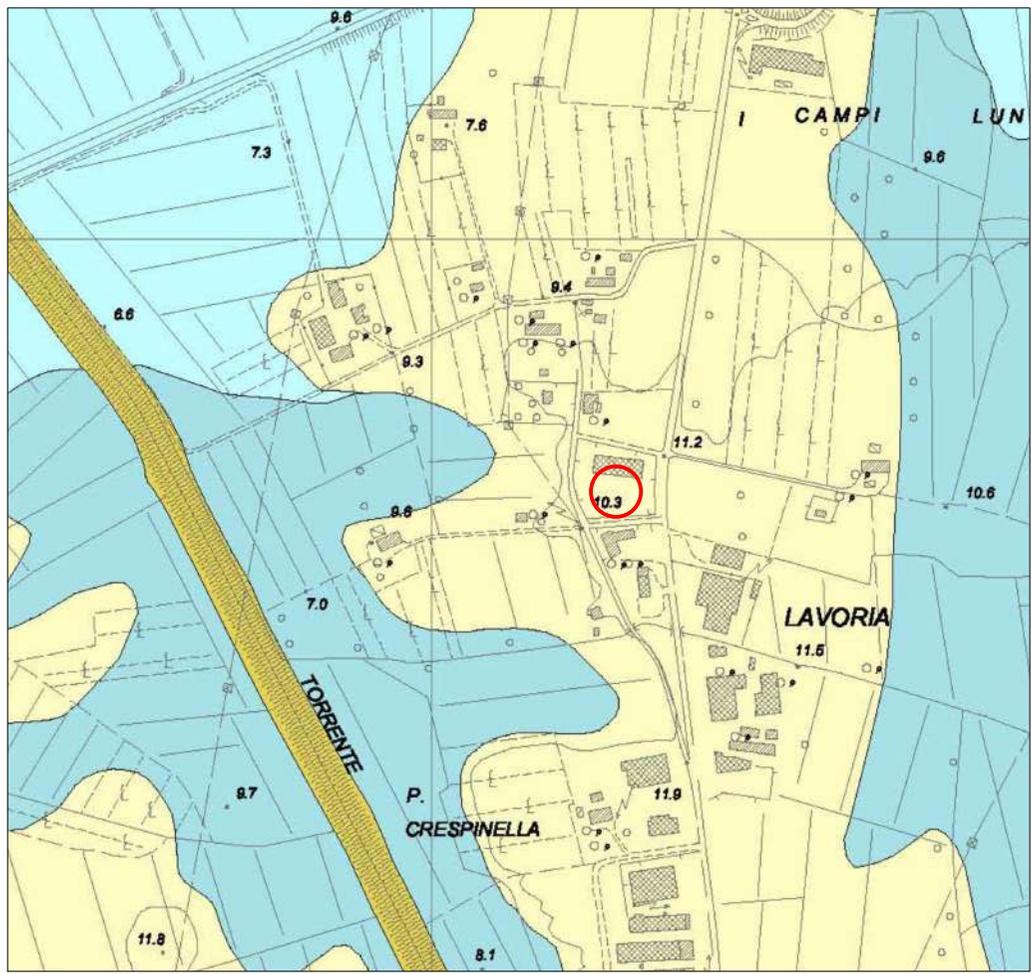
The image shows a blue circular stamp from the 'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA' (Order of Geologists of Tuscany). The stamp contains the text: 'Dott. Geol. ERALDO SANTARNECCHI' and 'N° 240'. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

## ALLEGATI

- **Fig. 1** - Corografia (scala 1:10.000).
- **Fig. 2** – Stralcio Carta Geologica – tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:5.000).
- **Fig. 3** – Stralcio carta della Pericolosità Geologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 - tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:5.000).
- **Fig. 4** – Stralcio carta della Pericolosità Idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 - tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:10.000).
- **Fig. 5** – Stralcio carta delle Mops e della Pericolosità Sismica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 - tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:5.000).
- **Fig. 6** – Stralcio carta della Fattibilità ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 - tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:2.000).
- **Fig. 7** – Pericolosità da alluvioni – Piano di gestione Rischio Alluvioni – Autorità di bacino Arno (scala 1:5000).
- **Fig. 8** – Stratigrafia sondaggio S1.
- **Fig. 9** – Carta della Pericolosità Geologica ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000).
- **Fig. 10** – Carta della Pericolosità da alluvioni ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000).
- **Fig. 11** – Carta della Pericolosità Sismica Locale ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000).
- **Fig. 12** – Estratto google earth con ubicazione indagini geognostiche eseguite (scala 1:500).
- **Fig. 13** – Pianta piano terra con ubicazione fabbricato in ampliamento e sondaggio geognostico con traccia sezione litostratigrafica (scala 1:350).
- **Fig. 14** – Sezione litostratigrafica interpretativa D-D- stato sovrapposto (scala 1:125).
  
- **Allegato 1** – Certificati analisi geotecniche di laboratorio.
- **Allegato 2** – Elaborazione prova penetrometrica dinamica in foro SPT.
- **Allegato 3** – Elaborazione prova penetrometrica statica.
- **Allegato 4** – Elaborati indagine sismica "MASW".



**Figura 1 - COROGRAFIA**



**LEGENDA**

Confine comunale  
 Laghi e invasi

**INTERVENTI ANTROPICI**

ant Terreni di Riparto, opere antropiche, bonifica per colmata

**DEPOSITI CONTINENTALI RECENTI ED ATTUALI**

ac Depositi alluvionali prevalentemente coesivi (Olocene)  
 am Depositi alluvionali misti (Olocene)  
 as Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi (Olocene)

**DEPOSITI QUATERNARI DEI TERRAZZI GLACIOEUSTATICI**

QPL Formazione di Casa Poggio ai Lecci (Pleistocene medio)  
 QVC Sabbie e limi di Vicarello (Pleistocene inf.)

**SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA**

NUG Sabbie di Nugola Vecchia (Pleistocene inf.)  
 ART Sabbie ed argille ad Artica Islandica (Pleistocene inf.)  
 VLMs Sabbie di Lajatico (Formazione di Villamagna) (Pliocene medio)

Area di indagine

FIGURA 2: Carta Geologica - Tratta da indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante Generale al P.S. Comunale (scala 1:10.000)



**CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA**  
ai sensi delle Norme di Attuazione del P.A.I. Bacino

-  Classe PF3 - Pericolosità elevata
-  Classe PF4 - Pericolosità molto elevata

**CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA**  
ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

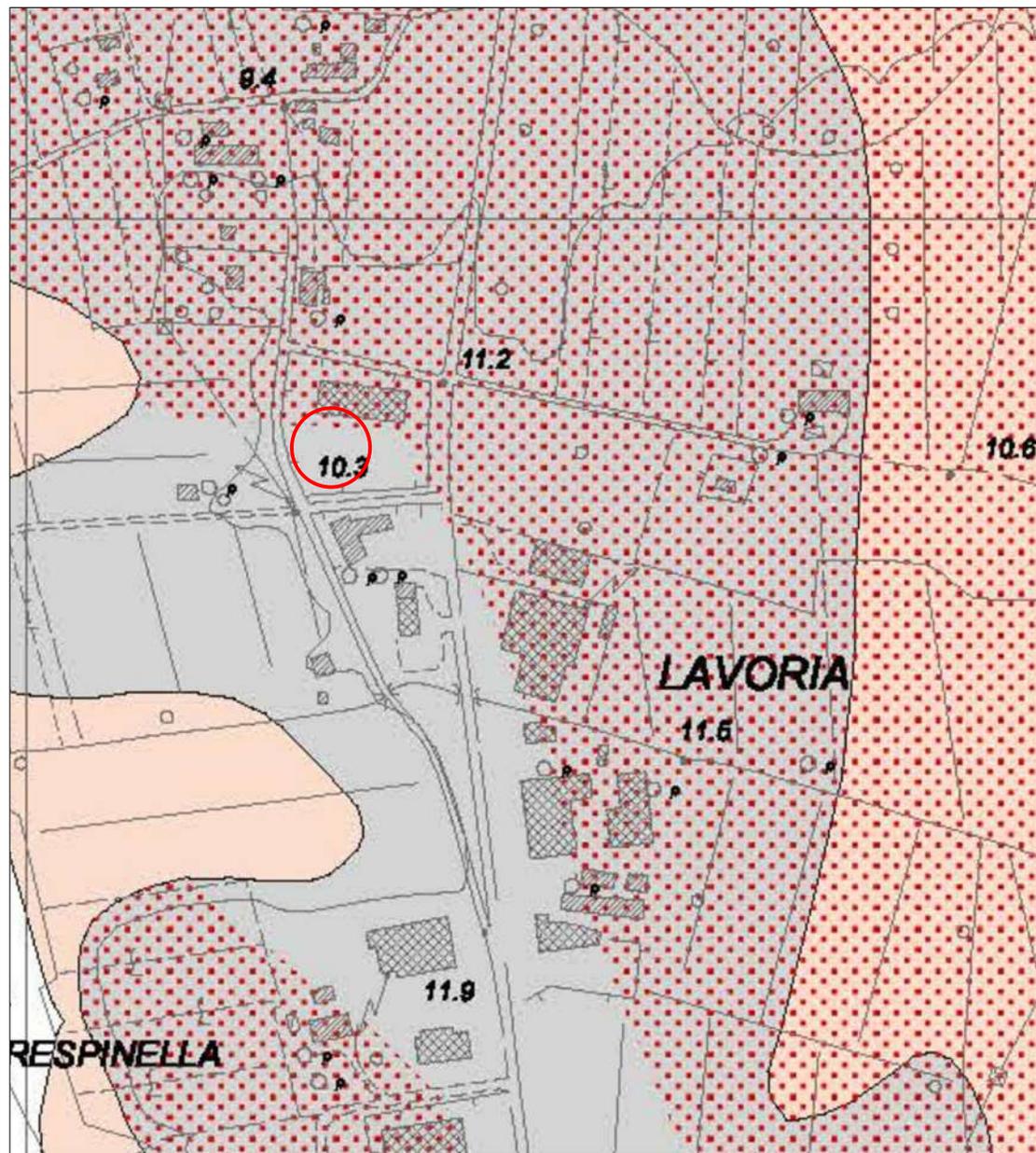
-  Classe G.1 - Pericolosità bassa
-  Classe G.2 - Pericolosità media

 Area di indagine

FIGURA 3: Carta della Pericolosità Geologica - Tratta da indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:5.000)



FIGURA 4: Carta della Pericolosità Idraulica - Tratta da indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:10.000)



### LEGENDA

#### ZONE INSTABILI

#### PERICOLOSITA' SISMICA

ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/

#### FRANE COMPLESSE

 Attive

S.4

 Quiescenti

S.3

#### AREE A FRANOSITA' DIFFUSA

 Attive

S.4

 Quiescenti

S.3

 Zone caratterizzate da depositi sabbiosi, spesso saturi, potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione dinamica (LI)

S.3

 Cedimenti Differenziali (CD)  
Terreni di colmata o di riporto

S.3

#### AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

 Versanti acclivi (scarpate) con dislivello complessivo superiore a 30 m

S.3

#### ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

 Zona 1: 220 m/s < Vs < 700 m/s

S.2

 Zona 2: 290 m/s < Vs < 700 m/s

S.2

 Zona 3: 200 m/s < Vs < 700 m/s

S.2

 Zona 4: 300 m/s < Vs < 700 m/s

S.2

 Zona 5: 190 m/s < Vs < 400 m/s

S.2

 Zona 6: 200 m/s < Vs < 600 m/s

S.2

 Zona 7: 200 m/s < Vs < 400 m/s

S.2

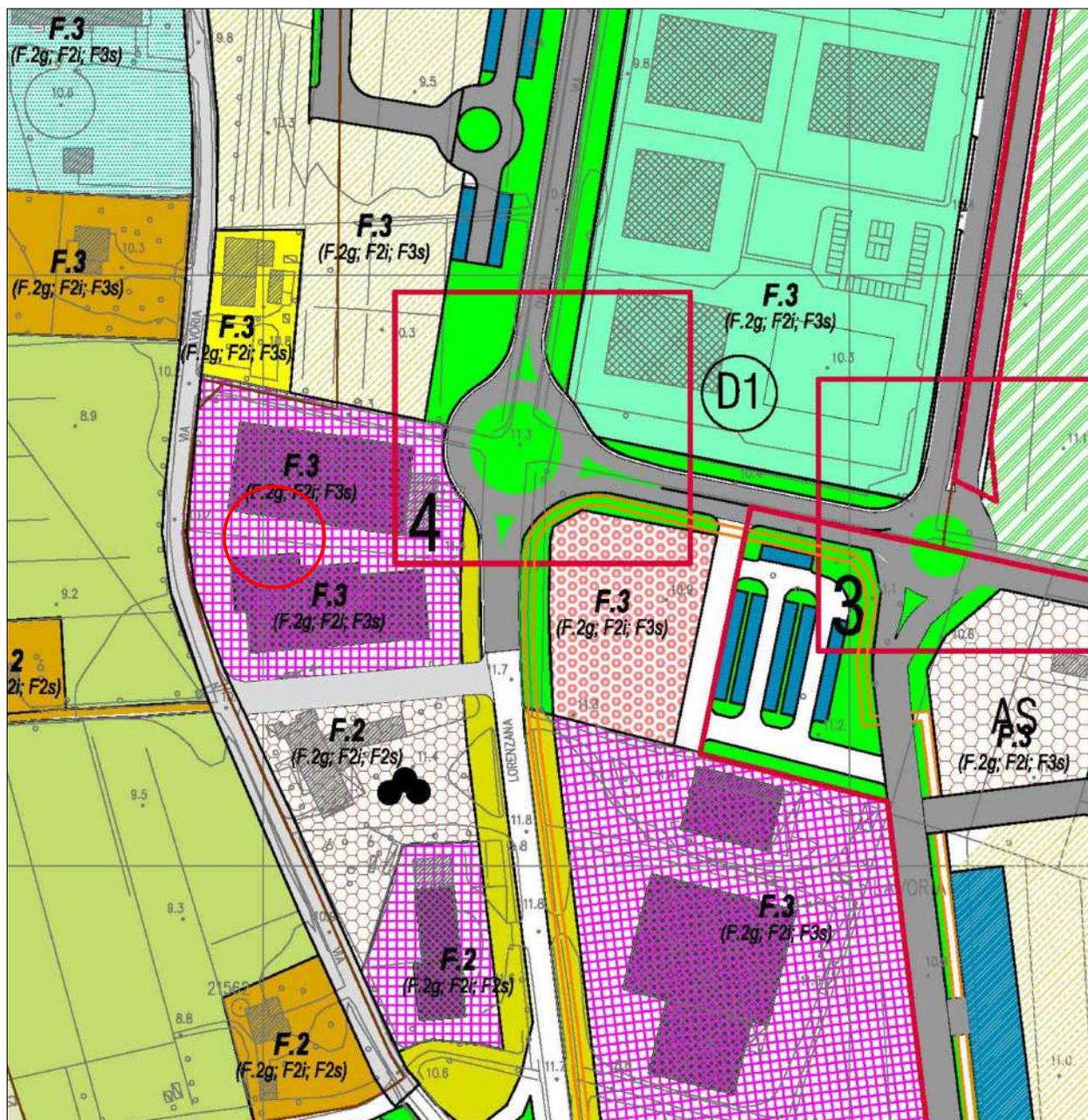
 Zona 8: 180 m/s < Vs < 400 m/s

S.2



Area di indagine

FIGURA 5: Carta della Pericolosità Sismica Locale - Tratta da indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:5.000)



### FATTIBILITA'

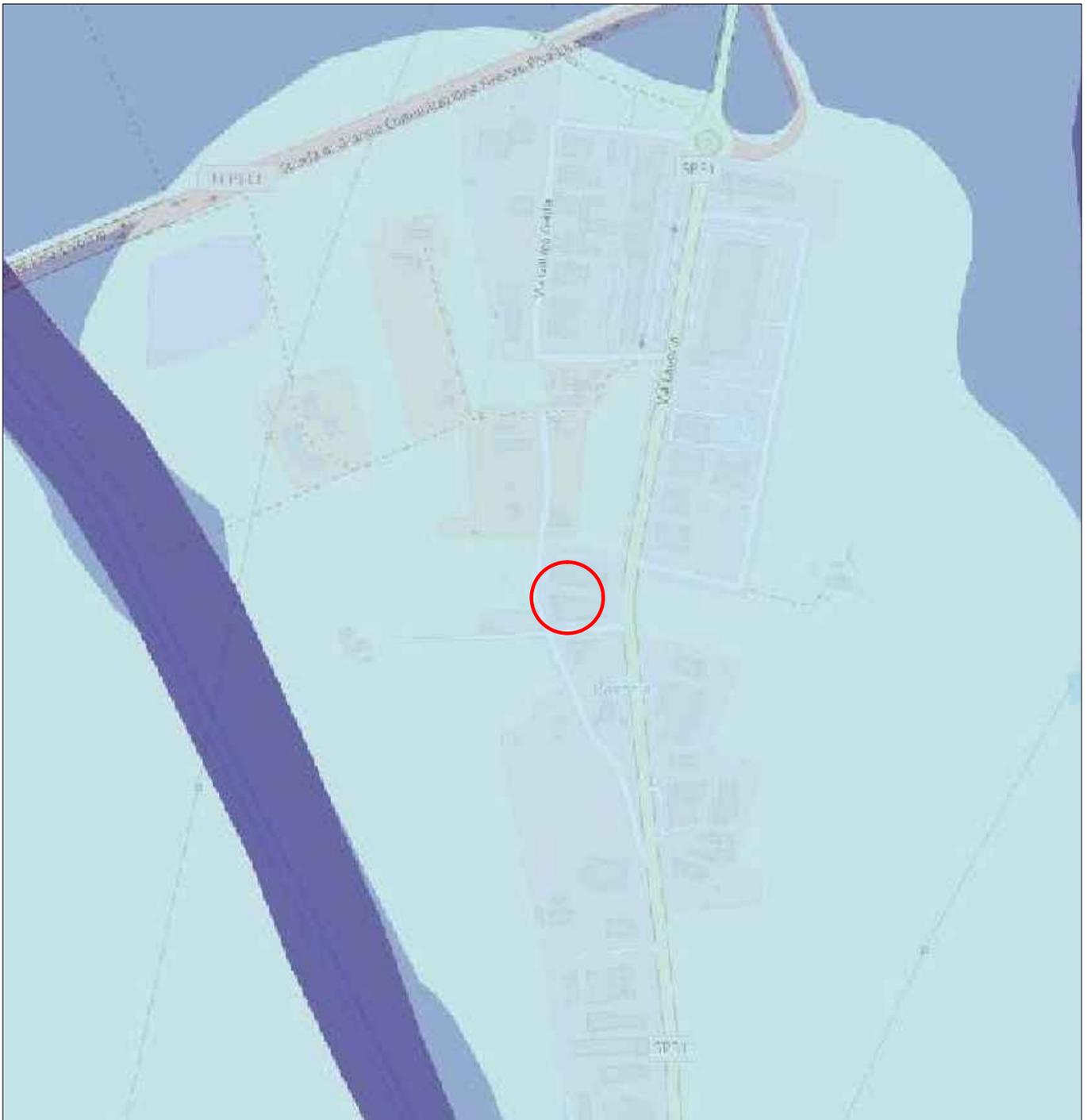
Legenda ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R



- CLASSE F.1:** Fattibilità senza particolari limitazioni :  
 si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
- CLASSE F.2:** Fattibilità con normali vincoli :  
 si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
- CLASSE F.3:** Fattibilità condizionata :  
 si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessivi di Intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.
- CLASSE F.4:** Fattibilità limitata :  
 si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Area di indagine

FIGURA 6: Carta della Fattibilità - Tratta da indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante Generale al R.U. Comunale (scala 1:2.000)



 Area in esame

**FIGURA 7: Pericolosità da alluvioni - Piano di Gestione Rischio Alluvioni - Distretto Appennino Settentrionale (scala 1:10000) - Autorità di Bacino Arno.**

FIGURA 8: Stratigrafia sondaggio S1

CANTIERE: Crespina Lorenzana (PI), Loc. Lavoria, Via Lavoria 83-85		SONDAGGIO S1 DATA:13-11-2020	Metodo di perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	Geologo responsabile della campagna geognostica:
Quota assoluta p.c. circa 10.3 m l.m.m.	Impresa esecutrice: Montopolese Perforazioni srl	cassette catalogatrici n. 2	PROFONDITA' RAGGIUNTA ml 10.0 da p.c.	Dott. Geol. Eraldo Santarnecki

LITOLOGIA	DESCRIZIONE	QUOTA	CAMPIONE	SPT	Livello piezometrico
1	<b>Terreno di riporto con limo sabbioso poco addensato</b>	1.80			
2	<b>Limo argilloso marrone compatto</b>	7.00	C1	- 2.0 m	
3				- 2.5 m	
4					
5	<b>Sabbia limosa da fine a media addensata marrone</b>	10.00		- 7.5 m	
6				SPT1	
7				7-11-18	
8					
9					
10					



Foto 1 - Ubicazione sondaggio



Foto 2 - Cassetta n. 1 (da p.c. a - 5.00 m)



Foto 3 - Cassetta n. 2 (da -5.00 m a - 10.00 m)



## LEGENDA

-  **G.1 - Pericolosità geologica bassa:** aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.
-  **G.2 - Pericolosità geologica media:** aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; detritici su versanti con pendenze inferiori a 15°.
-  **G.3 - Pericolosità geologica elevata:** aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15°.
-  **G.4 - Pericolosità geologica molto elevata:** aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.

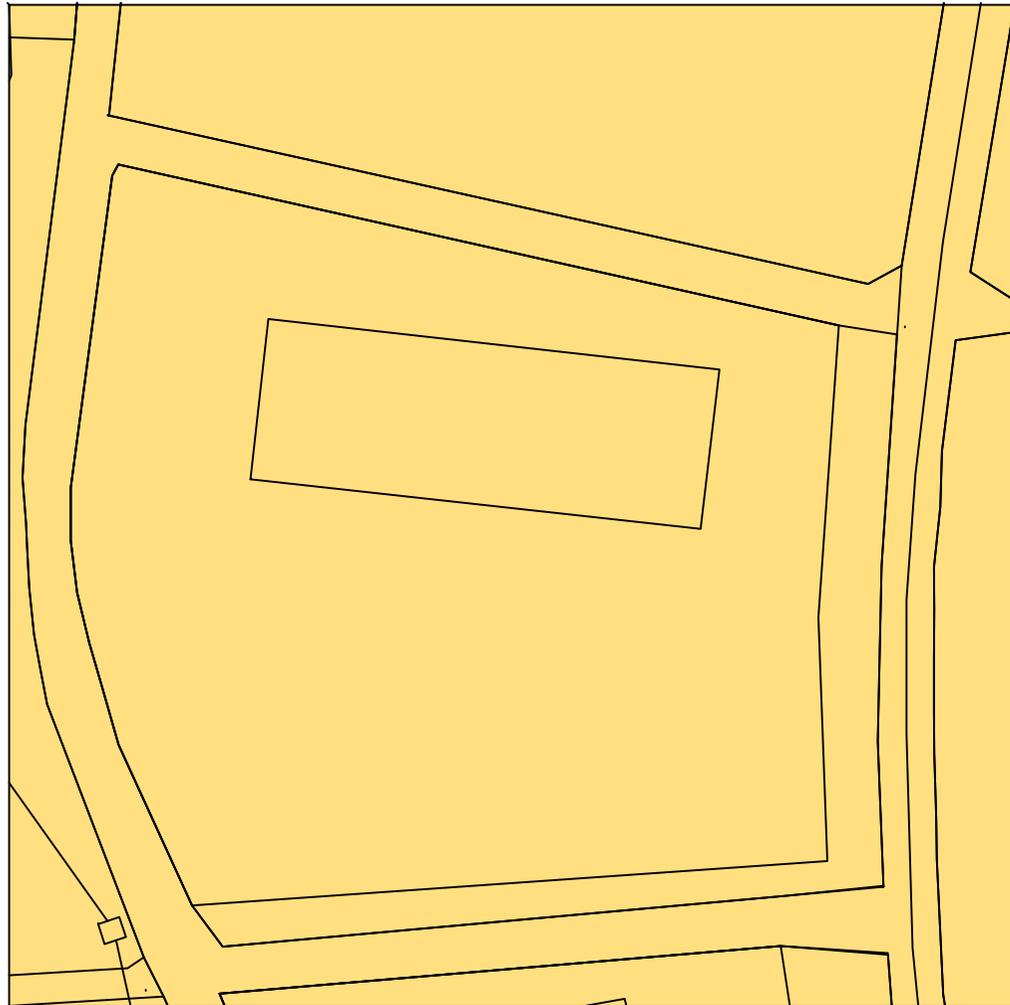


FIGURA 9:Carta della Pericolosità Geologica ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000)



## LEGENDA



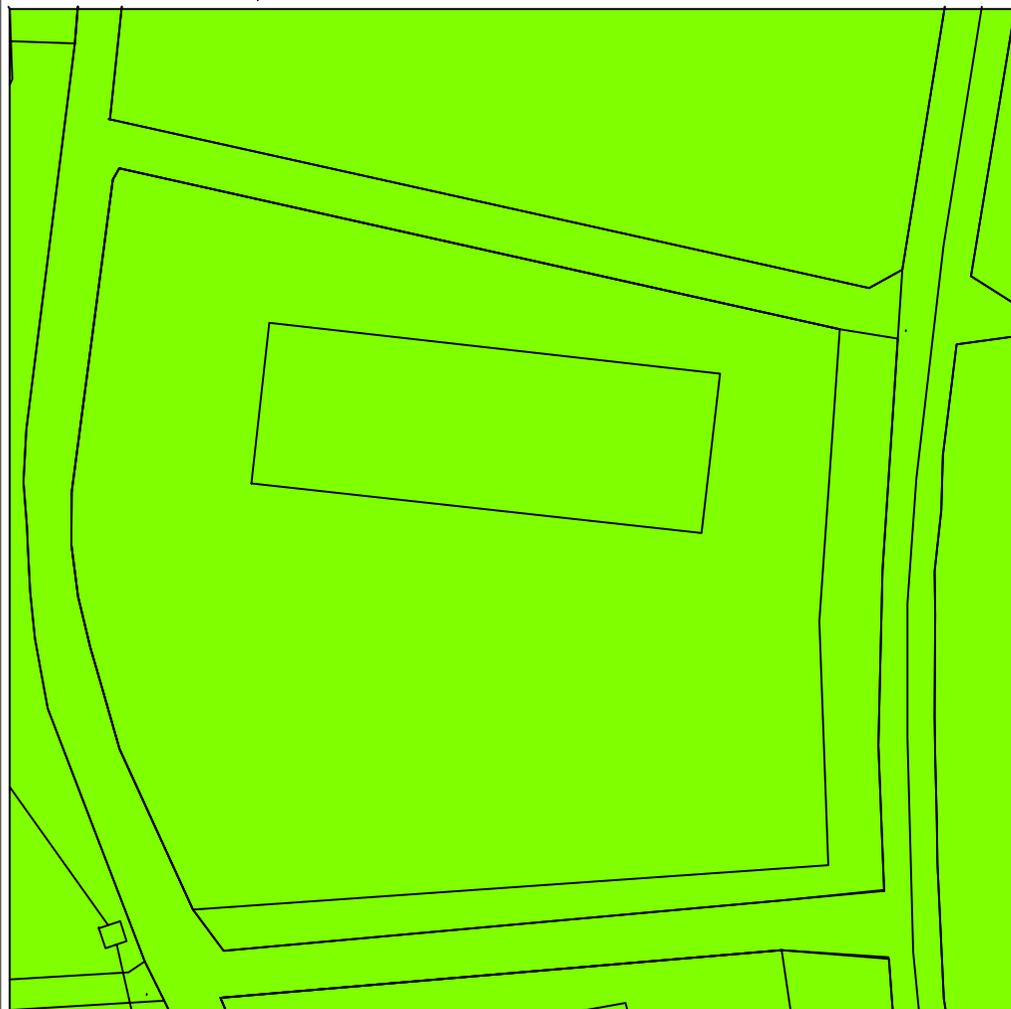
**P1 - Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità**, come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010.



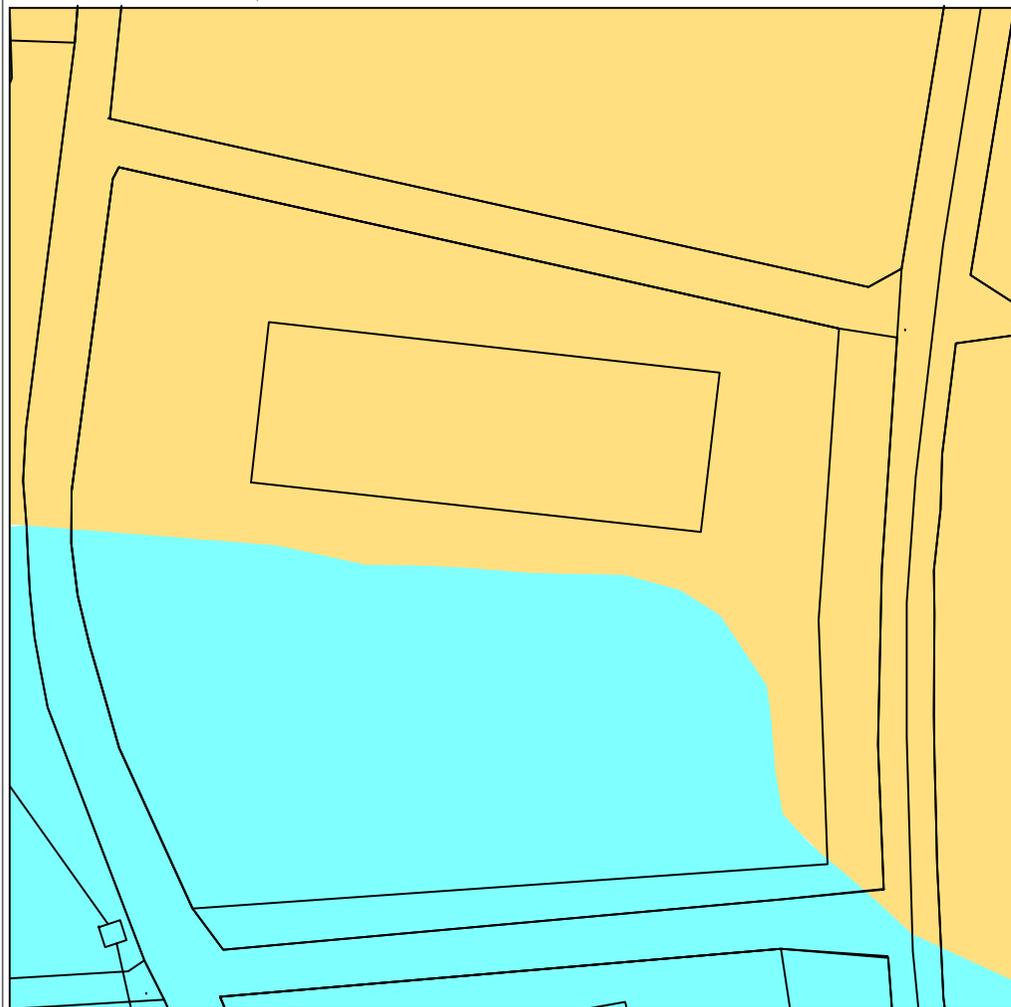
**P2: - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti:** le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.lgs 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media.



**P3 - Aree a pericolosità per alluvioni frequenti:** le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.Lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità per alluvioni elevata.



**FIGURA 10:Carta della Pericolosità da alluvioni ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000)**



- S.1 - Pericolosità sismica locale bassa:**
- zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15°), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.
- S.2 - Pericolosità sismica locale media:**
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal p.c. e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1 Hz;
  - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione  $(F_x) < 1.4$ ;
  - zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15°);
  - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.
- S.3 - Pericolosità sismica locale elevata:**
- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
  - aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
  - zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
  - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
  - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattori di amplificazione  $(F_x) > 1.4$ ;
  - aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici.
- S.4 - Pericolosità sismica locale molto elevata:**
- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;
  - terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;
  - aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici.

**FIGURA 11: Carta della Pericolosità Sismica Locale ai sensi del DPGR 5/R-2020 (scala 1:1000)**

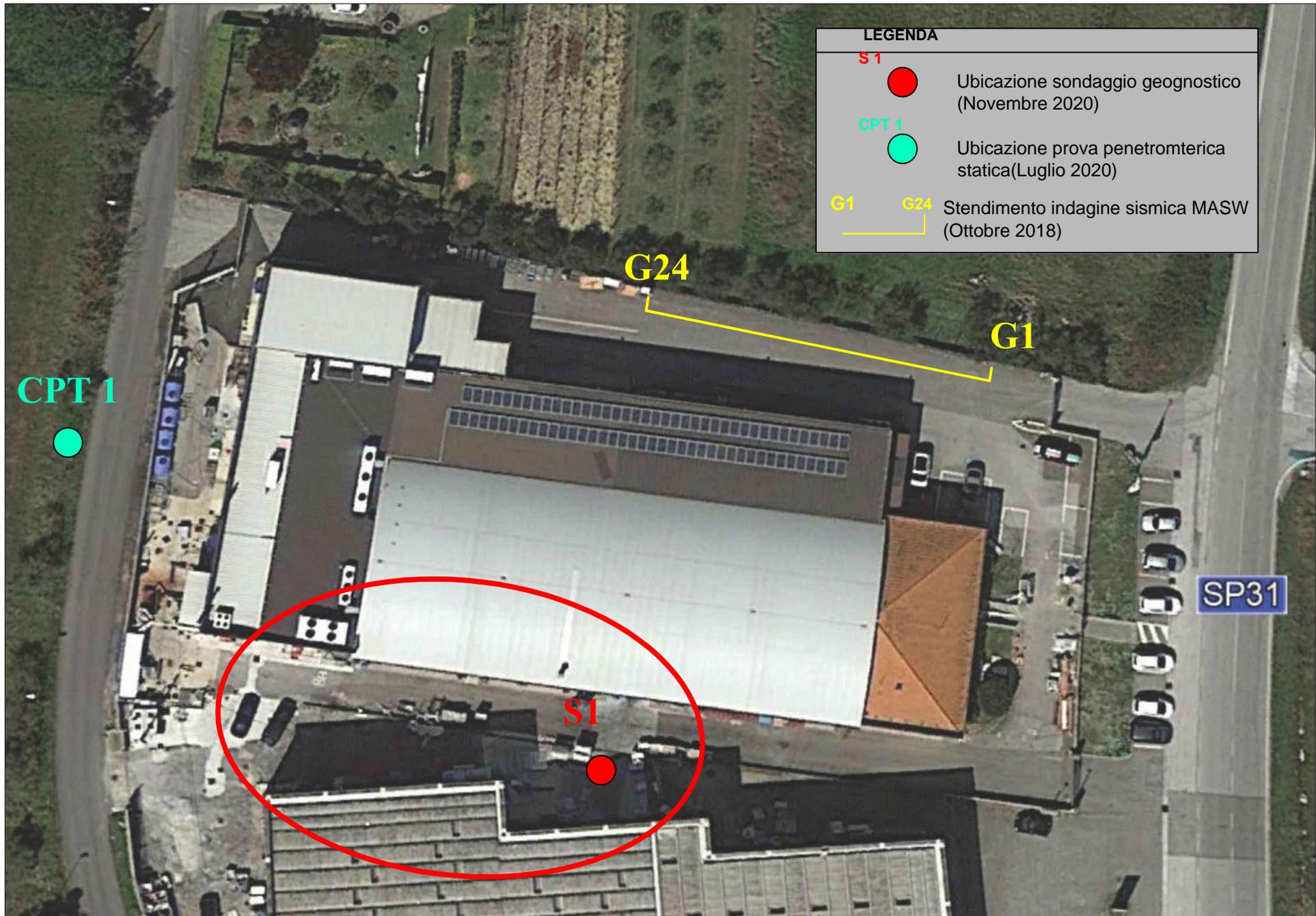


FIGURA 12: Estratto google earth con ubicazione indagini geognostiche eseguite (scala 1:500)

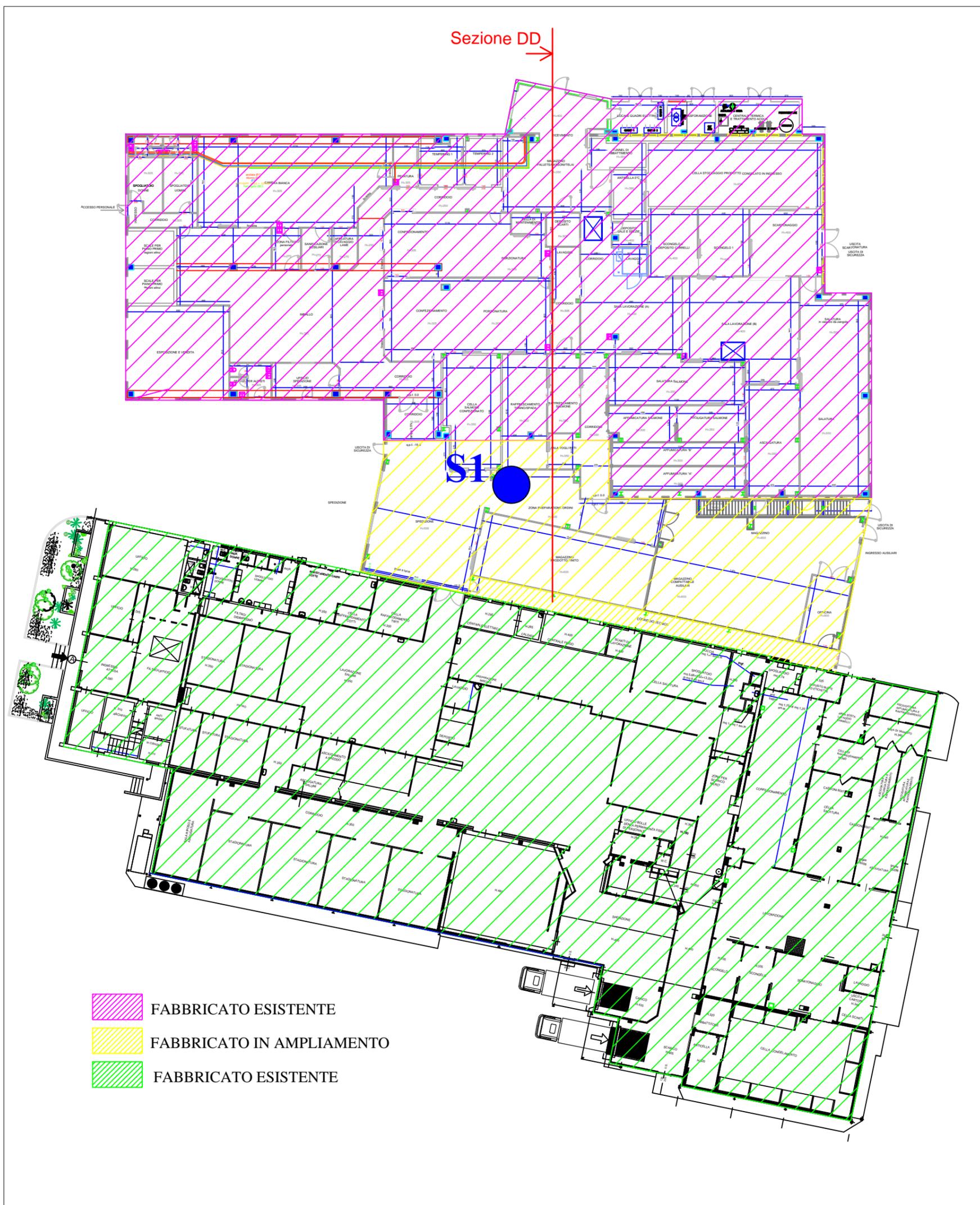


FIGURA 13: Pianta piano terra con ubicazione fabbricato in ampliamento e sondaggio geognostico con traccia sezione litostratigrafica (scala 1:350)

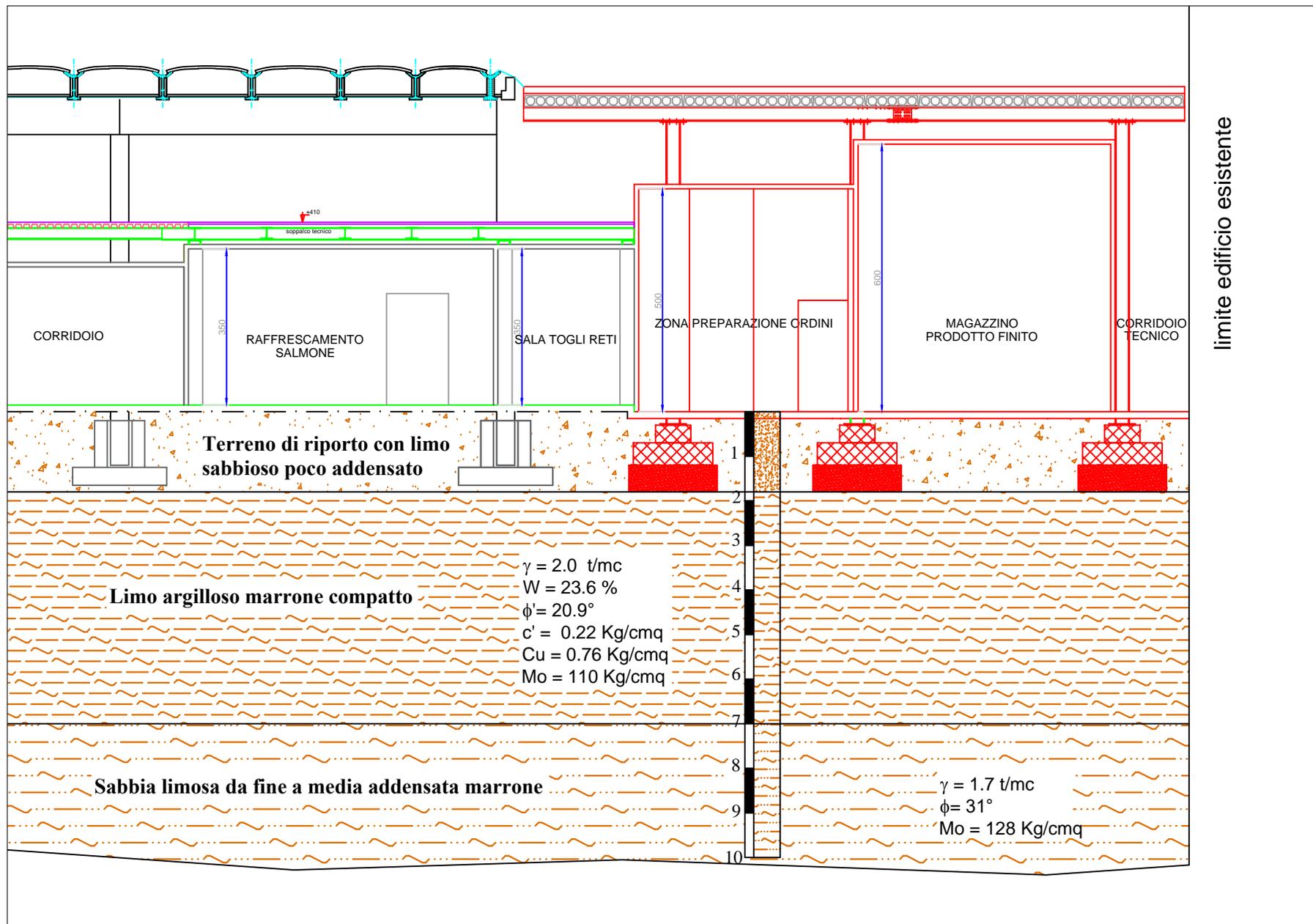


FIGURA 14: Sezione litostratigrafica interpretativa D-D stato sovrapposto (scala 1:125)



# **ALLEGATO 1**

**CERTIFICATI ANALISI GEOTECNICHE DI  
LABORATORIO**



**Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
Settore A – Prove di laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

**LABOTER snc di Paolo Tognelli e C.**  
**Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13**

**Committente :** Dott. Geologo Eraldo Santarnecchi  
**Cantiere :** Loc. Lavoria - Cenaia (PI)

**Verbale Accettazione n° :** 441 del 25/11/2020  
**Data Certificazione :** 01/12/2020  
**Campioni n°:** 1  
**Certificati da n° a n° :** 04365 a 04367







**LABOTER snc**  
Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia  
tel. 0573570566

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04365</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 01/12/20	Inizio analisi: 26/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 441 del 25/11/20		Apertura campione: 26/11/20	Fine analisi: 27/11/20

COMMITTENTE: Dott. Geologo Eraldo Santarnecchi		
RIFERIMENTO: Loc. Lavoria - Cenaia (PI)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 2.0-2.5

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

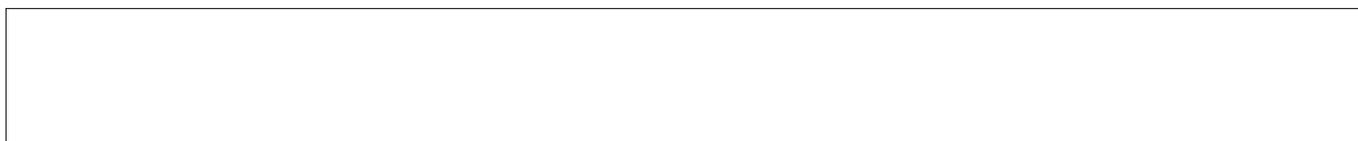
Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

**Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 23,6 %**

Struttura del materiale:

Omogeneo  
 Stratificato  
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C





**LABOTER snc**  
Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia  
tel. 0573570566

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04366</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 01/12/20	Inizio analisi: 26/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 441 del 25/11/20		Apertura campione: 26/11/20	Fine analisi: 26/11/20

COMMITTENTE: Dott. Geologo Eraldo Santarnecchi		
RIFERIMENTO: Loc. Lavoria - Cenaia (PI)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 2.0-2.5

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 19,7 kN/m<sup>3</sup>**



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04367</b>	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 01/12/20	Inizio analisi: 26/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 441 del 25/11/20		Apertura campione: 26/11/20	Fine analisi: 28/11/20

COMMITTENTE: Dott. Geologo Eraldo Santarneckchi			
RIFERIMENTO: Loc. Lavoria - Cenaia (PI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.0-2.5

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	62	95	142
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	0,71	3,19	3,82
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,07	0,38	0,61
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 27,0	--- 26,5	--- 25,6
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	20,2 25,8	19,3 25,9	19,6 26,3

**DIAGRAMMA**  
Tensione - Pressione verticale

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

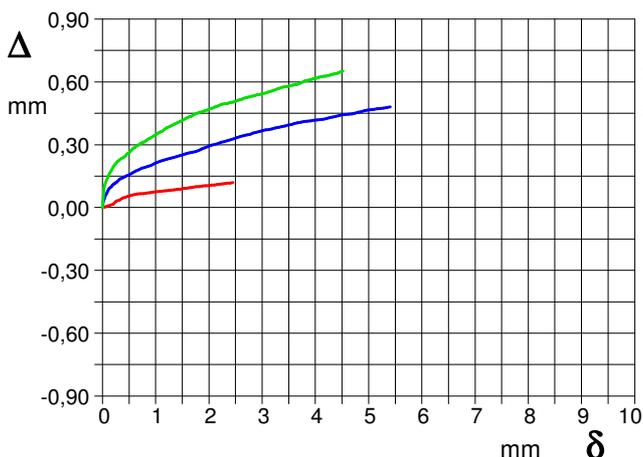
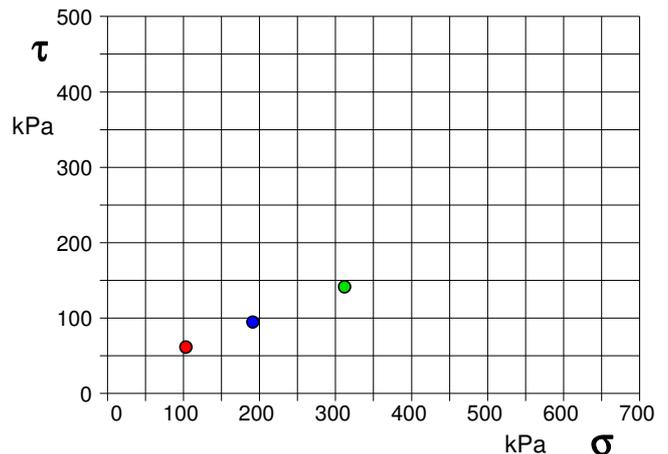


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

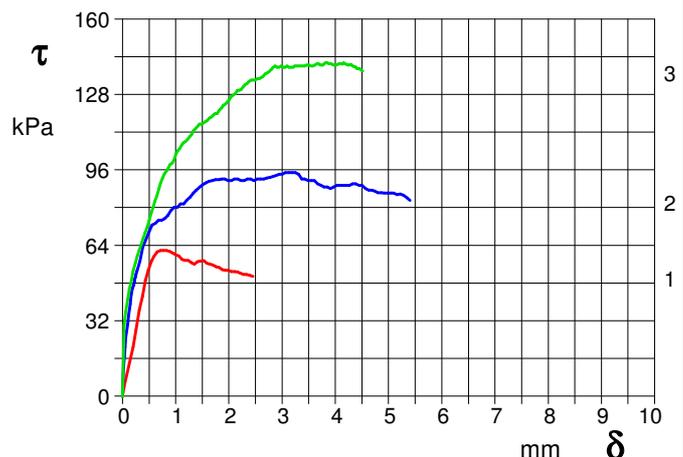


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.



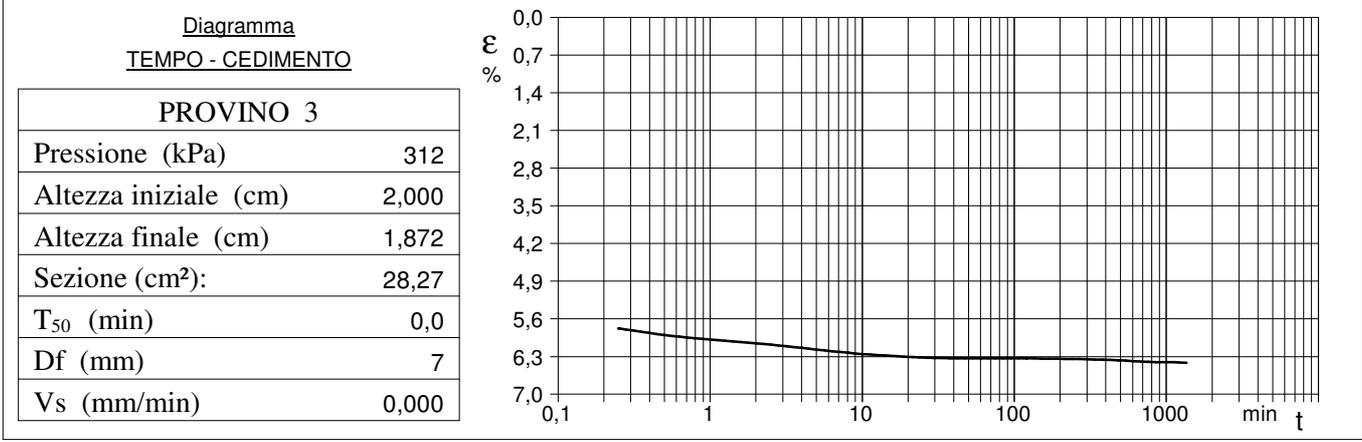
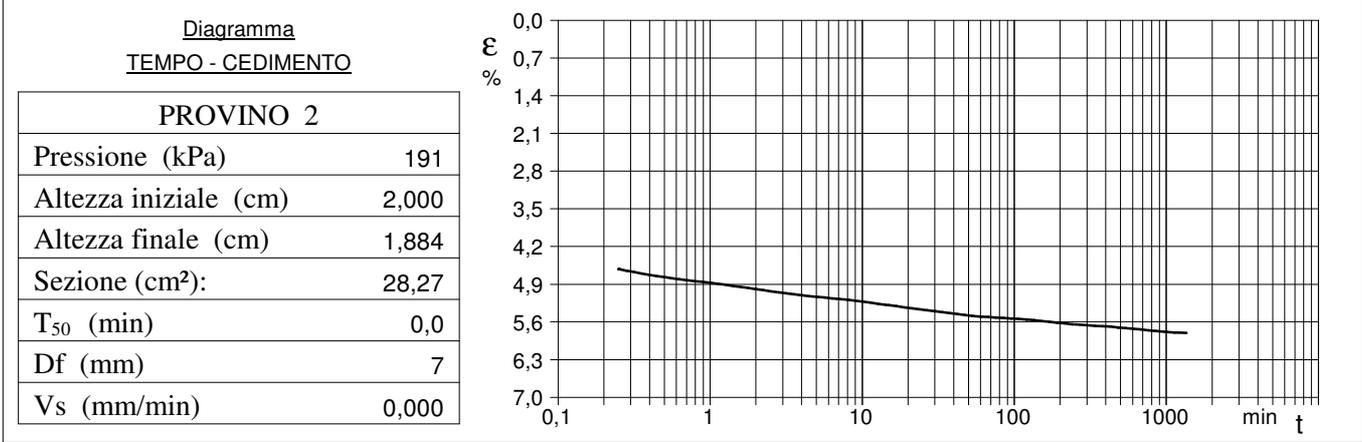
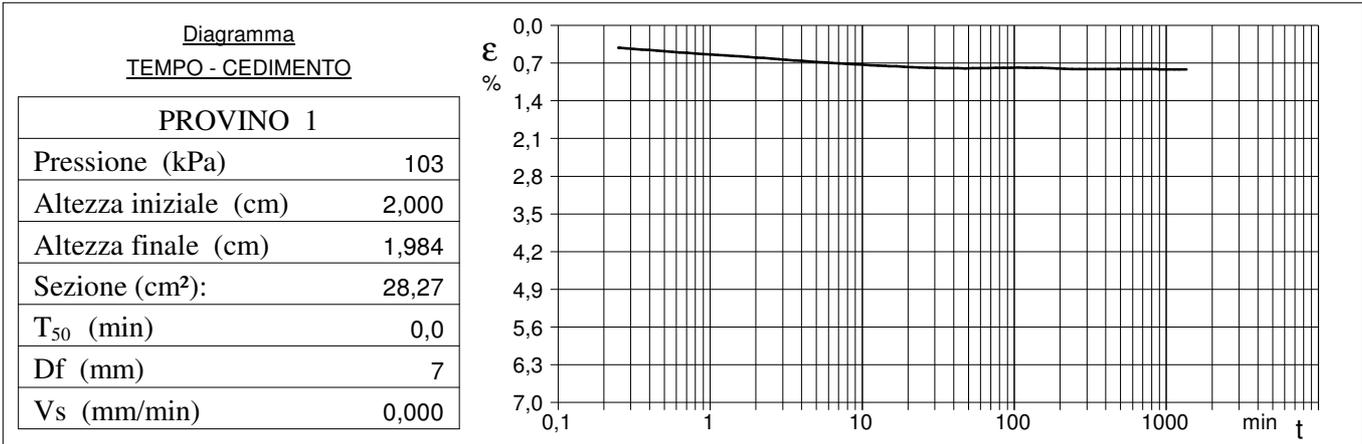


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 04367</b>	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 01/12/20	Inizio analisi: 26/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 441 del 25/11/20		Apertura campione: 26/11/20	Fine analisi: 28/11/20

COMMITTENTE: Dott. Geologo Eraldo Santarneckchi			
RIFERIMENTO: Loc. Lavoria - Cenaia (PI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.0-2.5

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04



$V_s = \text{Velocità stimata di prova}$    
 $D_f = \text{Deformazione a rottura stimata}$    
 $t_f = 50 \times T_{50}$    
 $V_s = D_f / t_f$



COMMITTENTE: Dott. Geologo Eraldo Santarnecki			
RIFERIMENTO: Loc. Lavoria - Cenaia (PI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.0-2.5

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

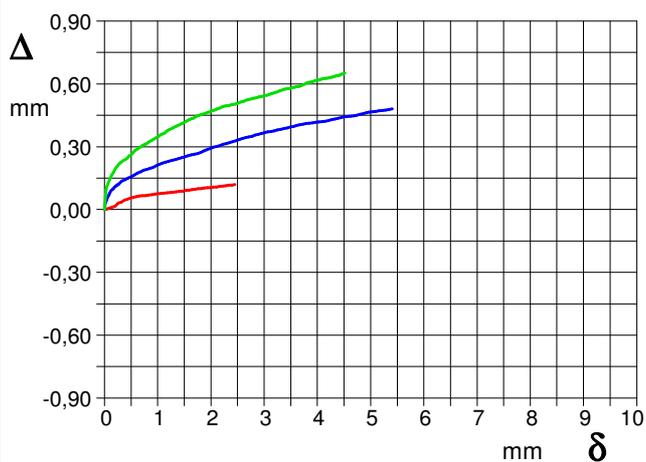
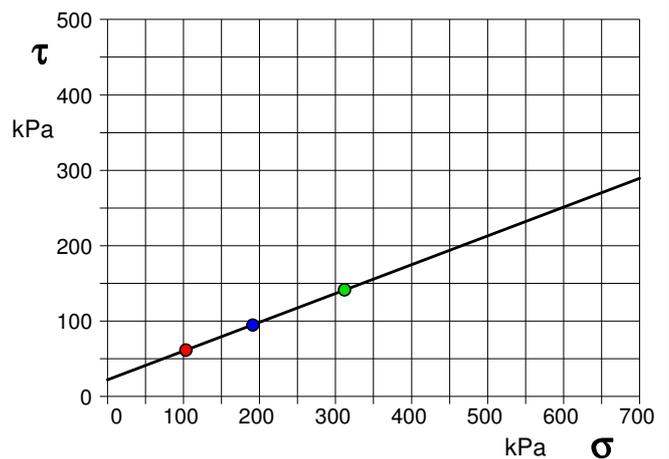
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	62	95	142
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	0,71	3,19	3,82
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,07	0,38	0,61
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 27,0	--- 26,5	--- 25,6
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	20,2 25,8	19,3 25,9	19,6 26,3

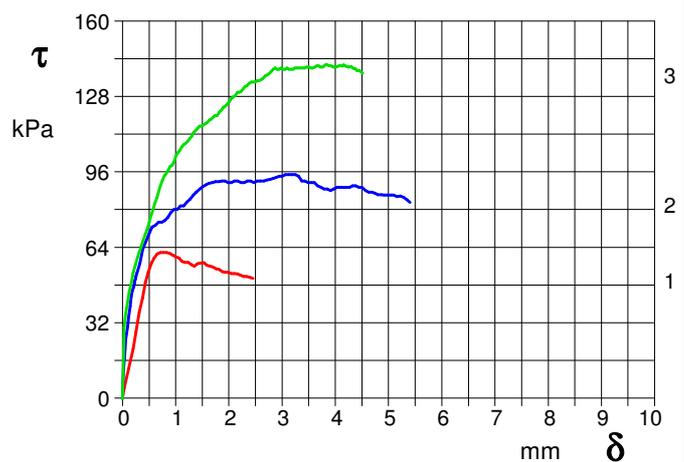
**DIAGRAMMA**  
Tensione - Pressione verticale

Coesione:	22,1 kPa
Angolo di attrito interno:	20,9 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



**DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.**



**DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.**

## ALLEGATO 2

### ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA IN FORO SPT

Committente: Bernardini Gastone srl Descrizione: Località: Lavoria	
--	--

#### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No

#### PROVA ...SPT 1

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO  
Prova eseguita in data 13/11/2020  
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
7.65	7
7.80	11
7.95	18

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SPT 1

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1)	0.00-7.95	29	Incoerente	1.69	2.05	30.82	--	174.00	220.00	0.3	1540.17	159.88

---

## **ALLEGATO 3**

### **ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Committente: Bernardini Gastone srl Cantiere: Località: Lavoria (PI)	
--	--

#### **Caratteristiche Strumentali DEEP DRILL**

<b>Rif. Norme</b>	<b>ASTM D3441-86</b>
<b>Diametro Punta conica meccanica</b>	<b>35.7</b>
<b>Angolo di apertura punta</b>	<b>60</b>
<b>Area punta</b>	<b>10</b>
<b>Superficie manicotto</b>	<b>150</b>
<b>Passo letture (cm)</b>	<b>20</b>
<b>Costante di trasformazione Ct</b>	<b>20</b>

Esecutore prova:  
Geol. Eraldo Santarnecchi

**PROVA ...CPT 1**

Strumento utilizzato: DEEP DRILL

Prova eseguita in data: 07/07/2020

Profondità prova: 10.00 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.40	0.00	0.0	0.00	2.67	0.00	
0.60	30.00	50.0	60.00	4.53	13.25	7.6
0.80	26.00	60.0	52.00	4.40	11.82	8.5
1.00	21.00	54.0	42.00	3.60	11.67	8.6
1.20	15.00	42.0	30.00	2.27	13.22	7.6
1.40	16.00	33.0	32.00	1.87	17.11	5.8
1.60	23.00	37.0	46.00	3.47	13.26	7.5
1.80	35.00	61.0	70.00	5.47	12.80	7.8
2.00	51.00	92.0	102.00	6.00	17.00	5.9
2.20	40.00	85.0	80.00	6.13	13.05	7.7
2.40	41.00	87.0	82.00	5.33	15.38	6.5
2.60	36.00	76.0	72.00	5.33	13.51	7.4
2.80	29.00	69.0	58.00	3.47	16.71	6.0
3.00	36.00	62.0	72.00	4.67	15.42	6.5
3.20	42.00	77.0	84.00	5.73	14.66	6.8
3.40	47.00	90.0	94.00	5.73	16.40	6.1
3.60	45.00	88.0	90.00	5.33	16.89	5.9
3.80	46.00	86.0	92.00	5.60	16.43	6.1
4.00	43.00	85.0	86.00	5.73	15.01	6.7
4.20	44.00	87.0	88.00	5.73	15.36	6.5
4.40	42.00	85.0	84.00	5.33	15.76	6.3
4.60	41.00	81.0	82.00	5.60	14.64	6.8
4.80	40.00	82.0	80.00	6.00	13.33	7.5
5.00	35.00	80.0	70.00	4.93	14.20	7.0
5.20	38.00	75.0	76.00	4.13	18.40	5.4
5.40	37.00	68.0	74.00	4.13	17.92	5.6
5.60	40.00	71.0	80.00	2.80	28.57	3.5
5.80	34.00	55.0	68.00	1.33	51.13	2.0
6.00	55.00	65.0	110.00	7.20	15.28	6.5
6.20	63.00	117.0	126.00	4.40	28.64	3.5
6.40	105.00	138.0	210.00	7.47	28.11	3.6
6.60	92.00	148.0	184.00	7.20	25.56	3.9
6.80	36.00	90.0	72.00	2.27	31.72	3.2
7.00	32.00	49.0	64.00	3.47	18.44	5.4
7.20	26.00	52.0	52.00	2.00	26.00	3.8
7.40	25.00	40.0	50.00	1.07	46.73	2.1
7.60	32.00	40.0	64.00	3.87	16.54	6.0
7.80	43.00	72.0	86.00	2.80	30.71	3.3
8.00	57.00	78.0	114.00	4.40	25.91	3.9
8.20	25.00	58.0	50.00	2.93	17.06	5.9
8.40	21.00	43.0	42.00	6.53	6.43	15.5
8.60	24.00	73.0	48.00	2.27	21.15	4.7
8.80	52.00	69.0	104.00	3.73	27.88	3.6
9.00	30.00	58.0	60.00	4.80	12.50	8.0
9.20	27.00	63.0	54.00	4.80	11.25	8.9
9.40	63.00	99.0	126.00	1.60	78.75	1.3
9.60	67.00	79.0	134.00	5.60	23.93	4.2
9.80	68.00	110.0	136.00	5.47	24.86	4.0
10.00	67.00	108.0	134.00	0.00		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.80	0.00	2.90	1.1	Coesivo	Terreno rimaneggiato
5.00	73.14	4.92	2.2	Coesivo	Limo argilloso-sabbioso
10.00	92.72	3.85	2.2	Incoerente	Sabbia limosa e

					argilla sabbiosa
--	--	--	--	--	------------------

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.80	C	0.93	0	56.00	0	<0.5	0	0	--	--	--	130.92
2	5.00	C	2.44	109.80	109.71	385.62	1.08	2.19	2.27	--	--	--	283.49
3	10.00	I	--	--	127.71	445.76	1.38	1.80	2.10	57.4	32.05	231.80	403.29

# ALLEGATO 4

## Risultati delle analisi MASW

Sito: Via Lavoria, Crespina (PI)

Data: Ottobre 2018

Esecutore:  
Geol. Eraldo Santarnecchi

# 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....	24
Numero di campioni temporali .....	4000
Passo temporale di acquisizione .....	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	3999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)	

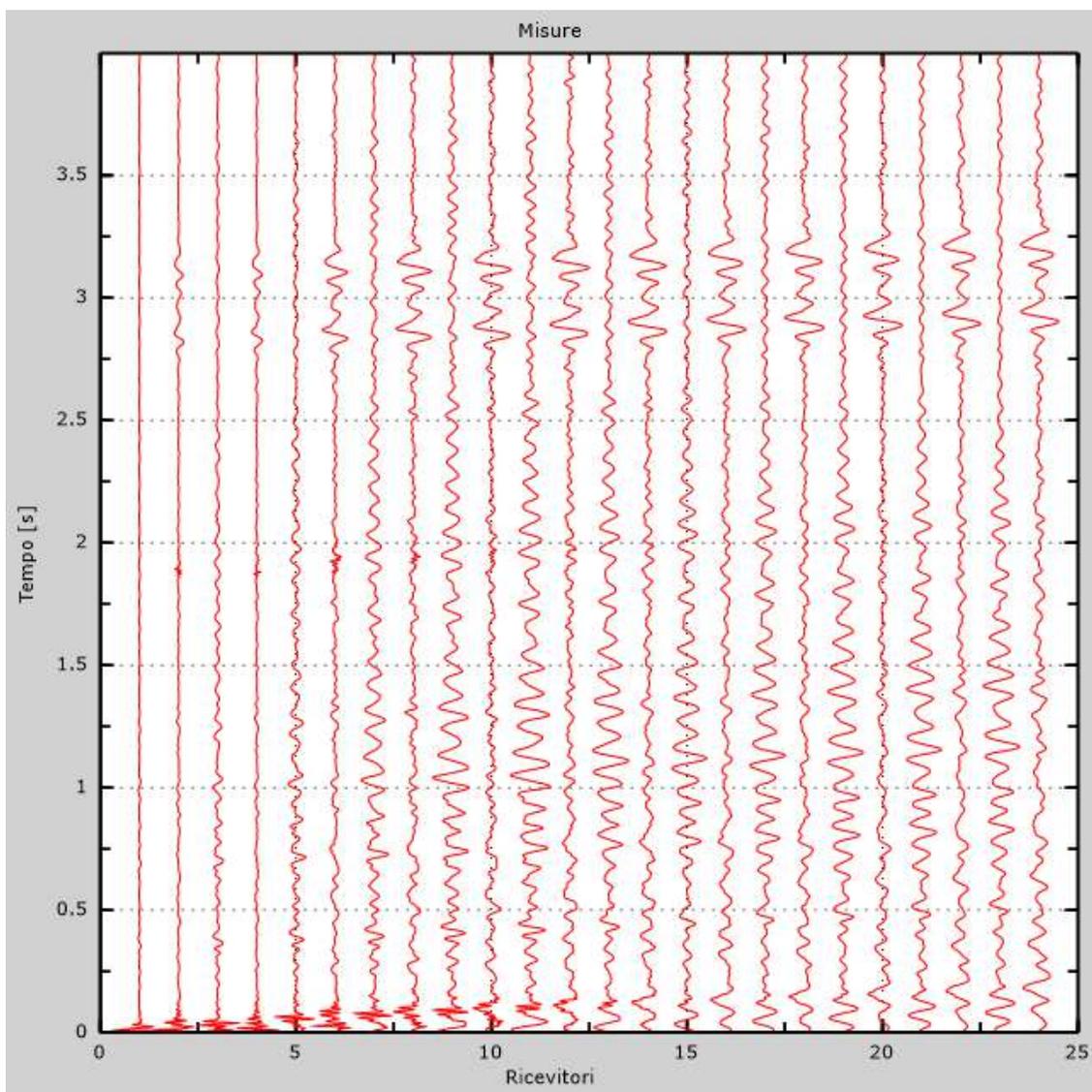


Figura 1: Tracce sperimentali



### 3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
7.75716	287.67	207.227	368.112
13.5705	279.138	253.543	304.733
17.0855	260.856	240.136	281.575
21.5469	257.199	235.26	279.138
25.4675	243.792	226.729	260.856
29.7937	232.823	216.978	248.667
35.0663	264.512	242.573	286.451
40.7444	246.23	235.26	257.199
45.4762	245.011	234.041	255.98
49.4644	242.573	232.823	252.324
53.1823	241.354	226.729	255.98
57.1705	238.917	223.072	254.761
61.3615	216.978	206.009	227.947
64.3358	213.322	203.571	223.072
67.5128	203.571	188.945	218.197

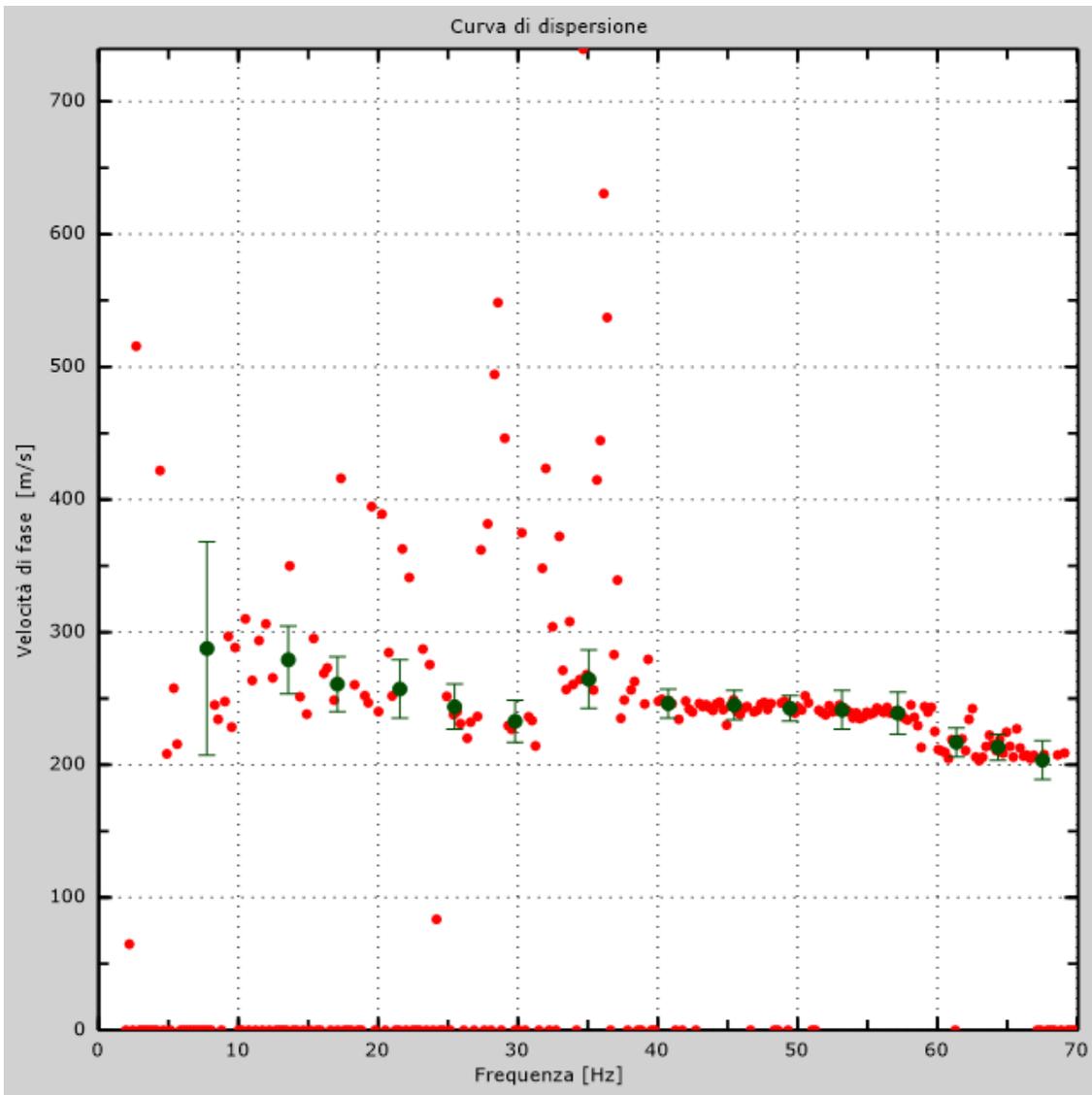


Figura 3: Curva di dispersione

## 4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) .....	8
Spaziatura ricevitori [m] .....	1.5m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi .....	1

### Strato 1: riporto

h [m].....	1.5
z [m].....	-1.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1700
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	226.19
Vp [m/s] .....	470.85
Vs min [m/s] .....	113.10
Vs max [m/s].....	452.38
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	226.190

### Strato 2: limo argilloso

h [m].....	5.5
z [m].....	-7
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	2000
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	270.88
Vp [m/s] .....	563.88
Vs min [m/s] .....	135.44
Vs max [m/s].....	541.76
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	270.880

### Strato 3: sabbia limosa

h [m].....	3
z [m].....	-10
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1700
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	289.84
Vp [m/s] .....	603.35

Vs min [m/s] .....	144.92
Vs max [m/s].....	579.68
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	289.840

#### **Strato 4: sabbia argillosa**

h [m].....	5
z [m].....	-15
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1800
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	310.15
Vp [m/s] .....	645.63
Vs min [m/s] .....	155.08
Vs max [m/s].....	620.31
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	310.150

#### **Strato 5: limo sabbioso**

h [m].....	5
z [m].....	-20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1800
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	319.63
Vp [m/s] .....	665.36
Vs min [m/s] .....	159.82
Vs max [m/s].....	639.27
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	319.630

#### **Strato 6: limo sabbioso**

h [m].....	5
z [m].....	-25
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1800
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	319.63
Vp [m/s] .....	665.36
Vs min [m/s] .....	159.82
Vs max [m/s].....	639.27
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	

Vs fin.[m/s] ..... 319.630

### **Strato 7: limo sabbioso**

h [m] ..... 6

z [m] ..... -31

Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1800

Poisson ..... 0.35

Vs [m/s] ..... 319.63

Vp [m/s] ..... 665.36

Vs min [m/s] ..... 159.82

Vs max [m/s] ..... 639.27

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] ..... 319.630

### **Strato 8: limo argilloso**

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1800

Poisson ..... 0.35

Vs [m/s] ..... 319.63

Vp [m/s] ..... 665.36

Vs min [m/s] ..... 159.82

Vs max [m/s] ..... 639.27

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] ..... 319.630

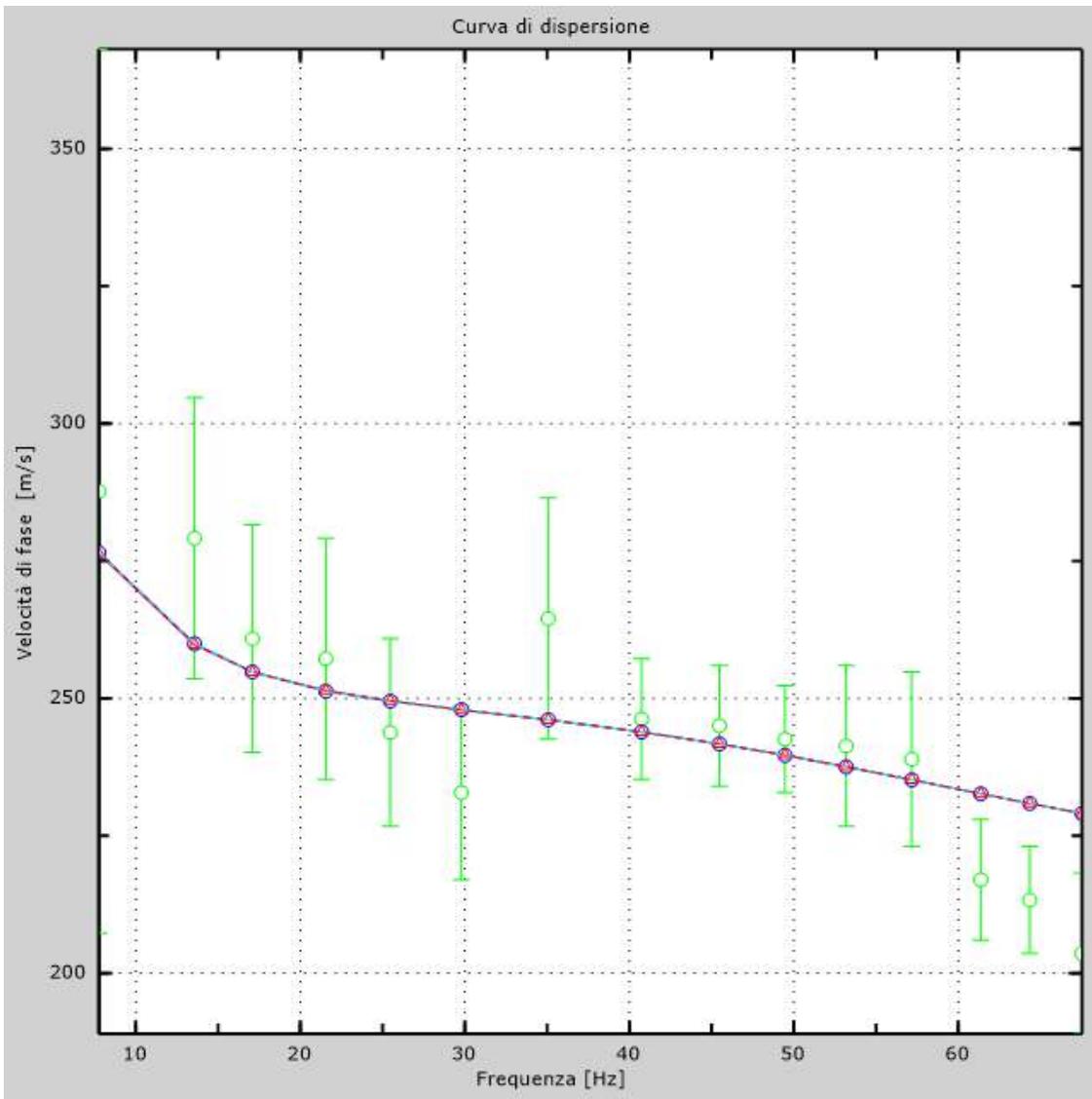


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

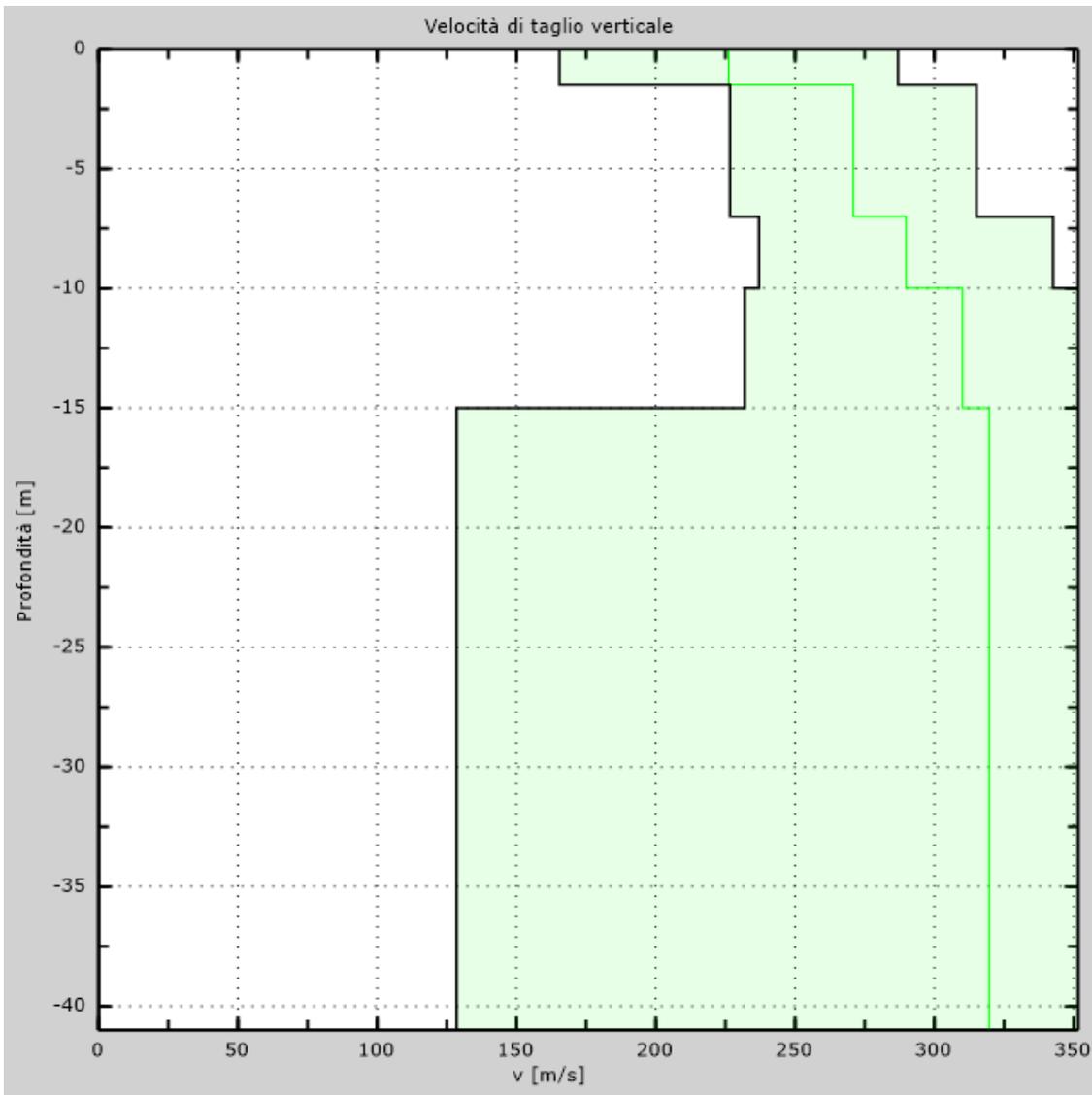


Figura 5: Profilo Vs numerico

## 5 - Risultati finali

Offset [m] ..... 0  
**Vs30 [m/s] ..... 298**  
**Tipo di suolo ..... C**