

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
**COMUNE DI VERNASCA**  
PROVINCIA DI PIACENZA

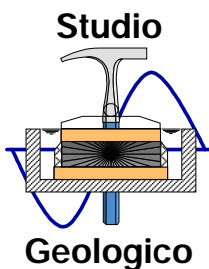
**RELAZIONE GEOLOGICA-IDROGEOMORFOLOGICA**

*a corredo del progetto di consolidamento della  
pendice posta a monte dell'area destinata alle  
nuove strutture per "progetto WHR"*

*Fondo Transizione Industriale – Progetto "WASTE HEAT RECOVERY ORGANIC  
RANKINE CYCLE – WHRORC VERNASCA" n. FTIPD00000028 – CUP  
69C23000590005*

**Località : Molino Teodoro**

**Committente : BUZZI UNICEM S.r.l.**



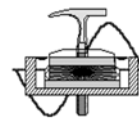
**Dott. Geol. N. CAVANNA**

Via Degani, 9 (PC)

☎ 0523 / 305674 - ☎ 335 / 5734746

FAX 0523 / 317301



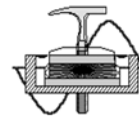


## SOMMARIO

<b>1.0. - PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.0. - STATO DEI LUOGHI.....</b>	<b>3</b>
<b>3.0. - INQUADRAMENTO FISICO-GEOGRAFICO ED AMBIENTALE .....</b>	<b>5</b>
3.1. – FRANE GENERALITÀ .....	5
3.2. – COLATE IN TERRA.....	8
3.3. – RESISTENZE RESIDUE.....	10
3.3.1. – <i>Stima delle resistenze residue da proprietà indice</i> .....	13
3.3.2. – <i>Metodi di caratterizzazione della resistenza residua</i> .....	15
3.4. - ASPETTI GEOMORFOLOGICI LOCALI.....	16
3.5. - ASPETTI IDROGRAFICI ED IDRAULICI .....	19
3.6. - ASPETTI GEOLITOLOGICI .....	20
<b>4.0 - INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI.....</b>	<b>22</b>
4.1 – VERIFICHE LITOSTRATIGRAFICHE DIRETTE (TRINCEA ESPLORATIVA) .....	23
4.2 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPM).....	24
4.2.1 – <i>Caratterizzazione geomeccanica</i> .....	25
4.3 – PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	26
4.3.1 - <i>Metodologia d'indagine</i> .....	26
4.3.2 – <i>Analisi delle risultanze</i> .....	27
4.3.3 – <i>Ricostruzione del sottosuolo</i> .....	28
4.3.4 – <i>Categoria di suolo</i> .....	30
4.4. – REGISTRAZIONE MICROTREMORI.....	31
4.4.1 - <i>Metodologia d'indagine</i> .....	31
4.4.2 - <i>Categoria di suolo</i> .....	31
4.4.3 - <i>Elaborati dati d'indagine HVSR 01</i> .....	32
4.4.4 - <i>Elaborati dati d'indagine HVSR 02</i> .....	35
<b>5.0 – CONCLUSIONI.....</b>	<b>38</b>
5.1. – INTERVENTI SUGGERITI .....	40

*In allegato sono presenti:*

- |   |             |
|---|-------------|
| ➤ PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE        | ALLEGATO 1; |
| ➤ CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPM)   | ALLEGATO 2; |
| ➤ ELABORATI INDAGINE SISMICA MASW                     | ALLEGATO 3. |
| ➤ ELABORATI REGISTRAZIONI MICROTREMORI SISMICI (HVSR) | ALLEGATO 4. |



## 1.0. - PREMESSA

Su incarico della Società BUZZI UNICEM S.r.l. si è eseguita nel periodo Giugno÷Agosto 2024 un'indagine geognostica nell'ambito della pendice sovrastante il comparto produttivo di proprietà della Committenza, sito in località Molino Teodoro, Comune di Vernasca, (vedi fig. 3.0.I - *"Inquadrimento corografico"* su base C.T.R.).

Lo studio è prodotto a corredo della progettazione definitiva/esecutiva relativa ai lavori di consolidamento della pendice in dissesto idrogeomorfologico posta a monte dell'area destinata alle strutture denominate "Moduli ORC, Backup Cooler e Technical building (rif. *"WASTE HEAT RECOVERY ORGANIC RANKINE CYCLE – WHRORC VERNASCA"* n. FTIPD00000028 – CUP 69C23000590005).

L'indagine è stata quindi finalizzata a:

- accertare lo stato d'uso del territorio;
- illustrare lo stato d'alterazione, fratturazione e degradabilità dei litotipi presenti, i lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali progressi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali;
- definire le locali condizioni litologiche, la presenza d'acque sotterranee e valutare "preliminarmente" le proprietà fisico-meccaniche dei terreni;
- suggerire opere di salvaguardia al fine di assicurare la stabilità del futuro complesso costruzione-terreno.

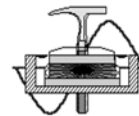
Sulla base delle notizie e considerazioni ottenute dall'analisi di studi pregressi ed in relazione ai diversi obiettivi dello studio, su tale area si sono eseguite indagini di campagna concernenti rilievi geomorfologici-geolitologici, uso attuale del suolo, eventuali dissesti idrogeomorfologici lungo la pendice.

Per quanto concerne le valutazioni di carattere litostratigrafico-litotecnico sono state approntate una serie di indagini, quali: n° 1 trincea esplorativa, n° 3 prove penetrometriche DPM, con relativa elaborazione dei profili longitudinale/trasversali e misurazioni piezometriche all'interno dei fori.

Inoltre, è stata realizzata una prospezione sismica tipo MASW ed alcune registrazioni dei microtremori con tromografo digitale (HVSR) lungo la pendice.

Costituiscono parte integrante della presente relazione le seguenti figure:

- Inquadrimento corografico in scala 1: 5.000 su estratto C.T.R. (*Fig. 2.0.I*);
- Estratto carta del dissesto RER in 1: 5.000 (*Fig. 3.4.I*);
- Estratto carta geologica RER in scala 1: 5.000 (*Fig. 3.6.I*).



## 2.0. - STATO DEI LUOGHI

La zona in studio si colloca in località Molino Teodoro nel Comune di Vernasca, a monte della Strada Provinciale della Val d'Arda (n° 21).

L'area oggetto di analisi geognostica corrisponde ad una porzione della pendice retrostante lo stabilimento di proprietà della società Buzzi Unicem (vedasi fig. 2.0.I - *"Inquadramento corografico"* in scala 1: 5.000, ricavato su base C.T.R.).

La quota media sul livello del mare è compresa indicativamente tra metri 260.00 e 285.00.

### Riferimenti cartografici:

- |                   |                 |        |                |
|-------------------|-----------------|--------|----------------|
| • Tavola C.T.R.   | scala 1: 25.000 | 198 N0 | MORFASSO       |
| • Sezione C.T.R.  | scala 1: 10.000 | 198020 | CASTELLETTO    |
| • Elementi C.T.R. | scala 1: 5.000  | 198021 | MOLINO TEODORO |

La porzione corrispondente alla pendice retrostante lo stabilimento, nel suo complesso, risulta interessata da diffusi fenomeni di instabilità, geneticamente classificabili come "colate".

Si precisa che, oltre agli interventi di consolidamento realizzati nei primi anni '90, in questa fase relazionale verranno suggerite opere di ripristino dell'esistente e misure finalizzate ad una corretta regimazione delle acque di scorrimento superficiale.



Zona "collinare"

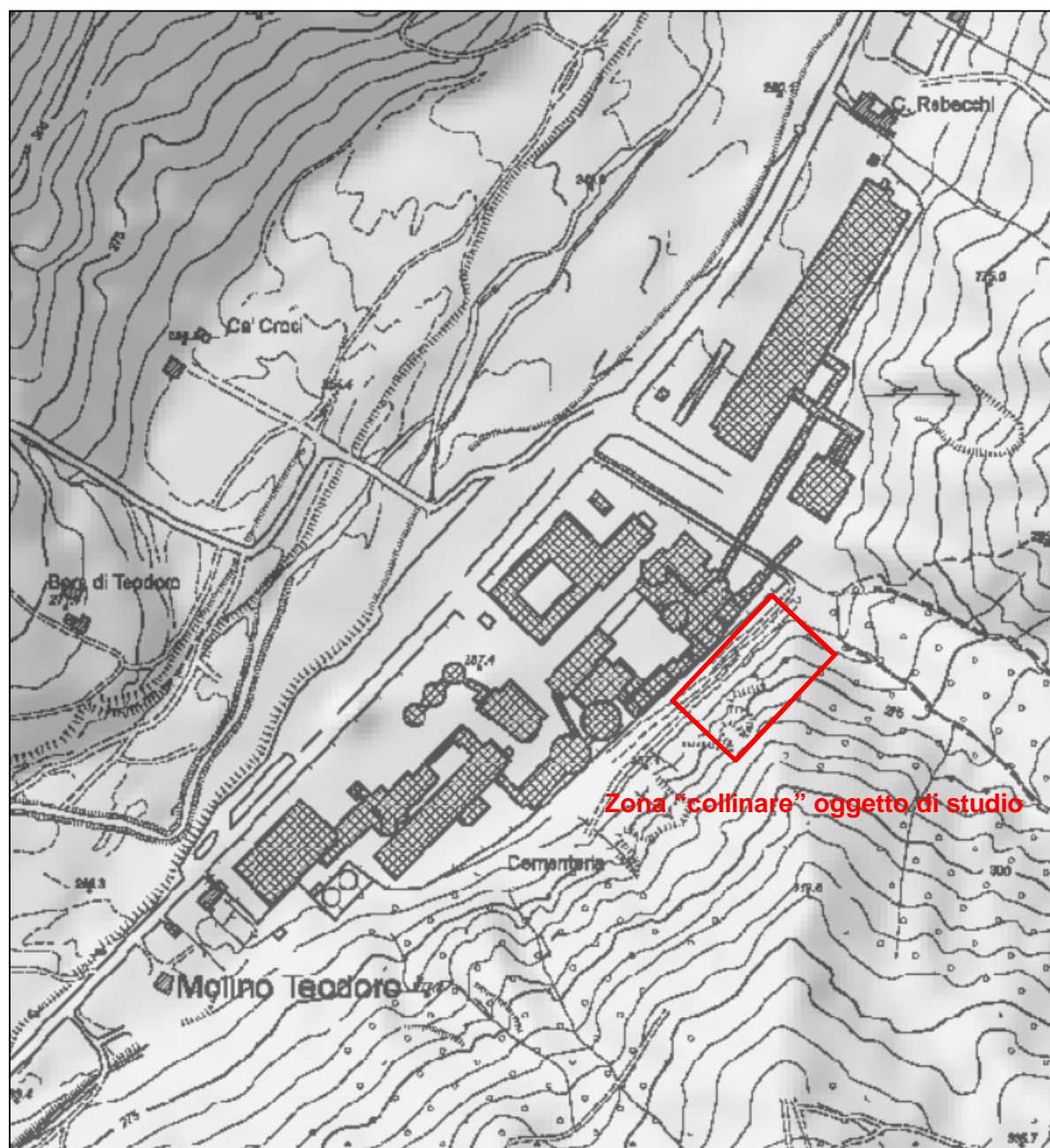
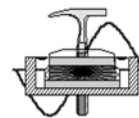
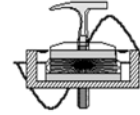


fig. 2.0.I – inquadramento corografico



### 3.0. – INQUADRAMENTO FISICO-GEOGRAFICO ED AMBIENTALE

La configurazione dell'assetto geografico e geologico del territorio è stato definito attraverso l'analisi della documentazione cartografica esistente ed i rilievi di campagna.

#### 3.1. – Frane generalità

Il tema del dissesto idrogeologico è uno dei più trattati da qualche anno a questa parte.

Oltre al pericolo da terremoto o da inondazione, non è infatti da sottovalutare quello da frana, specialmente in *Italia*, uno dei paesi maggiormente colpiti da questo punto di vista (Tellini, 2012).

A dispetto di quello che si potrebbe pensare, frane in terra con movimento lento sono tra le cause principali di erosione e di danno per le infrastrutture (Handwerger et al., 2013).

Regolano inoltre gli angoli dei versanti e modellano i rilievi topografici.

In letteratura, una frana è definita come un movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante sotto l'influenza della gravità (Cruden, 1991).

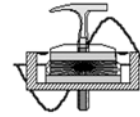
Una frana viene generalmente classificata in base alla tipologia di materiale coinvolto e alla tipologia del movimento. Queste due caratteristiche sono poi integrate considerando anche altri aspetti, quali lo stato di attività, lo stile di attività, la velocità, le condizioni idrauliche, ecc...

La classificazione di Cruden e Varnes (1996), ottenuta a partire da quella di Varnes (1978) e dalla rivisitazione di Carrara, D'Elia & Semenza (1985), tiene conto di tutti questi fattori ed è quella comunemente più utilizzata nella caratterizzazione di un fenomeno franoso.

I tre materiali fondamentali, che possono essere coinvolti in un movimento gravitativo, sono rocce, terreni grossolani, anche detti detrito, e terreni fini, i quali darebbero origine, dipendentemente dal movimento, a crolli, ribaltamenti, scorrimenti (traslativi o rotazionali), espandimenti laterali, colamenti o combinazioni di più meccanismi tra quelli citati.

In quest'ultimo caso, si parlerebbe di frane complesse, ma Cruden & Varnes (1996) propongono di evitare questo termine perché troppo generico e fuorviante, mantenendolo come solo descrittore dello stile di attività.

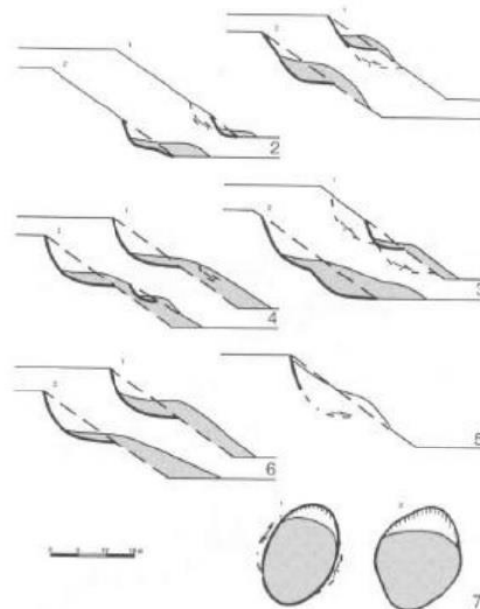
In natura, infatti, le frane complesse sono più la regola che l'eccezione, pertanto si rischierebbe di accomunare fenomeni molto diversi tra loro, tipo crollo di roccia + colata di detrito e scivolamento di terra + colata di terra, in entrambi i casi classificabili come fenomeni complessi.



In aggiunta alla tipologia di materiale coinvolto e alla tipologia di movimento, la classificazione di una frana, secondo Cruden & Varnes (1996), comprende lo stato di attività. In questo senso, se la frana risulta essere in movimento viene considerata attiva, se si è mossa nell'ultimo ciclo stagionale viene detta sospesa, mentre se si è mossa prima dell'ultimo ciclo stagionale può essere considerata inattiva. Tra le frane inattive, stando alla classificazione in oggetto, oltre a quelle stabilizzate o relitte vengono considerate anche quelle quiescenti, ovvero che potrebbero essere riattivate dalle stesse cause che le hanno originate.

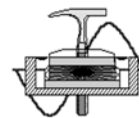
La distribuzione di attività e lo stile di attività sono altri due elementi che permettono di caratterizzare in modo completo una frana, anch'essi inclusi nella classificazione di Cruden & Varnes (1996).

La prima (Fig. 3.1.I) descrive fundamentalmente la direzione di movimento, e permette di prevedere l'evoluzione, nello spazio, del fenomeno franoso. Si parla di frana in avanzamento se la superficie di rottura si estende nella direzione del movimento, andando a coinvolgere aree sempre maggiori verso valle; di frana in retrogressione se la superficie di rottura si sposta nella direzione opposta al senso del movimento, tendendo a coinvolgere aree sempre maggiori verso monte e arretrando la corona di frana; di frana multi-direzionale se la superficie di rottura si estende in più direzioni; di frana in diminuzione se il materiale spostato diminuisce nel tempo; di frana confinata se è presente una scarpata ma non è visibile la superficie di scorrimento al piede; di frana costante se il materiale spostato continua a muoversi senza variazioni apprezzabili del volume e della superficie di rottura; e di frana in allargamento se la superficie di rottura si estende su uno o su entrambi i lati della frana.

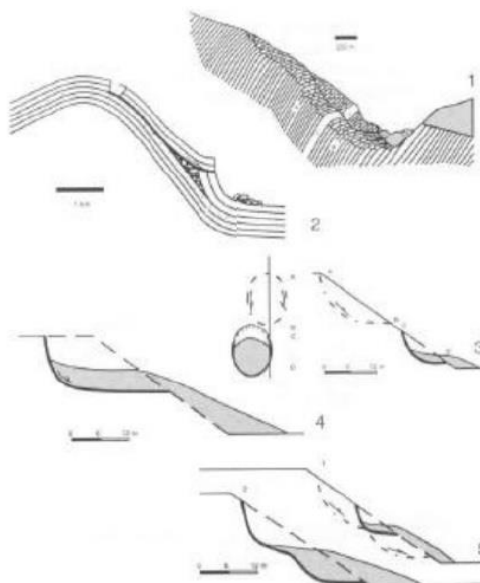


**Fig. 3.1.I** – Frane con diversa distribuzione di attività: 1) in avanzamento; 2) retrogressiva; 3) multi-direzionale; 4) in diminuzione; 5) confinata; 6) costante; 7) in allargamento. La sezione 2 di ogni diagramma mostra il versante dopo il movimento sulla superficie di rottura (da Cruden & Varnes, 1996).





Lo stile di attività (Fig. 3.1.II) indica invece come i diversi tipi di movimento contribuiscono al fenomeno franoso. Una frana può definirsi complessa se caratterizzata da più movimenti successivi; composita se si ha una combinazione simultanea di più movimenti diversi; successiva se si verificano movimenti successivi dello stesso tipo ed i materiali coinvolti e le superfici di rottura rimangono distinti; singola se la dislocazione avviene con la mobilitazione di un ammasso unico e secondo un'unica tipologia di movimento; multipla se lo stesso tipo di movimento si ripete più volte, coinvolgendo masse già dislocate in precedenza.



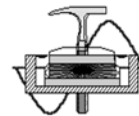
**Fig. 3.1.II** – Frane con diverso stile di attività: 1) complessa; 2) composita; 3) successiva; 4) singola; 5) multipla (da Cruden & Varnes, 1996).

Infine, come riportato in Tabella 1, una frana può essere assegnata ad una classe da I a VII sulla base della sua velocità.

<b>Classe</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Velocità tipica</b>	<b>Osservazioni sui danni</b>
<b>I</b>	Estremamente lento	6 mm/anno	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio, costruzione di edifici possibile con precauzioni.
<b>II</b>	Molto lento	16 mm/anno	Alcune strutture permanenti possono essere danneggiate dal movimento.
<b>III</b>	Lento	1,6 m/anno	Possibilità di intraprendere i lavori di rinforzo e restauro durante il movimento.
<b>IV</b>	Moderato	13 m/mese	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.
<b>V</b>	Rapido	1,8 m/h	Evacuazione possibile; distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.
<b>VI</b>	Molto rapido	3 m/min	Perdita di vite umane, velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione.
<b>VII</b>	Estremamente rapido	5 m/s	Catastrofe di eccezionale violenza, edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato, molti morti.

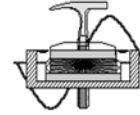
**Tab. 1** – Scala di intensità delle frane basata sulla velocità e sul danno prodotto (da Cruden & Varnes, 1996).





### 3.2. – Colate in terra

Una delle tipologie di frana più comune, specialmente nel territorio appenninico, è quella che Simoni et al. (2013) definiscono earthflow, termine utilizzato per identificare una frana che mostra un movimento tipo fluido viscoso, facilitato dalla combinazione di una singola o di molteplici superfici di taglio e di deformazione interna, in terreni plastici e argillosi. Si tratta di movimenti gravitativi che possono coinvolgere un ampio numero di depositi fini, da argille quaternarie marine (Picarelli et al., 2005) ad argille lacustri (Bièvre et al., 2011) a rocce vulcaniche degradate in minerali argillosi (Coe et al., 2003), in cui si osserva una trasformazione del materiale da solido a fluido. Altri autori preferiscono definire questo genere di fenomeni con il termine di mudslide (Hutchinson, 1988; Picarelli et al., 2005), oppure di frana in terra complessa (Cruden & Varnes, 1996). Adottando quest'ultima nomenclatura però, pressoché la totalità dei fenomeni franosi potrebbero essere ricondotti a movimenti di questo tipo, come già detto in precedenza. Una ulteriore necessaria considerazione è legata alle dimensioni areali e volumetriche dei fenomeni, all'aumentare delle quali è sempre più frequente avere a che fare con movimenti di colamento. Questo genere di frane, che può semplicemente essere denominato colate in terra, mostra tassi di spostamento molto persistenti nel tempo, con velocità classificabili come molto lente o estremamente lente (Cruden & Varnes, 1996). L'attività di tali frane è generalmente controllata dalla fluttuazione delle pressioni dell'acqua, tant'è che periodici incrementi nel tasso di spostamento sono stati documentati in relazione a specifici episodi di precipitazione o ad un incremento stagionale delle pressioni interstiziali. Valutare l'interazione tra piovosità e spostamenti è essenziale per caratterizzare il ruolo di tali frane nell'evoluzione del paesaggio e nella mitigazione del rischio idrogeologico (Handwerger et al., 2013). Quando analizzate nel dettaglio, queste colate in terra, rintracciabili in diversi contesti climatici e geologici, non mostrano una correlazione diretta tra precipitazioni, topografia e velocità, piuttosto evidenziano un pattern stagionale di accelerazione e decelerazione (Iverson & Major, 1987; Coe et al., 2003). L'aumento di velocità si verifica nel giro di giorni o mesi dopo un evento piovoso, mentre il rallentamento si ha nel bel mezzo della stagione estiva. E' dunque l'infiltrazione dell'acqua, ed il tempo con cui questo si verifica, a regolare l'aumento delle pressioni interstiziali, mentre drenaggi o dilatazione del materiale nella zona di taglio, fenomeno verificato anche in laboratorio ma poco visibile in sito, portano a una riduzione delle pressioni dei pori (Iverson & Major, 1987; Coe et al., 2003; Schulz et al., 2009). Nonostante le accelerazioni che di tanto in tanto si verificano, questi movimenti possono procedere a basse velocità per secoli o addirittura millenni (Schulz et al., 2009; Rutter & Green, 2011), manifestandosi chiaramente solo al momento della rottura catastrofica, a volte senza preavviso (Petley et al., 2002), quando la velocità aumenta sino a raggiungere le classi moderato o rapido della classificazione di Cruden & Varnes (1996). Non è possibile dire se prima o poi tutte le colate in terra attraversino, nel corso della loro storia, fasi periodiche di rottura parossistica, o se invece possano mantenere un comportamento estremamente lento anche nel lunghissimo periodo (Simoni et al., 2013).



Recenti studi effettuati su fenomeni franosi lenti, studi basati su dati strumentali e su evidenze geomorfologiche, sostengono che in molti casi non vi sia evidenza di rapidi movimenti nella loro evoluzione di lungo termine (Glastonbury & Fell, 2008).

Per questo motivo, è difficile definirne uno stato di attività a partire da osservazioni qualitative.

Il confine molto sottile tra un fenomeno detto attivo e uno detto quiescente diventa assai difficile da determinare quando gli spostamenti sono dell'ordine di centimetri al mese, per cui misure strumentali sono necessarie per descrivere in maniera appropriata la velocità e lo stato di attività.

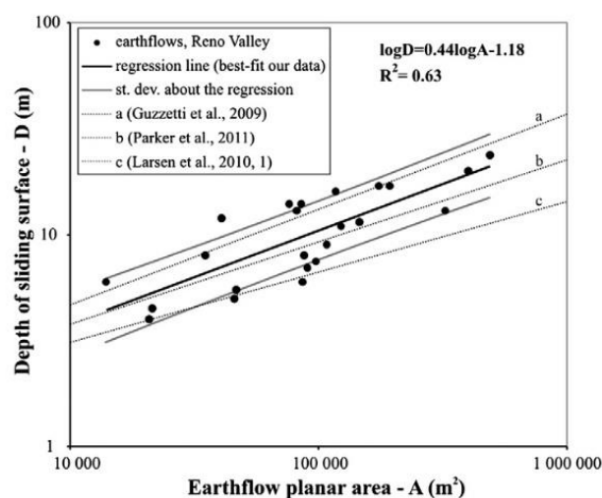
Anche con strumentazioni in grado di fornire misure precise, quest'ultime resteranno comunque limitate a piccole zone di studio e a periodi di tempo relativamente corti (mesi o anni), per cui l'interpretazione del fenomeno in un contesto evolutivo di lungo termine sarà sempre particolarmente problematica (Simoni et al., 2013).

A conferma di ciò, vi è il fatto che le velocità medie misurate dagli inclinometri variano da mm/anno a cm/anno senza che vi siano particolari differenze estetiche tra frane cartografate attive e frane cartografate quiescenti, distinzione comunemente fatta esclusivamente sulla base di osservazioni geomorfologiche.

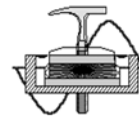
Nel corpo di colata in terra, però, raramente si apprezzano differenze morfologiche tali da permettere la distinzione di un fenomeno attivo da uno quiescente, mentre qualche segno di attività, come assenza di vegetazione o scarpate recenti, si può rinvenire nell'area di alimentazione (Simoni et al., 2013).

Statisticamente, dunque, non è possibile classificare le colate in terra sulla base di quanto proposto da Cruden & Varnes (1996).

Inoltre, spesso non vi è correlazione tra la velocità e la geometria del fenomeno, mentre è stato riscontrato un legame tra la profondità della superficie di scorrimento e l'area planare occupata dall'earthflow (Fig. 3.2.I): all'aumentare dell'area si ha un aumento della profondità (Simoni et al., 2013).



**Fig. 3.2.I** – Profondità della superficie di scivolamento in funzione dell'area planare della colata (da Simoni et al., 2013).



Il meccanismo di movimento più comune in questo genere di casi è legato ad un innesco per scorrimento traslativo o rotazionale.

Dopo il definitivo cedimento del versante, il materiale coinvolto collassa e si fluidifica, evolvendo così in colata. Il fenomeno si imposta sulla superficie topografica naturale preesistente che funge da piano di flusso.

Quando la frazione liquida è predominante su quella solida, il pendio attraversato si conserva integro con copertura erbosa intatta. In questi casi, e stante l'esistenza di condizioni geometriche ottimali, la lunghezza totale della frana può essere di molte unità (5 - 10) superiore alla sua larghezza (Cruden & Varnes, 1996).

Le colate in terra sono tipicamente caratterizzate da un'area sorgente a forma di scodella, una zona di trasporto allungata e un'area di accumulo lobata che costituisce il piede della frana o, in alternativa, si unisce ad altre earthflow così da generare fenomeni coalescenti (Simoni et al., 2013).

Il movimento verso valle è, come detto, molto lento, variabile con la stagionalità, e si sviluppa lungo precise superfici di scivolamento con deformazione della massa in frana. I primi inneschi sono comunemente descritti come fenomeni rotazionali regressivi che coinvolgono la zona di origine, e che alimentano il successivo corpo di colata (Berti & Simoni, 2012).

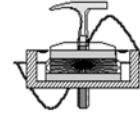
La riattivazione parossistica dell'intero deposito di primo innesco è molto poco frequente, ma può avere caratteri devastanti per edifici e strade. In caso, può essere dovuta a rotture multiple per retrogressione della scarpata, e la successiva propagazione legata a meccanismi di carico non drenato (Bertolini et al., 2005).

### 3.3. – Resistenze residue

I principali parametri necessari a condurre un'analisi di stabilità sono la geometria della frana, il posizionamento della superficie di scorrimento, le pressioni interstiziali, il peso dell'unità di volume del materiale coinvolto e le resistenze del terreno intersecato dalla superficie di rottura (Stark et al., 2005).

L'uso di strumenti topografici dovrebbe permettere di mappare l'area in frana, l'installazione di inclinometri e le osservazioni di campo dovrebbero facilitare la localizzazione della superficie di scorrimento nel caso di analisi post-frana, mentre le prove di laboratorio sono in grado di determinare la densità del materiale coinvolto (Stark et al., 2005).

Le maggiori incertezze sono quindi legate alle pressioni dell'acqua e alle resistenze mobilitate dal terreno. Le prime dipendono dalla zona e dal periodo di indagine, per cui risulta molto difficile definire le condizioni piezometriche in maniera precisa e generalizzata. Le seconde possono essere date da parametri drenati o non drenati, a seconda delle cause di innesco e della permeabilità del materiale coinvolto. Un terreno, sottoposto a deformazione di taglio, raggiunge due stadi successivi al procedere della stessa. In prima istanza, a deboli spostamenti, si ha un aumento della resistenza mobilitata sino al raggiungimento di valori di picco, i più alti a disposizione.



Questi sono propri di materiali granulari ben addensati o di materiali fini sovraconsolidati, con i secondi che, oltre ad essere caratterizzati da un valore di angolo di attrito efficace, hanno comportamento coesivo.

Al superamento del picco segue una riduzione della resistenza disponibile, che si stabilizza sul valore di stato critico, determinabile su qualsiasi campione anche in condizioni rimaneggiate.

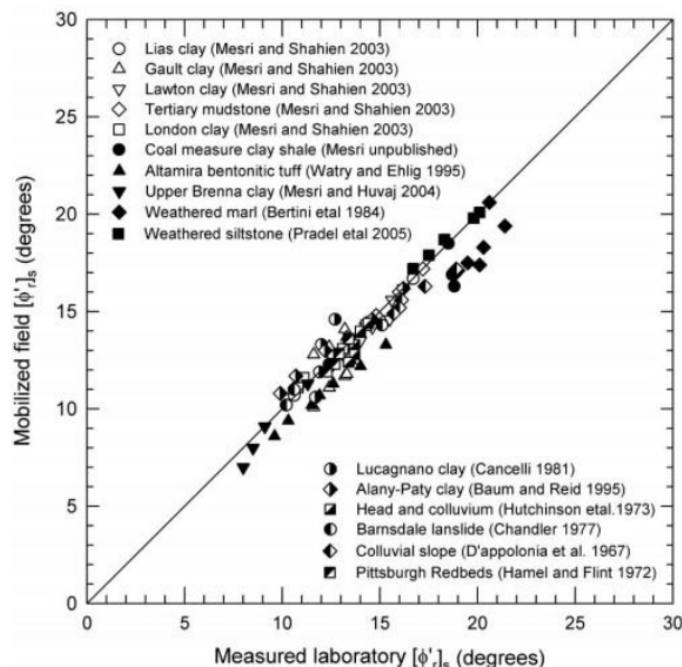
Per i terreni fini esiste un terzo stadio che è quello delle resistenze residue.

Queste resistenze residue possono essere considerate in caso di nuove o vecchie frane caratterizzate da una preesistente superficie di taglio (Stark et al., 2005), come in antiche colate in terra o in fenomeni di soliflusso, in caso di strati piegati e caratterizzati da fratture o faglie, o in altre situazioni particolari, quali la costruzione di dighe che inducono un innalzamento e un abbassamento del livello dell'acqua a scala annuale (Stark & Duncan, 1991).

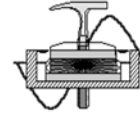
In genere, una rottura in condizioni drenate si verifica quando le resistenze del terreno hanno appunto già raggiunto quelle residue (Terzaghi et al. 1996).

Questo è dovuto allo spessore piuttosto sottile della zona di taglio, dove le particelle argillose tendono ad allinearsi parallelamente alla direzione di scorrimento, comportando inoltre piccole variazioni nel volume del materiale (Mesri & Shahien, 2003).

In sostanza, analisi di stabilità in tensioni efficaci necessitano molto spesso di parametri drenati residui (Stark et al., 2005), come emerge dalle modellazioni svolte da Huvaj-Sarihan (2009), in cui i parametri di resistenza mobilizzati da back-analysis sono molto simili a quelli residui determinati in laboratorio (Fig. 3.3.I).



**Fig. 3.3.I** – Angolo di attrito efficace mobilizzato da back-analysis comparato a quello determinato in laboratorio per frane riattivate (da Huvaj-Sarihan, 2009).



Molto dibattuto è l'utilizzo, nelle analisi di stabilità, di un valore di coesione efficace diverso da zero. Il *Fattore di Sicurezza* risultante dalle analisi all'equilibrio limite non è altro che il rapporto tra le forze resistenti richieste per la stabilità del versante e quelle agenti.

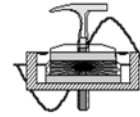
Qualsiasi valore di  $c'$ , anche ridotto, ha un impatto molto importante nel calcolo di F.S., in particolare si nota un incremento di quest'ultimo all'aumentare della lunghezza della superficie di scorrimento che attraversa il materiale coesivo (Stark et al., 2005).

Nelle analisi di stabilità che richiedono l'uso di parametri residui è quindi raccomandato imporre la coesione efficace uguale a zero (Stark et al., 2005).

Per definizione infatti, le resistenze residue sono il risultato della riorientazione delle particelle argillose che, allineandosi parallelamente alla direzione di taglio, mostrano un comportamento laminare (Skempton, 1985).

Le forze che ne derivano sono molto basse, dal momento che per tali particelle diventa difficile stabilire tra loro un contatto o una sorta di adesione (Terzaghi et al. 1996). Inoltre, il raggiungimento delle condizioni residue comporta un aumento nel contenuto d'acqua in corrispondenza o nei pressi della superficie di scorrimento preesistente (Skempton 1985). In conclusione, l'interazione tra particelle argillose che porta ad assumere caratteri coesivi è ridotto o pressoché eliminato dalle deformazioni necessarie a raggiungere le resistenze residue. Per questo motivo, il materiale sarà caratterizzato esclusivamente da resistenze attrittive, ovvero dall'angolo di attrito efficace funzione dello sforzo normale agente sulla superficie di rottura (Stark et al., 2005). In particolare, queste resistenze attrittive dipenderanno dalla mineralogia delle particelle argillose presenti.

Il risultato di numerose prove di taglio anulare effettuate su materiali argillosi di vario tipo ha inoltre confermato che l'involuppo di rottura legato alle resistenze residue è stress dipendente (Stark et al., 2005). Di conseguenza, la curva che interpola i punti avrà carattere leggermente curvilineo e non perfettamente lineare.



### 3.3.1. – Stima delle resistenze residue da proprietà indice

Le resistenze residue sono una proprietà fondamentale del materiale, non dipendono dalla struttura, dalla storia tensionale, dall'interazione tra le particelle o dalla loro coesione. In letteratura, sono diverse le correlazioni che permettono di stimare le resistenze residue del terreno a partire dalle proprietà indice, unico fattore di controllo.

In Stark et al. (2005) viene proposta una revisione alla correlazione che Stark & Eid (1994) segnalano tra angolo di attrito efficace e limite liquido. In poche parole si potrebbe dire che più alto è il limite liquido, e maggiore è la frazione argillosa, minore sarà l'angolo di attrito residuo (Fig. 3.3.1.I). Il limite liquido è spesso utilizzato come indicatore della mineralogia e del diametro delle particelle: al diminuire del diametro, l'area efficace disponibile aumenta, il limite liquido cresce e i parametri residui diminuiscono.

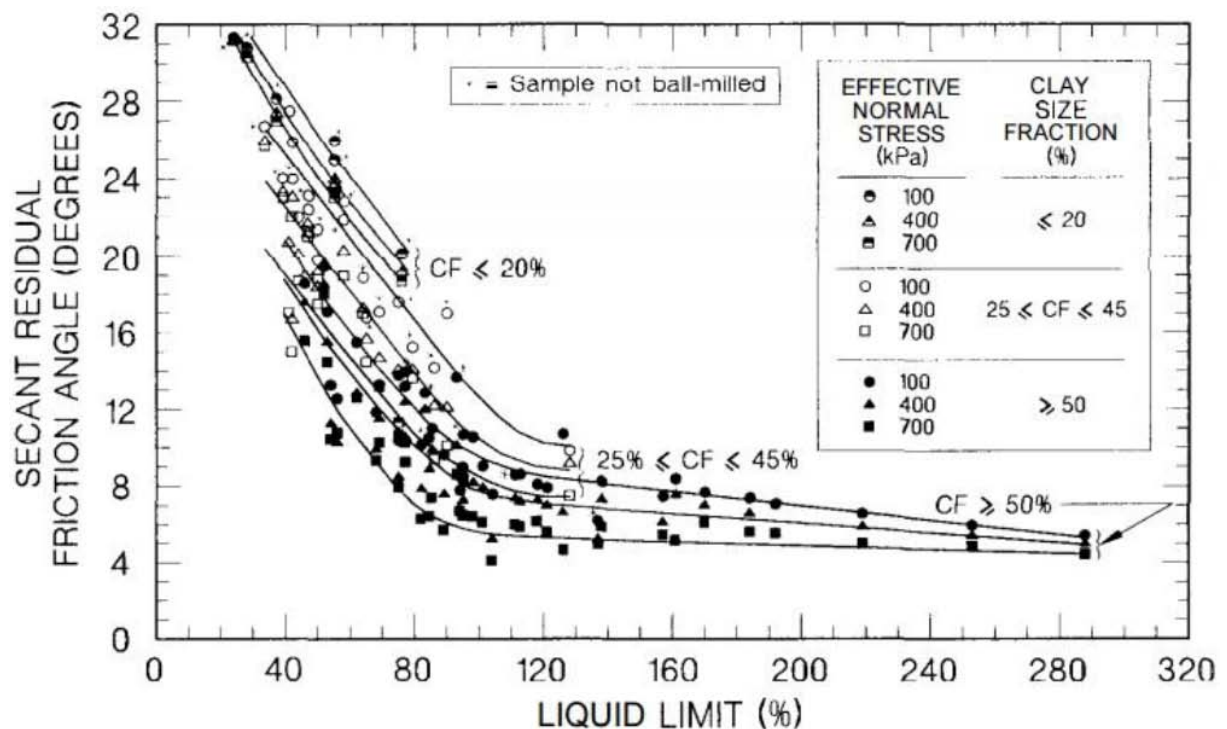
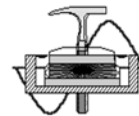


Fig. 3.3.1.I – Angolo di attrito residuo stimato in relazione a limite liquido, per frazioni argillose e sforzi normali efficaci differenti (da Stark et al, 2005).

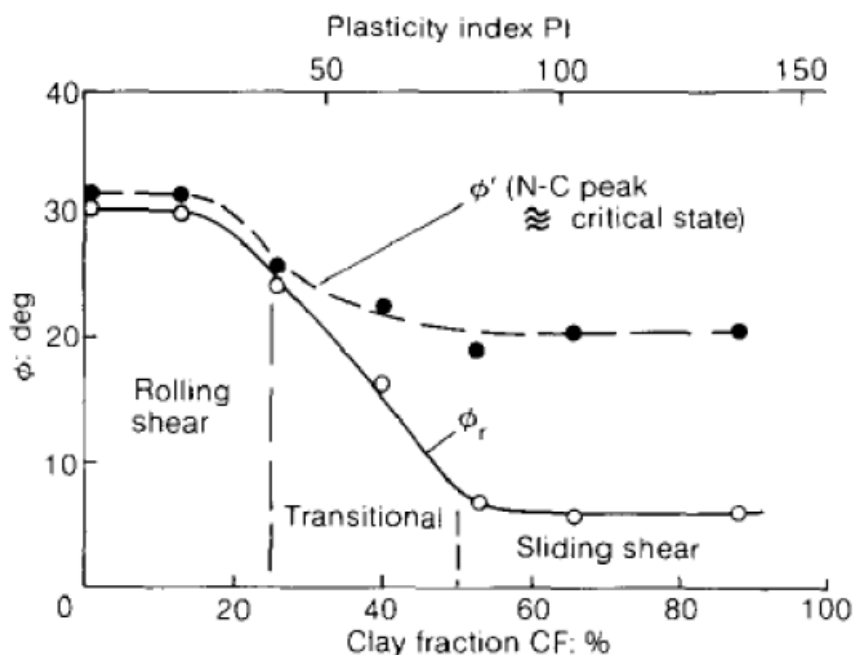
L'effetto di riorentazione delle particelle argillose risulta più pronunciato quando la frazione argillosa è maggiore o uguale al 25% in peso (Fig. 3.3.1.I), ed è in questo caso che si ha il maggior crollo delle resistenze. I dati raccolti in Stark et al. (2005) non mostrano invece un effettivo legame tra l'abbondanza di particelle argillose e la geometria di taglio, in accordo con quanto già concluso da Skempton (1985), il quale afferma semplicemente che per avere un'isorientazione dei minerali argillosi è necessaria una frazione fine di almeno il 20%-25%.





Qualora CF sia minore del 20%, l'angolo di attrito residuo del terreno sarà molto simile a quello di una sabbia, perché regolato da particelle limoso-sabbiose subsferiche.

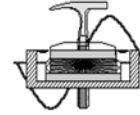
L'attività del materiale, definita come il rapporto tra indice plastico e frazione argillosa, è stata utilizzata in precedenti correlazioni, come ad esempio quella proposta da Skempton (1985) (Fig. 3.3.1.II). Ad ogni modo, la correlazione empirica tra angolo di attrito residuo e limite liquido sembra dare risultati più precisi rispetto a quella basata sull'attività (Stark et al., 2005). Per tale relazione non è nemmeno necessario misurare il limite plastico per la definizione dell'indice plastico, con notevole risparmio di tempo.



**Fig. 3.3.1.II** – Angolo di attrito residuo stimato in relazione all'attività del materiale, rapporto tra indice plastico e CF (da Skempton, 1985).

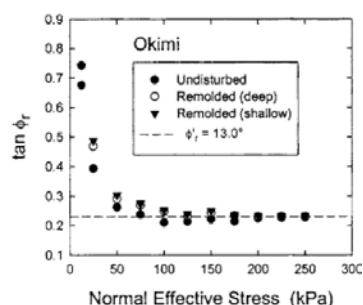
La forma delle particelle, in stretta relazione con la frazione argillosa, è secondo Lupini et al. (1981) un altro parametro di grande importanza nel definire il comportamento del terreno in condizioni residue. Come accennato prima, gli autori mettono in luce come il rapporto tra la percentuale di particelle di forma piatta e la percentuale di particelle di forma sferica presenti nel terreno influenzi il meccanismo di taglio che si andrà a sviluppare.

Nel caso di maggiore abbondanza di particelle subsferiche, il processo di taglio ad elevate deformazioni avverrà con carattere turbolento, provocando un aumento nel valore di angolo di attrito residuo, il quale coinciderà con quello di stato critico. Se invece sono le particelle piatte quelle più abbondanti ( $CF > 50\%$ ), allora il processo di taglio avverrà per scivolamento e porterà ad un angolo di attrito residuo piuttosto basso, regolato unicamente dalla mineralogia della frazione argillosa.

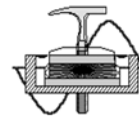


### 3.3.2. – Metodi di caratterizzazione della resistenza residua

La stima dei parametri di resistenza residua può essere fatta attraverso prove di taglio diretto a più cicli oppure prove di taglio anulare (Stark & Eid, 1994). Quest'ultime permettono di applicare uno scorrimento circolare continuo, con conseguenti vantaggi, tra i quali vanno certamente citati l'invariabilità della superficie di scorrimento, l'univocità nel senso di rotazione e la maggiore uniformità nell'orientamento delle particelle argillose presso il piano di taglio. Tutto ciò permette di ottenere valori di  $\Phi_r'$  molto più vicini alla realtà rispetto a quanto stimato da una prova di taglio diretto a più cicli, da cui si ricavano, in genere, valori più alti e quindi meno cautelativi (Raviolo, 1993). Nonostante questo, anche dalle prove di taglio anulare possono risultare valori anomali, in particolare per quanto riguarda  $c'$  che, come detto, dovrebbe essere nullo. Spesso, la coesione efficace sembra invece maggiore di 0. A tale proposito, le resistenze residue mostrano una certa dipendenza dalla tensione normale efficace alla quale il campione è consolidato. Tale dipendenza si riflette in un certo grado di non-linearità dell'involuppo di rottura residuo, in modo particolare nel campo delle basse tensioni normali (Morgenstern & Tchalenko, 1967). Ciò può trovare spiegazione nel fatto che per bassi valori di  $\sigma_n$  le particelle del terreno non riescono ad orientarsi perfettamente lungo il piano di rottura, presso il quale lo scorrimento non avviene quindi in modo perfettamente laminare. Per alti valori di tensione normale efficace, invece, l'allineamento delle particelle avviene più facilmente e di conseguenza riduce la resistenza residua disponibile (Stark & Eid, 1994). Ciò significa che, adottando un criterio di rottura lineare, i dati possono non essere interpolati con precisione, specialmente in caso di pressioni normali relativamente basse. Questo effetto di non linearità si manifesta dunque in modo significativo soltanto per bassi carichi normali (Fig. 3.3.2.I), mentre per alti valori l'angolo d'attrito tende a diventare costante (Tiwari et al., 2005). La scelta dell'involuppo di rottura da adottare nei singoli casi di studio deve dunque tenere in considerazione lo specifico intervallo di tensioni che saranno indagate. Un'altra spiegazione all'apparente presenza di coesione sarebbe da ricercare nella presenza di soluzioni saline in grado di generare forze di Van der Waals (Lambe, 1960). In alternativa ad una prova di laboratorio, è possibile stimare  $\Phi_r'$  a partire dalle correlazioni empiriche di cui si è fatto cenno nel precedente, correlazioni basate sulle proprietà indice del terreno, unico fattore di controllo delle resistenze residue.



**Fig. 3.3.2.I** – Influenza dello sforzo normale efficace sull'angolo di attrito residuo (da Tiwari et al., 2005).



### 3.4. - Aspetti geomorfologici locali

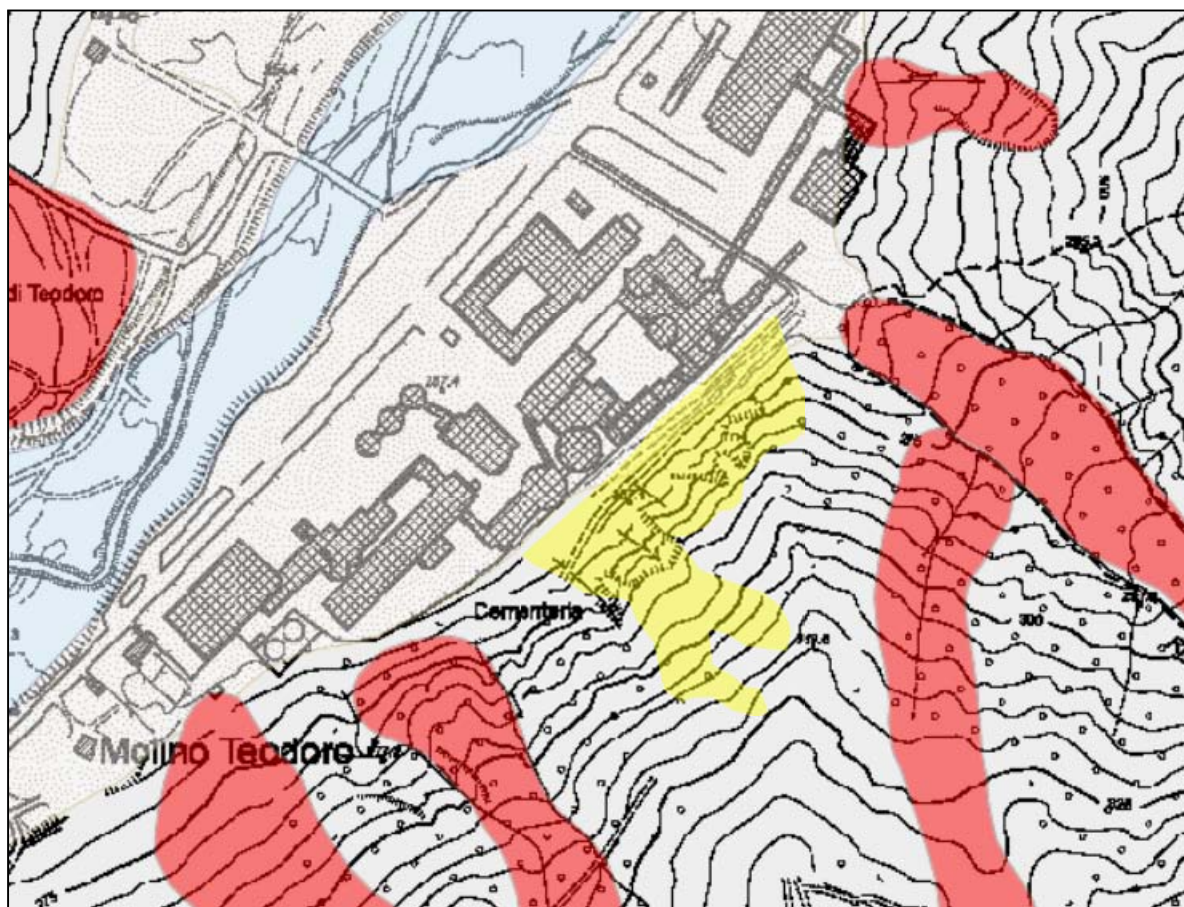
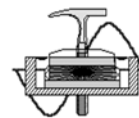
Il versante retrostante l'area di progetto risulta inciso, nella sua parte inferiore, nel "*Complesso di Casanova - litofacies a brecce mono e poligeniche a matrice pelitica*", appartenente all'Unità Tettonica "Liguri" del periodo Campaniano inf. della letteratura geologica. Si tratta, come sommariamente descritto nel paragrafo 3.6, di brecce monogeniche (prevalenti) e poligeniche per lo più matrice sostenute con abbondante matrice pelitica grigio scura e clasti eterometrici.

Le caratteristiche geomeccaniche e l'intensa tettonizzazione delle rocce affioranti rendono ragione del fatto che il versante esaminato è interessato da fenomeni di dissesto idrogeologico di vario tipo, quali: smottamenti, colate, coni di fango, ruscellamento attivo ecc. (vedi estratto *Carta del dissesto da PTCP "modificato"* scala 1: 5.000 in fig. 3.4.I).

In sostanza, la fascia di versante in oggetto risulta interessata da due forme di dissesto idrogeologico principali: frane vere e proprie (seppure di modesto spessore) e fenomeni erosivi diffusi (con locali evoluzioni verso veri e propri colamenti). In realtà, l'entità delle masse coinvolte nei corpi di frana risulta quasi sempre limitata; tuttavia la loro stabilizzazione risulta assai difficoltosa in quanto esse assumono, specie in concomitanza di eventi meteorici significativi, un comportamento assai plastico e quasi liquido (colate di fango). I prodotti di tali fenomeni gravitativi (le cui nicchie di distacco, per quanto nette e ben definite, risultano in continua regressione) tendono ad accumularsi alla base del versante, generando forme conoidali bombate al centro e, per coalescenza di queste, vere e proprie falde di materiali colluviali impregnati di acqua: e proprio l'acqua è, in pratica, l'elemento da regolare al fine di limitare le loro possibilità di evoluzione. I processi erosivi superficiali (colamenti ed erosione diffusa) colpiscono con particolare intensità la porzione più meridionale della pendice, anche se, in verità, si estendono attualmente a gran parte del versante, che si presenta quasi totalmente privo di vegetazione. Il loro meccanismo genetico è praticamente lo stesso dei movimenti franosi ed anche in questo caso sono ancora le acque ad assumere un ruolo determinante nell'evoluzione del fenomeno; la sola differenza esistente tra i due tipi di dissesto risiede nelle proporzioni delle masse in gioco (decisamente più limitate nel secondo caso).

L'insieme dei movimenti in parola si collocano nel contesto di una ulteriore evoluzione dei fenomeni di dissesto lungo tutto il versante, testimoniata altresì dall'arretramento delle nicchie e delle sponde di frana e dalla recente formazione di nuove fessurazioni nel terreno, che fanno presagire il rischio di una ulteriore migrazione a monte dei dissesti, coinvolgendo aree che attualmente potrebbero apparire in condizioni di stabilità. Tali evidenze sottolineano l'opportunità di interventi a breve termine, che tendano ad impedire da un lato la mobilitazione di "ingenti" quantità di materiale e dall'altro il progredire dei fenomeni di dissesto.

Si precisa inoltre che, è di tutto interesse dell'azienda operare in condizioni di sicurezza per cui lo sviluppo delle attività delle frane presenti lungo il versante a monte viene tenuto costantemente monitorato nel tempo e, come riferito allo scrivente, anche dopo gli interventi di salvaguardia preventiva realizzati nei primi anni '90 sono state eseguite opere manutentive.



### Legenda elementi del dissesto cartografati

#### Rischio di dissesto PTCP

Dissesti attivi - artt. 30 e 31 commi 6, 12 e 13 del PTCP

- Deposito di frana attiva
- Conoide torrentizia in evoluzione
- Deposito alluvionale in evoluzione

Dissesti quiescenti - artt. 30 e 31 comma 7 del PTCP

- Deposito di frana quiescente

Dissesti potenziali - artt. 30 e 31 commi 8 e 12 del PTCP

- Deposito frana stabilizzata
- Deposito di versante
- Deposito eluvio-colluviale
- Detrito di falda
- Deposito glaciale e periglaciale
- Deposito eolico
- Deposito palustre
- Conoide torrentizia inattiva
- Deposito antropico
- Cava
- Travertini
- Deposito alluvionale terrazzato

Dissesti potenziali - artt. 30 e 31 commi 8 e 12 del PTCP

Area calanchiva o sub-calanchiva

Aste a pericolosità molto elevata per dissesti fluvio-torrentizi - artt. 31 commi 9 - 11 del PTCP

Aste a pericolosità molto elevata per dissesti fluvio-torrentizi

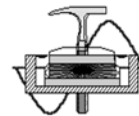
Colate in terra

fig. 3.4.I – estratto carta del dissesto RER

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com



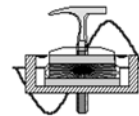


In relazione allo stato di assestamento, è stato possibile distinguere due principali “classi” di fenomeni gravitativi (vedasi fig. 3.4.II):

1. quelle che hanno ormai raggiunto un “parziale” grado di assestamento e che, quindi, allo stato attuale, non presentano pericoli di immediata ripresa, che potrebbero invece intervenire in caso di irrazionali interventi antropici (*zona nella quale la piantumazione ha contrastato il franamento*); occorre tuttavia precisare che, i rilevamenti effettuati lungo la pendice hanno evidenziato un copertura arborea localmente compromessa e degradata, con piante schiantate al suolo e spesso scalzate dal terreno;
2. quelle che non hanno ancora raggiunto un accettabile grado di assestamento naturale e possono perciò costituire aspetti di rischio anche per il progettato nuovo insediamento specie in occasione di piogge intense e prolungate (*zona priva di vegetazione*);



fig. 3.4.II



### 3.5. - Aspetti idrografici ed idraulici

La zona oggetto d'intervento è compresa nel bacino imbrifero del Torrente Arda, il cui ampio alveo ordinario dista, in linea d'aria, circa 0.15 Km. Localmente la rete idrica superficiale è costituita da una serie di piccoli rii e canali irrigui, che confluiscono a formare il Torrente Arda, di cui il più importante elemento è il Rio Ripugnino. La originale e potenziale inondabilità del ripiano è oggi praticamente annullata dall'esistenza del rilevato artificiale che sostiene le Strada Provinciale "Fondo Vai d'Arda"; infatti, le acque di piena ordinaria e straordinaria del T. Arda vengono agevolmente smaltite dall'attuale alveo attivo del torrente stesso. In effetti, anche sulla base dei dati desumibili dallo studio idraulico a suo tempo effettuato per la messa a punto del "Piano tralcio" del Comprensorio Val d'Arda-Val Ongina, il rilevato non è suscettibile di tracimazioni.

Potenziali allagamenti si potevano invece verificare in occasione delle piene del Rio Ripugnino: questo, in tali circostanze, tendeva a "ruotare" sul proprio conoide di deiezione, ubicato al suo sbocco sul ripiano, e/o ad uscire (specie in sponda destra), dagli esigui argini artificiali che lo contenevano per il restante tratto.

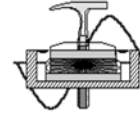
Si trattava evidentemente di un fenomeno che, per quanto a carattere periodico, rendeva necessaria l'adozione preventiva di adeguate opere di difesa idraulica, come puntualmente attuate dalla Buzzi Unicem (*vedasi foto in fig. 3.5.I*).



fig. 3.5.I

Da rilevare, infine, la presenza di fenomeni di erosione sulla sponda destra del T. Arda, in più punti contrastati da pennelli repellenti, già realizzati a difesa della Strada Provinciale. Assai discutibile, sotto quest'ultimo profilo la traversa – guado realizzata in zona, trasversalmente all'alveo attivo (finalizzata a consentire il transito di automezzi pesanti): indubbie sono infatti le perturbazioni di essa create al naturale equilibrio idraulico del corso d'acqua.





### 3.6. - Aspetti geolitologici

La formazione che costituisce l'ossatura della porzione di pendice retrostante lo stabilimento, è conosciuta nella Bibliografia Geologica, con il nome di "*Complesso di Casanova - litofacies a breccie mono e poligeniche a matrice pelitica*", appartenente all'Unità Tettonica "Liguri" del periodo Campaniano inf..

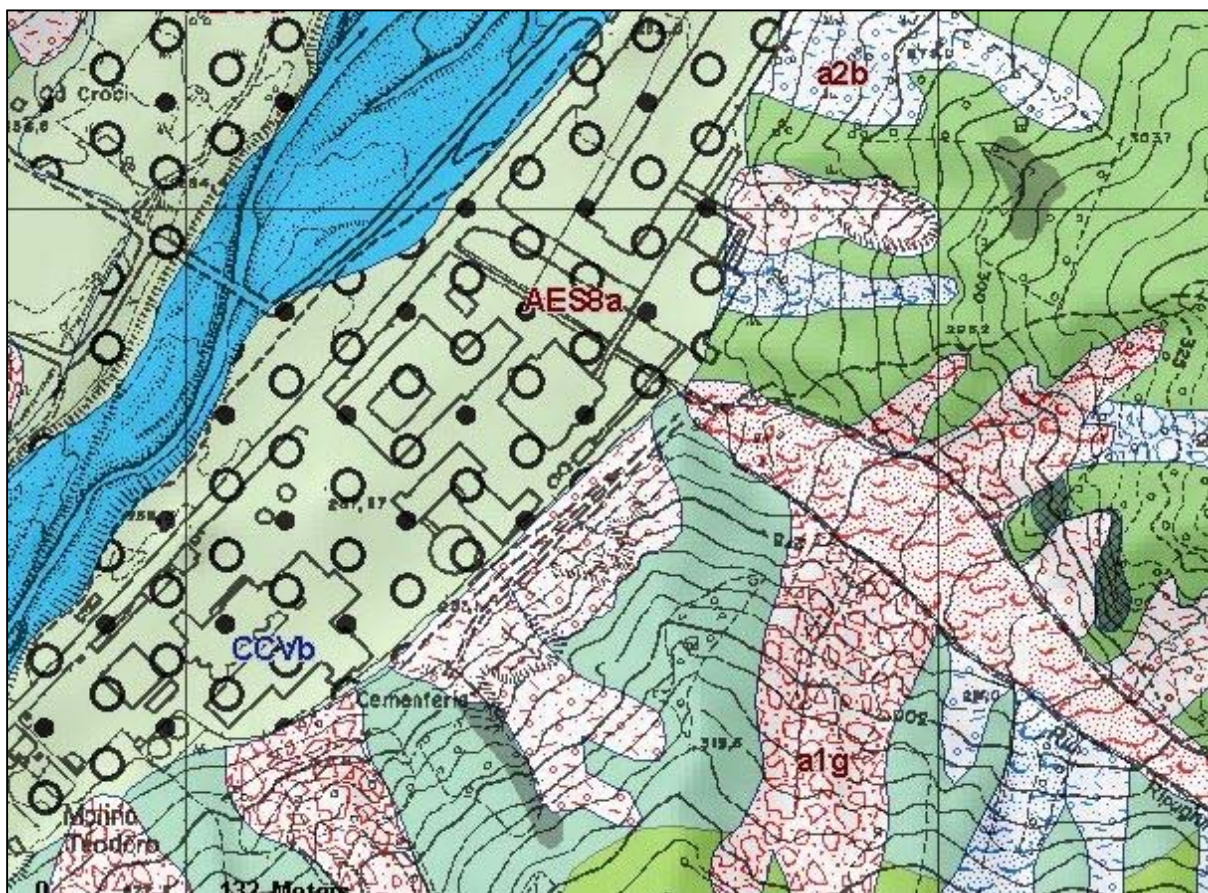
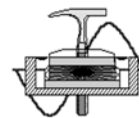
Tale formazione risulta costituita da breccie monogeniche (prevalenti) e poligeniche per lo più matrice sostenute con abbondante matrice pelitica grigio scura e clasti eterometrici, da angolari a subarrotondati, di calcilutiti chiare (per lo più riferibili alle argille a Palombini), più rari clasti di areniti scure e calcareniti.

Le caratteristiche geomeccaniche e l'intensa tettonizzazione delle rocce affioranti rendono ragione del fatto che il versante esaminato è interessato da fenomeni di dissesto idrogeologico di vario tipo (smottamenti, colate, coni di fango, ruscellamento attivo ecc.ec.).



Alla sommità del versante affiora, con giacitura a reggi poggio., il "*Flysch di Monte Cassio*", che presenta problemi di instabilità assai più ridotti.





### Legenda principali elementi cartografati

#### Coperture quaternarie (10K)

- AES8a - Unità di Modena
- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

#### Limiti di unità geologiche (10K)

- contatto stratigrafico o litologico certo
- contatto stratigrafico o litologico incerto
- limite di natura incerta

#### Affioramenti (aree) (10K)

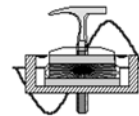
#### Unità geologiche (10K)

- AVV - Argille Varicolori di Cassio
- CCVb - Complesso di Casanova - litofacies a breccie mono e poligeniche a matrice pelitica
- MCS - Flysch di Monte Cassio
- MMP - Marne di Monte Piano
- SCB - Arenarie di Scabiazza
- SCBc - Arenarie di Scabiazza - litofacies calcareo-marnosa

fig. 3.6.I – estratto carta geologica-geomorfologica RER

Dott. Geol. Cavanna Nicola

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com



#### 4.0 - INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI

La presente relazione geognostica ha per oggetto la definizione della successione litostratigrafia ed una caratterizzazione geo-meccanica dei terreni siti in corrispondenza della pendice prospiciente lo stabilimento.

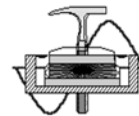
Nell'ambito del progetto di consolidamento, ai fini della rappresentazione stratigrafica, sono state condotte delle verifiche geognostiche nel corso della presente campagna di rilevamento "giugno ÷ luglio 2024".

In definitiva per la stesura del presente elaborato geologico sono state approntate e/o analizzate le seguenti indagini:

- n. 1 trincea esplorativa;
- n. 3 prove penetrometriche dinamiche DPM **(allegato 2);**
- n. 1 prospezione sismica tipo MASW **(allegato 3);**
- n. 2 registrazioni dei microtrempi sismici HVSR **(allegato 4).**

Le indagini geofisiche ed i sondaggi geognostici sono posizionati come da planimetria su ortofoto in allegato 1.





#### 4.1 – Verifiche litostratigrafiche dirette (trincea esplorativa)

Scopo principale dell'indagine è stato la ricostruzione diretta dell'andamento stratigrafico del terreno, a completamento e taratura delle prove penetrometriche e delle prospezioni sismiche (*vedasi ubicazione nella planimetria in allegato 1*).

Si è proceduto quindi alla verifica delle reali caratteristiche litostratigrafiche dei terreni costituenti il primo sottosuolo della pendice oggetto di consolidamento attraverso l'approntamento di una trincea esplorativa, previa creazione di una pista di accesso.

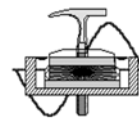
Nella foto in fig. 4.1.I è visualizzato lo scavo della trincea che ha raggiunto una profondità massima di circa 1.50 metri.

L'analisi del fronte della trincea ha evidenziato una sequenza litostratigrafica costituita da una coltre argillo limosa frammista ad elementi litoidi (coltre detritico terrosa).

Inoltre, sul fondo della trincea è stata rilevata la presenza di ristagni d'acqua (*data 02 luglio 2024*).



Fig. 4.1.I



## 4.2 – Prove penetrometriche dinamiche (DPM)

Al fine di ottenere utili informazioni per la caratterizzazione litostratigrafica dei terreni costituenti il sottosuolo della prima “pendice”, ove possibile, vista la morfologia dei luoghi, si è proceduto mediante l'approntamento di n° 3 prove penetrometriche dinamiche “medie” (*vedasi ubicazione in allegato 1 al presente elaborato*).

L'attrezzatura usata consiste in un penetrometro D.P.M., le cui caratteristiche standard sono:

• peso massa battente	M (Kg)	30
• altezza di caduta	H (m)	0.20
• punta conica da 10 cmq diametro	Dp (mm)	35.7
• angolo apertura punta	$\beta$ (°)	60
• passo infissione	$\delta$ (m)	0.10
• diametro aste da 1m di lunghezza	Da (mm)	20

Il numero di colpi (Nc) rilevato ogni 10 cm di infissione delle aste è perfettamente equiparabile al numero di colpi rilevabile ogni 30 cm di avanzamento nel corso di una prova con equipaggiamento standard SCPT o SPT.

I sondaggi penetrometrici dinamici consistono nell'infissione nel terreno di un'asta dotata di una apposita punta conica e nella registrazione dei colpi necessari ad ottenere una penetrazione di 10 cm.

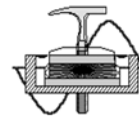
Le prove penetrometriche, approntate dallo scrivente, hanno evidenziato una parziale disomogeneità litostratigrafica sull'intera area oggetto d'indagine, costituita da una coltre detritico terrosa poco consistente e dello spessore compreso indicativamente tra 0.70 e 2.70 m, che ricopre depositi argillo limosi frammisti a pezzame lapideo sovrastanti il locale cappellaccio del sub-strato roccioso fino alla massima profondità indagata di circa 4.80 metri per rifiuto alla penetrazione (*vedasi diagrammi in allegato 2 al presente elaborato*). Si precisa infine che, sono state rilevate delle circolazioni acquifere a fondo foro (*data rilievo 25 marzo 2024*).

Sono stati così distinti, procedendo dal piano campagna verso il limite inferiore d'indagine penetrometrica, i seguenti termini litologici:

Profondità max rilevata (centimetri)	Descrizione litologie prevalenti		Spessore max rilevato (metri)
da p.c. a -270	<b>A0</b>	Coltre detritico terrosa poco consistente	2.70
da -270 a -430	<b>A1</b>	Depositi argillo limosi frammisti a pezzame lapideo	1.60
da -430	<b>C1</b>	Probabile cappellaccio del sub-strato roccioso	--

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com



#### 4.2.1 – Caratterizzazione geomeccanica

Al fine di ottenere una parametrizzazione geotecnica utilizzabile per la porzione di pendice indagata si è proceduto ad un'elaborazione statistica dei dati desunti dalle prove penetrometriche (DPM), ottenendo una serie di valori medi "cautelativi" (vedasi *tabella seguente*).

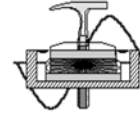
PARAMETRI GEOTECNICI

Livello	A. 0	A. 1	C. 1
Spessore (metri)	~1.00÷2.70	~1.60÷2.30	> 20.00
$\gamma$ (t/mc)	~1.80	~1.85	~2.15
$\phi'$ (°)	~19	~24	~25
Dr (°)	--	--	--
Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	~0.25	~0.60	~2.50
E (Kg/cm <sup>2</sup> )	~30	~65	~250
$\nu$	~0.40	~0.40	~0.45

#### Legenda

$\gamma$	<i>Peso di volume</i>
$\phi$	<i>Angolo di attrito interno</i>
Dr	<i>Densità relativa</i>
Cu	<i>Coesione non drenata</i>
E	<i>Modulo di Young</i>
$\nu$	<i>Modulo di Poisson</i>





### 4.3 – Prospezione sismica con metodologia MASW

Il paragrafo illustra e commenta l'indagine geofisica eseguita ai fini della determinazione del terreno di fondazione ai sensi del testo *“Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni”* (D.M. 17 gennaio 2018).

Lo stendimento approntato dallo scrivente nell'area di specifico interesse, denominato MASW 01, è posizionato come da planimetria su base ortofoto in allegato 1.

#### 4.3.1 - Metodologia d'indagine

L'acquisizione di campagna è stata condotta con sismografo PASI modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza), geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz spazati di 5 m con offset a 5 m di distanza dal primo geofono; l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

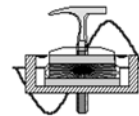
Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), i dataset sono stati ottenuti mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - 12 geofoni verticali da 4.5 Hz;
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in alluminio.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo i più rappresentativi per le Onde di Rayleigh (ZVF) e per le Onde di Love (THF).

Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset e successivamente è stata effettuata la modellazione, in modalità congiunta per lo stendimento L1.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.



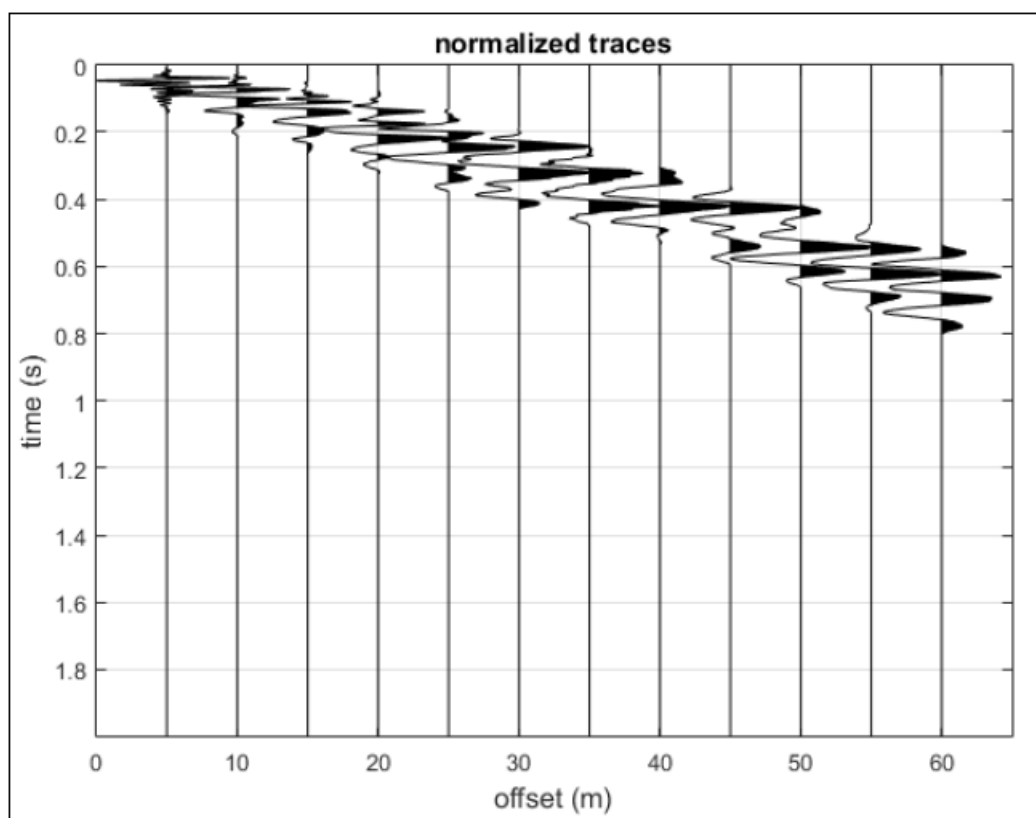
#### 4.3.2 – Analisi delle risultanze

Al fine di fornire i valori delle  $V_s$ , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata MASW L1, di lunghezza pari a 60 m con distanza intergeofonica pari a 5.0 metri.

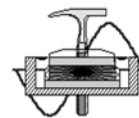
L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in alluminio aderente al suolo.

L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0 m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

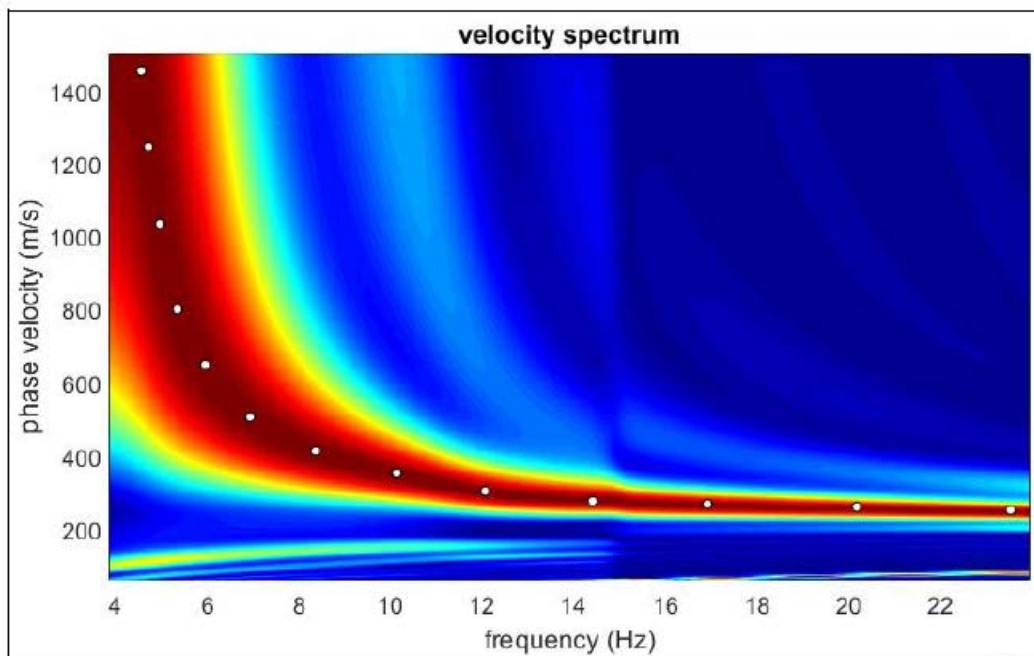
Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione (fig. 4.3.2.I):



**Figura. 4.3.2.I:** Sismogramma base sismica L1.



L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione (fig. 6.5.2.II) che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

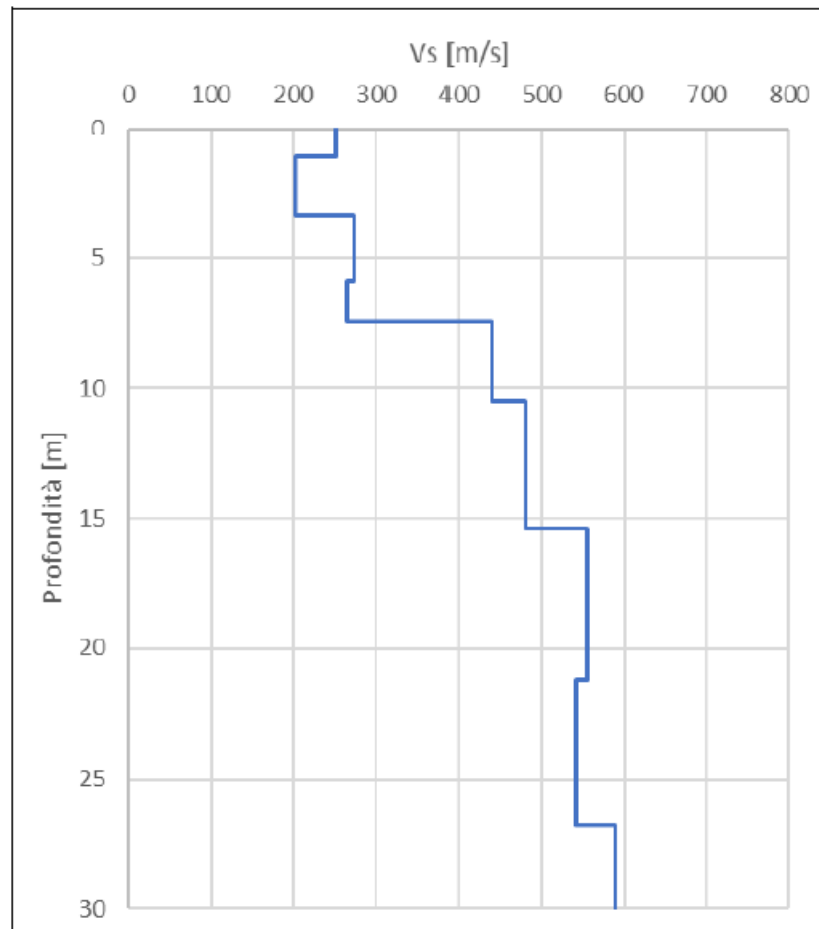
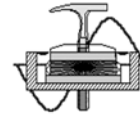


**Figura. 4.3.2.II:** Spettro di velocità base sismica L1 con picking.

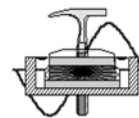
#### 4.3.3 – Ricostruzione del sottosuolo

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V <sub>s</sub> (m/sec)
1.10	0.00-1.10	251
2.30	1.10-3.40	202
2.50	3.40-5.90	274
1.60	5.90-7.50	265
3.00	7.50-10.50	439
4.90	10.50-15.40	481
5.80	15.40-21.20	555
5.60	21.20-26.80	542
3.20	26.80-30.00	589



**Figura. 4.3.3.I:** Diagramma delle vel.  $V_s$  riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.



#### 4.3.4 – Categoria di suolo

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 4.3.4.I) definite in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30 m la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30 m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

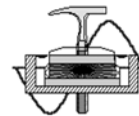
$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati  
 $H$  = Profondità del substrato sismico con  $V_s > 800$  m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito in corrispondenza dell'area di indagine. Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle  $V_{s,eq} = V_{s30}$  pari a circa **404 m/s**, riferiti all'attuale piano campagna.

Il terreno è pertanto classificabile in **categoria B** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Figura. 4.3.4.I:** Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018.



#### 4.4. – Registrazione microtremori

Il paragrafo illustra e commenta l'indagine geofisica eseguita ai fini della determinazione della categoria di suolo del terreno di fondazione e della frequenza caratteristica, ai sensi del testo unitario " Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 17 Gennaio 2018).

##### 4.4.1 - Metodologia d'indagine

La misura a stazione singola del tremore sismico, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali consente la determinazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo; mediante il processo di inversione le misure del microtremore consentono di stimare in maniera rapida il valore di Vs30.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le direzioni X coincidente con l'Est topografico e Y coincidente con il Nord e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 15 minuti).

Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

##### 4.4.2 - Categoria di suolo

Per determinare il valore delle onde di taglio VS è stato eseguito un rilievo tromografico che ha permesso di determinare:

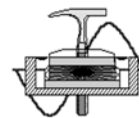
- La frequenza di risonanza caratteristica del sito;
- Velocità media delle onde di taglio Vs.

Per la determinazione delle onde di taglio Vs è stata utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V ottenuto attraverso il rilievo tromografico.

La relazione seguente correla la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S (Vs) con la profondità della base dello strato (H).

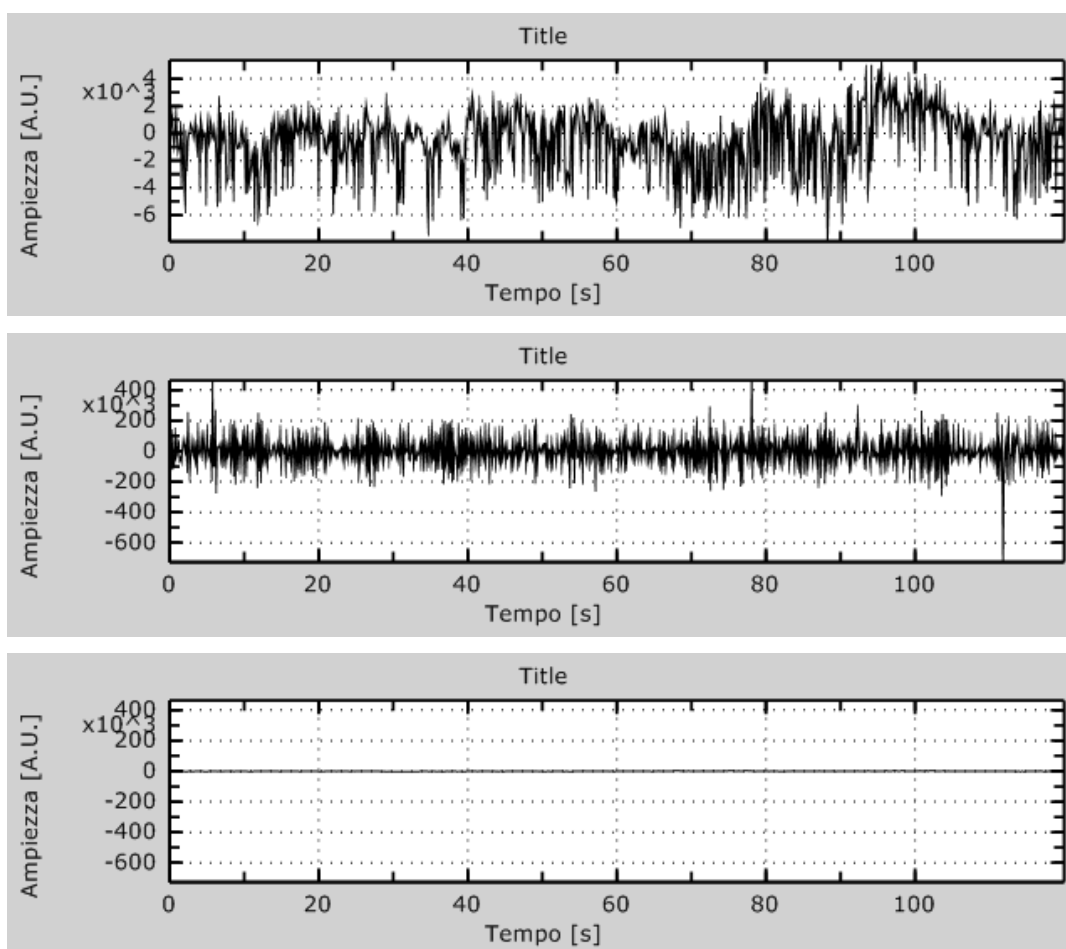
$$f(Hz) = \frac{V_s}{4H}$$





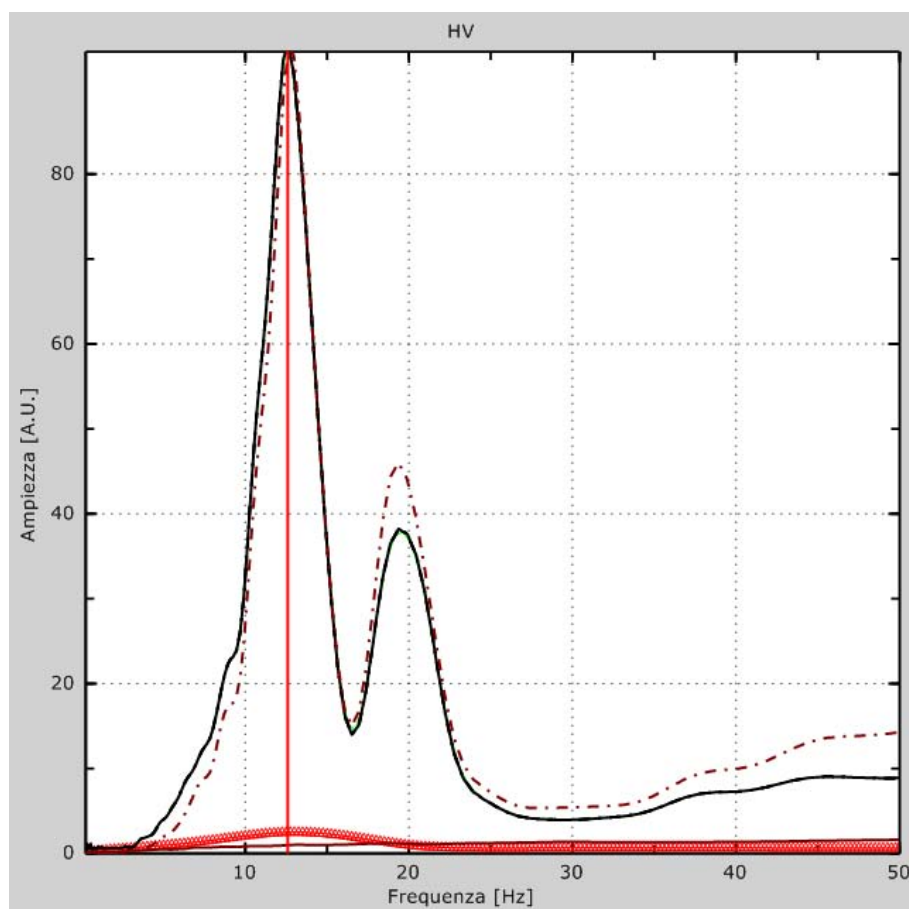
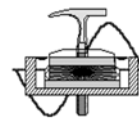
#### 4.4.3 - Elaborati dati d'indagine HVSr 01

Nome	buzzi\dati HVSr01\vernasca.SAF
Passo temporale	~6.45ms
Numero di campioni	18600
Istante finale	120s
Numero di sotto-intervalli	1



**Figura. 4.4.3.I:** Dati sperimentali in direzione Z (alto), N-S (centro) e E-W (basso).

Nota indicativamente la profondità di ogni livello stratigrafico, ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati ricavati dai sondaggi e dai rilevamenti geologici in sito, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva numerica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata (vedasi fig. 4.4.3.II), per poi ricavare la  $V_s$  media per ogni singolo strato.



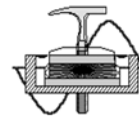
**Figura 4.4.3.II:** Curva HVSR; Curva H/V numerica (rosso); Curva H/V sperimentale (nero).

Finestra temporale	60 sec
Frequenza massima	50 Hz
Numero di campioni	200
Passo in frequenza	0.25 Hz

Sulla base di tali elaborazioni è stato ottenuto l'andamento della Vs al variare della profondità (vedasi Grafico in allegato 6).

In conclusione, la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri è definita come:

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



I dati sismici acquisiti, ed elaborati, hanno consentito di determinare un profilo di velocità delle onde “S” fino ad oltre 35 m di profondità (*vedasi risultanze in allegato 1 al presente elaborato*).

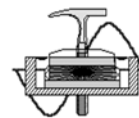
La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali.

Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

Dall'esame del grafico in allegato 6, si possono fare le seguenti considerazioni:

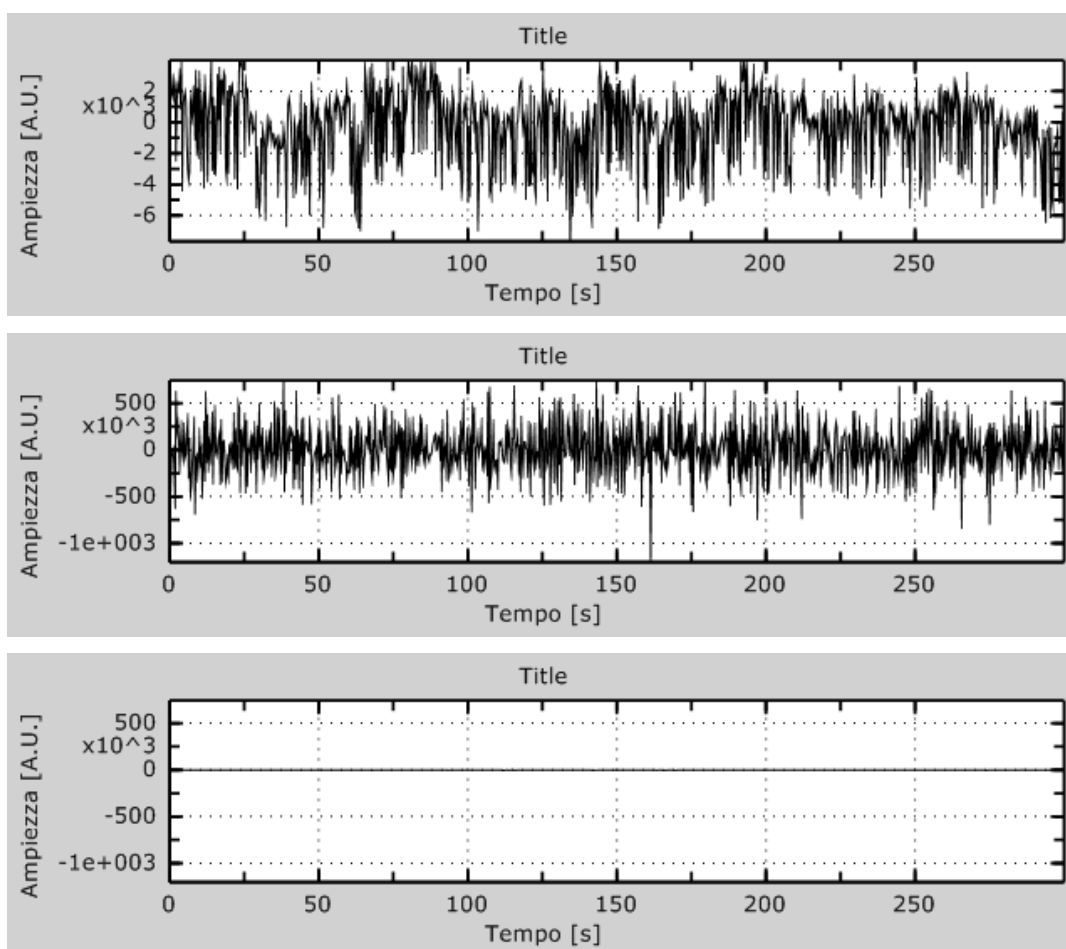
- ✓ Fino a circa 2 m dal p.c. i valori di Vs registrati indicano la presenza di materiali poco consistenti (coltre detritico terrosa);
- ✓ Da circa 2 m a circa 5 m i valori di Vs registrati indicano la presenza di materiali mediamente addensati assimilabili ai depositi limo argillosi;
- ✓ Più in profondità, si ha un aumento significativo di velocità; tali valori possono essere correlati alle argille marnose da allentate a consistenti;
- ✓ La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri risulta, pari a circa **385 m/s**, quindi in base all'attuale normativa il sito d'interesse presenta un suolo di fondazione di tipo “**B**”;
- ✓ La Frequenza di risonanza caratteristica dell'area è risultata pari a **12,60 ± 0,1 Hz**.

Si precisa infine che, il dato delle Vs<sub>30</sub>, ottenuto tramite la registrazione dei microtremori sismici, pur avendo un valore puramente indicativo, risulta “cautelativo” e conforme con le rilevazioni “geologiche” condotte nella zona ed in particolare: le geometrie dei luoghi rispecchiano chiaramente lo spessore della coltre alluvionale superficiale; inoltre, le risultanze dei sondaggi a carotaggio continuo confermano indicativamente quanto ipotizzato.



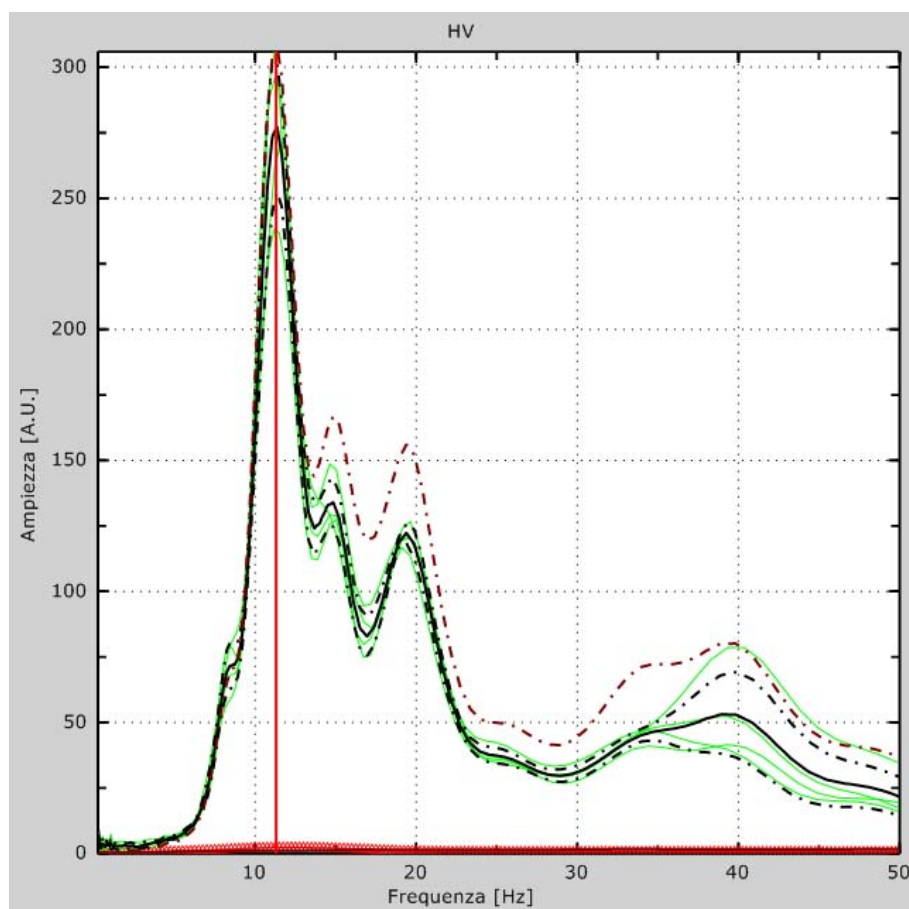
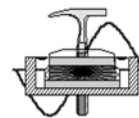
#### 4.4.4 - Elaborati dati d'indagine HVSR 02

Nome	buzzi\dati HVSR02\vernasca.SAF
Passo temporale	~6.45ms
Numero di campioni	46500
Istante finale	300s
Numero di sotto-intervalli	1



**Figura. 4.4.4.I:** Dati sperimentali in direzione Z (alto), N-S (centro) e E-W (basso).

Nota indicativamente la profondità di ogni livello stratigrafico, ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati ricavati dai sondaggi e dai rilevamenti geologici in sito, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva numerica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata (vedasi fig. 4.4.4.II), per poi ricavare la  $V_s$  media per ogni singolo strato.



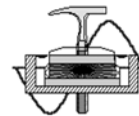
**Figura 4.4.4.II:** Curva HVSR; Curva H/V numerica (rosso); Curva H/V sperimentale (nero).

Finestra temporale	60 sec
Frequenza massima	50 Hz
Numero di campioni	200
Passo in frequenza	0.25 Hz

Sulla base di tali elaborazioni è stato ottenuto l'andamento della Vs al variare della profondità (vedasi Grafico in allegato 6).

In conclusione, la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri è definita come:

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



I dati sismici acquisiti, ed elaborati, hanno consentito di determinare un profilo di velocità delle onde “S” fino ad oltre 35 m di profondità (*vedasi risultanze in allegato 1 al presente elaborato*).

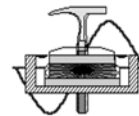
La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali.

Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

Dall'esame del grafico in allegato 6, si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ Fino a circa 2.5 m dal p.c. i valori di Vs registrati indicano la presenza di materiali poco consistenti (coltre detritico terrosa);
- ✓ Da circa 2.5 m a circa 5 m i valori di Vs registrati indicano la presenza di materiali mediamente addensati assimilabili ai depositi limo argillosi;
- ✓ Più in profondità, si ha un aumento significativo di velocità; tali valori possono essere correlati alle argille marnose da allentate a consistenti;
- ✓ La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri risulta, pari a circa **380 m/s**, quindi in base all'attuale normativa il sito d'interesse presenta un suolo di fondazione di tipo “**B**”;
- ✓ La Frequenza di risonanza caratteristica dell'area è risultata pari a **11,37 ± 0,1 Hz**.

Si precisa infine che, il dato delle Vs<sub>30</sub>, ottenuto tramite la registrazione dei microtremori sismici, pur avendo un valore puramente indicativo, risulta “cautelativo” e conforme con le rilevazione “geologiche” condotte nella zona.



## 5.0 – CONCLUSIONI

La presente indagine geognostica si è resa necessaria in quanto sull'area in studio, sita lungo la pendice adiacente lo stabilimento di proprietà della società Buzzi Unicem (Comune di Vernasca), sono previste la messa in opera di macchinari (Module, Backup cooler e Technical building) afferenti al progetto denominato "Waste Heat Recovery", il tutto come meglio evidenziato nel progetto esecutivo.

Nell'area di interesse le verifiche geologico-tecniche, hanno evidenziato una situazione complessivamente favorevole alla realizzazione degli interventi di progetto. In effetti, tenuto conto del fatto che la futura opera verrà esclusivamente ad interessare un locale ripiano alla base delle pendice l'impatto geomorfologico, idrogeologico ed idraulico indotto sui luoghi sarà "relativamente contenuto".

Dal punto di vista più strettamente geologico, non dimenticando che l'area è sottoposta a vincolo idrogeologico, in sede di autorizzazione ad operare sul ripiano le prescrizioni da impartire dovranno essere estese anche al versante prospiciente (idrogeologicamente degradato o potenzialmente tale), garantendone in tal modo non solo il generale risanamento, ma anche un ideale recupero sotto l'aspetto naturalistico (permettendo la ricostituzione della copertura vegetale).

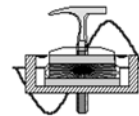
In sostanza, la fascia di versante in esame risulta parzialmente stabilizzata nella porzione settentrionale ove hanno avuto effetto gli interventi di piantumazione.

La porzione meridionale è viceversa interessata da forme di dissesto idrogeologico: frane vere e proprie (seppure di modesto spessore) e fenomeni erosivi diffusi (con locali evoluzioni verso veri e propri colamenti).

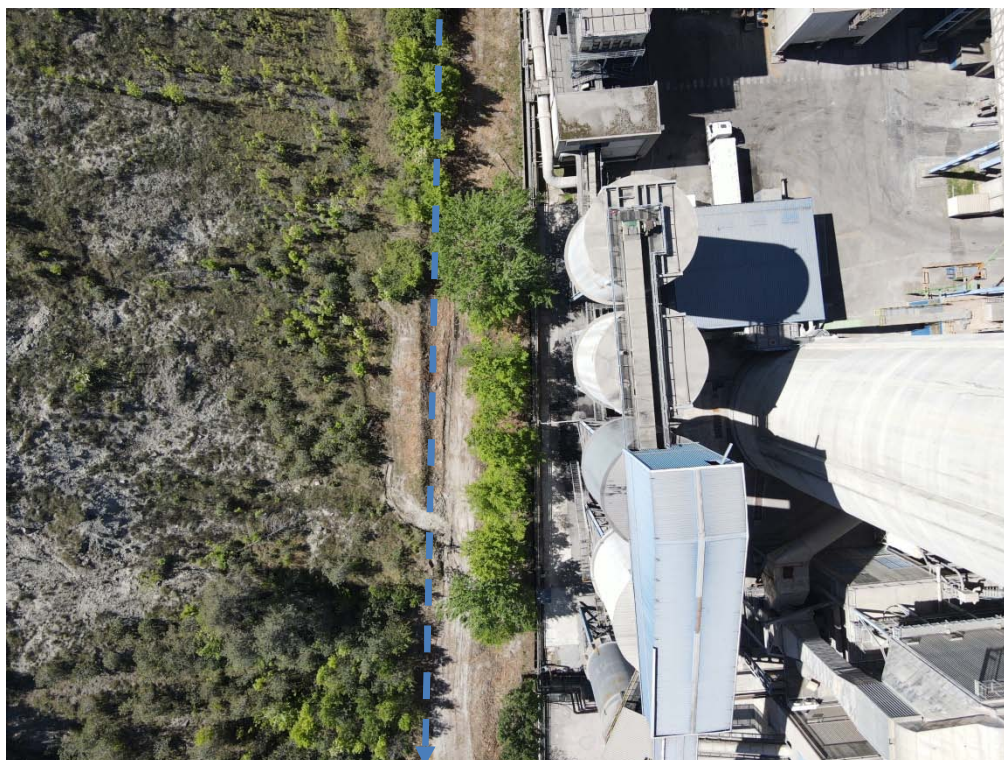
In realtà, l'entità delle masse coinvolte nei corpi di frana risulta quasi sempre limitata; tuttavia la loro stabilizzazione risulta assai difficoltosa in quanto esse assumono, specie in concomitanza di eventi meteorici significativi, un comportamento assai plastico e quasi liquido (colate di fango).

I prodotti di tali fenomeni gravitativi (le cui nicchie di distacco, per quanto nette e ben definite, risultano in parziale regressione) tendono ad accumularsi alla base del versante, generando forme conoidali bombate al centro e, per coalescenza di queste, vere e proprie falde di materiali colluviali impregnati di acqua: e proprio l'acqua è, in pratica, l'elemento da regolare al fine di limitare le loro possibilità di evoluzione.

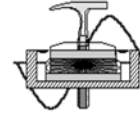
L'insieme dei movimenti in parola si collocano nel contesto di una ulteriore evoluzione dei fenomeni di dissesto lungo tutto il versante, testimoniata altresì dall'arretramento delle nicchie e delle sponde di frana e dalla formazione di nuove fessurazioni nel terreno, che fanno presagire il rischio di una ulteriore migrazione a monte dei dissesti, coinvolgendo aree che attualmente potrebbero apparire in condizioni di stabilità. Tali evidenze sottolineano l'opportunità di interventi a breve termine, che tendano ad impedire da un lato la mobilitazione di "ingenti" quantità di materiale e dall'altro il progredire dei fenomeni di dissesto.



Occorre rilevare che, il terreno posto lungo il perimetro di monte dell'area sulla quale è prevista la messa in opera di macchinari si presenta già leggermente depresso rispetto alle aree circostanti (interventi approntati tra la fine degli anni 80 e l'inizio degli anni 90) e costituisce una zona in cui le acque meteoriche e di ruscellamento (provenienti dal versante) tendono a ristagnare (*vedasi documentazione da foto aerea con drone nella figura seguente*).







### 5.1. – Interventi suggeriti

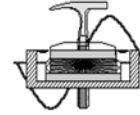
In generale, le zone non interessate da vere e proprie lingue di frana sono caratterizzate dalla presenza di accumuli di materiali limo-argillosi provenienti da colluviazione (o ruscellamento intensivo) del versante oppure dall'evoluzione di coni di fango. Preso atto del contesto nel quale si intende operare ed in considerazione degli interventi approntati tra la fine degli anni 80 e l'inizio degli anni 90, si è giudicato opportuno suggerire una serie di misure finalizzate ed una corretta regimazione delle acque selvagge lungo il versante.

Nello specifico, il programma degli interventi suggeriti prevede la sistemazione idrogeomorfologica della fascia di versante a ridosso delle opere in progetto tramite:

1. ricalibratura dei canali di drenaggio naturale e loro integrazione con una rete di nuovi canali (tali canali dovranno avere una profondità adeguata; quelli trasversali al versante (secondari) dovranno essere dotati, sul lato a valle, di un arginello);
2. rivestimento del fondo e delle pareti dei canali di drenaggio, realizzati all'interno degli alvei di frana, lungo le nicchie di distacco e al perimetro degli accumuli, tramite "materasso reno" e/o con geotessile;
3. realizzazione/ripristino, al piede del versante, di un canale di guardia e scolo delle acque della pendice, da approntare immediatamente a monte del muretto perimetrale l'intervento edilizio in progetto, collegato con le citate canalette; le acque intercettate dovranno essere smaltite entro i depositi permeabili del terrazzo alluvionale di valle mediante idonei sistemi drenanti, anche al fine di un ravvenamento della locale falda; per definire la profondità dei depositi alluvionali in grado di drenare le acque intercettate dalle opere di regimazione, è stata approntata una trincea esplorativa; lo scavo ha rilevato la presenza del banco alluvionale, generalmente costituito da ghiaia assortita mista a sabbia fine limosa, ad una profondità di circa 3.60÷4.00 metri;



fronte trincea

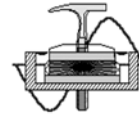


4. rimodellamento e regolarizzazione del versante in corrispondenza delle nicchie e delle sponde di frana (riduzione delle attuali pendenze, con raccordo dolce e regolare con i futuri canali);



5. risagomatura degli accumuli di frana, tale da conferire loro un andamento baulato da far sì che le acque di precipitazione meteorica possano facilmente fluire rapidamente verso i canali laterali della rete in progetto;
6. costituzione di barriere anti-ruscellamento (*tali strutture potranno essere realizzate o mediante la creazione di viminate, graticciate etc., oppure utilizzando specifiche reti in fibra vegetale, ad es. iuta, dotate di caratteristiche tali da formare con le radici della vegetazione un unico blocco, in grado di resistere all'azione combinata delle acque e della gravità, favorendo lo sviluppo del manto vegetale, assolta questa funzione, di decomporsi progressivamente*), nelle aree maggiormente soggette a rischi di erosione ed in particolare:
  - a) in corrispondenza delle nicchie e delle sponde di frana e nella fascia sita immediatamente a monte;
  - b) in corrispondenza delle "linee di rottura incipiente" e nella fascia sita immediatamente a monte;
  - c) lungo la sponda e la fascia di monte dei canali trasversali al versante;
  - d) nelle zone prive di vegetazione e soggette a dissesto "attivo" generalizzato;
7. rimozione delle lingue di frana che hanno interessato il ripiano oggetto d'intervento; si precisa che, l'entità delle masse coinvolte risulta sempre assai limitata (*vedasi documentazione fotografica seguente*);





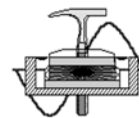
8. realizzazione di interventi di piantumazione ed inerbimento, mediante impiego di essenze idonee a migliorare la stabilità complessiva del terreno e, nel contempo, compatibili con il contesto vegetazionale della zona (*tali interventi dovranno essere inizialmente limitati ai ripiani connessi alle barriere anti-ruscellamento, per poi essere estesi a tutto il tratto di versante interessato dallo studio*);

Gli interventi proposti apporteranno significativi miglioramenti alla locale situazione idrogeologica (soprattutto dal punto di vista della stabilità del versante, peraltro non direttamente, se non in parte assai limitata interessato dalle opere previste).

Tali interventi costituiranno altresì un importante contributo al ristabilimento di una situazione geomorfologica locale più corretta sotto il profilo paesaggistico – ambientale.

Dovrà costituire parte integrante del programma di interventi, di cui ai punti precedenti, la scrupolosa ed attenta manutenzione dei canali e delle barriere anti-ruscellamento, onde favorire la ripresa della coltre vegetale, nonché la periodica rimozione del materiale colluviato ad opera di eventuali ulteriori smottamenti (che non possono essere esclusi prima della definitiva e progressiva sistemazione del versante), operazioni che, si prevede, dovranno essere reiteratamente eseguite, vista la delicatezza d'insieme della situazione idrogeomorfologica (e i tempi necessari, come già sottolineato, per il suo definitivo recupero).





*Ripresa fotografica della porzione di pendice oggetto di consolidamento  
Effettuata con drone*



*Nel dichiararci a disposizione per eventuali chiarimenti o rilevazioni che si rendessero necessarie, cogliamo l'occasione per porgere i più distinti saluti.*

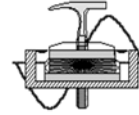
Piacenza: Settembre 2024

IL GEOLOGO  
Dott. Nicola Cavanna

---

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com



*Provincia di Piacenza*

*Comune di Vernasca*

# **ALLEGATO 1**

## ***UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE***

***Su base ortofoto***

**1 pagina**

**Committenza:**

**Società BUZZI UNICEM S.r.l.**

---

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**





Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com





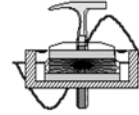
PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

LEGENDA

-  H (HVSR) - registrazioni microtremori sismici
-  L (MASW) - prospezione sismica
-  D (DPM) - prove penetrometriche dinamiche medie
-  Tr - trincea esplorativa spinta fino a 1.5 m dal p.c.

Scala grafica





*Provincia di Piacenza*

*Comune di Vernasca*

## **ALLEGATO 2**

### ***CERTIFICATI PENETROMETRICI DINAMICI (DPM)***



**6 pagine**

**Committenza:**

**Società BUZZI UNICEM S.r.l.**

---

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com

**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato...

DMP 3020 PAGANI

Prova eseguita in data

25/03/2024

Profondità prova

3,00 mt

Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,24	3,78	0,16	0,19
0,20	2	0,855	6,46	7,56	0,32	0,38
0,30	1	0,853	3,22	3,78	0,16	0,19
0,40	1	0,851	3,21	3,78	0,16	0,19
0,50	1	0,849	3,21	3,78	0,16	0,19
0,60	2	0,847	6,40	7,56	0,32	0,38
0,70	2	0,845	6,39	7,56	0,32	0,38
0,80	9	0,843	28,67	34,00	1,43	1,70
0,90	8	0,842	24,21	28,77	1,21	1,44
1,00	5	0,840	15,10	17,98	0,76	0,90
1,10	5	0,838	15,07	17,98	0,75	0,90
1,20	5	0,836	15,04	17,98	0,75	0,90
1,30	5	0,835	15,01	17,98	0,75	0,90
1,40	7	0,833	20,97	25,17	1,05	1,26
1,50	4	0,831	11,96	14,39	0,60	0,72
1,60	4	0,830	11,93	14,39	0,60	0,72
1,70	5	0,828	14,89	17,98	0,74	0,90
1,80	4	0,826	11,89	14,39	0,59	0,72
1,90	4	0,825	11,32	13,73	0,57	0,69
2,00	3	0,823	8,48	10,30	0,42	0,51
2,10	3	0,822	8,46	10,30	0,42	0,51
2,20	4	0,820	11,26	13,73	0,56	0,69
2,30	4	0,819	11,24	13,73	0,56	0,69
2,40	4	0,817	11,22	13,73	0,56	0,69
2,50	14	0,766	36,79	48,05	1,84	2,40
2,60	9	0,814	25,15	30,89	1,26	1,54
2,70	6	0,813	16,74	20,59	0,84	1,03
2,80	28	0,711	68,36	96,09	3,42	4,80
2,90	32	0,660	69,31	105,01	3,47	5,25
3,00	40	0,609	79,90	131,27	3,99	6,56

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato...

DMP 3020 PAGANI

Prova eseguita in data

25/03/2024

Profondità prova

4,40 mt

Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,10	1	0,857	3,24	3,78	0,16	0,19
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	2	0,853	6,44	7,56	0,32	0,38
0,40	2	0,851	6,43	7,56	0,32	0,38
0,50	2	0,849	6,41	7,56	0,32	0,38
0,60	2	0,847	6,40	7,56	0,32	0,38
0,70	2	0,845	6,39	7,56	0,32	0,38
0,80	2	0,843	6,37	7,56	0,32	0,38
0,90	2	0,842	6,05	7,19	0,30	0,36
1,00	6	0,840	18,12	21,58	0,91	1,08
1,10	3	0,838	9,04	10,79	0,45	0,54
1,20	3	0,836	9,02	10,79	0,45	0,54
1,30	3	0,835	9,00	10,79	0,45	0,54
1,40	2	0,833	5,99	7,19	0,30	0,36
1,50	2	0,831	5,98	7,19	0,30	0,36
1,60	2	0,830	5,97	7,19	0,30	0,36
1,70	2	0,828	5,96	7,19	0,30	0,36
1,80	2	0,826	5,94	7,19	0,30	0,36
1,90	2	0,825	5,66	6,86	0,28	0,34
2,00	5	0,823	14,13	17,16	0,71	0,86
2,10	3	0,822	8,46	10,30	0,42	0,51
2,20	2	0,820	5,63	6,86	0,28	0,34
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	2	0,817	5,61	6,86	0,28	0,34
2,50	5	0,816	14,00	17,16	0,70	0,86
2,60	3	0,814	8,38	10,30	0,42	0,51
2,70	3	0,813	8,37	10,30	0,42	0,51
2,80	5	0,811	13,92	17,16	0,70	0,86
2,90	5	0,810	13,29	16,41	0,66	0,82
3,00	10	0,809	26,54	32,82	1,33	1,64
3,10	12	0,807	31,79	39,38	1,59	1,97
3,20	12	0,806	31,74	39,38	1,59	1,97
3,30	11	0,805	29,05	36,10	1,45	1,80
3,40	13	0,753	32,14	42,66	1,61	2,13
3,50	15	0,752	37,02	49,23	1,85	2,46
3,60	15	0,751	36,96	49,23	1,85	2,46
3,70	10	0,800	26,24	32,82	1,31	1,64
3,80	10	0,798	26,20	32,82	1,31	1,64
3,90	14	0,747	32,89	44,02	1,64	2,20
4,00	25	0,696	54,71	78,60	2,74	3,93
4,10	28	0,695	61,17	88,03	3,06	4,40
4,20	32	0,644	64,76	100,61	3,24	5,03
4,30	40	0,593	74,52	125,76	3,73	6,29
4,40	40	0,591	74,38	125,76	3,72	6,29

**PROVA ... Nr.3**

Strumento utilizzato...

DMP 3020 PAGANI

Prova eseguita in data

25/03/2024

Profondità prova

4,80 mt

Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,10	3	0,857	9,71	11,33	0,49	0,57
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	1	0,853	3,22	3,78	0,16	0,19
0,40	1	0,851	3,21	3,78	0,16	0,19
0,50	1	0,849	3,21	3,78	0,16	0,19
0,60	2	0,847	6,40	7,56	0,32	0,38
0,70	1	0,845	3,19	3,78	0,16	0,19
0,80	2	0,843	6,37	7,56	0,32	0,38
0,90	2	0,842	6,05	7,19	0,30	0,36
1,00	2	0,840	6,04	7,19	0,30	0,36
1,10	2	0,838	6,03	7,19	0,30	0,36
1,20	2	0,836	6,02	7,19	0,30	0,36
1,30	2	0,835	6,00	7,19	0,30	0,36
1,40	2	0,833	5,99	7,19	0,30	0,36
1,50	2	0,831	5,98	7,19	0,30	0,36
1,60	2	0,830	5,97	7,19	0,30	0,36
1,70	2	0,828	5,96	7,19	0,30	0,36
1,80	2	0,826	5,94	7,19	0,30	0,36
1,90	2	0,825	5,66	6,86	0,28	0,34
2,00	2	0,823	5,65	6,86	0,28	0,34
2,10	2	0,822	5,64	6,86	0,28	0,34
2,20	2	0,820	5,63	6,86	0,28	0,34
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	2	0,817	5,61	6,86	0,28	0,34
2,50	2	0,816	5,60	6,86	0,28	0,34
2,60	1	0,814	2,79	3,43	0,14	0,17
2,70	2	0,813	5,58	6,86	0,28	0,34
2,80	4	0,811	11,14	13,73	0,56	0,69
2,90	5	0,810	13,29	16,41	0,66	0,82
3,00	6	0,809	15,92	19,69	0,80	0,98
3,10	6	0,807	15,90	19,69	0,79	0,98
3,20	8	0,806	21,16	26,25	1,06	1,31
3,30	8	0,805	21,13	26,25	1,06	1,31
3,40	12	0,803	31,64	39,38	1,58	1,97
3,50	12	0,802	31,59	39,38	1,58	1,97
3,60	14	0,751	34,50	45,94	1,72	2,30
3,70	19	0,750	46,74	62,35	2,34	3,12
3,80	12	0,798	31,44	39,38	1,57	1,97
3,90	10	0,797	25,07	31,44	1,25	1,57
4,00	10	0,796	25,03	31,44	1,25	1,57
4,10	14	0,745	32,79	44,02	1,64	2,20
4,20	17	0,744	39,75	53,45	1,99	2,67
4,30	18	0,743	42,02	56,59	2,10	2,83
4,40	25	0,691	54,35	78,60	2,72	3,93
4,50	27	0,690	58,60	84,89	2,93	4,24
4,60	32	0,639	64,31	100,61	3,22	5,03
4,70	38	0,638	76,25	119,48	3,81	5,97
4,80	40	0,587	73,84	125,76	3,69	6,29

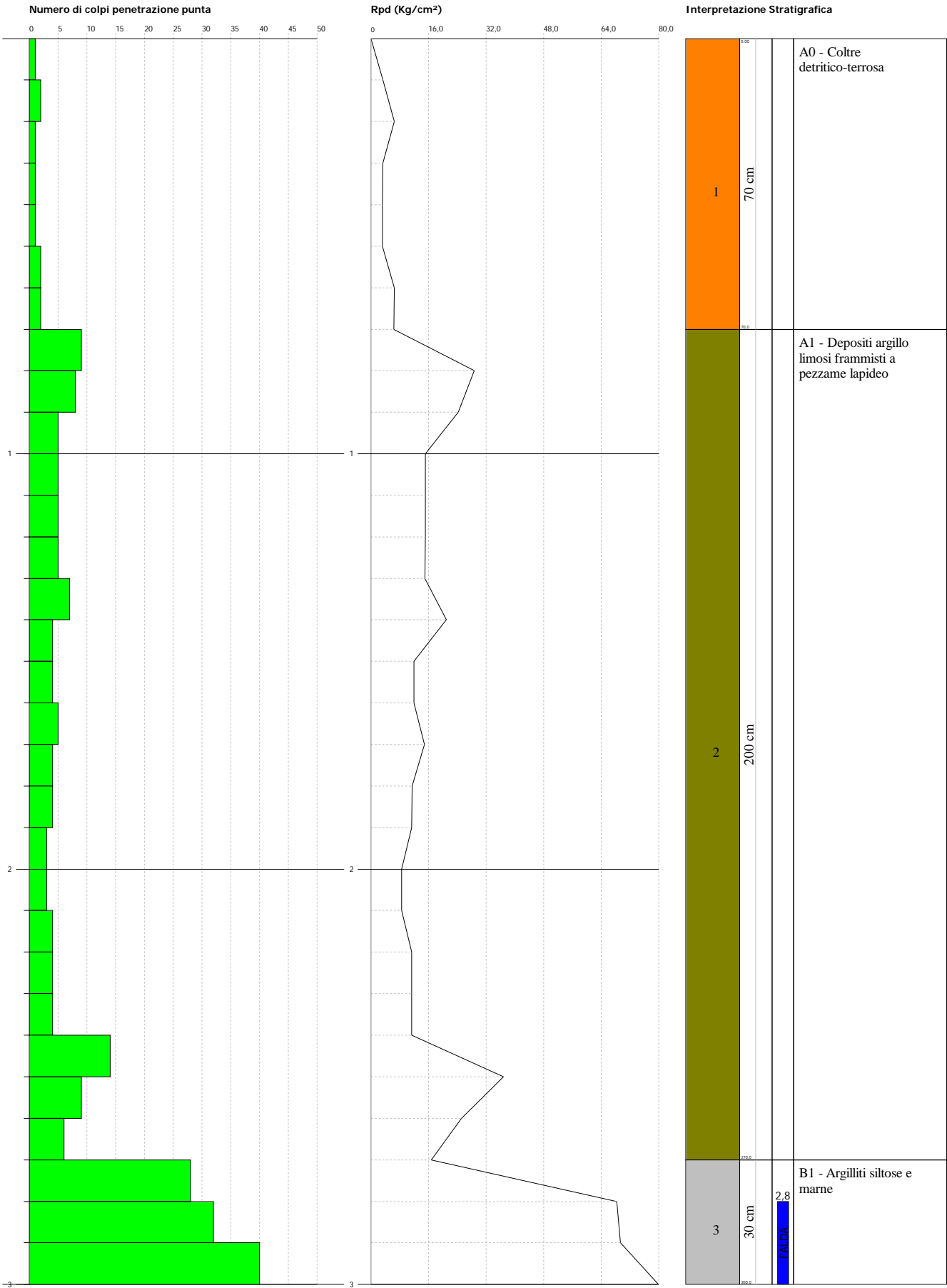


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente: Società Buzzi Unicem  
Cantiere: Progetto WHR  
Località: Molino Teodoro - Comune di Vernasca (PC)

Data: 25/03/2024

Scala 1:13

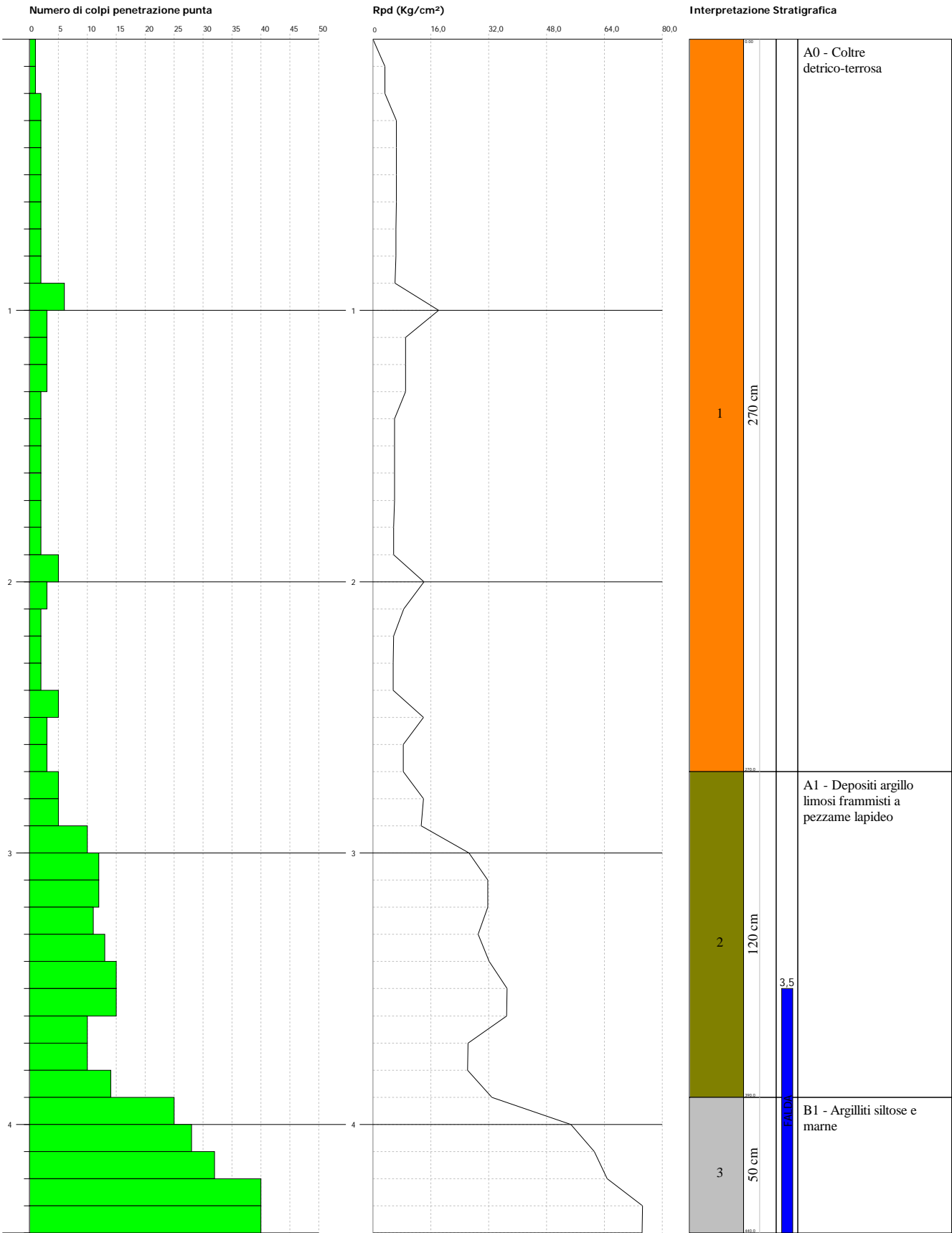


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente: Società Buzzi Unicem  
Cantiere: Progetto WHR  
Località: Molino Teodoro - Comune di Vernasca (PC)

Data: 25/03/2024

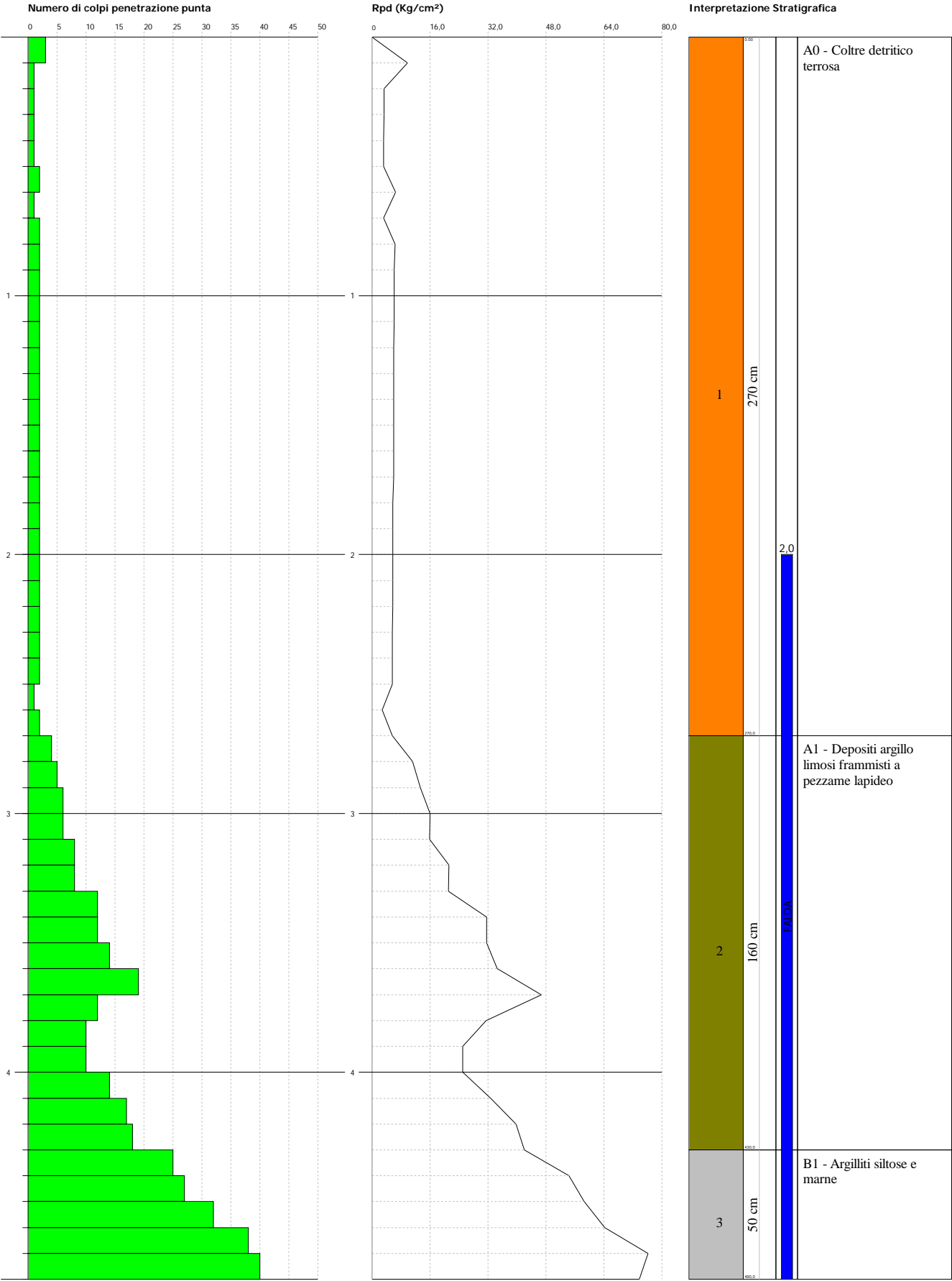
Scala 1:20

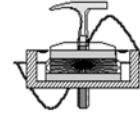


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente: Società Buzzi Unicem  
Cantiere: Progetto WHR  
Località: Molino Teodoro - Comune di Vernasca (PC)

Scala 1:21



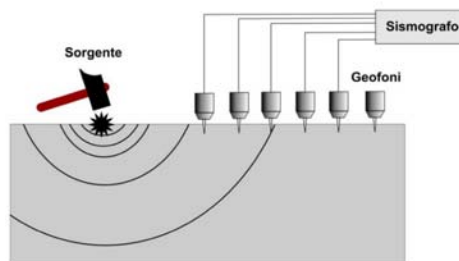


*Provincia di Piacenza*

*Comune di Vernasca*

## ALLEGATO 3

### RISULTANZE PROSPEZIONE SISMICA TIPO "MASW"



**1 pagina**

**Committenza:**

**Società BUZZI UNICEM S.r.l.**

---

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com

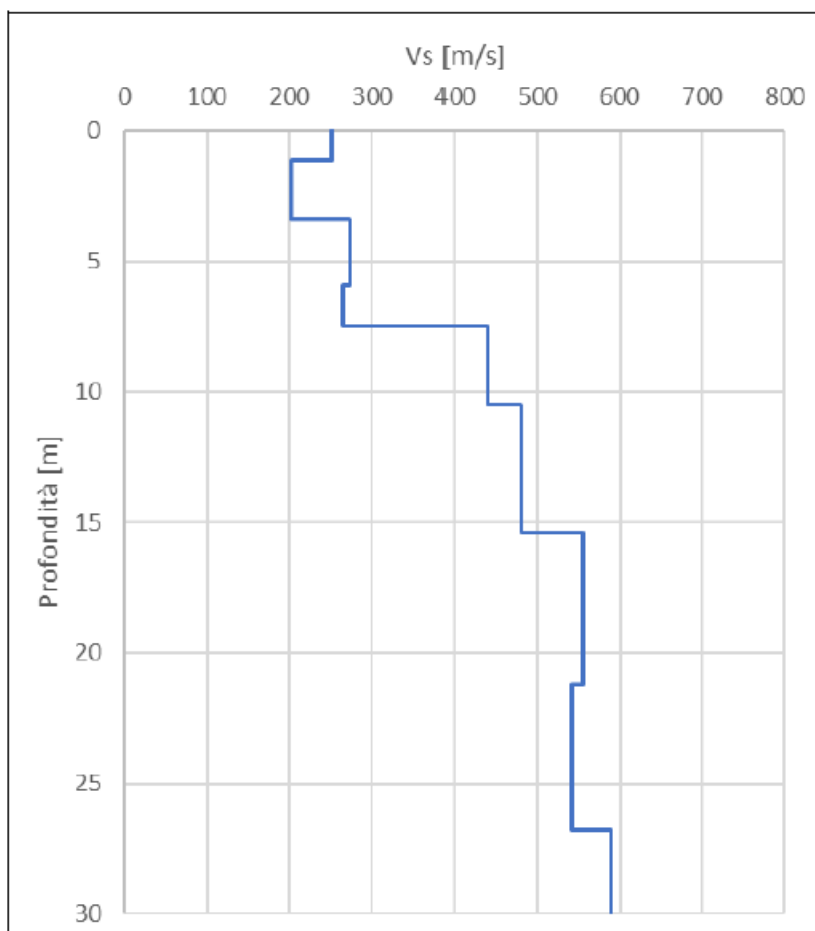
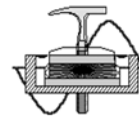
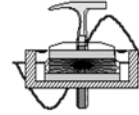


Diagramma delle velocità  $V_s$  riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.

*La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri risulta, pari a circa **404 m/s**, quindi in base all'attuale normativa il sito d'interesse presenta un suolo di fondazione di tipo “B”;*





*Provincia di Piacenza*

*Comune di Vernasca*

## **ALLEGATO 4**

### **RISULTANZE PROSPEZIONE SISMICA (HVSr)**



**4 pagine**

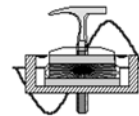
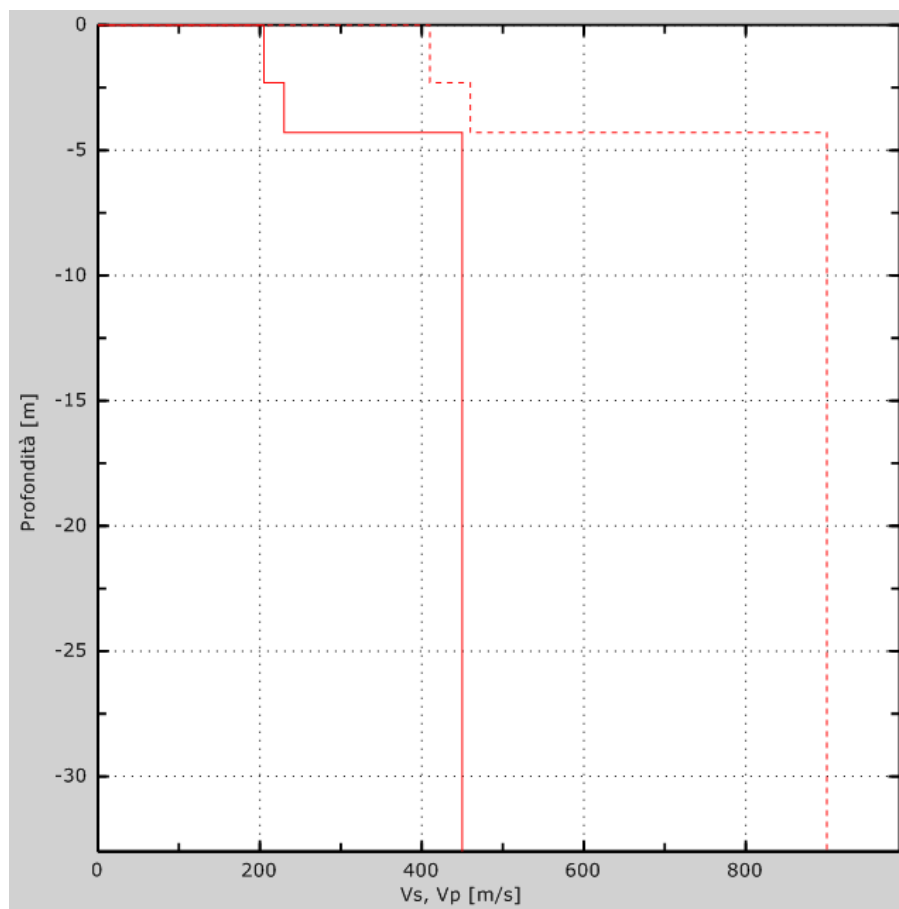
**Committenza:**

**Società BUZZI UNICEM S.r.l.**

---

**Dott. Geol. Cavanna Nicola**

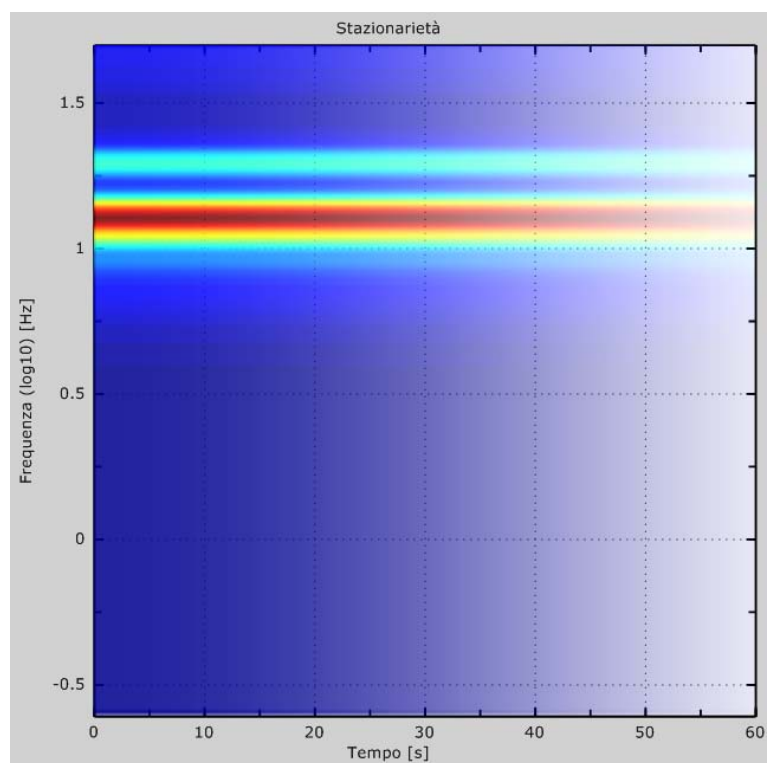
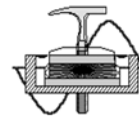
Via Degani, 9a – 29100 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301  
e-mail: cavannageologo@gmail.com

**HVSR 01**

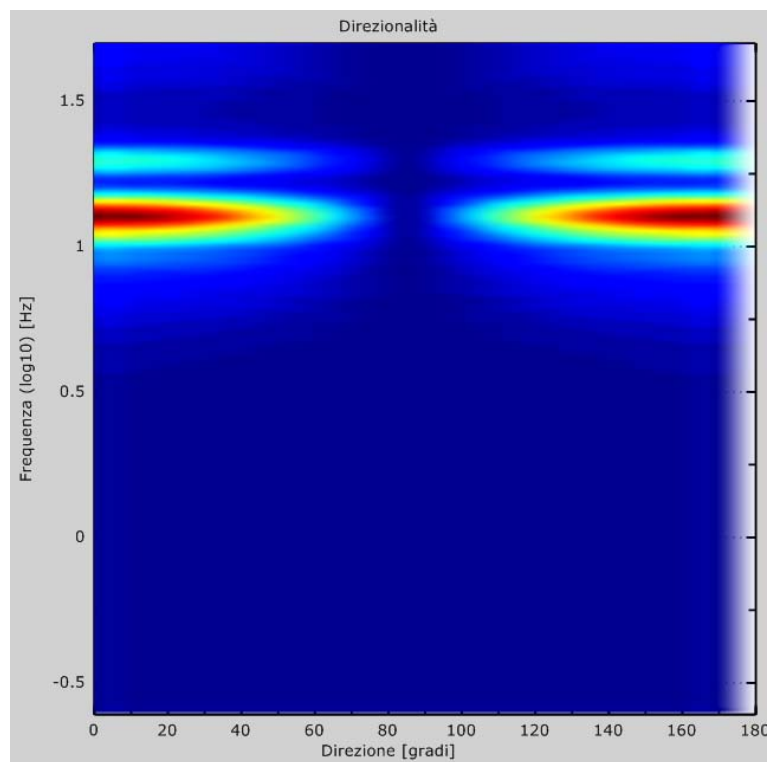
Profili di velocità Vs e Vp

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri risulta, pari a **385 m/s**, quindi in base all'attuale normativa il sito d'interesse presenta un suolo di fondazione di tipo "**B**";

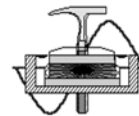
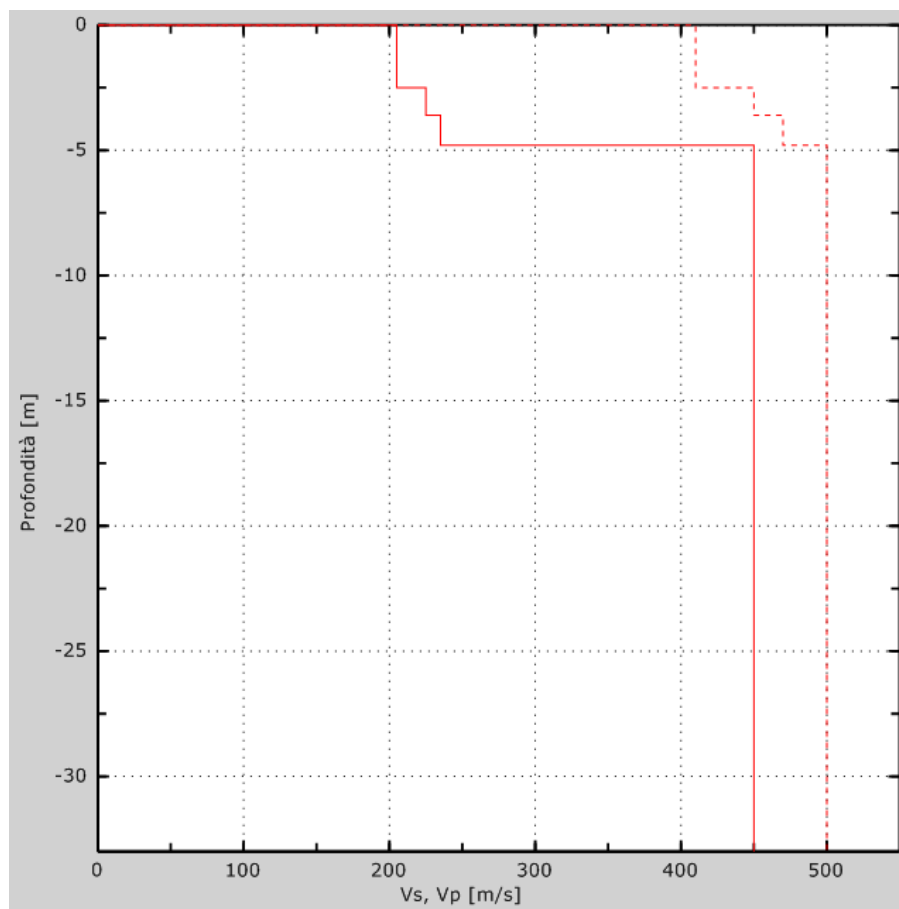
La Frequenza di risonanza caratteristica dell'area è risultata pari a circa **12.60 Hz**.



Stazionarietà



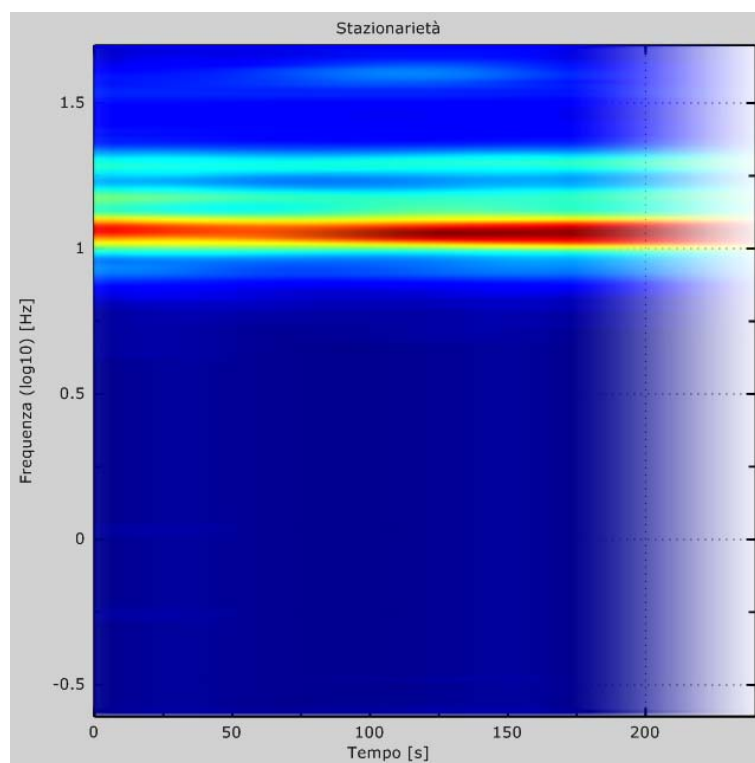
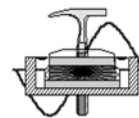
Direzionalità

**HVSR 02**

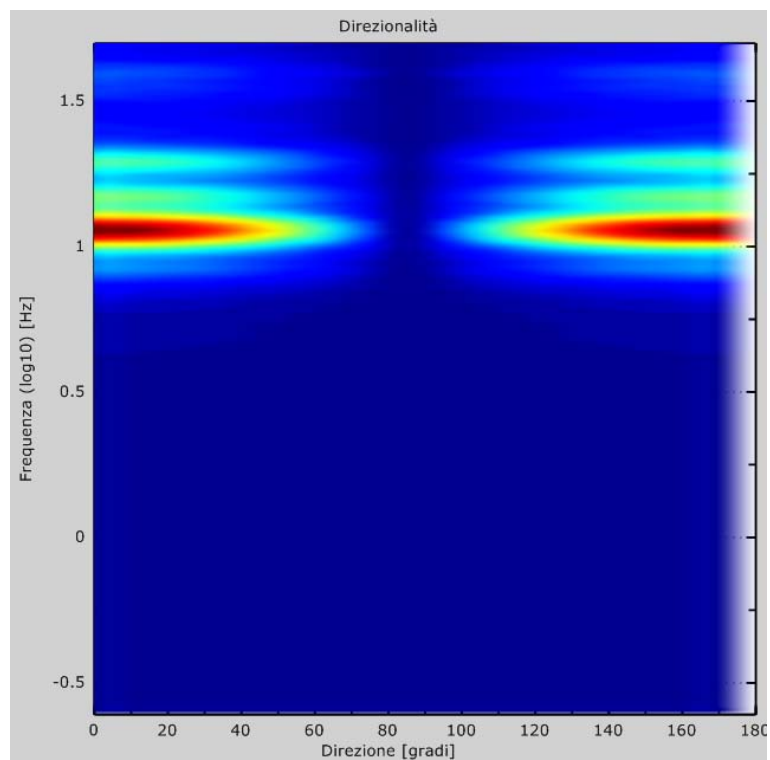
Profili di velocità Vs e Vp

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri risulta, pari a **380 m/s**, quindi in base all'attuale normativa il sito d'interesse presenta un suolo di fondazione di tipo "**B**";

La Frequenza di risonanza caratteristica dell'area è risultata pari a circa **11.37 Hz**.



Stazionarietà



Direzionalità