



InG SOLUTION

Ingegneria e Geologia

Via Venezia 77c/o Galleria Aringhieri 56038 Ponsacco PI
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
 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 m² (destinazione d'uso res. esistente 250 m²)

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.

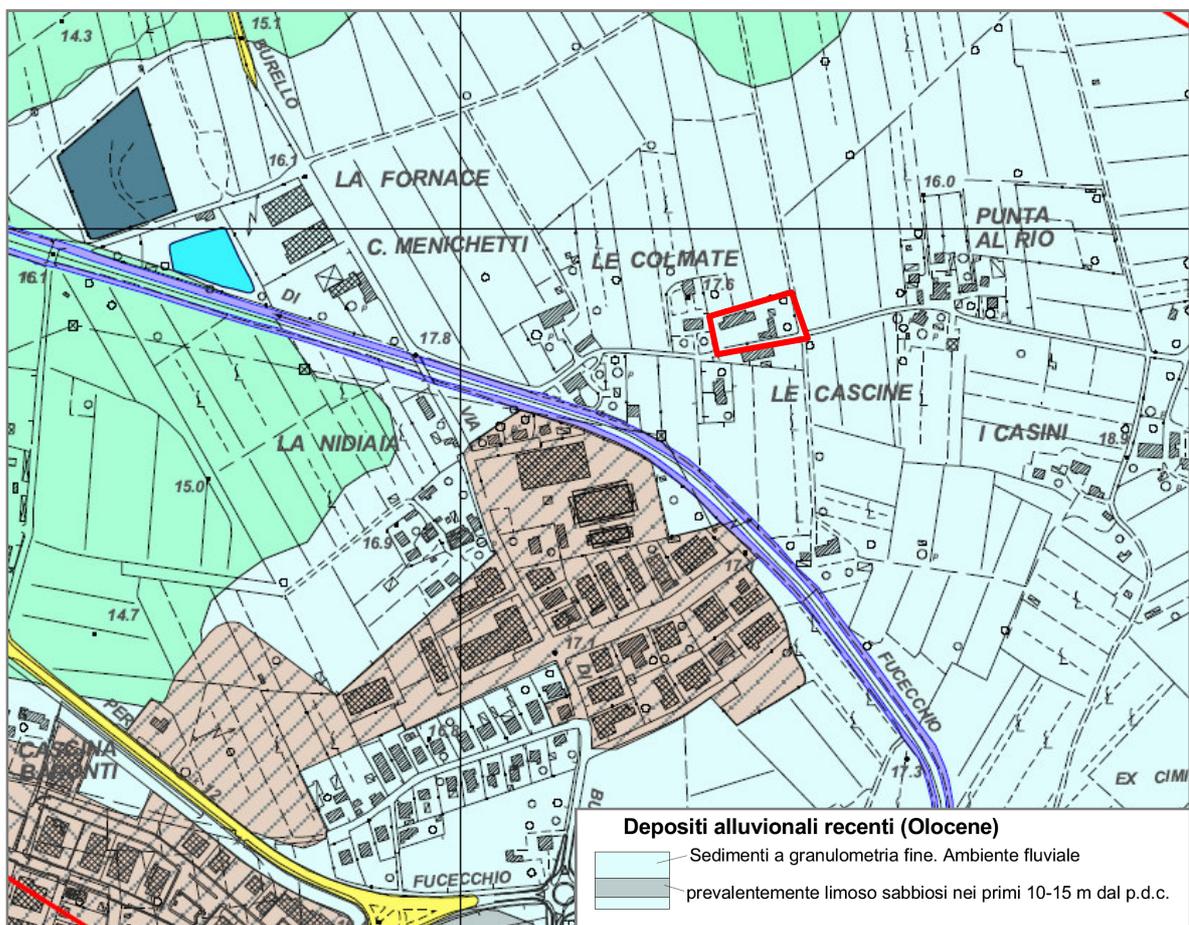


Figura 2: Estratto Carta Geologica di supporto al P.S. Comune di Fucecchio (FI)

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 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.**

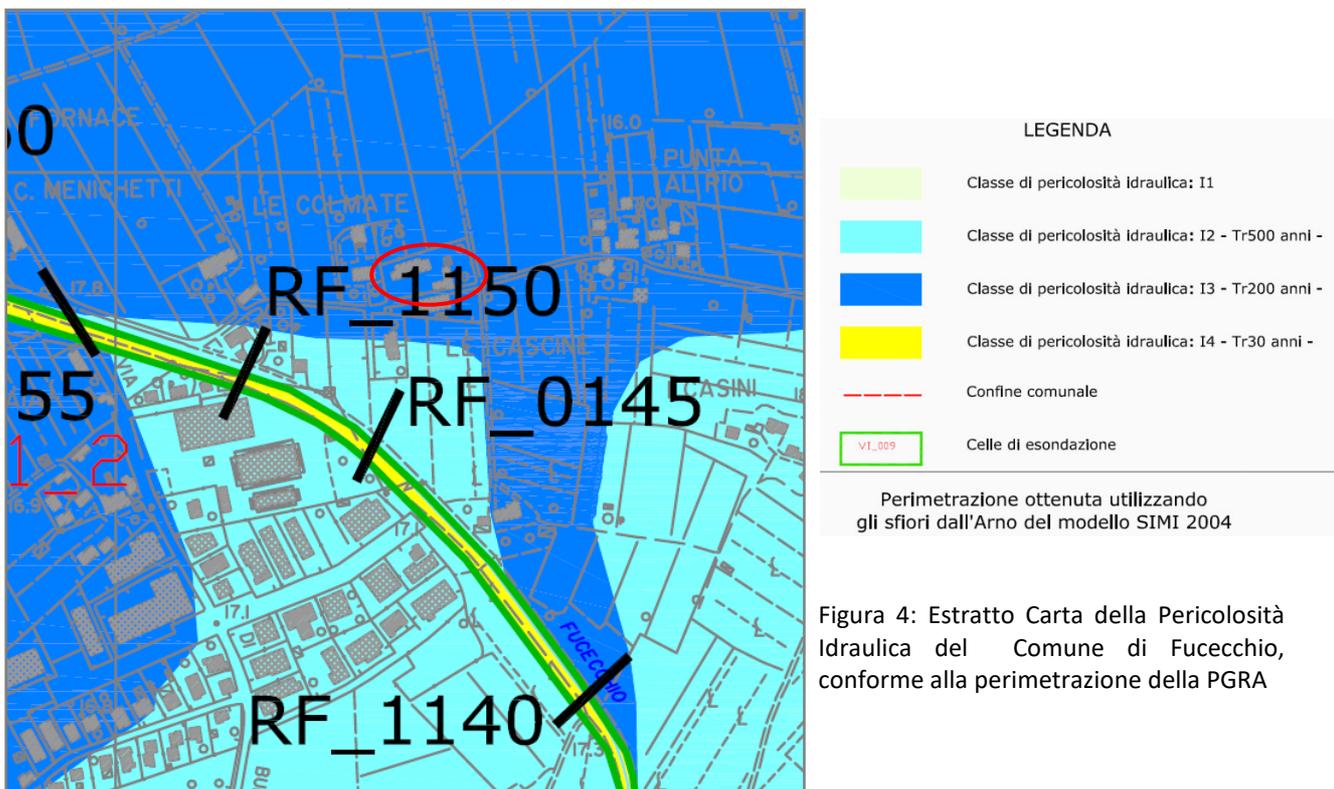


Figura 4: Estratto Carta della Pericolosità Idraulica del Comune di Fucecchio, conforme alla perimetrazione della PGRA

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**.

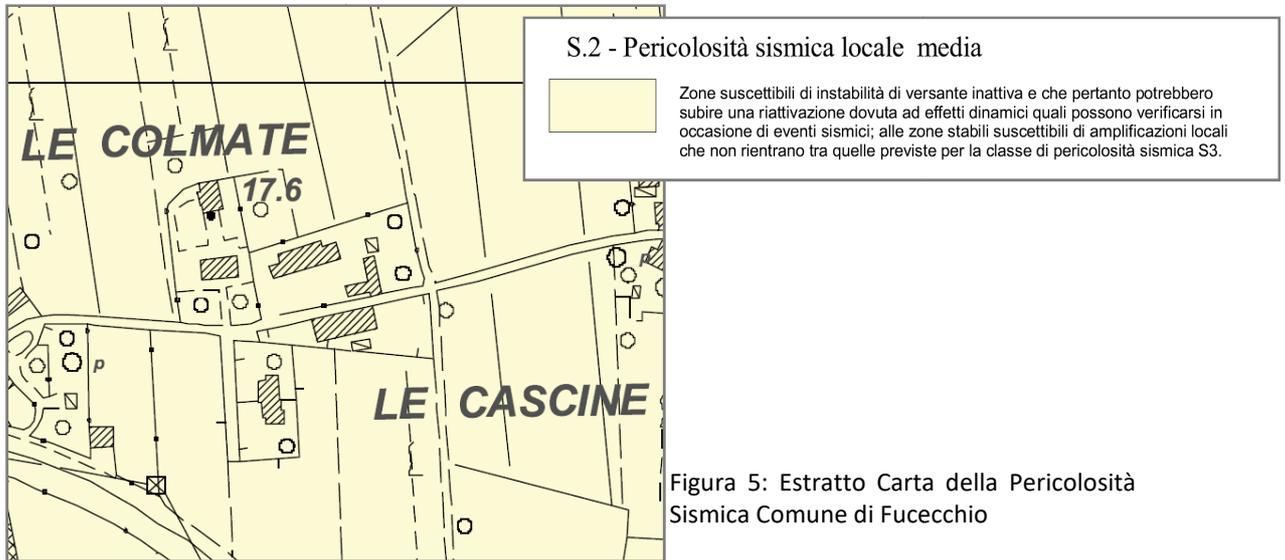


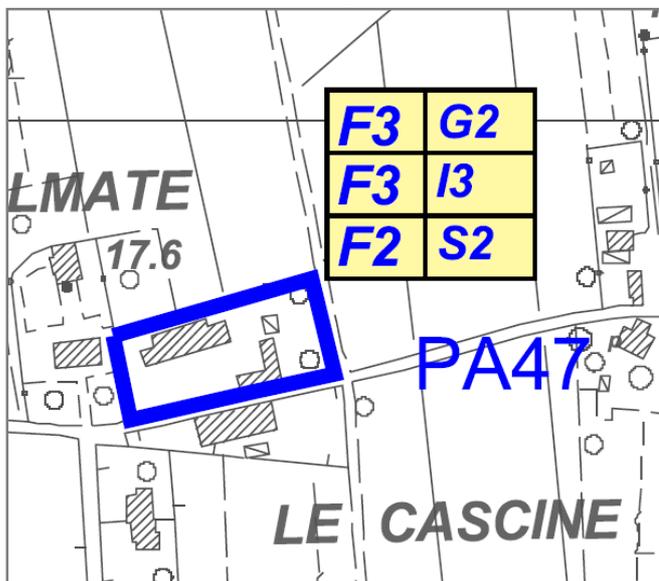
Figura 5: Estratto Carta della Pericolosità Sismica Comune di Fucecchio

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

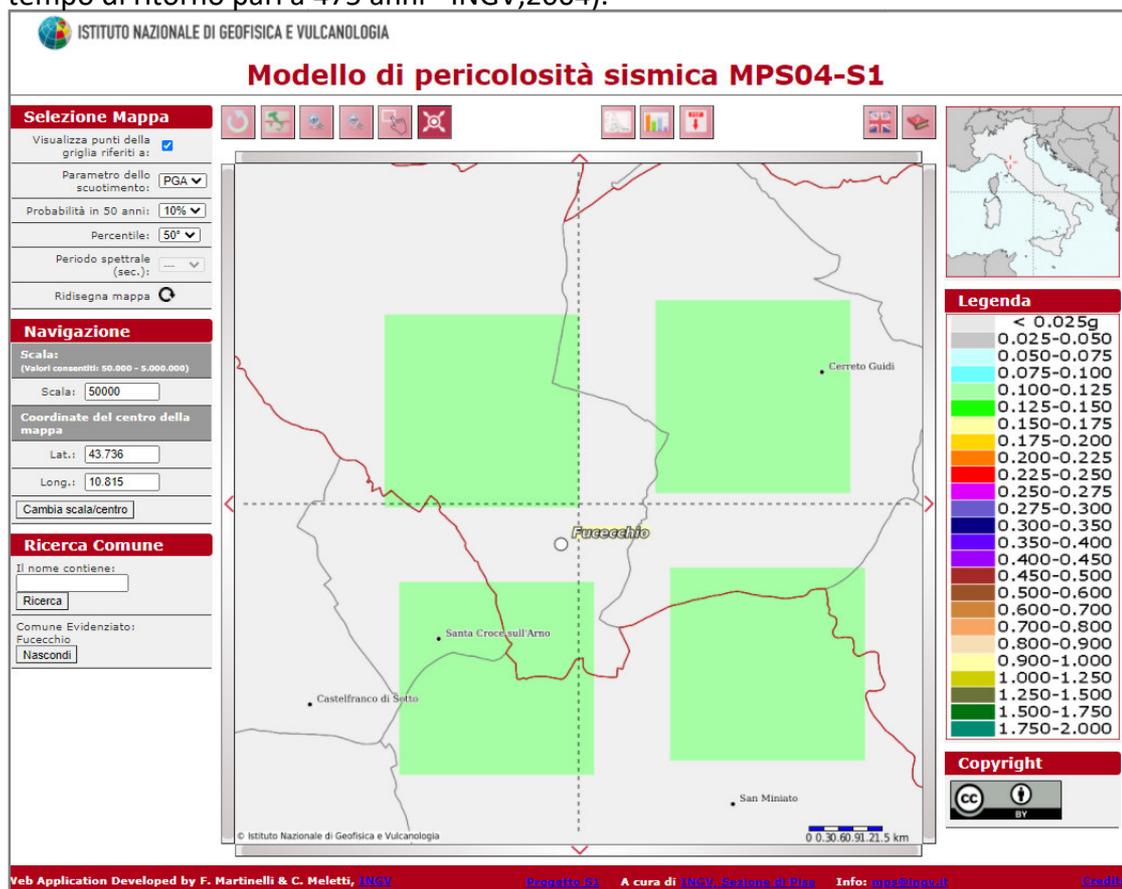
Con l'entrata in vigore del *D.M.14/01/2008* e aggiornamenti successivi (**NTC18**), di seguito nominato NTC, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente". In pratica non si progetta stimando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

F₀= 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

F₀ 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 |
|-------------------------|-------------------|--------------------|----------|
| Sito 1 ID: 20052 | 43,753810 | 10,790690 | 1629,66 |
| Sito 2 ID: 20053 | 43,755370 | 10,859850 | 4566,66 |
| Sito 3 ID: 20275 | 43,705400 | 10,862010 | 6232,74 |
| Sito 4 ID: 20274 | 43,703830 | 10,792950 | 4541,56 |

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

dove:

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

 a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito. Il valore di a_g è dipendente dalle coordinate che identificano il sito su cui dovrà insistere la costruzione

 F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale. Il valore di F_o 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)

| Profondità da p.c(m) | Spessore(m) | Velocità onde Sh(m/s) |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------|
| 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 - | ∞ | 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

saturatione 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 ξ : 5%
- Fattore di Alterazione dello Spettro Elastico: 1,000
- Categoria di Sottosuolo: C
- Categoria Topografica: T1

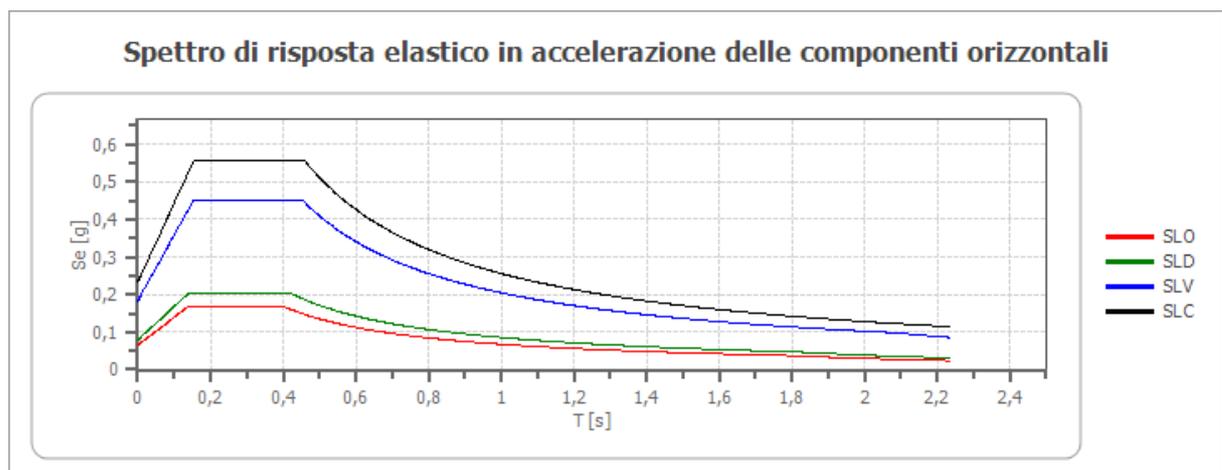
COEFFICIENTI SISMICI STABILITÀ DI PENDII E FONDAZIONI:

| 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 ²) | 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 | η | TB | TC | TD | Se (0) | Se(TB) |
|------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------|--------|
| SLO | 1,0 | 0,043 | 0,242 | 1,500 | 1,680 | 1,000 | 1,500 | 1 | 0,136 | 0,407 | 1,773 | 0,065 | 0,166 |
| SLD | 1,0 | 0,053 | 0,255 | 1,500 | 1,650 | 1,000 | 1,500 | 1 | 0,140 | 0,420 | 1,811 | 0,079 | 0,204 |
| SLV | 1,0 | 0,122 | 0,288 | 1,500 | 1,580 | 1,000 | 1,500 | 1 | 0,152 | 0,456 | 2,088 | 0,183 | 0,449 |
| SLC | 1,0 | 0,158 | 0,293 | 1,470 | 1,570 | 1,000 | 1,470 | 1 | 0,153 | 0,460 | 2,231 | 0,232 | 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 $(N1)_{60}$ e il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} e 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 é 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.

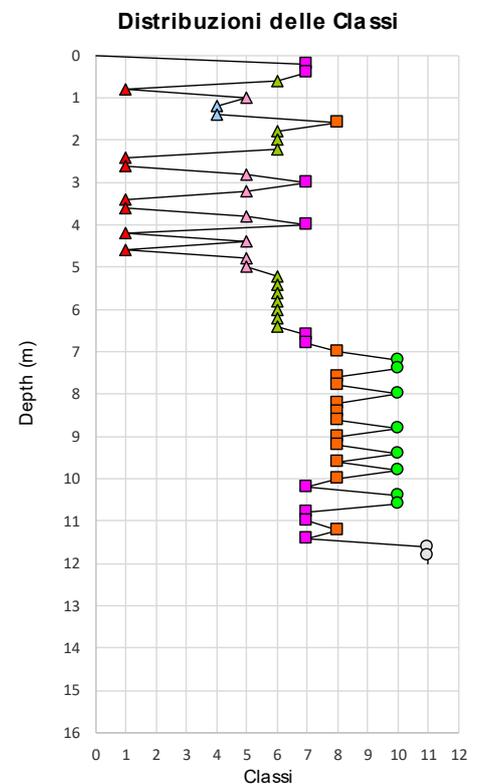
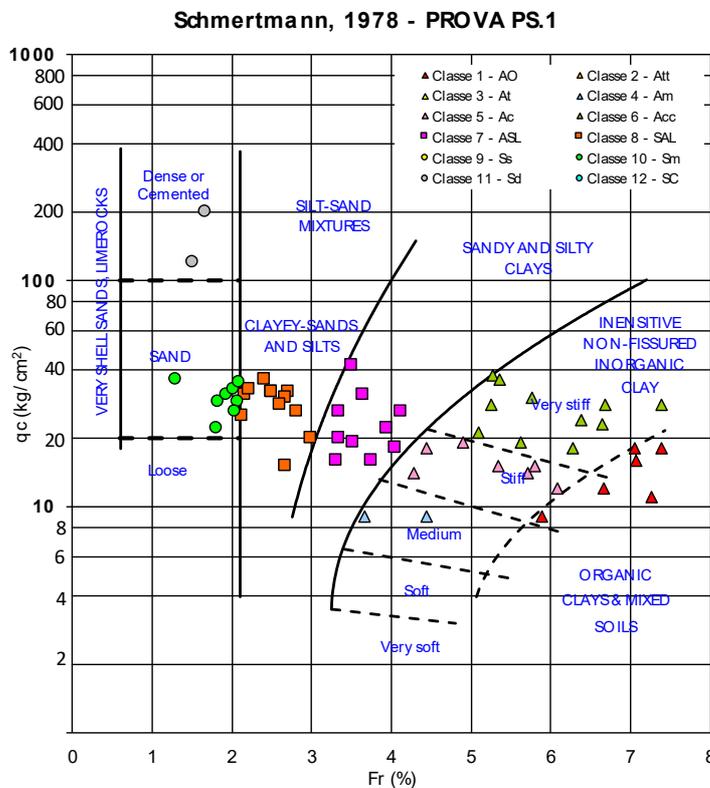
CPT 1

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 - Att - 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 |

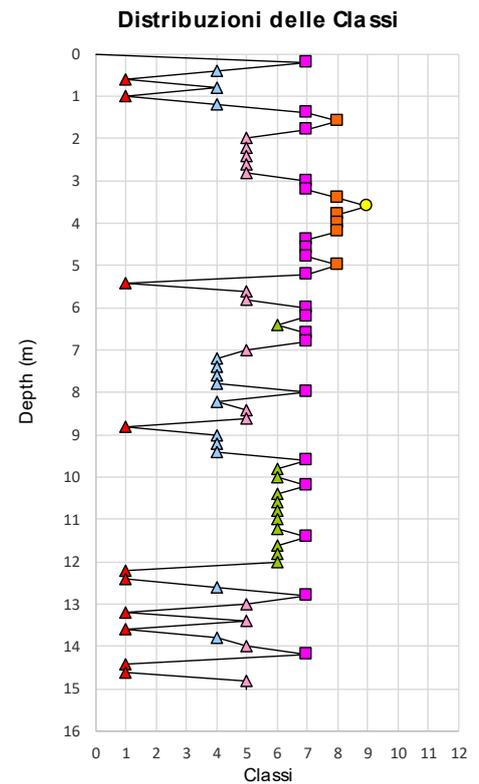
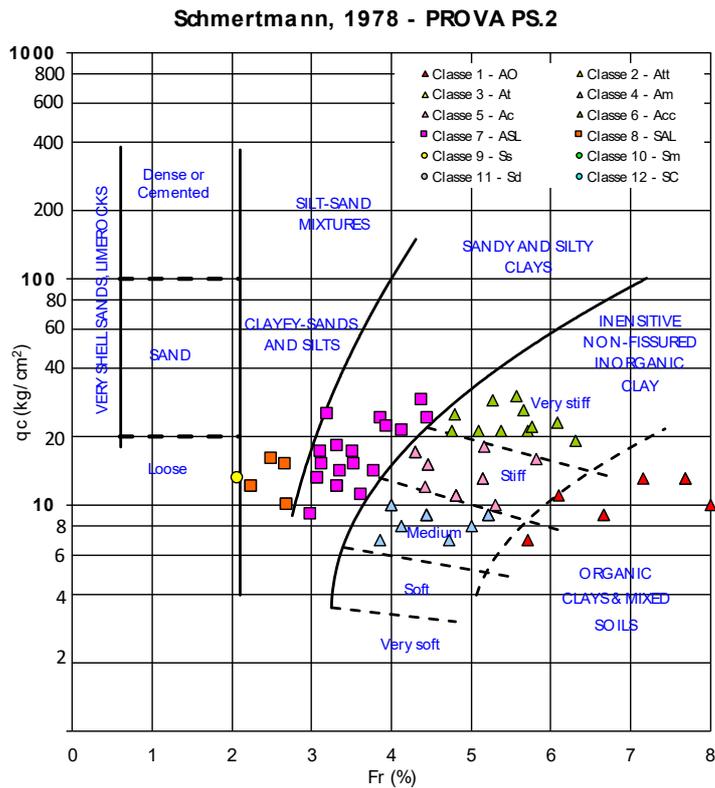
CPT 2

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

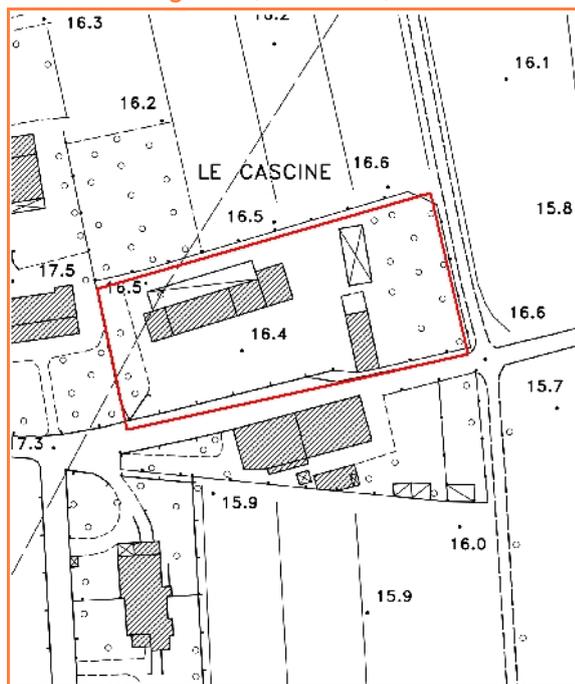
Ordine dei Geologi della Toscana n° 1745

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:

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

Fattibilità e pericolosità:

| | Pericolosità PAI | Pericolosità 53/R | Fattibilità |
|------------------|------------------|-------------------|-------------|
| Geologica | | G2 | F3 |
| Idraulica | | I3 | F3 |
| Sismica | | 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 aggravamenti 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 T_r 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 (TOMOGRAFIA 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 (TOMOGRAFIA 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 (ϕ), 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 μ s;
- Noise: 0,25 μ s, 2ms 36dB;

Per la stesa sismica a rifrazione, l'attrezzatura è completata da due cavi sismici a 12 takes out spaziatati 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.

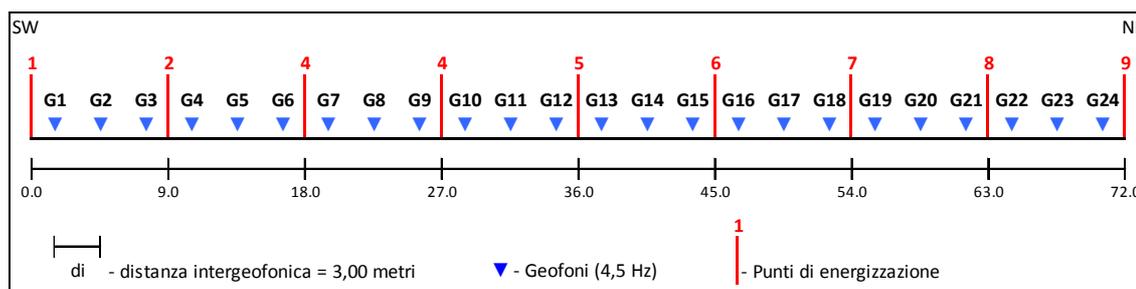
3.2 - Configurazione e risultati della prospezione sismica

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 |

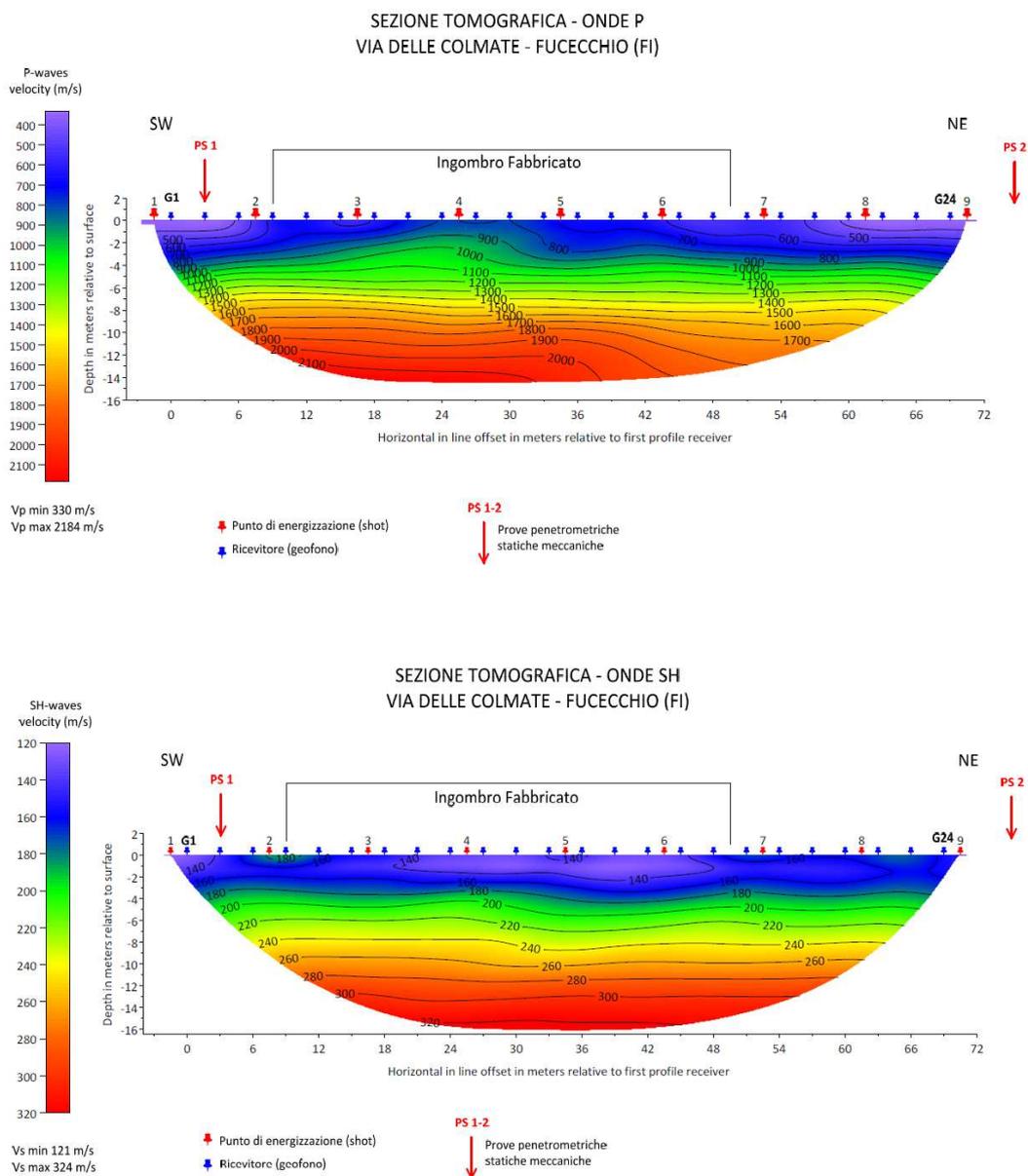
NOTE: D.I. - Distanza intergeofonica

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 sparso, 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 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):

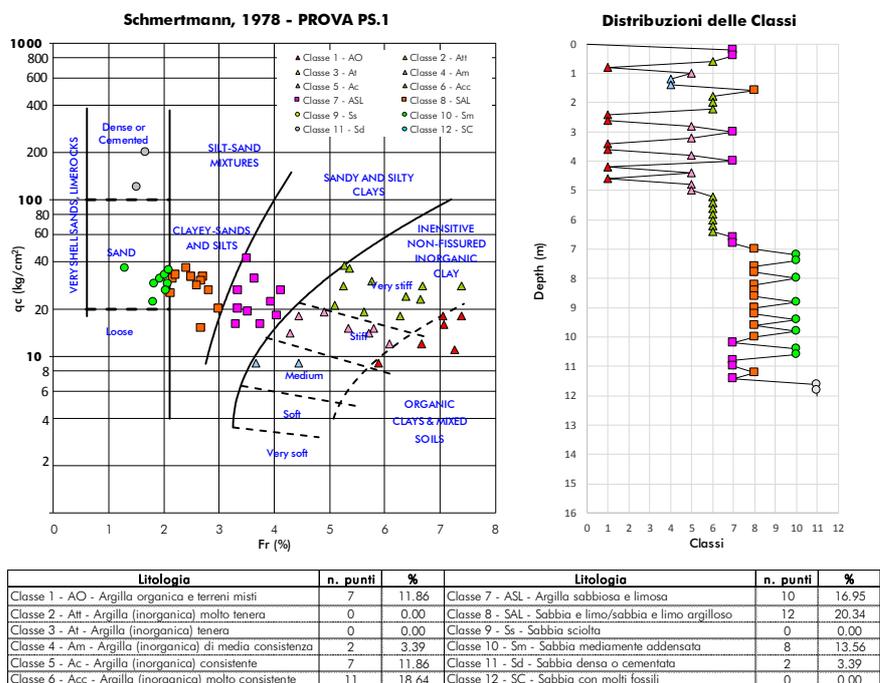


Figura a: Prova statica PS.1 - Natura litologica (Schmertmann 1978)

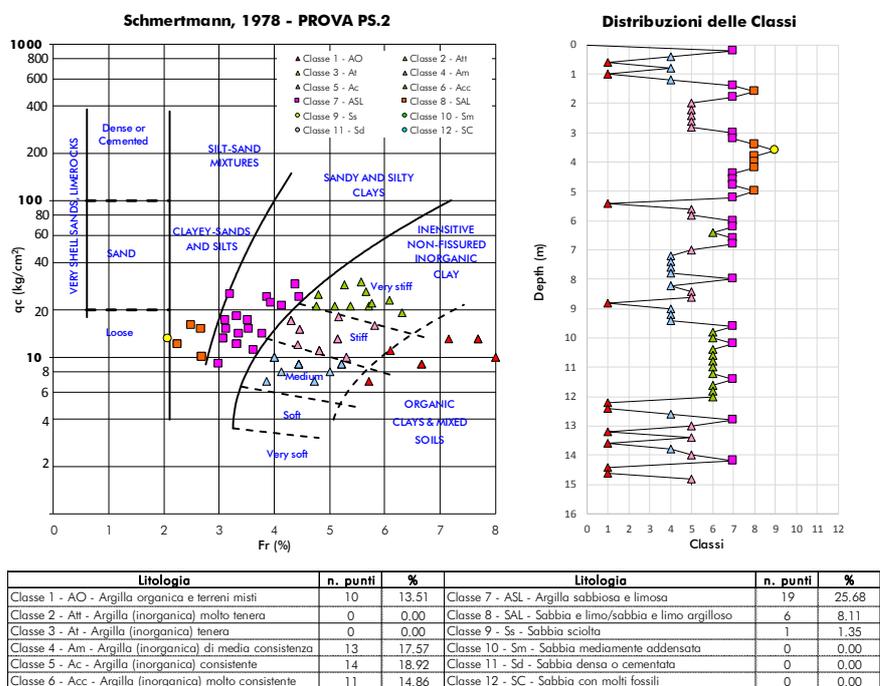


Figura b: Prova statica PS.2 - Natura litologica (Schmertmann 1978)

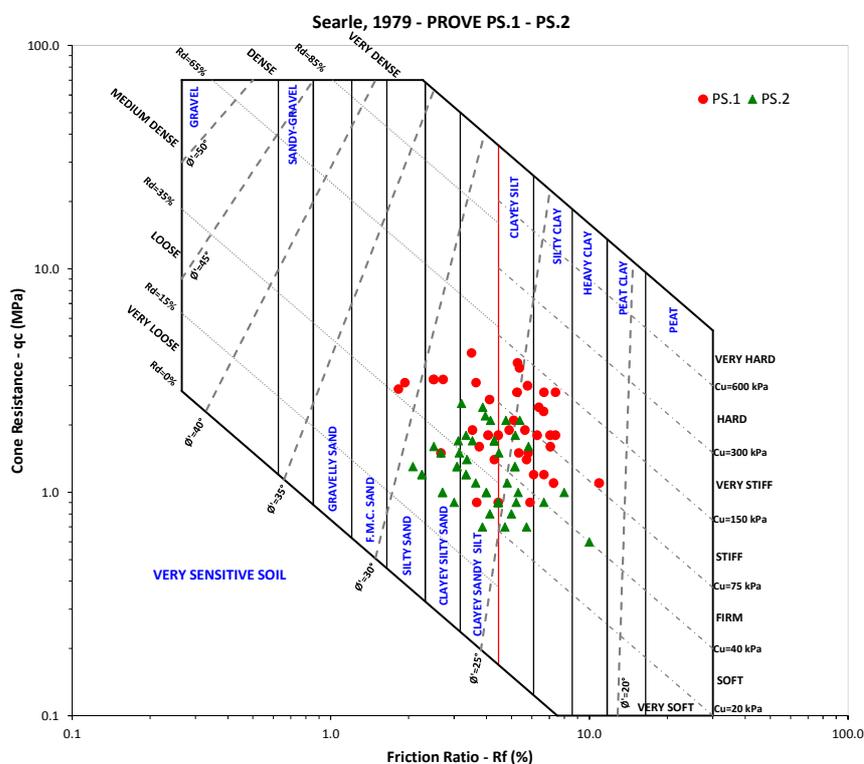


Figura c: Prove statiche PS.1 e PS.2 - Natura litologica (Searle 1979)

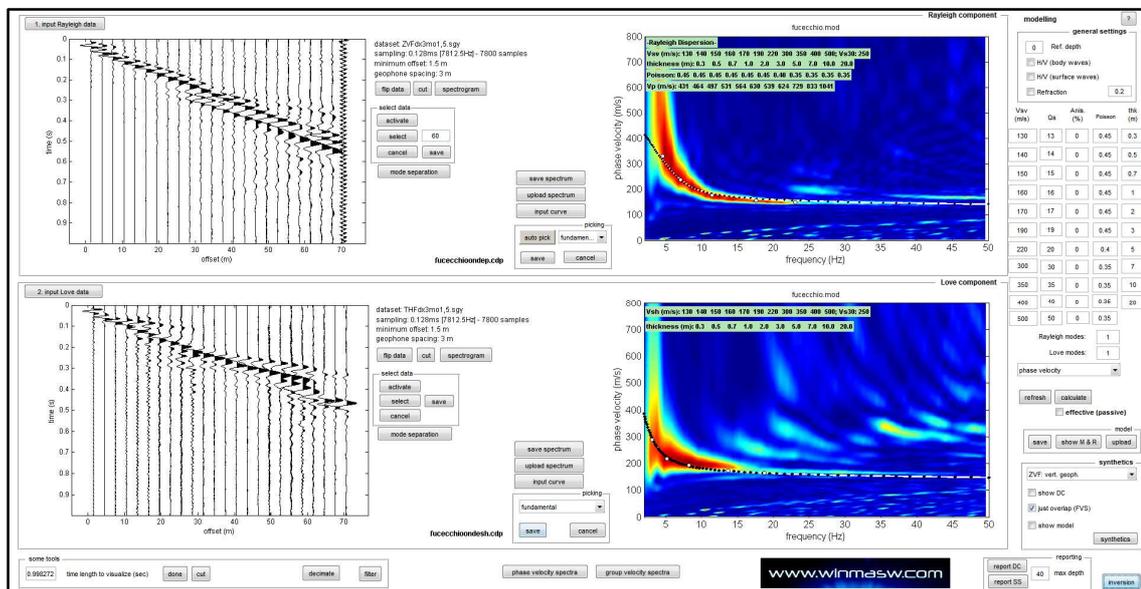
La stessa sismica a rifrazione in onde P/SH ha caratterizzato i terreni da un punto di vista sismico, ampliando la profondità d'indagine ed ha permesso di ricostruire l'assetto dei sismostrati individuati, evidenziando per l'area oggetto di studio una geometria sepolta abbastanza regolare (piano-parallela).

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

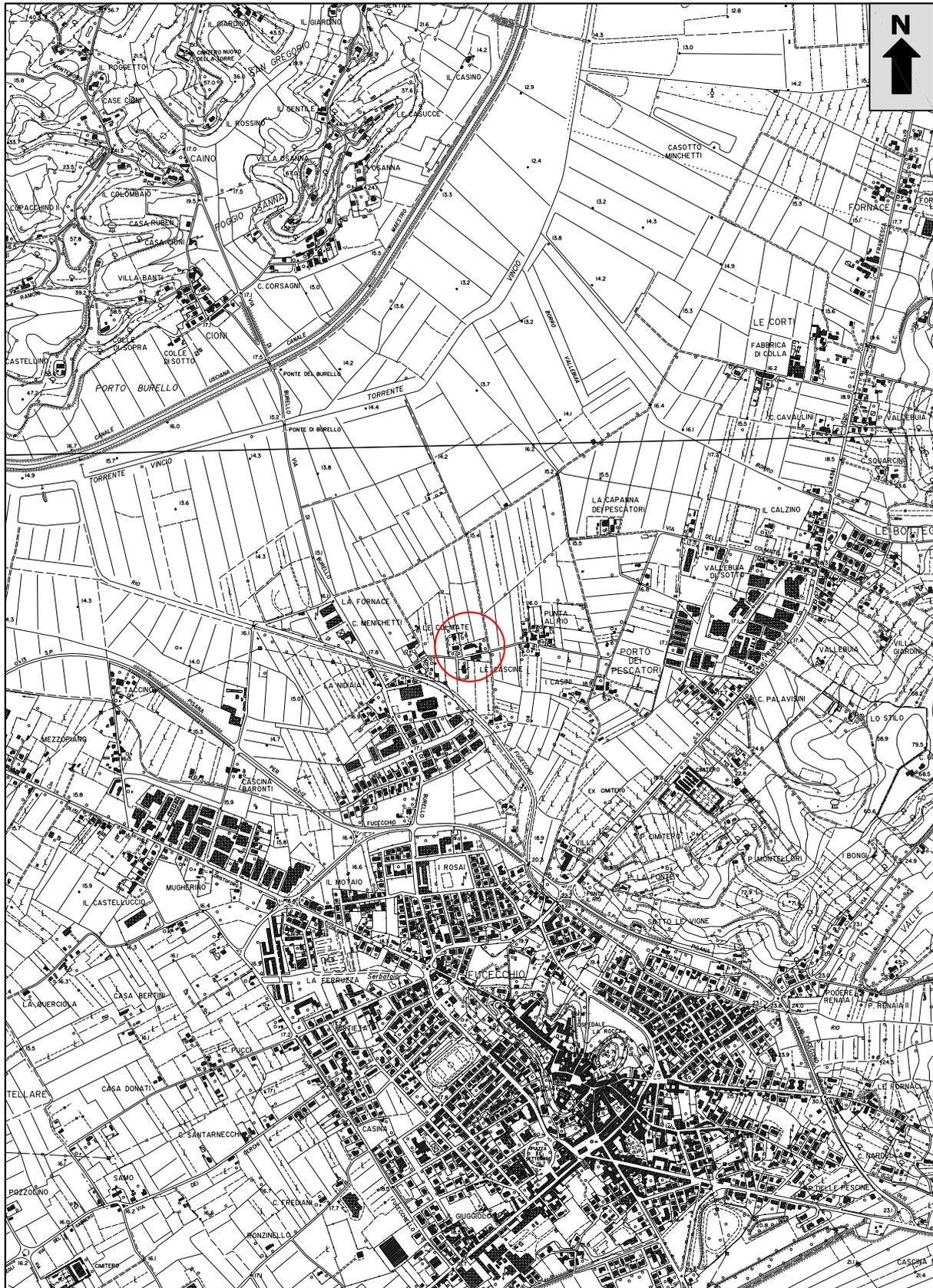
BIERREGI srl
Il Responsabile Tecnico
Dott. Geol. Francesco Rossi

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



FIG.1 - COROGRAFIA

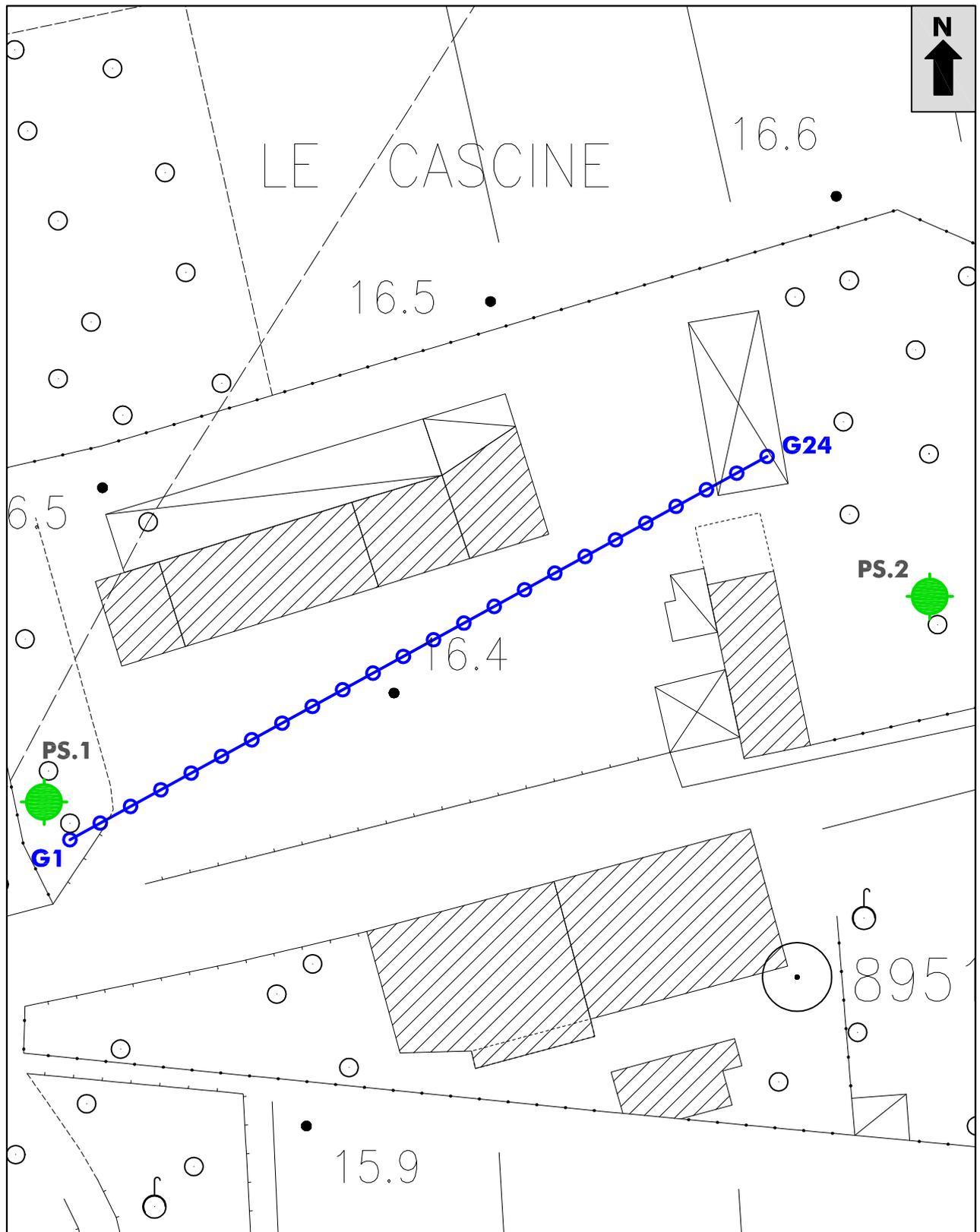
(C.T.R. Regione Toscana - Foglio 274060 - Scala 1:20'000)



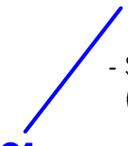
 - Aree oggetto d'indagine

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 $S \text{ (Kg)}$, 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/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 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:

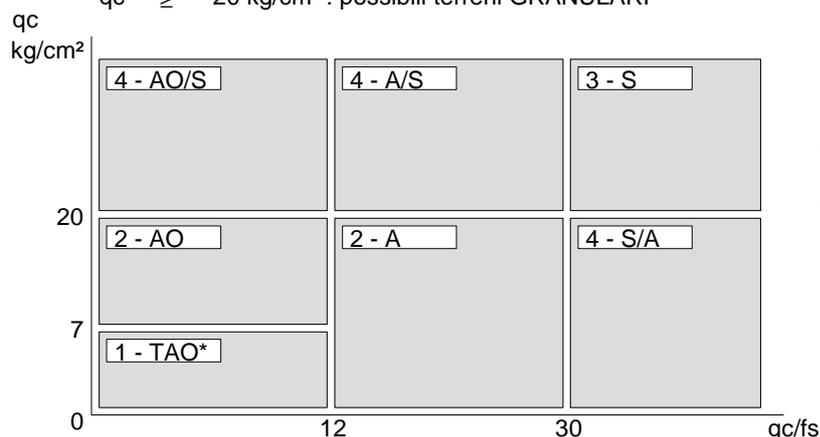
- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
 (Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{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 - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- \emptyset' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : \emptyset' - D_r - q_c - σ'_{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

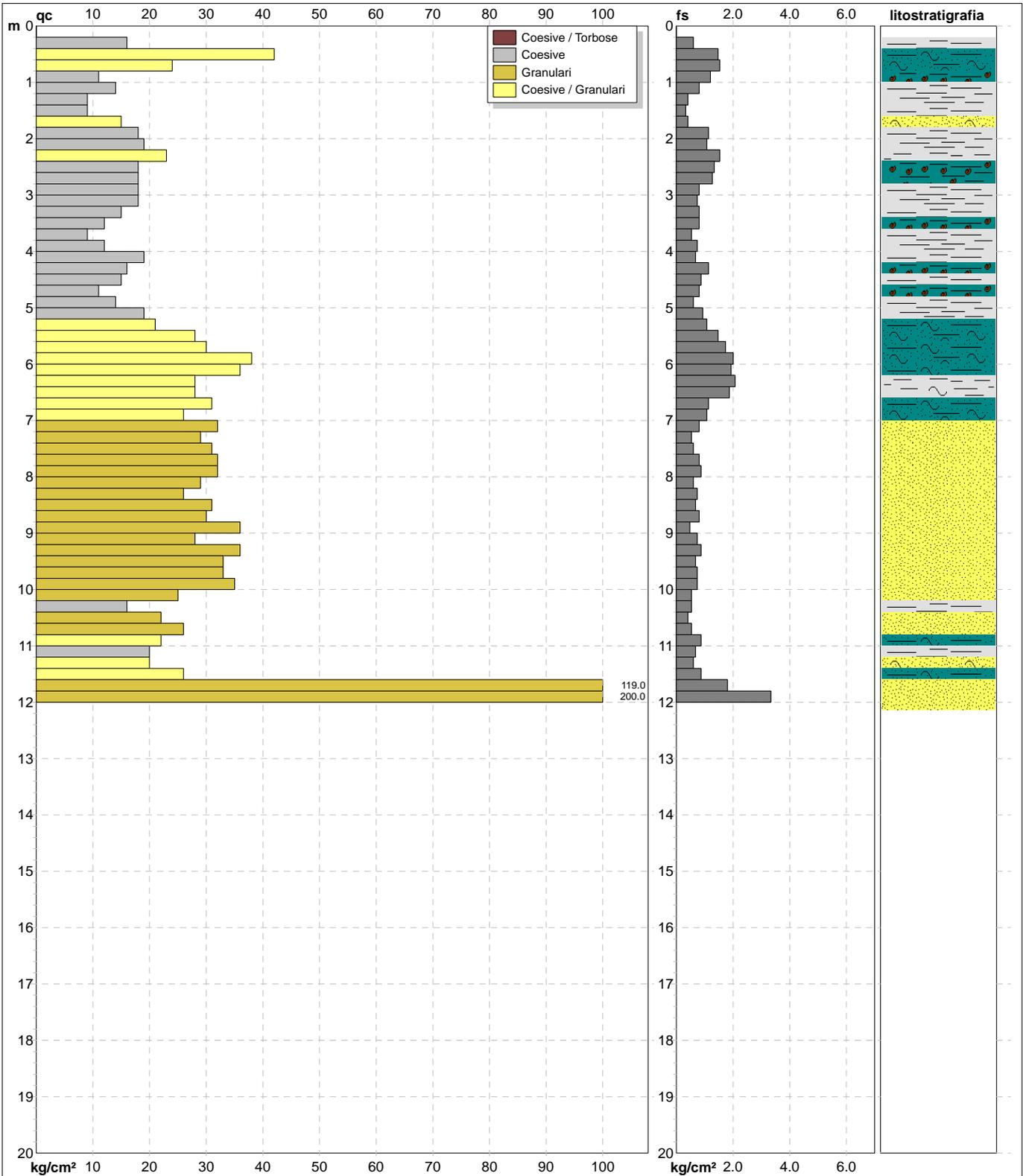
DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

| | |
|----------------|----------------|
| CPT | PS.1 |
| riferimento | 210407A |
| certificato n° | CPT054/21 |

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

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data eseg.: **09/04/2021**
 Data certificato: **09/04/2021**
 Quota inizio: **piano campagna**
 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:

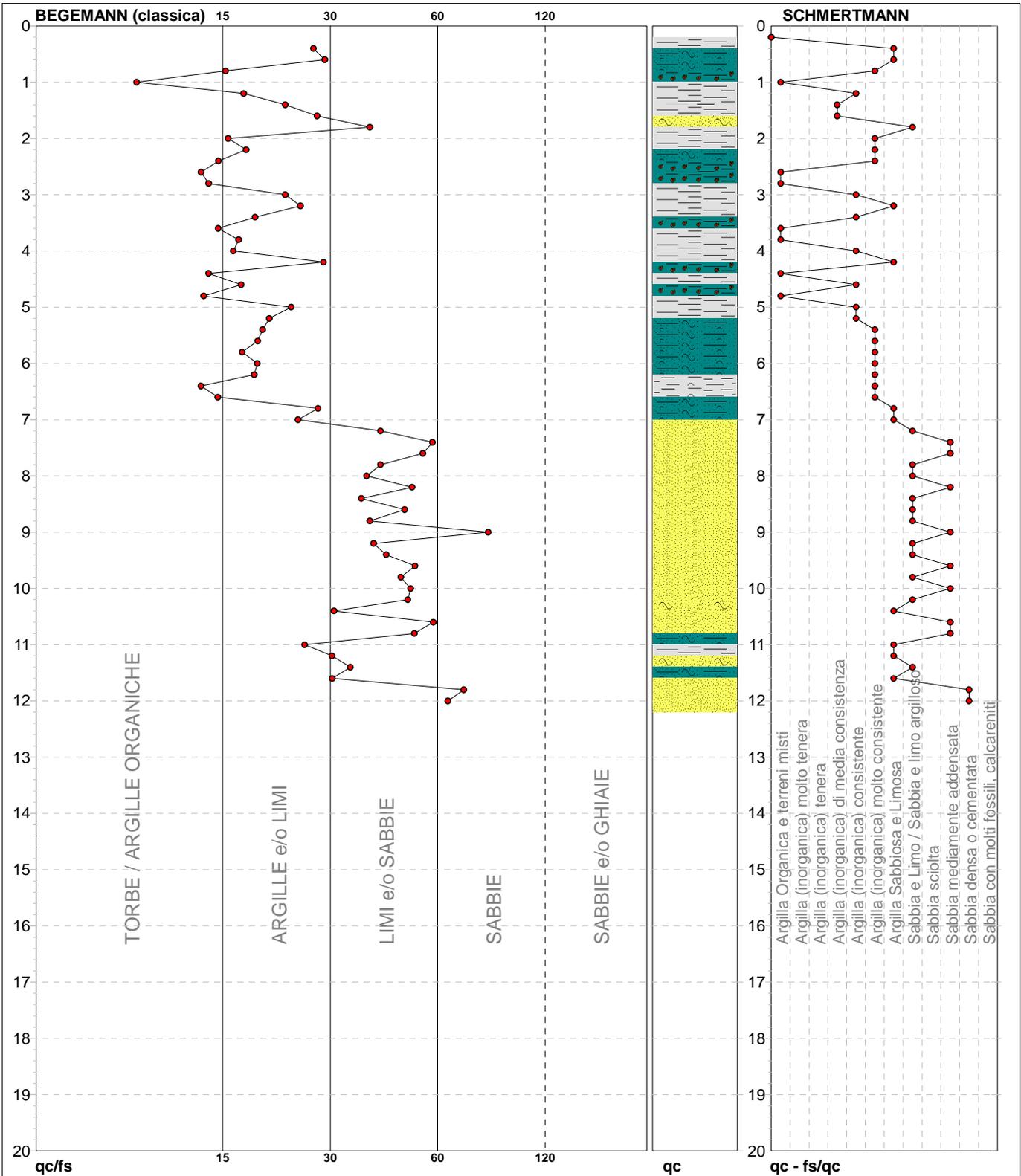
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

| | |
|----------------|----------------|
| CPT | PS.1 |
| riferimento | 210407A |
| certificato n° | CPT054/21 |

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

U.M.: **kg/cm²** 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

| | |
|----------------|----------------|
| CPT | PS.2 |
| riferimento | 210407A |
| certificato n° | CPT055/26 |

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

U.M.: **kg/cm²** 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 ² | fs kg/cm ² | F - | Rf % | H m | L1 - | L2 - | Lt - | qc kg/cm ² | fs kg/cm ² | 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 | | | | | | | | |
| 1.00 | 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 | | | | | | | | |
| 2.00 | 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 | | | | | | | | |
| 3.00 | 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 | | | | | | | | |
| 4.00 | 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 | | | | | | | | |
| 5.00 | 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 | | | | | | | | |
| 6.00 | 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 | | | | | | | | |
| 7.00 | 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 | | | | | | | | |
| 8.00 | 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 | | | | | | | | |
| 9.00 | 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 | | | | | | | | |
| 10.00 | 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 | | | | | | | | |
| 11.00 | 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 | | | | | | | | |
| 12.00 | 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 | | | | | | | | |
| 13.00 | 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 | | | | | | | | |
| 14.00 | 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 | | | | | | | | |
| 15.00 | 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

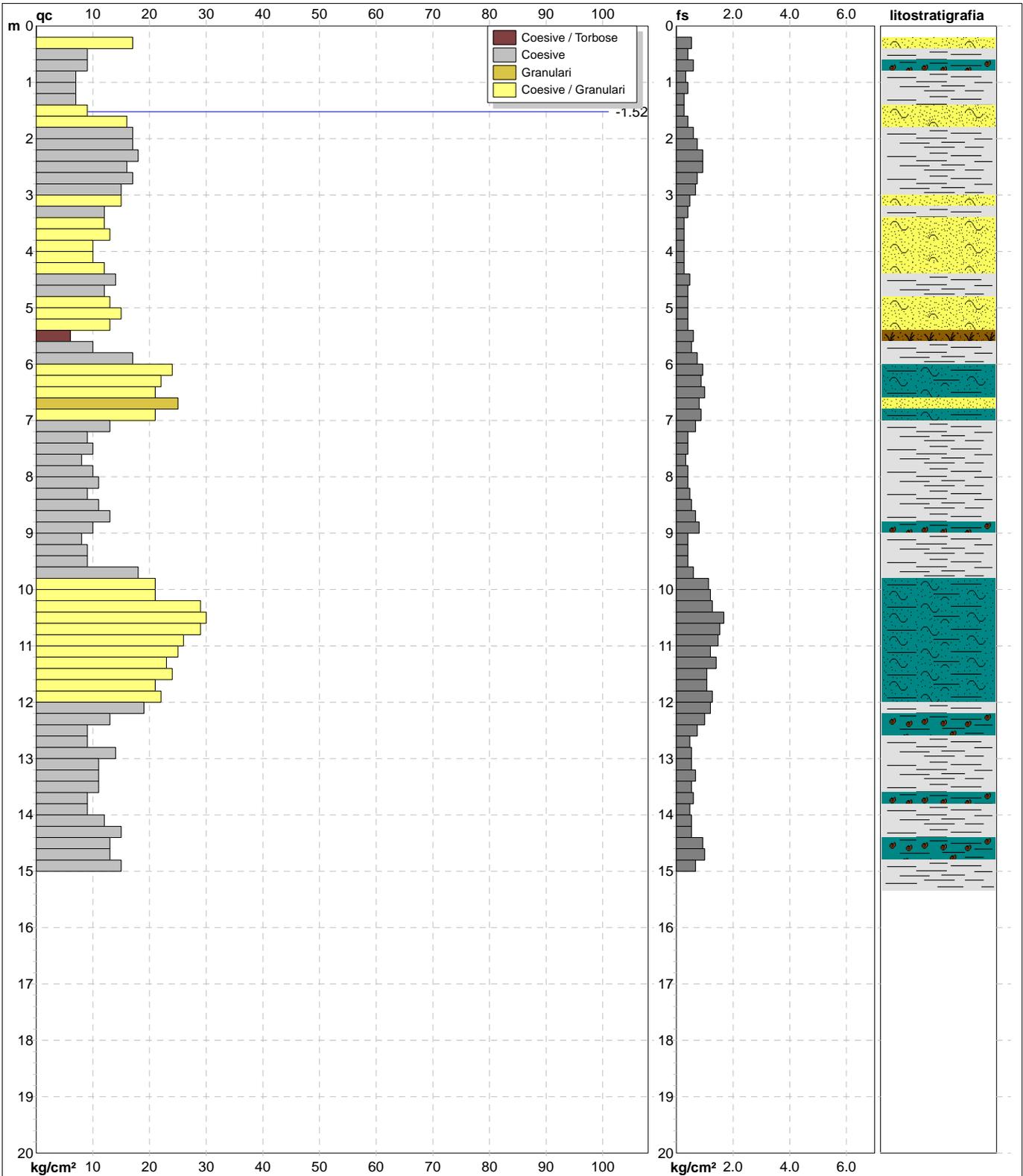
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

| | |
|----------------|----------------|
| CPT | PS.2 |
| riferimento | 210407A |
| certificato n° | CPT055/26 |

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

U.M.: **kg/cm²** 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
 Penetrometro: TG63-200
 Responsabile: Dott. Geol. Andrea Gambini
 Assistente:

Preforo: m
 Corr.astine: kg/ml
 Cod.ISTAT: 048019
 Cod. punta:

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

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

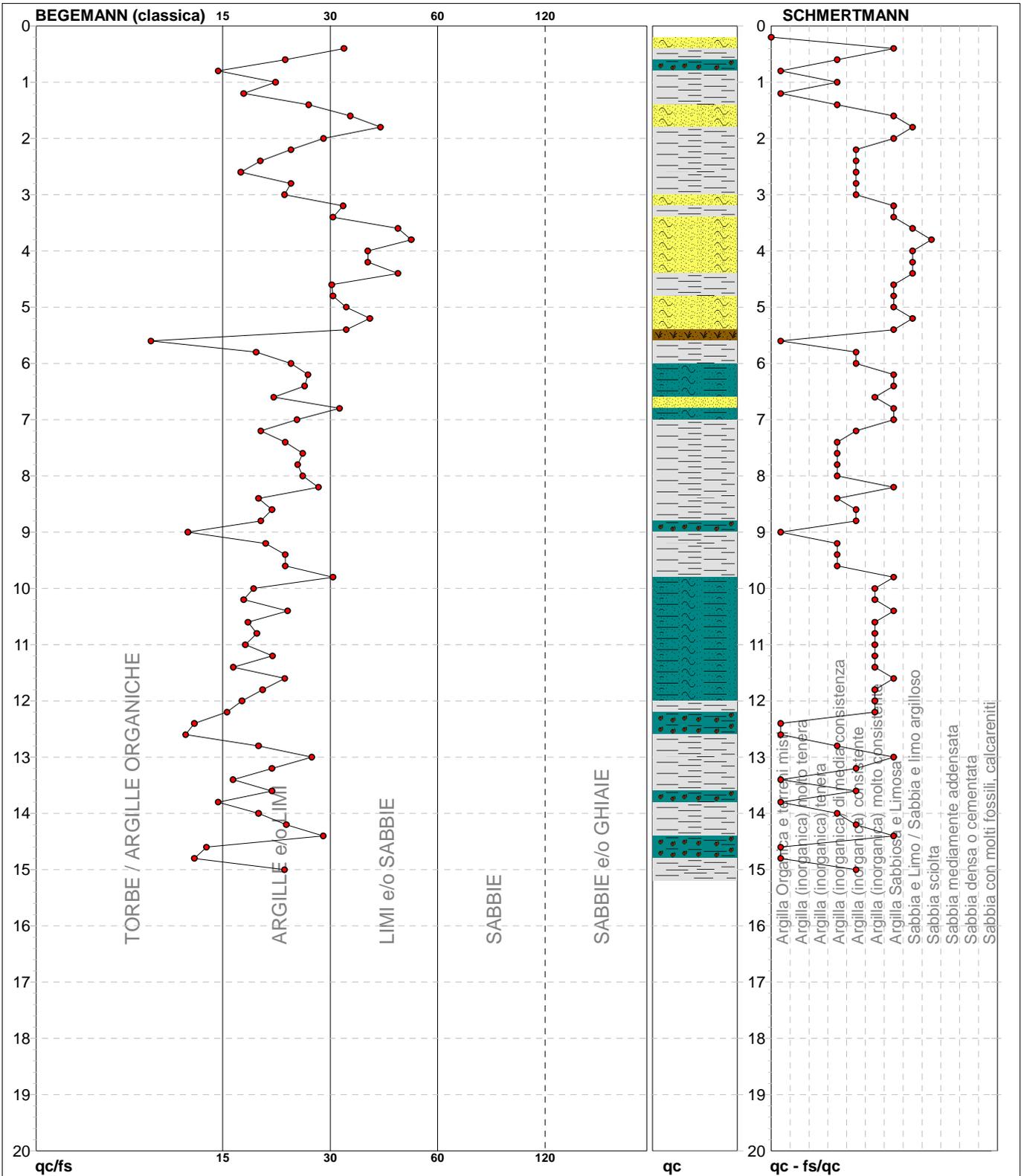
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

| | |
|----------------|----------------|
| CPT | PS.2 |
| referimento | 210407A |
| certificato n° | CPT055/26 |

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

U.M.: **kg/cm²** 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

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

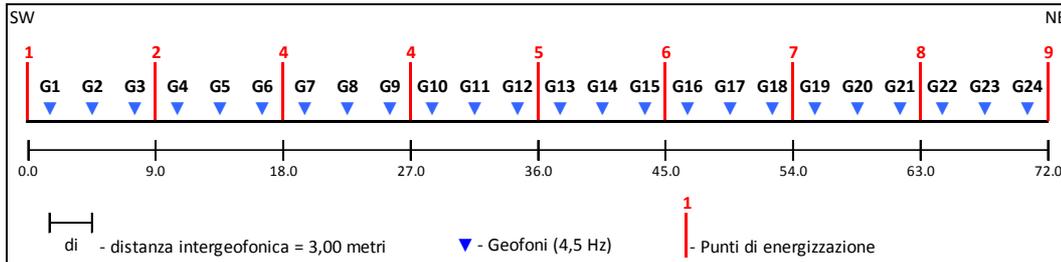
| | | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------|
| COMMITTENTE | CANTIERE | ID STESA |
| GEOL. FILIPPO BENDINELLI | VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI) | STP070421A |

| | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|----------|--------------|---------------------|
| ONDE | CANALI | D.I. | L | SPARI | ELABORAZIONE |
| P | 24 | 3,0 metri | 72 metri | 9 | TOMOGRAFICA |

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

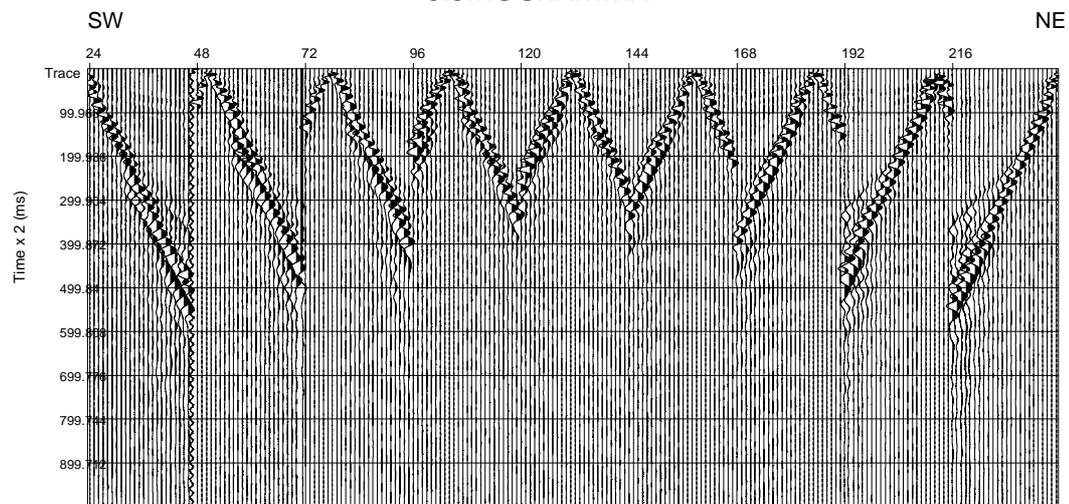
| | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| AZIMUT | COORDINATE GAUSS-BOAGA | | | |
| N 240° (SW - NE) riferito al G1 in senso orario | X _{G1} | Y _{G1} | X _{G24} | Y _{G24} |
| | 1645277.1815 | 4844874.8112 | 1645337.5278 | 4844908.2675 |

SCHEMA ESECUTIVO

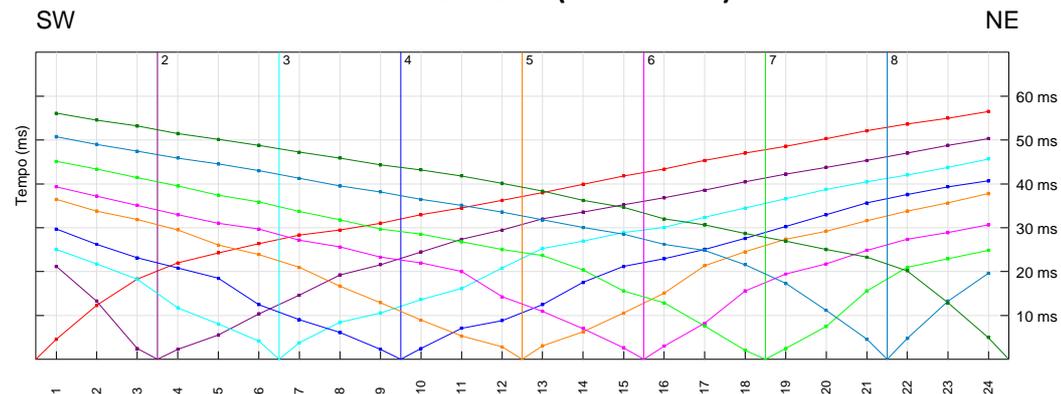


Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 3,00 metri (lunghezza stesa 72 metri). L'azimuth della stesa (riferito al G1 in senso orario) è N 240° (SW-NE). Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi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

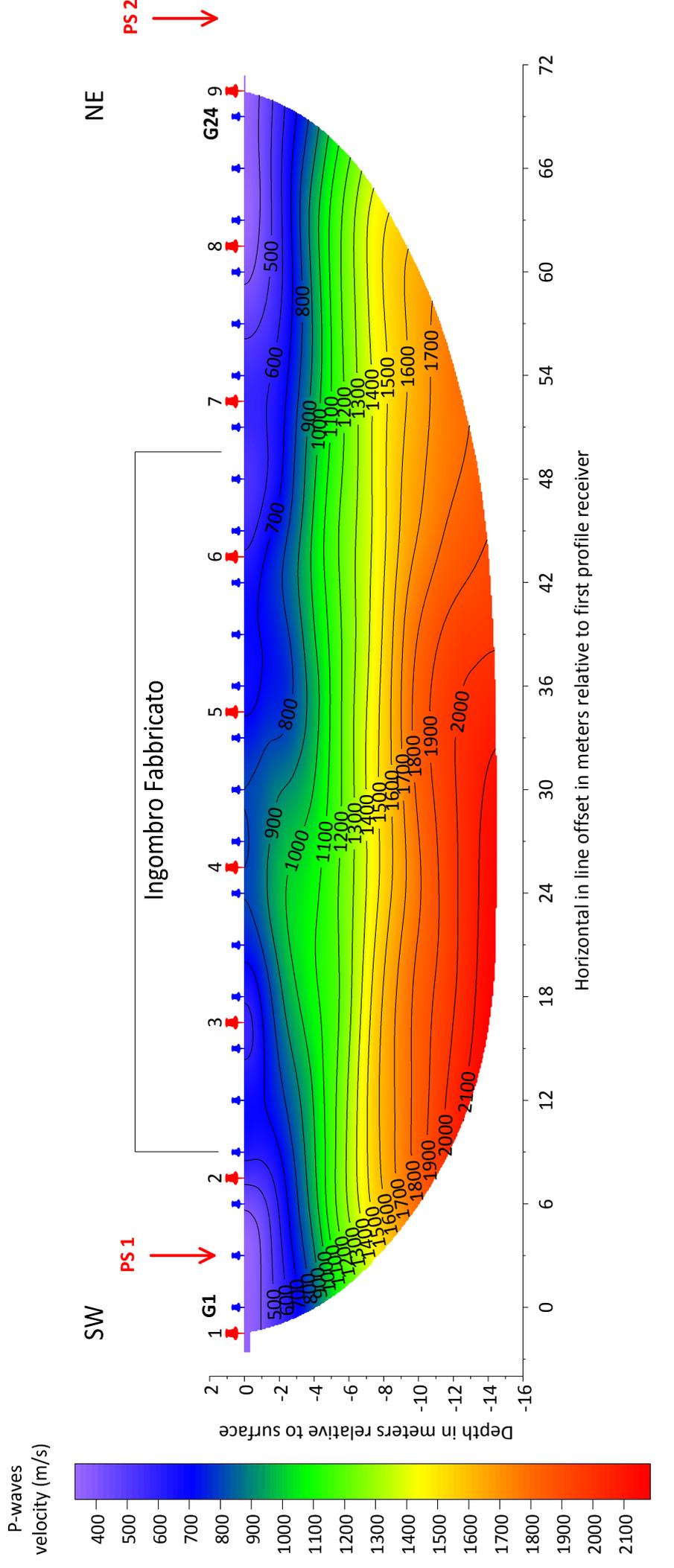


Lato NE verso G2



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

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

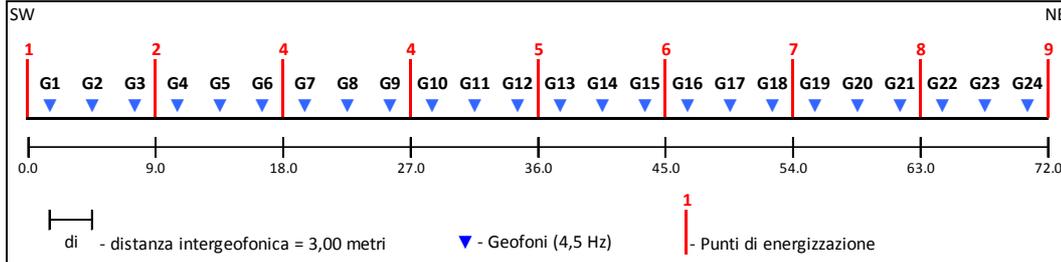
| | | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------|
| COMMITTENTE | CANTIERE | ID STESA |
| GEOL. FILIPPO BENDINELLI | VIA DELLE COLMATE - FUCECCHIO (FI) | STSH070421B |

| | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|----------|--------------|---------------------|
| ONDE | CANALI | D.I. | L | SPARI | ELABORAZIONE |
| SH | 24 | 3,0 metri | 72 metri | 9 | TOMOGRAFICA |

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

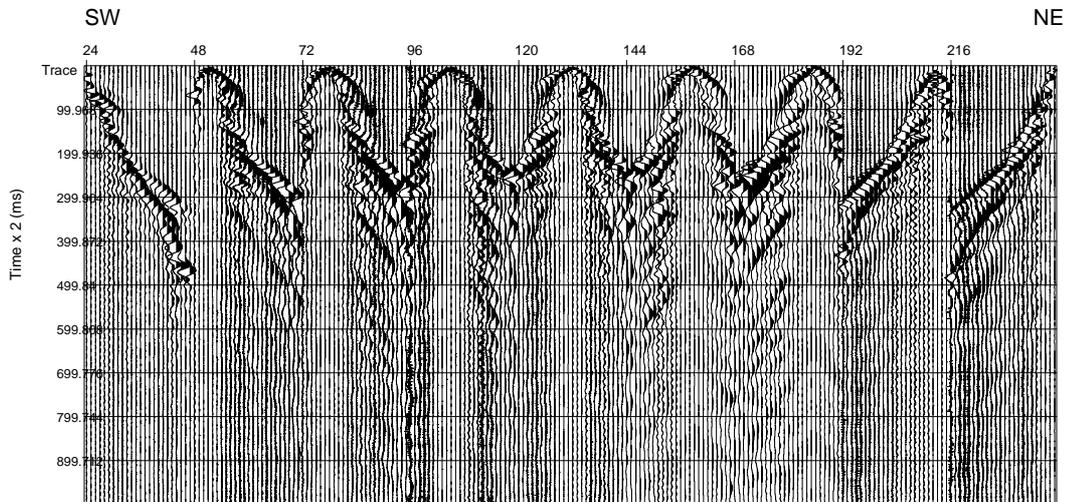
| | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| AZIMUT | COORDINATE GAUSS-BOAGA | | | |
| N 240° (SW - NE) riferito al G1 in senso orario | X _{G1} | Y _{G1} | X _{G24} | Y _{G24} |
| | 1645277.1815 | 4844874.8112 | 1645337.5278 | 4844908.2675 |

SCHEMA ESECUTIVO

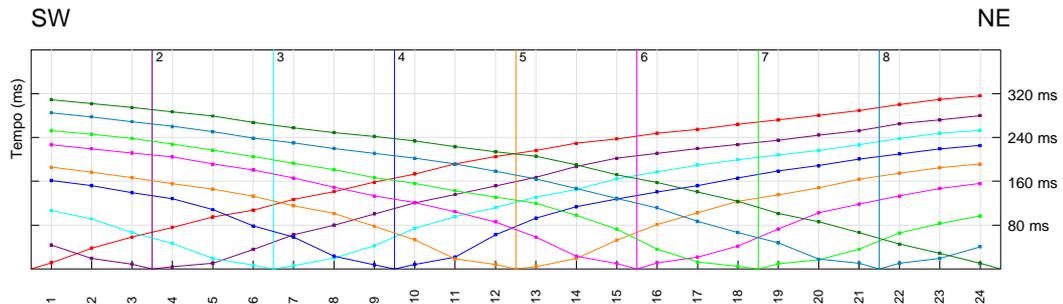


Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 3,00 metri (lunghezza stesa 72 metri). L'azimuth della stesa (riferito al G1 in senso orario) è N 240° (SW-NE). Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi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

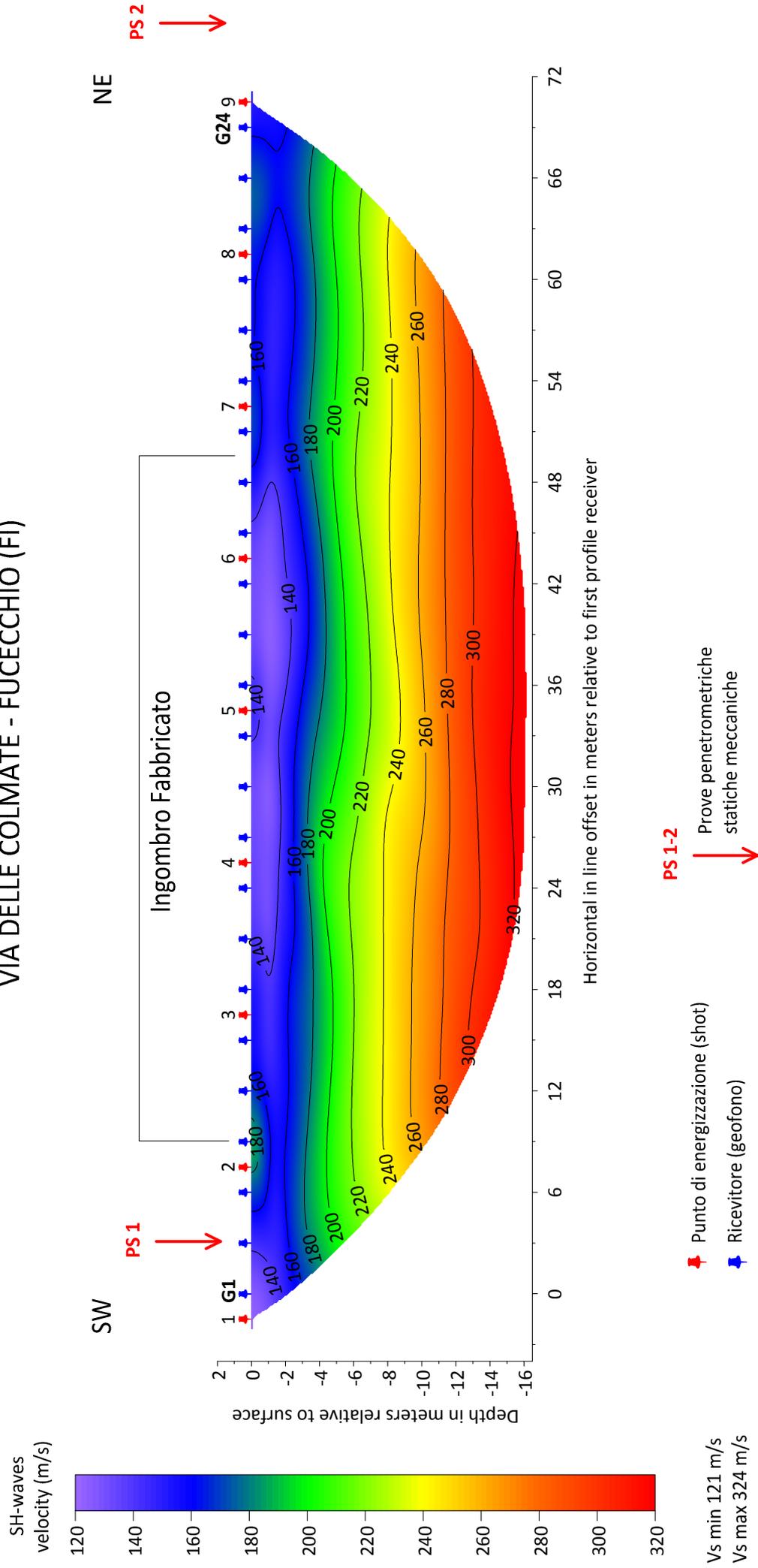


Postazione centrale



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

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

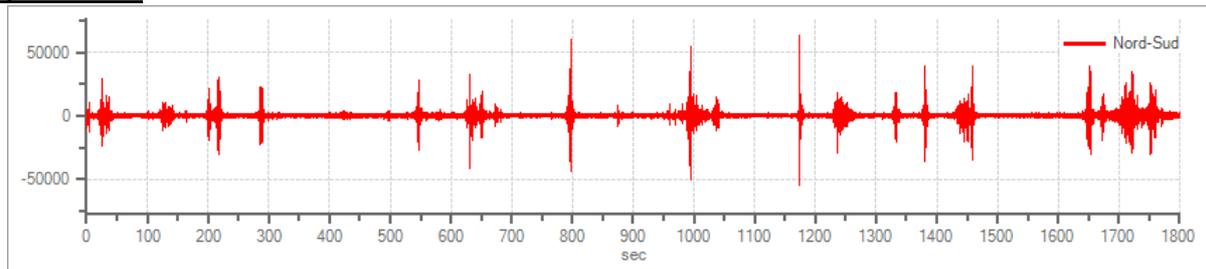
Nome progetto: Relazione Geologica Fattibilità PA 47
Committente: Abrasivi Billeri di Billeri REL, Billeri Paolo e C. snc
Località: Via delle Colmate n.44, Fucecchio (FI)
Operatore: Geol. Bendinelli Filippo
Responsabile: Geol. Bendinelli Filippo
Data: 15/04/2021 09:00:00
Latitudine: 43.742650
Longitudine: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

Tracce in input

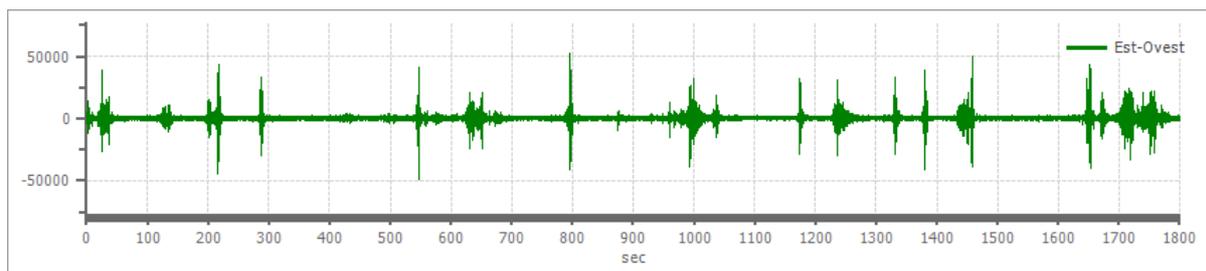
Dati riepilogativi:

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

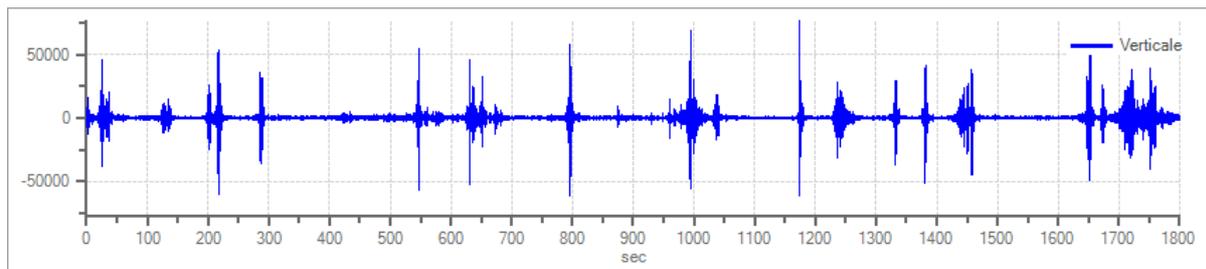
Grafici tracce:



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 lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

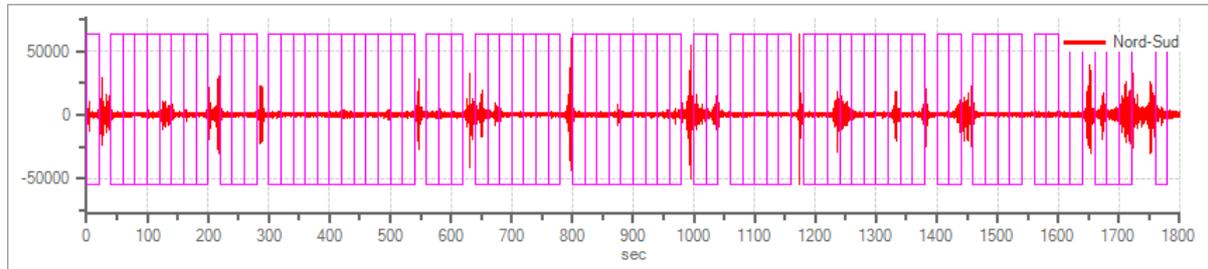
Tabella finestre:

| 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 |

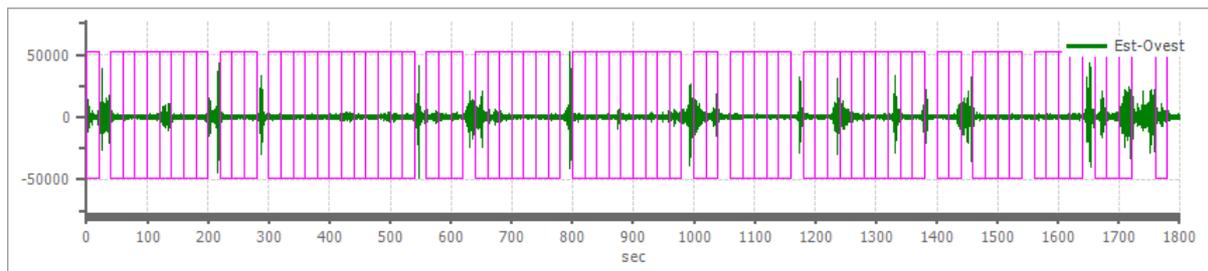


| | | | |
|----|------|------|---------|
| 35 | 800 | 820 | Inclusa |
| 36 | 820 | 840 | Inclusa |
| 37 | 840 | 860 | Inclusa |
| 38 | 860 | 880 | Inclusa |
| 39 | 880 | 900 | Inclusa |
| 40 | 900 | 920 | Inclusa |
| 41 | 920 | 940 | Inclusa |
| 42 | 940 | 960 | Inclusa |
| 43 | 960 | 980 | Inclusa |
| 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 |

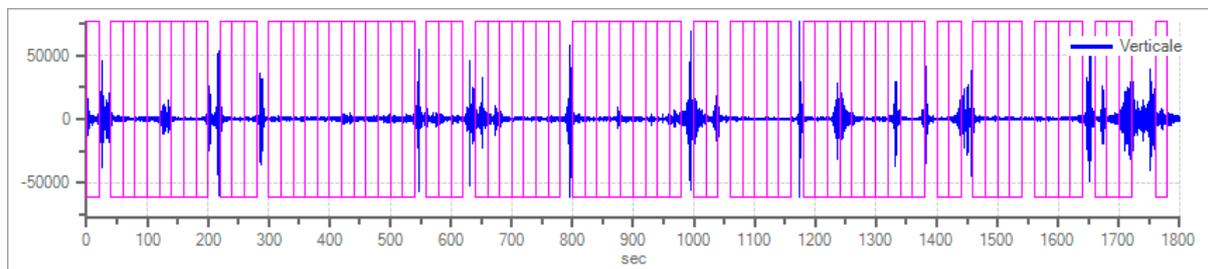
Grafici tracce con finestre selezionate:



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

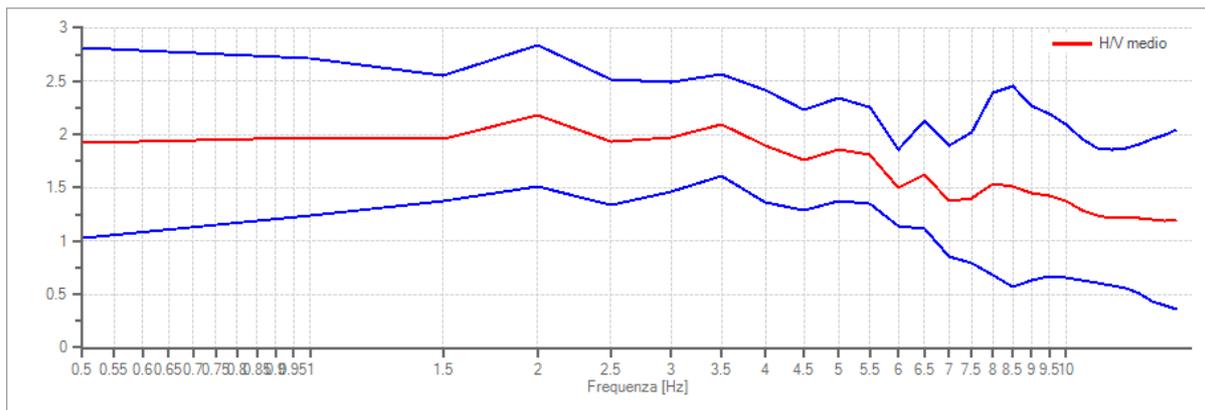
Dati riepilogativi:

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

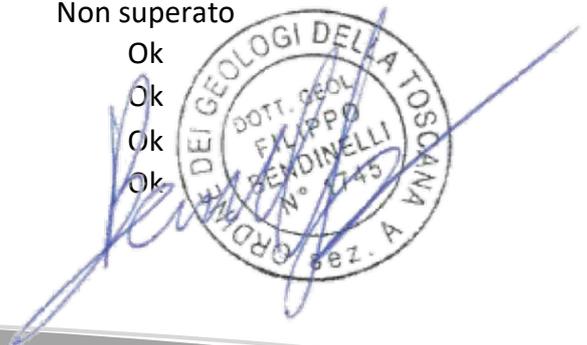
Grafico rapporto spettrale H/V



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 |

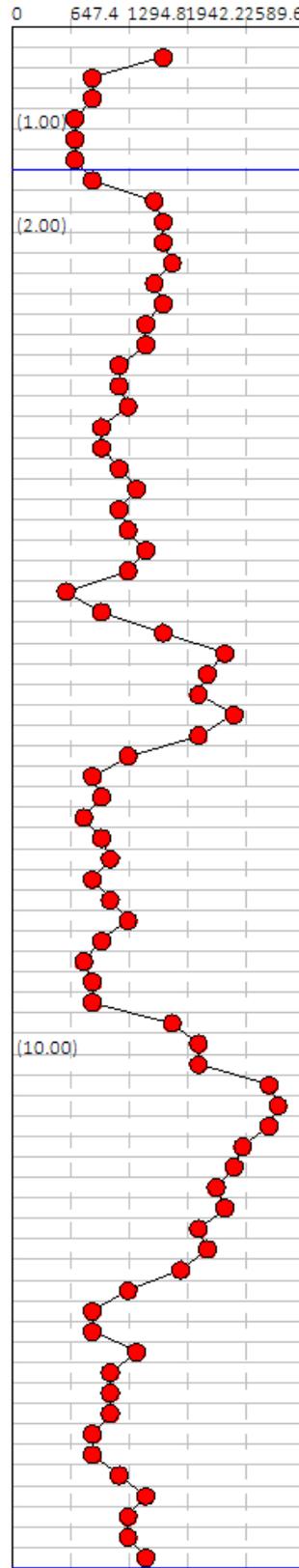
16/04/2021

In calcola Robertson Wride modificato & Idriss Boulanger

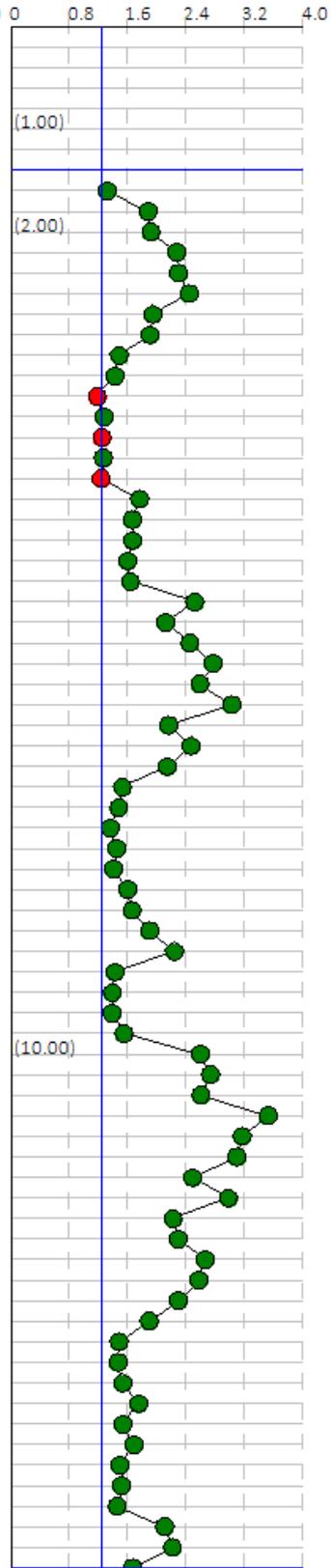
Colonna stratigrafica

| | | |
|----|------|-----|
| 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