



# InG SOLUTION

## Ingegneria e Geologia

Via Venezia 77c/o Galleria Aringhieri 56038 Ponsacco PI  
[www.ingsolution.it](http://www.ingsolution.it) info@ingsolution.it

Ingegneria e Geologia

Ing. David Fiori  
 Ing. Fabio Fiorentini  
 Geol. Filippo Bendinelli

INDIRIZZATO A:

COMUNE DI FUCECCHIO



INTERVENTO:

PIANO DI RECUPERO "LE CASCINE"

PROGETTO DI PIANO ATTUATIVO – SCHEDA PROGETTO PA47

COORDINATE (WGS84)

N: 43.7427177

E: 10.8043566

**COMMITTENTE**

ABRASIVI BILLERI di Billeri R.E.L.,  
 Billeri Paolo e C. s.n.c.

**GEOLOGO**

**Geol. FILIPPO BENDINELLI**

Ordine Geologi della Toscana n.1745  
 Cell 340/4679882  
 Mail: [f.bendinelli@ingsolution.it](mailto:f.bendinelli@ingsolution.it)  
 P.IVA 02119060503

DESCRIZIONE ELABORATO

### RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Settore					Livello Prog.					Pratica	Ambito	Identificativo	Tav
Strutture	Acustica	Termica	Geologia	Altro	Fattibilità	preliminare	Definitivo	Esecutivo	As-Built				
			X				X			63-21	GEO	FATT	-

Rev	Data	Motivazione	Redatto	Approvato	Timbro e/o Firma
1	04/2021	Prima Emissione	F. Bendinelli	F. Bendinelli	

Questo documento è di proprietà esclusiva dell'autore . E' proibita la riproduzione anche parziale a terzi senza autorizzazione

## **INTRODUZIONE**

Su incarico della committenza si elabora la presente *Relazione di fattibilità geologica*, a supporto del Piano Attuativo di recupero del patrimonio edilizio attualmente in stato di abbandono, per consentire la nuova realizzazione di residenze ad uso civile abitazione.

L'area in studio ricade nel **Comune di Fucecchio (FI)** in **Via delle Colmate n.44**.

Gli interventi consentiti sono riportati in dettaglio nella Scheda di Progetto PA47 e riguardano il recupero del patrimonio edilizio esistente, da anni non utilizzato e in scadenti condizioni strutturali, per consentire la realizzazione di nuove residenze, attraverso la riprogettazione delle strutture esistenti.

Gli elaborati di progetto depositati illustreranno con dettaglio le caratteristiche degli interventi previsti; in prima approssimazione il progetto consisterà nella realizzazione di n.6 nuove villette mono/bifamiliari adibite a civile abitazione. Il Piano attuativo interessa un'area con superficie utile lorda di progetto di 662 m<sup>2</sup> (destinazione d'uso res. esistente 250 m<sup>2</sup>)

### **L'AREA DI INTERVENTO RICADE AL DI FUORI DI VINCOLI AMBIENTALI.**



Figura 1: Estratto CTR Toscana (scala 1:2.000 ) con indicata l'ubicazione dell'intervento in oggetto

Nei paragrafi seguenti saranno approfondite le considerazioni di ambito geologico-sismico-idrogeologico, che caratterizzano l'area in oggetto di piano.

Partendo dall'analisi degli studi geologici eseguiti, a supporto del Regolamento Urbanistico vigente (redatto ai sensi del vecchio regolamento 53/R/2011 ad oggi superato e sostituito dal 5/R del 30/01/2020), implementando l'analisi con gli elaborati del PGRA, elaborato dall'Autorità di Bacino distrettuale dell' Appennino Settentrionale, sono state approfondite le caratteristiche geologiche dell'area ed individuati gli elementi di pericolosità della zona di interesse.

Al fine di approfondire le conoscenze geologiche-litologiche dell'area è stata eseguita apposita campagna di indagini (APRILE 2021), ritenuta esaustiva per questa fase preliminare di analisi. La campagna di indagine sarà incrementata con ulteriori prove geognostiche, da eseguire in fase di progetto degli immobili, ai sensi della normativa vigente.

Gli approfondimenti di indagine eseguiti in questa fase hanno permesso di verificare la compatibilità geologica dell'intervento, in particolar modo il rispetto delle prescrizioni alla fattibilità contenute nella Scheda di Progetto (riportata in allegato).

## ***NORMATIVA DI RIFERIMENTO***

- DPGRT 9 luglio 2009, n. 36/R;
- DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R;
- L.R. 24 luglio 2018, n.41: "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua [...];
- D.M. 17 gennaio 2018 T.U.: "Aggiornamento - Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Autorità di Bacino del Fiume Arno: Del. 235 del C.I.I. del 3 marzo 2016 approvazione del "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni"
- P.S.e R.U. Comune di Fucecchio (FI).

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

In ambito geologico l'area di intervento ricade in area pianeggiante, ad una quota di 16.4 m s.l.m., ricadente nell'ambito della pinura alluvionale del Fiume Arno.

Nell'area di intervento affiorano sedimenti riconducibili alla formazione denominata "Depositi alluvionali recenti" databile all'Olocene.

Più precisamente si tratta di Depositi alluvionali prevalentemente argilloso limoso, costituiti quindi da sedimenti fini con limi e argille in rapporto variabile, e subordinatamente sabbie.

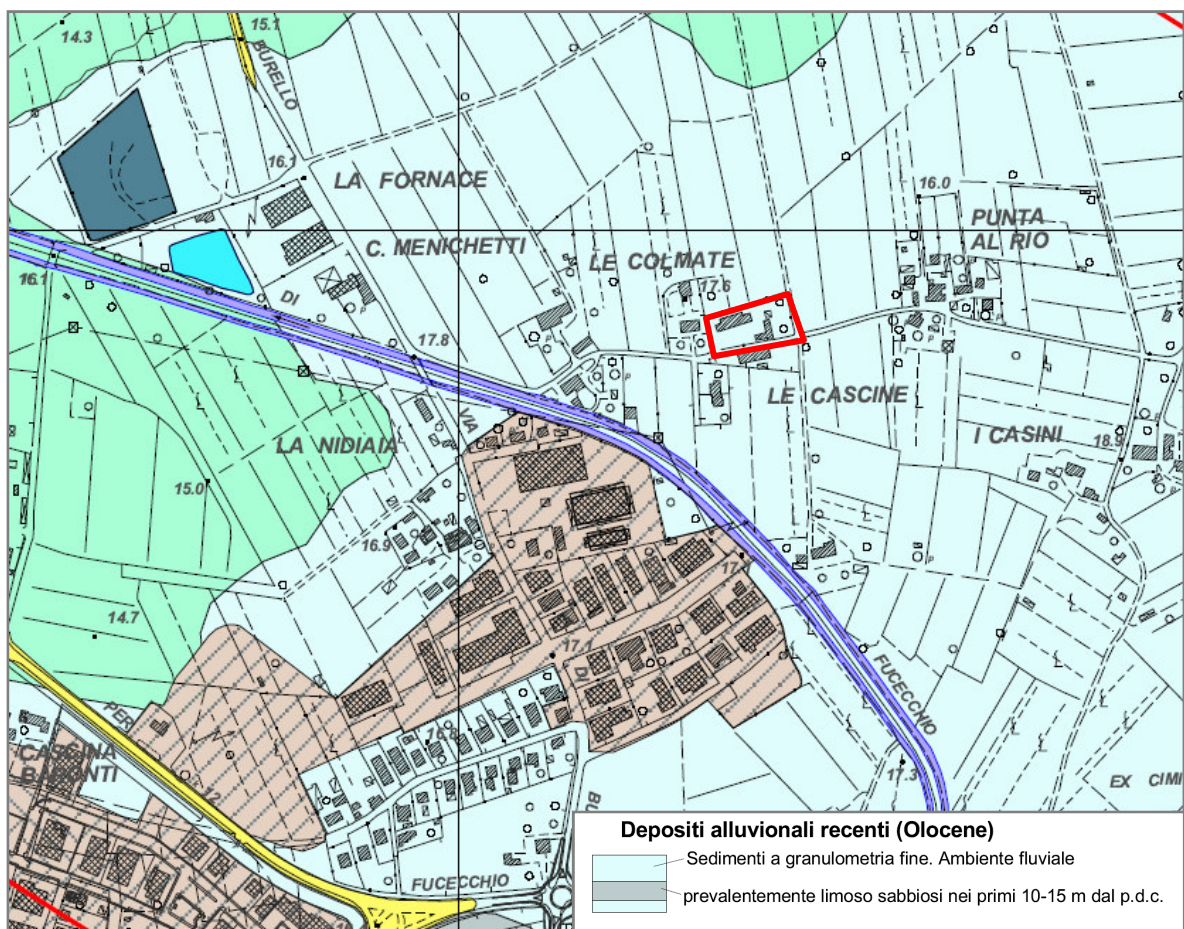


Figura 2: Estratto Carta Geologica di supporto al P.S. Comune di Fucecchio (FI)

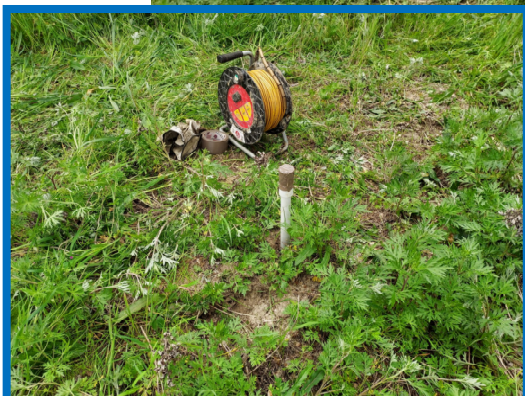
Le indagini geognostiche eseguite nel sito in esame hanno confermato la litologia superficiale prevista, e allo stesso tempo hanno incrementato le informazioni esistenti sull'andamento stratigrafico dell'area. Nel paragrafo descrittivo delle prove Penetrometriche Statiche (CPT) eseguite sarà illustrata a grandi linee la stratigrafia del sottosuolo esaminato.

In ambito geomorfologico l'area oggetto di intervento è dislocata su una porzione costantemente pianeggiante, con quota altimetrica mantenuta per tutta l'area.

Durante il sopralluogo effettuato non si sono registrati fenomeni morfologici in atto o quiescenti che possano influire sulla esecuzione dell'opere previste.

La porzione antistante al fabbricato principale attualmente esistente presenta uno spessore di materiale antropico (Ghiaia/ pietra pezzatura media ben pressata), legato con molta probabilità all'esecuzione di un piazzale carrabile antistante a tale struttura.

In ambito idrogeologico la presenza in superficie di terreni argilloso limoso con orizzonti sabbiosi, quest'ultimi spesso non in continuità laterale, ha favorito la formazione di una falda superficiale sfruttata da pozzi a sterro. Per approfondire le conoscenze sulla presenza di flada acquifera e sulla relativa quota, al termine della Prova Penetrometrica CPT2 è stato installato tubo piezometrico e misurata la falda nei giorni successivi alla posa in opera; in data 15/04/2021 la misura di falda, eseguita per mezzo di freatimetro, è stata intercettata a -1.40 m d.p.c.



## PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DELL'AREA

Per la valutazione della Pericolosità geologica e della fattibilità dell'intervento è stato fatto riferimento alle indagini, attualmente vigenti eseguite a supporto degli Strumenti Urbanistici del Comune di Fucecchio. Tali indagini di supporto allo strumento urbanistico fanno parte della Variante 1° al R.U. del Settembre 2017 redatta ai sensi del DPGRT 53/R del 2011.

Questi elaborati esprimono il diverso grado di pericolosità per il territorio in funzione delle caratteristiche litotecniche e geotecniche dei terreni, delle condizioni geomorfologiche, idrogeologiche e di sicurezza sismica e idraulica dell'area, delimitando le aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di eventi critici.

Attraverso le necessarie analisi ed approfondimenti tecnico scientifici vengono caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, producendo cartografie separate, che individuano gli scenari di pericolosità che caratterizzano il territorio comunale. Le limitazioni e le prescrizioni che derivano dalle diverse classi di pericolosità condizionano la fattibilità dei possibili interventi.

### PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

La Carta della Pericolosità Geomorfológica (Fig. 5) colloca l'area all'interno della **CLASSE G.2** corrispondente a **PERICOLOSITÀ GEOLOGICA MEDIA**.

Questa classe di pericolosità geomorfologica comprende *le aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto*



Figura 3: Estratto Carta della Pericolosità Geologica Comune di Fucecchio

Gli interventi in progetto non modificheranno negativamente le condizioni attuali geomorfologiche dell'area in oggetto.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Per individuare la classe di pericolosità Idraulica dell'area si è fatto riferimento alla Carta della Pericolosità Idraulica, redatta a supporto e ai sensi della PGRA, e alla omologa Carta di Pericolosità Idraulica presente nello Strumento Urbanistico comunale.

Secondo la cartografia del PGRA l'area ricade all'interno della classe di pericolosità **P.2.** corrispondente a **PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE MEDIA (alluvioni poco frequenti)**; questa classe corrisponde alle aree inondabili per eventiv con tempi di ritorno compresi tra i 30 ed i 200 anni.

Nella cartografia comunale, redatta ai sensi del DPGRT 53/R, l'area in esame ricade nella classe di pericolosità **I.3** corrispondente a **PERICOLOSITÀ IDRAULICA ELEVATA.**

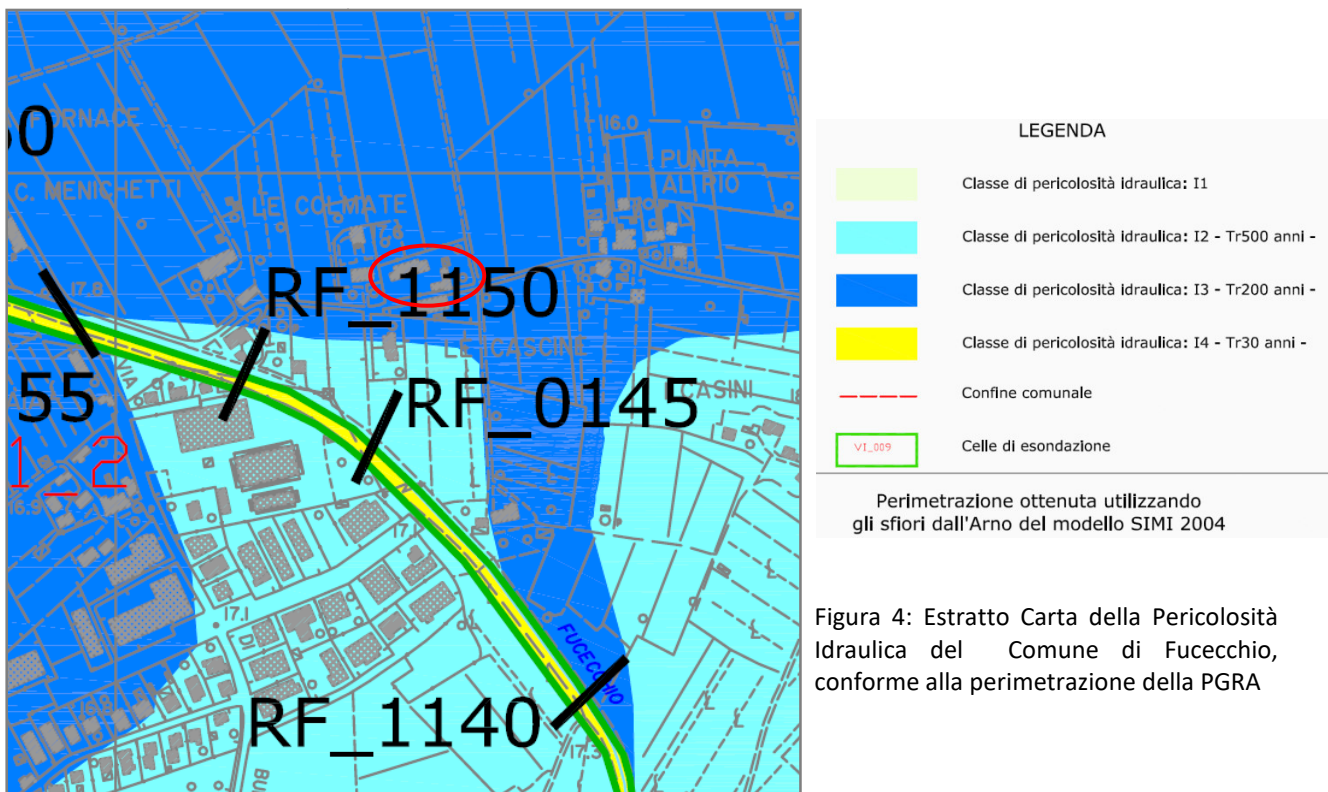


Figura 4: Estratto Carta della Pericolosità Idraulica del Comune di Fucecchio, conforme alla perimetrazione della PGRA

INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO AI SENSI DELLA L.R 24 luglio 2018, n. 41

Con l'entrata in vigore della Legge 41/2018 la Regione Toscana, al fine di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni, nonché al fine di mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

In tale circostanza, per quanto riguarda prettamente la gestione del rischio di alluvioni, individua una serie di azioni atte al raggiungimento di un livelli di rischio medio e comunque che non determinino aggravio delle condizioni di rischio in un'area.

L'area ricade all'interno della cella di riferimento del PAI VI\_017\_1 per la quale la quota del livello idrico per episodi di esondazione con  $Tr=200$  risulta pari a 16.13 m slm.

Seppur la quota di riferimento dell'area, esaminata nel dettaglio previa esecuzione di rilievo piano altimetrico (TAV. 2 a cui si rimanda), evidenzia una quota superiore a quanto precedentemente riportato (quota altimetrica media  $>16.30$  m slm), al fine di eseguire le opere in condizione di sicurezza dovrà essere aggiunto alla quota prevista dalla cella, un franco di sicurezza di + 50 cm che determinerà così la quota di riferimento per l'area a 16.63 m slm.

Detto questo i piani di calpestio dei fabbricati in progetto dovranno attenersi, data la quota media dell'area di 16.30m, ad una quota di 16.63 m slm ovvero circa +30cm (battente idraulico previsto) rispetto al piano campagna attuale.

I volumi di acqua sottratti alla naturale esondazione, calcolati per mezzo della superficie di ingombro dei nuovi fabbricati e per lo spessore, saranno compensati all'interno dell'area ribassando le aree verdi a giardino presenti così da determinare minor aggravio nell'intorno dell'area.

Più precisamente, come riportato nella tavola di riferimento elaborata allegata, i fabbricati di nuova costruzione comporteranno sottrazione di volume di inondazione pari a 130 mc, ottenuti dalla differenza tra l'imposta della quota attuale e la quota di sicurezza di 16.63 m slm (come da scheda di progetto PA47).

Essendo il terreno di sede in linea di massima più alto della quota alluvionale, pari a 16.13 m slm, abbassandolo con una giusta pendenza (vedi sez. tavola allegata) in direzione esterna verso le fosse campestri a lato proprietà, si ottengono volumi di compensazione di 190 mc, evitando problematiche idrauliche nell'area di intervento e nell'intorno.

L'area parcheggio si attesta ad una quota coincidente con la quota attuale (16.30 m slm), tale da non determinare né aggravio né sottrazione in ambito di compensazione idraulica.

Ai sensi di quanto previsto dalla normativa vigente (LR 41/2018) l'intervento previsto ricade nell'art. 12 comma 2.

Le indicazioni riportate si ritengono idonee per sostenere quanto previsto dall'articolo sopra citato.



PERICOLOSITÀ SISMICA

La Carta della Pericolosità Sismica (Fig. 5) colloca l'area all'interno della **CLASSE S.2** corrispondente a **PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE MEDIA**.

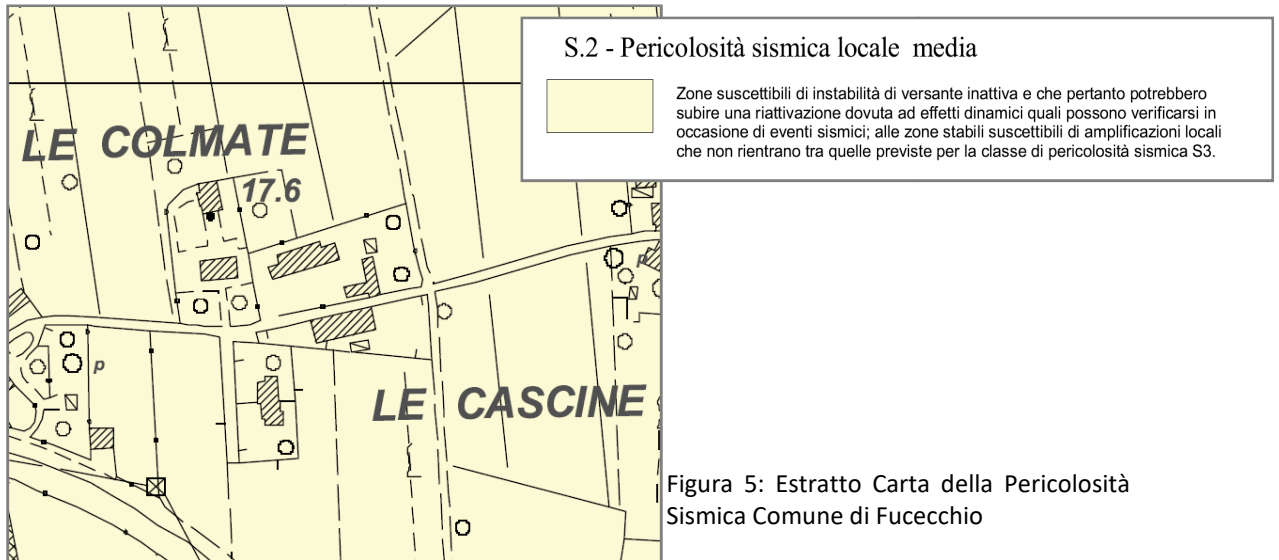


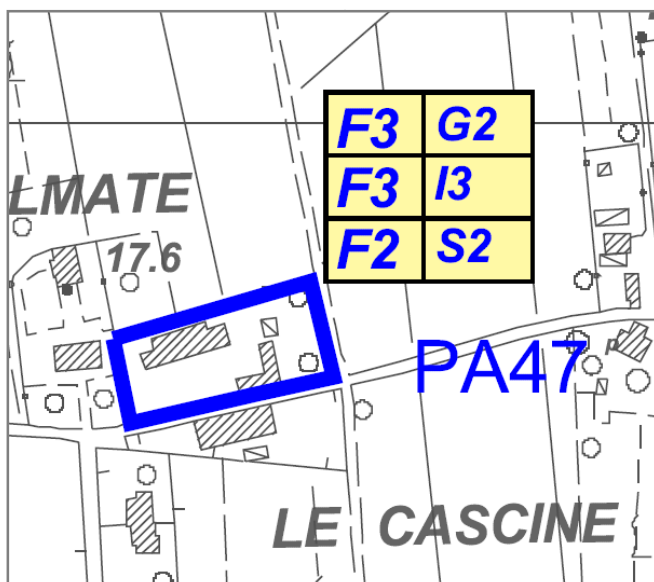
Figura 5: Estratto Carta della Pericolosità Sismica Comune di Fucecchio

L'area rientra tra le "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra i casi previsti per la classe di pericolosità S.3".

L'area di Piano Attuativo non rientra tra le zone suscettibili di instabilità per liquefazione e non soggetta a cedimenti differenziali. E' stata comunque eseguita verifica liquefazione.

FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO

Il Regolamento comunale contiene tra gli elaborati anche la Carta della Fattibilità, sviluppata ai sensi del 53/R. Di seguito si esamineranno singolarmente i vari aspetti legati alle condizioni alla trasformazione e relative fattibilità.



#### FATTIBILITÀ PER ASPETTI GEOLOGICI

La fattibilità geologica per gli interventi di trasformazione corrisponde alla Classe F3 – fattibilità geologica condizionata secondo il DPGRT 53/R.

La scheda di Progetto riportava che “le indagini geognostiche e geotecniche dovranno essere mirate ad una dettagliata caratterizzazione del sottosuolo, ed alla verifica della compressibilità dei terreni. Dovranno inoltre essere individuati spessori e variazioni laterali dei depositi alluvionali.

La campagna geognostica dovrà essere finalizzata anche alla caratterizzazione granulometrica dei terreni, al fine di acquisire tutti i dati utili alla ricostruzione della geometria dei litotipi con differente composizione ed alla eventuale esecuzione di verifiche alla liquefazione.”

Sulla base della tipologia di intervento in progetto, le indagini geognostiche e sismiche eseguite sono ritenute sufficienti per l’analisi di carattere litologico e sismico del sottosuolo. Tale indagini saranno implementate con nuove prove in situ, da predisporre in ambito di caratterizzazione di sottosuolo in fase di progetto esecutivo.

#### FATTIBILITÀ PER ASPETTI SISMICI

La fattibilità sismica per gli interventi di trasformazione corrisponde alla Classe S2 – fattibilità sismica con normali vincoli secondo il DPGRT 53/R.

La scheda di Progetto riportava che “misure tromometriche a disposizione, indicano che l'area è ubicata in una zona in cui i contrasti di impedenza sismica tendono ad attenuarsi, rispetto alle zone poste più a Nord, verso il Padule.

La campagna geofisica dovrà essere integrata da misure tromometriche al fine di valutare localmente l'entità delle amplificazioni attese, e gli effetti del contrasto di rigidità sismica sulle strutture in progetto.”

A tal proposito sono state eseguite prove sismiche di rifrazione onde P/SH e n.1 misurazione tromometrica per mezzo di prova HVSR.

Dalle analisi eseguite non si riscontrano picchi di frequenza di notevole entità e un valore di frequenza di 2hz, entrambi ottenuti dalla prova HVSR, ed un suolo di CATEGORIA C con  $V_s$  eq=350 m/s dalla indagine sismica onde P/SH e MASW.

La frequenza ottenuta sarà oggetto di approfondimento in fase di progetto, con esecuzione di nuova indagine HVSR; la prova eseguita in questa circostanza può essere stata influenzata da presenza di vento e rumore antropico.

#### FATTIBILITÀ PER ASPETTI IDRAULICI

La fattibilità idraulica per gli interventi di trasformazione corrisponde alla Classe F3 – fattibilità idraulica condizionata ai sensi del DGRT 53/R.

Le prescrizioni riguardano la messa in sicurezza idraulica dell'intervento ed il non aggravio del rischio nelle zone al contorno.

Il progetto in esame prevede la messa in sicurezza idraulica tramite la realizzazione di piani di calpestio rialzati di almeno 30 cm (battente idraulico atteso per l'area) rispetto allo stato attuale in modo da raggiungere la quota di sicurezza di 16.63 m slm. (Cella VI\_017\_1 Tr= 200 anni quota 16,13 mslm + 0,50 m di franco di sicurezza)

I volumi di acqua sottratti alla naturale esondazione, calcolati per mezzo della superficie di ingombro dei nuovi fabbricati e per lo spessore, saranno compensati all'interno dell'area ribassando le aree verdi a giardino presenti così da determinare minor aggravio nell'intorno dell'area.

Le depressioni morfologiche così create saranno direzionate verso rete idrografica già esistente (fossette campestri a confine con la proprietà) così da consentire il deflusso evitando così di arrecare danni ad infrastrutture presenti nell'intorno.

# ***Modellazione Sismica***

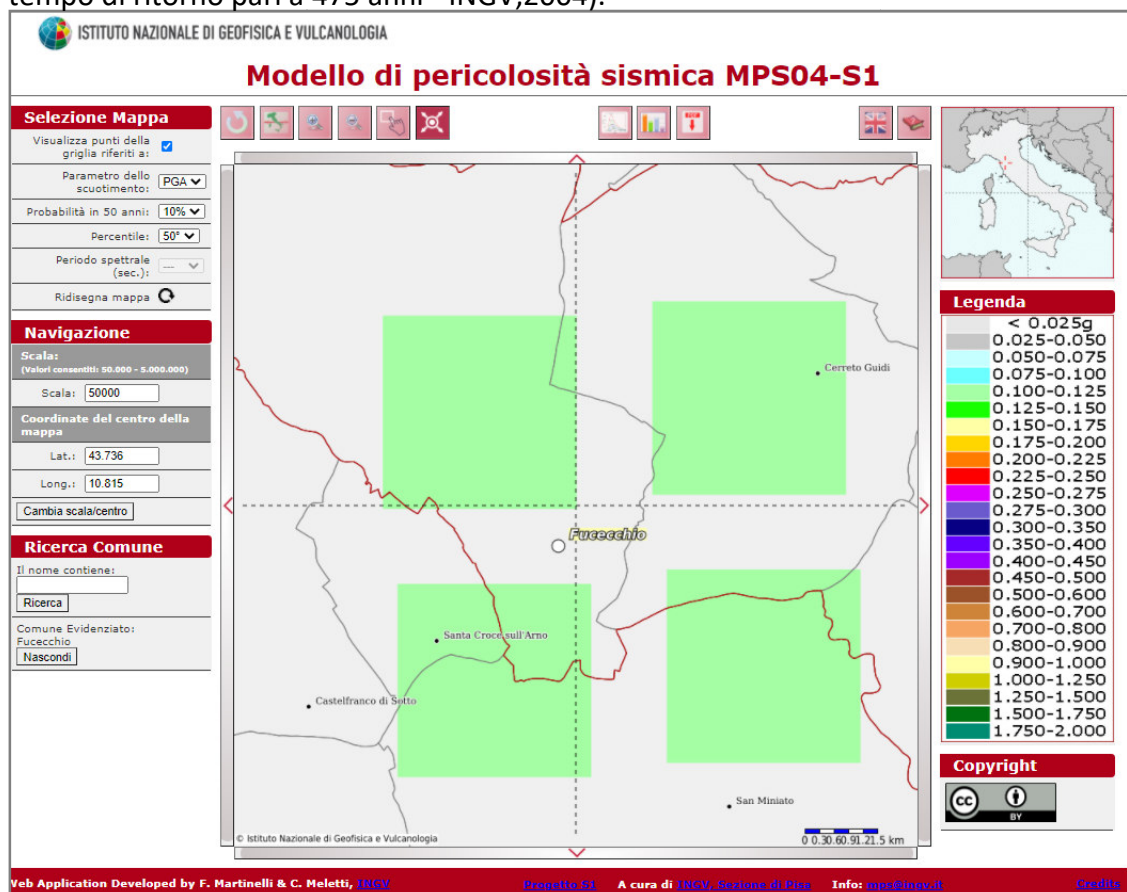
Con l'entrata in vigore del *D.M.14/01/2008* e aggiornamenti successivi (**NTC18**), di seguito nominato NTC, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente". In pratica non si progetta stimando l'azione sismica a partire dalla zona, ma calcolandola ad hoc per il sito in progetto.

## CLASSE DI SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE e STIMA DELLA PSB

### CLASSE DI SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE

Con l'Ordinanza del P.C.M. N° 3.519 del 28/04/06 e la Delibera di G.R.T. n° 431 del 19/06/06 sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A livello di mappatura macrosismica, l'intero territorio nazionale viene considerato sismico e suddiviso in quattro zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco "ag" su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità), derivante da studi macrosismici e sismotettonici a carattere nazionale.

Il *Comune di Fucecchio* rientra ai sensi della DGRT 421/2014 all'interno della **zona sismica 3**. La Mappa di Pericolosità sismica (MPS) riferita alla Toscana (mappa mediana al 50° percentile) colloca il *Comune di Fucecchio* tra le zone caratterizzate da valori di accelerazione sismica compresi tra 0.100 e 0.125 g (i valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni - INGV,2004).



### *PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE (PSB)*

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (**ag**) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale. Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica". Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR(30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A**:

**ag**= accelerazione orizzontale massima;

**F<sub>0</sub>**= valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**TC\*** = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

**ag**, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

**F<sub>0</sub>** e **TC\*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti dalla tabella, contenuta nell'**Allegato B**, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche.

## SITO OGGETTO DELL'INDAGINE

LATITUDINE (WGS84)	LONGITUDINE (WGS84)	CLASSE USO	VITA NOMINALE
43,7427177	10,8043566	2	50

## SITI DI RIFERIMENTO

	LATITUDINE(ED 50)	LONGITUDINE(ED 50)	DISTANZA
<b>Sito 1 ID: 20052</b>	43,753810	10,790690	1629,66
<b>Sito 2 ID: 20053</b>	43,755370	10,859850	4566,66
<b>Sito 3 ID: 20275</b>	43,705400	10,862010	6232,74
<b>Sito 4 ID: 20274</b>	43,703830	10,792950	4541,56

	PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO	Tr anni	ag	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> * (s)
<b>(SLO) OPERATIVITÀ</b>	81%	30	<b>0,043g</b>	2,557	0,242
<b>(SLD) DANNO</b>	63%	50	<b>0,053g</b>	2,575	0,255
<b>(SLV) SALVAGUARDIA DELLA VITA</b>	10%	475	<b>0,122g</b>	2,451	0,288
<b>(SLC) PREVENZIONE DAL COLLASSO</b>	5%	975	<b>0,158g</b>	2,393	0,293

dove:

Tr = periodo di ritorno dell'azione sismica, espresso in anni

 a<sub>g</sub> = accelerazione orizzontale massima attesa al sito. Il valore di a<sub>g</sub> è dipendente dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la costruzione

 F<sub>o</sub> = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale. Il valore di F<sub>o</sub> è dipendente dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la costruzione

**STIMA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE***INDAGINI PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO*

Alla classificazione del suolo di fondazione si è giunti attraverso la realizzazione di una prospezione sismica MASW (MultichannelAnalysis of SurfaceWaves) e con Prospezione sismica Tomografica in Onde P e Sh.

La MASW è un metodo geofisico che permette di ottenere un modello verticale delle onde di taglio ( $V_s$ ) a partire dallo studio della modalità di propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love). Trattasi di onde la cui propagazione interessa un limitato spessore a partire dalla superficie terrestre a causa del decadimento esponenziale della loro ampiezza con la profondità.

Il metodo MASW si basa sul fenomeno della dispersione della velocità, ovvero della separazione di un'onda sismica in più componenti di diversa lunghezza d'onda con propria ampiezza e fase e velocità di propagazione che dipende dalle caratteristiche del mezzo attraversato. A causa della dispersione, le componenti a corta lunghezza d'onda (alta frequenza) hanno velocità che dipendono dalle caratteristiche delle porzioni più superficiali del mezzo attraversato mentre le componenti a grande lunghezza d'onda (bassa frequenza) si propagano con velocità che sono funzione anche delle caratteristiche dei livelli più profondi. Nello specifico, la velocità delle onde di superficie tipo Rayleigh dipende in misura dominante dalla  $V_s$  e dagli spessori dei terreni presenti in un dato sito mentre nel caso delle onde tipo Love l'unico fattore di controllo è rappresentato dalla  $V_s$ . Grazie a questo fenomeno, un opportuno processo di calcolo che utilizzi l'analisi della dispersione della velocità delle onde superficiali può consentire di ricavare informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità ed, in particolare, della  $V_s$ .

Nella tabella che segue è riportata la ricostruzione sismo stratigrafica del sottosuolo (profilo verticale della  $V_s$ )

<b>Profondità da p.c(m)</b>	<b>Spessore(m)</b>	<b>Velocità onde Sh(m/s)</b>
0.0 – 1.5	1.5	150
1.5 – 7.5	6.0	190
7.5 – 12.50	5.0	220
12.50 – 19.50	7.0	300
19.50 – 29.50	10.0	350
30.0 - .....	$\infty$	400



La Prospezione sismica Tomografica in onde P e Sh rappresenta un valido supporto sia per la ricostruzione delle geometrie sepolte sia per la caratterizzazione del sottosuolo. Il metodo utilizza il comportamento di alcune onde acustiche che si propagano nei corpi solidi, il cui moto si fonda sulla teoria dell'elasticità. Le onde, generate artificialmente, sono prodotte tramite un martello percussore, massa battente o tramite esplosivo. La prospezione può essere eseguita energizzando onde compressionali ("Tipo P") o onde di taglio ("Tipo Sh") secondo la finalità dell'indagine e delle caratteristiche geologiche-idrogeologiche locali.

Questo metodo sismico è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un altro potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo e sulla geometria di acquisizione. Osservando le variazioni di pendenza di questa curva siamo in grado, attraverso metodi analitici, di calcolare la velocità di propagazione delle onde sismiche dei mezzi attraversati e il loro spessore.

Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive interazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati prosegue con la fase d'inversione tomografica detta "wet", che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente si opera una fase di "imaging", ottenendo l'immagine della sezione tomografica.

La velocità delle onde sismiche nel sottosuolo interessa ampi limiti; per lo stesso tipo di roccia la velocità diminuisce all'aumentare del grado di alterazione, fratturazione e/o fessurazione, dall'altro lato aumenta con l'aumentare della profondità e con l'età geologica del deposito.

La velocità delle onde compressionali, a differenza di quelle trasversali che non si propagano nell'acqua, è influenzata dalla presenza di acqua e di conseguenza dal grado di

saturazione del deposito in esame. Quest'aspetto comporta che litotipi differenti possano avere stesa velocità delle onde compressionali, per cui non necessariamente l'interpretazione corrisponderà alla reale situazione geologico-stratigrafica.



L'indagine eseguita presenta uno stendimento di lunghezza pari a 72 m e le condizioni locali hanno permesso di ricostruire la successione sismo-stratigrafica dei primi metri di sottosuolo.

Relativamente all'elaborazione eseguite, si evidenzia una sostanziale omogeneità per entrambi gli stendi menti, permettendo di ipotizzare per l'area in esame una sismo stratigrafia piano-parallela.

Nello specifico le tomografie sismiche in onde P/SH hanno messo in evidenza un primo sismo strato a bassa velocità (spessore fino a 3-4m) con  $V_p$  media di circa 650 m/s e  $V_s$  media di circa 160 m/s; a seguire si intercetta un secondo sismo-strato fino a circa 13m di profondità caratterizzato da una  $V_p$  media di circa 1500 m/s e  $V_s$  media di circa 250 m/s. Infine, fino alla profondità massima di indagine (circa 15 m), si ha un terzo sismo strato caratterizzato da una  $V_p$  maggiore 2000 m/s e  $V_s$  maggiore di 300 m/s.

Nell'area è stata eseguita anche prova HVSR con tempo di acquisizione 30 minuti, che non ha riportato picchi di frequenza di interesse e frequenza di 2hz.



La classificazione dei terreni è stata effettuata mediante la stima dei valori della Velocità Media delle Onde Sismiche di Taglio, “Vs”

Alla classificazione sismica del sottosuolo si è giunti attraverso la stima della Velocità Media delle Onde Sismiche di Taglio “ $V_{seq}$ ”. In questo particolare contesto geologico alla classificazione all’interno delle “*Categorie del Suolo di Fondazione*” ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 T.U.: “*Aggiornamento - Norme Tecniche per le Costruzioni*”, è stata effettuata attraverso una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio sul piano orizzontale, nei primi 30m di profondità. La “ $V_{seq}$ ”; viene stimata mediante la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con  
hi = spessore dello stato i-esimo;  
Vs,i = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;  
N = numero di strati;  
H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec.

Dall’elaborazione della prospezione sismica di riferimento si ottiene un

$$V_{seq} = 350 \text{ m/sec}$$

il che permette di inserire il terreno di fondazione all’interno del “**profilo stratigrafico C**”.

*Tale categoria corrisponde a Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec*

#### COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA “T”

L’intervento ricade su una superficie con pendenze  $i < 15^\circ$  e che pertanto ricade all’interno della categoria topografica **T1**.

## PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale **Se (0)** consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Per il sito di intervento è stato considerato:

- Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5%
- Fattore di Alterazione dello Spettro Elastico: 1,000
- Categoria di Sottosuolo: C
- Categoria Topografica: T1

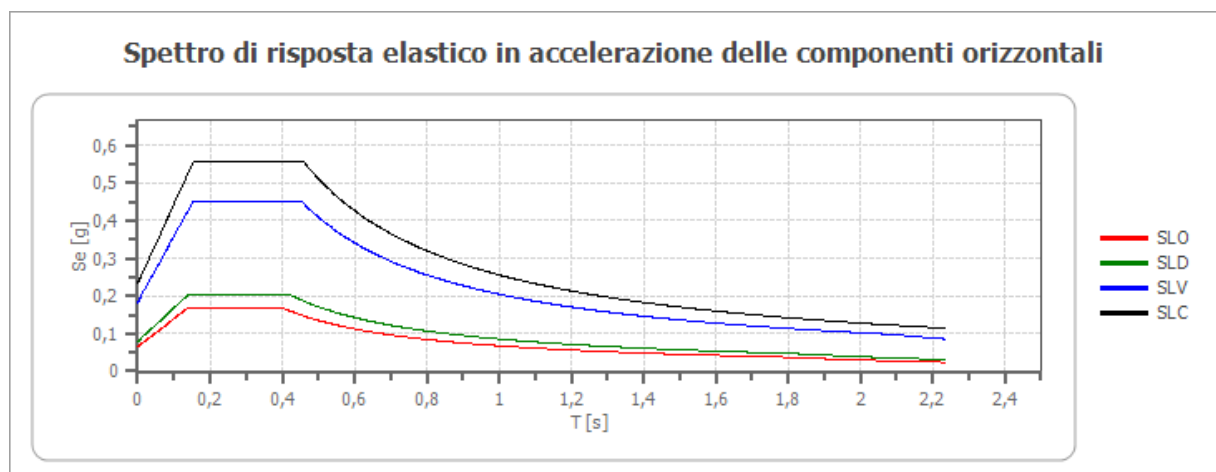
COEFFICIENTI SISMICI STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI:

COEFFICIENTI	SLO	SLD	SLV	SLC
KH	0,013	0,016	0,044	0,056
KV	0,006	0,008	0,022	0,028
AMAX (M/S <sup>2</sup> )	0,636	0,775	1,795	2,275
BETA	0,200	0,200	0,240	0,240

PARAMETRI SISMICI DI SITO

CAT. SOTTOSUOLO	CAT. TOPOGRAFICA	PERIODO RIFERIMENTO	COEFFICIENTE CU
C	T1	50 anni	1

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI



COEFFICIENTI SISMICI DI SITO

	cu	ag	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se (0)	Se(TB)
<b>SLO</b>	1,0	0,043	0,242	1,500	1,680	1,000	1,500	1	0,136	0,407	1,773	<b>0,065</b>	0,166
<b>SLD</b>	1,0	0,053	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1	0,140	0,420	1,811	<b>0,079</b>	0,204
<b>SLV</b>	1,0	0,122	0,288	1,500	1,580	1,000	1,500	1	0,152	0,456	2,088	<b>0,183</b>	0,449
<b>SLC</b>	1,0	0,158	0,293	1,470	1,570	1,000	1,470	1	0,153	0,460	2,231	<b>0,232</b>	0,555

## **VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni. Le NTC recitano che *“La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze”*:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda (in genere vanno considerati livelli con spessore superiore a 3 m), occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

E' inoltre importante, al di là dei risultati della verifica, valutare le conseguenze della eventuale liquefazione degli strati sabbiosi, tenendo sempre presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere uno spessore maggiore di 3 m oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale

non soggetto a liquefazione e più sottile di 3 m.

La valutazione della Magnitudo attesa è stata effettuata secondo quanto proposto dagli *“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Gruppo di lavoro MS 2008”* dove viene indicato il metodo che si basa, a partire sempre dalla zonazione sismogenetica, sulle coppie di valori *“Magnitudo media - distanza M-R”* caratteristici di ogni sito desunti dai dati di disaggregazione della pericolosità sismica (vedi dati Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di lavoro, 2004 e INGV Spallarossa e Barani, 2007), i quali ci permettono di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito per determinati tempi di ritorno. L'uso di tale metodica ci viene indicato anche dal Responsabile P.O. – Valutazione effetti locali in zona sismica - Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana.

Procedendo alla verifica di liquefazione dei terreni di fondazione è stato utilizzato il metodo di *Robertson e Wride* a partire dalle prove in situ (CPT2); per queste sono state assunte ipotetiche le seguenti caratteristiche:

- magnitudo attesa  $M_{max}$  5,91 (ZS9 – n° 921);
- livello piezometrico della falda: a -1,40 m dal p.c. (misurato);
- profilo stratigrafico: come indicato nel modello geologico.

Adottando il metodo della *“Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1998)”* è stato possibile verificare che i terreni di fondazione risultano non liquefacibili (N.L.) come evidenziato dalla tabella di analisi dei dati per lo spessore considerato (15.0 metri).

Il rischio di liquefazione secondo Iwasaki et al (1978) risulta essere **Molto Basso**.

# ***Modellazione Litologica***

## **PIANO DELLE INDAGINI**

Per determinare lo stato di consistenza dei terreni interessati dalle strutture di fondazione dell'opera in progetto, viste le sue dimensioni e la sua tipologia, è stata eseguita una campagna geognostica preliminare nel mese di Aprile 2021. Tale campagna indagini sarà sicuramente integrata in fase di progetto esecutivo.

Durante la campagna sono state eseguite:

- n.2 Prove Penetrometriche Statiche (**CPT 1 CPT 2**) con profondità di perforazione raggiunta rispettivamente di -12.00m d.p.c. (raggiunto rifiuto strumentale) e -15.00 m d.p.c .



Nell'immagine soprastante sono riportate le ubicazione delle indagini geognostiche, descritte nel presente paragrafo; per completezza sono state riportate anche le ubicazioni delle indagini sismiche eseguite, a completamento della campagna di indagini programmata.

### **PROVA PENETROMETRICA STATICA (CPT)**

Alla ricostruzione stratigrafica ed alla caratterizzazione geotecnica dei litotipi presenti nel sottosuolo si è giunti mediante la realizzazione di n.2 Prove penetrometriche statiche (CPT), eseguite con Penetrometro Pagani TG63 da 200KN equipaggiato con punta Begemann, spinta fino alla profondità massima di 15 m d.p.c.(escluso la CPT1 dove è stata raggiunta la quota di -12.0 m d.p.c. causa disancoramento del penetrometro e raggiungimento di rifiuto strumentale).

La prova CPT consiste nel far avanzare ad intervalli regolari di 20 cm una batteria di aste; nei primi 4 cm si legge la Resistenza di Punta, nei successivi 4 cm la Resistenza di Punta più



quella Laterale, negli ultimi 12 cm non si effettua nessuna lettura e si torna in posizione di partenza.

Il certificato della prova è riportato in allegato.

### MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

I dati acquisiti nel corso del rilevamento geologico di superficie e quelli derivanti dalle prove penetrometriche statiche consentono di risalire alla successione stratigrafica del sottosuolo riportata di seguito.

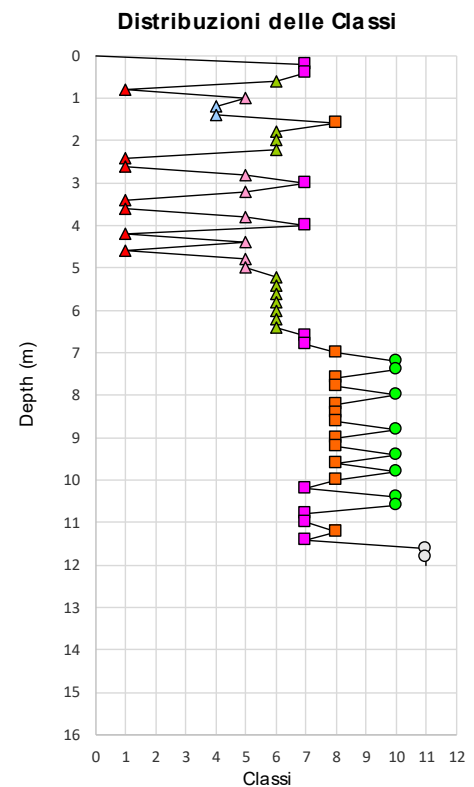
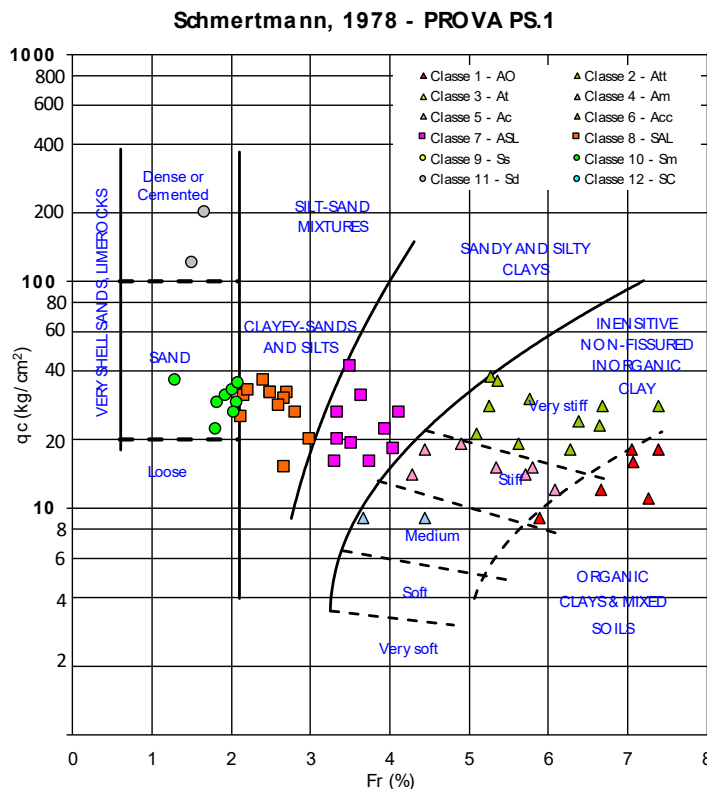
#### CPT 1

##### Unità Litotecnica A – Argilla media consistenza con livelli centimetri di argilla organica

Quota: tra 0.0 m e -7.0 m d.p.c.

##### Unità Litotecnica B – Sabbia limosa a media/bassa consistenza

Quota: tra 7.0 m e -12.0 m d.p.c.



Litologia	n. punti	%	Litologia	n. punti	%
Classe 1 - AO - Argilla organica e terreni misti	7	11.86	Classe 7 - ASL - Argilla sabbiosa e limosa	10	16.95
Classe 2 - At - Argilla (inorganica) molto tenera	0	0.00	Classe 8 - SAL - Sabbia e limo/sabbia e limo argilloso	12	20.34
Classe 3 - At - Argilla (inorganica) tenera	0	0.00	Classe 9 - Ss - Sabbia sciolta	0	0.00
Classe 4 - Am - Argilla (inorganica) di media consistenza	2	3.39	Classe 10 - Sm - Sabbia mediamente addensata	8	13.56
Classe 5 - Ac - Argilla (inorganica) consistente	7	11.86	Classe 11 - Sd - Sabbia densa o cementata	2	3.39
Classe 6 - Acc - Argilla (inorganica) molto consistente	11	18.64	Classe 12 - SC - Sabbia con molti fossili	0	0.00

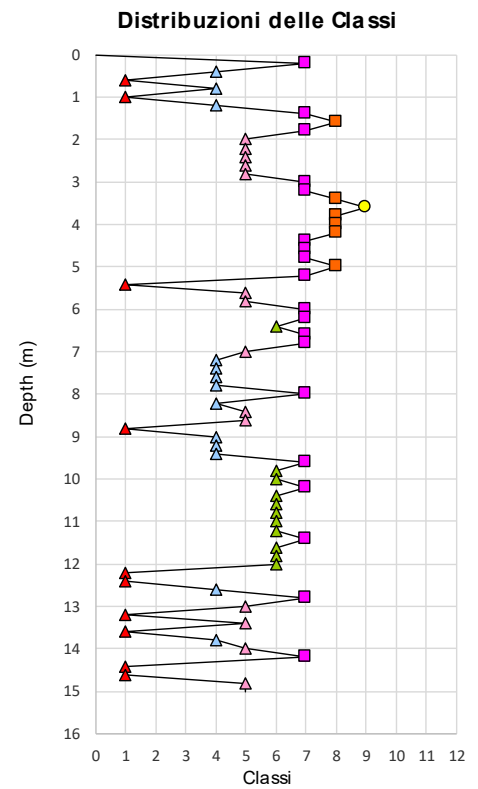
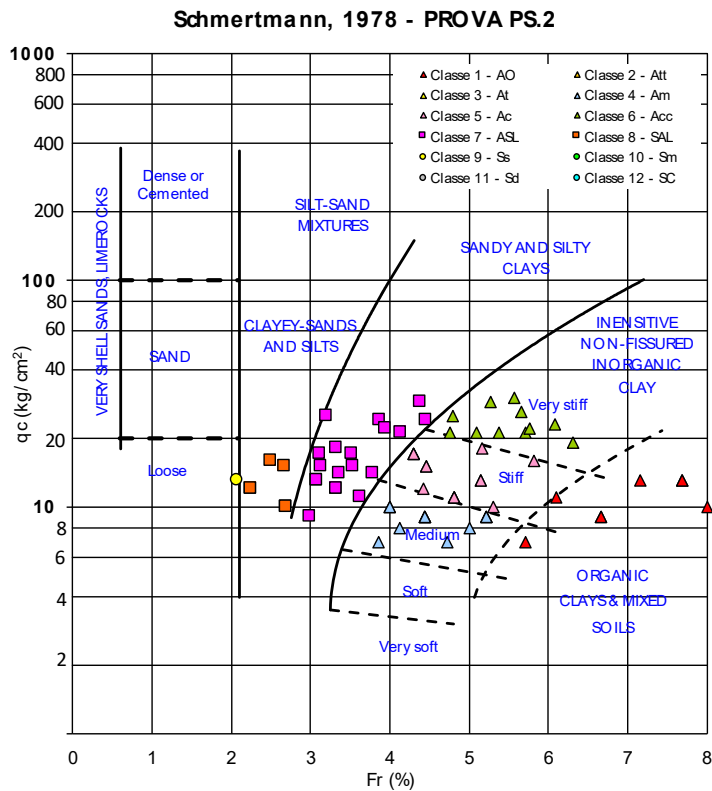
**CPT 2**

**Unità Litotecnica B – Sabbia limosa a media/bassa consistenza**

Quota: tra 0.0 m e -5.6 m d.p.c.

**Unità Litotecnica A – Argilla media consistenza con livelli centimetri di argilla organica**

Quota: tra -5.6 m e -15.0 m d.p.c.



Litologia	n. punti	%	Litologia	n. punti	%
Classe 1 - AO - Argilla organica e terreni misti	10	13.51	Classe 7 - ASL - Argilla sabbiosa e limosa	19	25.68
Classe 2 - Att - Argilla (inorganica) molto tenera	0	0.00	Classe 8 - SAL - Sabbia e limo/sabbia e limo argilloso	6	8.11
Classe 3 - At - Argilla (inorganica) tenera	0	0.00	Classe 9 - Ss - Sabbia sciolta	1	1.35
Classe 4 - Am - Argilla (inorganica) di media consistenza	13	17.57	Classe 10 - Sm - Sabbia mediamente addensata	0	0.00
Classe 5 - Ac - Argilla (inorganica) consistente	14	18.92	Classe 11 - Sd - Sabbia densa o cementata	0	0.00
Classe 6 - Acc - Argilla (inorganica) molto consistente	11	14.86	Classe 12 - SC - Sabbia con molti fossili	0	0.00

## CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini effettuate non si rilevano problematiche di natura geologica che possano ostacolare l'attuazione del Piano di Recupero in progetto. L'intervento non costituisce elemento che possa modificare negativamente la stabilità geologica delle aree all'intorno.

Le prescrizioni riportate pongono l'intervento in progetto in condizioni di sicurezza idraulica e non alterano le condizioni di pericolosità al contorno.

In ambito di predisposizione del progetto edilizio dovranno essere implementate indagini geognostiche di sito, sviluppate per la caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno ai sensi del D.M 17 gennaio 2018 (NTC) e conformemente alle prescrizioni del DPGRT 36/R del 2009.

In base ai risultati ottenuti in tale sede di studio, nei limiti di quanto esposto nella presente relazione, si ritiene che il Piano Attuativo in oggetto è compatibile con il contesto geologico nel quale si inserisce.

***Ponsacco, 16/04/2021***

**Dr. Geol. Filippo Bendinelli**

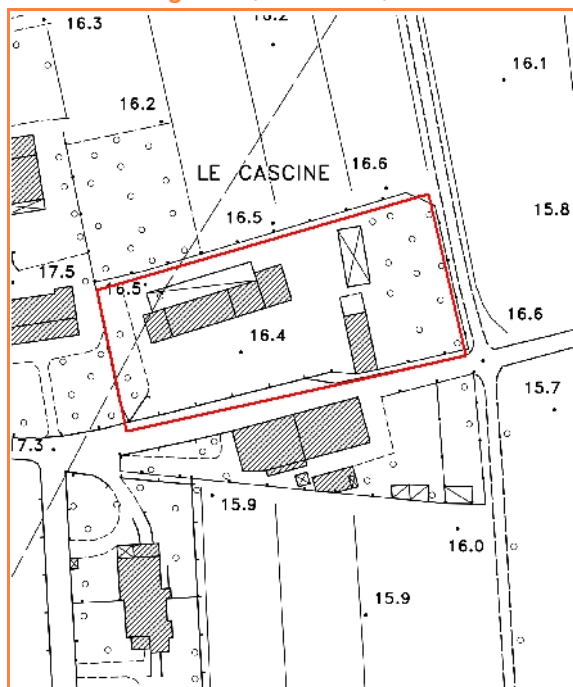
*Ordine dei Geologi della Toscana n° 1745*

***Sono parte integrante della relazione i seguenti elaborati:***

Scheda Progetto PA47; Report Prove Penetrometriche statiche CPT eseguite ex novo; Report Prove sismica a rifrazione P/SH e MASW eseguite ex novo; Report Prova HVSR eseguita ex novo; Report di calcolo verifica liquefazione; Tavola e sezioni idrauliche.

# *ALLEGATI*

**Estratto cartografico (scala 1:2000):**



**Estratto ortofoto 2009 (scala 1:2000):**



**Ubicazione:**

<b>Via delle Colmate Fucecchio</b>
<b>UTOE :</b> UTOE 6 - Botteghe
<b>Inv. Strutturali:</b> art. 3 PTCP. Beni di pregio storico architettonico testimoniale esterno ai sistemi
<b>RUC:</b> BE -Interventi di recupero a prevalente destinazione residenziale soggetti a Piano Attuativo

**Fattibilità e pericolosità:**

	Pericolosità PAI	Pericolosità 53/R	Fattibilità
<b>Geologica</b>		G2	F3
<b>Idraulica</b>		I3	F3
<b>Sismica</b>		S2	F2

**Obiettivi:**

Recuperare il patrimonio non utilizzato per la realizzazione di residenze, attraverso la riprogettazione della struttura esistente, riorganizzando l'area con una forma più attenta al contesto.

**Dimensionamento e destinazioni d'uso ammesse:**

Sup.territ.(St)	Esistente	Progetto	Opere di urbanizzazione primaria e secondaria:		
			Parcheggi pubblici	Verde attrezzato	Strade
Sup.fond.(Sf)		3750			
Sup.ut.lorda(Sul)		3520	227		
Dest.d'uso: residenziale	250	662	Attrezzature di interesse comune:		
produttivo			Istruzione:		
comm/direz.	/	/	Edilizia residenziale con finalità sociali :		
Rapp.cop. (Rc)/Sup.cop.(Sc)	/	350			
Altezza massima (Hmax)		7			
Numero dei piani (Np)		2			
Num.all. (Na)/ Abitanti		4 / 10			

**Disposizioni e modalità di attuazione:**

Piano di Recupero di iniziativa privata approvato con Delibera di C.C. n.42 del 19/09/2007 (P.E. n.169/06), conteggiato nella quota PRE-RUC e confermato nella sua interezza. L'intervento di trasformazione è soggetto alla sottoscrizione della convenzione. Nelle more di attivazione del Piano di Recupero non è ammessa alcuna trasformazione ad eccezione di quelle rientranti nella definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria strettamente finalizzate ad evitare pericoli di crollo o comunque di grave deterioramento delle unità edilizie interessate ovvero ad assicurare i requisiti minimi di agibilità.



**Specifiche fattibilità:**

**Fattibilità geologica condizionata F3**

L'area è ubicata all'interno dei depositi alluvionali attuali, poco a Sud dei depositi palustri del Padule di Fucecchio. Considerando la possibile presenza di terreni dalle scadenti caratteristiche geotecniche (richiamata anche dal toponimo "le colmate"), le indagini geognostiche e geotecniche dovranno essere mirate ad una dettagliata caratterizzazione del sottosuolo, ed alla verifica della compressibilità dei terreni. Dovranno inoltre essere individuati spessori e variazioni laterali dei depositi alluvionali.

La campagna geognostica dovrà essere finalizzata anche alla caratterizzazione granulometrica dei terreni, al fine di acquisire tutti i dati utili alla ricostruzione della geometria dei litotipi con differente composizione ed alla eventuale esecuzione di verifiche alla liquefazione.

**Fattibilità sismica con normali vincoli F2**

Le misure tromometriche a disposizione, indicano che l'area è ubicata in una zona in cui i contrasti di impedenza sismica tendono ad attenuarsi, rispetto alle zone poste più a Nord, verso il Padule.

La campagna geofisica dovrà essere integrata da misure tromometriche al fine di valutare localmente l'entità delle amplificazioni attese, e gli effetti del contrasto di rigidità sismica sulle strutture in progetto.

**Fattibilità idraulica condizionata F3**

L'area è ricompresa nella classe di pericolosità I3.

Gli interventi previsti, dovranno essere realizzati in condizioni di sicurezza ad una quota non inferiore a 16,63 mslm, valore comprensivo di 50 cm di franco sul livello duecentennale (Cella di riferimento VI\_017\_1; Tr200 16,13 mslm), tenendo comunque conto della necessità di non determinare aggravii di pericolosità nelle aree al contorno.

Ai sensi della lettera c) del punto 3.2.2.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. 53-R/2011 la compensazione è richiesta solo per i volumi sottratti alla naturale esondazione per eventi con Tr fino a 200 anni.

La compensazione di tali volumi, sarà possibile sia all'interno dell'area, che in aree immediatamente adiacenti, verificando l'efficienza dei sistemi di compensazione sulla base della morfologia modificata dai rilevati in progetto (strade, parcheggi ecc.) e della dinamica delle acque di esondazione provenienti dal Rio di Fucecchio (sezione di uscita RF\_1140).

Relativamente al reticolo idraulico minore, se ne dovrà assicurare il corretto funzionamento anche in seguito agli interventi in progetto. Nelle tavole progettuali dovrà essere dettagliato il sistema di scolo delle acque meteoriche allo stato attuale ed in quello di progetto e le eventuali modifiche apportate dovranno perseguire il miglioramento del deflusso delle acque e l'eliminazione di eventuali situazioni di fragilità.



**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE**  
**Relazione Tecnica**

**COMMITTENTE:** InG SOLUTION - Ingegneria e Geologia

**OGGETTO:** "INDAGINI GEOGNOSTICHE (PROVE PENETROMETRICHE) E GEOFISICHE (TOMOGRFIA SISMICA) PROPEDEUTICHE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA/PROGETTAZIONE"

**CANTIERE:** Via delle Colmate - Fucecchio (FI)



**RAPPORTO RELATIVO ALLA CAMPAGNA D'INDAGINE**  
**ESEGUITA MERCOLEDI' 7 APRILE 2021**

**BIERREGI s.r.l.**  
IL RESPONSABILE TECNICO  
Dott. Geol. *Francesco Rossi*

## **INDICE**

1. - Premessa.....	2
2. - Prove penetrometriche .....	2
3. - Tomografia Sismica (Onde P-SH) .....	3
3.1 - Sistema di acquisizione .....	5
3.2 - Configurazione e risultati della prospezione sismica .....	6
4. - Conclusioni.....	8

## **FIGURE**

Fig. 1 : COROGRAFIA (CTR Regione Toscana - Foglio 274060)

Fig. 2 : UBICAZIONE DELLE INDAGINI (CTR Regione Toscana - Foglio 18H22)

## **ALLEGATI**

All. A : ELABORAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE (CPTm)

All. B : ELABORATI STESA SISMICA - ONDE P

All. C : ELABORATI STESA SISMICA - ONDE SH



## 1. - Premessa

Per incarico ricevuto dalla **InG SOLUTION - Ingegneria e Geologia** e su richiesta del *Geol. Filippo Bendinelli*, sono state eseguite indagini geognostiche e geofisiche relative al progetto *“INDAGINI GEOGNOSTICHE (PROVE PENETROMETRICHE) E GEOFISICHE (TOMOGRFIA SISMICA) PROPEDEUTICHE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA/PROGETTAZIONE”*. Nell’area oggetto di studio, ubicata in delle Colmate a Fucecchio (FI), sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 2 Prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm);
- n° 1 Stesa sismica con onde P/SH (Tomografia sismica).

L’area e la relativa ubicazione delle indagini sono riportate rispettivamente in figura 1 (*Corografia*) e in figura 2 (*Ubicazione delle indagini*).

## 2. - Prove penetrometriche

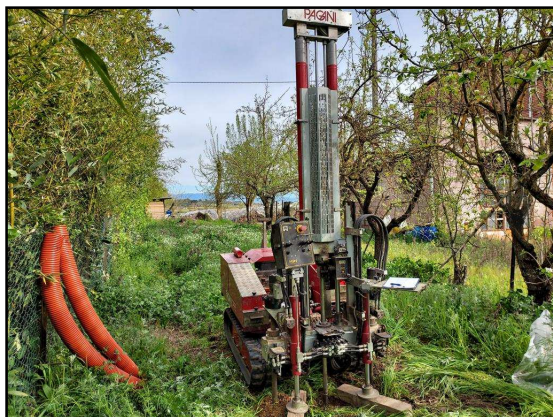
Le prove penetrometriche sono state effettuate mediante un Penetrometro statico/dinamico modello Pagani TG-63/200 da 20 tonn di spinta, con maglio di 63,5 Kg.

La prova di tipo statico con punta meccanica di tipo Begemann (CPTm), consente di rilevare, mediante una centralina elettronica, i valori della Resistenza di punta (qc) e della Resistenza laterale locale (fs). Dal valore dei parametri qc e fs è possibile ricavare il "Rapporto Begemann" (qc/fs), con il quale è possibile risalire alla granulometria dei terreni attraversati e ai principali parametri geomeccanici del terreno; in particolare il valore dell'angolo di attrito ( $\phi$ ), per gli orizzonti prevalentemente incoerenti (limi, sabbie e ghiaie), quello della coesione non drenata (Cu), per gli orizzonti prevalentemente coerenti (torbe, argille) e il coefficiente di compressibilità volumetrica (mv), inverso del modulo edometrico (Mo), che consente la valutazione dei cedimenti indotti dalla presenza di sovraccarichi. A seguire si riporta una tabella di sintesi delle specifiche tecniche delle prove eseguite:

Prova n°	Data di esecuzione	Certificato	Profondità (m)	Falda (m)	Coordinate Gauss-Boaga	
					X	Y
PS.1	07/04/21	CPT-054/2021	12,00	-	1645274,9423	4844878,1061
PS.2	07/04/21	CPT-055/2021	15,00	1,52	1645351,6041	4844896,0461

I dati rilevati in campagna, sono stati elaborati con l’ausilio del programma *“Fondazio”* versione 6.3.4 della OCX del Dr. Geol. Diego Merlin.

Per consentire il monitoraggio della falda, il perforo della prova PS.2 è stato attrezzato con tubo piezometrico ( $\varnothing$  25 mm) fino alla profondità di 9,00 metri. In data di esecuzione della prova la falda è risultata livellare alla profondità di -1,52 metri dal piano campagna.



Postazione Prova PS.1



Postazione Prova PS.1



Postazione Prova PS.2



Completamento (Piezometro) Prova PS.2

Per le caratteristiche tecniche del penetrometro utilizzato e la visione dei tabulati e diagrammi delle prove eseguite si rimanda al relativo allegato (All.A).

### 3. - Tomografia Sismica (Onde P-SH)

Tra le prospezioni di tipo indiretto la sismica a rifrazione rappresenta ad oggi un valido supporto sia per la ricostruzione delle geometrie sepolte sia per la caratterizzazione del sottosuolo. Le onde, generate artificialmente dall'operatore, vengono prodotte tramite martello percussore, massa battente o tramite esplosivo. La prospezione può essere eseguita energizzando onde compressionali (tipo "P") o onde

di taglio (tipo “SH”) a seconda delle finalità dell’indagine e delle caratteristiche geologiche/idrogeologiche locali.

L’apparecchiatura necessaria per eseguire le prospezioni è composta da una serie di ricevitori (geofoni - *receivers*) che vengono disposti e spazati sul terreno lungo un determinato allineamento (stesa sismica - *sismic array*) e da un sismografo che registra l’istante d’inizio della perturbazione elastica generata dall’operatore e i tempi di arrivo delle onde a ciascun ricevitore. In questo modo stabilendo i tempi di primo arrivo, siamo in grado di ricostruire per ogni punto sorgente una curva tempo-distanza (dromocrona - *travel time*).

La velocità delle onde sismiche nel suolo è compresa tra ampi limiti; per lo stesso tipo di roccia la velocità infatti diminuisce all’aumentare del grado di alterazione, fratturazione e/o fessurazione, dall’altro lato aumenta con l’aumentare della profondità e con l’età geologica del deposito.

Le velocità delle onde compressionali (P), a differenza di quelle trasversali (SH) dove la velocità dipende esclusivamente dallo scheletro solido, è influenzata dalla presenza di acqua e di conseguenza dal grado di saturazione del deposito in esame. Questo aspetto, nel caso delle onde P, comporta che litotipi differenti (nel caso di terreno saturo) possano avere stessa velocità delle onde compressionali, per cui non necessariamente l’interpretazione corrisponderà alla reale situazione geologico-stratigrafica.

Per elaborazione tomografica si intende la ricostruzione della distribuzione di un parametro (in questo caso la velocità delle onde di compressione) che caratterizza un mezzo (il terreno) attraversato da una funzione dipendente dal parametro scelto per l’analisi (onda sismica). La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l’errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta. Tale metodo ha un alto potere risolutivo e offre la possibilità all’operatore di individuare anomalie e discontinuità nel terreno anche complesse.

Viene utilizzato un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull’assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l’errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all’interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle

utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shots effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shots per mantenere costante il dettaglio. Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità. Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare.

I dati acquisiti in campagna e registrati sul pc (formato *.sgy/sg2*) vengono poi processati in studio tramite il programma di elaborazione **WINSISM v.16.1.40** con i quali si svolgono le operazioni di picking dei primi arrivi di ciascuna traccia. Il processing dei dati è stato eseguito con il software Rayfract v. 3.19, (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.). Una volta stabilito il picking (definizione dei primi arrivi) il processing dei dati prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 9) l'immagine della sezione tomografica.

### *3.1 - Sistema di acquisizione*

Per l'acquisizione è stato utilizzato un sismografo a 48 canali ECHO 24-48/2012 dell'AMBROGEO di Piacenza, collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Echo2012, avente le seguenti caratteristiche principali:

- Numero di canali: 48+1
- Gain: 0 dB – 72 dB (step 6 dB);
- Distorsion: 0,0004%;
- A/D conversion: 24 bit;
- Sampling interval: 32,64,128,256,480,960  $\mu$ s;
- Noise: 0,25 $\mu$ s, 2ms 36dB;

Per la stesa sismica a rifrazione, l'attrezzatura è completata da due cavi sismici a 12 takes out spazati a 3,0 m, con connettori cannon a cui sono stati attaccati 24 geofoni verticali, con frequenza propria di 4,5Hz per la ricezione delle onde P e a seguire 24 geofoni orizzontali, con frequenza propria sempre di 4.5Hz, per la ricezione delle onde SH.

Come sorgente energizzante delle onde P è stata utilizzata una massa battente (mazza da 10 Kg) su una piastra in duralluminio, mentre per le onde SH è stata utilizzata una traversina in polietilene sovraccaricata con Penetrometro Pagani TG63-200kN e sollecitata trasversalmente da ambo i lati con mazza da 8 Kg.

Tutte le registrazioni SH sono state realizzate con metodo CROSS-OVER utilizzando la funzione sommatrice e inversione di polarità appartenete al sismografo AMBROGEO. In questo modo, facendo la differenza fra uno stesso numero di battute a destra e a sinistra con polarità invertita, è esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH ed eventualmente eliminato l'arrivo delle onde P spurie.

I segnali acquisiti in campagna sono stati poi comunque filtrati in fase di elaborazione, considerato l'elevato rumore antropico, mediante utilizzo di filtri in frequenza. In allegato vengono presentati i sismogrammi "grezzi" acquisiti in campagna.

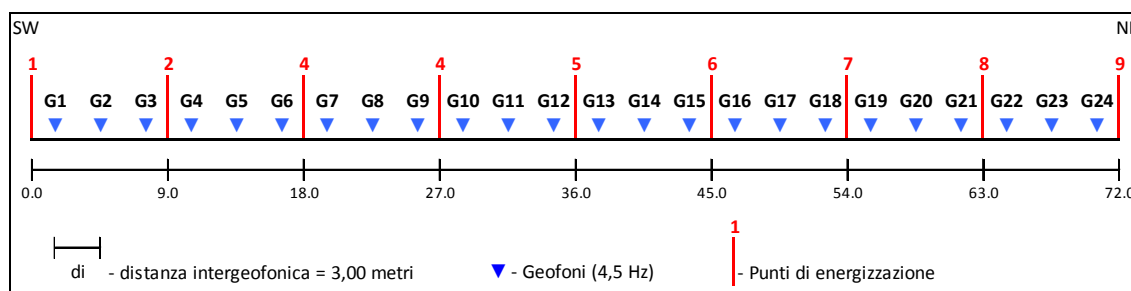
### 3.2 - Configurazione e risultati della prospezione sismica

Come accennato in premessa, nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del cantiere, è stata eseguita n.1 stesa sismica a rifrazione con onde P/SH. A seguire si riporta una tabella riassuntiva della tomografia eseguita:

ID STESA	TIPO	CANALI (n°)	LUNGHEZZA (m)	SPARI (n°)	D.I. (m)
STP070421A	Onde P	24	72	9	3,00
STSH070421	Onde SH	24	72	9	3,00

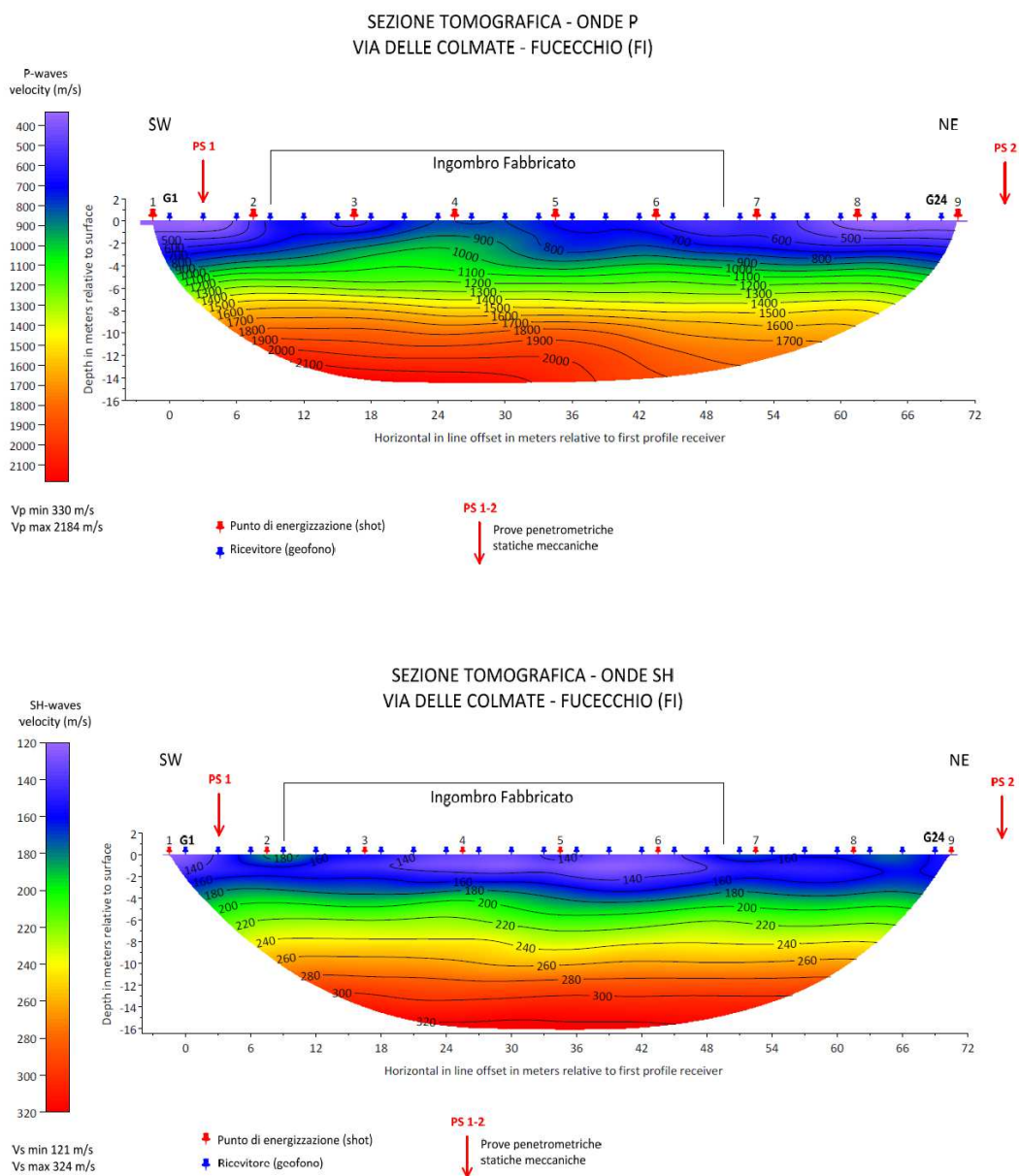
**NOTE:** D.I. - Distanza intergeofonica

La configurazione della stesa è riportata nello schema a seguire:



Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 3,00 metri (lunghezza stesa 72 metri). L'azimuth della stesa (riferito al G1 in senso orario) è N 120° (SW-NE). Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi per un tempo totale di acquisizione pari a 1 s (per un totale di 7800 campioni).

Relativamente all'elaborazioni prodotte, si evidenzia una sostanziale omogeneità per entrambi gli stendimenti, lasciando ipotizzare per l'area in esame un sismostratigrafia piano-parallela.



Nello specifico, le tomografie sismiche in onde P e SH, hanno messo in evidenza un primo sismo-strato a bassa velocità (fino a circa 3-4 metri) con  $V_p$  media di circa 650 m/s e  $V_s$  media di circa 160 m/s; a seguire si riscontra un secondo sismo-strato fino a circa 12-13 metri caratterizzato da una  $V_p$  media di circa 1500 m/s e  $V_s$  media di circa 250 m/s. Oltre, fino alla profondità massima di indagine (circa 14-15 metri), si ha un terzo sismostrato caratterizzato da una  $V_p$  maggiore 2000 m/s e  $V_s$  maggiore di 300 m/s.

Inoltre, nella zona centrale, è possibile apprezzare l'effetto del terreno di riporto.



Stesa sismica Onde P/SH (Lato SW)



Stesa sismica Onde P/SH (Lato NE)

Per una visualizzazione numerica completa delle caratteristiche della prospezione eseguita si rimanda ai relativi allegati (All. B-C).

#### 4. - Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti sul campo e le elaborazioni eseguite, è stato possibile evidenziare quanto segue:

Le prove penetrometriche hanno permesso di ricavare i parametri geomeccanici del terreno investigato.

Inoltre, hanno permesso di ricavare indirettamente la stratigrafia del terreno. Infatti, utilizzando i grafici di Schmertmann (1978) e di Searle (1979), è possibile ottenere una valutazione sul tipo di terreno dal punto di vista litologico. Questi grafici si basano sull'utilizzo di una punta meccanica (Begemann) e mettono in relazione i valori di  $q_c$  (resistenza alla punta espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ) e di  $F_r$  (rapporto tra attrito laterale  $f_s$  e resistenza alla punta  $q_c$ , espresso in percentuale), in modo tale da avere indicazioni sulla natura litologica dei terreni (Figg. a-b-c):

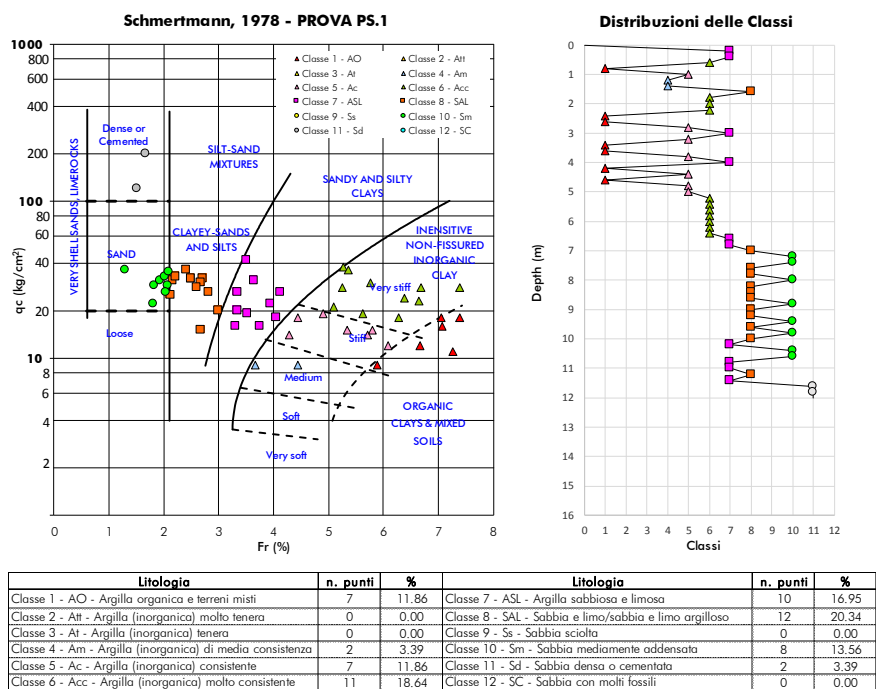


Figura a: Prova statica PS.1 - Natura litologica (Schmertmann 1978)

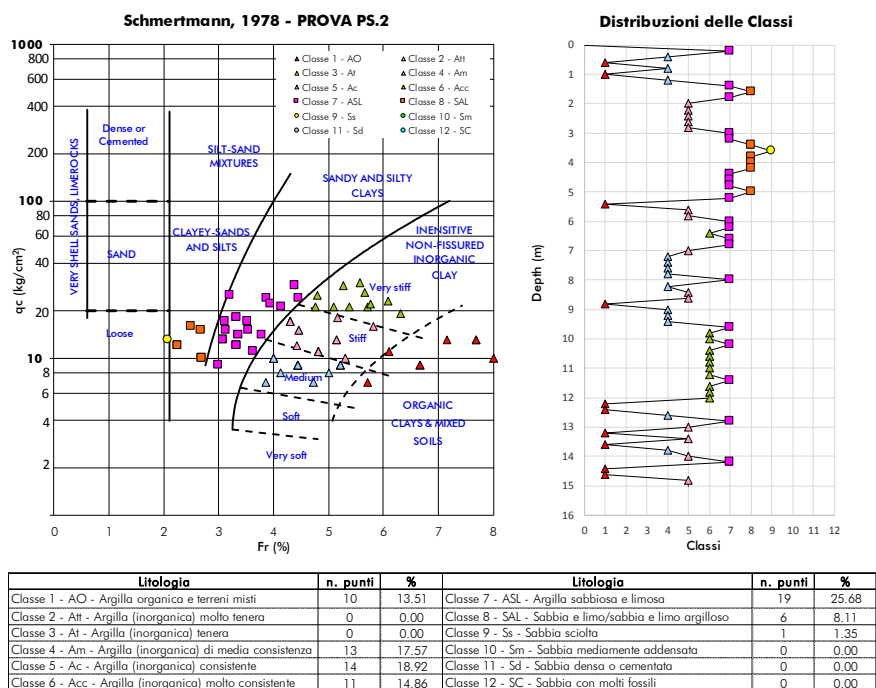


Figura b: Prova statica PS.2 - Natura litologica (Schmertmann 1978)



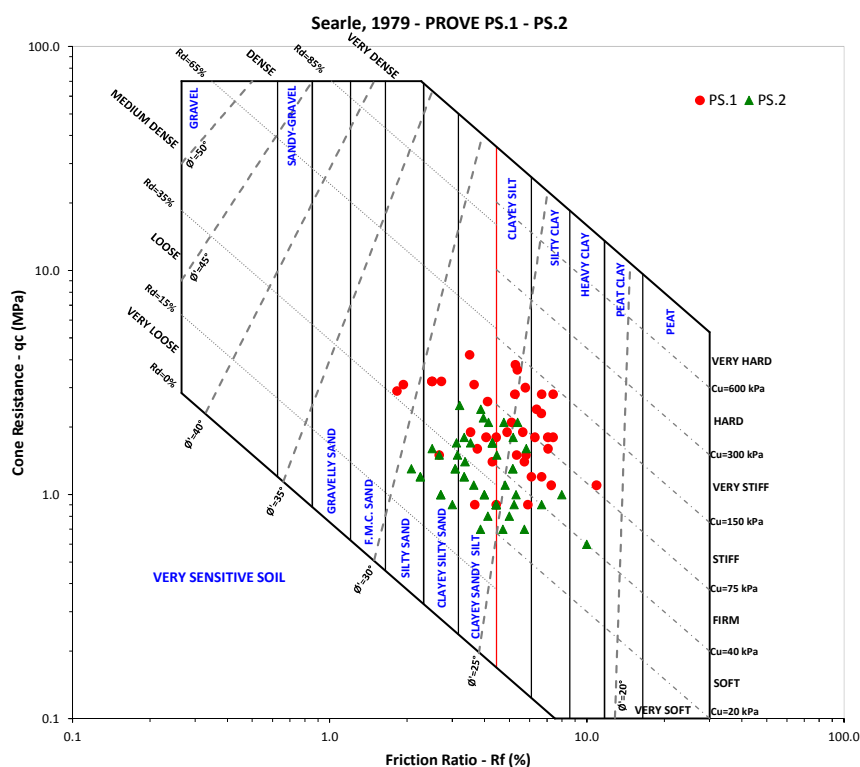


Figura c: Prove statiche PS.1 e PS.2 - Natura litologica (Searle 1979)

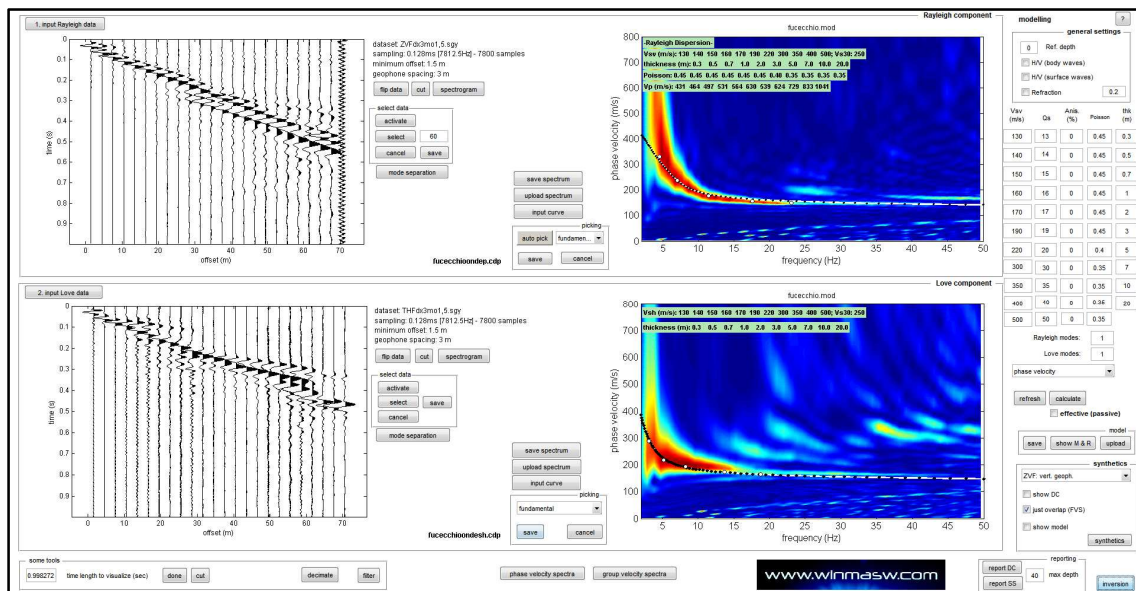
La stessa sismica a rifrazione in onde P/SH ha caratterizzato i terreni da un punto di vista sismico, ampliando la profondità d'indagine ed ha permesso di ricostruire l'assetto dei sismostrati individuati, evidenziando per l'area oggetto di studio una geometria sepolta abbastanza regolare (piano-parallela).

Considerata la limitata profondità d'indagine della prospezione sismica in onde P-SH, per poter fornire il dato della Vs,eq, si è ritenuto opportuno effettuare un'analisi congiunta della dispersione delle onde superficiali (MASW - rayleigh/love).

Infatti, la finestra temporale di acquisizione pari ad un secondo e l'utilizzo di geofoni verticali/orizzontali con frequenza propria a 4,5 Hz consente di analizzare la dispersione dei dati sismici acquisiti per gli spari n.1 e n.9 sia per le onde P (rayleigh) che per le onde SH (Love).

Il software qui utilizzato per il processing dei dati sismici acquisiti in campagna è WinMASW 7.0 ver. Academy, che consente di ricavare il profilo verticale delle Vs. Tale

risultato viene ottenuto tramite l'inversione congiunta delle curve di dispersione delle Onde di Rayleigh e delle Onde di Love:



Analisi congiunta delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e Love.

Dall'analisi effettuata si è ottenuto il seguente modello di sottosuolo:

layer	Vs (m/s)	thickness (m)
1	130	0.3000
2	140	0.5000
3	150	0.7000
4	160	1
5	170	2
6	190	3
7	220	5
8	300	7
9	350	10
10	400	20
11	500	0

La valutazione dell'azione sismica di progetto va definita, secondo il DM 17.01.2018 (NTC18), attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2. Il delle norme, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione (3.2.1 delle NTC18):

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- $h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

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

Nel nostro caso il bedrock sismico ( $V_S > 800$  m/s) non è stato riscontrato entro i primi 30 metri e quindi il calcolo della  $V_{S,eq}$  è definito dal parametro  $V_{S,30}$ . Dall'analisi MASW congiunta Rayleigh/Love effettuata per il sito d'interesse, sono stati individuati i vari sismostrati e le relative velocità  $V_S$  riportati nella tabella sottostante:

MASW FUCECCHIO (Rayleigh-Love)	Profondità		Spessore ( $h_i$ ) (metri)	Velocità ( $V_{S,i}$ ) (m/s)	$h_i/V_{S,i}$ (-)
	da (m)	a (m)			
Sismostrato 1	0.00	0.30	0.30	130	0.0023
Sismostrato 2	0.30	0.80	0.50	140	0.0036
Sismostrato 3	0.80	1.50	0.70	150	0.0047
Sismostrato 4	1.50	2.50	1.00	160	0.0063
Sismostrato 5	2.50	4.50	2.00	170	0.0118
Sismostrato 6	4.50	7.50	3.00	190	0.0158
Sismostrato 7	7.50	12.50	5.00	220	0.0227
Sismostrato 8	12.50	19.50	7.00	300	0.0233
Sismostrato 9	19.50	29.50	10.00	350	0.0286
Sismostrato 10	29.50	30.00	0.50	400	0.0013

$H = 30$  metri

$\sum h_i/V_{S,i} = 0.1202$

$V_{S,eq} = V_{S,30} = 30/0.1202 = 350$  m/s

**Categoria di Sottosuolo C**  
(a partire dal piano campagna)

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine 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".

L'analisi specifica dei dati elaborati rimane comunque a carico del "geologo/ingegnere" responsabile delle indagini; le considerazioni sopra esposte in merito all'elaborazione delle prove penetrometriche (parametri geomeccanici e suddivisioni) e alla "categoria di suolo", si devono intendere come mera interpretazione dei risultati ottenuti.

Per ulteriori dettagli sulle indagini svolte si rimanda ai relativi allegati (All.A - B - C).

*Lucca, Aprile 2021*

**BIERREGI srl**

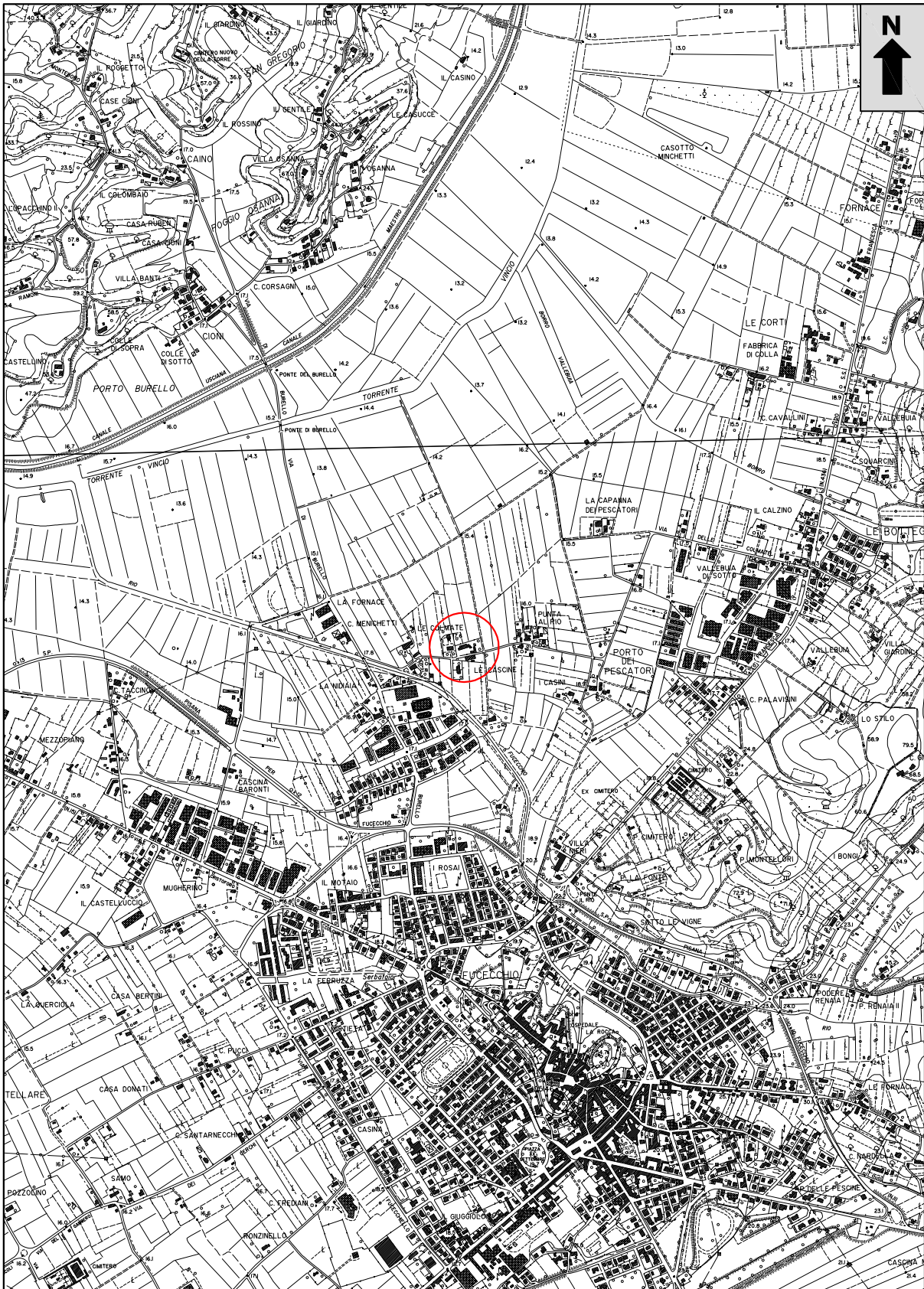
*Il Responsabile Tecnico  
Dott. Geol. Francesco Rossi*

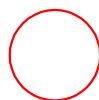
**BIERREGI s.r.l.**  
IL RESPONSABILE TECNICO  
*Dott. Geol. Francesco Rossi*



# FIG.1 - COROGRAFIA

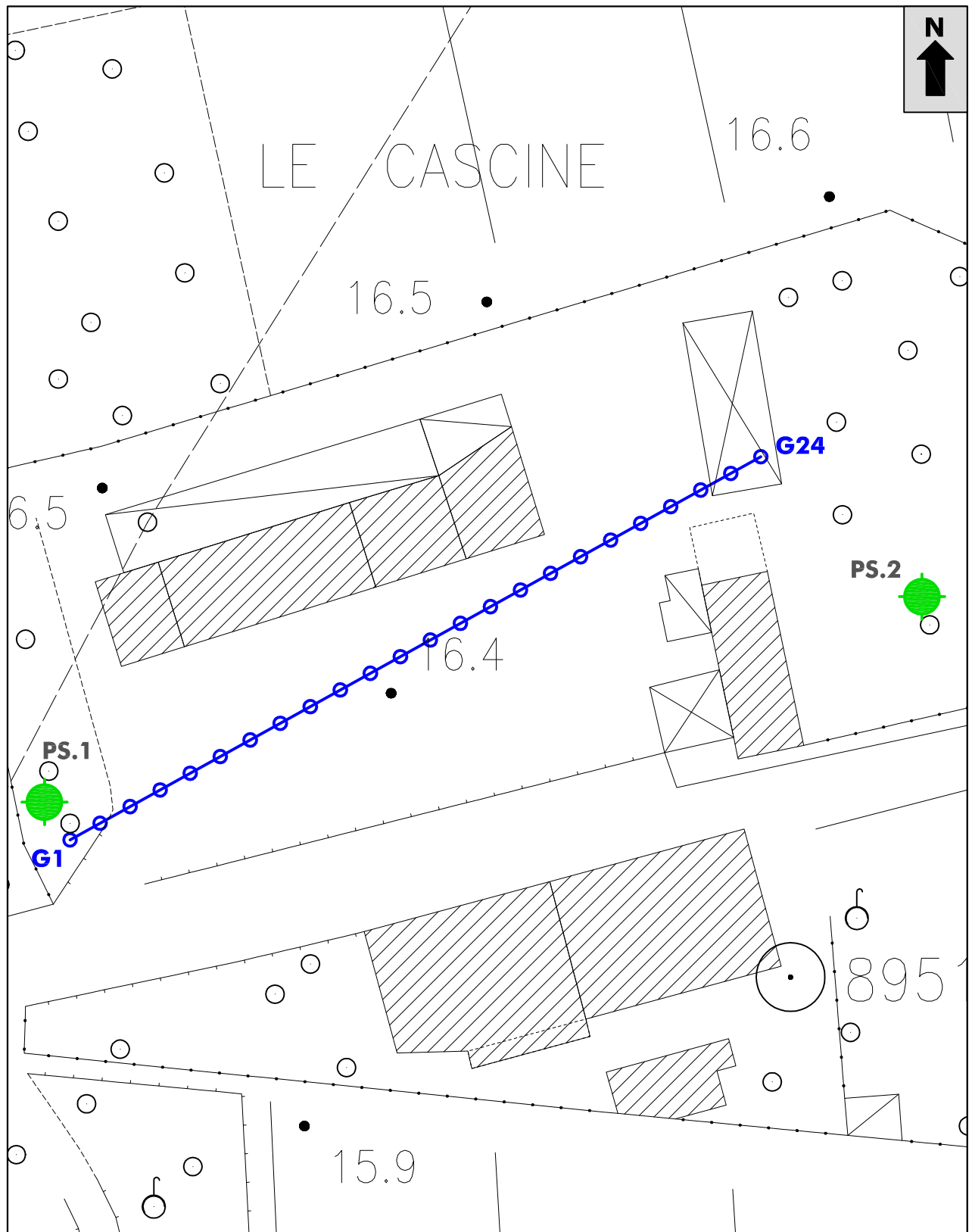
(C.T.R. Regione Toscana - Foglio 274060 - Scala 1:20'000)



 - Aree oggetto d'indagine

## FIG.2 - UBICAZIONE INDAGINI

(C.T.R. Regione Toscana - Foglio 18H22 - Scala 1:500)



**PS.1-2**  
- Prove penetrometriche  
statiche meccaniche (CPTm)

**G24**  
- Stese Sismica  
(Onde P-SH)  
**G1**

**bierregi s.r.l.**

INDAGINI GEOFISICHE  
GEOGNOSTICHE e GEOTECNICHE



OS 21  
OS 20- B

  
Presidenza del Consiglio Superiore  
dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale  
Aut. n. :00007464



Cert. No. 98514-2011-AQ-  
ITA-ACCREDIA

**Allegato A**

**Elaborazione delle Prove  
Penetrometriche Statiche Meccaniche(CPTm)**

## **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:  $F = (q_c / f_s)$**

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	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  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \%$  :**

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

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

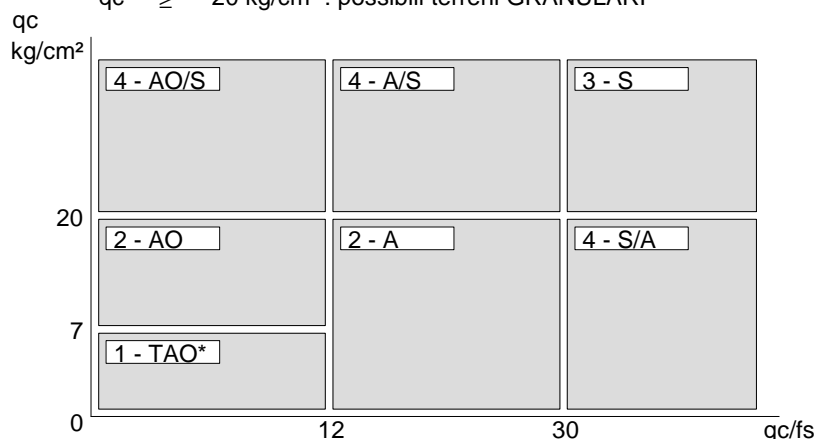
- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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

$q_c \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI  
 $q_c \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI

anche se (  $q_c / f_s$  ) > 30  
 anche se (  $q_c / f_s$  ) < 30



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

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

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $q_c$  - natura ]  
 ( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $q_c$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
 ( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $q_c$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  -  $q_c$  - natura ]  
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
 [ correlazioni :  $D_r$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 ) ]
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  -  $q_c$  -  $\sigma'_{vo}$  )  
 $\emptyset'_{Ca}$  - Caquot (1948)  $\emptyset'_{Ko}$  - Koppejan (1948)  
 $\emptyset'_{DB}$  - De Beer (1965)  $\emptyset'_{Sc}$  - Schmertmann (1978)  
 $\emptyset'_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)  $\emptyset'_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
 (  $g$  = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : ( $A_{max}/g$ ) -  $D_r$  ]
- $V_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

<b>CPT</b>	<b>PS.1</b>
riferimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT054/21

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data eseg.: 09/04/2021  
 Pagina: 1              Data certificato: 09/04/2021  
 Elaborato:              Falda: Foro chiuso

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0	0	0.0	0.00										
0.40	16.0	25.0	0	16.0	0.60	27	3.8								
0.60	42.0	64.0	0	42.0	1.47	29	3.5								
0.80	24.0	47.0	0	24.0	1.53	16	6.4								
<b>1.00</b>	11.0	29.0	0	11.0	1.20	9	10.9								
1.20	14.0	26.0	0	14.0	0.80	18	5.7								
1.40	9.0	15.0	0	9.0	0.40	23	4.4								
1.60	9.0	14.0	0	9.0	0.33	27	3.7								
1.80	15.0	21.0	0	15.0	0.40	38	2.7								
<b>2.00</b>	18.0	35.0	0	18.0	1.13	16	6.3								
2.20	19.0	35.0	0	19.0	1.07	18	5.6								
2.40	23.0	46.0	0	23.0	1.53	15	6.7								
2.60	18.0	38.0	0	18.0	1.33	14	7.4								
2.80	18.0	37.0	0	18.0	1.27	14	7.1								
<b>3.00</b>	18.0	30.0	0	18.0	0.80	23	4.4								
3.20	18.0	29.0	0	18.0	0.73	25	4.1								
3.40	15.0	27.0	0	15.0	0.80	19	5.3								
3.60	12.0	24.0	0	12.0	0.80	15	6.7								
3.80	9.0	17.0	0	9.0	0.53	17	5.9								
<b>4.00</b>	12.0	23.0	0	12.0	0.73	16	6.1								
4.20	19.0	29.0	0	19.0	0.67	28	3.5								
4.40	16.0	33.0	0	16.0	1.13	14	7.1								
4.60	15.0	28.0	0	15.0	0.87	17	5.8								
4.80	11.0	23.0	0	11.0	0.80	14	7.3								
<b>5.00</b>	14.0	23.0	0	14.0	0.60	23	4.3								
5.20	19.0	33.0	0	19.0	0.93	20	4.9								
5.40	21.0	37.0	0	21.0	1.07	20	5.1								
5.60	28.0	50.0	0	28.0	1.47	19	5.3								
5.80	30.0	56.0	0	30.0	1.73	17	5.8								
<b>6.00</b>	38.0	68.0	0	38.0	2.00	19	5.3								
6.20	36.0	65.0	0	36.0	1.93	19	5.4								
6.40	28.0	59.0	0	28.0	2.07	14	7.4								
6.60	28.0	56.0	0	28.0	1.87	15	6.7								
6.80	31.0	48.0	0	31.0	1.13	27	3.6								
<b>7.00</b>	26.0	42.0	0	26.0	1.07	24	4.1								
7.20	32.0	44.0	0	32.0	0.80	40	2.5								
7.40	29.0	37.0	0	29.0	0.53	55	1.8								
7.60	31.0	40.0	0	31.0	0.60	52	1.9								
7.80	32.0	44.0	0	32.0	0.80	40	2.5								
<b>8.00</b>	32.0	45.0	0	32.0	0.87	37	2.7								
8.20	29.0	38.0	0	29.0	0.60	48	2.1								
8.40	26.0	37.0	0	26.0	0.73	36	2.8								
8.60	31.0	41.0	0	31.0	0.67	46	2.2								
8.80	30.0	42.0	0	30.0	0.80	38	2.7								
<b>9.00</b>	36.0	43.0	0	36.0	0.47	77	1.3								
9.20	28.0	39.0	0	28.0	0.73	38	2.6								
9.40	36.0	49.0	0	36.0	0.87	41	2.4								
9.60	33.0	43.0	0	33.0	0.67	49	2.0								
9.80	33.0	44.0	0	33.0	0.73	45	2.2								
<b>10.00</b>	35.0	46.0	0	35.0	0.73	48	2.1								
10.20	25.0	33.0	0	25.0	0.53	47	2.1								
10.40	16.0	24.0	0	16.0	0.53	30	3.3								
10.60	22.0	28.0	0	22.0	0.40	55	1.8								
10.80	26.0	34.0	0	26.0	0.53	49	2.0								
<b>11.00</b>	22.0	35.0	0	22.0	0.87	25	4.0								
11.20	20.0	30.0	0	20.0	0.67	30	3.4								
11.40	20.0	29.0	0	20.0	0.60	33	3.0								
11.60	26.0	39.0	0	26.0	0.87	30	3.3								
11.80	119.0	146.0	0	119.0	1.80	66	1.5								
<b>12.00</b>	200.0	250.0	0	200.0	3.33	60	1.7								

H = profondità                                      qc = resistenza di punta  
 L1 = prima lettura (punta)                      fs = resistenza laterale calcolata  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)                      alla stessa quota di qc  
 Lt = terza lettura (totale)                      F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 CT = 10.00 costante di trasformazione                      Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

nota: Foro chiuso a -0,70 metri dal p.c.

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

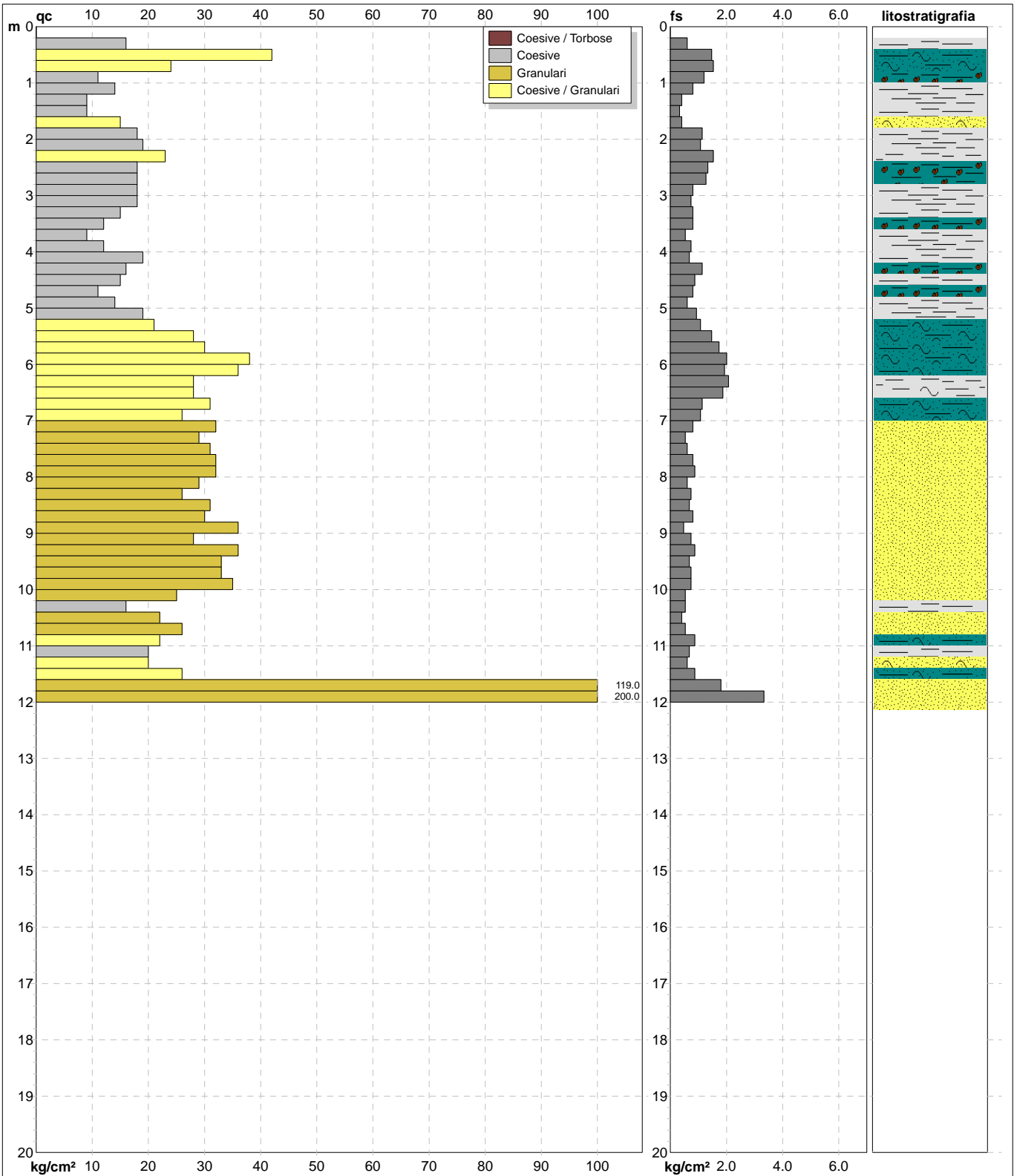
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>PS.1</b>
riferimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT054/21

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 09/04/2021  
 Scala: 1:100    Data certificato: 09/04/2021  
 Pagina: 1    Quota inizio: piano campagna  
 Elaborato:    Falda: Foro chiuso



	Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Dott. Geol. Andrea Gambini Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod.ISTAT: 048019 Cod. punta:
--	--	--

nota: Foro richiuso a -0,70 metri dal p.c.

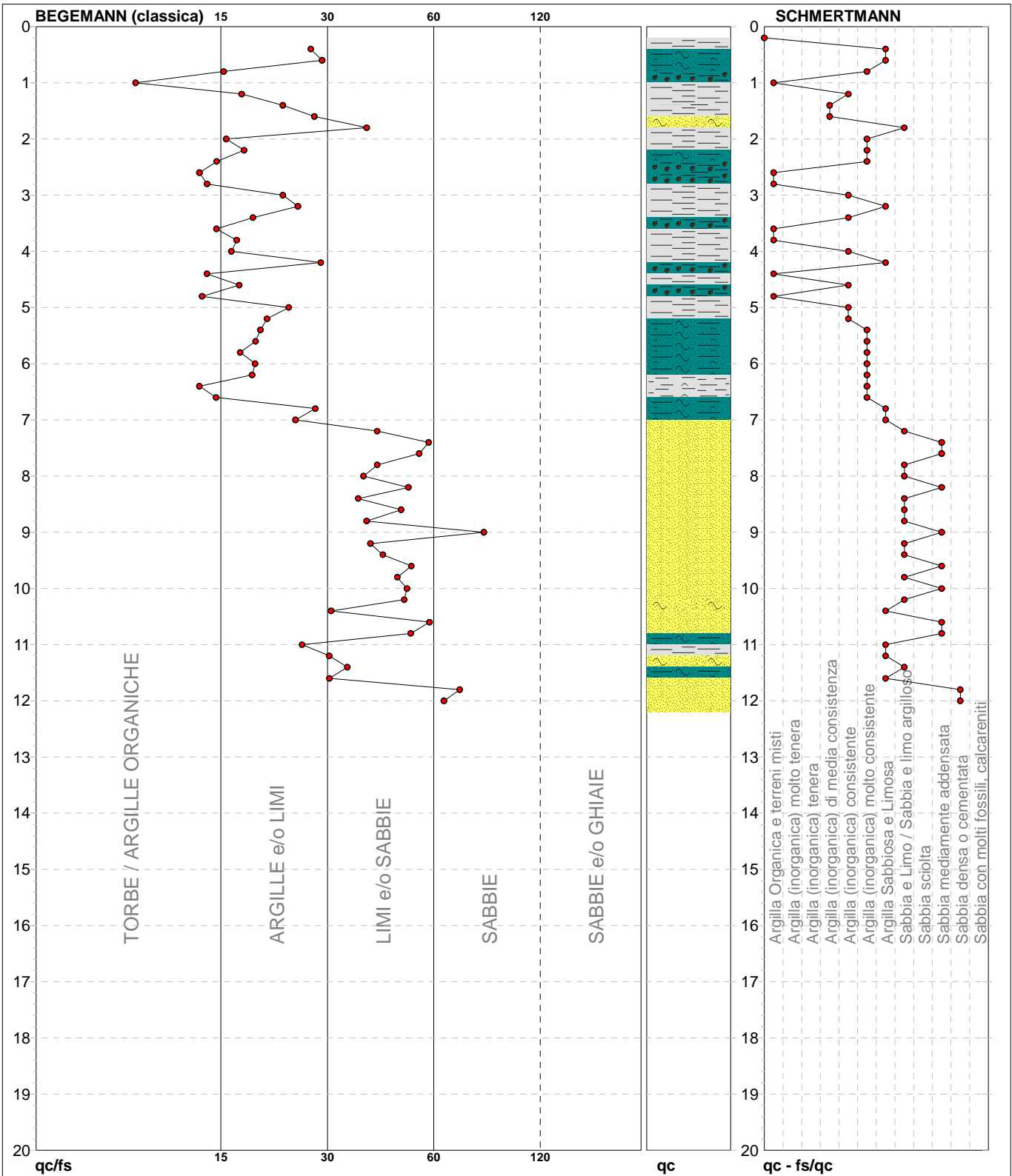
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>PS.1</b>
referimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT054/21

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: **09/04/2021**  
 Scala: **1:100**    Data certificato: **09/04/2021**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:    Falda: **Foro chiuso**



Torbe / Argille org. :	49 punti, 49.49%	Argilla Organica e terreni misti:	7 punti, 7.07%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 10.10%
Argille e/o Limi :	28 punti, 28.28%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 2.02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	12 punti, 12.12%
Limi e/o Sabbie :	20 punti, 20.20%	Argilla (inorganica) consistente:	7 punti, 7.07%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 8.08%
Sabbie:	3 punti, 3.03%	Argilla (inorganica) molto consist.:	11 punti, 11.11%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2.02%

nota: Foro chiuso a -0,70 metri dal p.c.

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

<b>CPT</b>	<b>PS.2</b>
riferimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT055/26

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**      Data esec.: 09/04/2021  
 Pagina: 1              Data certificato: 09/04/2021  
 Elaborato:              Falda: -1.52 m da quota inizio

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0	0	0.0	0.00										
0.40	17.0	25.0	0	17.0	0.53	32	3.1								
0.60	9.0	15.0	0	9.0	0.40	23	4.4								
0.80	9.0	18.0	0	9.0	0.60	15	6.7								
<b>1.00</b>	7.0	12.0	0	7.0	0.33	21	4.7								
1.20	7.0	13.0	0	7.0	0.40	18	5.7								
1.40	7.0	11.0	0	7.0	0.27	26	3.9								
1.60	9.0	13.0	0	9.0	0.27	33	3.0								
1.80	16.0	22.0	0	16.0	0.40	40	2.5								
<b>2.00</b>	17.0	26.0	0	17.0	0.60	28	3.5								
2.20	17.0	28.0	0	17.0	0.73	23	4.3								
2.40	18.0	32.0	0	18.0	0.93	19	5.2								
2.60	16.0	30.0	0	16.0	0.93	17	5.8								
2.80	17.0	28.0	0	17.0	0.73	23	4.3								
<b>3.00</b>	15.0	25.0	0	15.0	0.67	22	4.5								
3.20	15.0	22.0	0	15.0	0.47	32	3.1								
3.40	12.0	18.0	0	12.0	0.40	30	3.3								
3.60	12.0	16.0	0	12.0	0.27	44	2.3								
3.80	13.0	17.0	0	13.0	0.27	48	2.1								
<b>4.00</b>	10.0	14.0	0	10.0	0.27	37	2.7								
4.20	10.0	14.0	0	10.0	0.27	37	2.7								
4.40	12.0	16.0	0	12.0	0.27	44	2.3								
4.60	14.0	21.0	0	14.0	0.47	30	3.4								
4.80	12.0	18.0	0	12.0	0.40	30	3.3								
<b>5.00</b>	13.0	19.0	0	13.0	0.40	33	3.1								
5.20	15.0	21.0	0	15.0	0.40	38	2.7								
5.40	13.0	19.0	0	13.0	0.40	33	3.1								
5.60	6.0	15.0	0	6.0	0.60	10	10.0								
5.80	10.0	18.0	0	10.0	0.53	19	5.3								
<b>6.00</b>	17.0	28.0	0	17.0	0.73	23	4.3								
6.20	24.0	38.0	0	24.0	0.93	26	3.9								
6.40	22.0	35.0	0	22.0	0.87	25	4.0								
6.60	21.0	36.0	0	21.0	1.00	21	4.8								
6.80	25.0	37.0	0	25.0	0.80	31	3.2								
<b>7.00</b>	21.0	34.0	0	21.0	0.87	24	4.1								
7.20	13.0	23.0	0	13.0	0.67	19	5.2								
7.40	9.0	15.0	0	9.0	0.40	23	4.4								
7.60	10.0	16.0	0	10.0	0.40	25	4.0								
7.80	8.0	13.0	0	8.0	0.33	24	4.1								
<b>8.00</b>	10.0	16.0	0	10.0	0.40	25	4.0								
8.20	11.0	17.0	0	11.0	0.40	28	3.6								
8.40	9.0	16.0	0	9.0	0.47	19	5.2								
8.60	11.0	19.0	0	11.0	0.53	21	4.8								
8.80	13.0	23.0	0	13.0	0.67	19	5.2								
<b>9.00</b>	10.0	22.0	0	10.0	0.80	13	8.0								
9.20	8.0	14.0	0	8.0	0.40	20	5.0								
9.40	9.0	15.0	0	9.0	0.40	23	4.4								
9.60	9.0	15.0	0	9.0	0.40	23	4.4								
9.80	18.0	27.0	0	18.0	0.60	30	3.3								
<b>10.00</b>	21.0	38.0	0	21.0	1.13	19	5.4								
10.20	21.0	39.0	0	21.0	1.20	18	5.7								
10.40	29.0	48.0	0	29.0	1.27	23	4.4								
10.60	30.0	55.0	0	30.0	1.67	18	5.6								
10.80	29.0	52.0	0	29.0	1.53	19	5.3								
<b>11.00</b>	26.0	48.0	0	26.0	1.47	18	5.7								
11.20	25.0	43.0	0	25.0	1.20	21	4.8								
11.40	23.0	44.0	0	23.0	1.40	16	6.1								
11.60	24.0	40.0	0	24.0	1.07	22	4.5								
11.80	21.0	37.0	0	21.0	1.07	20	5.1								
<b>12.00</b>	22.0	41.0	0	22.0	1.27	17	5.8								
12.20	19.0	37.0	0	19.0	1.20	16	6.3								
12.40	13.0	28.0	0	13.0	1.00	13	7.7								
12.60	9.0	20.0	0	9.0	0.73	12	8.1								
12.80	9.0	16.0	0	9.0	0.47	19	5.2								
<b>13.00</b>	14.0	22.0	0	14.0	0.53	26	3.8								
13.20	11.0	19.0	0	11.0	0.53	21	4.8								
13.40	11.0	21.0	0	11.0	0.67	16	6.1								
13.60	11.0	19.0	0	11.0	0.53	21	4.8								
13.80	9.0	18.0	0	9.0	0.60	15	6.7								
<b>14.00</b>	9.0	16.0	0	9.0	0.47	19	5.2								
14.20	12.0	20.0	0	12.0	0.53	23	4.4								
14.40	15.0	23.0	0	15.0	0.53	28	3.5								
14.60	13.0	27.0	0	13.0	0.93	14	7.2								
14.80	13.0	28.0	0	13.0	1.00	13	7.7								
<b>15.00</b>	15.0	25.0	0	15.0	0.67	22	4.5								

H = profondità                                      qc = resistenza di punta  
 L1 = prima lettura (punta)                      fs = resistenza laterale calcolata  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)      alla stessa quota di qc  
 Lt = terza lettura (totale)                      F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 CT = 10.00 costante di trasformazione      Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

nota: Perforo attrezzato con piezometro fino a 9,00 m

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

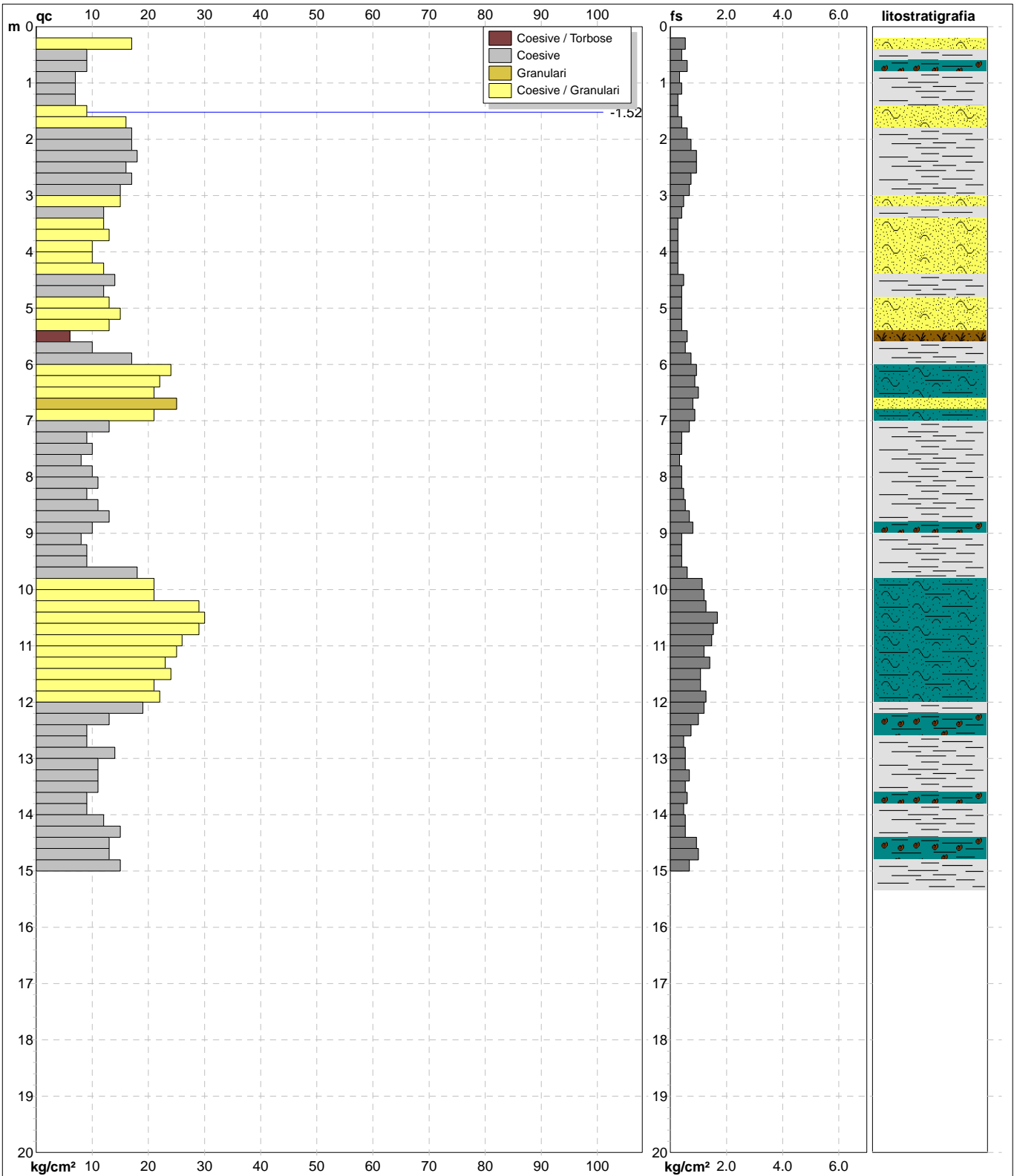
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>PS.2</b>
riferimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT055/26

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 09/04/2021  
 Scala: 1:100    Data certificato: 09/04/2021  
 Pagina: 1    Quota inizio: piano campagna  
 Elaborato:    Falda: -1.52 m da quota inizio



Litologia:	Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo:	m
Penetrometro:	TG63-200	Corr.astine:	kg/ml
Responsabile:	Dott. Geol. Andrea Gambini	Cod.ISTAT:	048019
Assistente:		Cod. punta:	

nota: Perforo attrezzato con piezometro fino a 9,00 m

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032



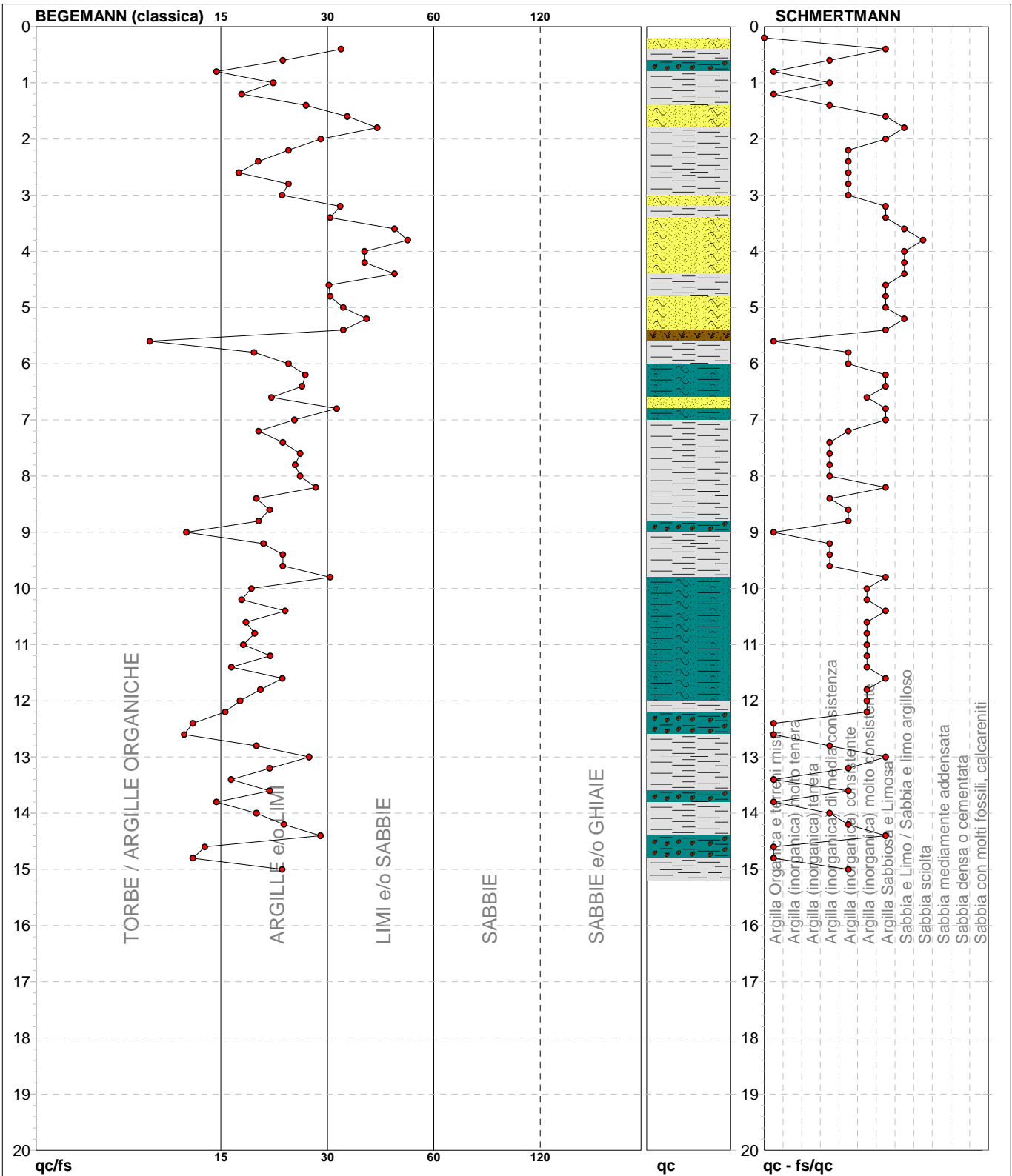
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>PS.2</b>
referimento	<b>210407A</b>
certificato n°	CPT055/26

Committente: **IngSolution - Geol. Filippo Bendinelli**  
 Cantiere: **Indagini geognostiche**  
 Località: **Via delle Colmate - Fucecchio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: **09/04/2021**  
 Scala: **1:100**    Data certificato: **09/04/2021**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:    Falda: **-1.52 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	34 punti, 34.34%	Argilla Organica e terreni misti:	10 punti, 10.10%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 19.19%
Argille e/o Limi :	53 punti, 53.54%	Argilla (inorganica) media consist.:	13 punti, 13.13%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6.06%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 13.13%	Argilla (inorganica) consistente:	14 punti, 14.14%	Sabbia sciolta:	1 punto, 1.01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	11 punti, 11.11%		

nota: Perforo attrezzato con piezometro fino a 9,00 m

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032



## **ELABORATI STESA SISMICA - ONDE P**

### Tomografia Sismica

- Registros di campagna
- Dromocrone (Travel Time)
- Tabella riassuntiva
- Sezione Tomografica

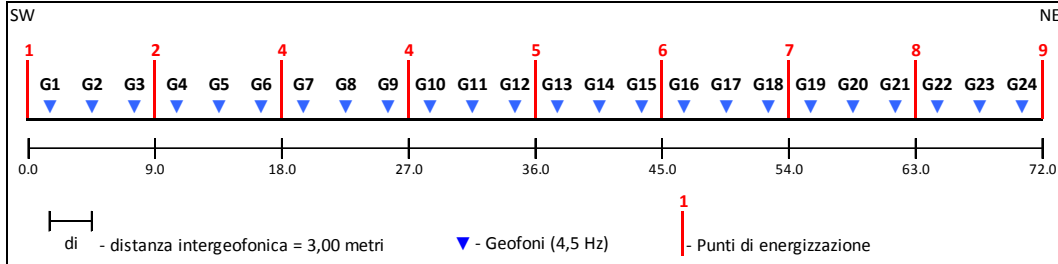
<b>COMMITTENTE</b>	<b>CANTIERE</b>	<b>ID STESA</b>
GEOL. FILIPPO BENDINELLI	VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI)	STP070421A

<b>ONDE</b>	<b>CANALI</b>	<b>D.I.</b>	<b>L</b>	<b>SPARI</b>	<b>ELABORAZIONE</b>
P	24	3,0 metri	72 metri	9	TOMOGRAFICA

D.I. - Passo intergeofonico; L - Lunghezza complessiva della stesa

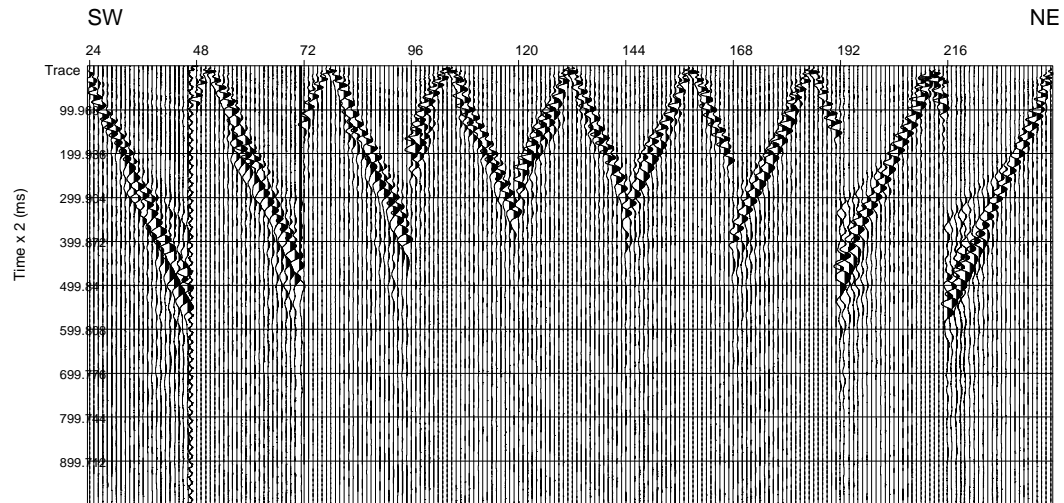
<b>AZIMUT</b>	<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA</b>			
N 240° (SW - NE) riferito al G1 in senso orario	X <sub>G1</sub>	Y <sub>G1</sub>	X <sub>G24</sub>	Y <sub>G24</sub>
	1645277.1815	4844874.8112	1645337.5278	4844908.2675

### SCHEMA ESECUTIVO

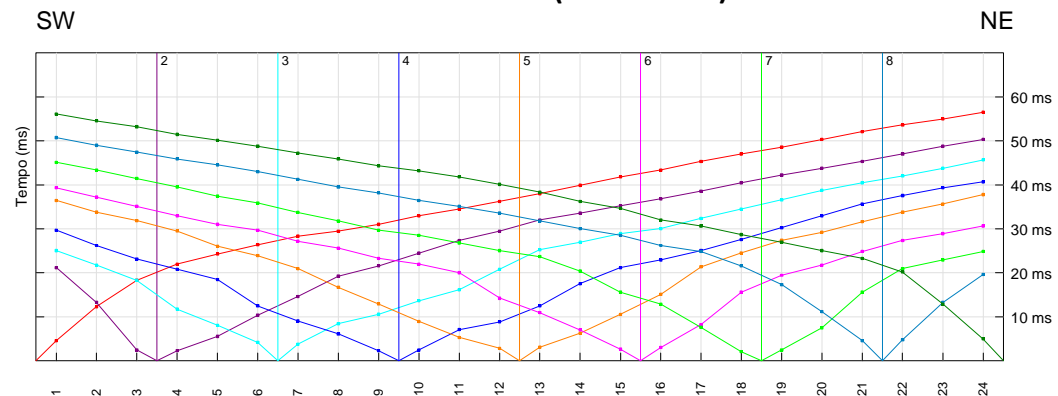


Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 3,00 metri (lunghezza stesa 72 metri). L'azimuth della stesa (riferito al G1 in senso orario) è N 240° (SW-NE). Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi per un tempo totale di acquisizione pari a 1 s (per un totale di 7800 campioni).

### SISMOGRAMMA



### DROMOCRONE (Travel Time)



## FUCECCHIO (Via delle Colmate) - ONDE P - SPREAD ARRAY/FIRST BREAK POINT VALUES

Receiver Number	Spread Array (m)		First Break Point Values (ms)								
	Receiver distances	Receiver elevation	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Shot 6	Shot 7	Shot 8	Shot 9
1	1.50	0.00	4.57	21.18	25.04	29.68	36.45	39.34	45.13	50.74	56.13
2	4.50	0.00	12.30	13.26	21.76	26.20	33.77	37.20	43.40	49.00	54.59
3	7.50	0.00	18.29	2.45	18.29	23.11	31.89	35.09	41.45	47.45	53.25
4	10.50	0.00	21.95	2.25	11.72	20.79	29.51	32.97	39.52	45.90	51.50
5	13.50	0.00	24.27	5.53	8.05	18.46	26.04	31.03	37.40	44.54	50.15
6	16.50	0.00	26.38	10.35	4.17	12.47	23.88	29.68	35.86	43.00	48.79
7	19.50	0.00	28.31	14.60	3.78	9.01	20.95	27.17	33.74	41.27	47.25
8	22.50	0.00	29.47	19.25	8.43	6.11	16.69	25.62	31.79	39.52	45.90
9	25.50	0.00	31.03	21.55	10.56	2.25	12.93	23.29	29.68	38.18	44.36
10	28.50	0.00	32.97	24.45	13.64	2.45	8.93	21.95	28.52	36.43	43.20
11	31.50	0.00	34.50	27.36	16.14	7.07	5.30	20.02	26.78	35.09	41.84
12	34.50	0.00	36.25	29.47	20.79	8.81	2.81	14.22	25.04	33.54	40.11
13	37.50	0.00	37.99	32.00	25.22	12.47	3.05	10.93	23.69	31.79	38.36
14	40.50	0.00	39.90	33.54	26.96	17.51	6.26	7.00	20.39	30.05	36.25
15	43.50	0.00	41.84	35.27	28.89	21.18	10.55	2.64	15.56	28.52	34.70
16	46.50	0.00	43.40	36.83	30.05	22.92	15.09	3.01	12.88	26.20	32.00
17	49.50	0.00	45.33	38.56	32.38	25.04	21.35	8.22	7.61	24.85	30.63
18	52.50	0.00	47.06	40.50	34.50	27.54	24.52	15.56	2.04	21.55	28.70
19	55.50	0.00	48.61	42.24	36.63	30.26	27.37	19.44	2.45	17.30	26.96
20	58.50	0.00	50.34	43.77	38.75	32.97	29.22	21.76	7.46	11.14	25.04
21	61.50	0.00	52.09	45.33	40.50	35.65	31.63	24.85	15.56	4.57	23.29
22	64.50	0.00	53.63	47.06	42.04	37.59	33.77	27.36	20.97	4.76	20.20
23	67.50	0.00	54.99	48.79	43.77	39.34	35.65	28.89	22.92	13.26	12.88
24	70.50	0.00	56.52	50.34	45.70	40.68	37.79	30.63	24.85	19.62	4.98

Shot Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Shot Distance (m)	0.00	9.00	18.00	27.00	36.00	45.00	54.00	63.00	72.00
Shot Elevation (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Lato SW verso G1



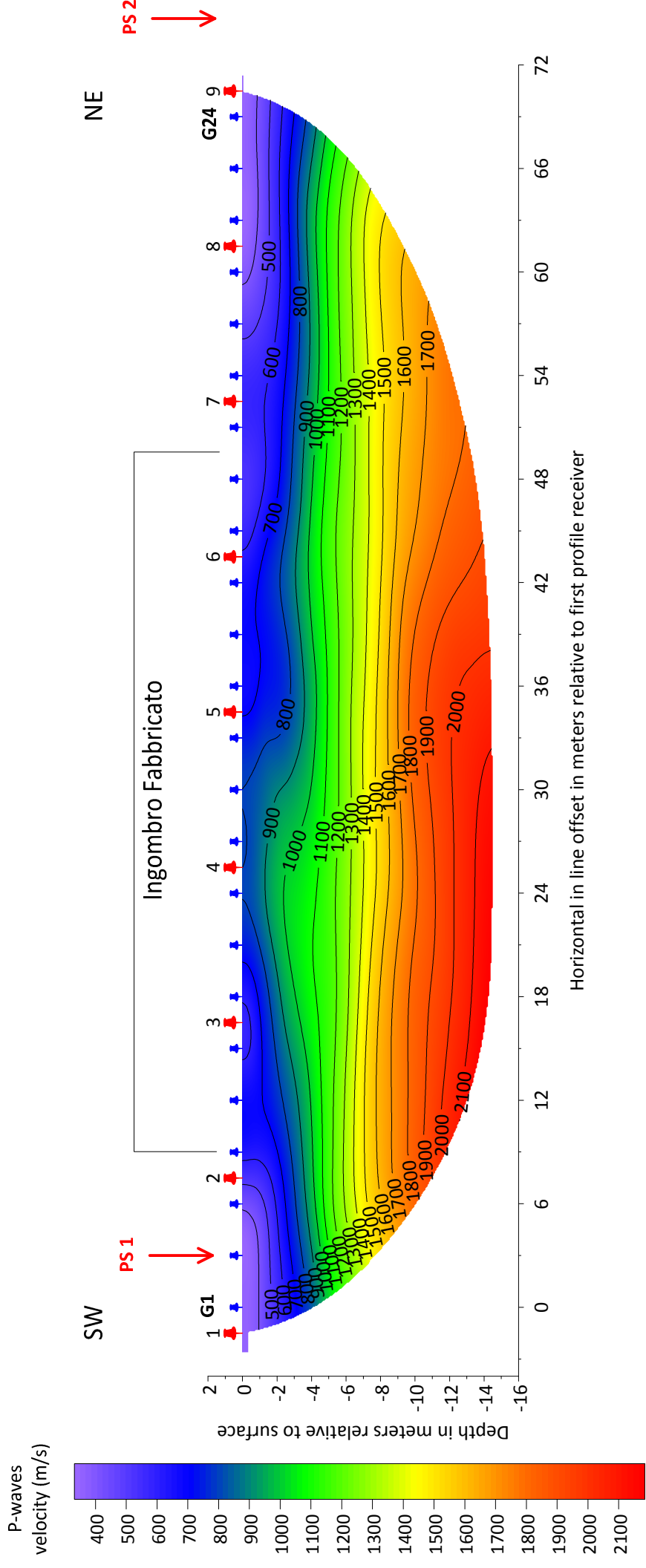
Lato NE verso G2



Postazione centrale

# SEZIONE TOMOGRAFICA - ONDE P

## VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI)



Vp min 330 m/s  
Vp max 2184 m/s

- Punto di energizzazione (shot)
- Ricevitore (geofono)
- PS 1-2 Prove penetrometriche statiche meccaniche

## **ELABORATI STESA SISMICA - ONDE SH**

### Tomografia Sismica

- Registros di campagna
- Dromocrone (Travel Time)
- Tabella riassuntiva
- Sezione Tomografica

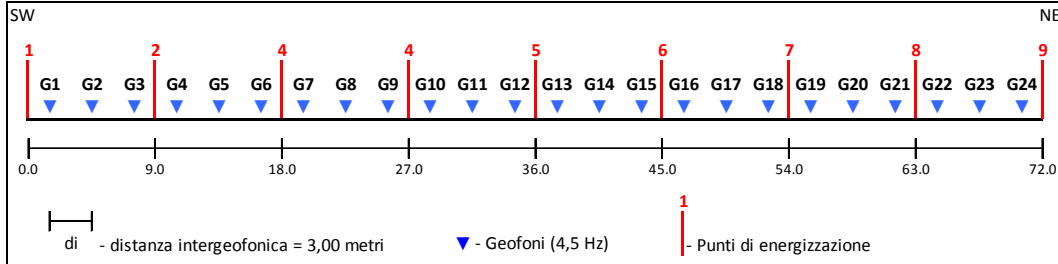
<b>COMMITTENTE</b>	<b>CANTIERE</b>	<b>ID STESA</b>
GEOL. FILIPPO BENDINELLI	VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI)	STSH070421B

<b>ONDE</b>	<b>CANALI</b>	<b>D.I.</b>	<b>L</b>	<b>SPARI</b>	<b>ELABORAZIONE</b>
SH	24	3,0 metri	72 metri	9	TOMOGRAFICA

D.I. - Passo intergeofonico; L - Lunghezza complessiva della stesa

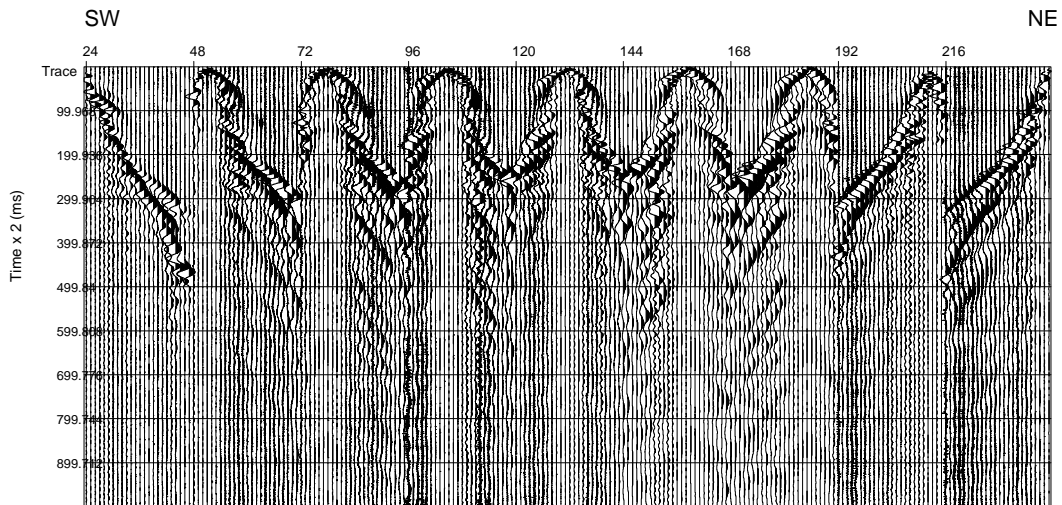
<b>AZIMUT</b>	<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA</b>			
N 240° (SW - NE) riferito al G1 in senso orario	X <sub>G1</sub>	Y <sub>G1</sub>	X <sub>G24</sub>	Y <sub>G24</sub>
	1645277.1815	4844874.8112	1645337.5278	4844908.2675

### SCHEMA ESECUTIVO

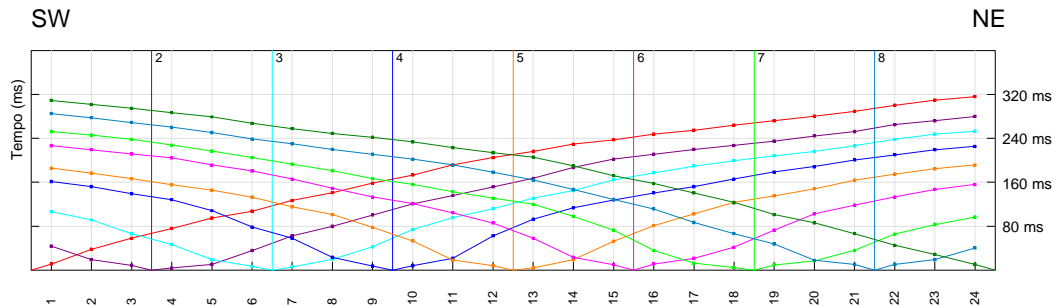


Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 3,00 metri (lunghezza stesa 72 metri). L'azimuth della stesa (riferito al G1 in senso orario) è N 240° (SW-NE). Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi per un tempo totale di acquisizione pari a 1 s (per un totale di 7800 campioni).

### SISMOGRAMMA



### DROMOCRONE (Travel Time)





## FUCECCHIO (Via delle Colmate) - ONDE SH - SPREAD ARRAY/FIRST BREAK POINT VALUES

Receiver Number	Spread Array (m)		First Break Point Values (ms)								
	Receiver distances	Receiver elevation	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Shot 6	Shot 7	Shot 8	Shot 9
1	1.50	0.00	11.14	43.47	106.23	161.22	185.80	226.57	252.44	285.47	309.10
2	4.50	0.00	37.95	19.04	91.33	152.16	176.75	219.44	245.97	277.57	302.01
3	7.50	0.00	57.65	8.80	66.12	139.22	166.38	211.69	238.21	268.91	294.92
4	10.50	0.00	75.80	3.46	46.70	128.22	155.38	204.57	227.86	260.23	287.04
5	13.50	0.00	94.79	10.35	18.87	108.16	145.69	191.63	216.86	250.77	279.16
6	16.50	0.00	107.44	35.59	6.59	78.41	132.75	180.63	205.22	238.96	267.32
7	19.50	0.00	126.83	62.40	5.78	57.70	115.29	165.75	192.91	230.27	257.88
8	22.50	0.00	141.08	79.73	19.54	23.42	101.05	148.91	181.27	220.02	249.21
9	25.50	0.00	158.38	100.23	42.18	7.23	77.76	133.38	166.38	211.36	242.11
10	28.50	0.00	173.38	120.73	73.87	7.88	53.18	121.11	156.05	201.91	233.44
11	31.50	0.00	191.66	135.69	95.23	21.45	18.21	104.29	142.46	191.66	223.19
12	34.50	0.00	205.07	151.47	112.05	62.24	7.88	85.51	130.80	178.27	213.74
13	37.50	0.00	216.10	167.22	130.80	92.62	4.13	57.70	119.80	164.08	205.86
14	40.50	0.00	229.50	186.94	145.05	113.33	18.87	23.42	97.80	146.74	190.08
15	43.50	0.00	237.38	201.91	164.46	127.58	52.52	9.81	72.58	128.61	171.96
16	46.50	0.00	247.63	211.36	177.38	140.52	81.00	11.13	35.70	111.26	157.77
17	49.50	0.00	254.72	220.02	189.69	152.16	102.33	21.45	12.42	86.83	140.41
18	52.50	0.00	264.17	227.13	199.38	165.75	123.05	41.52	4.65	66.33	123.08
19	55.50	0.00	272.07	235.02	208.22	178.69	135.33	72.58	9.18	47.40	101.01
20	58.50	0.00	280.73	244.47	216.10	188.38	148.27	102.33	16.95	17.45	86.04
21	61.50	0.00	289.41	252.36	226.35	200.69	163.80	118.51	35.70	10.35	66.33
22	64.50	0.00	300.44	264.97	238.16	209.74	174.80	133.38	65.47	10.35	45.06
23	67.50	0.00	309.89	272.07	247.63	219.44	184.50	146.99	82.94	19.04	28.50
24	70.50	0.00	316.20	279.95	253.13	225.27	191.63	156.05	96.51	40.24	10.35

Shot Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Shot Distance (m)	0.00	9.00	18.00	27.00	36.00	45.00	54.00	63.00	72.00
Shot Elevation (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Lato SW verso G1



Lato NE verso G24

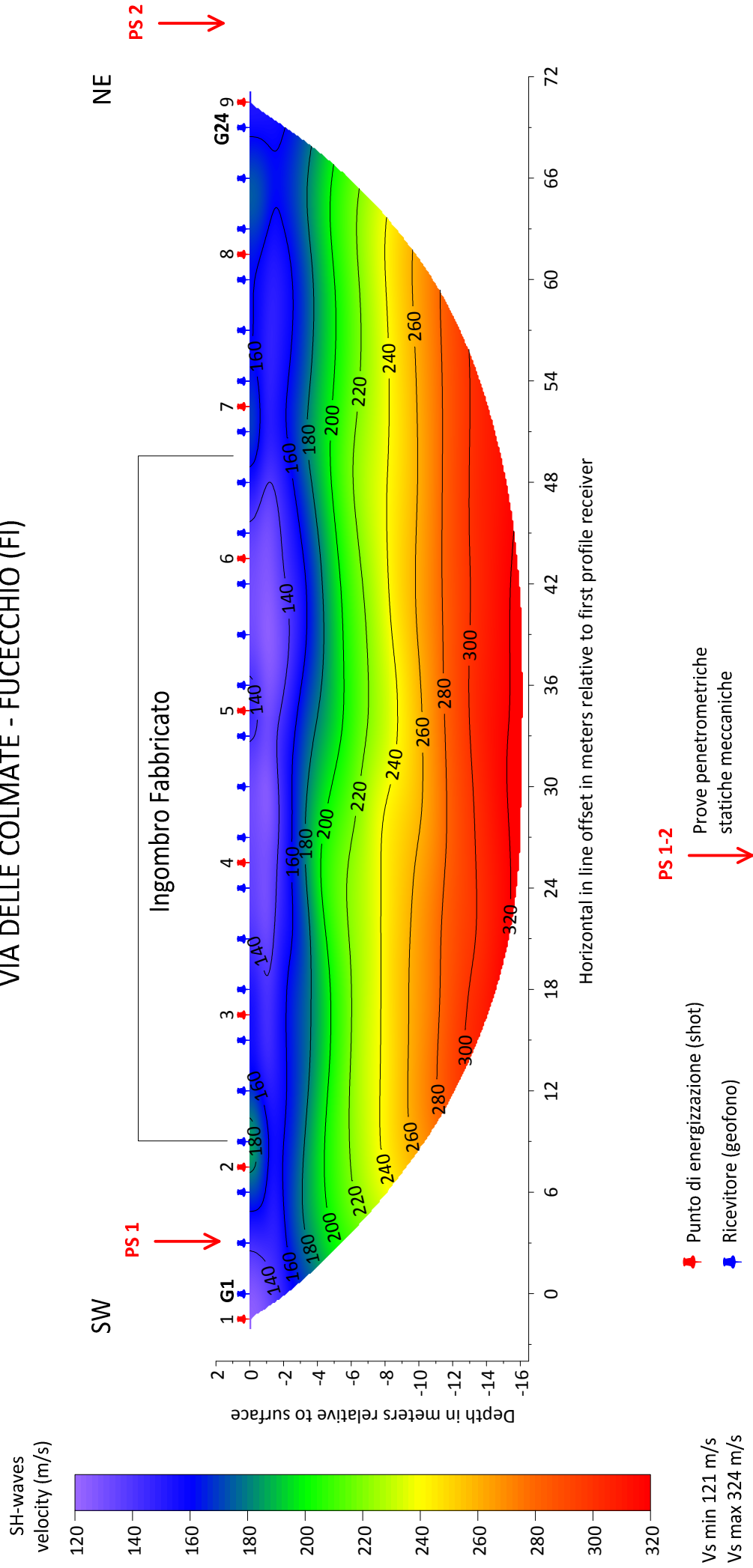


Postazione centrale



Energizzazione Onde SH

# SEZIONE TOMOGRAFICA - ONDE SH VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI)





**InG SOLUTION**  
Ingegneria e Geologia

**InG SOLUTION** Ingegneria e Geologia

Via Venezia 77  
56038 Ponsacco (PI)  
Tel. 333 2957960  
Web [www.ingsolution.it](http://www.ingsolution.it)

## **INDAGINE SISMICA HVSR**

*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*

**COMMITTENTE: Abrasivi Billeri di Billeri R.E.L.,  
Billeri Paolo e C. snc**

LOCALITÀ: Via delle Colmate n.44 Fucecchio (FI)

DATA INDAGINE: 15/04/2021

DATA ELABORAZIONE: 16/04/2021

Operatore: Geol. Filippo Bendinelli

Elaborazione: Geol. Filippo Bendinelli

Timbro e firma:



### **Cenni sulla teoria della tecnica HVSR**

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{seq}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo  $V_{seq}$ .

## Dati generali

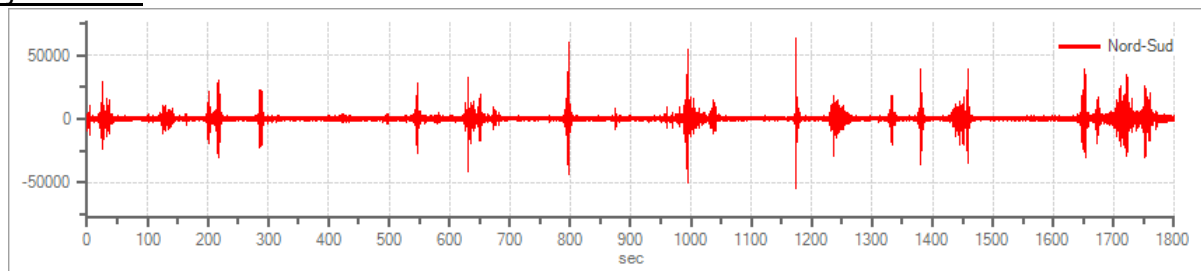
Nome progetto: Relazione Geologica Fattibilità PA 47  
Committente: Abrasivi Billeri di Billeri REL, Billeri Paolo e C. snc  
Località: Via delle Colmate n.44, Fucecchio (FI)  
Operatore: Geol. Bendinelli Filippo  
Responsabile: Geol. Bendinelli Filippo  
Data: 15/04/2021 09:00:00  
Latitudine: 43.742650  
Longitudine: 10.804158

## Tracce in input

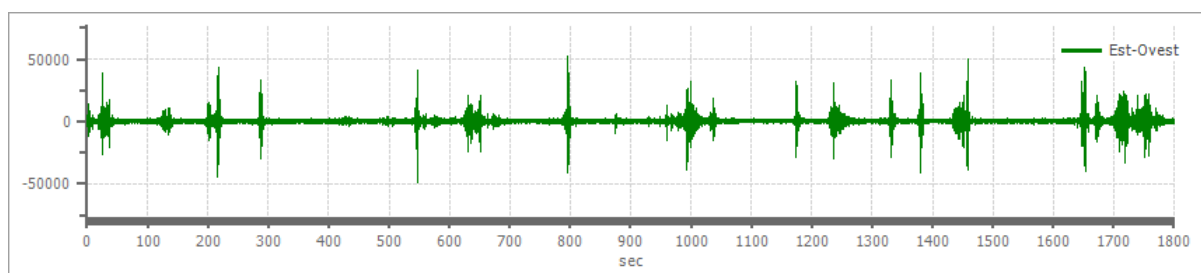
### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 172.00 Hz  
Numero campioni: 309600  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

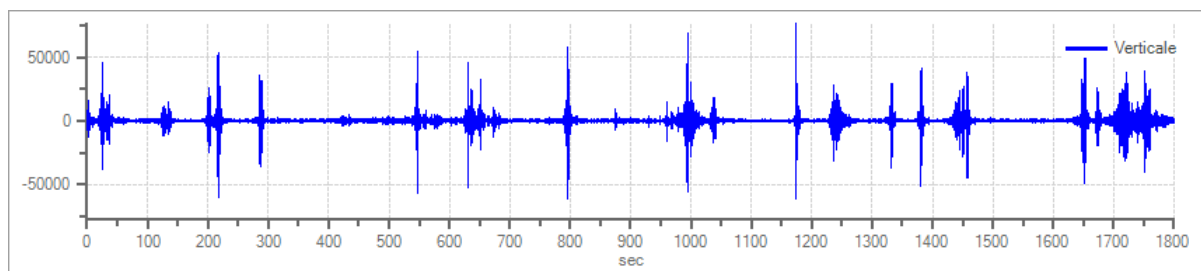
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 74  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 74  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Coefficiente di banda: 40.00

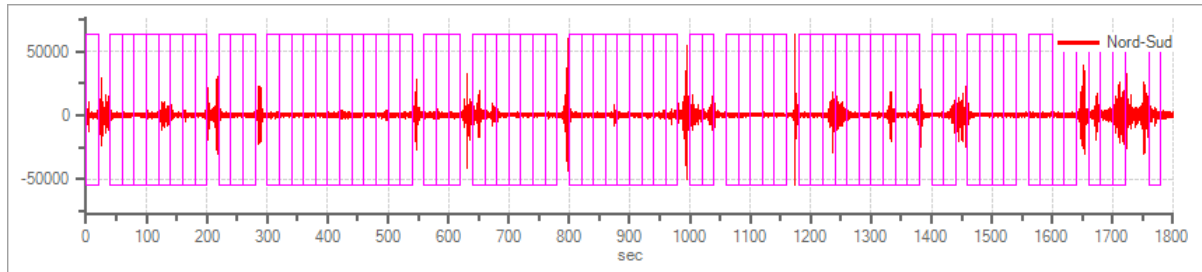
### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	80	100	Inclusa
5	100	120	Inclusa
6	120	140	Inclusa
7	140	160	Inclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	300	320	Inclusa
14	320	340	Inclusa
15	340	360	Inclusa
16	360	380	Inclusa
17	380	400	Inclusa
18	400	420	Inclusa
19	420	440	Inclusa
20	440	460	Inclusa
21	460	480	Inclusa
22	480	500	Inclusa
23	500	520	Inclusa
24	520	540	Inclusa
25	560	580	Inclusa
26	580	600	Inclusa
27	600	620	Inclusa
28	640	660	Inclusa
29	660	680	Inclusa
30	680	700	Inclusa
31	700	720	Inclusa
32	720	740	Inclusa
33	740	760	Inclusa
34	760	780	Inclusa

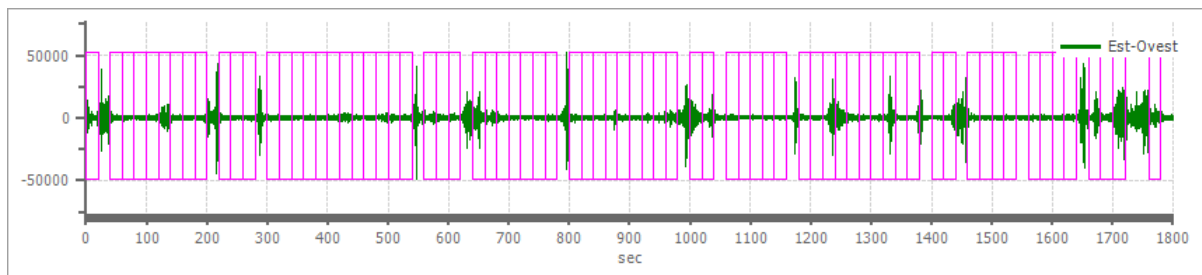


35	800	820	Inclusa
36	820	840	Inclusa
37	840	860	Inclusa
38	860	880	Inclusa
39	880	900	Inclusa
40	900	920	Inclusa
41	920	940	Inclusa
42	940	960	Inclusa
43	960	980	Inclusa
44	1000	1020	Inclusa
45	1020	1040	Inclusa
46	1060	1080	Inclusa
47	1080	1100	Inclusa
48	1100	1120	Inclusa
49	1120	1140	Inclusa
50	1140	1160	Inclusa
51	1180	1200	Inclusa
52	1200	1220	Inclusa
53	1220	1240	Inclusa
54	1240	1260	Inclusa
55	1260	1280	Inclusa
56	1280	1300	Inclusa
57	1300	1320	Inclusa
58	1320	1340	Inclusa
59	1340	1360	Inclusa
60	1360	1380	Inclusa
61	1400	1420	Inclusa
62	1420	1440	Inclusa
63	1460	1480	Inclusa
64	1480	1500	Inclusa
65	1500	1520	Inclusa
66	1520	1540	Inclusa
67	1560	1580	Inclusa
68	1580	1600	Inclusa
69	1600	1620	Inclusa
70	1620	1640	Inclusa
71	1660	1680	Inclusa
72	1680	1700	Inclusa
73	1700	1720	Inclusa
74	1760	1780	Inclusa

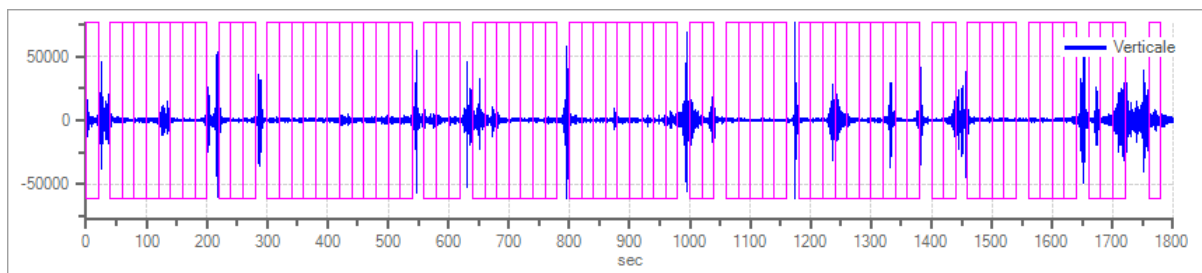
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale





## Rapporto spettrale H/V

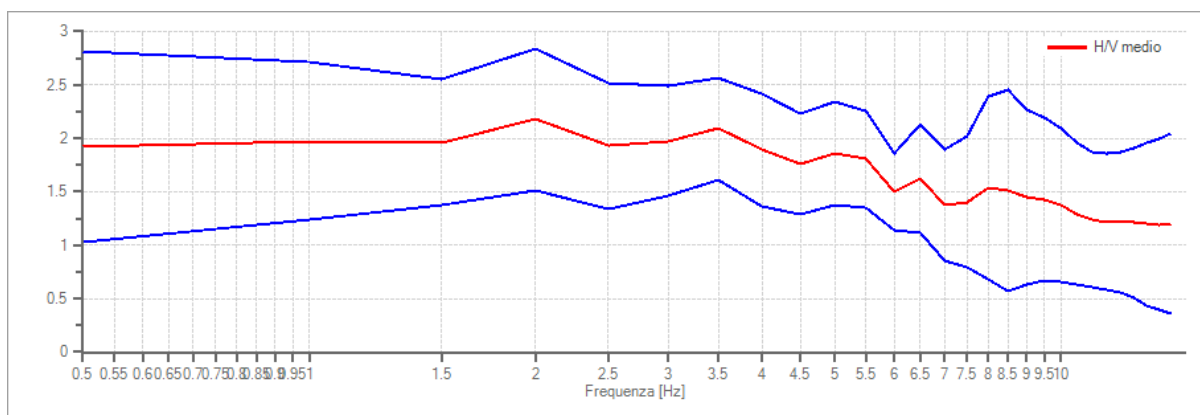
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 14.70 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.50 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.00 Hz  $\pm$  0.30 Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ .	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$ .	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok



# VERIFICA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

## DATI GENERALI

Data 16/04/2021  
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

## FALDA

Profondità falda idrica 1.4 m

## DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.12

Fattore amplificazione 0.12

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 35 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.18

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)
1	0	0.2	18.14259	18.24066	0	0	0	0
2	0.2	0.4	18.69373	18.82907	0	0	1667.157	51.97607
3	0.4	0.6	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	39.22722
4	0.6	0.8	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	58.84084
5	0.8	1	18.04452	18.14259	0	0	686.4764	32.36246
6	1	1.2	18.04452	18.14259	0	0	686.4764	39.22722
7	1.2	1.4	18.04452	18.14259	0	0	686.4764	26.47838
8	1.4	1.6	18.15436	18.24066	0	0	882.6125	26.47838
9	1.6	1.8	18.63293	18.731	0	0	1569.089	39.22722
10	1.8	2	19.31941	19.41747	0	0	1667.157	58.84084
11	2	2.2	19.31941	19.41747	0	0	1667.157	71.58968
12	2.2	2.4	19.41747	19.51554	0	0	1765.225	91.20329
13	2.4	2.6	19.22134	19.31941	0	0	1569.089	91.20329
14	2.6	2.8	19.31941	19.41747	0	0	1667.157	71.58968
15	2.8	3	19.12327	19.22134	0	0	1471.021	65.7056
16	3	3.2	18.57213	18.63293	0	0	1471.021	46.09199
17	3.2	3.4	18.38776	18.53486	0	0	1176.817	39.22722
18	3.4	3.6	18.38776	18.53486	0	0	1176.817	26.47838
19	3.6	3.8	18.44856	18.53486	0	0	1274.885	26.47838
20	3.8	4	18.26518	18.33873	0	0	980.6806	26.47838
21	4	4.2	18.26518	18.33873	0	0	980.6806	26.47838
22	4.2	4.4	18.38776	18.53486	0	0	1176.817	26.47838
23	4.4	4.6	19.0252	19.12327	0	0	1372.953	46.09199
24	4.6	4.8	18.38776	18.53486	0	0	1176.817	39.22722
25	4.8	5	18.44856	18.53486	0	0	1274.885	39.22722
26	5	5.2	18.57213	18.63293	0	0	1471.021	39.22722
27	5.2	5.4	18.44856	18.53486	0	0	1274.885	39.22722

28	5.4	5.6	14.31794	14.41601	0	0	588.4083	58.84084
29	5.6	5.8	18.63293	18.731	0	0	980.6806	51.97607
30	5.8	6	19.31941	19.41747	0	0	1667.157	71.58968
31	6	6.2	19.0252	19.51554	0	0	2353.633	91.20329
32	6.2	6.4	18.95165	19.0252	0	0	2157.497	85.31921
33	6.4	6.6	18.91537	19.0252	0	0	2059.429	98.06806
34	6.6	6.8	18.26518	18.33873	0	0	2451.701	78.45444
35	6.8	7	18.91537	19.0252	0	0	2059.429	85.31921
36	7	7.2	18.92714	19.0252	0	0	1274.885	65.7056
37	7.2	7.4	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	39.22722
38	7.4	7.6	18.63293	18.731	0	0	980.6806	39.22722
39	7.6	7.8	18.24066	18.33873	0	0	784.5445	32.36246
40	7.8	8	18.63293	18.731	0	0	980.6806	39.22722
41	8	8.2	18.731	18.82907	0	0	1078.749	39.22722
42	8.2	8.4	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	46.09199
43	8.4	8.6	18.731	18.82907	0	0	1078.749	51.97607
44	8.6	8.8	18.92714	19.0252	0	0	1274.885	65.7056
45	8.8	9	18.63293	18.731	0	0	980.6806	78.45444
46	9	9.2	18.24066	18.33873	0	0	784.5445	39.22722
47	9.2	9.4	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	39.22722
48	9.4	9.6	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	39.22722
49	9.6	9.8	18.75552	18.82907	0	0	1765.225	58.84084
50	9.8	10	18.91537	19.0252	0	0	2059.429	110.8169
51	10	10.2	18.91537	19.0252	0	0	2059.429	117.6817
52	10.2	10.4	19.20957	19.31941	0	0	2843.974	124.5464
53	10.4	10.6	19.24586	19.31941	0	0	2942.042	163.7737
54	10.6	10.8	19.20957	19.31941	0	0	2843.974	150.0441
55	10.8	11	19.09875	19.12327	0	0	2549.77	144.16
56	11	11.2	19.06247	19.12327	0	0	2451.701	117.6817
57	11.2	11.4	18.98794	19.12327	0	0	2255.565	137.2953

58	11.4	11.6	19.0252	19.12327	0	0	2353.633	104.9328
59	11.6	11.8	18.91537	19.0252	0	0	2059.429	104.9328
60	11.8	12	18.95165	19.0252	0	0	2157.497	124.5464
61	12	12.2	19.51554	19.61361	0	0	1863.293	117.6817
62	12.2	12.4	18.92714	19.0252	0	0	1274.885	98.06806
63	12.4	12.6	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	71.58968
64	12.6	12.8	18.43679	18.43679	0	0	882.6125	46.09199
65	12.8	13	19.0252	19.0252	0	0	1372.953	51.97607
66	13	13.2	18.731	18.82907	0	0	1078.749	51.97607
67	13.2	13.4	18.731	18.82907	0	0	1078.749	65.7056
68	13.4	13.6	18.731	18.82907	0	0	1078.749	51.97607
69	13.6	13.8	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	58.84084
70	13.8	14	18.43679	18.53486	0	0	882.6125	46.09199
71	14	14.2	18.82907	18.92714	0	0	1176.817	51.97607
72	14.2	14.4	19.12327	19.22134	0	0	1471.021	51.97607
73	14.4	14.6	18.92714	19.0252	0	0	1274.885	91.20329
74	14.6	14.8	18.92714	19.0252	0	0	1274.885	98.06806
75	14.8	15	19.12327	19.22134	0	0	1471.021	65.7056

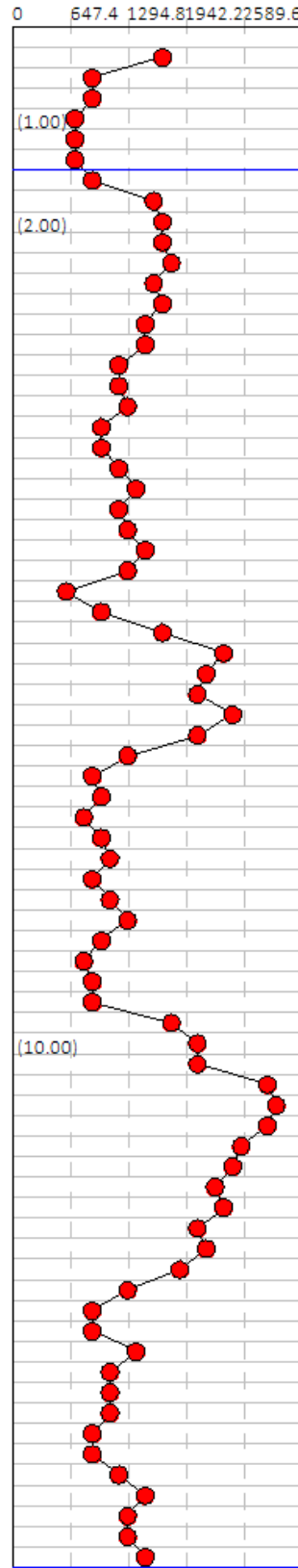
16/04/2021

In calcola Robertson Wide modificato & Idriss Boulanger

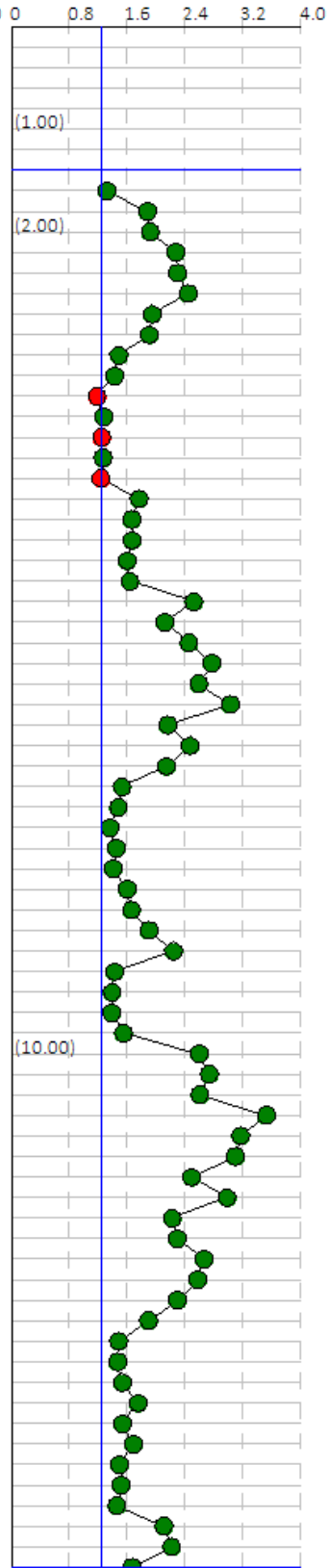
### Colonna stratigrafica

1	0.0	
2	0.4	
3	0.6	
4	0.8	
5	1.0	
6	1.2	
7	1.4	1.4
8	1.6	
9	1.8	
10	2.0	
11	2.2	
12	2.4	
13	2.6	
14	2.8	
15	3.0	
16	3.2	
17	3.4	
18	3.6	
19	3.8	
20	4.0	
21	4.2	
22	4.4	
23	4.6	
24	4.8	
25	5.0	
26	5.2	
27	5.4	
28	5.6	
29	5.8	
30	6.0	
31	6.2	
32	6.4	
33	6.6	
34	6.8	
35	7.0	
36	7.2	
37	7.4	
38	7.6	
39	7.8	
40	8.0	
41	8.2	
42	8.4	
43	8.6	
44	8.8	
45	9.0	
46	9.2	
47	9.4	
48	9.6	
49	9.8	
50	10.0	
51	10.2	
52	10.4	
53	10.6	
54	10.8	
55	11.0	
56	11.2	
57	11.4	
58	11.6	
59	11.8	
60	12.0	
61	12.2	
62	12.4	
63	12.6	
64	12.8	
65	13.0	
66	13.2	
67	13.4	
68	13.6	
69	13.8	
70	14.0	
71	14.2	
72	14.4	
73	14.6	
74	14.8	
75	15.0	

Qc (kPa)



Fattore di sicurezza Fs



Robertson Wride, 1998

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.77

Nr.	Prof dal p.c. (m)	Pressi litost totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resist punta norm Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficient e riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficient e di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	1.60	29.217	27.255	31.311	3.103	2.613	1.7	51.127	0.988	0.092	0.070	1.320	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
2	1.80	32.963	29.040	29.117	2.554	2.583	1.7	85.980	0.986	0.139	0.074	1.880	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
3	2.00	36.847	30.963	40.165	3.609	2.577	1.7	90.401	0.985	0.149	0.077	1.920	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
4	2.20	40.730	32.885	38.391	4.402	2.651	1.7	103.601	0.983	0.183	0.081	2.278	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
5	2.40	44.633	34.826	49.405	5.301	2.634	1.7	106.180	0.982	0.191	0.083	2.301	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
6	2.60	48.497	36.729	41.400	5.998	2.725	1.7	111.543	0.980	0.209	0.086	2.444	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7	2.80	52.381	38.651	41.778	4.433	2.627	1.7	99.176	0.979	0.171	0.088	1.947	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8	3.00	56.225	40.534	34.904	4.644	2.697	1.7	99.401	0.977	0.171	0.090	1.912	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9	3.20	59.951	42.299	33.359	3.266	2.607	1.7	84.288	0.976	0.136	0.091	1.485	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
10	3.40	63.658	44.045	25.273	3.524	2.720	1.7	82.845	0.974	0.133	0.093	1.428	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
11	3.60	67.365	45.791	24.229	2.387	2.627	1.7	69.988	0.972	0.112	0.095	1.183	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12	3.80	71.072	47.536	22.269	2.200	2.635	1.7	76.943	0.971	0.122	0.096	1.275	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
13	4.00	74.740	49.243	18.397	2.923	2.776	1.7	76.391	0.969	0.121	0.097	1.249	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14	4.20	78.408	50.949	17.709	2.935	2.790	1.7	78.358	0.968	0.125	0.098	1.267	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
15	4.40	82.115	52.695	20.774	2.419	2.684	1.7	77.667	0.966	0.124	0.100	1.241	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso



16	4.60	85.939	54.558	23.590	3.581	2.747	1.7	101.552	0.965	0.177	0.100	1.766	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
17	4.80	89.646	56.304	19.309	3.608	2.816	1.7	98.461	0.963	0.169	0.101	1.665	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
18	5.00	93.353	58.049	20.354	3.320	2.775	1.7	99.245	0.962	0.171	0.102	1.672	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
19	5.20	97.080	59.815	22.970	2.855	2.693	1.671831	97.117	0.960	0.165	0.103	1.603	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
20	5.40	100.787	61.560	19.072	3.341	2.799	1.624424	98.937	0.959	0.170	0.104	1.639	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
21	5.60	103.670	62.482	7.758	12.139	3.459	1.600457	125.760	0.957	0.265	0.105	2.524	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
22	5.80	107.416	64.267	13.588	5.952	3.072	1.556008	115.756	0.956	0.224	0.106	2.124	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
23	6.00	111.300	66.189	23.506	4.601	2.820	1.51082	124.768	0.954	0.261	0.106	2.457	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
24	6.20	115.203	68.131	32.855	4.074	2.677	1.467761	132.310	0.953	0.295	0.106	2.774	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
25	6.40	119.008	69.975	29.132	4.185	2.723	1.429088	128.458	0.951	0.277	0.107	2.592	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
26	6.60	122.813	71.818	26.965	5.064	2.804	1.392401	138.149	0.950	0.325	0.107	3.030	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
27	6.80	126.481	73.525	31.625	3.374	2.634	1.360085	118.043	0.948	0.233	0.108	2.161	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
28	7.00	130.286	75.369	25.596	4.423	2.781	1.326814	126.294	0.946	0.267	0.108	2.472	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
29	7.20	134.091	77.212	14.775	5.760	3.035	1.295132	118.019	0.945	0.233	0.108	2.147	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
30	7.40	137.798	78.958	9.433	5.267	3.162	1.266498	97.540	0.943	0.166	0.109	1.528	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
31	7.60	141.544	80.743	10.393	4.675	3.097	1.238501	95.775	0.942	0.162	0.109	1.481	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
32	7.80	145.212	82.449	7.754	5.062	3.219	1.212868	90.554	0.940	0.149	0.109	1.361	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
33	8.00	148.958	84.234	9.874	4.716	3.117	1.187168	94.741	0.939	0.159	0.110	1.450	Terreno non suscettibile di	0	Molto basso

													liquefazione		
34	8.20	152.724	86.039	10.763	4.236	3.059	1.16227	93.043	0.937	0.155	0.110	1.408	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
35	8.40	156.431	87.784	8.272	6.347	3.257	1.139158	101.164	0.936	0.176	0.110	1.599	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
36	8.60	160.197	89.589	10.253	5.658	3.153	1.116213	103.610	0.934	0.183	0.110	1.661	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
37	8.80	164.002	91.432	12.150	5.915	3.108	1.093705	111.879	0.933	0.210	0.111	1.901	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
38	9.00	167.748	93.217	8.721	9.651	3.355	1.072763	121.931	0.931	0.249	0.111	2.244	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
39	9.20	171.416	94.924	6.459	6.398	3.344	1.053478	94.226	0.928	0.158	0.111	1.424	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
40	9.40	175.123	96.669	7.319	5.545	3.263	1.034455	92.702	0.923	0.154	0.111	1.394	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
41	9.60	178.830	98.415	7.151	5.574	3.272	1.016106	92.316	0.918	0.153	0.110	1.389	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
42	9.80	182.595	100.219	15.792	3.718	2.892	0.9978107	99.041	0.912	0.170	0.110	1.550	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
43	10.00	186.400	102.063	18.352	5.916	2.973	0.9797858	130.022	0.907	0.284	0.110	2.597	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
44	10.20	190.205	103.907	17.989	6.296	2.997	0.9624006	133.031	0.902	0.299	0.109	2.740	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
45	10.40	194.069	105.809	25.044	4.700	2.805	0.9450958	129.833	0.896	0.284	0.109	2.609	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
46	10.60	197.933	107.712	25.476	5.968	2.871	0.9284022	148.052	0.891	0.382	0.108	3.527	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
47	10.80	201.797	109.615	24.104	5.679	2.874	0.9122882	141.234	0.886	0.342	0.108	3.173	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
48	11.00	205.622	111.478	21.028	6.150	2.940	0.8970395	139.629	0.880	0.333	0.107	3.104	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
49	11.20	209.446	113.341	19.783	5.248	2.914	0.8822923	126.153	0.875	0.267	0.107	2.495	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
50	11.40	213.271	115.204	17.728	6.723	3.021	0.8680221	136.690	0.870	0.318	0.106	2.983	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
51	11.60	217.096	117.068	18.250	4.911	2.921	0.8542061	118.718	0.864	0.236	0.106	2.224	Terreno non	0	Molto basso

													suscettibile di liquefazione		
52	11.80	220.901	118.912	15.461	5.707	3.018	0.8409617	120.303	0.859	0.242	0.105	2.293	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
53	12.00	224.706	120.755	16.006	6.444	3.042	0.8281218	128.966	0.854	0.279	0.105	2.662	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
54	12.20	228.628	122.717	13.321	7.199	3.133	0.8148859	126.763	0.848	0.269	0.104	2.579	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
55	12.40	232.433	124.560	8.369	9.407	3.362	0.8028241	119.664	0.843	0.239	0.104	2.302	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
56	12.60	236.140	126.306	5.118	11.074	3.571	0.7917284	107.746	0.838	0.196	0.104	1.897	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
57	12.80	239.828	128.032	5.021	7.171	3.461	0.781055	92.234	0.832	0.153	0.103	1.484	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
58	13.00	243.633	129.876	8.695	4.602	3.154	0.7699673	91.211	0.827	0.151	0.103	1.468	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
59	13.20	247.399	131.680	6.313	6.252	3.345	0.7594159	93.639	0.822	0.156	0.102	1.532	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
60	13.40	251.164	133.485	6.200	7.939	3.415	0.74915	101.708	0.816	0.178	0.102	1.752	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
61	13.60	254.930	135.289	6.089	6.309	3.360	0.7391579	93.063	0.811	0.155	0.101	1.534	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
62	13.80	258.637	137.035	4.553	9.430	3.567	0.7297419	98.819	0.806	0.170	0.101	1.689	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
63	14.00	262.344	138.780	4.469	7.431	3.510	0.7205629	90.821	0.800	0.150	0.100	1.497	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
64	14.20	266.130	140.605	6.477	5.707	3.313	0.7112148	91.349	0.795	0.151	0.099	1.517	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
65	14.40	269.974	142.487	8.429	4.328	3.149	0.7018163	88.394	0.790	0.144	0.099	1.458	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
66	14.60	273.779	144.331	6.936	9.110	3.415	0.6928511	111.127	0.784	0.208	0.098	2.111	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
67	14.80	277.584	146.175	6.823	9.833	3.442	0.6841123	113.756	0.779	0.217	0.098	2.218	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso