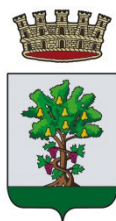


Allegato E alla Delibera di Consiglio

Comunale n. ____ del _____



Città di Maranello



POC

**Piano
Operativo
Comunale**

VARIANTE

**RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA SISMICA
RELATIVA ALL'AMBITO AN.11**

ADOZIONE: Del. C.C. n. ____ del _____

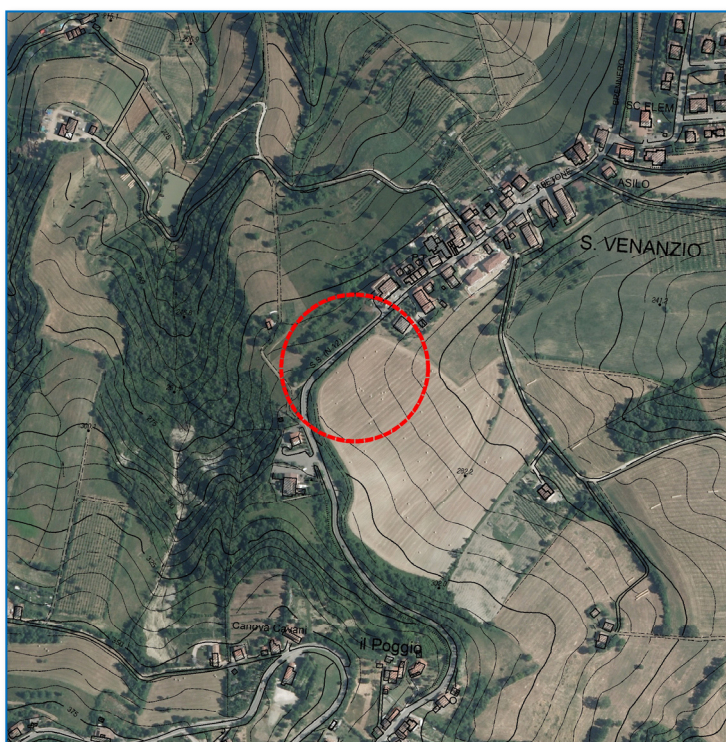
APPROVAZIONE: Del. C.C. n. ____ del _____

GIUGNO 2021

- Relazione geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (paragrafo C6.2.1);
- Relazione geotecnica: indagini, caratterizzazione e modellazione volume significativo del sito (paragrafi C6.2.2 e C6.2.2.5);
- Relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (paragrafo C3.2).
- Svincolo idrogeologico

Indagine geognostica e sismica realizzata in località S.Venanzio, comune di Maranello (MO), in via Abetone superiore, per uno studio di fattibilità nell’ambito del comparto AN.1I, POC-PUA del comune di Maranello, denominato “S.Venanzio Sud – sub ambito b”, secondo quanto previsto dall’ultimo D.M. 17/01/2018.

19.10.2018

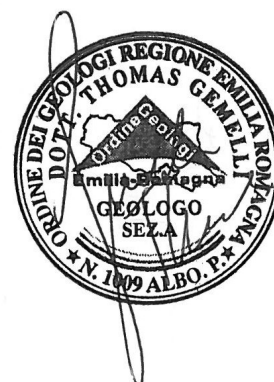


Committente

Sig.ra CAVALIERI LINDA

Dott. Geol. GEMELLI, Thomas

Viale Milano 21, Sassuolo (MO)
iscritto all’Albo dei geologi Em. Rom. Al n° 1009
Tel. 0536 / 870085 – Fax 0536 / 984174



Sommario

Premessa	3
Relazione Geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito	3
<i>Inquadramento geologico, geomorfologico e stratigrafico</i>	7
<i>Situazione sismotettonica dell'area</i>	12
Relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito oggetto d’indagine.....	16
<i>Aspetti sismici (coordinate sito: Long. 10.85247015 / Latit. 44.49450254)</i>	16
<i>Analisi sismica dei microtremori passivi (Re.Mi.)</i>	18
<i>Risposta sismica locale</i>	23
<i>Liquefazione e cedimenti post-sismici</i>	26
Relazione Geotecnica: indagini, caratterizzazione e modellazione volume significativo del sito	26
<i>Caratterizzazione Geotecnica</i>	26
<i>Risultati analisi di laboratorio sulle argille med. compatte</i>	28
<i>Portata limite ultima delle argille med. compatte (secondo le NTC 2018)</i>	30
<i>Verifica di stabilità del versante oggetto d’indagine</i>	31
Conclusioni	34
Allegati.....	36

Premessa

In località S. Venanzio, comune di Maranello (MO), in via Abetone superiore, la Sig.ra **CAVALIERI LINDA**, nell'ottica di una nuova lottizzazione, richiede unitamente alla parte progettuale (Arch. Galiotto), uno studio di fattibilità nell'ambito del comparto AN.1l contenuto nel POC-PUA del comune di Maranello, denominato "S.Venanzio Sud – sub ambito b" (fig. 1); a tal proposito la committenza e la parte progettuale, richiede uno studio geologico, geotecnico e sismico, per risalire alle caratteristiche intrinseche del volume significativo di terreno su cui insisterà la struttura, secondo quanto previsto dall'ultimo DM 17/01/2018 (paragrafi §6.2.1, §6.2.2 e §3.2) e successive modifiche.



Fig. 1: estratto della Ortofotografia AGEA 2011 (sovrapposta all'estratto di POC-PUA del comune di Maranello), con evidenziata l'area oggetto d'intervento.

Relazione Geologica: indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito

I rilevamenti geognostici e sismici si sono avvalsi delle seguenti metodologie: 4 penetrometrie dinamiche DPSH (foto 1, 2 e 3), n°1 carotaggio (foto 4) per prelievo di

campione di terra da analizzare (*limiti di Atterberg*), n°2 acquisizione passive ai microtremori (Re.Mi.) per la caratterizzazione sismica del terreno (*foto 5 e 6*), n°2 stendimenti sismici a rifrazione, distribuiti nell'area indagata come riportato in *fig. 2*:



Fig. 2: Ubicazione indagini geognostiche e sismiche realizzate

- **sondaggi DPSH:** corredati da un istogramma relativo all'infissione delle aste (tratti da 30 cm), ricostruzione stratigrafica e da una tabella che riassume alcuni parametri geotecnici. (γ : peso di volume [t/m^3]; E_y : modulo di deformazione elastico drenato [kg/cm^2]; ϕ : angolo di attrito interno; D_r : densità relativa [%]; c_u : coesione non drenata [Kg/cm^2]; k_o : costante di Winkler; E_{ed} : modulo edometrico [kg/cm^2]; c' : coesione efficace [Kg/cm^2]; **OCR**: grado di sovraconsolidamento);
- **stendimento sismico ReMi (microtremors):** Modalità per la determinazione delle V_{s30} con geofoni da 4,5 Hz per la ricezione delle onde a bassa frequenza, o onde *Rayleigh*. Questa tecnica, oltre a essere non invasiva, non richiede forme di energizzazione in quanto sfrutta l'energia dispersa nel sottosuolo.

Le onde *Rayleigh*, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase. Il calcolo del profilo delle velocità $\frac{V_{fase}}{frequenza}$ può essere convertito nel profilo $\frac{V_s}{profondità}$.

Le onde di superficie così registrate in archi temporali di 32 secondi, con modalità 24 bit e con 5-6 campionamenti per ogni stendimento, che coprono un range di frequenza che varia da 2 a 25 Hz, consentono di ricostruire in modo dettagliato l'andamento delle "Vs" nell'ambito dei primi 100 metri di sottosuolo;

- **stendimento sismici a rifrazione:** utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e talvolta trasversali (onde S) nel sottosuolo. Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogni qualvolta quest'ultimo è sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale, sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.). La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei materiali da queste attraversati. Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.



Foto 1: Realizzazione del sondaggio penetrometrico **Din1**.



Foto 2: Realizzazione del sondaggio penetrometrico **Din2**.



Foto 3: Realizzazione del sondaggio penetrometrico **Din4**.



Foto 4: Realizzazione del carotaggio per la raccolta dei campioni di terra da analizzare.



Foto 5: allineamento sismico a rifrazione (**Rifra1**).

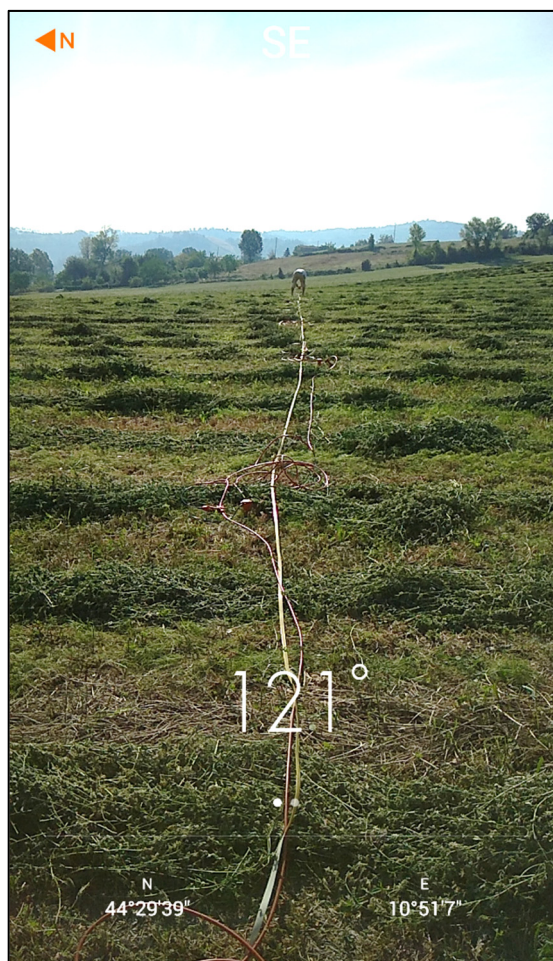


Foto 6: allineamento sismico a rifrazione (**Rifra2**).

Inquadramento geologico, geomorfologico e stratigrafico

Con riferimento alla carta geologica *in allegato*, l'area in oggetto si sviluppa su terreni costituiti essenzialmente dalla stessa litologia (*argille grigio - azzurre plioceniche - FAA*), che caratterizza tutti i versanti pedemontani e/o pedecollinari di Sassuolo, Fiorano, Spezzano, Maranello, Savignano S.P., sino alla zona di Vignola e Marano S.P.

Questi depositi, prevalentemente argillosi, argillo-limosi e localmente argillo-sabbiosi, sono *facies* marine depositatesi alla fine del Pliocene prima del ritiro definitivo del mare; successivamente queste zone, sono state soggette all'azione dei corsi d'acqua minori, quali il T. Tiepido, Fossa di Spezzano, Rio del Petrolio, T. Grizzaga, ecc., che nell'ultima era geologica (*Quaternario*), hanno intensamente modellato le forme del rilievo mediante azioni erosive, quali scalzamento al piede dei versanti e fasi deposizionali (dep. colluviali e terrazzati) che si rinvencono tuttora a ridosso dei

sopraccitati corsi d'acqua. Anche l'area indagata, conferma lo scenario precedentemente descritto, sorgendo sulla linea di crinale che scende verso Maranello e al contempo costituendo lo spartiacque naturale in sinistra del T. Grizzaga (fig. 3).

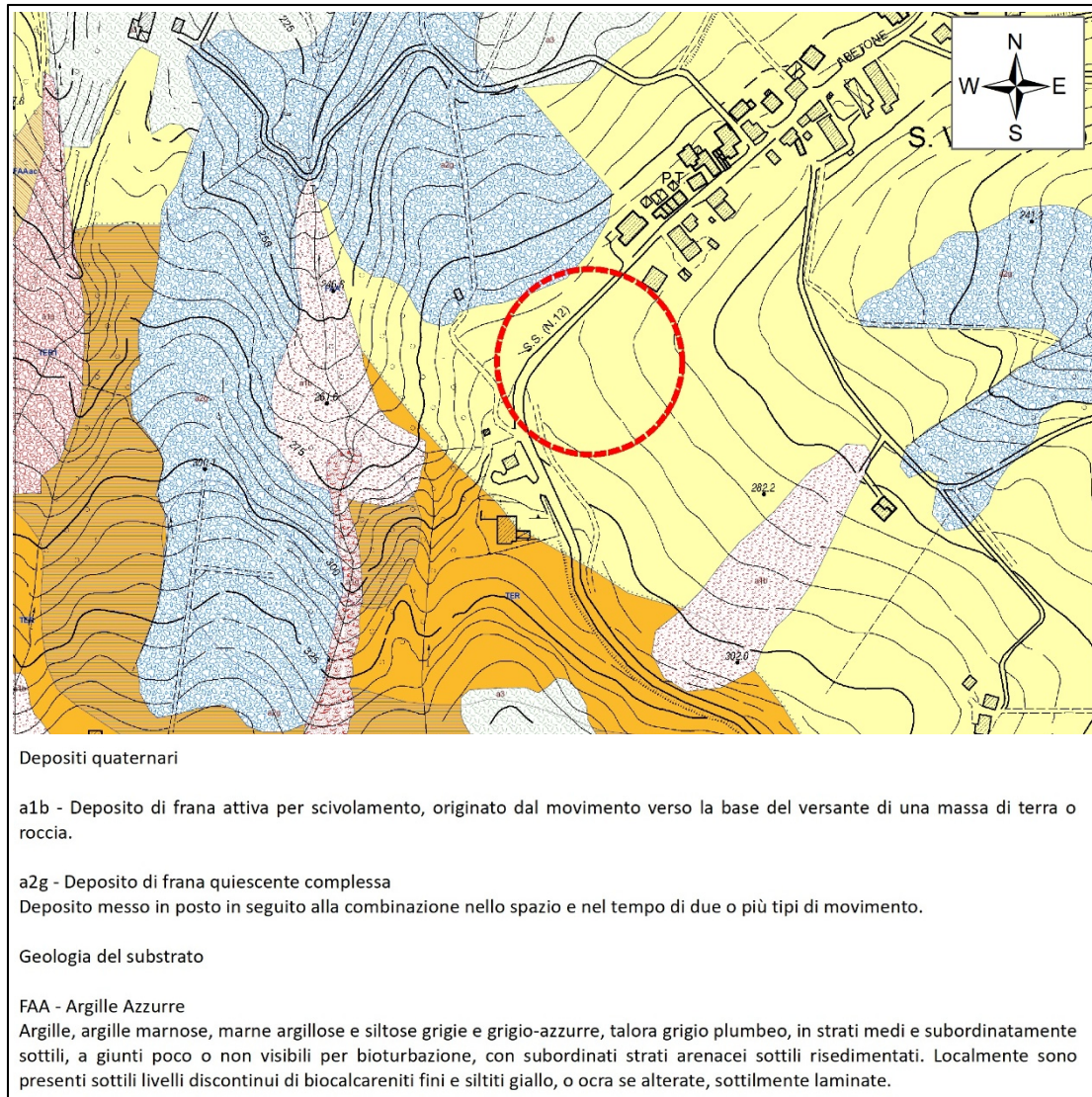


Fig. 3: estratto della carta geologica del margine appenninico della pianura padana, che evidenzia la natura dei terreni oggetto d'indagine.

In questa zona dove affiorano soprattutto argille ed argille - limose, i versanti appaiono piuttosto stabili, escluso qualche fenomeno superficiale localizzato, in quanto contraddistinti da pendenze non eccessive, ma nell'area dove si vuole realizzare l'intervento, non vi sono fenomeni di dissesto. Come descritto in precedenza, altre forme del rilievo legate unicamente all'azione delle acque fluviali sono i **depositi terrazzati**, superfici sub-pianeggianti (ghiaie e sabbie di classazione mista) che

corrispondono a quelle aree in cui si collocava l'alveo del fiume, spesso rimodellato e rimescolato a seconda della migrazione del corso d'acqua. Nelle aree più elevate dei pendii si rinvenivano anche depositi legati all'azione delle acque di dilavamento superficiale, come i **dep. colluviali** posti lungo la linea di naturale deflusso dei versanti, con spessori mai superiori a 1.0 - 2.0 m e comunque contraddistinti da una matrice alterata generalmente limo-argillosa tipica delle sottostanti argille plioceniche. Altri accumuli dovuti ai fluidi superficiali sono i cosiddetti **depositi di versante**, che analogamente ai precedenti, sono costituiti da una matrice anch'essa alterata, derivante dagli affioramenti argillosi posti a monte; l'area indagata è collocata in prossimità del crinale e non si rilevano settori interessati da fenomeni di dissesto, pertanto **l'area è stabile**.

La carta sismotettonica della RER (fig. 4), evidenzia un substrato, ovviamente affiorante.

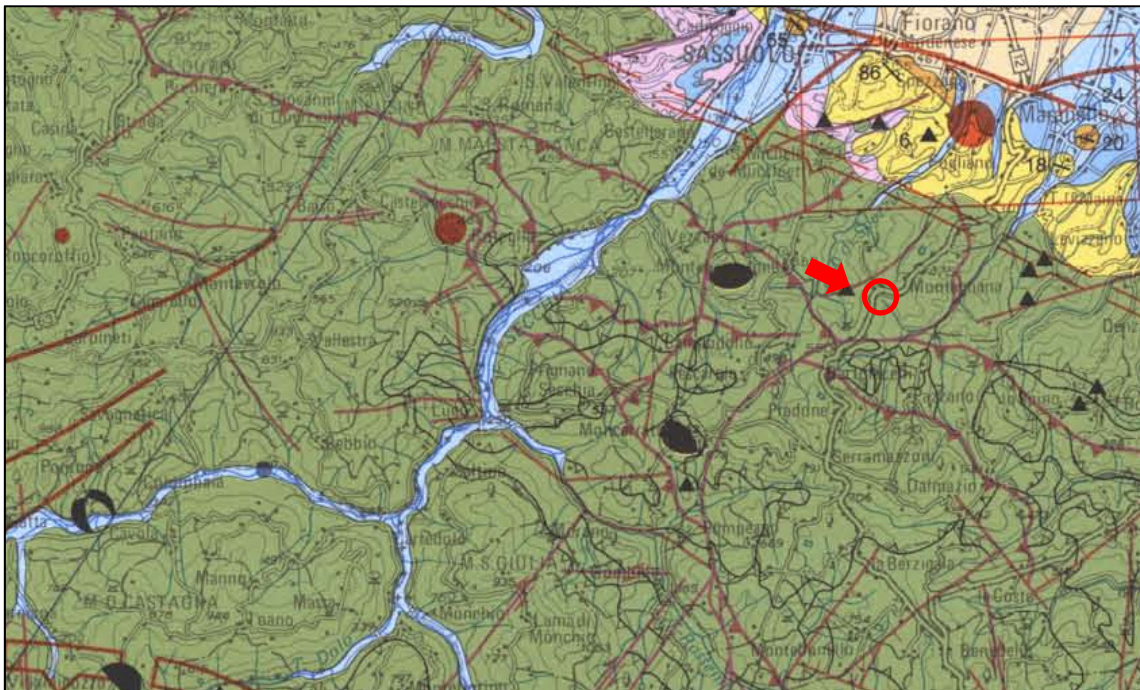
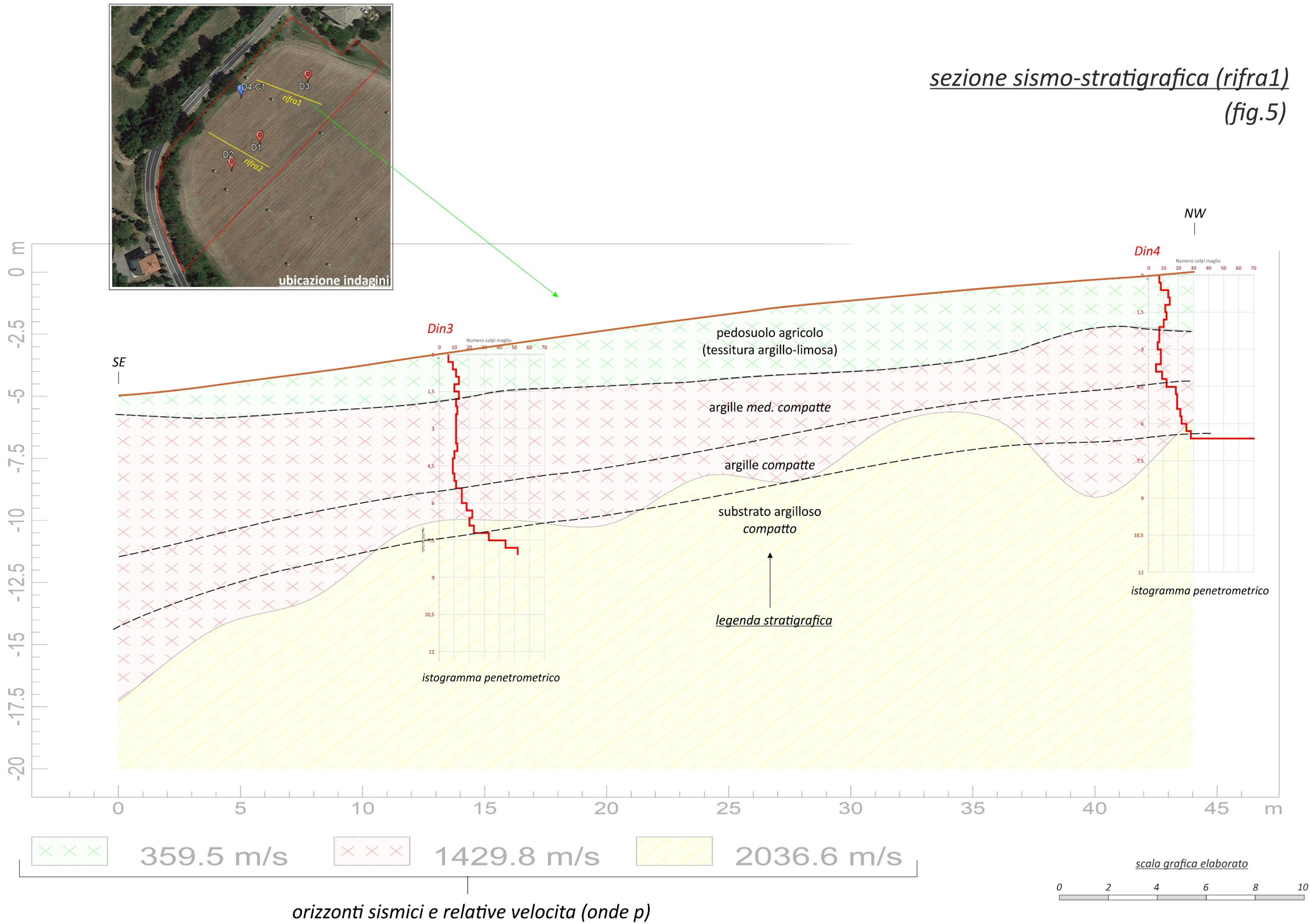
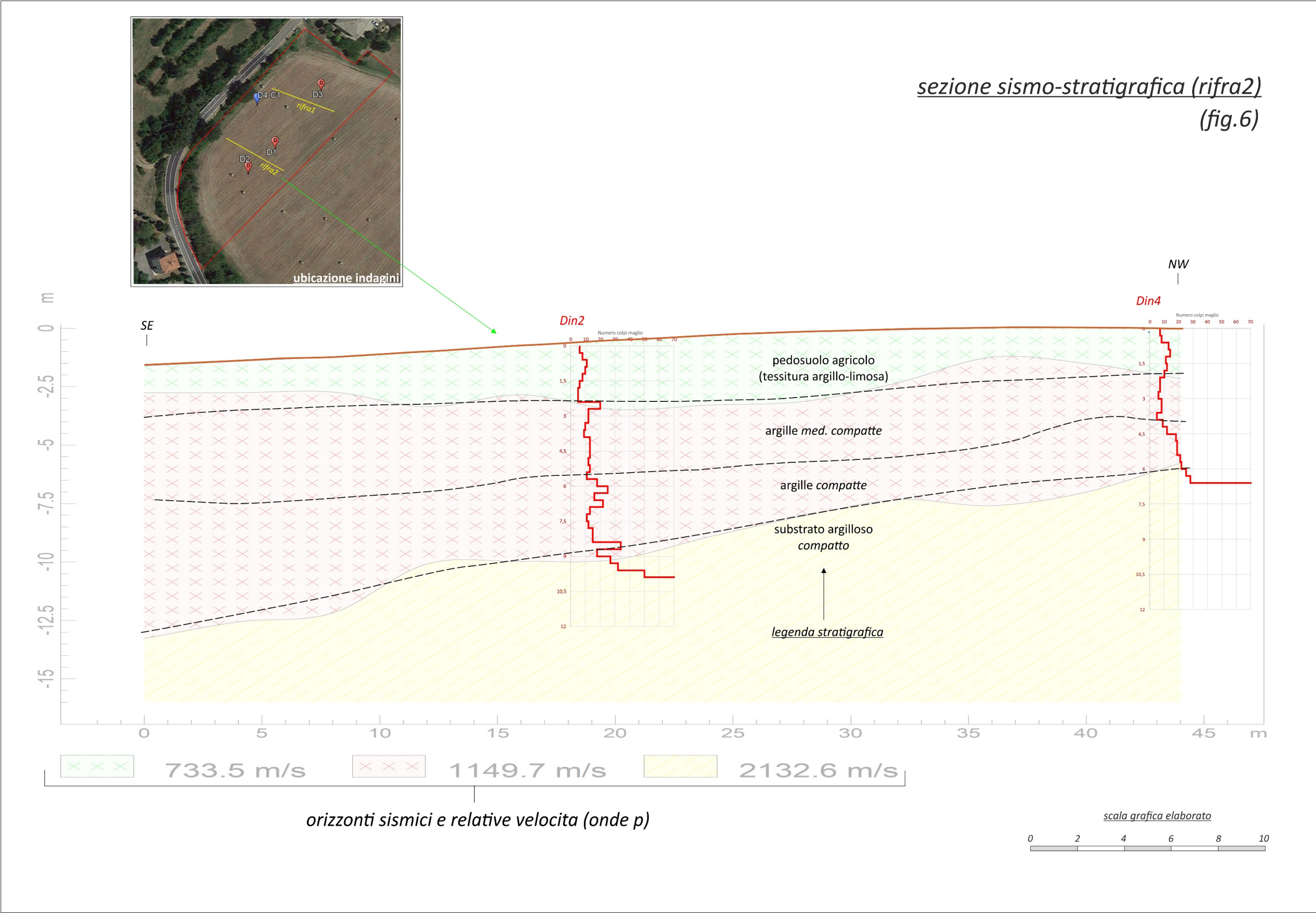


Fig. 4: estratto della carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna, che evidenzia un substrato roccioso affiorante.

Anche l'indagine geognostica conferma questa situazione, che, se si esclude lo strato superficiale di 1.0 – 1.5 m, costituito essenzialmente da pedosuolo a monte e valle, si evidenzia una successione pelitica (da argille *med. compatte* a *consolidate*) a consistenza crescente fino a 10.5 m di profondità (fig. 5 e 6).

sezione sismo-stratigrafica (rifra1)
(fig.5)





Per quanto concerne l'aspetto idrogeologico, nei fori di sondaggio **non è stata rilevata** la presenza di acqua in falda (13/09/2018).

Situazione sismotettonica dell'area

Gli studi morfotettonici indicano che l'attività sismica è generalmente dovuta alla presenza di strutture compressive attive (sovrascorrimenti e piegamenti), come indicato anche dalle soluzioni dei meccanismi focali di terremoti.

L'analisi sismotettonica condotta per la stesura della recente "Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" alla scala 1:250.000 (*Boccaletti et alii, 2004*), di cui un estratto *in allegato*, ha evidenziato come parte delle strutture che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da una attività molto recente ed anche attuale. Risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e Ferrara; alla dorsale Ferrarese possono, in particolare, essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana nelle Province di Reggio Emilia e Modena.

Probabili dislocazioni recenti sono segnalabili nella bassa Pianura Reggiana (*Pellegrini M., 1976*), in corrispondenza del centro abitato di Correggio; sebbene le cause di tale fenomeno non siano ancora del tutto note e non si rinvenivano segni evidenti di una frattura del terreno, risulta però chiaramente la presenza di una ridotta striscia di territorio caratterizzata da sensibili variazioni del gradiente di subsidenza.

Altre manifestazioni tettoniche recenti sono state evidenziate nella bassa pianura modenese nei dintorni di Massa Finalese e Mirandola. Lungo il margine risulta attivo il *thrust* pede-appenninico tra Bologna e Parma, mentre *blind thrusts* attivi caratterizzano il settore a sud-est di Bologna in accordo con quanto scaturito dall'analisi delle correlazioni tra i terrazzi fluviali del margine e le conoidi alluvionali della pianura nelle vicinanze della città di Bologna.

Attivi risultano anche sovrascorrimenti nell'area di catena, tra i quali in particolare il sistema che si sviluppa tra Castiglion de' Pepoli e M. Orsaro (crinale tosco-emiliano) e le strutture nell'area di S. Sofia (Appennino Romagnolo). Si definisce **attiva**

una faglia che presenta un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni (*U.S. Nuclear Regulatory Commission*).

L'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) e alla ricostruzione delle isobate delle 2 principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente 450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), ha permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito del territorio.

Esaminando la *fig. 7* che può essere considerata lo schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna, emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi > 1 mm/anno, sono individuabili nella parte alta della catena, corrispondente al settore a monte del principale raddoppio crostale a conferma dell'attività di questa struttura.

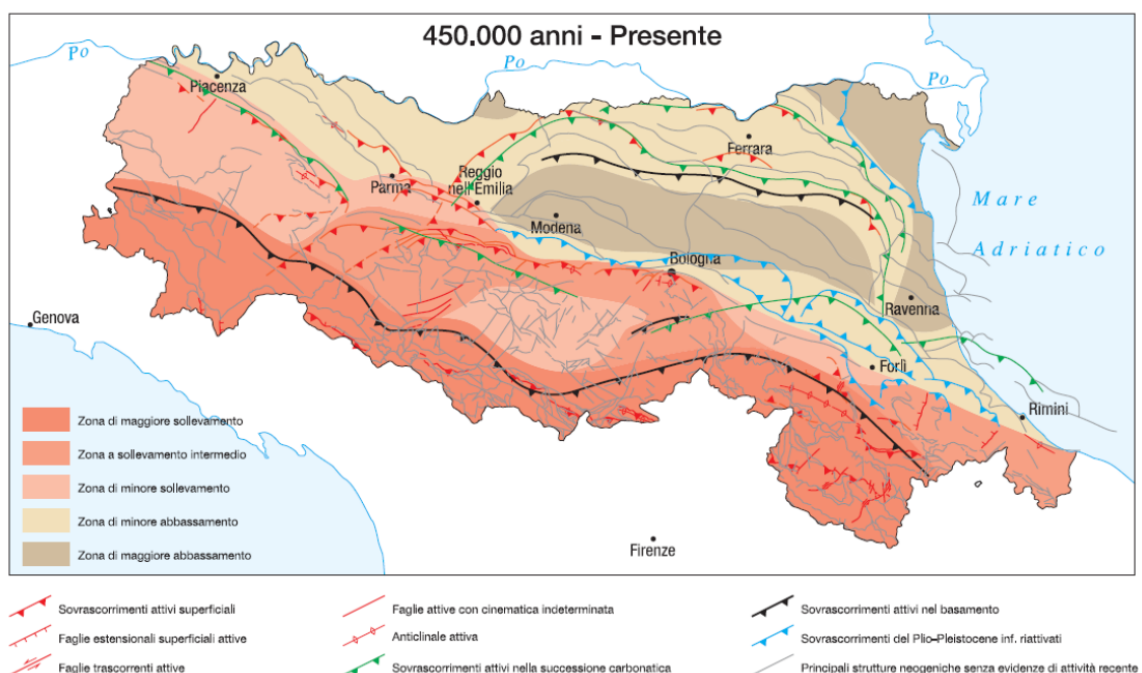


Fig. 7: Zonizzazione delle aree che maggiormente risentono delle faglie attive

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente ≥ 1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro. Le aree a minore

sollevamento (< 1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale. Anche in pianura le zone di minore abbassamento, con tassi < 1 mm/anno, corrispondono alle aree maggiormente interessate dalle strutture attive che in questo settore sono sepolte e non mostrano, generalmente, evidenze in superficie. In particolare, il sistema attivo delle Pieghe Emiliane a sud di Modena- Reggio Emilia corrisponde al limite tra la zona in sollevamento intermedio della catena con la zona di minore abbassamento della pianura.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa a monte e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese; i meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione e NW-SE mentre i meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di monte e in corrispondenza del margine appenninico padano, e decisamente minore in pianura; i meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

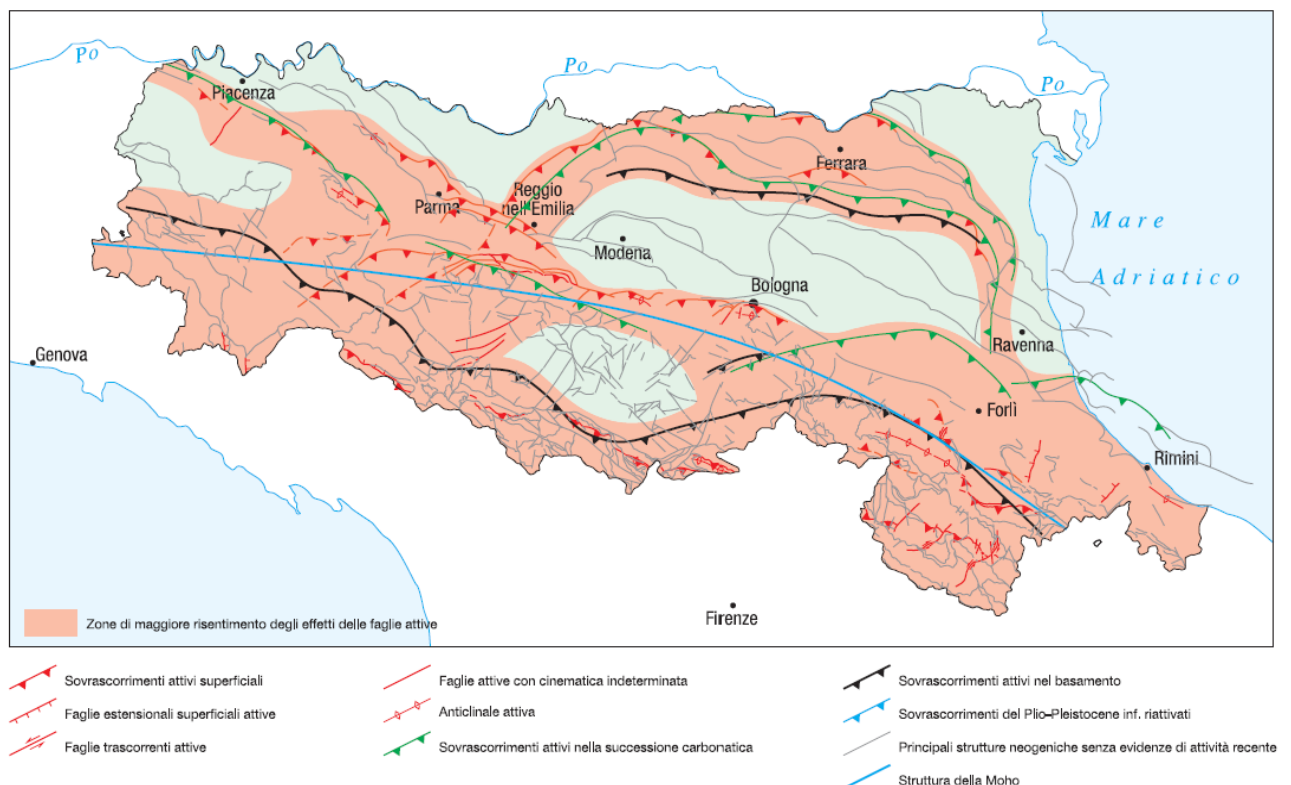


Fig. 8: Schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema *transpressivo* che rispetto alle zone esterne dell'*avampaese* padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

In *fig. 8* è riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività.

Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi.

Nella zona pedemontana oggetto di indagine, è marginale ad una serie di lineamenti tettonici, paralleli alla direzione appenninica; trattasi di alcune faglie attive orientate longitudinalmente all'asse della catena appenninica che vengono riportate proprio come faglie "neotettoniche".

Il motivo strutturale dominante legato al movimento del *thrust* pede-appenninico, sepolto sotto i depositi recenti della pianura, è rappresentato dalla presenza di anticlinali di crescita. L'attività recente ed attuale di tale struttura si manifesta nella morfologia determinando il *tilting* di paleosuperfici, sia verso la pianura che verso i rilievi, con modificazioni sull'andamento idrografico locale.

Dal confronto con le strutture del margine e del sottosuolo, i minimi e i massimi di profondità dal piano campagna della superficie di base del SERS risultano quindi ben inquadrati dalle principali strutture: il *thrust* pede-appenninico, che praticamente coincide con la "scarpate" tra Reggio Emilia e la valle del Reno, e la dorsale ferrarese, il cui culmine occidentale coincide con le zone depresse della pianura modenese e bolognese.

Relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito oggetto d’indagine.

Aspetti sismici (coordinate sito: Long. 10.85247015 / Latit. 44.49450254)

Per quanto concerne le caratteristiche sismiche del terreno, fondamentali per ricostruire il modello geotecnico locale, il D.M. 17/01/2018, stabilisce che per il calcolo di alcuni parametri caratteristici, tra cui la portata dello stesso (“Q_{LIM.ULT.}”), bisogna individuare prima alcuni parametri spettrali tipici del sito; ivi, la legge stabilisce che l’azione sismica non va più considerata “zona dipendente” bensì “sito dipendente” per cui si definisce il rischio sismico di base del luogo (“*a_g*”: accelerazione del substrato tettonico, “*F_o*”: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e “*T_c*”: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) dovranno essere determinati utilizzando il reticolo di riferimento di cui alle NTC - Tab.1 dell’allegato “B” del D.M. in questione, dopo avere stabilito la classe d’uso (II)¹, il tempo di ritorno che corrisponde alla salvaguardia della vita (475 anni) e la vita nominale dell’opera (50 anni).

La storia sismica del luogo è reperibile negli annali dell’INGV. Di seguito due mappe: la prima riporta i terremoti storici (dal 217 a.C. al 2002 – fig. 9) e la seconda quelli recenti (sino al 2015 – fig. 10) aventi una magnitudo superiore a “4.0”.

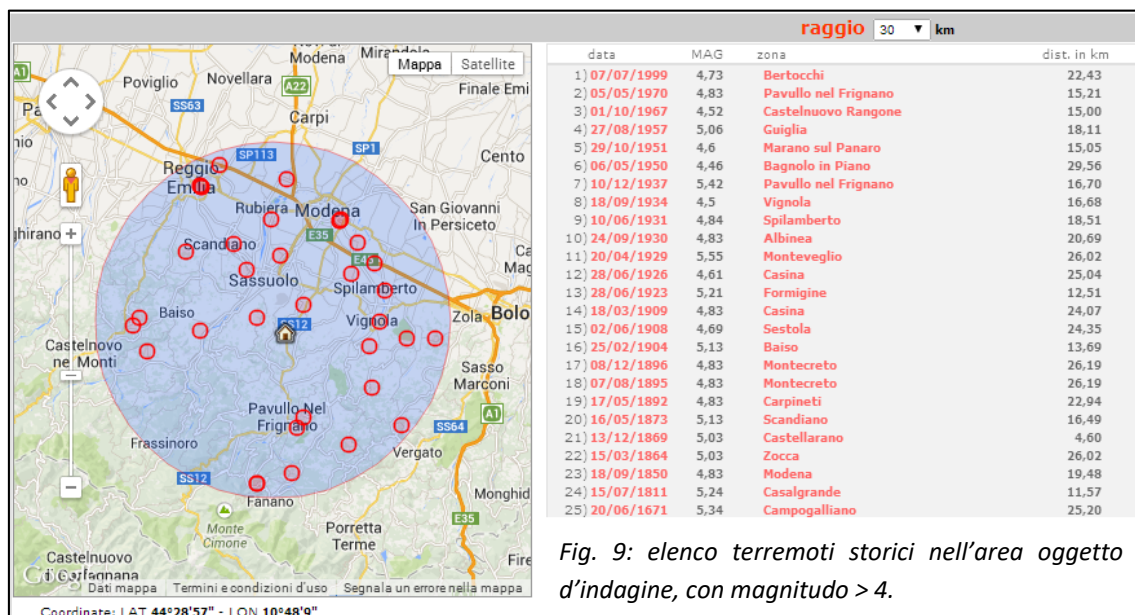


Fig. 9: elenco terremoti storici nell’area oggetto d’indagine, con magnitudo > 4.

¹ Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti (classe II).

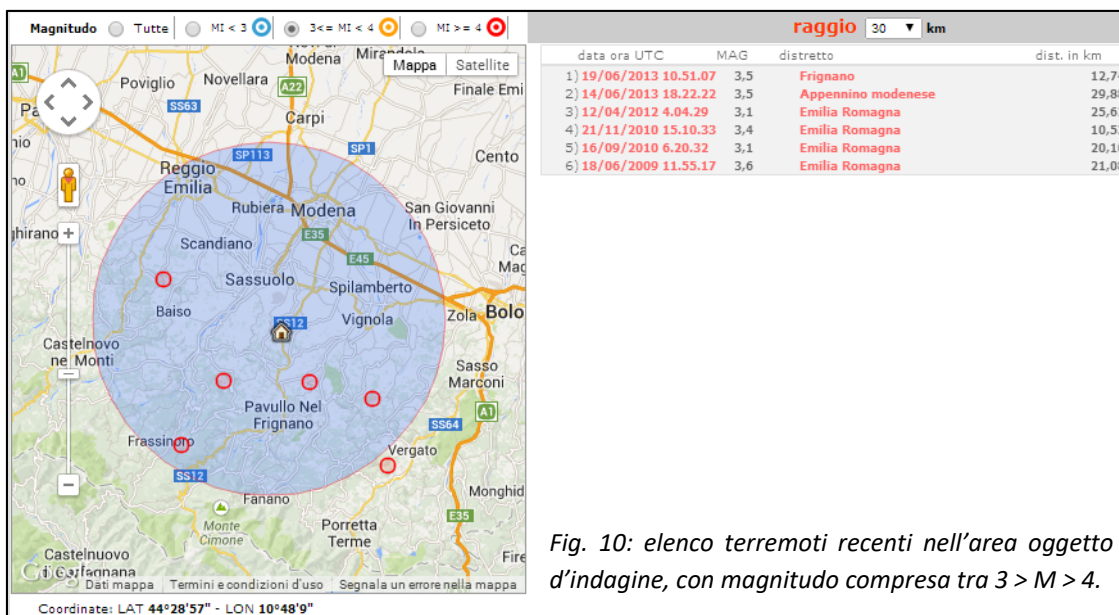


Fig. 10: elenco terremoti recenti nell'area oggetto d'indagine, con magnitudo compresa tra $3 > M > 4$.

La forbice entro la quale si trova l'accelerazione attesa può essere determinata utilizzando i dati accelerometrici che riguardano il substrato rigido estrapolabili dalla mappa della pericolosità sismica dell'INGV a cui si riferisce la fig. 11.

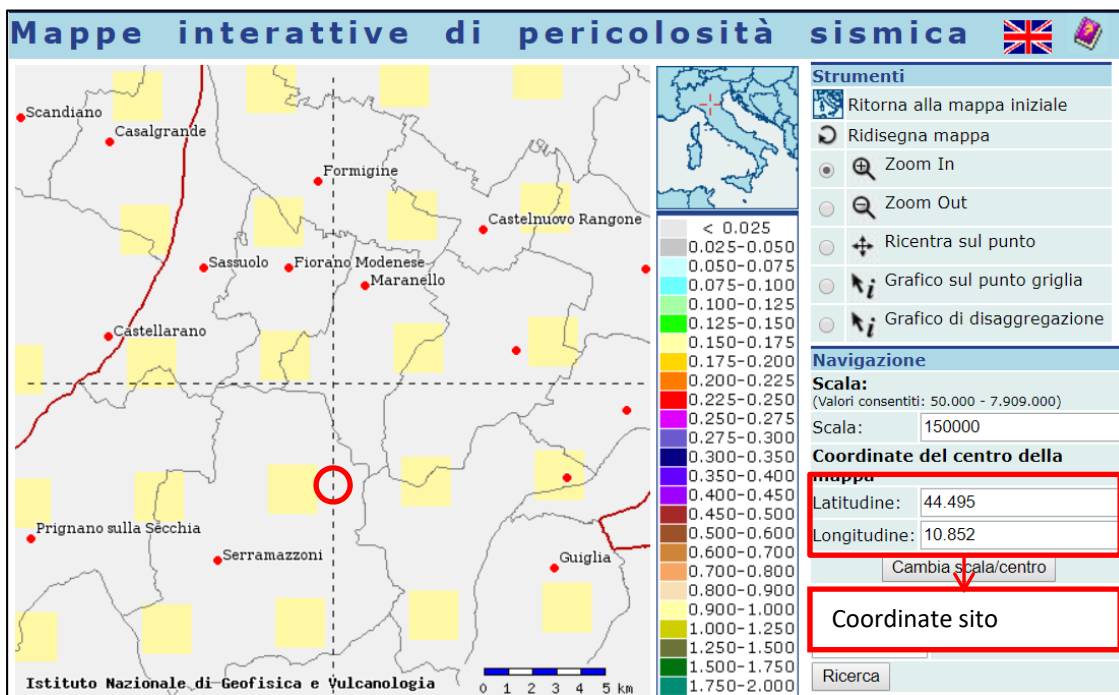


Fig. 11: mappa di pericolosità sismica dell'area indagata (da INGV).

Dalla mappa dell'INGV (fig. 11) risulta che l' $a(g)$ del substrato rigido varia da **0.150 a 0.175**.

Se si moltiplicano questi dati per il coefficiente di amplificazione stratigrafica “ S_s ” (allo scopo si ricorre alle tabelle RER 2007, leggermente aggiornate a seguito della delibera Reg. RER BUR, n°4 del 08/01/2016) si trovano gli estremi della forbice entro i quali si individua l’accelerazione al suolo attesa.

Il coefficiente “ S_s ” è funzione dello spessore del materiale di copertura e delle V_{s30} . La classificazione viene effettuata in base ai valori della velocità equivalente di propagazione V_{s30} delle onde di taglio nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione la cui misura diretta, come definito nelle NTC, è fortemente raccomandata.

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. Il rilevamento delle velocità “ V_s ” può essere fatta in diversi modi.

Fra i più utilizzati a livello geofisico sono le DOWN-HOLE, SASW, MASW e la RE.MI. Nel caso specifico è stata effettuata una registrazione delle basse frequenze HVSR, un’acquisizione Re.Mi. (Microtremors) e MASW.

Nel caso specifico sono state effettuate più acquisizioni **Re.Mi.** (Microtremors) lungo 2 stendimenti; si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all’interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

Analisi sismica dei microtremori passivi (Re.Mi.)

Le sorgenti sismiche consistono in “rumori ambientali”, o microtremori, costantemente generati da disturbi naturali o artificiali.

A causa del sistema di acquisizione dei dati e delle sorgenti necessarie a generare i microtremori, questo metodo è più veloce e soprattutto economicamente conveniente rispetto alle indagini sismiche in foro e agli altri metodi sismici superficiali utilizzati per



Foto 7: Sismografo PASI GEA24

il calcolo del profilo delle onde di taglio come il SASW e il MASW che, al contrario, trovano difficoltà di applicazione nei centri urbani e/o comunque richiedono grandi fonti energetiche.

È poi da aggiungere che, usando per la registrazione molti canali, impiegando sismogrammi verticali e usando la tecnica di trasformazione p-f (lentezza-frequenza), questo metodo può

arrivare ad analizzare la dispersione delle onde di Rayleigh dove altre tecniche e trovano difficoltà.

A seconda della proprietà del materiale costituente il substrato, il software Re.Mi. può determinare le velocità di onde di taglio fino ad un massimo di 100 metri di profondità; è quindi molto utile per determinare velocemente l'andamento della velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità (V_{s30}) e quindi la categoria del suolo di fondazione in base al nuovo **DPCM 3274 del 20 marzo 2003**².

² **A** Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt} > 50$ o coesione non drenata > 250 kPa).

C Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < cu < 250$ kPa).

D Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $cu < 70$ kPa).

E Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di V_{s30} simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Come detto, la teoria si basa sullo studio delle onde superficiali di Rayleigh e sulla creazione di una trasformata lentezza-frequenza del campo d'onda. Questa trasformata è particolarmente efficace nel permettere l'individuazione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh. La combinazione dei comuni equipaggiamenti di sismica a rifrazione, la semplice modalità di registrazione (senza sorgenti), una tecnica di processo dei dati basata sulla trasformazione del campo di onde e uno strumento di modellazione interattiva della dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh fanno sì che la tecnica dei microtremiti possa essere sfruttata in qualsiasi situazione.

Il programma effettua una trasformazione del campo di onde e crea un diagramma bidimensionale frequenza-lentezza; ciò è particolarmente efficace nel permettere un'accurata determinazione di punti delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh a dispetto della presenza di onde che si propagano lungo l'allineamento ad alte velocità apparenti, onde di corpo, onde d'aria e disturbi incoerenti. La procedura di acquisizione di dati consiste in 10 o più registrazioni di rumori sismici (nella fattispecie, in questa indagine, sono state effettuate 12 registrazioni) di durata pari a 32 secondi, usando sismografo a rifrazione e geofoni convenzionali P-wave. La trasformazione del campo di onde della registrazione del rumore rivela la curva di dispersione dell'onda di taglio. Sulla curva di dispersione dell'onda di taglio vengono poi selezionati i punti (picking) necessari alla determinazione del profilo di velocità dell'onda di taglio nel substrato.

Il sismografo utilizzato è un PASI GEA24 (*foto. 7*) e le modalità di registrazione è 24 bit, mentre i geofoni sono caratterizzati da una frequenza di 4.5 Hz, con un tempo di registrazione è stato di 32 sec. Il software impiegato è **SeisOpt ReMi**, ver. 5.0.

Come si evince dalla *fig. 12 e 13*, il valore delle **Vs₃₀** ricavato dagli array sismici risultano pressoché uguali, ossia Vs_{rifra1} = 408 m/s e Vs_{rifra2} = 372 m/s, con una media complessiva di **Vs = 390 m/s**, pertanto il sito si trova in **classe "B"**.

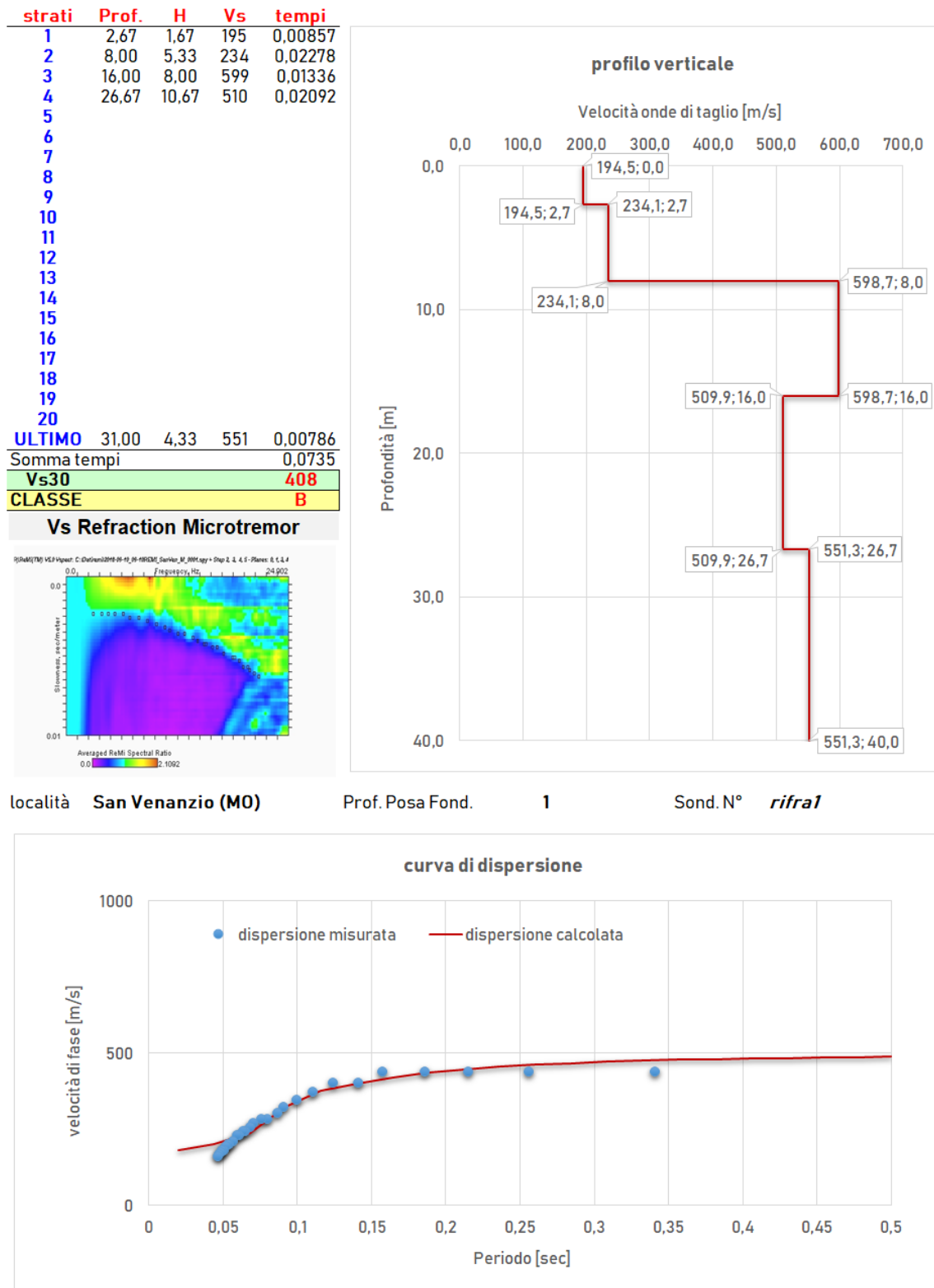


Fig. 12: caratterizzazione sismica del sito ricavata dallo stendimento ai microtremori "rifra1", che evidenzia un valore di $V_{s30} = 408 \text{ m/s}$

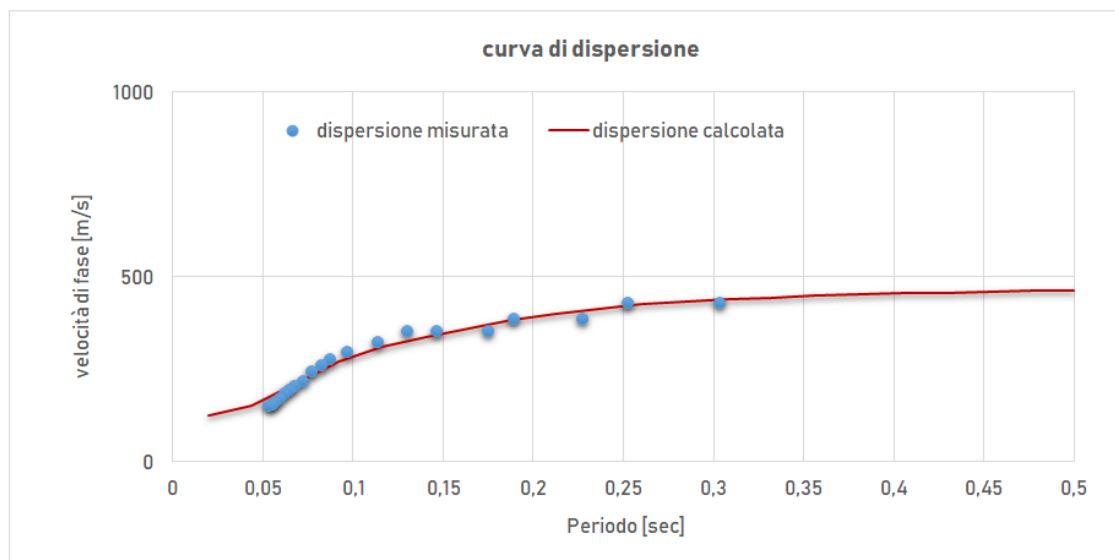
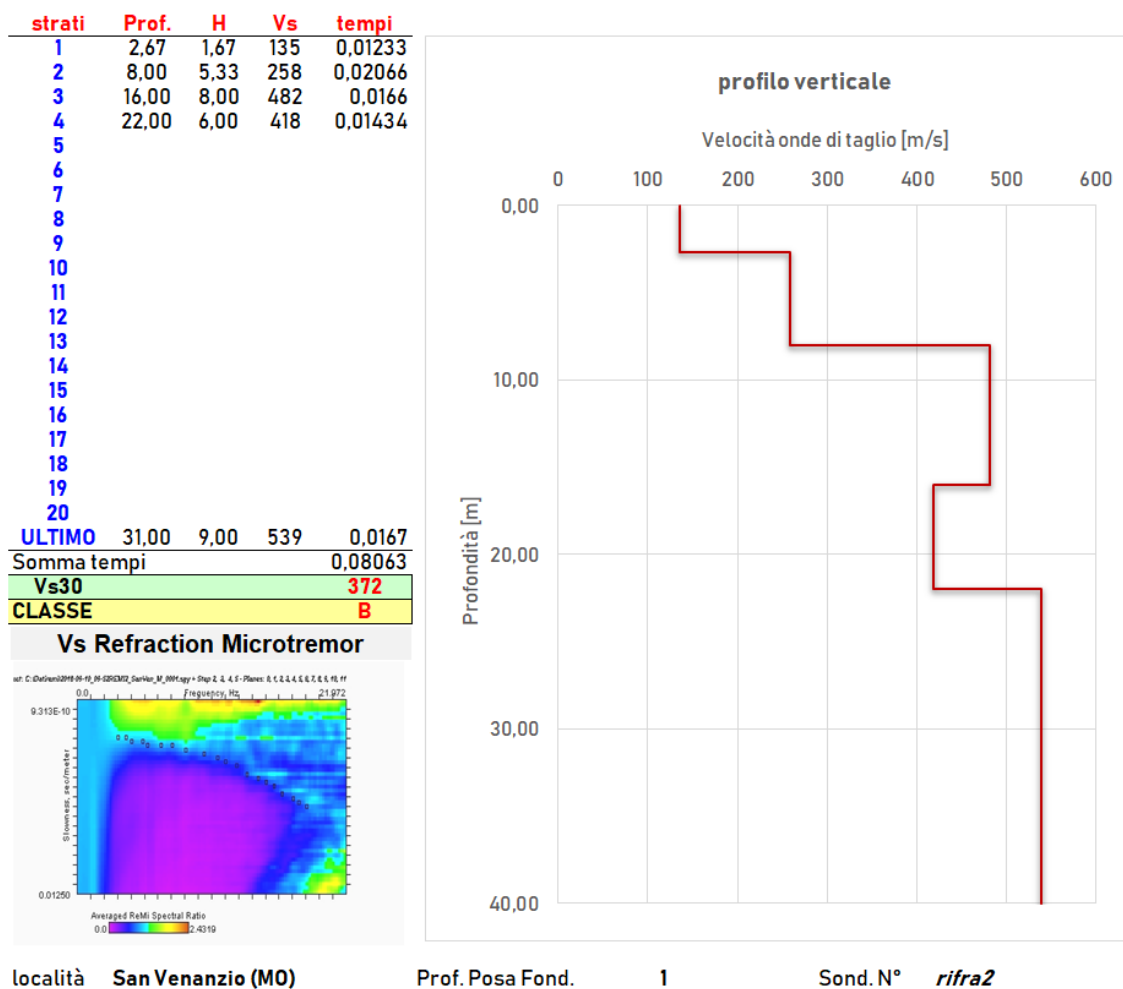


Fig. 13: caratterizzazione sismica del sito ricavata dallo stendimento ai microtremori “rifra2”, che evidenzia un valore di $V_{s30} = 372 \text{ m/s}$

Risposta sismica locale

La variabile “ S_s ” viene determinata utilizzando le tabelle aggiornate dalla *Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015 (per le analisi di approfondimento di 2° livello)*, in quanto danno la possibilità di operare per settori e non per zona. Dall’analisi stratigrafica del sito, si evince che il substrato marino è praticamente affiorante (la restituzione dell’indagine ReMi – *fig. 12 e 13*, lo colloca a 8 - 10 m), pertanto devono essere prese in considerazione le tabelle inerenti alle zone appenniniche con substrato marino caratterizzato da velocità $V_s < 800$ m/s;

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 H (m), riga 1 V_{sH} (m/s)

Fig. 14: Tabelle di riferimento per il calcolo dell’FA nei casi di zone appenniniche con substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s.

Dalla fig. 14 si ricava il coefficiente stratigrafico (S_s)

Vs30	390 (media rifra 1 e 2)
<i>F.A. PGA</i>	<i>1.4</i>
<i>F.A (0.1 ≤ T₀ ≤ 0.5)</i>	<i>1.4</i>
<i>F.A (0.5 ≤ T₀ ≤ 1.0)</i>	<i>1.4</i>

Utilizzando le “Vs₃₀” ricavate dalle prove Re.Mi. (390 m/s), il coefficiente stratigrafico “ S_s ” risulta **1.40**. Il coefficiente topografico³ “ S_t ” = **1.0** (T1), essendo il pendio caratterizzato da un angolo di versante, $\beta \approx 6^\circ$ (da rifra 1). Se si applica questo valore ai parametri del substrato rigido, la forbice dell’accelerazione **a(g) al suolo** varia tra:

- $0.150 \times 1.40 \times 1.0 = 0.210$
- $0.175 \times 1.40 \times 1.0 = 0.245$

La Regione Emilia Romagna ha messo a disposizione i risultati della micronizzazione dei comuni. La *tab. 1* mette in evidenza un valore di a(g) substrato di riferimento per il comune di Maranello, pari a 0.159, ossia un valore compreso fra quelli definiti in precedenza; adottando questo valore l’**a(g) al suolo** sarebbe: **$0.163 \times 1.4 \times 1.0 = 0.228$**

³ Amplificazione topografica NTC 2018

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella sottostante, in funzione delle categorie topografiche definite nella Tab. 3.2.III delle NTC 2017 e dell’ubicazione dell’opera o dell’intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell’opera e dell’intervento	S_T
T1	In funzione dell’angolo di pendio (con inclinazione media $i \leq 15^\circ$)	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio (con inclinazione media $i > 15^\circ$)	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

da NTC 2018 – Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

MO	Maranello	0.163
MO	Marano sul Panaro	0.161
MO	Medolla	0.150

Tab.1: estratto da D.G.R. 2153/2015

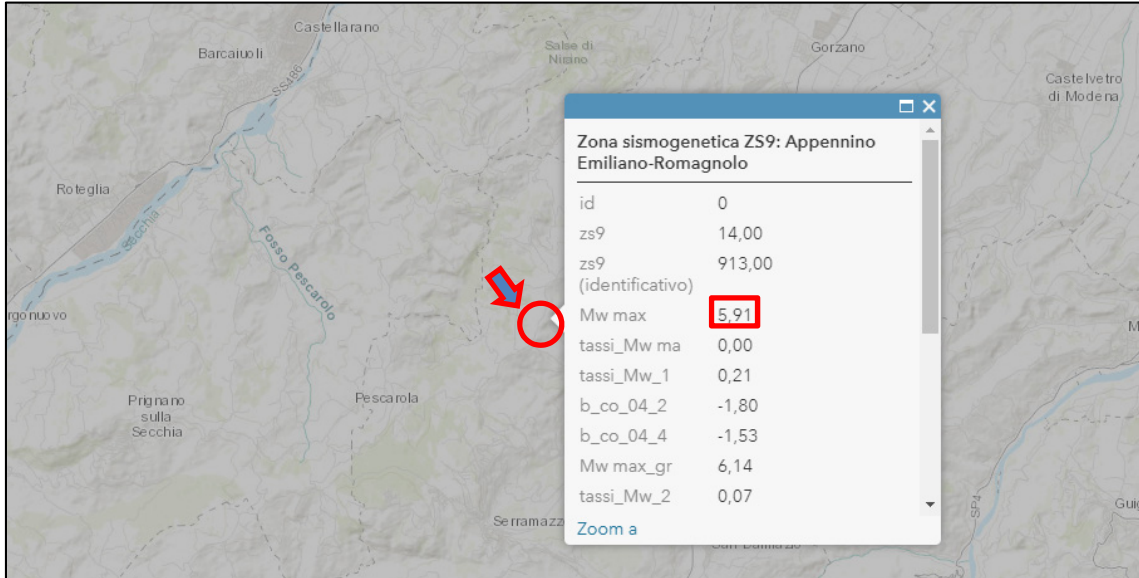


Fig. 15: massima magnitudo attesa secondo la carta Sismogenetica d'Italia (Martellotta, 2012)

Per quanto riguarda la magnitudo attesa, il comune di Maranello si trova in prossimità dalla sorgente sismogenetica⁴ ZS9 (id 913), *Appennino Emiliano-Romagnolo*, la cui magnitudo **M = 5.91** (Carta Sismogenetica d'Italia, 2012, a cura di Martellotta Mariangela – fig. 15).

⁴ Le zone sismogenetiche sono porzioni della crosta o del mantello terrestre da cui possono originarsi i terremoti. Strutture s. sono le strutture geologiche attive a livello regionale da cui si originano i sismi più violenti. **La maggior parte dei terremoti avviene nella crosta terrestre.** La strumentazione sismologica e i metodi di analisi dei dati, sempre più avanzati, consentono di localizzare con precisione gli ipocentri dei terremoti e di osservare che essi, fatta eccezione per le zone di subduzione, **raramente sono più profondi di 15-20 km.** Questa distribuzione degli ipocentri, osservata per grandi e piccoli terremoti e per la microsismicità (terremoti con magnitudo inferiore a 2,5), **permette di identificare uno strato s. definibile come una zona preferenziale, entro la litosfera, per la nucleazione di terremoti.** Il livello inferiore di questo strato è definito dalla profondità massima dei terremoti che vi si verificano e corrisponde, dal punto di vista reologico, alla transizione tra un regime deformativo fragile, in cui la roccia si rompe quando è soggetta a sforzi superiori alla sua resistenza, e un regime duttile, in cui il rilascio di deformazione è pressoché continuo e asismico. Per la maggior parte dei materiali che si ritiene costituiscano una porzione significativa della crosta terrestre, considerando profili realistici di temperatura, la resistenza aumenta fino a una profondità di circa 15 km, per poi decrescere rapidamente. Lo spessore dello strato s. ha importanti conseguenze sulla dimensione dei terremoti poiché corrisponde alla larghezza massima della faglia che si rende disponibile per la rottura; infatti, mentre la lunghezza di una faglia può superare i 1000 km, la sua larghezza ha un limite massimo dato dallo spessore litosferico che ha caratteristiche reologiche tali da rompersi in maniera fragile. I terremoti che rompono l'intera zona s. vengono classificati come grandi; quelli che rompono una parte della zona s. come piccoli. Sulla superficie terrestre le principali strutture s. si trovano in corrispondenza dei margini di placca; tuttavia in alcune regioni la sismicità è concentrata lontano da essi ed è per questo definita intraplacca.

Liquefazione e cedimenti post-sismici

Secondo l'ordinanza **3274⁵**, successivo **D.M. del 14/09/2005** e l'attuale **D.M. 17/01/2018** - prescrizioni sismiche (p.to 3.2.1), un aspetto da studiare è il **fenomeno della "liquefazione"** che interessa particolarmente gli strati sabbiosi, dove questi risultano essere sciolti, e soprattutto caratterizzati da uno spessore piuttosto rilevante (almeno 2.5 – 3.0 m), mentre nel caso analizzato non si rinvenivano mai orizzonti prettamente sabbiosi, ma soltanto uno strato limo argilloso con qualche incluso arenaceo, che, laddove alterato, presenta una matrice *debolmente sabbiosa*; pertanto, in tale situazione stratigrafica, risulta alquanto improbabile il verificarsi di un evento del genere.

Relazione Geotecnica: indagini, caratterizzazione e modellazione volume significativo del sito

Caratterizzazione Geotecnica

Per la realizzazione dell'intervento, come si estrapola dalla normativa, bisogna evidenziare il volume significativo del terreno interessato dall'azione dei carichi di esercizio, pertanto, in questa sede vengono analizzati i parametri geotecnici relativi alla stratigrafia illustrata in *fig. 5 e 6*.

Comm. Località S.Venanzio, Maranello data 13/09/2018			SOND. Din1		Falda nr							
da a natura			ps t/m3	Cu Kg/cm ²	C' Kg/cm ²	Dr %	φ	Eed Kg/cm ²	Ks Kg/cm3	Vs m/s	v	Ey Kg/cm ²
0	0,9	riporto	1,87	1,18	0,18	-	18	74	0,54	229	0,34	48
0,9	1,5	argille	2,01	1,97	0,30	-	23	101	1,01	269	0,27	81
1,5	2,1	argille con trovanti	2,07	2,27	0,34	-	25	110	1,25	281	0,26	91
2,1	5,1	argille	1,98	1,34	0,20	-	18	80	0,91	238	0,33	55
5,1	6	argille compatte	2,16	2,57	0,39	-	25	118	2,10	291	0,26	98
6	6,9	substrato argilloso	4,83	6,84	1,03	-	25	210	6,08	389	0,99	853

Fig. 16: principali parametri geotecnici relativi alla restituzione della prova penetrometrica **Din1**.

⁵ Legge n°3274 del **20/03/2003**

Comm.												
Località			S.Venanzio, Maranello					SOND. Din2				
data			13/09/2018					Falda nr				
			ps	Cu	C'	Dr	φ	Eed	Ks	Vs	v	Ey
daa natura			t/m3	Kg/cm²	Kg/cm²	%		Kg/cm²	Kg/cm3	m/s		Kg/cm²
0	1,5	riporto	1,96	1,73	0,26	-	21	93	0,83	258	0,29	71
1,5	2,4	argille limose	1,87	0,96	0,14	-	20	66	0,54	215	0,37	37
2,4	3,9	argille	2,02	1,64	0,25	-	20	90	1,05	254	0,30	68
3,9	5,7	argille	2,08	1,74	0,26	-	21	94	1,32	259	0,29	72
5,7	6,9	argille con trovanti	2,16	2,27	0,34	-	25	110	1,96	281	0,26	91
6,9	8,4	argille compatte	2,12	1,67	0,25	-	21	92	1,61	255	0,29	69
8,4	9	argille con trovanti	2,18	2,22	0,33	-	24	109	2,30	279	0,26	89
9	10,2	substrato argilloso	5,58	5,50	0,82	-	25	184	6,14	362	0,66	674

Fig. 17: principali parametri geotecnici relativi alla restituzione della prova penetrometrica **Din2**.

Comm.												
Località			S.Venanzio, Maranello									
data			13/09/2018									
			SOND. Din3 Falda nr									
			ps	Cu	C'	Dr	φ	Eed	Ks	Vs	v	Ey
daa natura			t/m3	Kg/cm²	Kg/cm²	%		Kg/cm²	Kg/cm3	m/s		Kg/cm²
0	1,5	riporto	1,99	1,95	0,29	-	22	100	0,94	267	0,28	79
1,5	5,4	argille	2,03	1,64	0,25	-	20	91	1,08	254	0,30	68
5,4	6	argille	2,13	2,06	0,31	-	23	104	1,70	273	0,27	84
6	7,2	argille compatte	2,19	2,65	0,40	-	25	121	2,37	295	0,25	102
7,2	8,1	substrato argilloso	2,86	5,40	0,81	-	25	185	5,26	367	0,47	-44

Fig. 18: principali parametri geotecnici relativi alla restituzione della prova penetrometrica **Din3**.

Comm.												
Località			S.Venanzio, Maranello									
data			13/09/2018									
			SOND. Din4 Falda nr									

Fig. 19: principali parametri geotecnici relativi alla restituzione della prova penetrometrica **Din4**.

A tal proposito, i valori ricavati dalla restituzione di ogni singola prova penetrometrica, secondo il 5 percentile, sono riportati in *fig. 16, 17, 18 e 19*.

Risultati analisi di laboratorio sulle argille med. compatte

In aggiunta alla parametrizzazione mediante rielaborazione delle prove penetrometriche, si è prelevato un campione di terreno alla profondità di -2.50 m dal p.c., per risalire alle caratteristiche delle argille *med. compatte* su cui insistere con interventi futuri (p.e. basamenti fondazionali) in quanto non interessate dal fenomeno di essiccamento superficiale e dalle lavorazioni agricole pregresse; I limiti di *Atterberg* effettuati sul campione di terra sopraccitato individuano argille inorganiche di media plasticità (fig. 20 e 21).

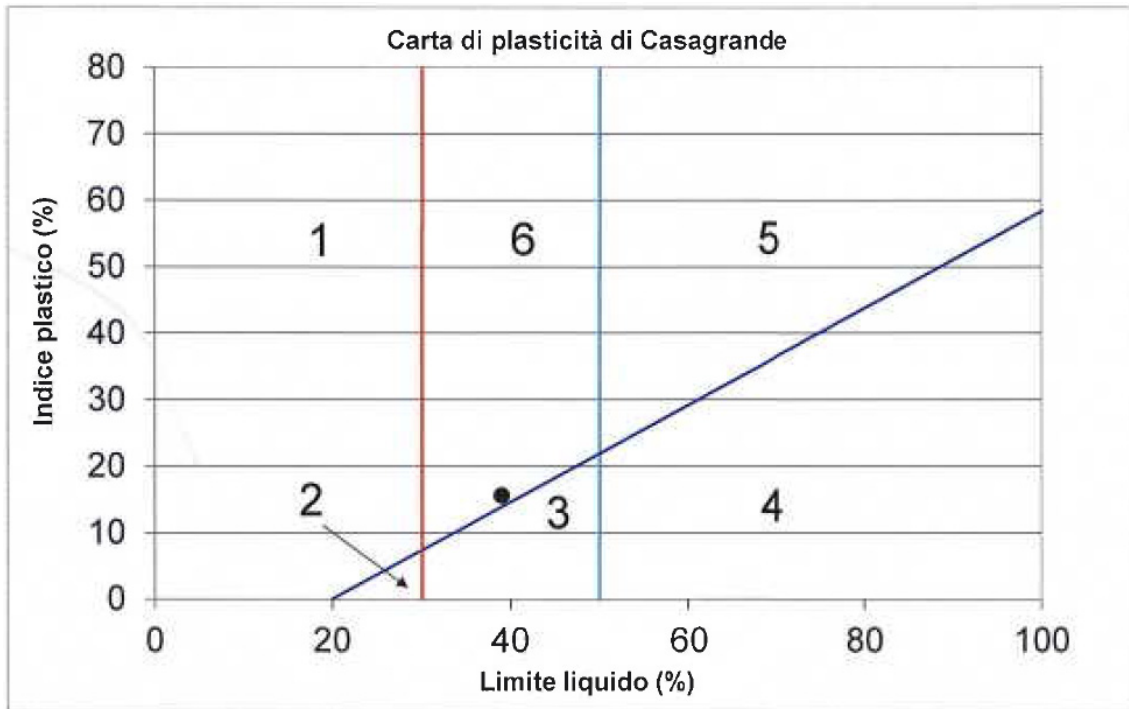
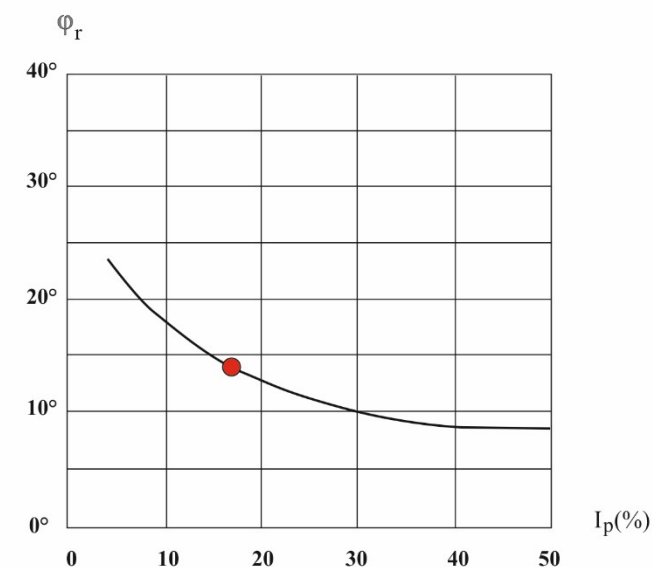


Fig. 20: Carta di plasticità di Casagrande (limiti di atterberg), eseguite sul campione prelevato a -8.00 m dal p.c.; legenda grafico: 1) limi inorganici a bassa compressibilità 2) limi inorganici di media compressibilità e limi organici; 3) limi inorganici di media compressibilità e limi organici; 4) Argille inorganiche di bassa plasticità; 5) **Argille inorganiche di media plasticità**; 6) Argille inorganiche di alta plasticità.

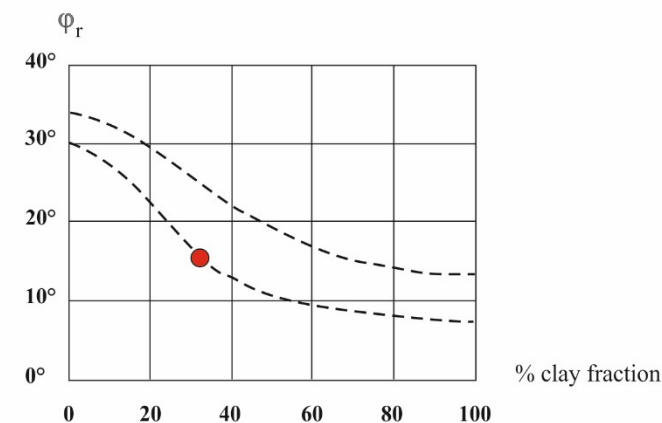
Contenuto naturale d'acqua (%)
Limite liquido (%)
Limite plastico (%)
Indice plastico (%)

17,3
39,0
23,4
15,6

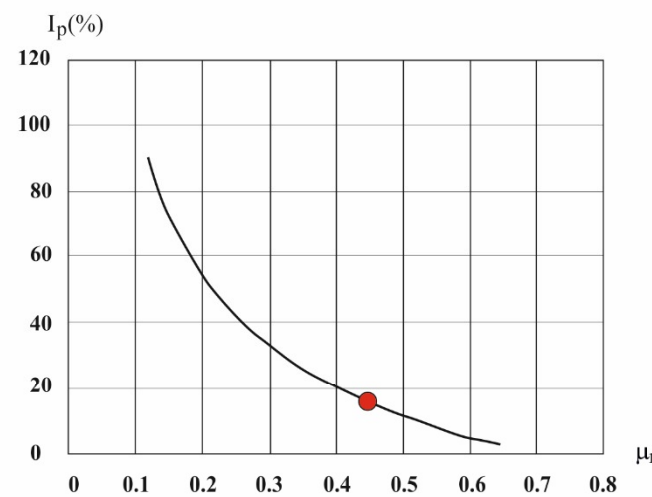
Fig. 21: risultati dell'analisi di laboratorio (limiti di Atterberg) effettuato sul campione di terreno prelevato nelle argille med. compatte rilevate a -2.50 dal p.c.



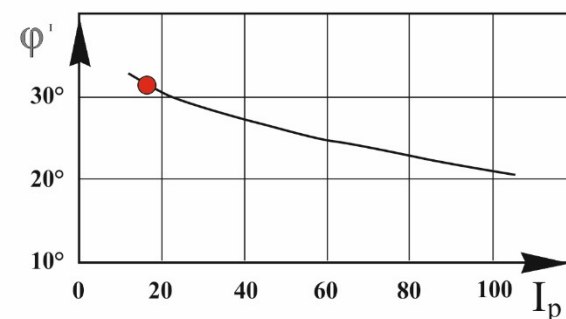
A) Correlazione fra l'angolo di resistenza residua ϕ_r e l'Indice di plasticità I_p (KANJI, 1974)



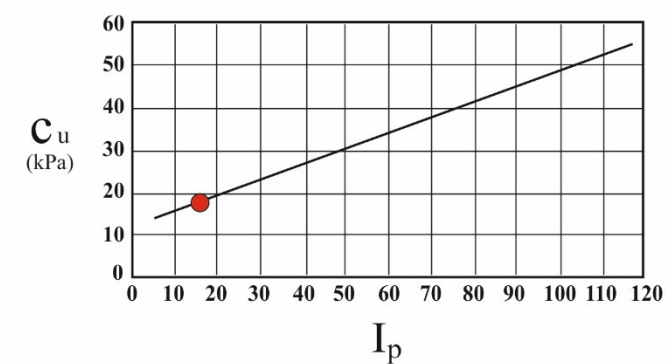
B) Correlazione fra l'angolo di resistenza residua e la frazione argillosa in % (SKEMPTON, 1964)



C) Correlazione fra l'Indice di plasticità (I_p) e la resistenza residua ($\mu_r = \tan \phi$) (VOIGHT, 1973)



E) Curva sperimentale della relazione fra angolo d'attrito efficace ϕ' ed Indice di plasticità per argille NC inorganiche non molto plastiche (TERZAGHI e PECK, 1967)



F) Curva sperimentale $c_u - I_p$ per argille inorganiche e poco attive (TERZAGHI e PECK, 1967)

D) Diagramma di Freiberg

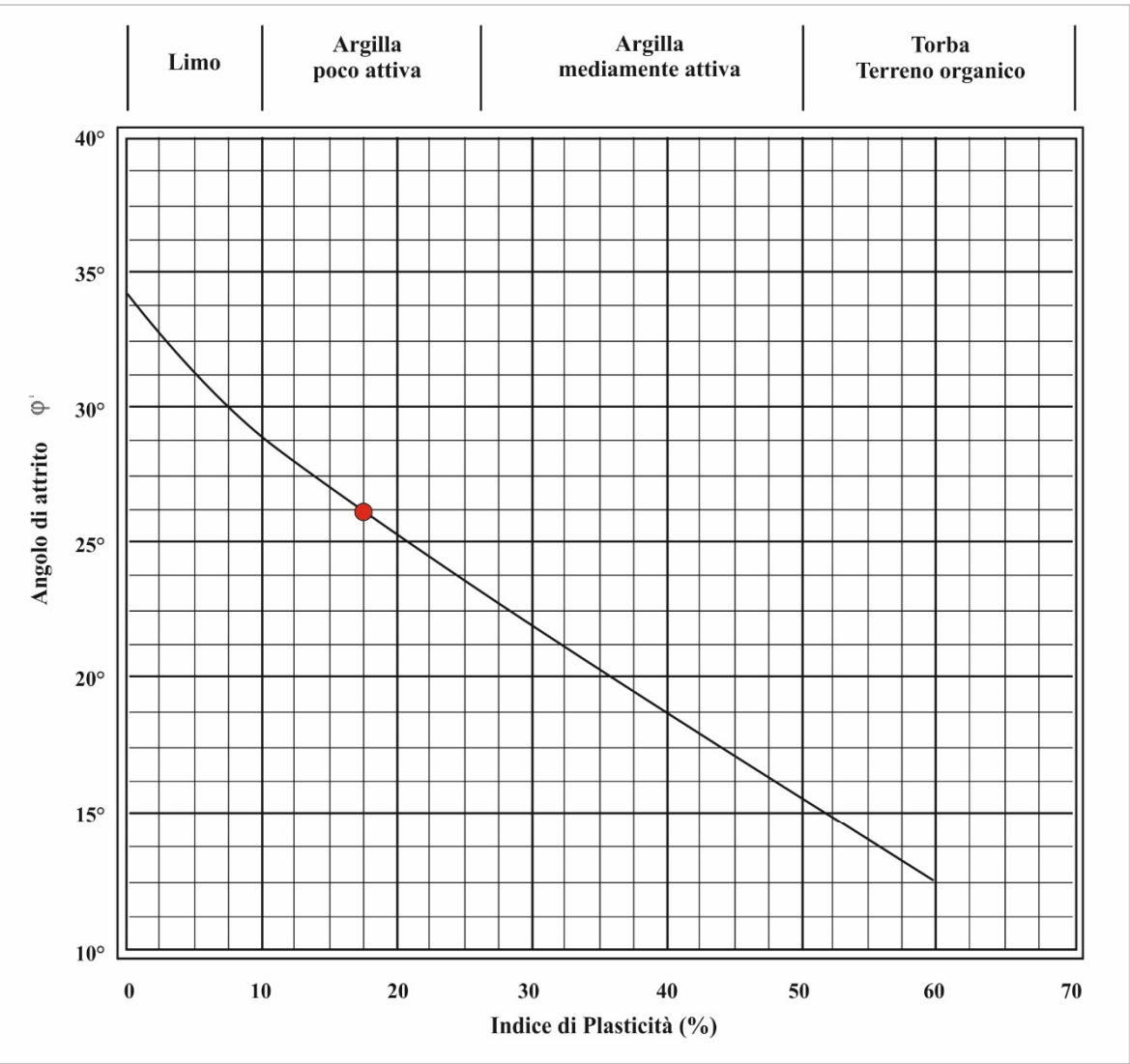


Fig. 22: Correlazioni empiriche tra parametri indice e parametri di resistenza al taglio

Portata limite ultima delle argille med. compatte (secondo le NTC 2018)

Indicativamente, nel caso si intenda realizzare dei fabbricati ad uso civile, nell'ambito del lotto oggetto d'indagine, si consiglia di raggiungere le argille med. compatte poste ad una profondità variabile di 2.1 – 2.4 m dal p.c. che hanno un tetto formazionale parallelo al profilo topografico del versante.

La stima della portata limite ultima di questa litologia, in ottemperanza a quanto indicato nelle NTC 2018 (fig. 23), secondo *Brinch-Hansen & Paolucci-Pecker*, per i terreni posti lunghi i pendii restituisce il seguente quadro:

condizione	[G]enerale [P]endio	P	
parametri geotecnici	φ	17.07	[Brinch-Hansen & Paolucci - Pecker]
	CU (Kg/cmq)	0.86	
	C' (Kg/cmq)	0.19	
Approcci	APP.1- COMB.2		
	R2	1.8	
		<i>A lungo termine</i>	<i>A breve termine</i>
		$Q_{LU} = \frac{C * N_c * S_c * d_c * h_{cf} + \gamma H * N_q * S_q * d_q * h_{qf} + 0.5B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma * h_{\gamma f}}{R}$	$Q_{LU} = \frac{5.14 * CU * h_{cf} + \gamma H * h_{qf}}{R}$
coefficienti di portata	Nc	12.38	
	Sc	1.03	
	dc	1.62	
	hcf	0.99	hcf 0.99
	Nq	4.80	
	Sq	1.02	
	dq	1.49	
	hqf	0.96	hqf 0.96
	N γ	1.75	
	S γ	1.02	
	d γ	1	
	hgf	0.96	
portata	QLU (Kg/cmq)	3.74	QLU (Kg/cmq) 2.63

Fig. 23: stima della portata limite ultima delle argille med. compatte poste a -2.10 dal p.c. secondo quanto richiesto dalle NTC 2018.

Si tenga conto che i valori sopra riportati sono ottenuti con parametri geotecnici elaborati secondo il 5 percentile.

Verifica di stabilità del versante oggetto d'indagine

Obiettivo del presente studio (richiesto dagli enti preposti anche per di **svincoli idrogeologici**) è quello di valutare la stabilità del versante oggetto di interventi urbanistici futuri (principalmente operazioni di sterro); dalle restituzioni penetrometriche, escluso il primo strato superficiale (spessori compresi tra 1.2-1.5 m) costituito da argille limose e/o limi argillosi con medio-basse qualità di resistenza in quanto interessate da lavorazioni agricole superficiali, i sottostanti strati argillosi più compatti conferiscono al versante un'ottima stabilità, come si evince anche nello stato di fatto dove non si rileva alcuna zona di detensionamento sommitale e/o profondo.

A conferma di questa situazione si procede ad effettuare delle verifiche di stabilità che considerano tutte le variabili geotecniche e sismiche che possono influire sul fattore di sicurezza del versante.

A tale proposito, le analisi di stabilità vengono approntate mediante il metodo all'equilibrio limite (*Bishop, Janbu e Morgenstern - Price*⁶), che consiste nel calcolo delle forze agenti lungo una superficie di scorrimento predefinita e delle resistenze disponibili lungo la stessa superficie. La condizione di equilibrio limite è verificata quando le forze agenti uguagliano quelle resistenti: in questo caso lo stato tensionale medio lungo la superficie di scorrimento giace sull'involuppo di rottura del terreno ed il versante si trova sul punto di collasso. Nei pendii stabili, la resistenza mobilizzata in condizioni di equilibrio statico è minore di quella disponibile e ciò viene espresso convenzionalmente tramite un fattore di sicurezza *F* definito come:

$$F = \frac{\text{resistenze disponibili}}{\text{resistenze mobilizzate}}$$

Il fattore di sicurezza del versante è quello corrispondente alla superficie di scorrimento più critica (*F* più basso) tra le varie superfici di prova. Le resistenze disponibili sono generalmente definite dalla relazione di Mohr-Coulomb (vedi sopra) ma il metodo può essere applicato anche considerando altri criteri di rottura.

⁶ Metodologia usata nel presente studio

Come richiesto dalle ultime normative in materia di costruzioni (D.M. 17/01/2018) e successive integrazioni, viene inserito anche il coefficiente sismico, dovuto all'eventuale "scuotimento" della struttura, che può causare infiltrazioni improvvise in più punti dell'opera.

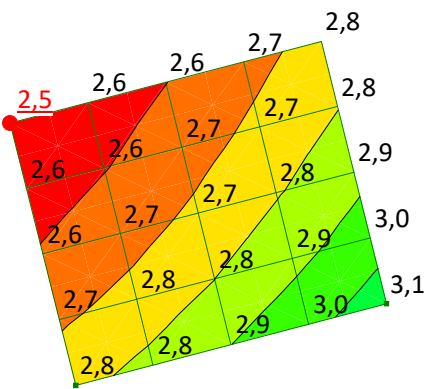
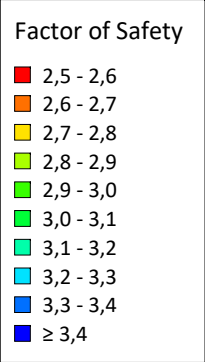
I parametri geotecnici indicati nel paragrafo precedente vanno considerati conservativi ed inoltre, avendo operato secondo gli stati limiti ultimi (s.l.u.), ossia con la penalizzazione della coesione e dell'angolo di attrito interno come previsto dal D.M. 17/01/2018 (classe B, coefficiente topografico 1.0), il coefficiente di sicurezza non osserva più il canonico "1.3", bensì deve solo essere superiore all'unità, inoltre, viene inserita la componente orizzontale (0.2g) e verticale dell' a_g di sito che ulteriormente penalizza, a favore della sicurezza globale, il coefficiente di stabilità.

L'esito di tutte le analisi di verifica risultano accettabili, in quanto superiori al valore dell'equilibrio limite ($f_s=1$), sia quella approntate con i soli parametri geotecnici, sia quella penalizzata dalla componente orizzontale sismica:

	Fattore di sicurezza f_s	
	<i>Soli parametri geotecnici</i>	<i>Parametri geotecnici e coeff. sismico orizzontale (0.2g)</i>
Stato attuale	3.4	2.5

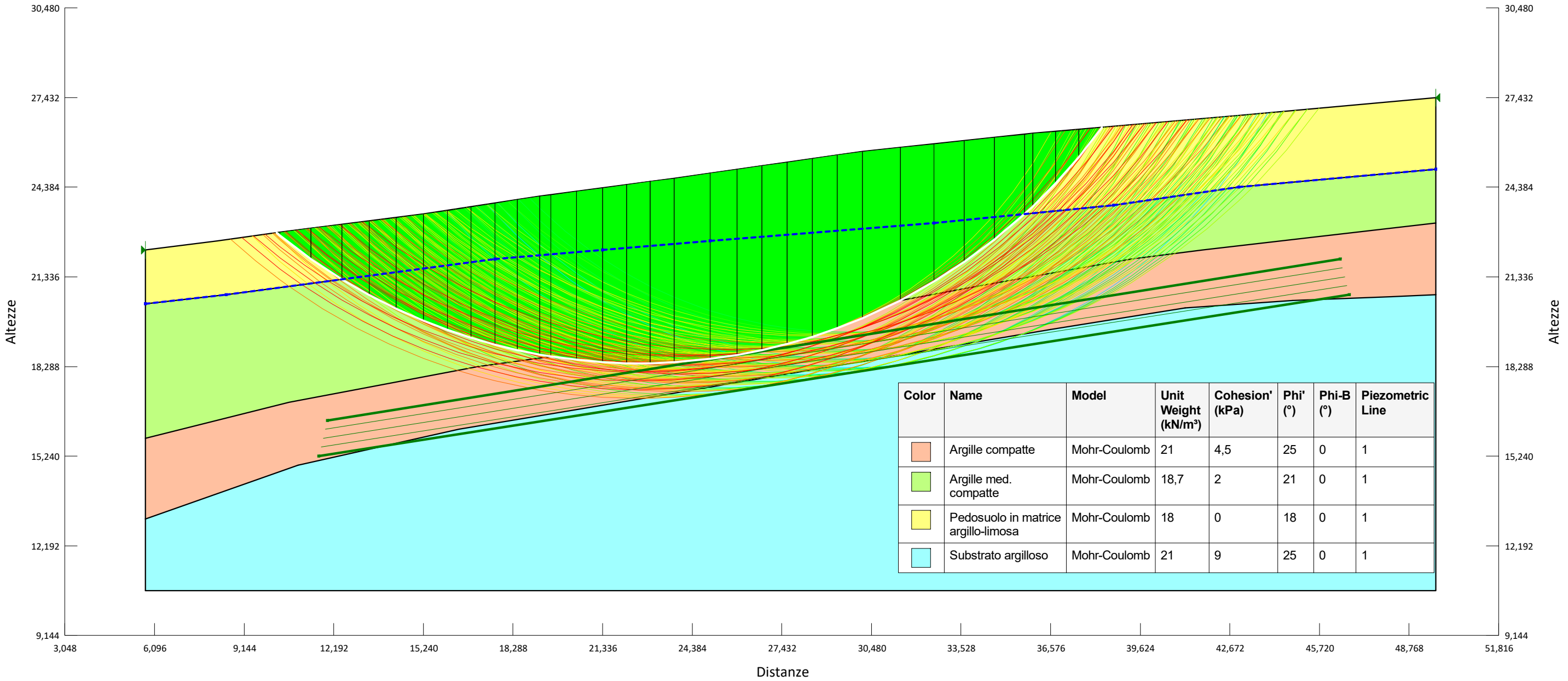
In *fig. 24* si riporta solo la verifica effettuata considerando l'accelerazione di sito (situazione più cautelativa) mentre, in *allegato* al presente studio si riportano i tabulati relativi alle analisi di stabilità effettuate.

In definitiva, la profilatura del versante allo stato attuale, considerata anche la coltre superficiale a matrice argillo-limosa (basse caratteristiche geomeccaniche), restituisce un quadro geodinamico stabile che migliorerà ulteriormente quando verrà rimossa parte del pedosuolo per realizzare i basamenti delle nuove strutture e/o opere di urbanizzazione insisteranno direttamente su litologie più consistenti.



Name: Verifica stabilità, S.Venanzio (MO)

Horz Seismic Coef.: 0,0456



Conclusioni

La presente indagine, con riferimento alla modellazione geologica, stratigrafica e sismica del volume significativo di terreno, finalizzata ad una nuova lottizzazione nell'ambito del comparto AN.1L contenuto nel POC-PUA del comune di Maranello, denominato "S.Venanzio Sud – sub ambito *b*", espletata mediante la realizzazione di n°4 penetrometrie dinamiche DPSH, n°1 carotaggio con prelievo di campione di terra da analizzare (*limiti di Atterberg*), n°2 acquisizione passive ai microtremori (Re.Mi.) e n°2 stendimenti sismici a rifrazione, ha permesso di restituire il seguente quadro:

- 1) l'area in oggetto si sviluppa su terreni costituiti essenzialmente dalla stessa litologia (*argille grigio - azzurre plioceniche*), che caratterizza tutti i versanti pedemontani e/o pedecollinari di Sassuolo, Fiorano, Spezzano, Maranello, Savignano S.P., sino alla zona di Vignola e Marano S.P.; questi depositi, prevalentemente argillosi, argillo-limosi e localmente argillo-sabbiosi, sono *facies* marine depositatesi alla fine del Pliocene prima del ritiro definitivo del mare;
- 2) anche l'indagine geognostica conferma questa situazione, che, se si esclude lo strato superficiale di 1.0 – 1.5 m, costituito essenzialmente da pedosuolo derivante da lavorazioni agricole pregresse, evidenzia una successione pelitica (da argille *med. compatte* a *consolidate*) a consistenza crescente fino a 10.5 m di profondità;
- 3) per quanto concerne l'aspetto idrogeologico, nei fori di sondaggio **non è stata rilevata** la presenza di acqua in falda (13/09/2018);
- 4) l'area indagata è collocata in prossimità del crinale e non si rilevano settori interessati da fenomeni di dissesto, pertanto **l'area è stabile**.
- 5) La ricostruzione stratigrafica del versante evidenzia un'orizzonte litologico su cui insistere con interventi futuri (p.e. basamenti fondazionali) costituito da argille *med. compatte* poste ad una profondità di 2.1 – 2.4 dal p.c. caratterizzate da buoni parametri geotecnici, in quanto non interessate dal fenomeno di essiccamento superficiale e dalle lavorazioni agricole pregresse;

- 6) Indicativamente, la portata limite ultima di questa litologia, in ottemperanza a quanto indicato nelle NTC 2018, secondo *Brinch-Hansen & Paolucci-Pecker*, per i terreni posti lunghi i pendii restituisce il seguente quadro:

	<i>A lungo termine</i>		<i>A breve termine</i>	
portata	QLU (Kg/cm ²)	3.74	QLU (Kg/cm ²)	2.63

- 7) Obiettivo del presente studio (richiesto dagli enti preposti anche per di **svincoli idrogeologici**) è quello di valutare la stabilità del versante oggetto di interventi urbanistici futuri (principalmente operazioni di sterro); premesso che allo stato attuale non si rileva alcuna zona di detensionamento sommitale e/o profondo, le verifiche di stabilità effettuate nelle condizioni più cautelative (presenza di falda e coefficiente sismico orizzontale) restituiscono valori maggiori dell'equilibrio limite ($f_s=1$):

	Fattore di sicurezza f_s	
	<i>Soli parametri geotecnici</i>	<i>Parametri geotecnici e coeff. sismico orizzontale (0.2g)</i>
Stato attuale	3.4	2.5

- 8) l'analisi sismica del sito (approfondimento locale di tipo 2):
- a) magnitudo attesa: **5.91**;
 - b) l'accelerazione sismica attesa a livello di suolo (a_{g0}) è: **0.228**;
 - c) le " V_{s30} " ricavate dalle prove **REMI** (390 m/s) pongono il sito in **classe B**;
 - d) l'accelerazione topografica " S_t " = **1.0** e quella stratigrafica locale " S_s " = **1.40**;
 - e) nessun rischio di liquefazione, in quanto il substrato è privo di orizzonti sabbiosi, propriamente sciolti.

Dott. Geol. Thomas GEMELLI

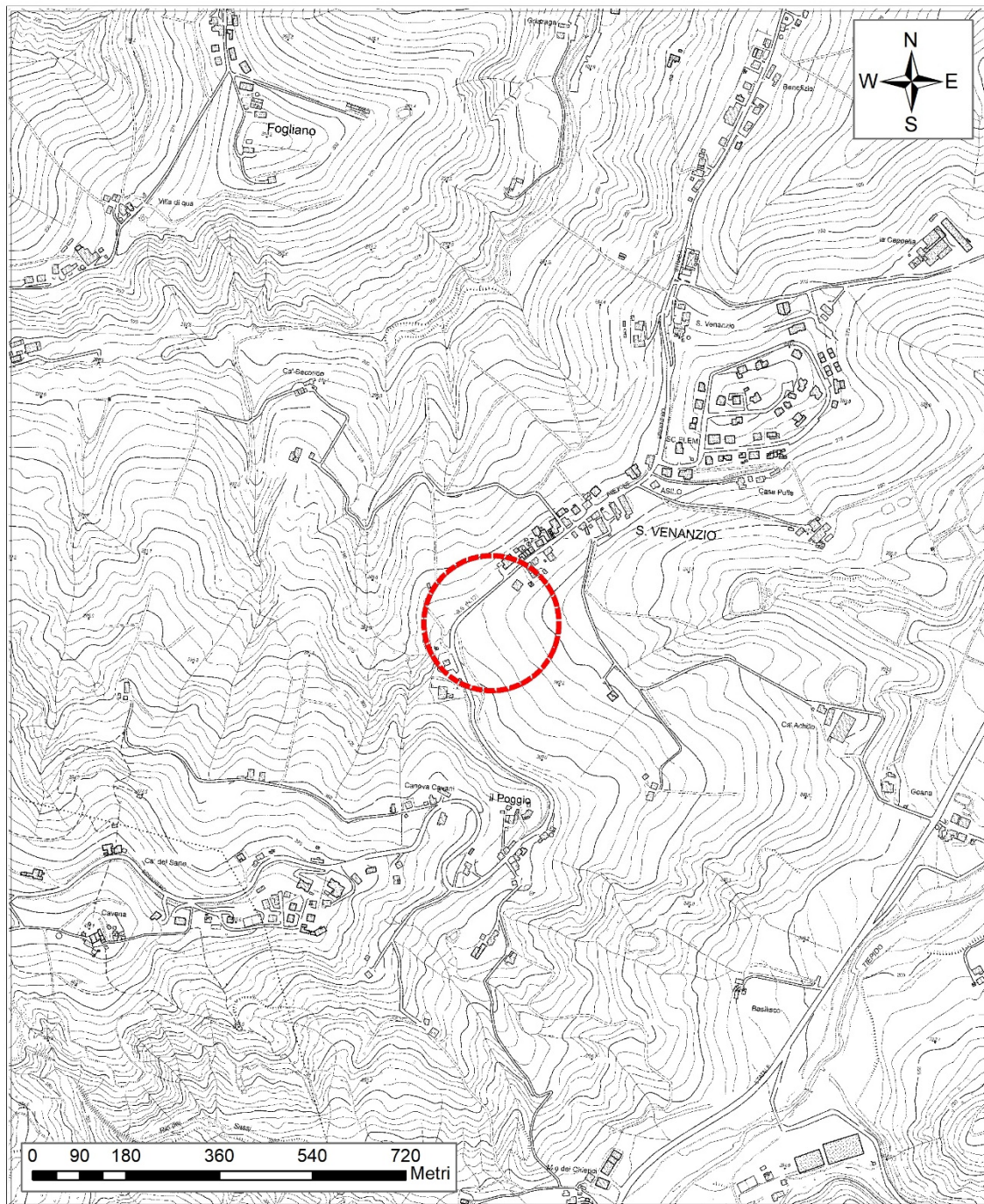
Albo Reg. Em. Rom. n°1009



Allegati

Grafici ed elaborati relativi a:

- 1) Ubicazione dell'area indagata sulla base della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) e Ortofoto AGEA 2012 (con *sovrapposizione delle aree di POC-PUA del comune di Maranello*);
- 2) Ubicazione delle indagini effettuate sul rilevamento topografico gentilmente fornito dal Geom. Severi;
- 3) Estratto di “Carta geologica della Regione Emilia Romagna” – *da Pignone et alii* (2018);
- 4) Istogrammi, grafici e principali parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche realizzate (DPSH), relativi a:
 - resistenza all'infissione della punta (istogramma penetrometrico) e ricostruzione stratigrafica;
 - Tabulato Parametri geotecnici;
- 5) Certificato n°117/Q/P, relativo all'analisi di laboratorio effettuato sul campione di terreno prelevato in prossimità del Carotaggio C1;
- 6) Tabulati e grafici relativi alla rielaborazione degli stendimenti sismici a rifrazione.



area oggetto d'indagine

**Ubicazione Sito su Carta Tecnica Regionale
(DBTR 2013)**

1:10.000



area oggetto d'indagine

**Ubicazione Sito su Ortofoto AGEA 2011
(base topografica DBTR 2013)**

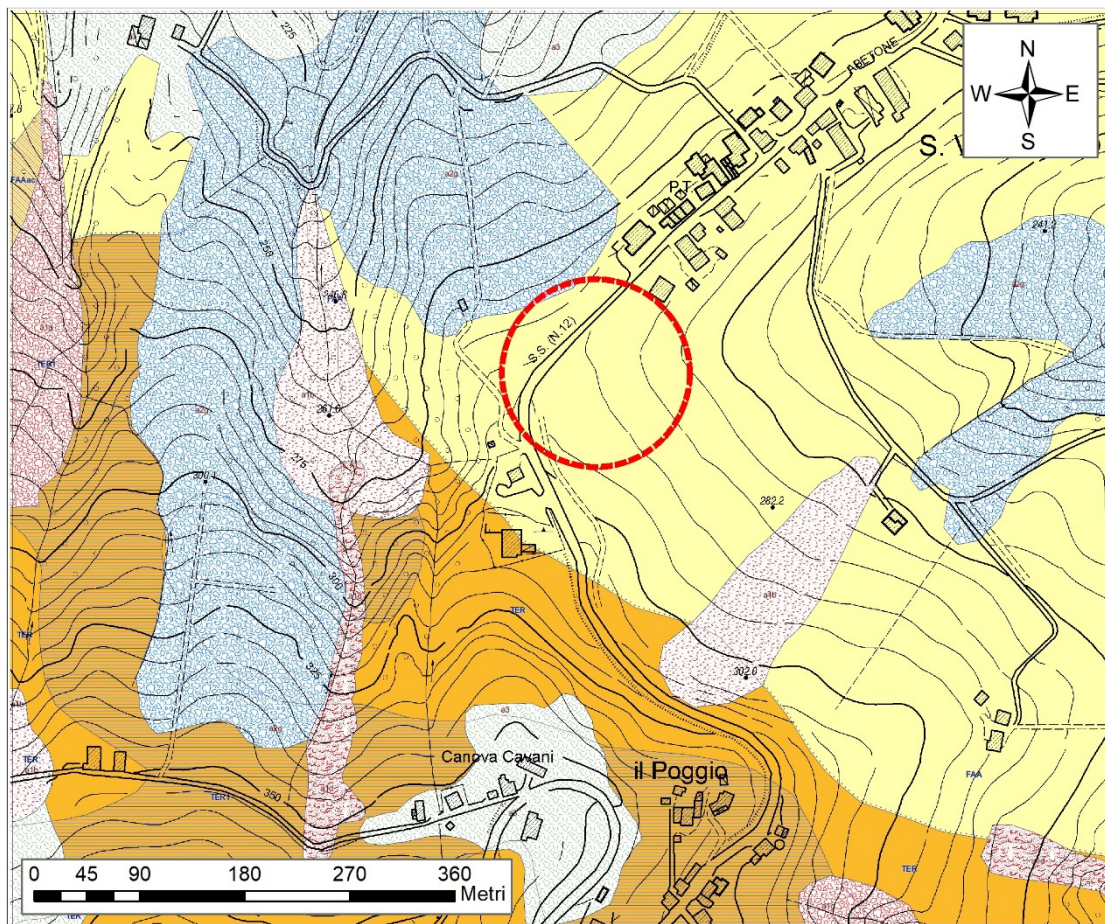
1:5.000



 Area oggetto d'indagine

**Ubicazione Sito su Ortofoto AGEA 2011
(sovrapposizione del POC comunale)**

1:2.000



Depositi quaternari

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento, originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia.

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

Geologia del substrato

FAA - Argille Azzurre

Argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate.

TER - Formazione del Termino

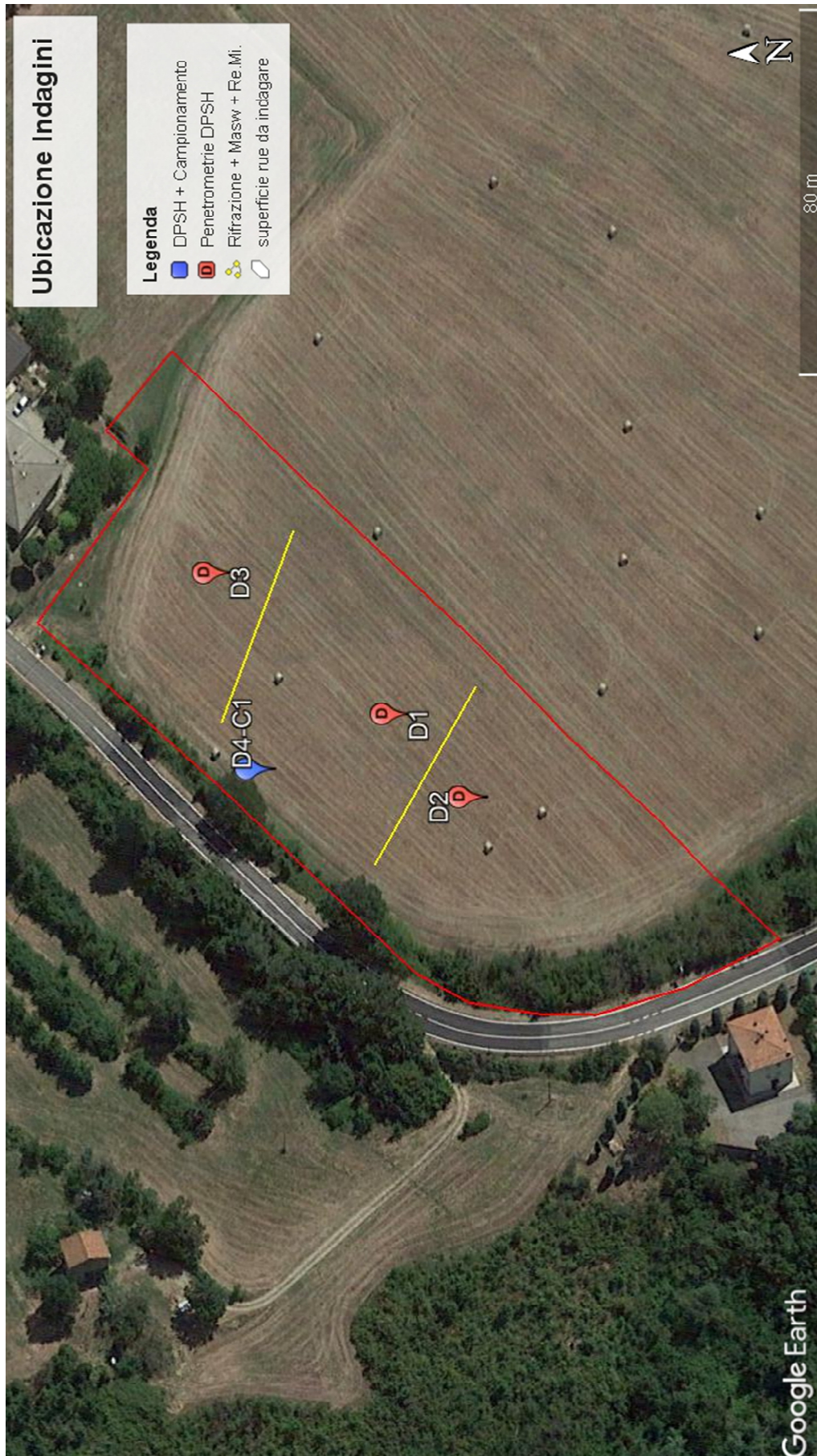
Marne siltose, talora debolmente sabbiose, grigie, chiare se alterate, fossilifere; sporadici strati medi e sottili di arenarie gradate, con granulometria per lo più fine. Locali masse di calcari metanogenici con macrofossili (Lucine). Ambiente sedimentario di scarpata e margine bacino con apporti torbiditici e frane sottomarine. Il limite inferiore è discordante su PAT. La potenza totale della formazione può raggiungere alcune centinaia di metri.



area oggetto d'indagine

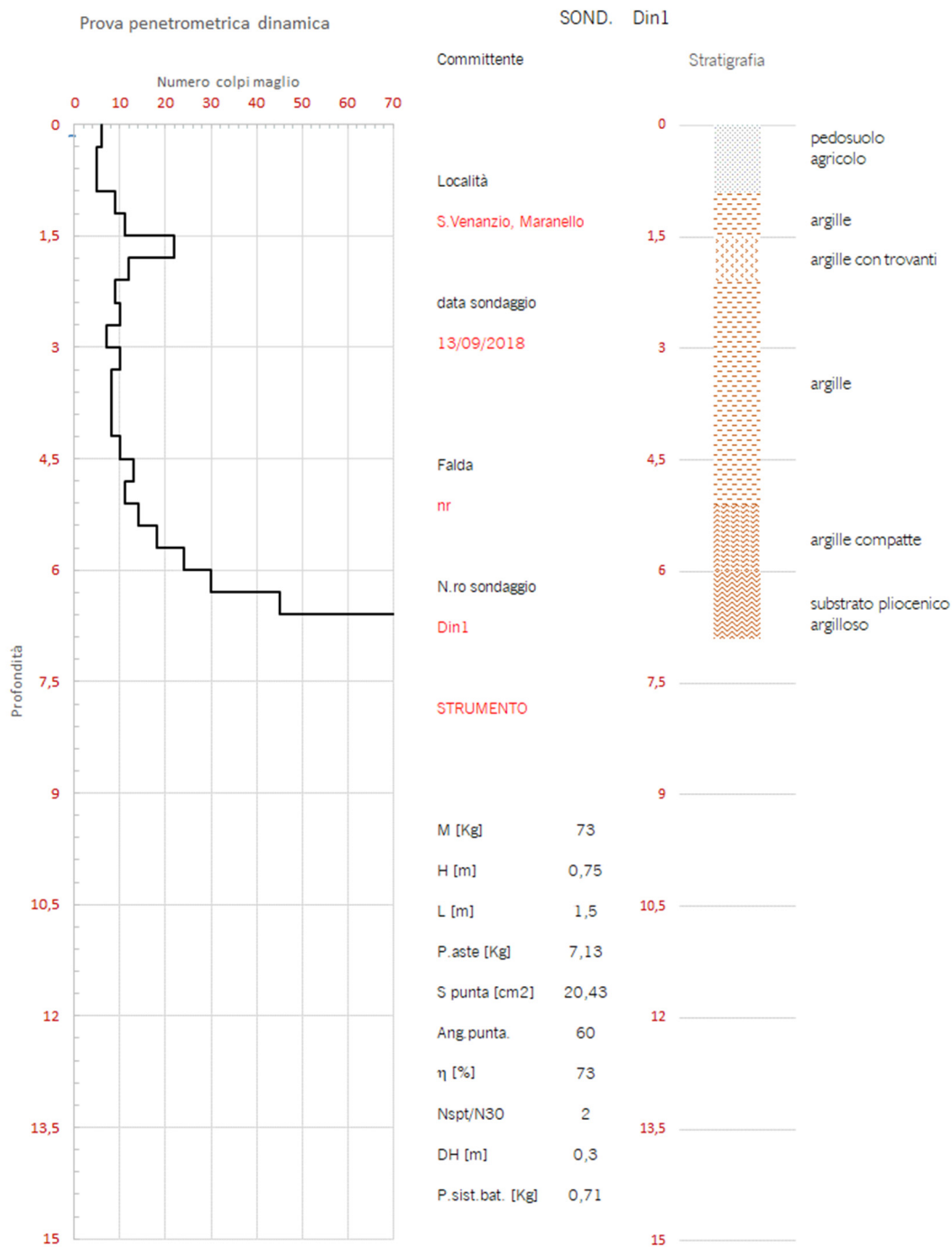
Estratto Carta Geologica del Margine Appenninico

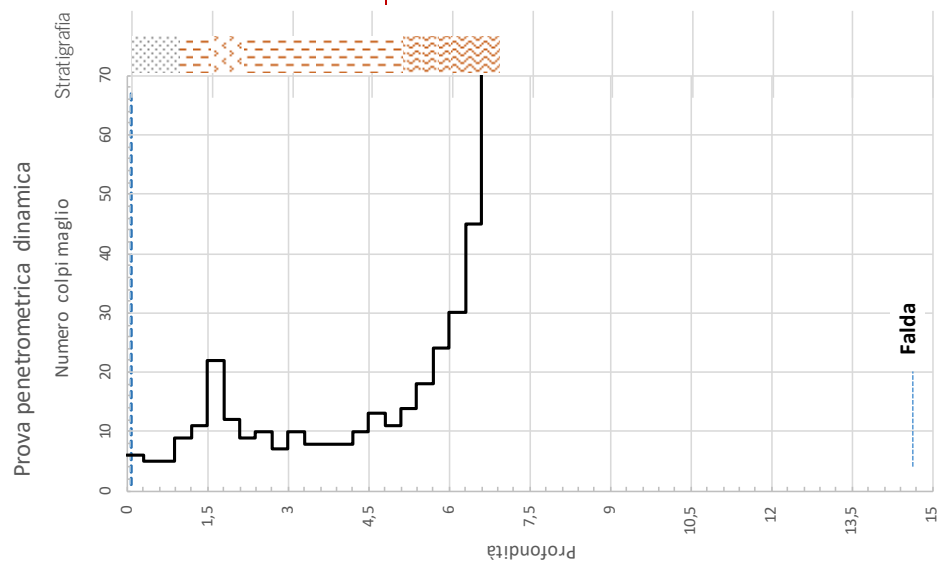
1:5.000



Dott. Geol. GEMELLI THOMAS

Via Milano 21, Sassuolo (MO). Cell. 3498786691 - email: thomas.gemelli@tiscali.it





Comm.

Località S.Venanzio, Maranello

data 13/09/2018

SOND.

Din1

Falda

nr

da a natura

	ps t/m3	Cu Kg/cm ²	C' Kg/cm ²	Dr %	φ	Eed Kg/cm ²	Ks Kg/cm3	Vs m/s	v	Ey Kg/cm ²
0	1,87	1,18	0,18	-	18	74	0,54	229	0,34	48
0,9	2,01	1,97	0,30	-	23	101	1,01	269	0,27	81
1,5	2,07	2,27	0,34	-	25	110	1,25	281	0,26	91
2,1	1,98	1,34	0,20	-	18	80	0,91	238	0,33	55
5,1	2,16	2,57	0,39	-	25	118	2,10	291	0,26	98
6	4,83	6,84	1,03	-	25	210	6,08	389	0,99	853

Riferimenti bibliografici

Terreni coerenti

Terreni incoerenti

Bowles

Lambe

Jacobsen

Yoshida

P.V.Righi

Sanglerat

Widjajala

Kulvay

R. Ziaie_M.

Widjajala

Lee

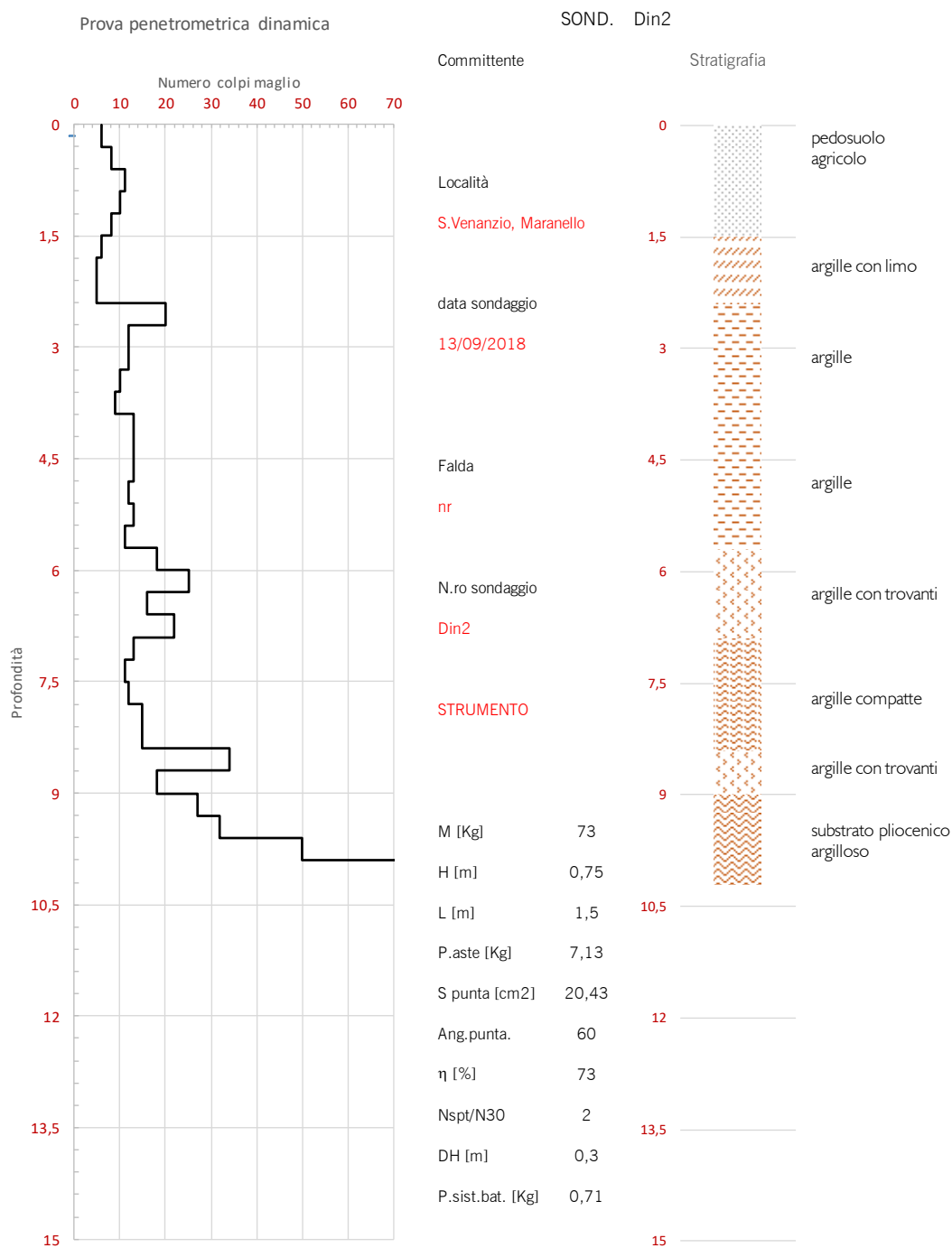
J.A.Hemsley

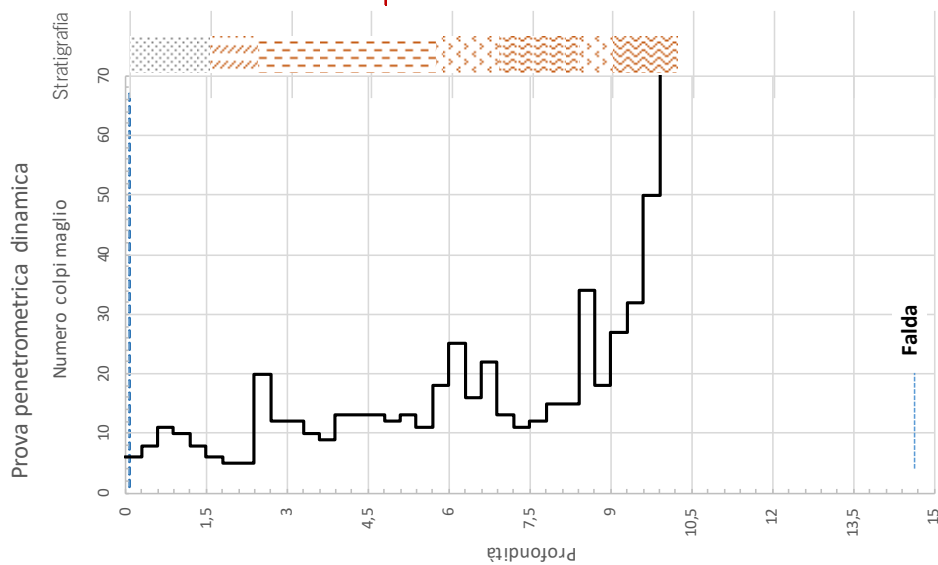
T.Elast.

T.Elast.

Dott.Geol. GEMELLI THOMAS

Via Milano 21, Sassuolo (MO). Cell. 3498786691 - email: thomas.gemelli@tiscali.it





Comm.		Località S.Venanzio, Maranello		SOND.		Din2		Falda		nr			
data		13/09/2018											
da	a	natura											
				ps	Cu	C'	Dr	φ	Eed	Ks	Vs	v	Ey
				t/m3	Kg/cm²	Kg/cm²	%		Kg/cm²	Kg/cm3	m/s		Kg/cm²
0	1,5	riporto		1,96	1,73	0,26	-	21	93	0,83	258	0,29	71
1,5	2,4	argille limose		1,87	0,96	0,14	-	20	66	0,54	215	0,37	37
2,4	3,9	argille		2,02	1,64	0,25	-	20	90	1,05	254	0,30	68
3,9	5,7	argille		2,08	1,74	0,26	-	21	94	1,32	259	0,29	72
5,7	6,9	argille con trovanti		2,16	2,27	0,34	-	25	110	1,96	281	0,26	91
6,9	8,4	argille compatte		2,12	1,67	0,25	-	21	92	1,61	255	0,29	69
8,4	9	argille con trovanti		2,18	2,22	0,33	-	24	109	2,30	279	0,26	89
9	10,2	substrato argilloso		5,58	5,50	0,82	-	25	184	6,14	362	0,66	674

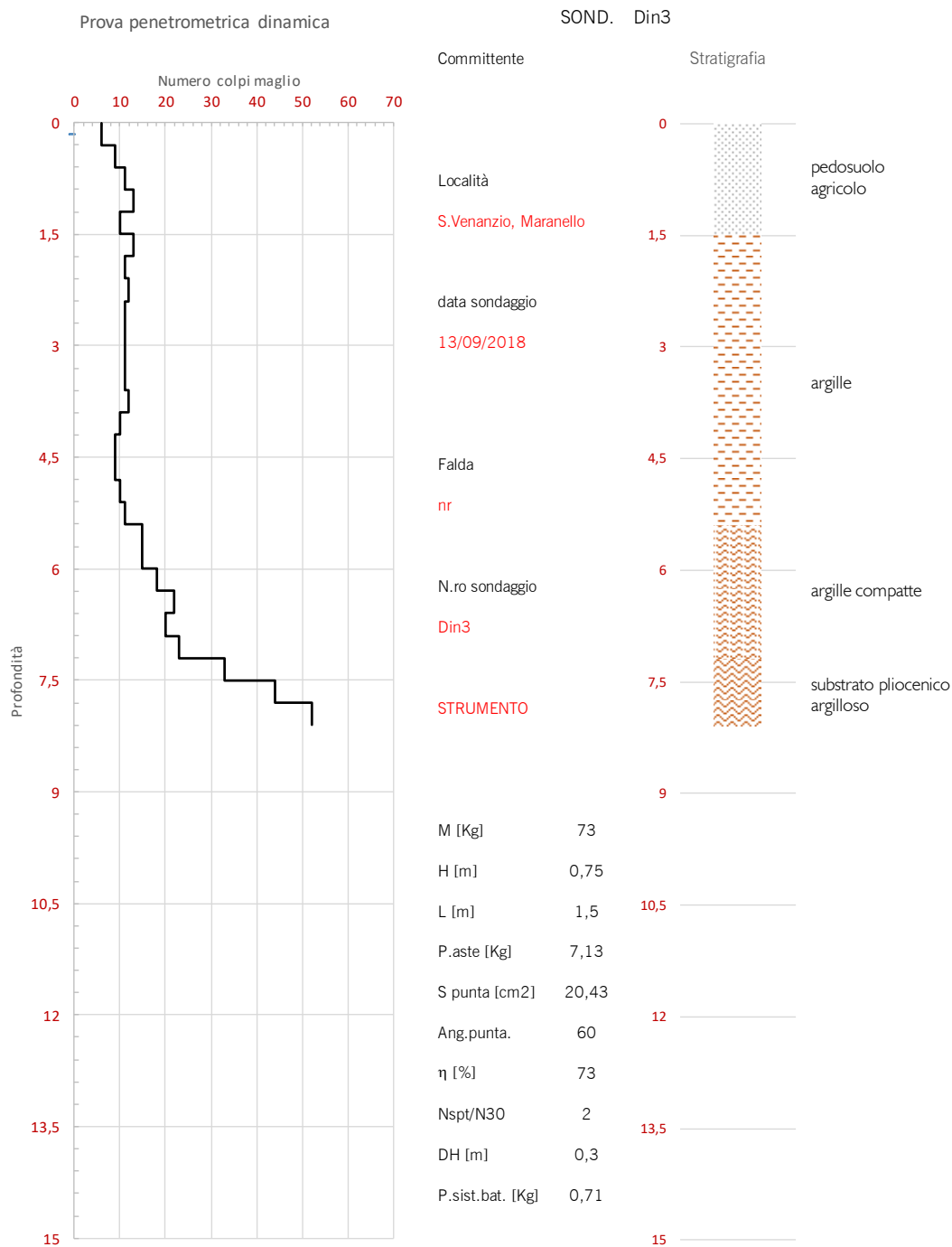
Riferimenti bibliografici

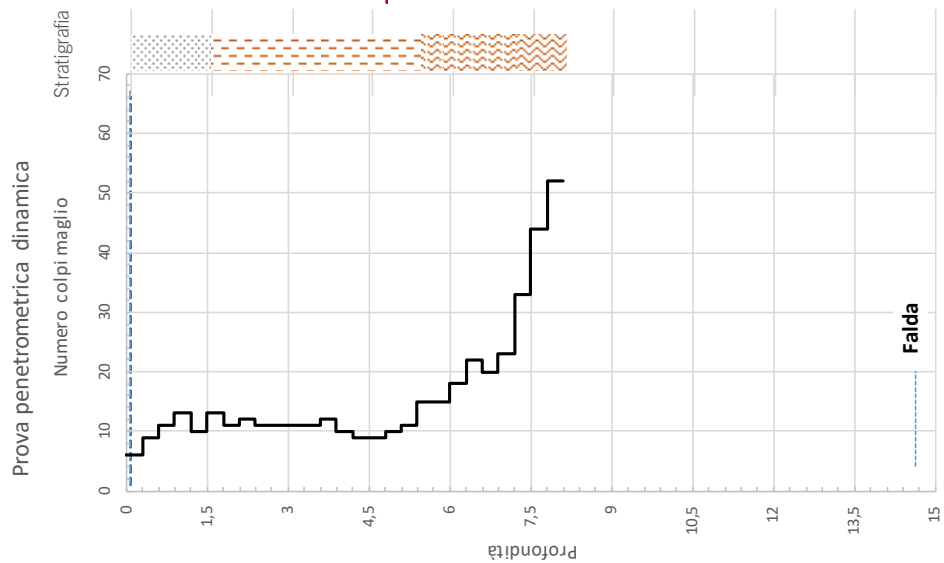
Terreni coerenti
Terreni incoerenti

Bowles	Lambe	Jacobsen	P.V.Righi	Sanglerat	Widjiala	Lee	J.A.Hemsley	T.Elast.
Bowles			Bowles	Schultze	Kulway	R. Zlate_M.	Widjiala	T.Elast.
			Yoshida					

Dott.Geol. GEMELLI THOMAS

Via Milano 21, Sassuolo (MO). Cell. 3498786691 - email: thomas.gemelli@tiscali.it





Comm.
Località S.Venanzio, Maranello
data 13/09/2018

da a natura

SOND.			Falda			nr		
ps	Cu	C'	Dr	φ	Eed	Ks	Vs	Ey
t/m3	Kg/cm²	Kg/cm²	%		Kg/cm²	Kg/cm3	m/s	Kg/cm²
1,99	1,95	0,29	-	22	100	0,94	267	79
2,03	1,64	0,25	-	20	91	1,08	254	68
2,13	2,06	0,31	-	23	104	1,70	273	84
2,19	2,65	0,40	-	25	121	2,37	295	102
2,86	5,40	0,81	-	25	185	5,26	367	-44

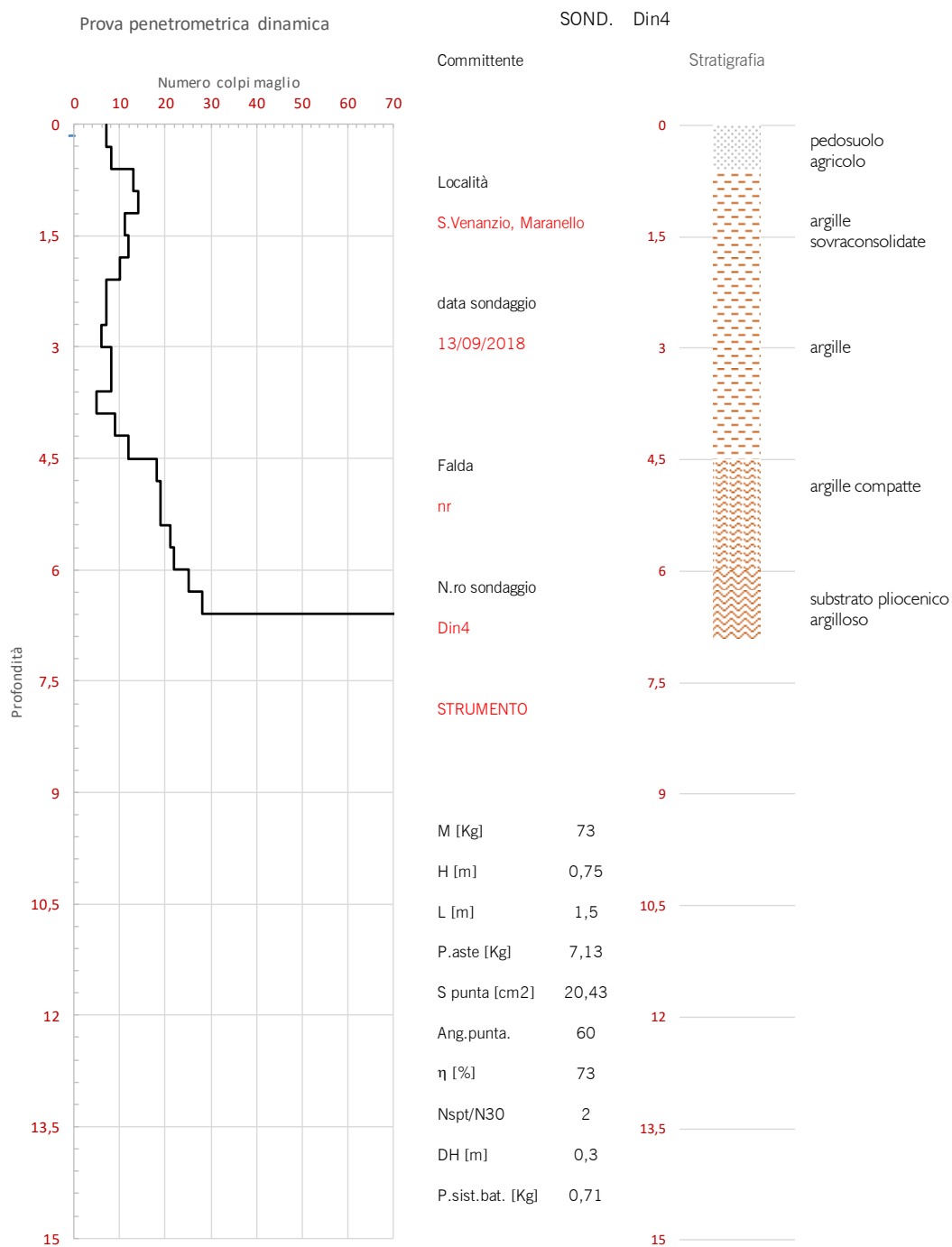
0	1,5	riporto					0,28	79
1,5	5,4	argille					0,30	68
5,4	6	argille					0,27	84
6	7,2	argille compatte					0,25	102
7,2	8,1	substrato argilloso					0,47	-44

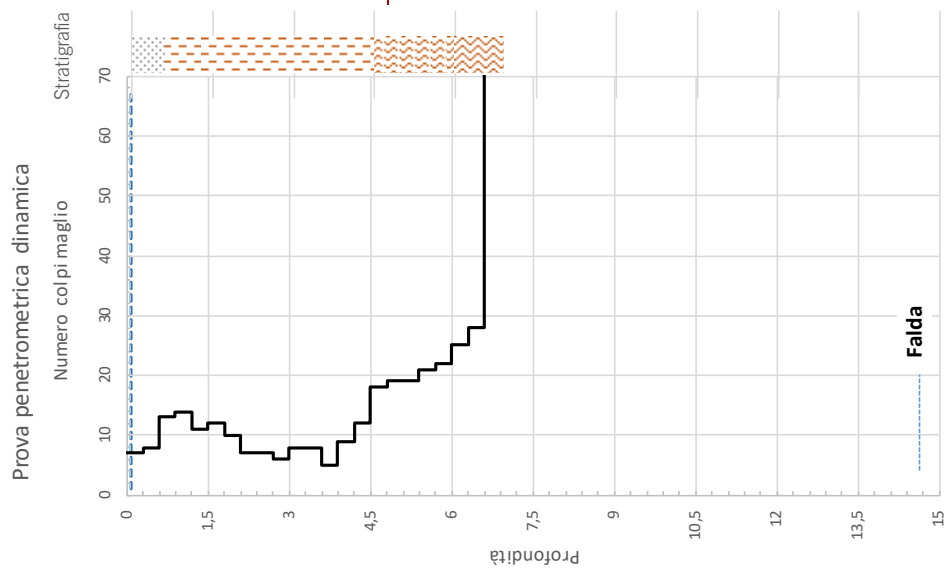
Riferimenti bibliografici

Terreni coerenti	Bowles	Lambe	Jacobsen	P.V.Righi	Sanglerat	Widjaja	Lee	J.A.Hemsley	T.Elast.
Terreni incoerenti	Bowles			Yoshida	Bowles	Schultze	R. Ziata_M.	Widjaja	T.Elast.

Dott.Geol. GEMELLI THOMAS

Via Milano 21, Sassuolo (MO). Cell. 3498786691 - email: thomas.gemelli@tiscali.it





Comm.
Località S.Venanzio, Maranello
data 13/09/2018

SOND.

Din4

Falda

nr

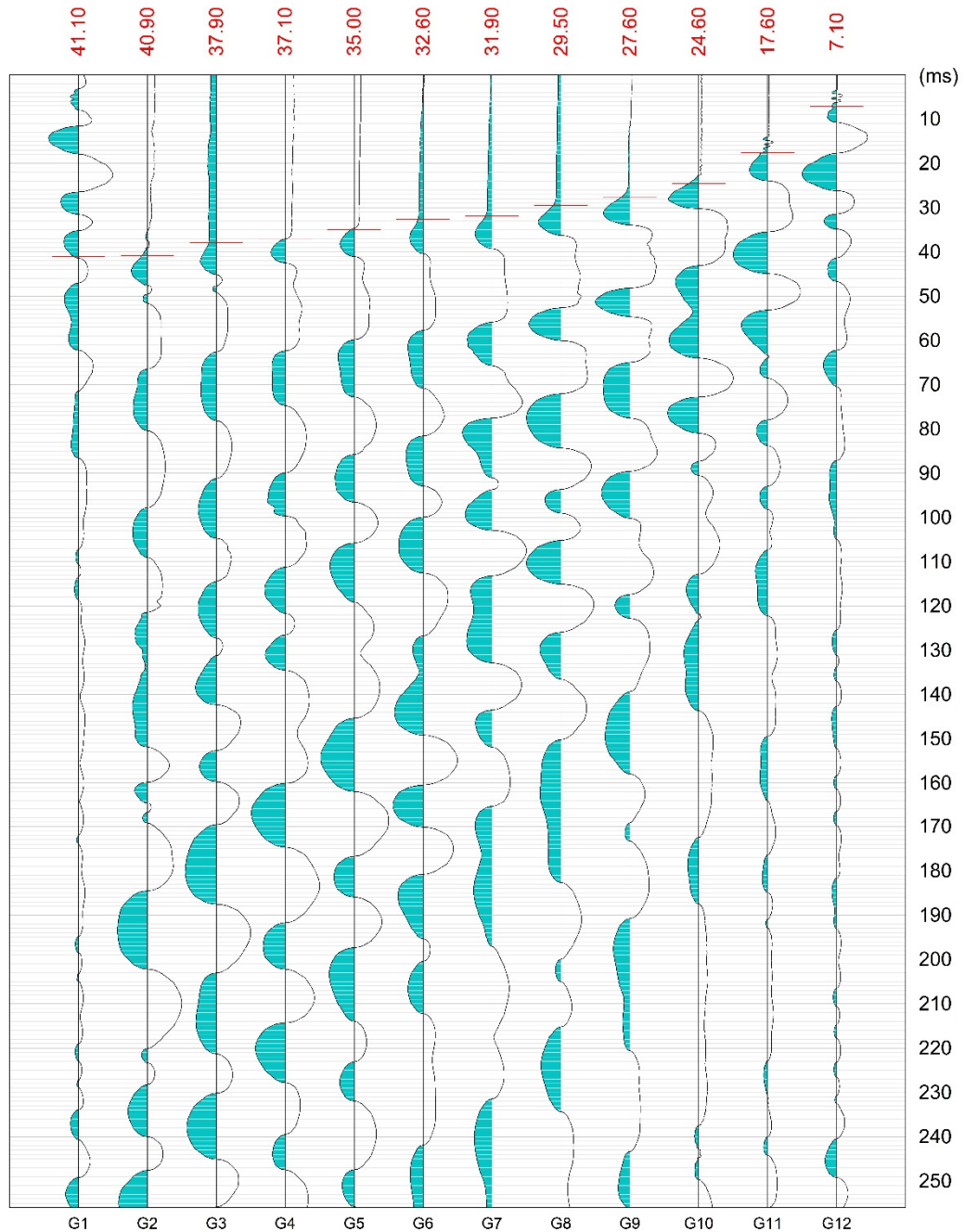
da a natura

	ps	Cu	C'	Dr	φ	Eed	Ks	Vs	v	Ey
	t/m3	Kg/cm²	Kg/cm²	%		Kg/cm²	Kg/cm3	m/s		Kg/cm²
0	1,94	1,68	0,25	-	21	92	0,76	256	0,29	70
0,6	2,04	2,21	0,33	-	24	108	1,15	278	0,26	88
2,1	1,91	1,09	0,16	-	19	71	0,66	224	0,35	44
3	1,91	1,00	0,15	-	18	67	0,66	217	0,37	39
3,9	2,03	1,51	0,23	-	19	86	1,09	247	0,31	62
4,5	2,18	2,75	0,41	-	25	124	2,19	298	0,24	104
6	4,67	5,85	0,88	-	25	188	5,22	366	0,88	913

Riferimenti bibliografici

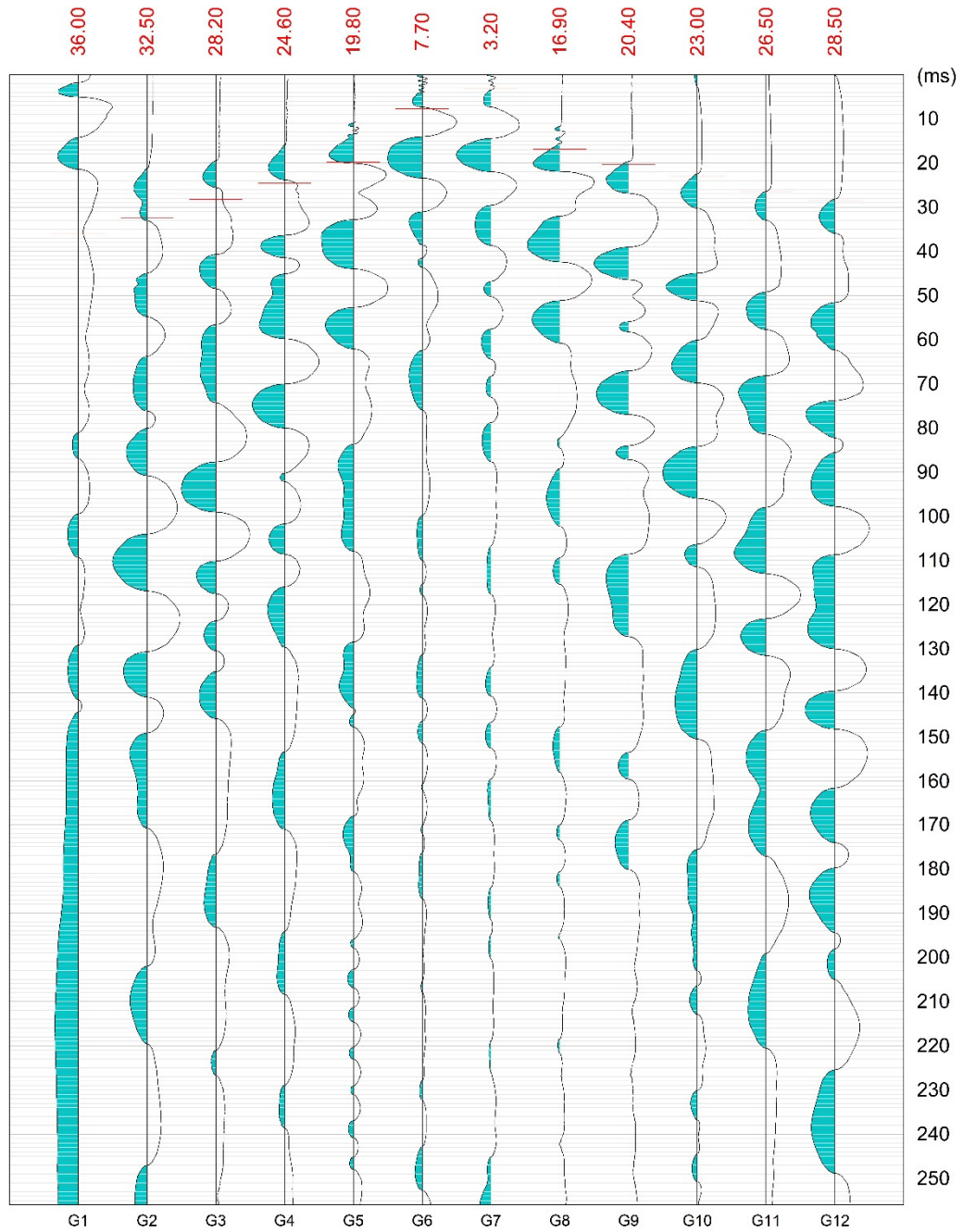
Terreni coerenti	Bowles	Lambe	Jacobsen	P.V.Righi	Sanglerat	Widjajala	Lee	J.A.Hemsley	T.Elast.
Terreni incoerenti	Bowles			Yoshida	Bowles	Schultze	R. Ziate_M.	Widjajala	T.Elast.

Stendimento sismico a rifrazione n°1



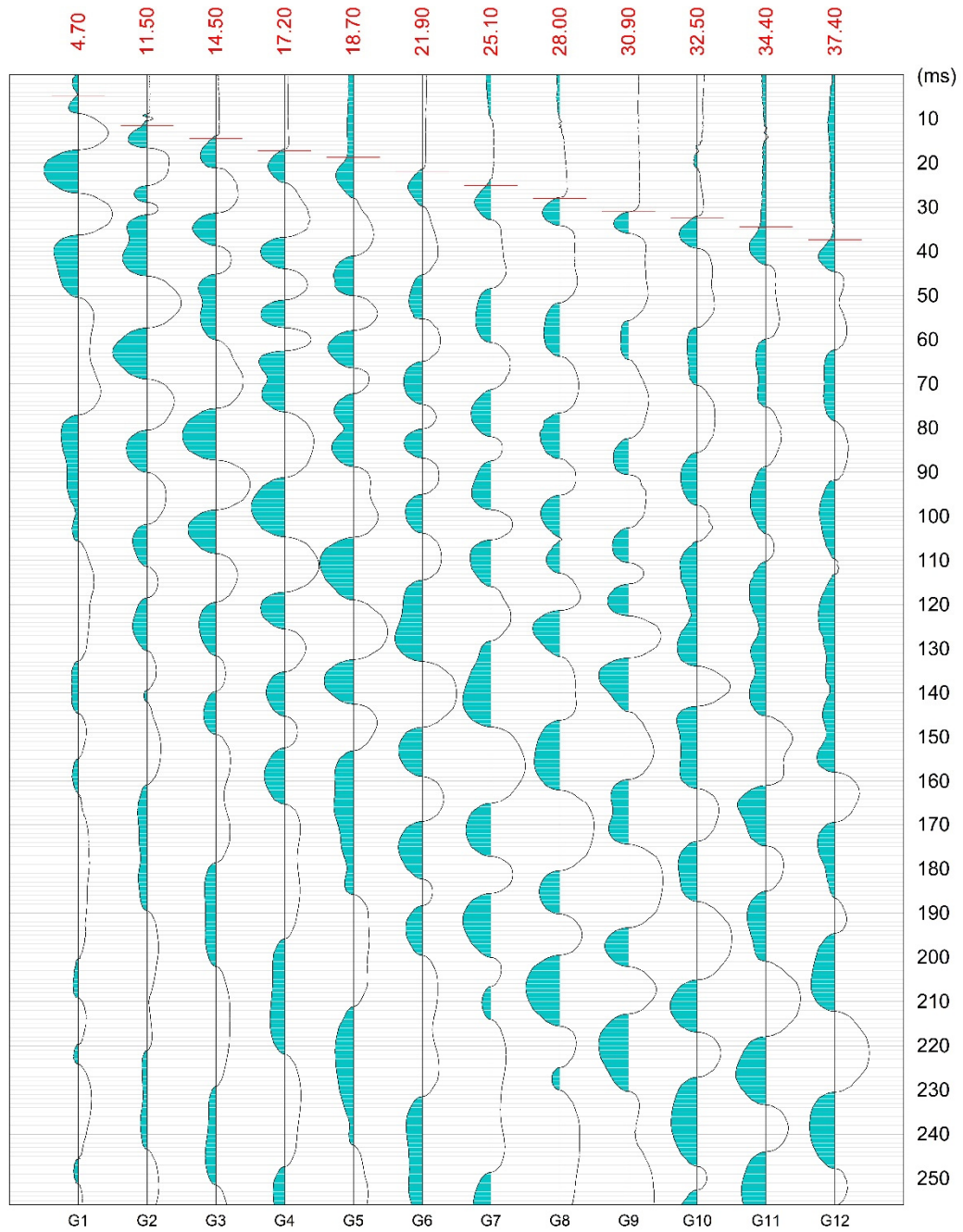
www.geosoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°1



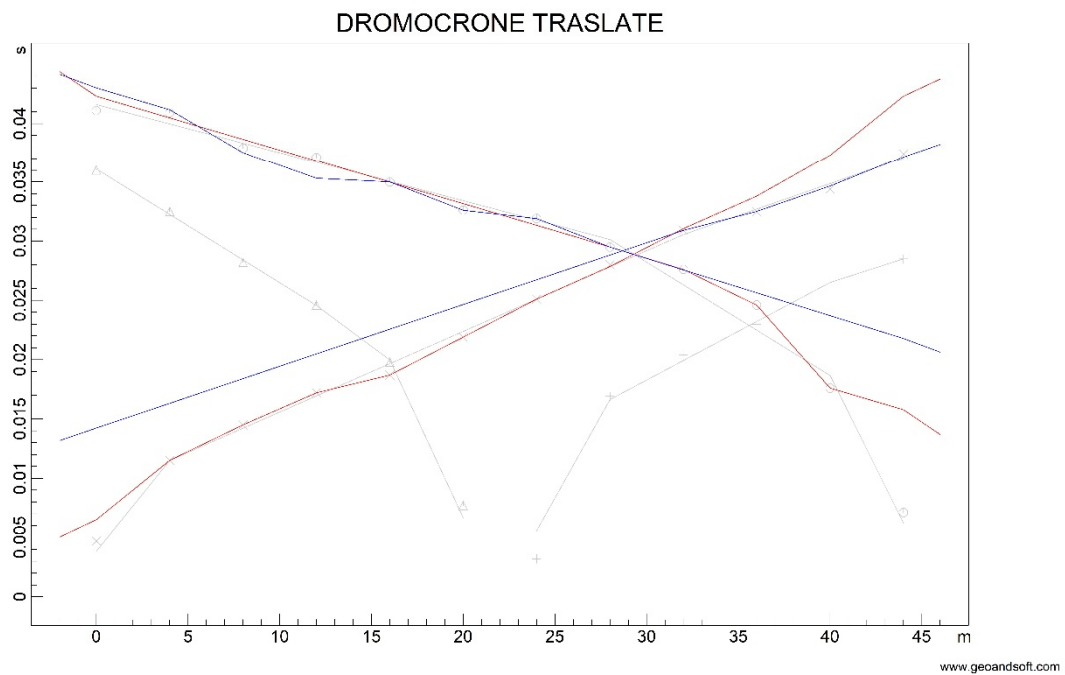
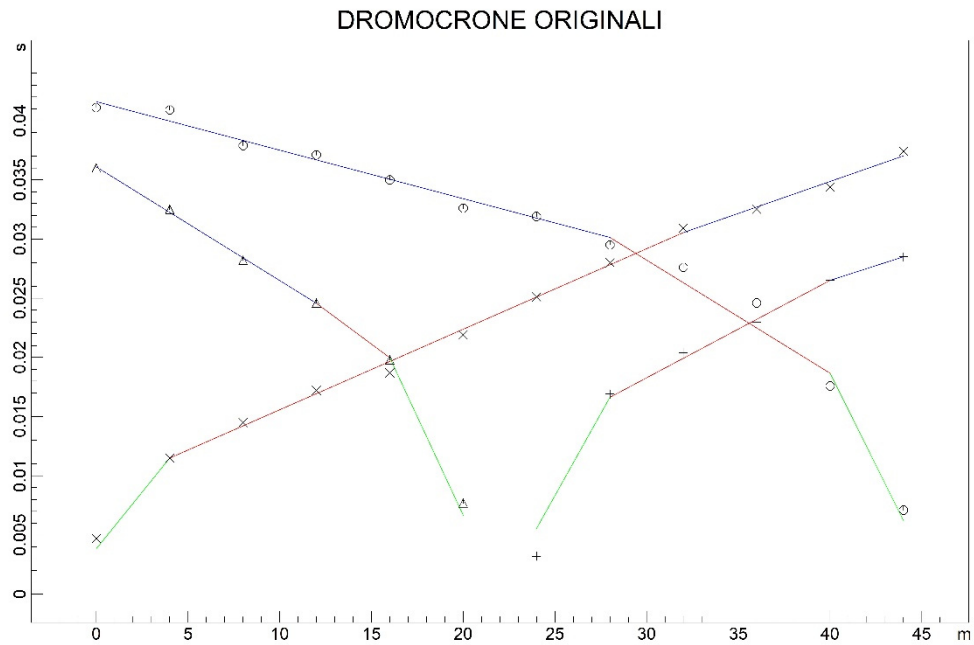
www.geosoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°1

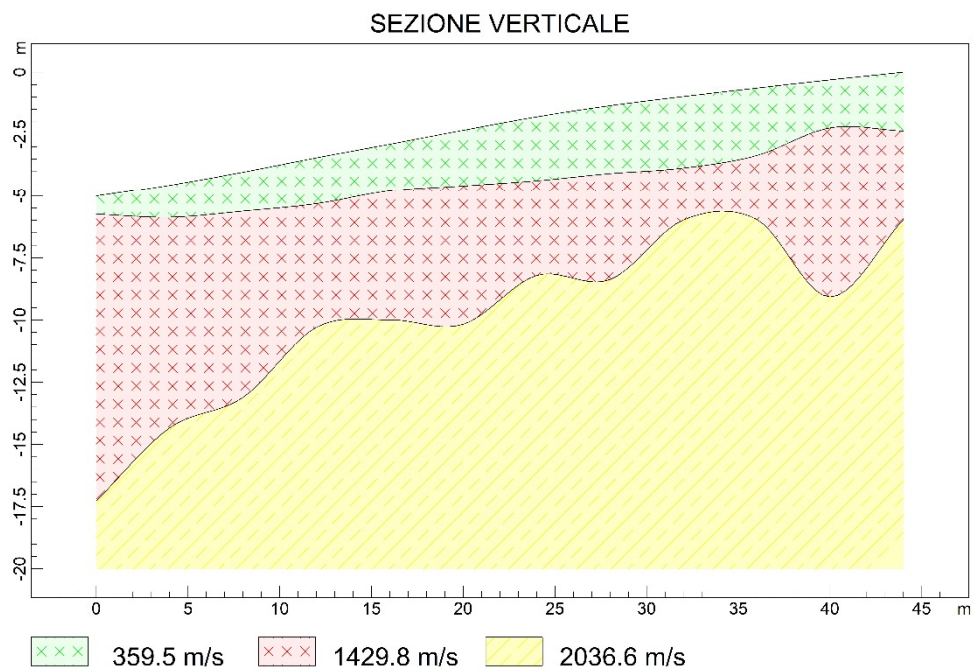
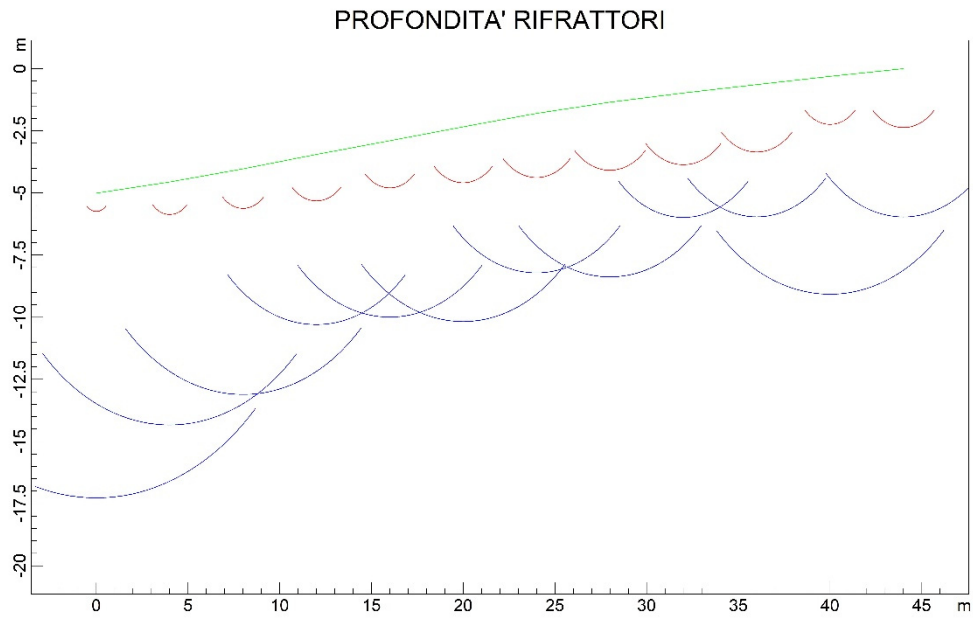


www.geosoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°1



Stendimento sismico a rifrazione n°1



www.geosoft.com

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Stendimento sismico a rifrazione n°1

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
46.00	0.15	2018-09-10_08-58SanVen_1b.dat
22.00	-2.07	2018-09-10_09-02SanVen_2.dat
-2.00	-5.23	2018-09-10_09-05SanVen_3.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 46 [ms]	FBP da 22 [ms]	FBP da -2 [ms]
1	0.00	-5.01	41.10	36.00	4.70
2	4.00	-4.56	40.90	32.50	11.50
3	8.00	-4.03	37.90	28.20	14.50
4	12.00	-3.45	37.10	24.60	17.20
5	16.00	-2.90	35.00	19.80	18.70
6	20.00	-2.34	32.60	7.70	21.90
7	24.00	-1.80	31.90	3.20	25.10
8	28.00	-1.35	29.50	16.90	28.00
9	32.00	-.98	27.60	20.40	30.90
10	36.00	-.64	24.60	23.00	32.50
11	40.00	-.31	17.60	26.50	34.40
12	44.00	0.00	7.10	28.50	37.40

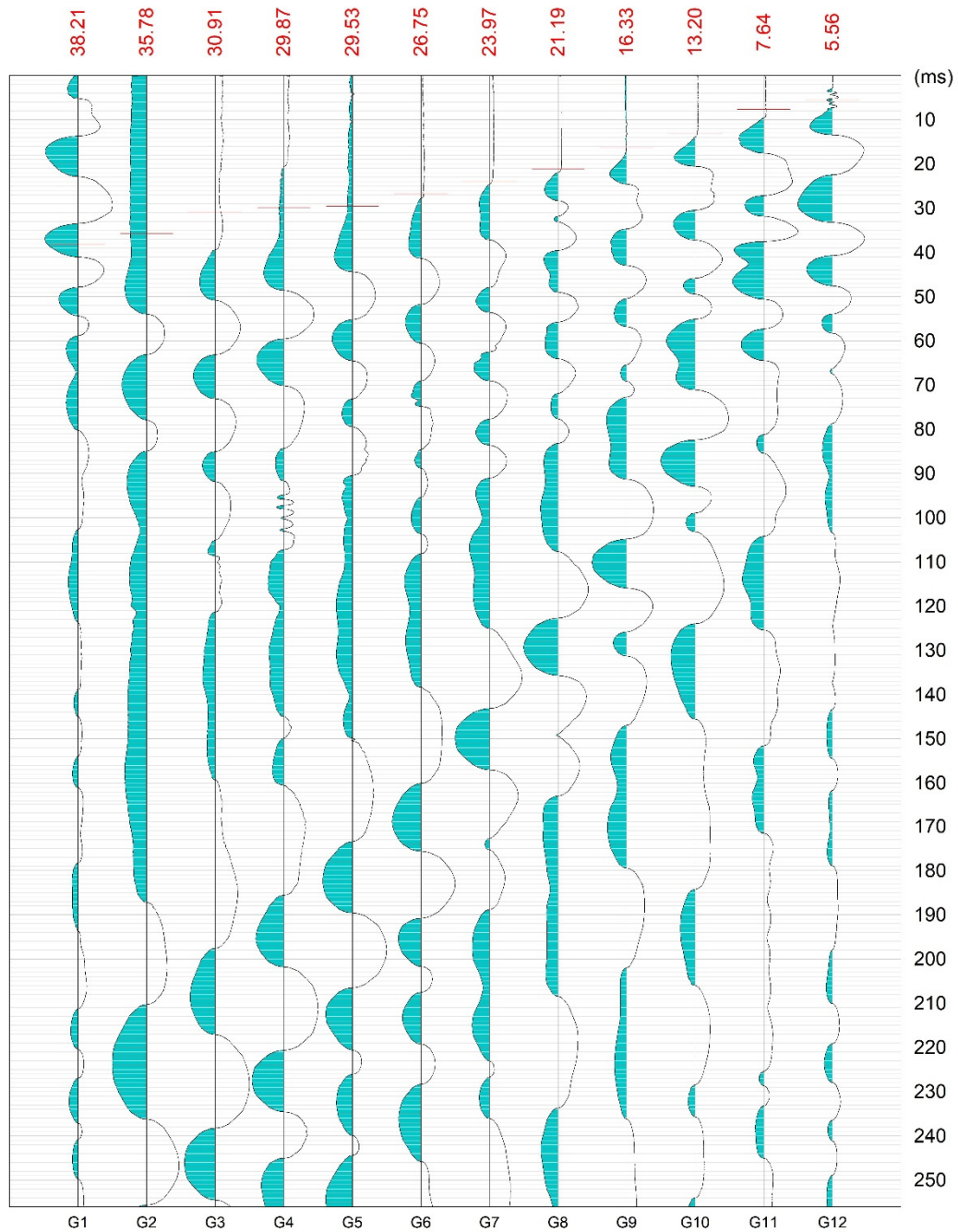
DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	0.7	12.3
2	1.3	9.8
3	1.6	9.1
4	1.9	6.8
5	1.9	7.1
6	2.2	7.8
7	2.6	6.4
8	2.7	7.0
9	2.9	5.0
10	2.7	5.3
11	1.9	8.8
12	2.4	6.0

VELOCITA' DEGLI STRATI

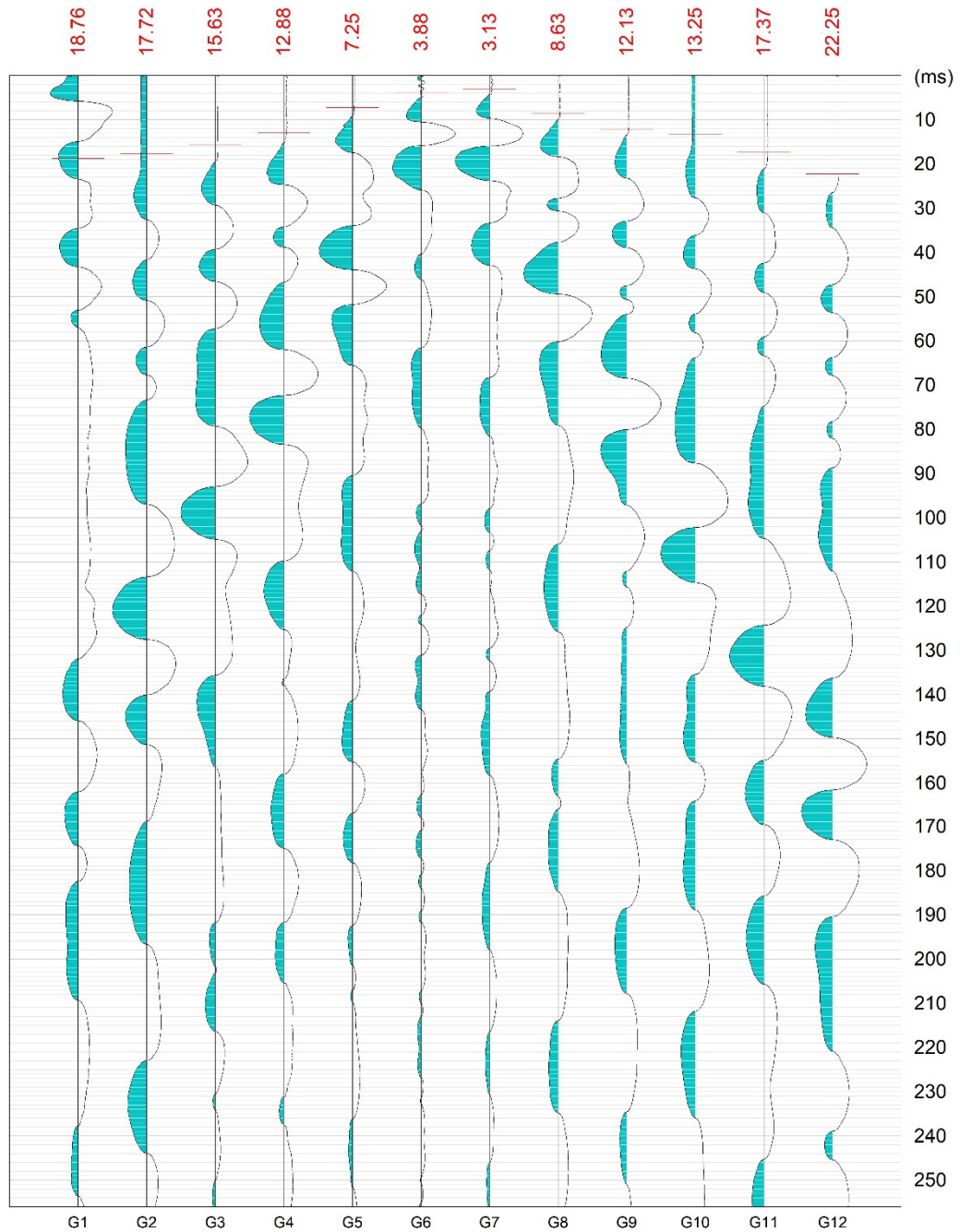
N. Strato	Velocità [m/s]
1	359.5
2	1429.8
3	2036.6

Stendimento sismico a rifrazione n°2



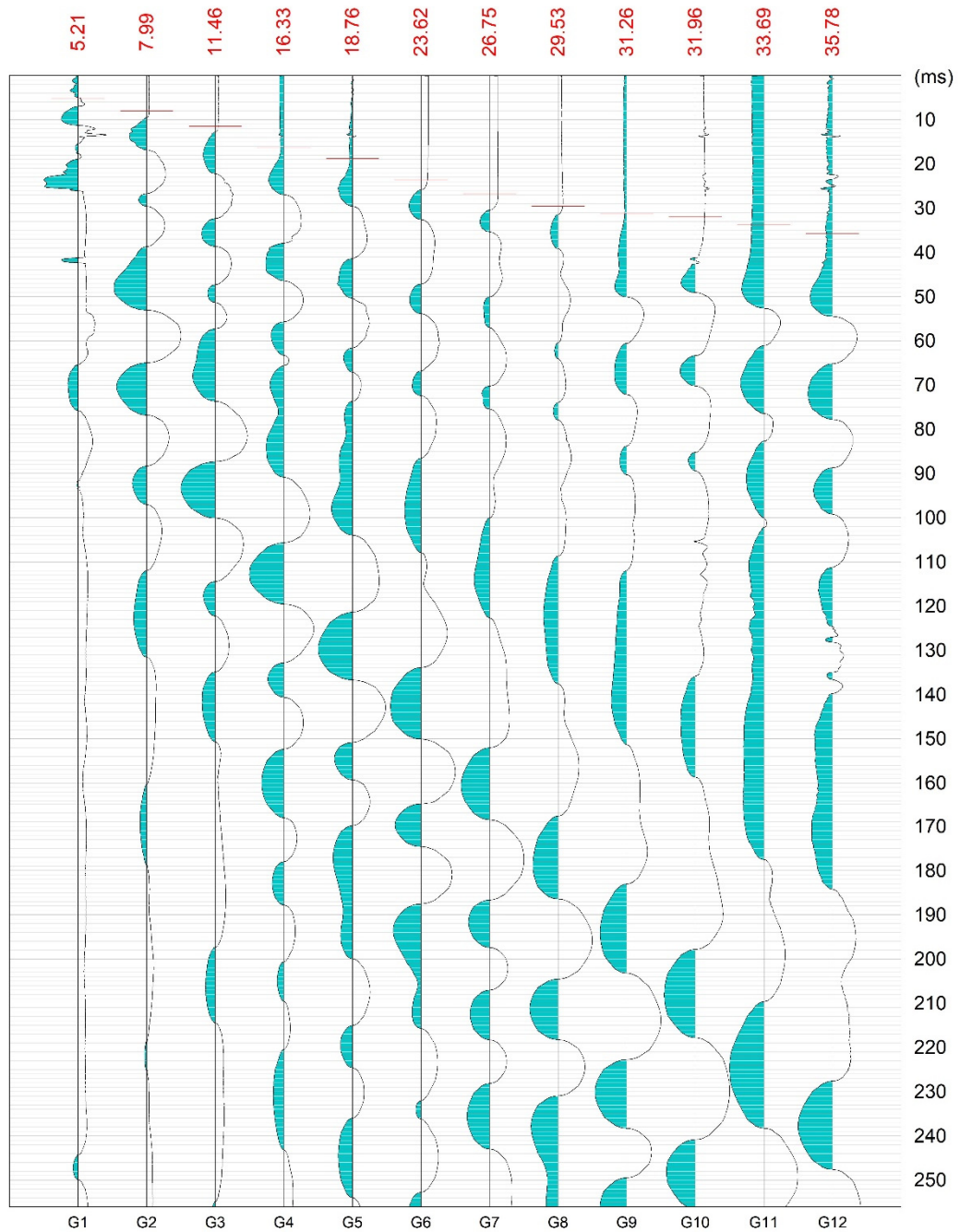
www.geoandsoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°2



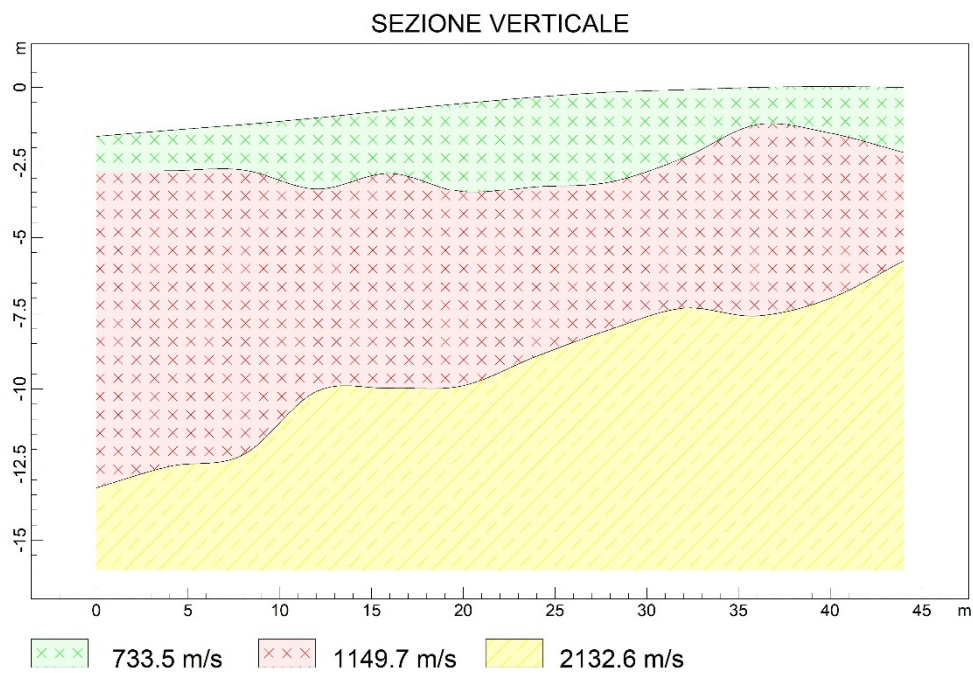
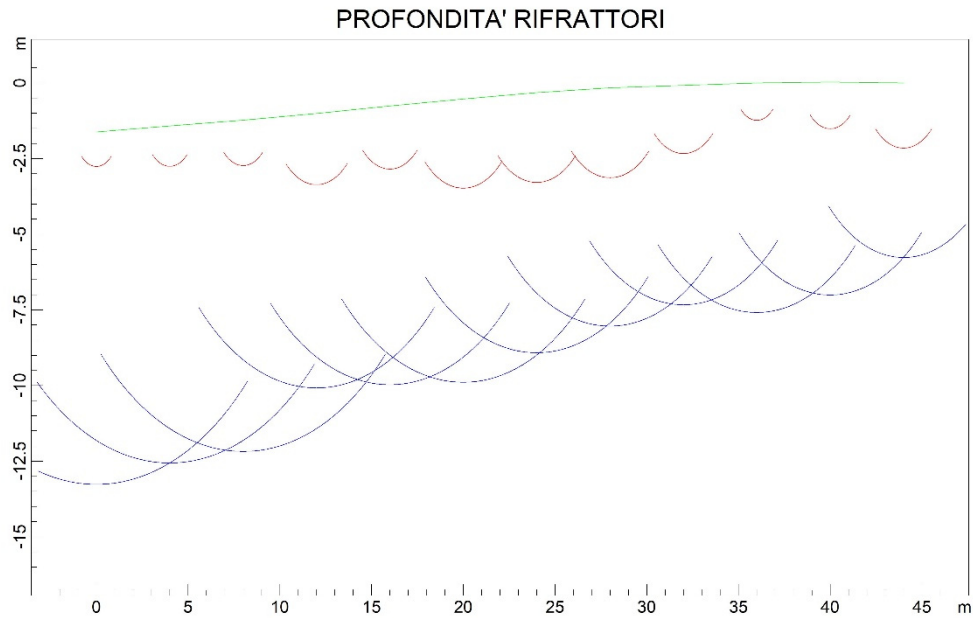
www.geoandsoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°2



www.geoandsoft.com

Stendimento sismico a rifrazione n°2



www.geoandsoft.com

ANALISI SISMICA A RIFRAZIONE

Stendimento sismico a rifrazione n°2

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
46.00	-.03	2018-09-10_09-41rifra2_SanVen_1.dat
22.00	-.39	2018-09-10_09-44rifra2_SanVen_2.dat
-2.00	-1.75	2018-09-10_09-48rifra2_SanVen_3.dat

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

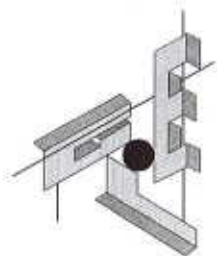
N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 46 [ms]	FBP da 22 [ms]	FBP da -2 [ms]
1	0.00	-1.62	38.21	18.76	5.21
2	4.00	-1.42	35.78	17.72	7.99
3	8.00	-1.23	30.91	15.63	11.46
4	12.00	-1.01	29.87	12.88	16.33
5	16.00	-.76	29.53	7.25	18.76
6	20.00	-.53	26.75	3.88	23.62
7	24.00	-.32	23.97	3.13	26.75
8	28.00	-.16	21.19	8.63	29.53
9	32.00	-.08	16.33	12.13	31.26
10	36.00	0.00	13.20	13.25	31.96
11	40.00	0.03	7.64	17.37	33.69
12	44.00	0.00	5.56	22.25	35.78

DISTANZA DEI RIFRATTORI DAI GEOFONI

N. Geof.	Dist. Rifr. 1 [m]	Dist. Rifr. 2 [m]
1	1.1	11.6
2	1.3	11.1
3	1.5	11.0
4	2.4	9.1
5	2.1	9.2
6	2.9	9.4
7	3.0	8.6
8	3.0	7.9
9	2.3	7.3
10	1.2	7.6
11	1.5	7.0
12	2.2	5.8

VELOCITA' DEGLI STRATI

N. Strato	Velocità [m/s]
1	733.5
2	1149.7
3	2132.6



LABORATORIO PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE L.1086/71- D.M. 14/01/2008:

Aut., Min., Inf., e Trasp. Decreto n.16386 del 13/06/1977 e.s.s. - Settore "SP" Circolare 7617/LTE

LABORATORIO GEOTECNICO PROVE SU TERRE e ROCCE - D.M. 14/01/2008:

Aut., Min., Inf., e Trasp. Decreto n.9068 del 19/10/2010 e.s.s. - Settore "A" e "B" Circolare 7618/LTE

LABORATORIO PROVE DI CARICO SU PIASTRA e PALI DI FOND. - D.M. 14/01/2008:

Aut., Min., Inf., e Trasp. Decreto n.7796 del 30/09/2013 - Circolare 7618/LTE



SEDE LEGALE E LABORATORIO:

STRADA NAVIGLIA, 5 - 43122 PARMA

TEL. 0521.272780 - FAX 0521.785245

info@laboratoriemiliani.com

www.laboratoriemiliani.com

LABORATORIO GEOTECNOLOGICO EMILIANO S.R.L.

Laboratorio Autorizzato ai sensi dell'art.59 del DPR n. 380/2001

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG

(UNI CEN ISO/TS 17892-12:2005)

CERTIFICATO N° 117 / Q / P - Parma, 10/10/2018 - Pagina 1 di 1

Committente:

Dott. Thomas GEMELLI

Indirizzo:

via Milano, 21 - 41049 Sassuolo (MO)

Provenienza del campione:

San Venanzio, Maranello (MO)

Natura del campione:

Sacchetto siglato C1 prelevato il 13/09/18

DATIE MATERIALE
FORNITDAL
COMMITTENTE

Data consegna:

04/10/18

Ns. Rif. n°: 1408 / 18

Data della prova:

09/10/18

Vs. Rif. n°:

RISULTATO DELLA PROVA

Contenuto naturale d'acqua (%)

17,3

Limite liquido (%)

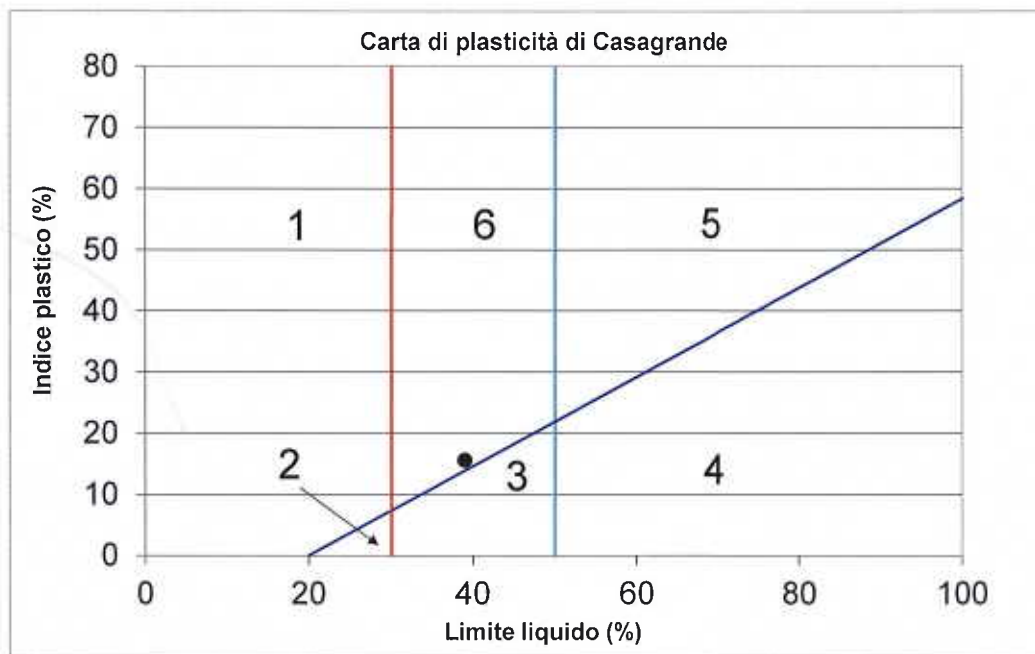
39,0

Limite plastico (%)

23,4

Indice plastico (%)

15,6



NOTE:

- 1 Argille inorganiche di bassa plasticità
- 2 Limi inorganici di bassa compressibilità
- 3 Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- 4 Limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche
- 5 Argille inorganiche di alta plasticità
- 6 Argille inorganiche di media plasticità

LO SPERIMENTATORE

SD

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO TERRE



SISTEMA DI GESTIONE DELLA QUALITÀ CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2015

Il presente documento può essere riprodotto, totalmente o in parte, solo previa autorizzazione di L.G.E. s.r.l.

Verifica stabilità, S.Venanzio (MO)

Report generated using GeoStudio 2018 R2. Copyright © 1991-2018 GEOSLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.01
 Revision Number: 12
 Date: 24/10/2018
 Time: 05:33:46
 Tool Version: 9.1.1.16749
 File Name: sez_importata+regioni+parametri+falda+sisma.gsz
 Directory: D:\LAVORI THOMAS 2018\S.Venanzio - Arch. Galiotto\Verifiche di stabilità\
 Last Solved Date: 24/10/2018
 Last Solved Time: 05:33:49

Project Settings

Unit System: U.S. Customary Units

Analysis Settings

Verifica stabilità, S.Venanzio (MO)

Kind: SLOPE/W
 Method: Morgenstern-Price
 Settings
 Side Function
 Interslice force function option: Half-Sine
 PWP Conditions from: Piezometric Line
 Apply Phreatic Correction: No
 Use Staged Rapid Drawdown: No
 Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface
 Direction of movement: Right to Left
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 Critical slip surfaces saved: 1
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack Option: (none)

Distribution
 F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings
 Minimum Slip Surface Depth: 0,03048 m
 Number of Slices: 30
 Factor of Safety Convergence Settings
 Maximum Number of Iterations: 100
 Tolerable difference in F of S: 0,001
 Solution Settings
 Search Method: Root Finder
 Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
 Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
 Max Absolute Lambda: 2

Materials

Pedosuolo in matrice argillo-limosa

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [18 kN/m³](#)

Cohesion': [0 kPa](#)

Phi': [18 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

Pore Water Pressure

Piezometric Line: [1](#)

Argille med. compatte

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [18,7 kN/m³](#)

Cohesion': [2 kPa](#)

Phi': [21 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

Pore Water Pressure

Piezometric Line: [1](#)

Argille compatte

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [21 kN/m³](#)

Cohesion': [4,5 kPa](#)

Phi': [25 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

Pore Water Pressure

Piezometric Line: [1](#)

Substrato argilloso

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [21 kN/m³](#)

Cohesion': [9 kPa](#)

Phi': [25 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

Pore Water Pressure

Piezometric Line: [1](#)

Slip Surface Grid

Upper Left: [\(22,607342; 37,7952\) m](#)

Lower Left: [\(23,826542; 32,9184\) m](#)

Lower Right: [\(29,617742; 34,4424\) m](#)

Grid Horizontal Increment: [4](#)

Grid Vertical Increment: [4](#)

Slip Surface Radius

Upper Left Coordinate: [\(11,984824; 16,4592\) m](#)

Upper Right Coordinate: [\(46,427224; 21,9456\) m](#)

Lower Left Coordinate: [\(11,680024; 15,24\) m](#)

Lower Right Coordinate: [\(46,732024; 20,7264\) m](#)

Number of Increments: [4](#)

Use Left Projection: [No](#)

Left Projection Angle: [135 °](#)

Use Right Projection: [No](#)

Right Projection Angle: 45 °

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (5,7912; 22,2504) m

Right Coordinate: (49,6824; 27,432) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	5,7912 m	20,4216 m
Coordinate 2	8,5344 m	20,7264 m
Coordinate 3	17,6784 m	21,9456 m
Coordinate 4	21,336 m	22,2504 m
Coordinate 5	24,9936 m	22,5552 m
Coordinate 6	32,6136 m	23,1648 m
Coordinate 7	38,7096 m	23,7744 m
Coordinate 8	42,9768 m	24,384 m
Coordinate 9	49,6824 m	24,9936 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,0456

Points

	X	Y
Point 1	5,7912 m	10,668 m
Point 2	49,6824 m	10,668 m
Point 3	49,6824 m	20,7264 m
Point 4	21,9456 m	17,0688 m
Point 5	16,4592 m	16,1544 m
Point 6	10,9728 m	14,9352 m
Point 7	5,7912 m	13,1064 m
Point 8	36,576 m	19,543776 m
Point 9	41,148 m	20,275296 m
Point 10	44,8056 m	20,531328 m
Point 11	48,1584 m	20,66544 m
Point 12	49,6824 m	23,1648 m
Point 13	41,7576 m	22,2504 m
Point 14	39,3192 m	21,9456 m
Point 15	34,1376 m	21,0312 m
Point 16	25,908 m	19,5072 m
Point 17	17,0688 m	18,288 m
Point 18	10,668 m	17,0688 m
Point 19	5,7912 m	15,8496 m
Point 20	49,6824 m	24,9936 m
Point 21	42,9768 m	24,384 m
Point 22	38,7096 m	23,7744 m
Point 23	32,6136 m	23,1648 m

Point 24	24,9936 m	22,5552 m
Point 25	21,336 m	22,2504 m
Point 26	17,6784 m	21,9456 m
Point 27	8,5344 m	20,7264 m
Point 28	5,7912 m	20,4216 m
Point 29	49,6824 m	27,432 m
Point 30	42,9768 m	26,8224 m
Point 31	35,9664 m	26,2128 m
Point 32	30,1752 m	25,6032 m
Point 33	23,7744 m	24,6888 m
Point 34	19,2024 m	24,0792 m
Point 35	15,24 m	23,4696 m
Point 36	10,3632 m	22,86 m
Point 37	8,2296 m	22,5552 m
Point 38	5,7912 m	22,2504 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	Substrato argilloso	1;2;3;11;10;9;8;4;5;6;7	314,93 m²
Region 2	Argille compatte	7;6;5;4;8;9;10;11;3;12;13;14;15;16;17;18;19	89,295 m²
Region 3	Argille med. compatte	19;18;17;16;15;14;13;12;20;21;22;23;24;25;26;27;28	127,42 m²
Region 4	Pedosuolo in matrice argillo-limosa	28;27;26;25;24;23;22;21;20;29;30;31;32;33;34;35;36;37;38	100,66 m²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 125 of 125 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 101
Factor of Safety: 2,5
Volume: 37,331978 m³
Weight: 690,37092 kN
Resisting Moment: 4.813,7266 kN·m
Activating Moment: 1.912,478 kN·m
Resisting Force: 231,52936 kN
Activating Force: 91,974972 kN
Slip Rank: 1 of 125 slip surfaces
Exit: (10,246999; 22,8434) m
Entry: (38,319791; 26,417443) m
Radius: 19,39934 m
Center: (22,607342; 37,7952) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	10,3051 m	22,795747 m	-17,97872 kPa	1,1292636 kPa	0,36691999 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa

Slice 2	10,891288 m	22,347573 m	-12,816977 kPa	11,822505 kPa	3,8413648 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa
Slice 3	11,947463 m	21,599469 m	-4,0992683 kPa	30,097818 kPa	9,779374 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa
Slice 4	12,936292 m	20,98679 m	3,2022689 kPa	46,883133 kPa	16,767513 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 5	13,857775 m	20,488758 m	9,2914041 kPa	59,84063 kPa	19,40403 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 6	14,779258 m	20,052542 m	14,7743 kPa	71,381353 kPa	21,729412 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 7	15,6464 m	19,692987 m	19,43433 kPa	81,183181 kPa	23,703163 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 8	16,4592 m	19,400876 m	23,361878 kPa	89,408022 kPa	25,352739 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 9	17,272 m	19,148757 m	26,897233 kPa	96,488561 kPa	26,713608 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 10	18,0594 m	18,940571 m	29,781688 kPa	102,28498 kPa	27,831405 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 11	18,8214 m	18,772841 m	32,049363 kPa	106,90155 kPa	28,733062 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 12	19,389777 m	18,665496 m	33,566602 kPa	109,73122 kPa	29,236857 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 13	20,016865 m	18,574717 m	34,969362 kPa	113,43058 kPa	36,587064 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 14	20,896288 m	18,476509 m	36,651198 kPa	116,1269 kPa	37,060127 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 15	21,7424 m	18,419422 m	37,902536 kPa	117,63602 kPa	37,180335 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 16	22,5552 m	18,400187 m	38,755429 kPa	118,13481 kPa	37,015215 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 17	23,368 m	18,415045 m	39,273974 kPa	117,79749 kPa	36,616118 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 18	24,384 m	18,487089 m	39,397764 kPa	116,30466 kPa	35,862275 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 19	25,4508 m	18,610948 m	39,039981 kPa	113,87132 kPa	34,894428 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 20	26,33472 m	18,762282 m	38,24934 kPa	111,03838 kPa	33,942087 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 21	27,18816 m	18,949573 m	37,08215 kPa	107,69875 kPa	32,92906 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 22	28,0416 m	19,177852 m	35,512989 kPa	103,76542 kPa	31,826631 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 23	28,89504 m	19,448653 m	33,526819 kPa	99,252153 kPa	30,648227 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 24	29,74848 m	19,763897 m	31,104802 kPa	94,15285 kPa	29,399788 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte
Slice 25	30,820355 m	20,234632 m	27,32925 kPa	86,338929 kPa	27,516665 kPa	4,5 kPa	0 kPa	Argille compatte

Slice 26	32,039555 m	20,856013 m	22,191903 kPa	77,575545 kPa	21,259788 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 27	33,126598 m	21,506961 m	16,761524 kPa	68,153801 kPa	19,727647 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 28	34,152594 m	22,218492 m	10,78973 kPa	57,916218 kPa	18,090164 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 29	35,17859 m	23,035659 m	3,7819683 kPa	46,040936 kPa	16,221698 kPa	2 kPa	0 kPa	Argille med. compatte
Slice 30	35,828994 m	23,600586 m	-1,1204185 kPa	39,210967 kPa	12,740416 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa
Slice 31	36,358632 m	24,123077 m	-5,7250658 kPa	32,079995 kPa	10,423422 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa
Slice 32	37,143095 m	24,961842 m	-13,181519 kPa	20,494109 kPa	6,6589397 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa
Slice 33	37,927559 m	25,911774 m	-21,728175 kPa	7,1522411 kPa	2,323904 kPa	0 kPa	0 kPa	Pedosuolo in matrice argillo-limosa