

# STEL RENEWABLE ENERGIES S.R.L.

## PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO IN AGRO DI BONEFRO, CASACALENDA E RIPABOTTONI (CB), CON OPERE DI CONNESSIONE ANCHE NEL COMUNE DI MORRONE DEL SANNIO (CB)



### Tecnico

dott. geol. Pasquale LONGO

### Collaborazioni

### Responsabile Commessa

ing. Danilo Pomponio

Via Degli Arredatori, 8  
70026 Modugno (BA) - Italy  
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net  
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato  
UNI EN ISO 9001:2015  
UNI EN ISO 14001:2015  
UNI ISO 45001:2018

ELABORATO	TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
<b>V16</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, SISMICA E IDROGEOLOGICA</b>	<b>23009</b>	<b>D</b>		
		CODICE ELABORATO			
		<b>DC23009D-V16</b>			
REVISIONE	Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA		
<b>00</b>		-	-		
		NOME FILE	PAGINE		
		<b>DC23009D-V16.doc</b>	<b>150+copertina</b>		
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	10/09/23	Emissione	Longo	Longo	Longo
01					
02					
03					
04					
05					
06					

# COMUNI DI BONEFRO - CASACALENDA - RIPABOTTONI - MORRONE DEL SANNIO

(PROVINCIA DI CAMPOBASSO)

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO IN AGRO DI BONEFRO – CASACALENDA E RIPABOTTONI CON OPERE DI CONNESSINE ANCHE NEL COMUNE DI MORRONE DEL SANNIO.



DOTT. GEOL. LONGO PASQUALE GIUSEPPE  
VIA BENEVENTO N. 41 – 71016 – SAN SEVERO  
C. FISC. LNG PQL 67E02 1158C  
P.IVA 02145500712  
CELL. 3382090471

## RELAZIONE GEOLOGICA

D.M. 17 Gennaio 2018

TECNICO : Dott. Geologo LONGO PASQUALE GIUSEPPE

COMMITTENTE : STEL RENEWABLE ENERGIES S.R.L.

UBICAZIONE : BONEFRO – CASACALENDA – RIPABOTTONI –MORRONE DEL SANNIO

TECNICO \_\_\_\_\_

## PREMESSA

La presente relazione geologica concerne lo studio del sito fondazionale per un progetto che prevede la realizzazione di un impianto eolico in agro dei Comuni di Bonefro, Casacalenda e Ripabottoni, con opere di connessione anche nel Comune di Morrone del Sannio, di proprietà della ditta Stel Renewable Energies S.r.l.

Il parco eolico di progetto sarà ubicato nei comuni di Bonefro, Casacalenda e Ripabottoni (CB) a distanza di circa 3 km dal centro urbano dei comuni di Bonefro e Casacalenda, e di circa 4 km dal centro urbano del Comune di Ripabottoni. I terreni sui quali si installerà il parco eolico, interessano una superficie di circa 505 ettari, anche se la quantità di suolo effettivamente occupato è significativamente inferiore limitato alle aree di piazzola dove verranno installati gli aerogeneratori.

L'area di progetto, intesa sia come quella occupato dai 5 aerogeneratori di progetto, con annesse piazzole, e parte dei cavidotti di interconnessione, interessa i territori comunali di Bonefro (CB) censito al NCT ai fogli di mappa nn. 10, 15, Ripabottoni (CB) censito al NCT ai fogli di mappa nn. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, e 14; mentre la restante parte del cavidotto di interconnessione e la cabina utente ricadono nel territorio comunale di Morrone del Sannio (CB) censito al NCT al foglio di mappa n. 34.

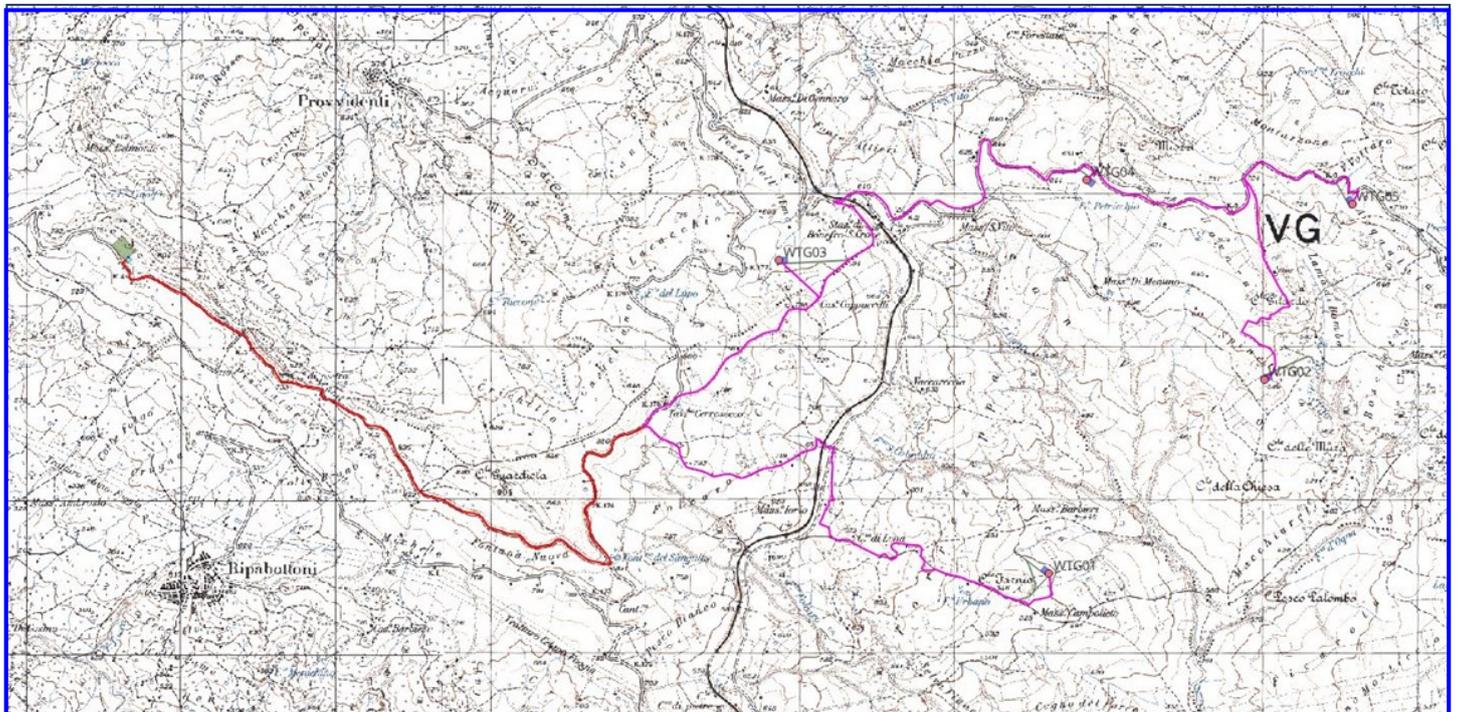
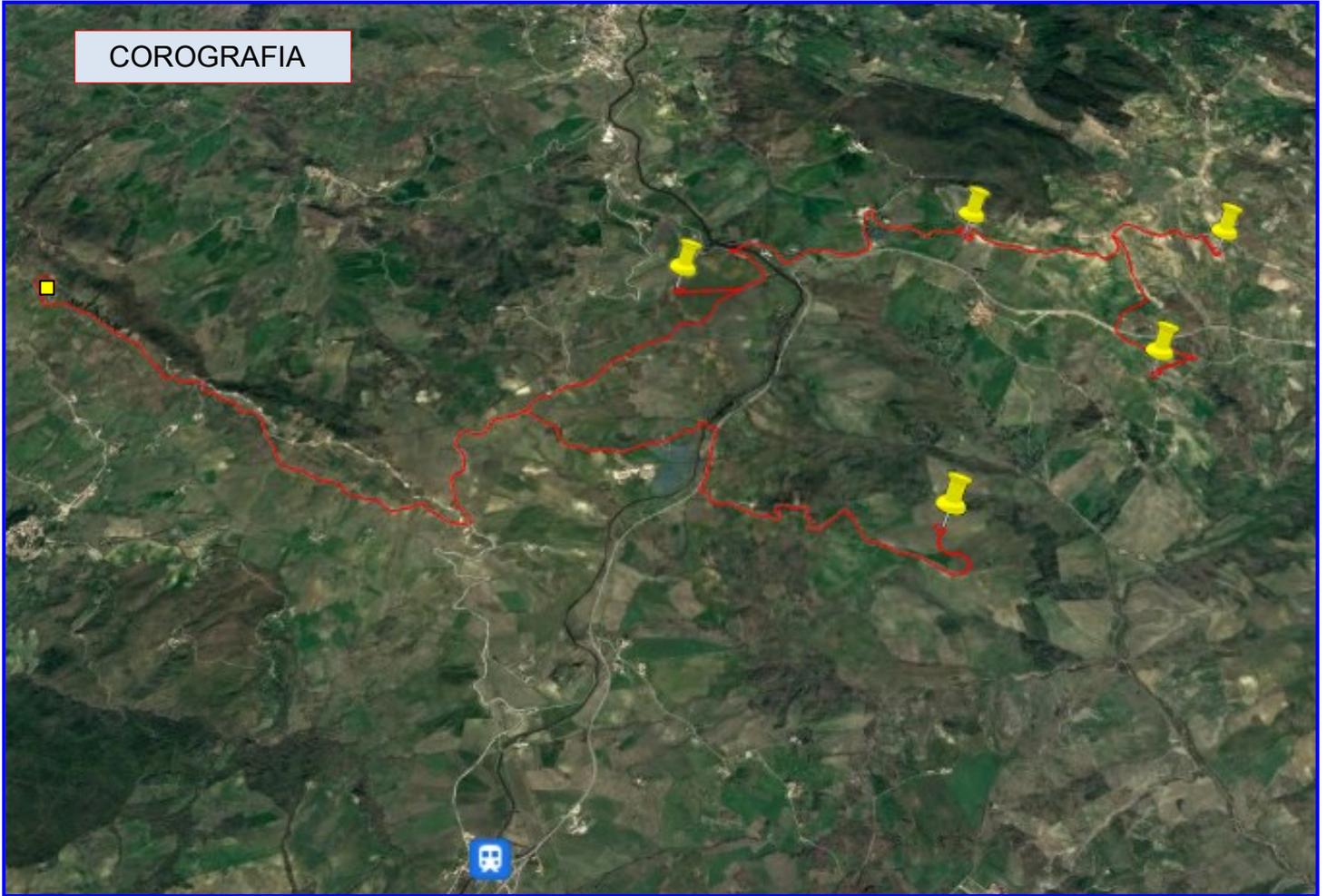
Dal punto di vista cartografico, le opere di progetto ricadono nelle seguenti tavolette:

- Foglio I.G.M. scala 1:25.000 – Tavolette nn° 154 II-SE “Casacalenda” e 154 II-SO “Morrone del Sannio”;

Insieme alla committenza è stata effettuata una prima escursione per constatare lo stato dei luoghi e per delimitare l’area interessata dalla sagoma delle strutture da realizzare. In seguito, oltre allo studio dell’area interessata, sono stati effettuati altri sopralluoghi e rilievi anche nelle aree limitrofe, in modo da avere una visione globale del territorio.

L’indagine eseguita in ottemperanza alla normative vigenti (**D.M. 17 Gennaio 2018**) ha avuto lo scopo di accertare l’idoneità del sito fondazionale dal punto di vista geologico e geotecnico, individuando le caratteristiche lito-stratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito, nonché il comportamento meccanico dei litotipi presenti in relazione ai carichi da applicare con l’opera in oggetto.

# COROGRAFIA



## MEZZI D'INDAGINE

La metodologia usata per la buona riuscita dello studio, si è articolata in più fasi:

- 1) acquisizione dati dalla letteratura a disposizione;
- 2) approfondimento mediante un dettagliato rilevamento geomorfologico di superficie;
- 3) prove dirette effettuate tramite l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche;
- 4) prove geosismiche in sito;
- 5) analisi ed elaborazione dei dati ottenuti.

## RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto dell'indagine può considerarsi parte integrante delle formazioni sedimentarie terrigene dell'avanfossa bradanica.

Nonostante la sua limitata estensione, il territorio della regione Molise si distingue per una elevata diversità dal punto di vista geologico-ambientale che si rispecchia ovviamente nei suoi caratteri fisiografici e paesaggistici. Al suo assetto geologico strutturale e alla sua geo-diversità, in particolare, sono strettamente collegati gli aspetti oro-idrografici, geomorfologici, floristico-faunistici e la diversità climatica regionale che tipicamente caratterizzano il territorio molisano.

L'assetto geologico-strutturale della regione Molise, di notevole complessità, rappresenta sicuramente l'attributo territoriale più caratterizzante e la fonte principale della sua diversità.

L'Appennino molisano è parte di una più ampia catena (la catena appenninica meridionale) caratterizzata da una struttura a falde di ricoprimento di tipo "thrust and fold belt", tipica delle catene monovergenti, con direzione del trasporto orogenetico verso i quadranti nordorientali. Tale catena deriva dalla deformazione compressiva, realizzatasi durante il Miocene ed il Pliocene, del Margine continentale apulo-adriatico sviluppatosi a partire dal Trias e costituito da un'alternanza di piattaforme carbonatiche e bacini profondi.

Le unità tettoniche (o stratigrafico-strutturali) che compongono l'Appennino molisano sono le seguenti:

1. L'Unità della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese
2. Le Unità molisane (falde molisane)
3. la Falda sannitica
4. La Formazione di San Bartolomeo
5. I Cicli pliocenici
6. Il Ciclo Pliocene superiore p.p. – Pleistocene

Le unità arealmente più rappresentative sono le unità di piattaforma (Unità del Matese), le unità di transizione piattaforma-bacino (Unità dei Monti della Meta, dei Monti di Venafro, del Matese nord-occidentale e della Montagnola di Frosolone) e le unità derivate dalla deformazione del Bacino Molisano che risultano geometricamente e tettonicamente sottoposte alle grandi strutture carbonatiche prima menzionate.

Le successioni riferibili alle Unità Molisane e alla Falda Sannitica, che predominano fortemente nei settori medio-alti dei bacini idrografici a deflusso adriatico, si sono deposte in ambiente di mare profondo ed oggi affiorano lungo strutture costituite da falde embricate ed interessate da una tettonica polifasica.

Le Unità Molisane sono costituite da quattro unità tettoniche rappresentate, dall'interno verso l'esterno, dalle seguenti unità: Unità di Frosolone, Unità di Agnone, Unità del Tufillo e Unità della Daunia.

Le aree della porzione mediana ed esterna della catena appenninica molisana fanno graduale passaggio, verso la costa, ad un settore prevalentemente occupato da

successioni di avanfossa plio-pleistocenica e le successioni costituite da depositi continentali quaternari riferibili a differenti ambienti deposizionali.

L'area "Molise Centrale" presenta un'estensione di circa 1500 km<sup>2</sup> ed è delimitata dai comuni di Duronia, San Biase, Civitacampomariano, **Ripabottoni**, Pietracatella, Riccia, Cercepiccola e Baranello.

L'area è caratterizzata da una morfologia prevalentemente collinare a tratti montuosa con quote topografiche variabili dai circa 150 mt rinvenibili nei tratti di fondovalle dei fiumi Trigno, Biferno e Fortore fino a quote di oltre 900 m ricadenti nei comuni di Duronia e Campolieto, e fino ai 1086 m rappresentati dalla struttura di M. Saraceno nel comune di Cercemaggiore.

*Il paesaggio si compone di numerose e profonde incisioni torrentizie, che solcano il territorio determinando fenomeni di instabilità, sia lenti che rapidi, come scorrimenti e scivolamenti, colamenti e fenomeni complessi, e fenomeni di erosione superficiale, spesso in stretta interazione con i processi di erosione idrica concentrata e lineare accelerata. Tali fenomeni di instabilità sono favoriti dalla diffusa presenza di terreni impermeabili dalle scarse qualità geologico-tecniche.*

Il reticolo idrografico dell'intera area è prevalentemente di tipo dendritico, tipico dei terreni impermeabili con bassa acclività.

## Basso Molise

L'area "Basso Molise" presenta un'estensione di circa 673 km<sup>2</sup> ed è delimitata dai comuni di Roccavivara, Guadalfiera, **Bonefro**, Collotorto, Rotello, Larino, Montecilfone e Mafalda.

Il territorio è caratterizzato da una morfologia prevalentemente collinare con quote variabili dai 240 m ai 480 m. I rilievi montuosi dell'area non superano i 1000 metri ad eccezione di M. Mauro (1042 m) nei pressi di Castelmauro. Infatti, le strutture presenti sono quelle dei Monti (810 m), a Castelmauro, di M. la Rocchetta (959 m), nel comprensorio di Montefalcone del Sannio e di C.le Foccardo (928 m), a Roccavivara.

Queste dorsali si sviluppano secondo un allineamento parallelo con direzione NO-SE e costituiscono versanti a prevalente controllo strutturale. I processi morfogenetici che li dominano sono rappresentati dall'erosione idrica concentrata e dai fenomeni di creep.

Tali dorsali, situate in sinistra idrografica del Biferno, si impostano sulle calcilutiti e calcari marnosi della Formazione di Tufillo (Tortoniano-Serravalliano).

L'area si presenta dalla struttura geologica complessa ed eterogenea, costituita per la maggior parte da termini flyschoidi riconducibili al Flysch di Agnone (Messiniano), affiorante al confine con l'area "Alto Molise", e alla Formazione di Faeto (Tortoniano-Serravalliano).

In destra idrografica, invece, prevale interamente la Formazione di Faeto (Tortoniano-Serravalliano) costituita sia dal membro calcareo-marnoso rinvenibile in

corrispondenza delle dorsali come quella de Il Monte (727 m), e sia dal membro argilloso-marnoso affiorante in corrispondenza delle morfologie più dolci.

Anche queste dorsali si sviluppano secondo un allineamento preferenziale con direzione NO-SE e costituiscono versanti a prevalente controllo strutturale. I processi morfogenetici che li dominano sono rappresentati dall'erosione idrica concentrata e dai fenomeni di creep.

*L'intera area "Basso Molise" è interessata da processi fluvio-denudazionale associabili a fenomeni di instabilità, sia lenti che rapidi, come scorrimenti e scivolamenti, colamenti e fenomeni complessi, e da fenomeni di erosione superficiale spesso in stretta interazione con i processi di erosione idrica concentrata e lineare accelerata.*

Anche l'area "Basso Molise" è caratterizzata dalla diffusa presenza di lembi di superfici fluvio-denudazionale che si rinvengono in posizione sommitale o lungo i versanti. Qui i processi morfogenetici dominanti sono legati all'azione delle acque incanalate e non, e alla forza di gravità che, visto le pendenze, gioca un ruolo piuttosto limitato, favorendo comunque lo sviluppo di fenomeni superficiali quali il creep e il soliflusso, nonché di limitati movimenti in massa superficiali e lenti. Le aree marginali, a contatto con i versanti di origine fluvio-denudazionale, risentono dei fenomeni che si esplicano in quest'ultima, fungendo da aree di richiamo che tendono ad evolvere verso condizioni di maggiore instabilità. Questi processi si rinvengono anche dove affiorano i depositi dell'avanfossa plio-pleistocenica a composizione argillosa e sabbioso-ghiaioso-conglomeratica, al limite con l'area "Fascia costiera".

Qui i processi sono di origine fluvio-marina legati ad oscillazioni glacio-eustatico e tettoniche quaternarie del livello del mare.

Nelle zone di fondovalle dei corsi dei fiumi Trigno, Biferno e Fortore i processi dominanti sono riferibili all'azione di progressiva reincisione delle superfici terrazzate, all'erosione lineare verticale e laterale che localmente può favorire fenomeni franosi.

Invece, lungo i tratti da intermedi a terminali dei corsi d'acqua si sviluppano processi legati all'azione fluviale, sia deposizionale che erosionale, che porta ad una continua riconfigurazione morfologica.

Dal punto di vista idrografico, l'area è divisibile in tre settori: uno settentrionale, uno centrale ed uno meridionale.

Il settore settentrionale presenta un tratto lungo del corso del Fiume Trigno che bagna il territorio regionale dal comune di Roccavivara fino a quello di Montenero di Bisaccia ed individua un pattern idrografico di tipo dendritico.

Nel settore mediano è presente l'invaso artificiale del lago di Guardialfiera ottenuto per effetto dello sbarramento del Fiume Biferno.

Infine, il settore meridionale è interessato dal breve tratto del Fiume Fortore che, uscendo dalla diga del lago di Occhito, prosegue il suo corso in territorio pugliese.

Il complesso delle formazioni geologiche affioranti nel foglio "Larino" di cui la nostra area fa parte ha un'età che va dal Paleogene fino al Quaternario.

Tra i sedimenti marini hanno diffusione prevalente marne, argille, arenarie e sabbie ed in misura minore Calcari e conglomerati.

Dal punto di vista strutturale il complesso delle formazioni affioranti nel foglio è interessato da una serie di pieghe successive, ad assi ravvicinati, piu' o meno paralleli, generalmente secondo la direzione appenninica (NO – SE).

Nella nostra zona di interesse le pieghe perdono man mano la loro individualità fino a formare una struttura piu' complessa.

# STRATIGRAFIA

## **PA – Complesso delle argille Varicolori**

Al Paleogene viene attribuito un complesso di terreni mal differenziabili fra di loro, di cui non si conoscono con precisione i rapporti con le formazioni piu' antiche; la parte superiore e', invece, chiaramente rilevabile e definibile dal punto di vista stratigrafico. Elemento predominante è una argilla, spesso qualche migliaio di metri, alla cui costituzione, oltre ai minerali argillosi , partecipano una mica di tipo sericitico ed, inoltre, quarzo e carbonati. Colorazione variabile ma la piu' presente è la grigia. Altra caratteristica rilevabile macroscopicamente è la "scagliosità" che interessa la massa argillosa. Si è potuto stabilire che piu' è presente la scagliosità piu'è possibile che possano essere interessati da franosità. Spesso tali argille inglobano di frequente tipi litologici diversi anche se come estensione limitati, ricordiamo arenarie in forma lenticolare e calcari biancastri in strati di spessore modesto.

## **M1 – Calcari detritici fini, brecce calcaree**

Depositi sovrastanti le argille scagliose policrome, si tratta di un complesso calcareo ben stratificato con straterelli di qualche centimetro ma anche in banchi di spessore superiore al metro. Si alternano sottili livelli di marne ed argille.

## **M2 – Complesso del Miocene medio (calcareniti, calcari compatti selciferi, arenarie, marne ed argille)**

E' costituita da strati alterni di calcareniti e calcari brecciati, calcari compatti giallastri, arenarie calcaree giallastre.

## **M2a – Argille sabbiose e marne grigie con intercalazioni arenacee**

Trattasi di depositi di età tortoniana, si tratta di un flysh, verso l'alto diventa sempre più argilloso.

## **M1 – Calcari detritici fini, brecce calcaree (Oligocene sup. – Miocene inf.)**

Sono depositi che sovrastano le argille scagliose policrome. Si rinviene un complesso calcareo che, in qualche punto, assume un aspetto massivo, ma che di regola è ben stratificato in strati di diversi centimetri o in banchi di oltre un metro di spessore. Si tratta di alternanze di calcari detritici finissimi, brecce calcaree e calcari compatti. Esso occupa vaste zone della nostra area.

## **FAGLIE**

Si osservano due sistemi principali di dislocazione uno orientato da SO a NE, l'altro da SSE a NNO. Le principali si dispongono secondo la prima direzione, antiappenninica e sono quelle che hanno preparato per lunghi tratti il letto ai fiumi Trigno e Biferno e di qualche altro corso d'acqua di minor interesse.

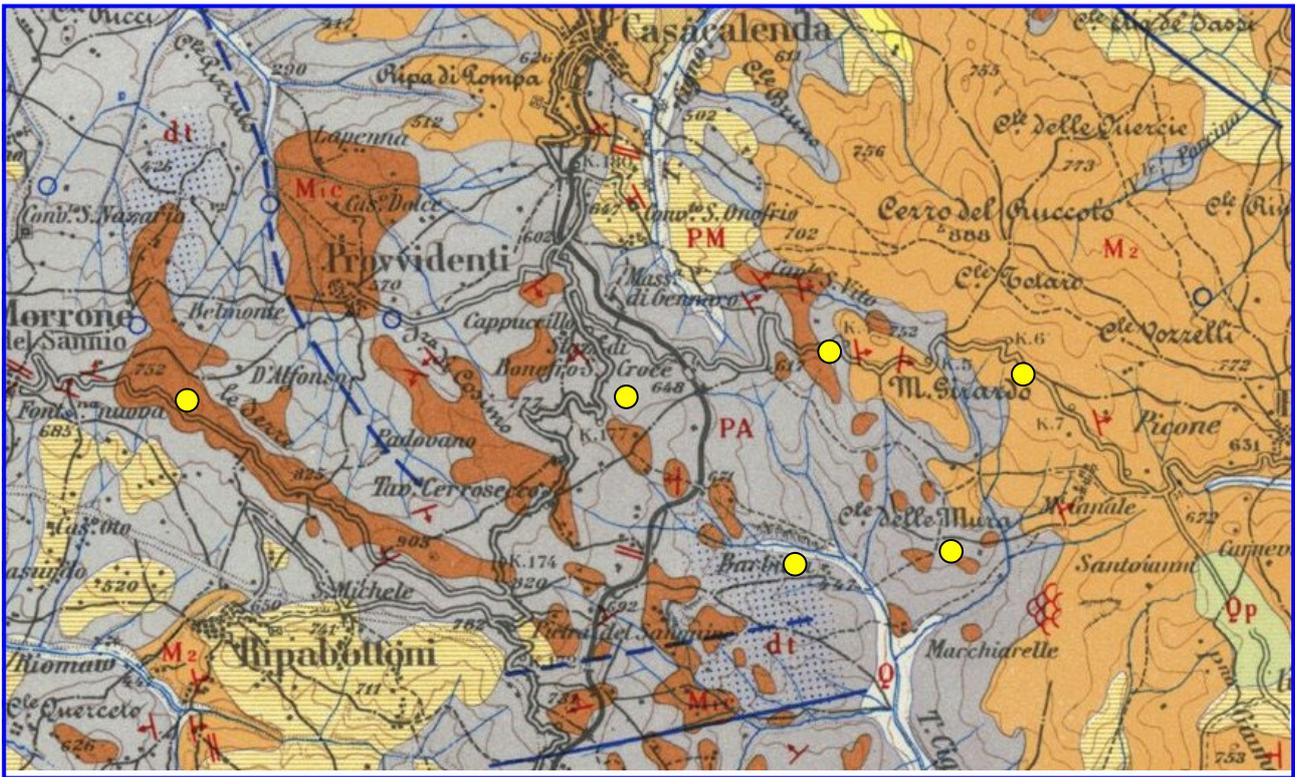
## **MORFOLOGIA**

Le caratteristiche morfologiche riscontrabili nella nostra area sono, ovviamente, in relazione con la natura litologica delle formazioni affioranti e con il loro particolare assetto strutturale. La caratteristica morfologica predominante è data da una serie di dossi collinari, dai fianchi dolcemente modellati.

## **SORGENTI**

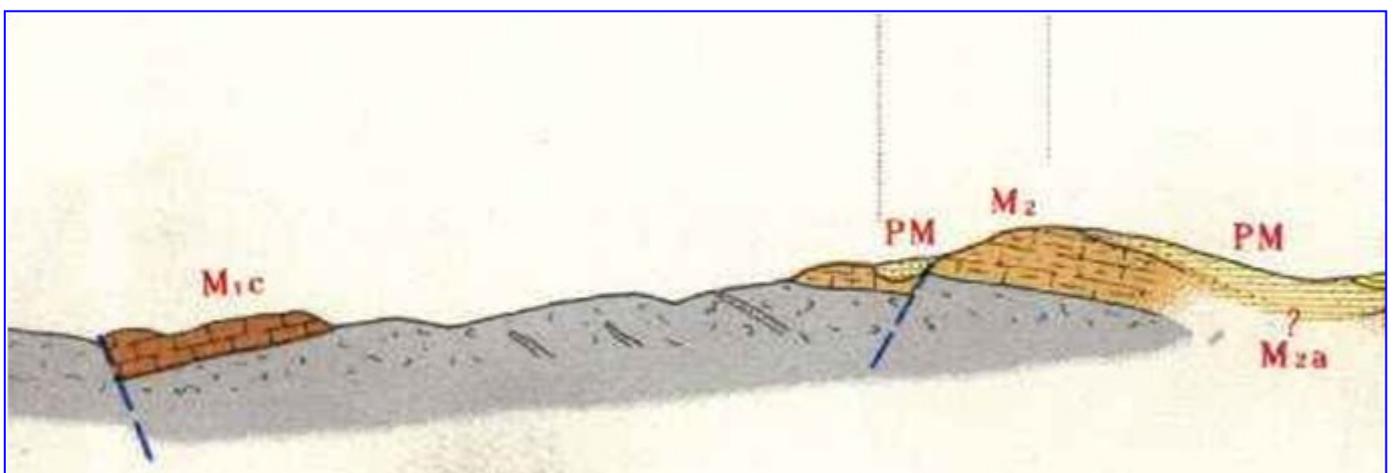
Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea nel nostro comprensorio riveste scarsa importanza. La bassa permeabilità dei terreni non permette l'instaurarsi di falde

acquifere di notevole interesse. Le poche sorgenti presenti sono ubicate, in prevalenza, al contatto tra le sabbie, calcari e il sottostante complesso sottostante argilloso. A NO di Bonefro esistono falde della sorgente “Lata” che alimenta l’aquedotto del Comune di Bonefro.



Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 -Foglio n° 154 - Larino

● Ubicazione strutture e sottostante sezione stratigrafica tipica del territorio



## IDROLOGIA SUPERFICIALE

Il foglio "Larino" ricade, per oltre 80%, entro parte dei bacini imbriferi dei fiumi Trigno e Biferno. Le condizioni idrologiche generali di superficie sono condizionate dalle caratteristiche particolari dei fiumi suddetti. *Il fiume Biferno, riceve dalla zona di studio, il suo più importante affluente, il torrente Cigno* che svolge per intero, avendo origine nei dintorni di Casacalenda. Questi corsi sono prettamente torrentizi.

## ASSETTO GEOMORFOLOGICO E FENOMENI FRANOSI

Le aree analizzate risultano caratterizzate da settori più rilevati, costituiti da litotipi calcareo e calcareo marnosi competenti, alternati a rilievi con sommità arrotondate e/o subpianeggianti, interrotte da depressioni vallive che evidenziano la presenza di litotipi prevalentemente argillosi. Le aree di raccordo morfologico sono il più delle volte costituite da coltri eluviali e colluviali miste a materiale rimaneggiato proveniente da aree in frana. La morfologia delle aree analizzate è, in effetti, fortemente condizionata dallo sviluppo di estesi fenomeni franosi che rappresentano il principale fattore di modellamento del rilievo. Si segnala come la morfodinamica recente ed attiva appaia nettamente dominata da fenomeni di instabilità gravitativa, sia superficiali che profondi.

Caratteristica comune a tutti gli abitati indagati, è la presenza di un settore più rilevato, costituito da materiali più competenti, ai cui margini si sviluppano estesi movimenti gravitativi su litologie prevalentemente argillose.

Per tutte le aree analizzate, lo sviluppo dei settori in frana assume una caratteristica forma radiale-centrifuga, con tipologie di dissesti, morfologie ed evoluzioni che si ripetono in modo quasi costante. Partendo dai limiti delle aree urbanizzate, caratterizzate da litotipi più competenti, è possibile riconoscere fenomeni di crollo con nette rotture di pendio. Sono essenzialmente i materiali lapidei, incoerenti o semicoerenti, che possono distaccarsi improvvisamente dai versanti e frantumarsi durante il movimento. Questi fenomeni si verificano in prossimità dei margini delle aree urbanizzate interessate da preesistenti discontinuità strutturali lungo le quali avvengono i distacchi.

Proprio in prossimità dei margini delle aree urbanizzate, al passaggio da litotipi più competenti a litotipi meno competenti, si sviluppano estesi fenomeni di frana di tipo complesso, caratterizzati al loro interno da frane minori di tipo traslativo e/o rotazionale che evolvono nella parte distale in colate.

Nell'area in studio questi fenomeni interessano superfici molto estese, anche interi versanti, che presentano ondulazioni, rigonfiamenti, depressioni a conca e piccole scarpate.

Numerose infine sono le aree in cui sono stati riconosciuti fenomeni di dissesto superficiali. Si tratta di movimenti lenti e discontinui che interessano versanti caratterizzati da pendenze anche inferiori a 5°. Essi sono stati riconosciuti, nella maggior parte dei casi, per il formarsi di colate, lobi, terrazzette e increspature del terreno; insieme al materiale fine si spostano gli elementi grossolani presenti nel mantello detritico superficiale. I materiali coinvolti sono per lo più di natura argillosa,

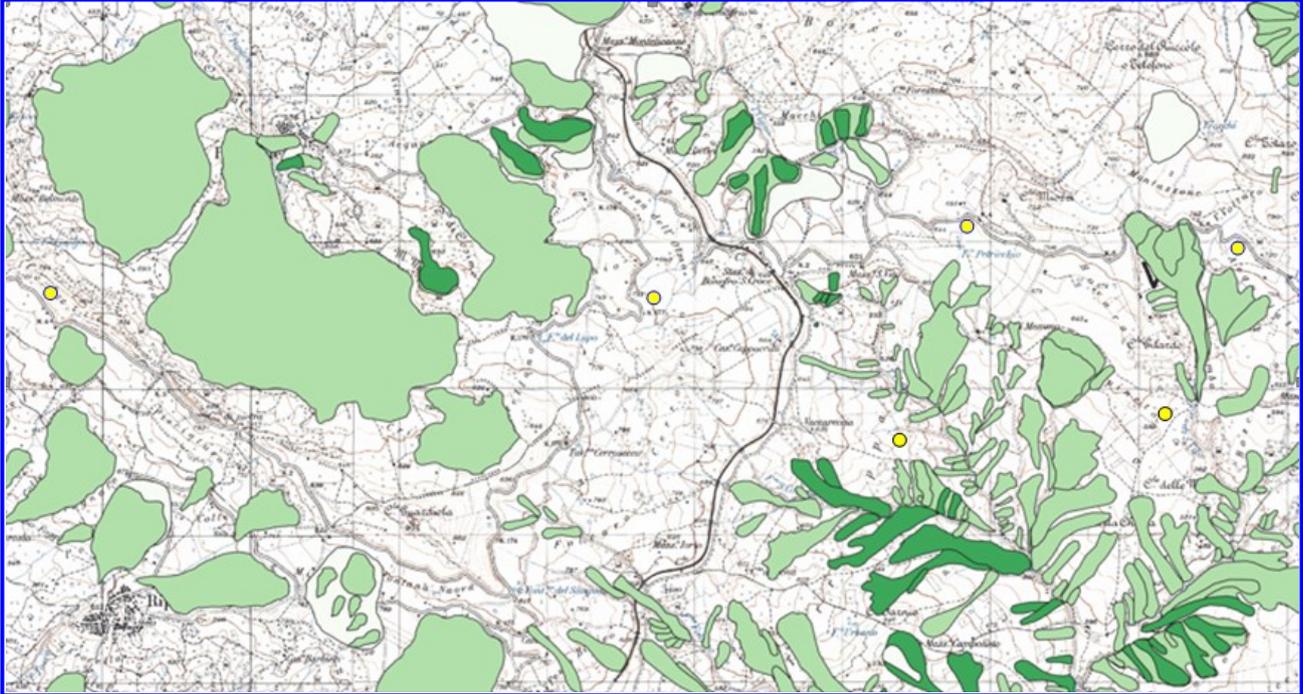
sui quali le piogge e l'acqua di imbibizione hanno un ruolo determinante per l'innesco del processo.

Lo studio geologico-geomorfologico e l'analisi delle tipologie costruttive hanno fornito dati per una valutazione degli effetti di sito e in via preliminare in altri fra i centri abitati più colpiti dal terremoto del Molise. L'approccio multidisciplinare e la comparazione di questi dati con la distribuzione del danno, hanno inoltre permesso di valutare l'effettivo contributo che ognuno dei fattori geologici, geomorfologici e di qualità del costruito ha avuto nel determinare un eventuale amplificazione locale.

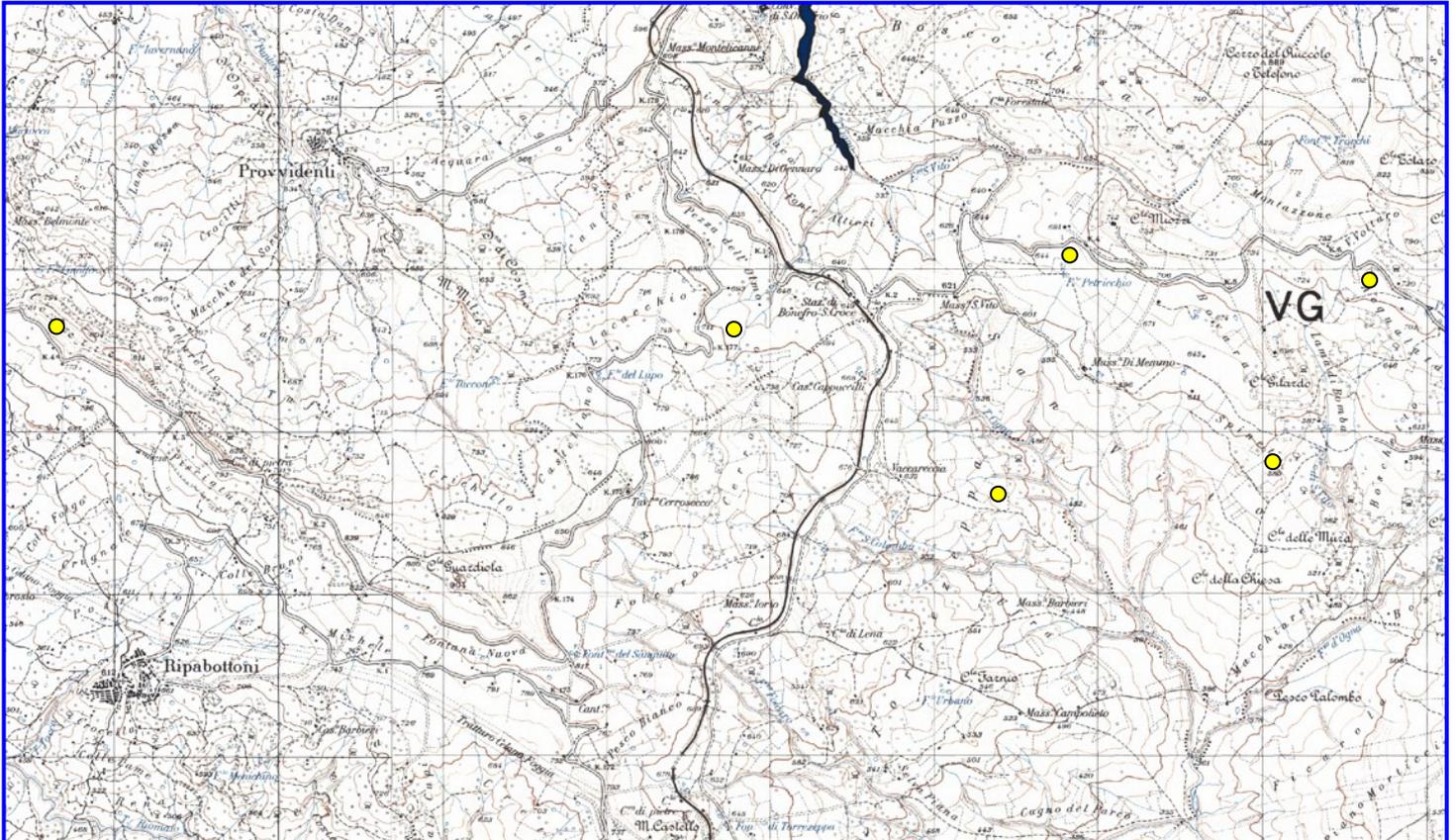
I risultati evidenziano, una relazione diretta tra danneggiamento e condizioni geologico-strutturali e litologiche dei terreni di fondazione. Infatti, a parità di altre condizioni, nell'area che ha subito i danni più gravi, affiorano i sedimenti argilloso-marnosi della parte alta del Membro marnoso - argilloso - calcareo del Flysch di Faeto e/o della formazione del Toppo Capuana, mentre gli edifici solo leggermente danneggiati sono fondati sui sedimenti prevalentemente calcarei delle porzioni più basse Flysch di Faeto.

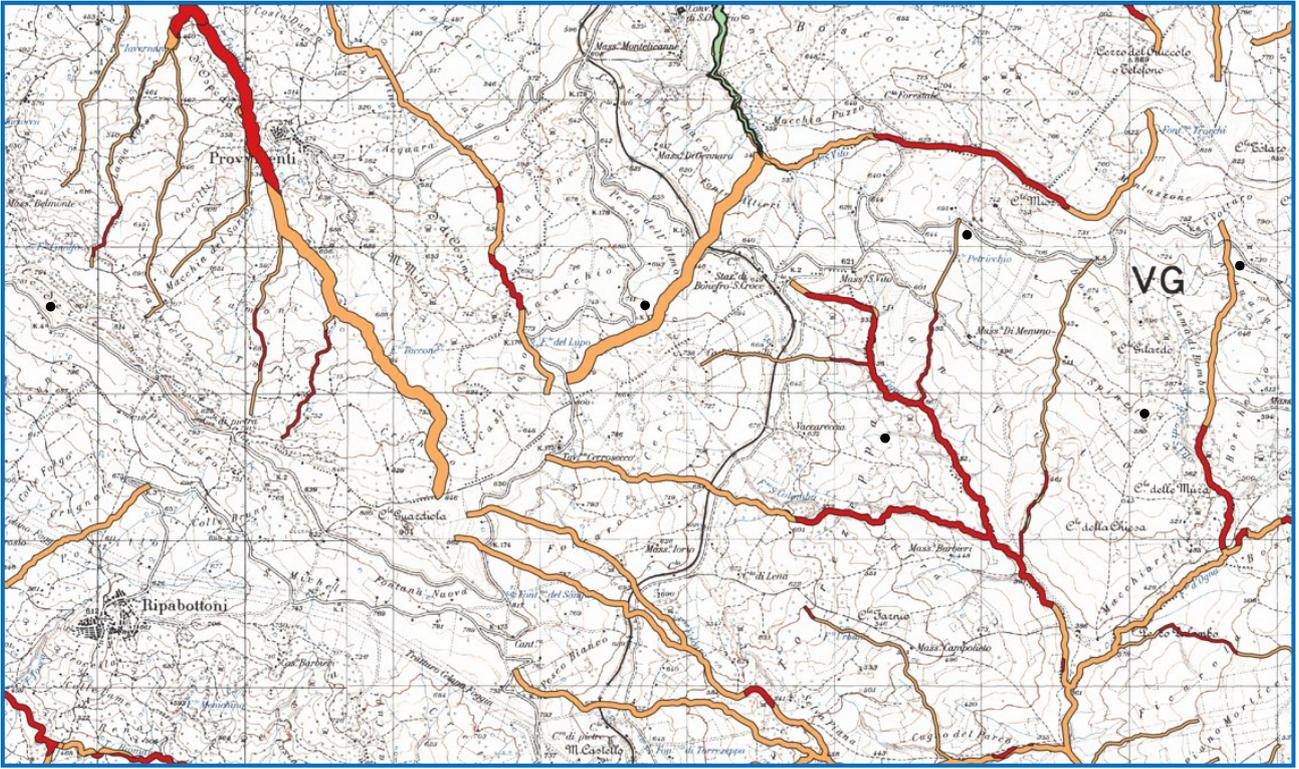
Le aree interessate dalle nostre strutture risultano fuori da aree vincolate per rischio geomorfologico ed idraulico.

AREE A RISCHIO FRANA



# AREA A RISCHIO IDRAULICO





## MAPPA RISCHIO ALLUVIONE

*Come si evince dalle corografie suddette, le nostre aree di intervento sono fuori dalle aree vincolate, sia per rischio frana, sia per rischio idraulico e sia per il rischio da alluvione.*

## AREA DI INTERVENTO

Il parco eolico di progetto sarà ubicato nei territori dei Comuni di Bonefro, Casacalenda e Ripabottoni (CB) a distanza di circa 3 km dal centro urbano dei comuni di Bonefro e Casacalenda, e di circa 4 km dal centro urbano del Comune di Ripabottoni. I terreni sui quali si installerà il parco eolico, interessano una superficie di circa 505 ettari, anche se la quantità di suolo effettivamente occupato è significativamente inferiore limitato alle aree di piazzola dove verranno installati gli aerogeneratori.

Le aree facenti parti del progetto risultano caratterizzate da settori più rilevati, costituiti da litotipi calcareo e calcareo marnosi, alternati a rilievi con sommità arrotondate e/o subpianeggianti, interrotte da depressioni vallive che evidenziano la presenza di litotipi prevalentemente argillosi. Le aree di raccordo morfologico sono il più delle volte costituite da coltri eluviali e colluviali miste a materiale rimaneggiato proveniente da aree in frana. La morfologia delle aree analizzate è, in effetti, fortemente condizionata dallo sviluppo di estesi fenomeni franosi che rappresentano il principale fattore di modellamento del rilievo.

Le aree interessate dal progetto sono fuori dalle zone a rischio frana, rischio idraulico e rischio inondazione. Si segnala come la morfodinamica recente ed attiva appaia

nettamente dominata da fenomeni di instabilità gravitativa, sia superficiali che profondi.

*Nell'area di studio scorre il torrente Cigno il quale sorge in due rami nel territorio di Casacalenda: uno dal Colle Miozzi (753 m) e l'altro dal Cerro del Ruccolo (889 m). E' un affluente del Biferno, il bacino idrografico del Cigno è pressappoco simile a quello del vicino Saccione. Tale torrente scorre a quote ben inferiori alle quote dei nostri siti, pertanto non ci sono rischi di allagamento, unico pericolo è rappresentato dall'erosione, nei periodi di forti piene, della base dei versanti oggetti di studio.*

L'area di studio è le zone limitrofe non sono interessate da fenomeni di subsidenza per estrazione di liquidi dal sottosuolo.

Nell'area in studio interi versanti presentano ondulazioni, rigonfiamenti, depressioni a conca e piccole scarpate.

Si osservano due sistemi principali di dislocazione uno orientato da SO a NE, l'altro da SSE a NNO. Le principali si dispongono secondo la prima direzione, antiappenninica e sono quelle che hanno preparato per lunghi tratti il letto ai fiumi Trigno e Biferno e di qualche altro corso d'acqua di minor interesse.

Allo stato attuale non vi sono, neanche nelle immediate vicinanze grosse scarpate naturali, né tagli artificiali e tutta la zona risulta completamente libera da segni di dissesto in atto.

Non sono state ritrovate faglie né altre discontinuità superficiali.

Considerata la struttura del manufatto e la natura dei litotipi interessati dalle fondazioni, si è proceduto a caratterizzare gli stessi dal punto di vista geomeccanico, avvalendoci di prova diretta effettuata in sito, tramite l'esecuzione di n° 6 penetrometrie dinamiche effettuate all'incirca nella mezzera delle aree che verranno occupate dai manufatti oggetto di intervento e da due prove geofisiche superficiali per l'ottenimento della velocità delle onde Vs nei primo 30 metri dal p.c.(MASW).

I risultati che scaturiscono da tali tipi di prova vengono generalmente diagrammate prendendo in considerazione il numero di colpi di maglio del peso di 20 chilogrammi necessari all'infissione di dieci centimetri di asta.

Le prove dinamiche, diversamente dalle S.P.T., sono continue e quindi forniscono una visione più completa della consistenza dei materiali dal piano campagna fino alla profondità di investigazione.

Le numerose esperienze condotte con il penetrometro dinamico e le prove S.P.T. evidenziano specifiche correlazioni, per cui è possibile utilizzare tali prove utilizzando la vasta bibliografia esistente sulle S.P.T.

Le prove, causa la presenza di straterelli calcarei o arenacei, molto compatti, non sono state spinte oltre tale presenze, pertanto la ricostruzione stratigrafica a profondità superiori è stata effettuata tenendo conto delle prove geosismiche effettuate e degli affioramenti presenti.

# SCHEMA STRATIGRAFICO 1

Coordinate 41°42'40,62 N 14°53'52,78 E 727 mt. S.l.m.

**S.P.T.**  
NUMERO DI  
COLPI

mt. 0,00

0 10 20 30 40 50

mt. 0,60

mt. 2,80

mt. 13,00

mt. 30,00

TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA ARGILLE LIMI E SABBIE.

ARGILLE LIMO SABBIOSE DI COLORE AVANO CHIARO, DOTATE DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE. SPESSO TALE SPESSORE E' INTERESSATO DA SCIVOLAMENTI, COLAMENTI E FENOMENI COMPLESSI, E FENOMENI DI EROSIONE SUPERFICIALE.

MARNE ARGILLOSE INTERVALLATE A BREVI TRATTI DA STRATERELLI DI CALCARI ED ARENARIE LIMITATI AREALMENTE, TRATTASI DI DEPOSITI MEDIAMENTE ADDENSATI, DOTATI NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.

DEPOSITI COSTITUITI PREVALENTEMENTE DA ARGILLA, DI COLORE GRIGIASTRO, PRESENTA SCAGLIOSITA' EVIDENTE. SPESSO, A VARI LIVELLI, TALI ARGILLE INGLOBANO LITOLOGIE DIVERSE, ARENARIE E CALCARI DI SPESSORE MODESTISSIMO. AL TETTO DI QUESTA FORMAZIONE SI RINVENGONO MODESTI ACCUMULI DI ACQUA. L'AUMENTO DI PRESSIONI INTERSTIZIALI LUNGO QUESTA SUPERFICIE AL TETTO DI QUESTI DEPOSITI ARGILLOSI, POTREBBE PRODURRE INSTABILITA'.

## SCHEMA STRATIGRAFICO 2

Coordinate 41°42'46,06 N 14°52'38,27E 672 mt. S.l.m.

**S.P.T.**  
NUMERO DI  
COLPI

mt. 0,00

0 10 20 30 40 50

mt. 0.60

mt. 3.10

mt. 14.0

mt. 30.00

TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA ARGILLE LIMI E SABBIE.

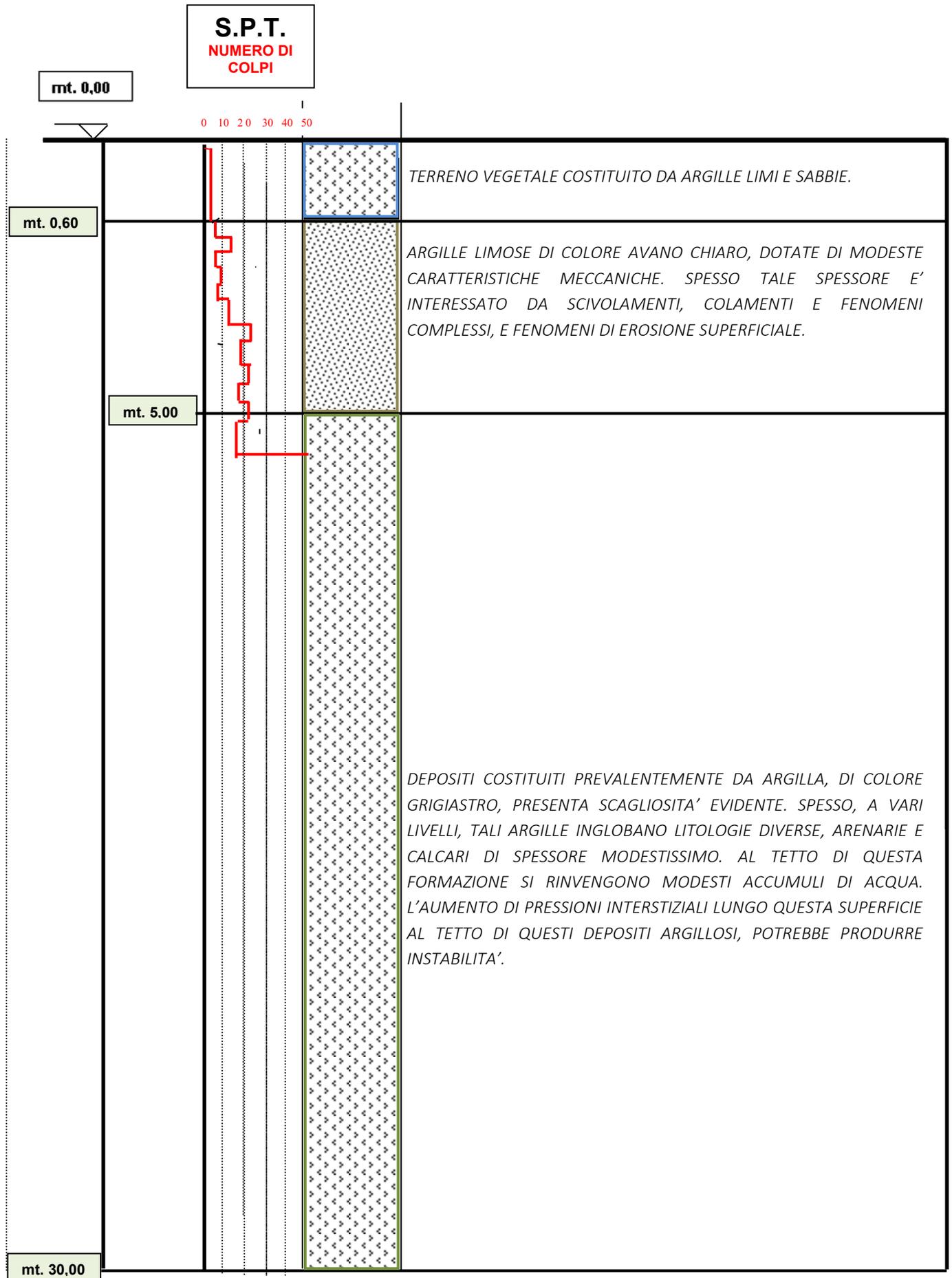
ARGILLE LIMO SABBIOSE DI COLORE AVANO CHIARO, DOTATE DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE. SPESSO TALE SPESSORE E' INTERESSATO DA SCIVOLAMENTI, COLAMENTI E FENOMENI COMPLESSI, E FENOMENI DI EROSIONE SUPERFICIALE.

MARNE ARGILLOSE INTERVALLATE A BREVI TRATTI DA STRATERELLI DI CALCARI ED ARENARIE LIMITATI AREALMENTE, TRATTASI DI DEPOSITI MEDIAMENTE ADDENSATI, DOTATI NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.

DEPOSITI COSTITUITI PREVALENTEMENTE DA ARGILLA, DI COLORE GRIGIASTRO, PRESENTA SCAGLIOSITA' EVIDENTE. SPESSO, A VARI LIVELLI, TALI ARGILLE INGLOBANO LITOLOGIE DIVERSE, ARENARIE E CALCARI DI SPESSORE MODESTISSIMO. AL TETTO DI QUESTA FORMAZIONE SI RINVENGONO MODESTI ACCUMULI DI ACQUA. L'AUMENTO DI PRESSIONI INTERSTIZIALI LUNGO QUESTA SUPERFICIE AL TETTO DI QUESTI DEPOSITI ARGILLOSI, POTREBBE PRODURRE INSTABILITA'.

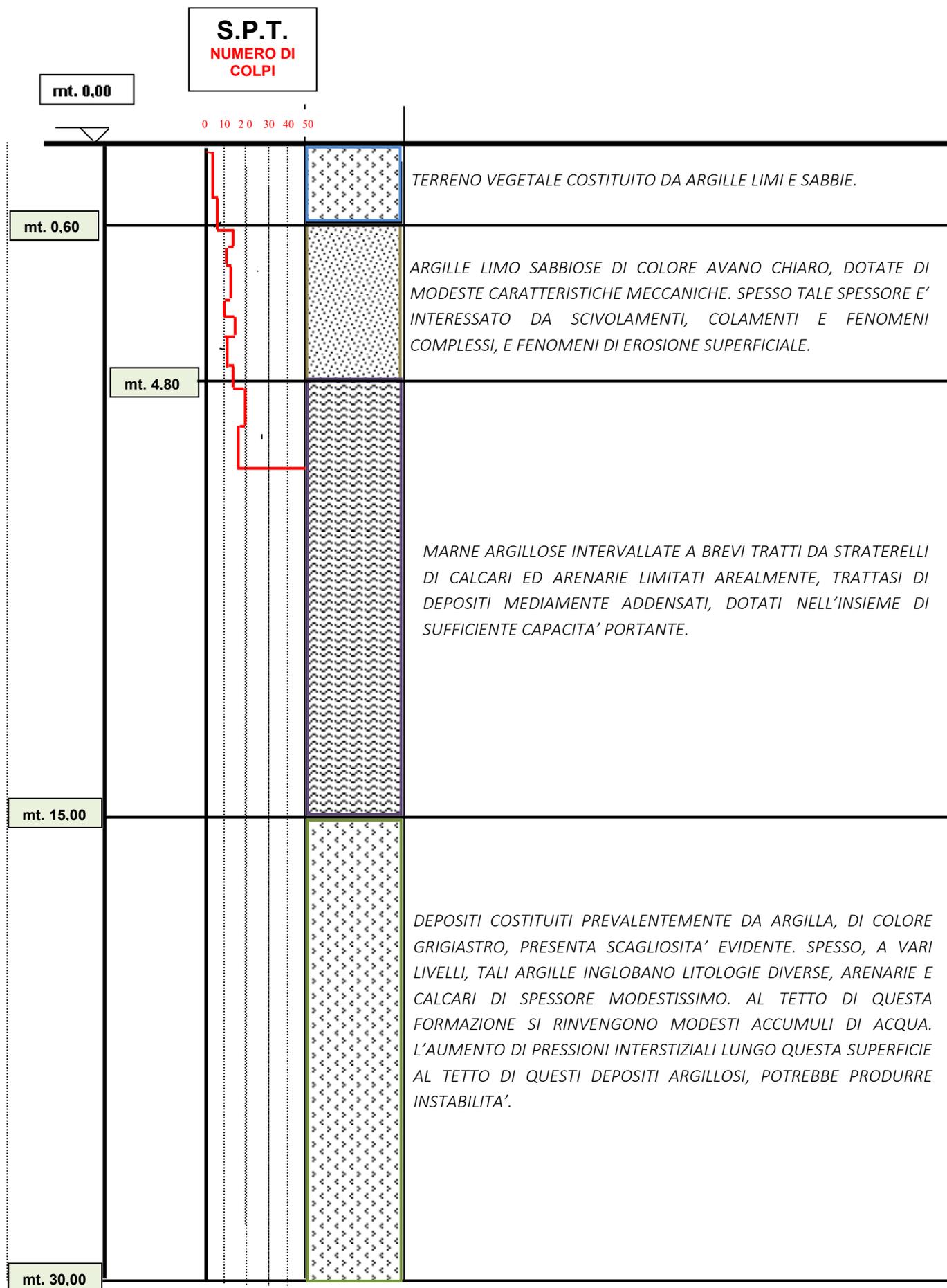
### SCHEMA STRATIGRAFICO 3

Coordinate 41°42'29,00 N 14°51'13,38E 694 mt. S.l.m.



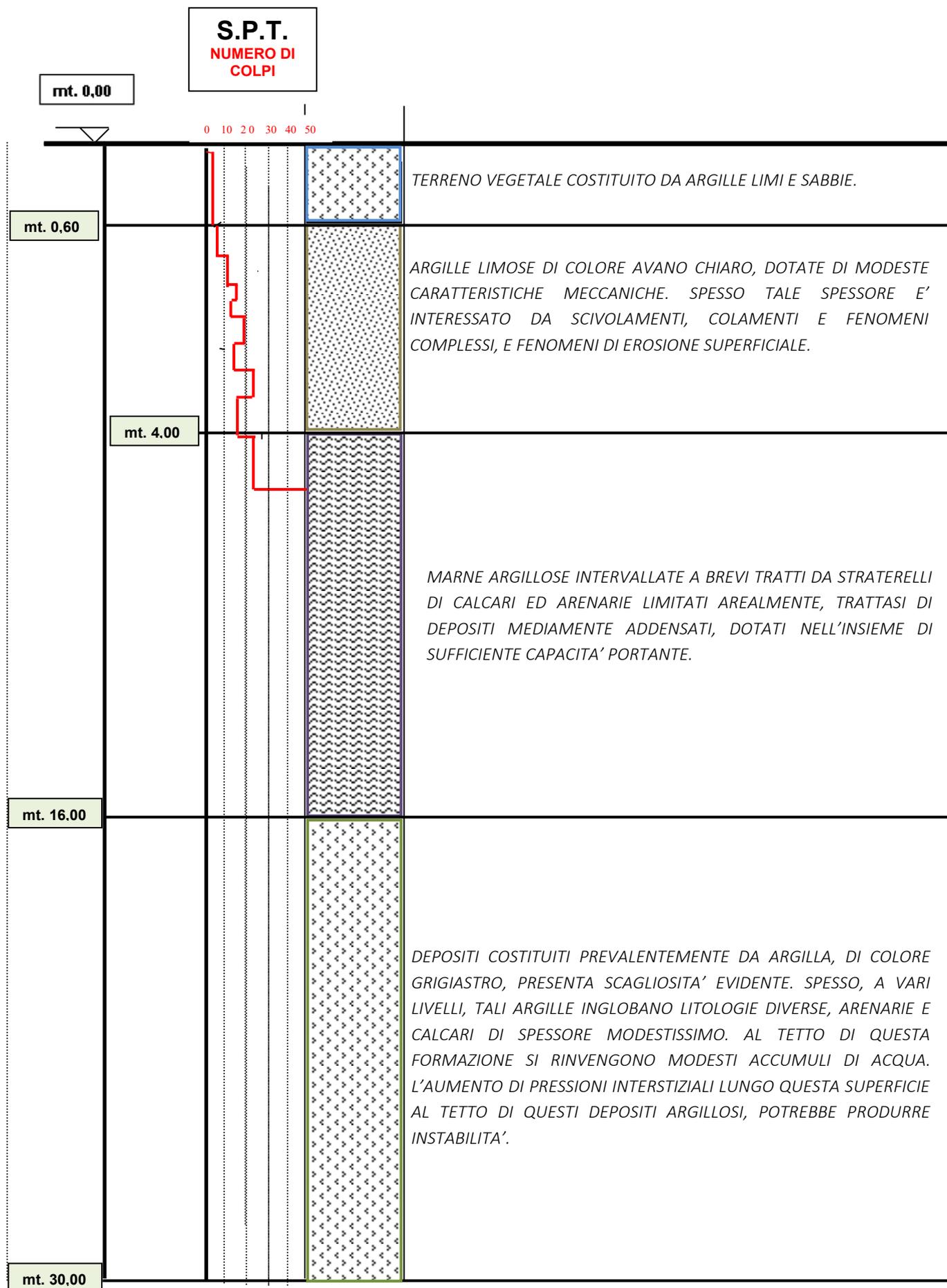
## SCHEMA STRATIGRAFICO 4

Coordinate 41°41'23,45 N 14°52'26,61 E 511 mt. S.l.m.



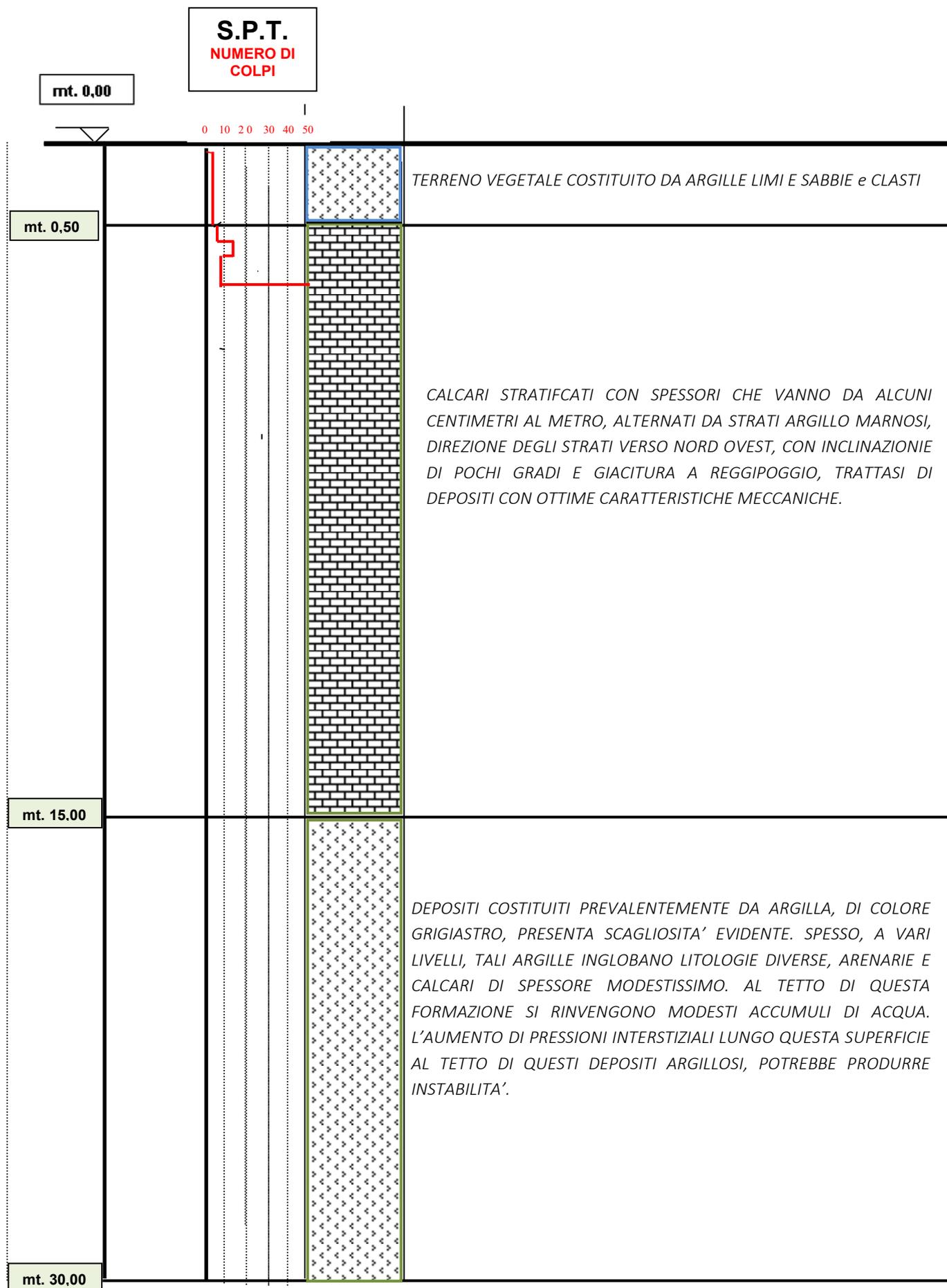
## SCHEMA STRATIGRAFICO 5

Coordinate 41°42'03,98 N 14°53'27,86 E 586 mt. S.l.m.



## SCHEMA STRATIGRAFICO 6

Coordinate 41°42'30,55 N 14°89'58,91 E 782 mt. S.l.m.



I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno costituito da argille limose di colore avano chiaro posto nei sondaggi S<sub>1</sub> (0,60 – 2,80) S<sub>2</sub> (0,60 – 3,10) S<sub>3</sub> (0,60 – 5,00) S<sub>4</sub> (0,60 – 4,80) S<sub>5</sub> (0,60 – 4,00) metri dal piano campagna, sono così definiti:

$\gamma$	1,85 t/mc	Peso di volume
$\phi$	22°	Angolo di attrito
Cu	40,00 KPa	Coesione non drenata
Kz	4,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	10,00 KPa	Coesione
E	6 N/mm <sup>2</sup>	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno costituito da marne argillose intervallate a bratte tratti da straterelli di calcari e arenarie posto nei sondaggi S<sub>1</sub> (2,80 – 13,00) S<sub>2</sub> (3,10 – 14,00) S<sub>3</sub> (5,00 – 15,00) S<sub>4</sub> (4,80 – 15,00) S<sub>5</sub> (4,00 – 16,00) metri dal piano campagna, sono così definiti:

:

$\gamma$	1,90 t/mc	Peso di volume
$\phi$	24°	Angolo di attrito
Cu	50,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	5,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	10,00 KPa	Coesione
E	7 N/mm <sup>2</sup>	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno costituito da depositi costituiti prevalentemente da argilla di colore grigiastro posto nei sondaggi S<sub>1</sub> (13,00 – 30,00) S<sub>2</sub> (14,00 – 30,00) S<sub>3</sub> (15,00 – 30,00) S<sub>4</sub> (15,00 – 30,00) S<sub>5</sub> (16,00 – 30,00) S<sub>6</sub> (15,00 – 30,00) dal piano campagna sono così definiti:

$\gamma$	1,95 t/mc	Peso di volume
$\varnothing$	24°	Angolo di attrito
Cu	80,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	7,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	20,00 KPa	Coesione
E	10 N/mm <sup>2</sup>	Modulo edometrico
Falda	NON RINVENUTA	Profondità falda

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto S<sub>6</sub> (0,60 – 15,00)

metri dal piano campagna sono così definiti:

$\gamma$	2,00 t/mc	Peso di volume
$\phi$	30°	Angolo di attrito
Cu	50,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	8,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	20,00 KPa	Coesione
E	10 N/mm <sup>2</sup>	Modulo edometrico

# ANALISI SISMICA DINAMICA

### Pericolosità sismica

Tipo costruzione (Art. 2.4.1) Tipo 2 (Vn >=50 anni) ▼

Classe d'uso (Art. 2.4.2) Classe II ▼

Vita Nominale di progetto Vn (anni): 50.00

Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $VR = Vn * Cu = 50.00 * 1.00 = 50.00$  anni

Pvr % (Art. 3.2.1)

SLO	81.00
SLD	63.00
SLV	10.00
SLC	5.00

Periodo di ritorno Tr (anni)

SLO	30.00
SLD	50.00
SLV	475.00
SLC	975.00

Posizione del sito

Comune: Casacalenda - (CB) ▼

Longitudine 14.8490

Latitudine 41.7430

Cerca con Google Map

Isola: Sardegna ▼

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
28991	14.8310	41.7770	4.0686
29213	14.8300	41.7270	2.3794
29214	14.8970	41.7260	4.4129
28992	14.8980	41.7760	5.4809

Parametri di pericolosità sismica

	ag (g/10)	F0 (adim)	TC*(sec)
SLO	0.56898521	2.35036034	0.29789226
SLD	0.75409501	2.43373073	0.31000000
SLV	2.05071537	2.47228612	0.34000000
SLC	2.70822753	2.45000000	0.35000000

Ok e avanti >

Annulla e avanti >

?

Ricalcola >

N.B. Dal valore tabellato, per ottenere ag in (g), dividerlo per 10; per ottenerlo in m/sec<sup>2</sup>, moltiplicarlo per 0.9806

# PARAMETRI SISMICI

Parametri sismici
✕

Categoria di sottosuolo (Art. 3.2.2) B v      Categoria topografica (Art. 3.2.2) T2 v

Rapporto h/H altezza pendio: 1.00      Coeff. amplif. topografica St: 1.00

Coeff. smorzamento (%)  $\xi$ : 5.00 =>  $\eta = 1.000$

Parametri spettri orizzontali e Fv

	S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLO	1.200	0.139	0.417	1.828	0.757	1.401	1.200
SLD	1.200	0.144	0.431	1.902	0.902	1.390	1.200
SLV	1.197	0.155	0.464	2.420	1.511	1.365	1.197
SLC	1.135	0.158	0.475	2.683	1.721	1.357	1.135

Ricalcola =>

Parametri spettri verticali

Ss	TB	TC	TD
1.000	0.050	0.150	1.000

Tipo comportamento

Non dissipativo

Dissipativo

Classe di duttilità

Alta (CD'A)

Media (CD'B')

Fattori di comportamento q (par. 7.3 NTC)

	SLO	SLD	SLV	SLC
Direz. X1	1.000	1.500	1.500	1.500
Direz. Y1	1.000	1.500	2.500	1.500
Direz. Z	1.000	1.500	1.500	1.500

Calcola q per SLV

Calcola q per SLV

Regolarità edificio

In pianta

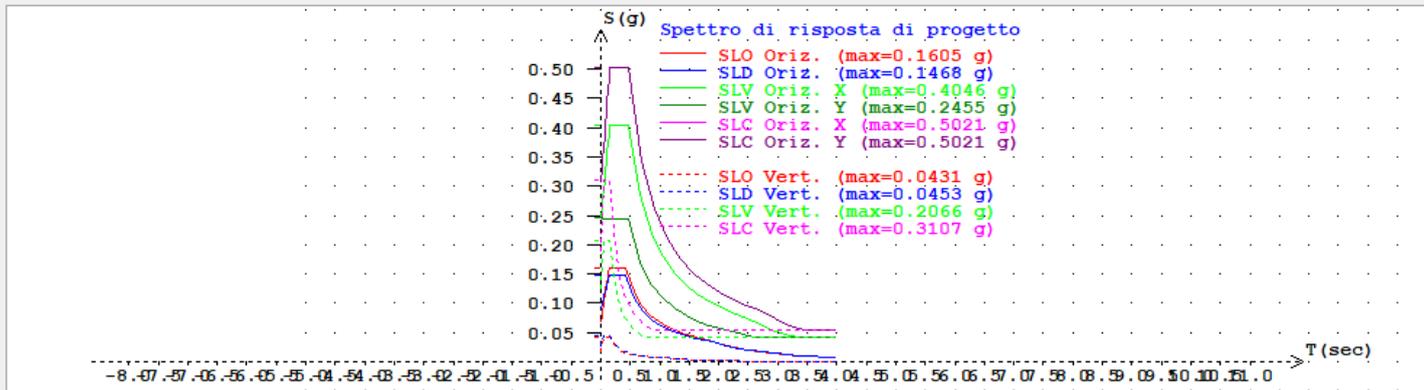
In altezza

Ok e avanti >

Annulla e avanti >

?

< Indietro



Spettro Orizzontale

- SLO
- SLD
- SLV direz. X
- SLV direz. Y
- SLC direz. X
- SLC direz. Y

Spettro Verticale

- SLO
- SLD
- SLV
- SLC

## INDAGINE GEOFISICA

L'indagine consiste in **uno** stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a **23,0** m (Base 1) lungo il quale sono stati disposti e collegati in serie 24 geofoni monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali, prodotte da una specifica sorgente. La distanza intergeofonica è stata fissata a **1,0** m (Base 1) per un totale di 24 geofoni collegati in serie attraverso un cavo in grado di convertire il segnale elettrico proveniente dai geofoni in segnale digitale già dal primo metro: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing. Sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione disposti lungo lo stendimento:

- 2 estreme a 1 m dai geofoni 1° e 24°

L'attrezzatura utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra metallica posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni a componente verticale di

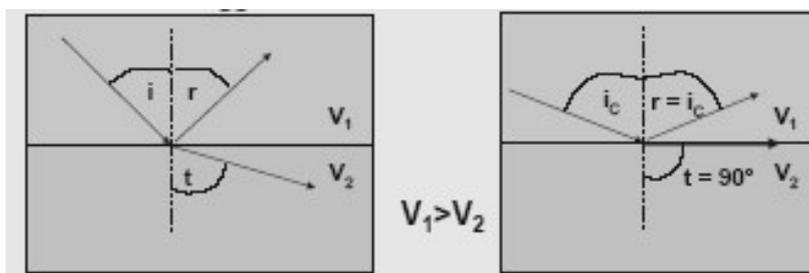
frequenza propria pari rispettivamente a 4,5 Hz;

- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.
- ***Cenni teorici del metodo***

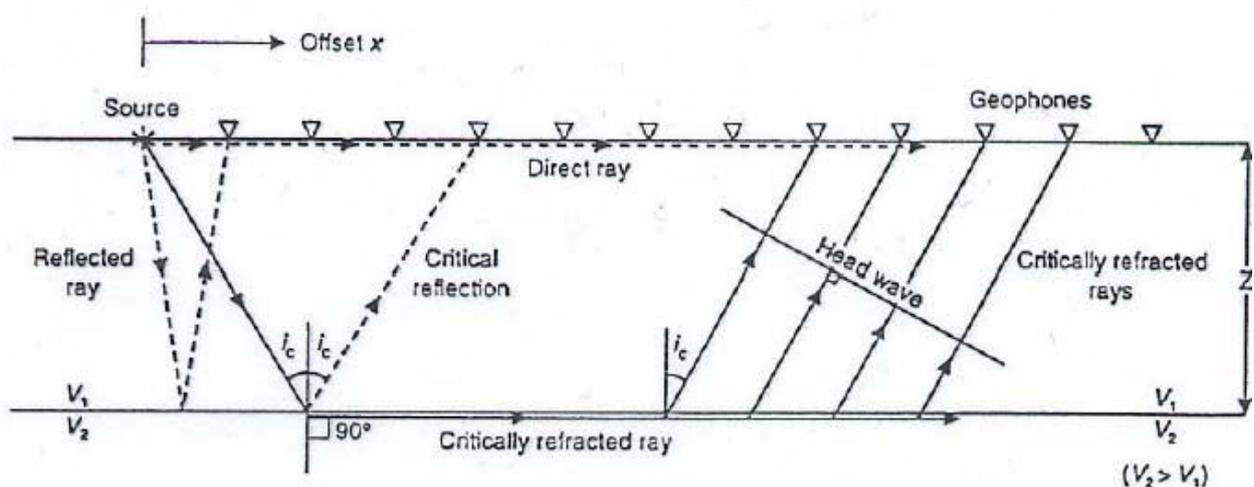
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico – meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici.

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (head wave):

le onde analizzate sono quelle birifratte cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di  $90^\circ$  propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche.

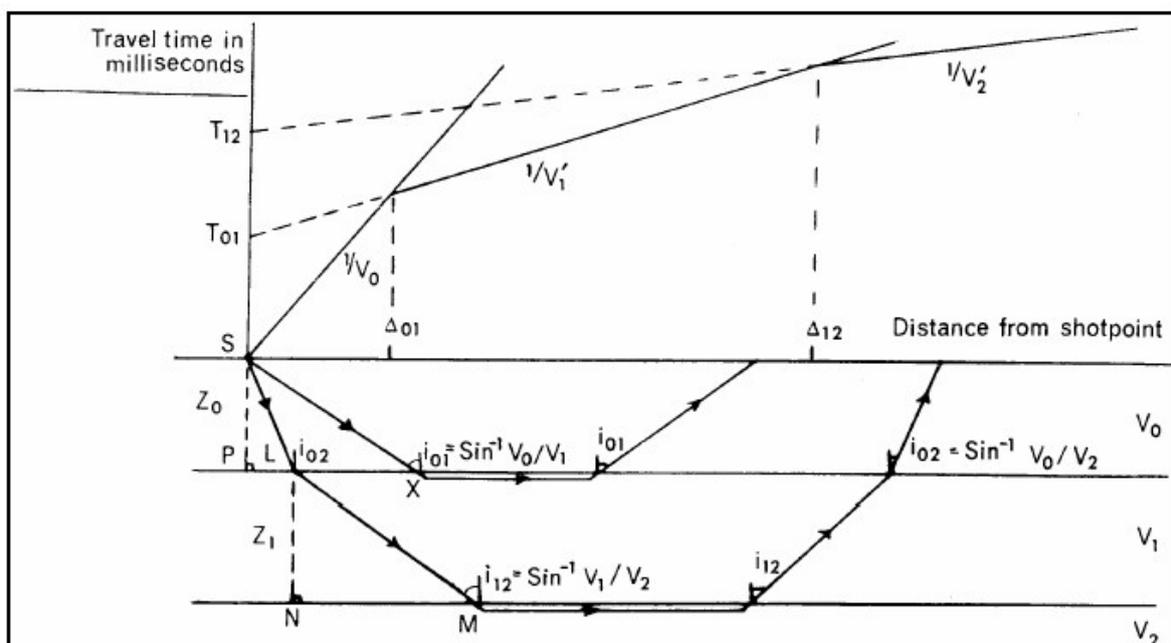


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità  $V_2$ , essa arriverà prima della diretta (come riportato nella figura seguente).



Se riportiamo in un semplice grafico x-y per ogni distanza di ciascun ricevitore il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi i punti si dispongono in una serie di allineamenti, di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta dromocrona ed è rappresentativa della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un rifrattore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso).

Di seguito a titolo esemplificativo si riportano le dromocrone relative ad un modello tristrato del sottosuolo: il coefficiente angolare della dromocrona passante per l'origine rappresenta l'inverso della velocità di propagazione delle onde elastiche nel primo strato ( $V_0$ ), i coefficienti angolari delle altre 2 dromocrone rappresentano l'inverso delle velocità dei due strati sottostanti ( $V_1$  e  $V_2$ ); un modello tristrato è caratterizzato da 2 rifrattori che separano 3 materiali caratterizzati da un diverso comportamento meccanico rappresentato da un modello di tipo elastico omogeneo, continuo ed isotropo.



L'intersezione tra due dromocrone è detto punto di ginocchio e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo rifratte: in un'indagine di sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati.

Pertanto più è profondo il rifratte più è distante dalla sorgente il rispettivo punto di ginocchio: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del rifratte e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di ricevitori.

Tramite semplici relazioni trigonometriche è possibile, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nei diversi strati omogenei del sottosuolo, conoscere gli spessori di ciascuno di essi: ciascun metodo presenta, in funzione delle ipotesi iniziali fissate, un diverso campo di applicabilità, ove è possibile considerare i risultati con un accettabile grado di affidabilità.

I principali limiti della tecnica di sismica a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta: tale situazione è nota come "orizzonte muto" e porta, oltre all'inconveniente di non considerare la presenza di

uno strato a comportamento diverso nel sottosuolo, alla sovrastima dello spessore dello strato sovrastante l'inversione di velocità.

Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile.

E' noto infatti che per essere visto uno strato deve poter essere campionato da almeno 2 geofoni e, se questo non avviene, lo strato è come se non esistesse e non se ne può valutare né velocità né spessore: tale fenomeno è noto come "orizzonte nascosto". Altra limitazione, in parte risolvibile, è quella del cambio di pendenza di una dromocrona dovuta non alla presenza di una nuova interfaccia di separazione tra due strati ma alle variazioni di inclinazione della stessa interfaccia.

Le prime due limitazioni rappresentano situazioni stratigrafiche che mal si prestano ad essere investigate col metodo di sismica a rifrazione in quanto portano a sovrastimare o sottostimare lo spessore delle coperture.

La terza limitazione rappresenta una delle situazioni stratigrafiche molto ricorrente in quanto è molto difficile in realtà trovare situazioni perfettamente piano parallele: è possibile tramite metodi di interpretazione particolari (delay-time o plus minus ed altri), che richiedono specifiche configurazioni degli stendimenti rispetto ai punti di energizzazione, ricostruire situazioni litostratigrafiche caratterizzate da interfacce di separazione anche molto articolate.

Se gli strati sono poco potenti con velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi,

con concavità rivolta verso l'alto ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva.

Sebbene nei casi reali si abbia a che fare con depositi stratificati, spesso fittamente e in maniera poco definita, con un'alternanza di strati caratterizzati da rigidità anche molto differenti (con inevitabili problemi di riflessione e rifrazione delle onde in corrispondenza delle superfici di discontinuità e/o di fratture), si assume che l'effetto delle onde dirette, in termini di ampiezza delle vibrazioni, sia predominante rispetto a quello delle onde indirette, tanto da potere trascurare queste ultime e considerare il mezzo, limitatamente all'area comprendente la sorgente e il ricevitore, come mezzo omogeneo, isotropo e non confinato, pur ben conoscendo i limiti di tale approssimazione. La velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ( $S_r = 100\%$ ) dipende talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione; invece le velocità delle onde S e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente le onde di superficie.

### ***Parametri elastici***

Le indagini sismiche con tecnica a rifrazione sono finalizzate alla determinazione diretta e continua lungo la verticale d'esplorazione della velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di volume di compressione (onde P) e alla determinazione indiretta, per mezzo di tali valori di velocità, di alcune proprietà meccaniche del materiale in questione. Si assume che il terreno esplorato abbia un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (ipotesi peraltro giustificata dall'esperienza in base alla quale le deformazioni tangenziali prodotte dalle onde sismiche sono spesso inferiori a 10-3% e quindi al di sotto della soglia di linearità). Pertanto in base alla teoria della elasticità sussistono specifiche relazioni tra i valori di velocità di propagazione delle onde P ( $V_P$ ), delle onde S ( $V_S$ ) e delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) ed alcune delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato, quali il modulo di compressibilità volumetrica  $E_v$  o  $K$ , il modulo di Young  $E$ , il coefficiente di Poisson  $\nu$  e il modulo di deformazione a taglio  $G$ .

$$G = \rho \cdot V_s^2$$
$$E_v = \rho \cdot \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$
$$G = \rho \cdot V_s^2; \nu = \frac{0.5 \cdot \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right) - 1}$$
$$E = 2\rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)$$
$$\frac{V_R}{V_s} = \frac{0.862 + 1.14 \cdot \nu}{1 + \nu}$$

dove  $\rho$  rappresenta la densità del mezzo

$\gamma = \rho \cdot g$  il peso di volume

$g$  rappresenta l'accelerazione di gravità.

Il rapporto tra  $V_p$  e  $V_s$  può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei porous-media. Alcuni Autori (Gardner & Harris, 1968) affermano che rapporti maggiori di 2 si riscontrano in presenza di sabbie saturate non consolidate; alti rapporti risultano altresì per terreni incoerenti argillo-limosi ad alto grado di saturazione.

Valori inferiori a 2 si registrano in presenza di rocce compatte o sedimenti gas saturati. In rocce saturate tale rapporto risulta dipendente dalla litologia, dalla quantità e geometria dei pori e dalle microfratture e potrebbe, nota la litologia, fornire indicazioni su questi ultimi due parametri.

Il Coefficiente di Poisson  $\nu$  è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare secondo GREGORY (1976) a valori negativi. I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Il Modulo di taglio  $G$  è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei porous media è molto esteso.

Il Modulo di Young  $E$  dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Aumenta in misura considerevole quando al campione “dry” a bassa porosità vengono aggiunte piccole quantità di acqua, diminuisce quando un campione ad alta porosità viene sottoposto allo stesso trattamento. I minimi valori del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi sotto pressione saturati in acqua ed a bassa porosità. Il campo di variabilità è considerevole.

### ***Metodologia***

Lo scopo della prova consiste nel caratterizzare dinamicamente, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione ( $V_p$ ), le unità litologiche presenti nell'area di indagine.

La tecnica di esplorazione trova il suo miglior campo di applicazione con profondità delle coperture da esplorare inferiore ai 20-30 m. Si rende necessaria soprattutto quando i risultati da ottenere devono essere di qualità e precisione discrete e quando interessano dati medi relativi ad ampi volumi di terreno.

La lunghezza dello stendimento di geofoni di 115 m rappresenta un valore limite per il sistema di energizzazione utilizzato, in quanto i segnali ricevuti risultano sensibilmente disturbati soprattutto in corrispondenza dei geofoni più lontani dal punto di energizzazione. L'entità del disturbo è molto variabile in funzione delle caratteristiche litologiche e meccaniche del sottosuolo. L'interpretazione dei segnali

rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione del primo arrivo in P attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro;
- Ricostruzione delle dromocrone in P e scelta del modello di sottosuolo utilizzato nell'interpretazione;
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello del sottosuolo con calcolo della profondità di ciascun strato omogeneo, continuo ed isotropo tramite il metodo del tempo di intercetta applicabile a ciascun punto di scoppio (metodo a griglia shot-point); questo metodo è applicabile in situazioni litostratigrafiche approssimabili a modelli stratificati a strati piani orizzontali e/o inclinati.

Per le analisi interpretative sono stati utilizzati i software:

- *InterSism* versione 2.1 - Seismic Refraction Processing Software della Geo&Soft;
- *WinMASW 4.0* Standard – Multichannel Analysis of Surface Waves – per la determinazione dei profili verticali Vs della EliaSoft.

Non si è ritenuto necessario, date le finalità dell'indagine, applicare metodi interpretativi più complessi che peraltro necessitano di maggior onere economico nell'acquisizione dei dati (minimo 7 shots) e rendono più difficile l'individuazione di aree adatte all'indagine.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.

In funzione del modello scelto viene individuato l'insieme di situazioni monodimensionali in grado di rappresentare l'area di studio e si propone un possibile gradiente di variazione delle proprietà meccaniche dei materiali con la profondità.

Tali modelli sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che gli andamenti dei rifrattori individuati possono non essere coincidenti con quelli reali in quanto valutati tramite un solo stendimento; al fine di individuare le reali geometrie dei sismostrati sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente.

### ***Interpretazione e risultati***

L'indagine geosismica è consistita nell'esecuzione di una Base Sismica di superficie, siglata BASE 1, in P.

Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione due estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE\_1 risulta di **23,0 m**.

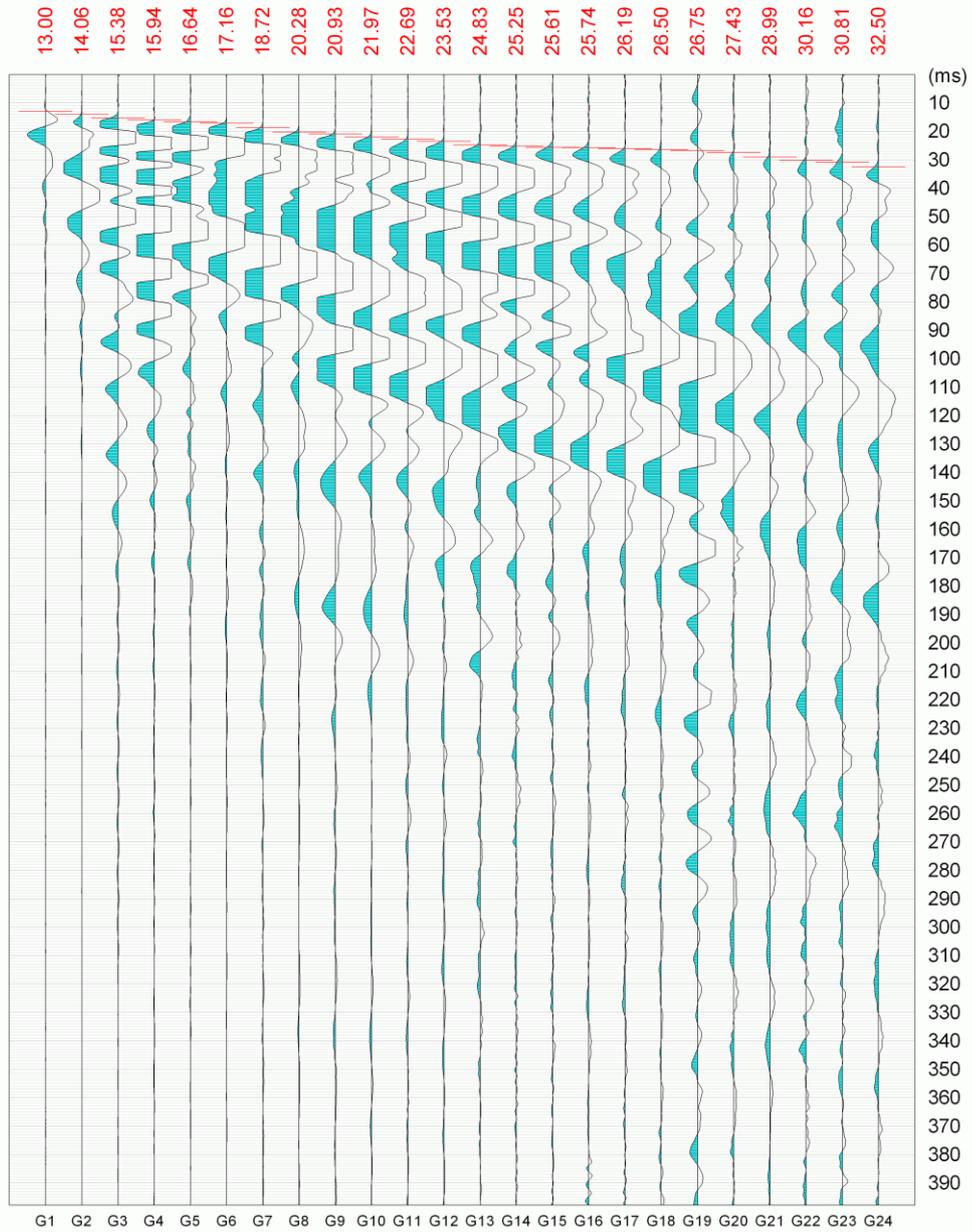
La topografia della superficie è del tutto pianeggiante sul tratto investigato ed è stata pertanto assegnata allo stendimento la quota relativa 0 m.

### ***Registrazione Onde P***

Le registrazioni per ciascun punto di scoppio sono state campionate con un intervallo di 400 microsecondi, senza utilizzo di filtro hardware. Di seguito si riportano i sismogrammi multishot acquisiti:

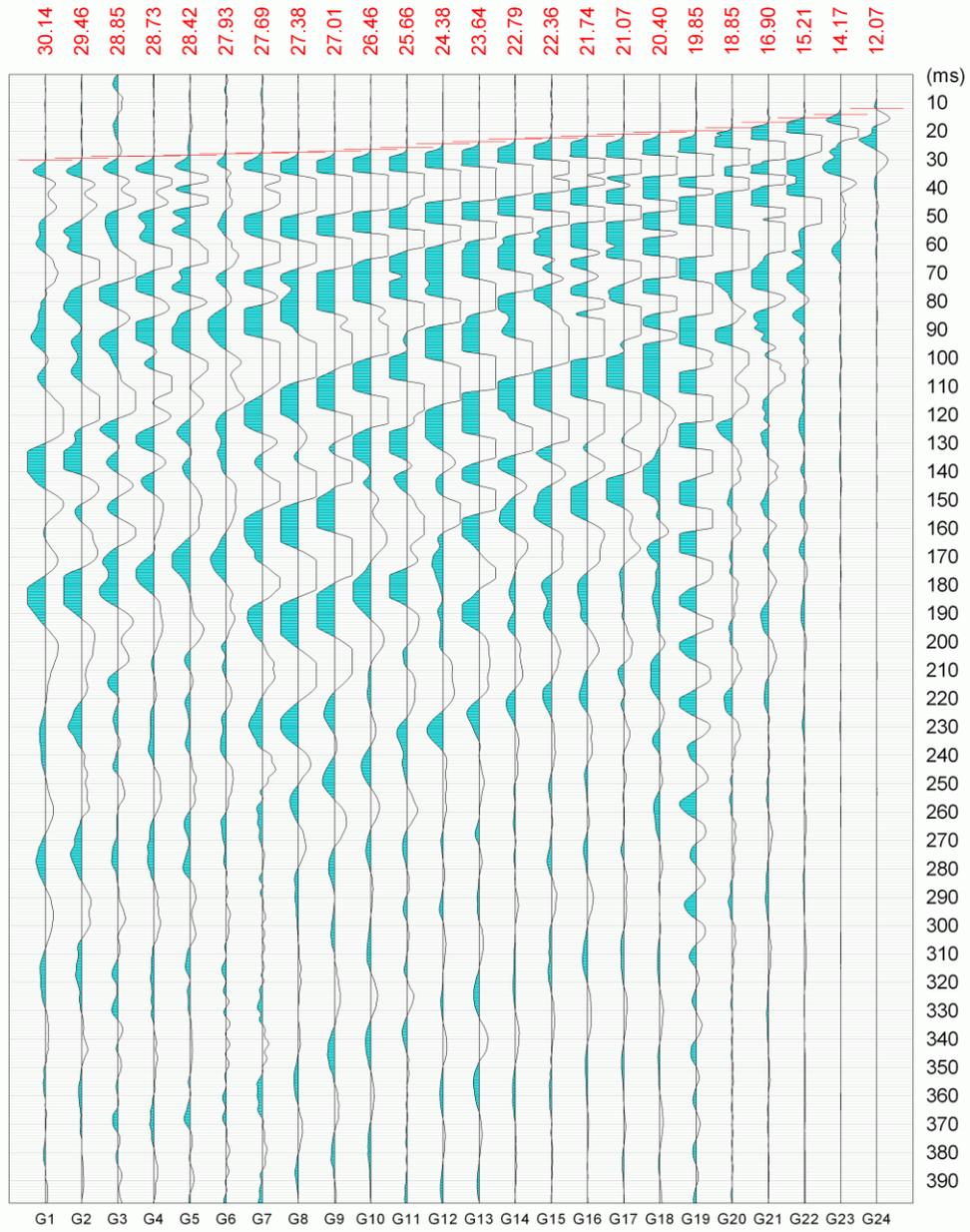
# Comune di Bonefro-Casacalenda-Ripabottoni

## Base sismica 1



# Comune di Bonefro-Casacalenda-Ripabottoni

## Base sismica 1



## ***Prova sismica multicanale MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)***

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

La strumentazione utilizzata è la stessa della sismica a rifrazione, utilizzando **24** geofoni, la distanza intergeofonica di **1,0** metro, l'intero stendimento è di **23,0** m; le registrazioni per ciascun punto di scoppio (1 m; 3 m) sono state campionate con un intervallo di 1 secondo, senza utilizzo di filtri hardware.

L'elaborazione dati nell'analisi MASW può essere ricondotta in due fasi:

- Determinazione della Curva di Dispersione (valutazione dello spettro di velocità)
- Inversione della Curva di Dispersione

## ***Modello geofisico e geologico interpretativo***

Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine e che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale: nel caso in esame la risoluzione del metodo non permette precisioni in termini di spessore inferiori al metro e i valori di velocità  $V_p$  e  $V_s$  sono da intendere come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata. Pertanto si è proceduto all'interpretazione geofisico – geologica: -

individuando preliminarmente le unità geofisiche omogenee dal punto di vista delle onde P ( $V_P$ ); -  
sovrapponendo i limiti individuati dalle prove MASW.

Ciascuna unità geofisica così individuata è da intendersi costituita da materiale continuo, omogeneo ed elastico, le cui proprietà elastiche variano verticalmente in modo lineare da un valore minimo ad un valore massimo definito dall'intervallo di valori ad essa associati: a ciascuna unità è possibile assegnare un unico valore di  $V_P$  e  $V_S$  pari al valore medio dell'intervallo assegnato, mentre a tutto il modello è possibile associare uno o più gradienti di  $V_P$  e  $V_S$  con la profondità, in funzione delle variabilità laterali.

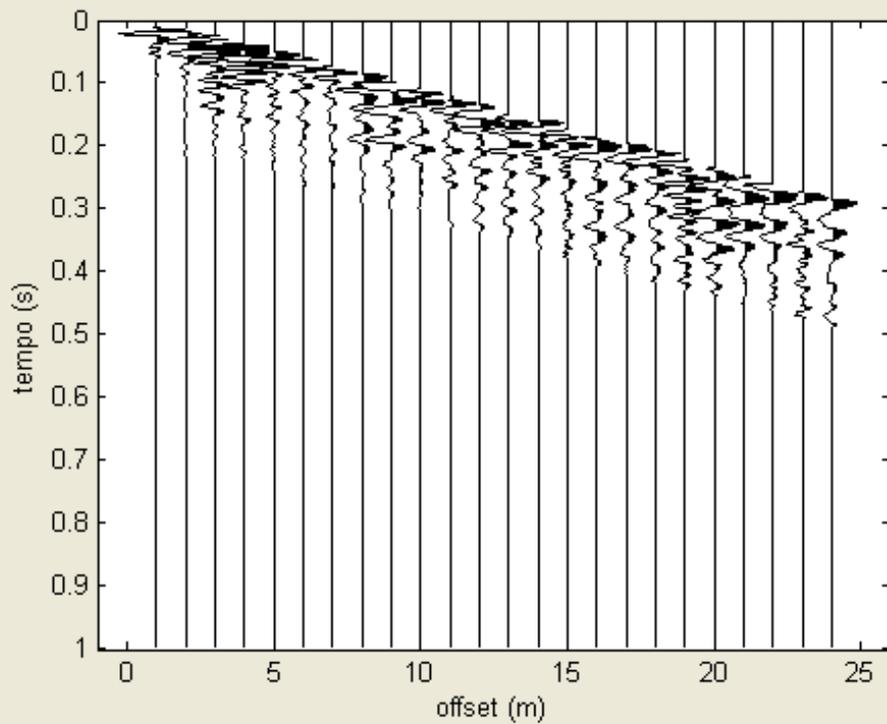
In allegato si riporta l'interpretazione della sezione sismica e le foto effettuate durante l'indagine, per l'area indagata.

Di seguito si riportano i risultati della prova MASW (Base 1)

**Primo: trattamento dati**

dataset: 1m 80.SGY  
offset minimo: 1 m  
distanza intergeofonica: 1 m  
campionamento: 0.131 ms

**Tracce normalizzate**



Utilità

ruota le tracce

movie

?

Seleziona dati

Attiva

Seleziona

20

Annulla

Salva



Invia e-mail

ver. 4.0 Standard

**Secondo: determinazione spettro di velocità e picking**

calcolo spettro di velocità

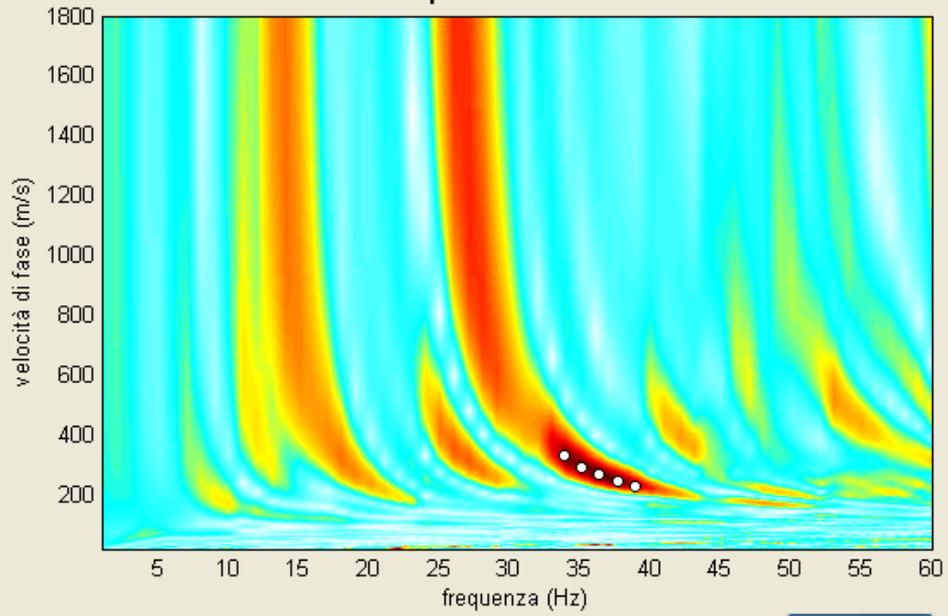
Tau - v

visualizza curve

input curva

?

**Spettro di Velocità**



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri

salva modello

carica modello

3

?

refresh

picking

modo fondamentale

?

selezionare l'ultimo punto del modo  
utilizzando il tasto destro

salva picking

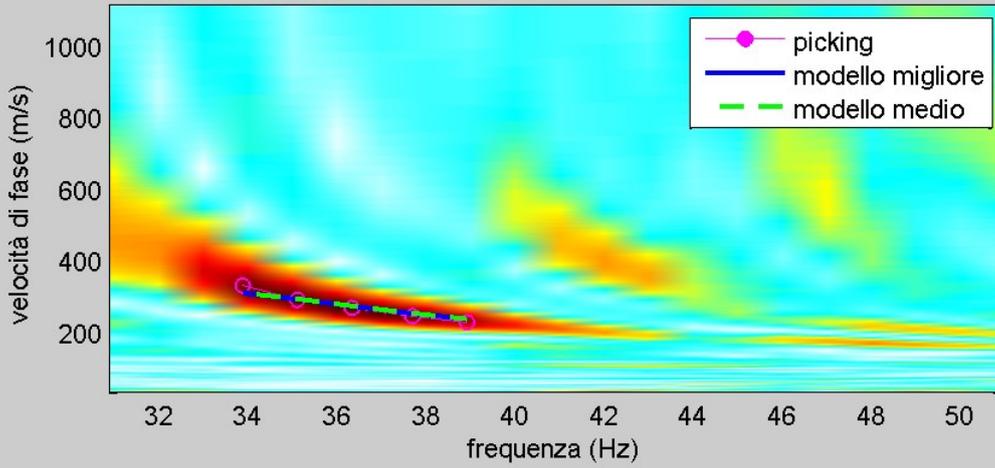
?

cancella picking

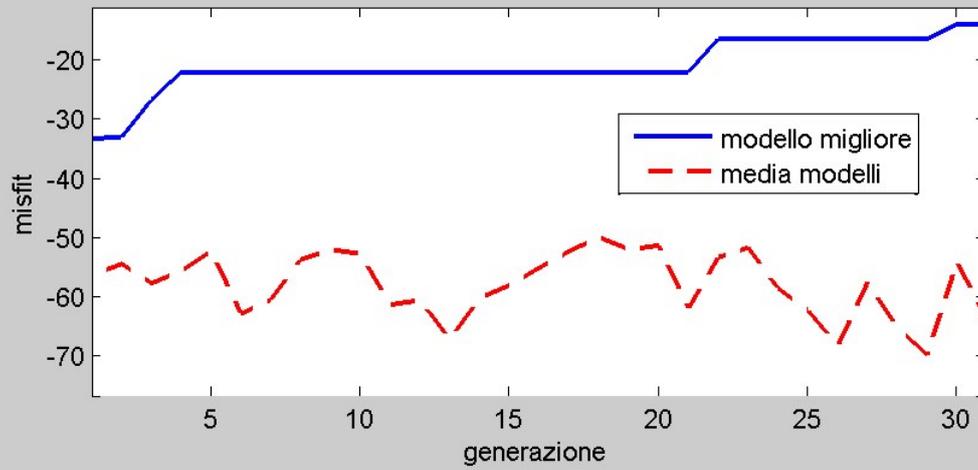
Inverti

Esci

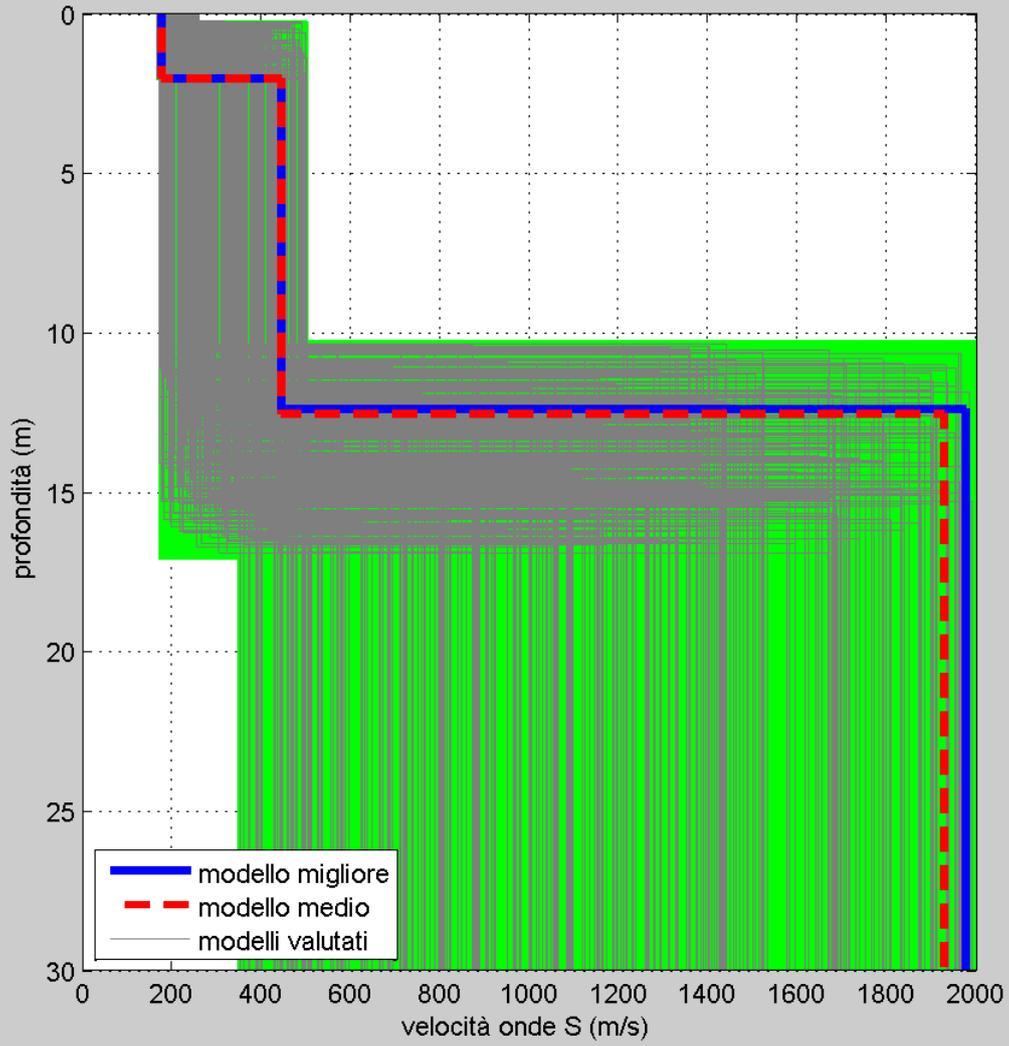
### spettro di velocità e curve di dispersione



### evoluzione misfit



### Profilo verticale Vs



dataset: 1m 80.SGY

curva di dispersione: 1m 80 Bonefro.cdp

modello migliore VS30: 686 m/s

modello medio VS30: 678 m/s

## **Modello medio**

VS (m/s): 177, 444, 1925

Deviazioni Standard (m/s): 0, 0, 0

Spessori (m): 2.0, 10.5

Deviazioni Standard (m): 0.0, 0.0

## **Tipo di analisi: onde di Rayleigh**

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm<sup>3</sup>): 1.80, 2.04, 2.40

Modulo di Poisson: 0.33, 0.36, 0.37

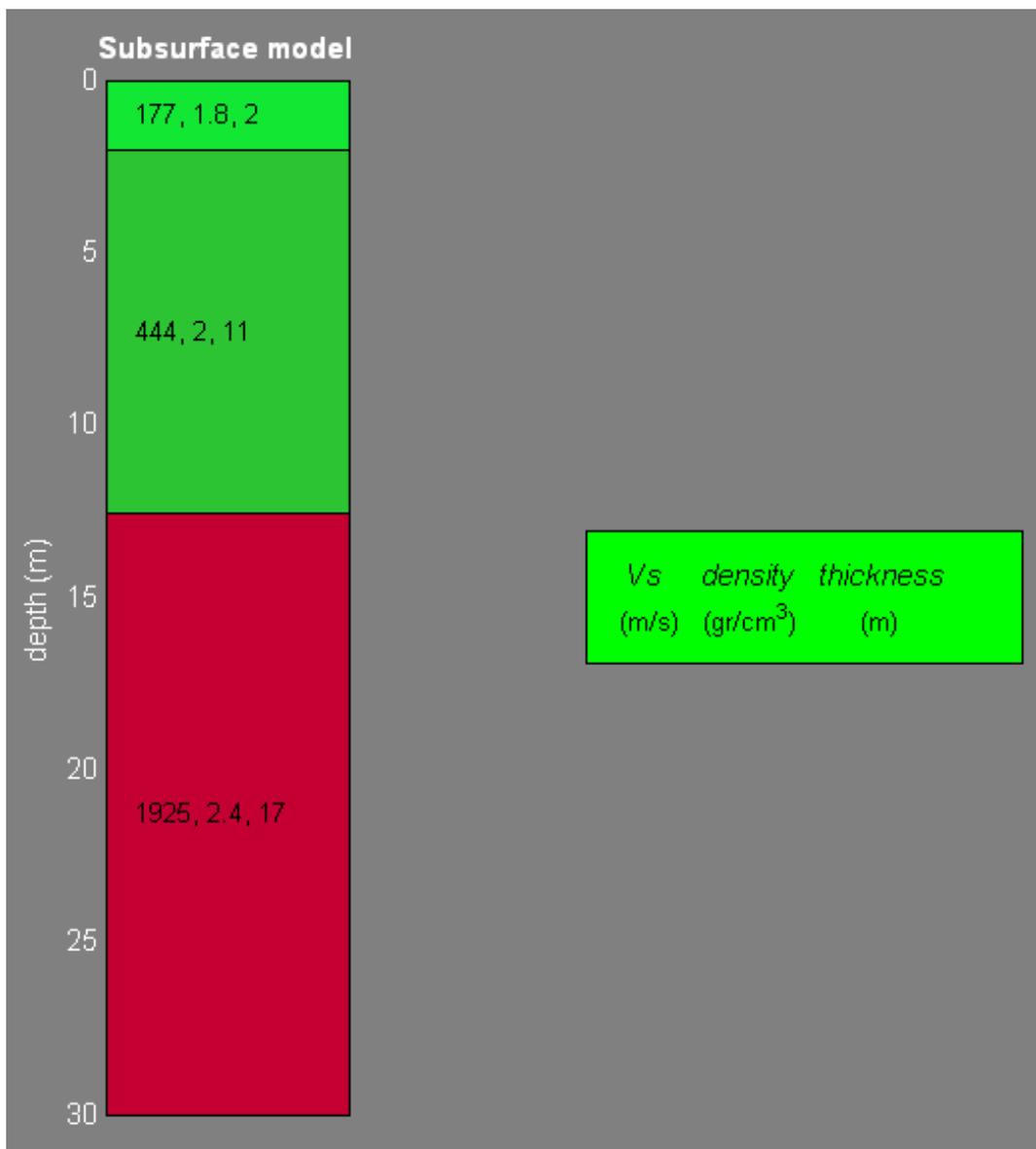
Modulo di taglio (MPa): 56, 403, 8896

Modulo di compressione (MPa): 151, 1338, 2944

Modulo di Young (MPa): 151, 1098, 2424

Modulo di Lamé (MPa): 113, 1070, 2351

VS30 (m/s): 678



Dal modello geofisico sopra riportato è possibile definire la situazione monodimensionale più sfavorevole dal punto di vista dei fenomeni di amplificazione sismica litologica, assegnando valori medi di  $V_s$  e valori massimi dello spessore di ciascuna unità e calcolando un opportuno gradiente fino a 30 m per definire il parametro  $V_{s30}$  da normativa nazionale e fino al bedrock geofisico per definire il parametro T (periodo proprio del sottosuolo).

## CONCLUSIONI

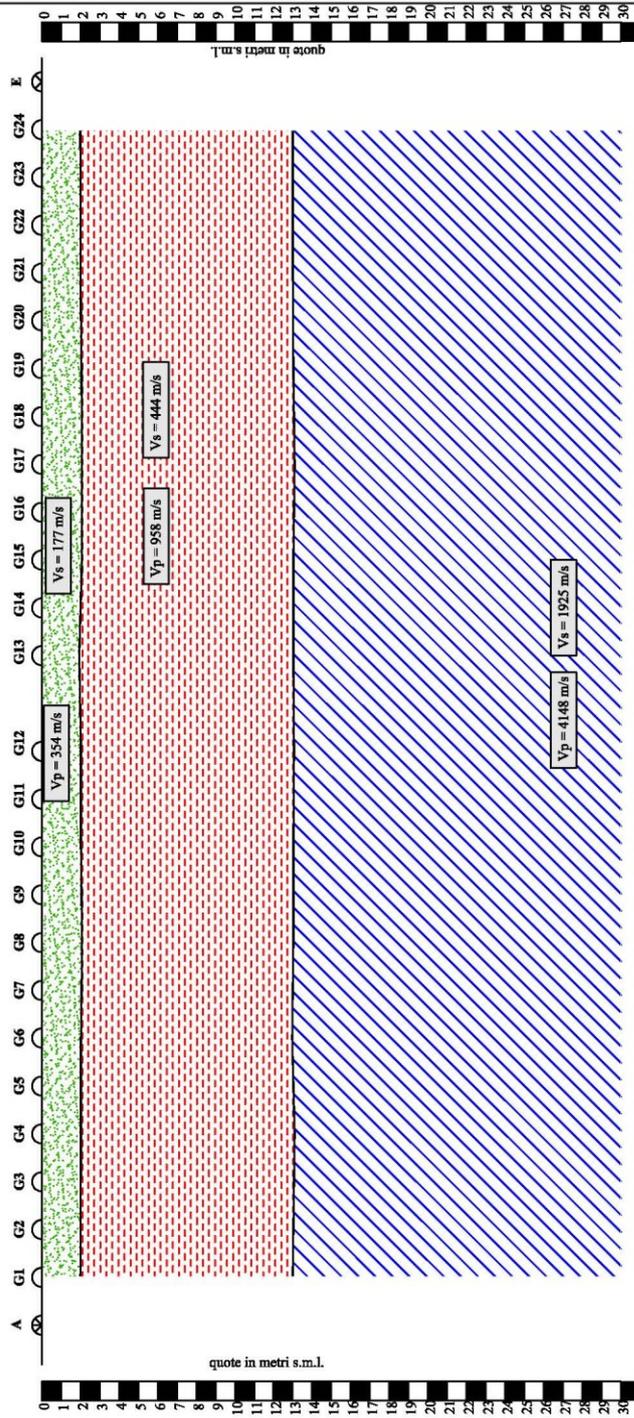
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- Le linee sismiche evidenziano principalmente 3 sismostrati:
  - *Sismostrato superficiale*, coltre superficiale con  $V_p \approx 354$  m/s e  $V_s \approx 177$  m/s, di spessore di circa 2,0 m;
  - *Sismostrato intermedio*, substrato intermedio con  $V_p \approx 958$  m/s e  $V_s \approx 444$  m/s;
  - *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con  $V_p \approx 4148$  m/s e  $V_s \approx 1925$  m/s, rinvenuto ad una profondità di  $\approx 12,5$  m.
- Il sito indagato è compreso, con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003, nella **zona 2** della classificazione sismica del territorio nazionale, con  $a_g = 0,25$ .
- Alla luce dei dati emersi dall'indagine sismica, si riporta una tabella riassuntiva in cui sono indicati i principali moduli per i diversi sismostrati.

Sismostrati	Velocità onde P $V_p$ (m/s)	Velocità onde S $V_s$ (m/s)	Densità $\gamma$ ( $\text{gr/cm}^3$ )	Modulo di Poisson $\nu$	Modulo di Taglio $G$ (MPa)	Modulo di Compressione $K$ (MPa)	Modulo di Young $E$ (MPa)	Modulo di Lamé $\mu$ (MPa)
Superficiale	354	177	1,80	0,33	56	151	151	113
Intermedio	958	444	2,04	0,36	403	1338	1098	1070
Fondo	4148	1925	2,40	0,37	8896	2944	2424	2351

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è  $V_{s30} = 678$  m/s.

# SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - BASE SISMICA B.S.I



SISMOSTRATI	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\nu$	K (MPa)	E (MPa)	$\mu$ (MPa)
1	354	177	1,80	0,33	56	151	113
2	958	444	2,04	0,36	403	1098	1070
3	4148	1925	2,40	0,37	8896	2944	2351

LEGENDA	
	GEOFONI
	PUNTI DI SCOPPIO
	1,0 mt
	23,0 mt
	24
	2

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

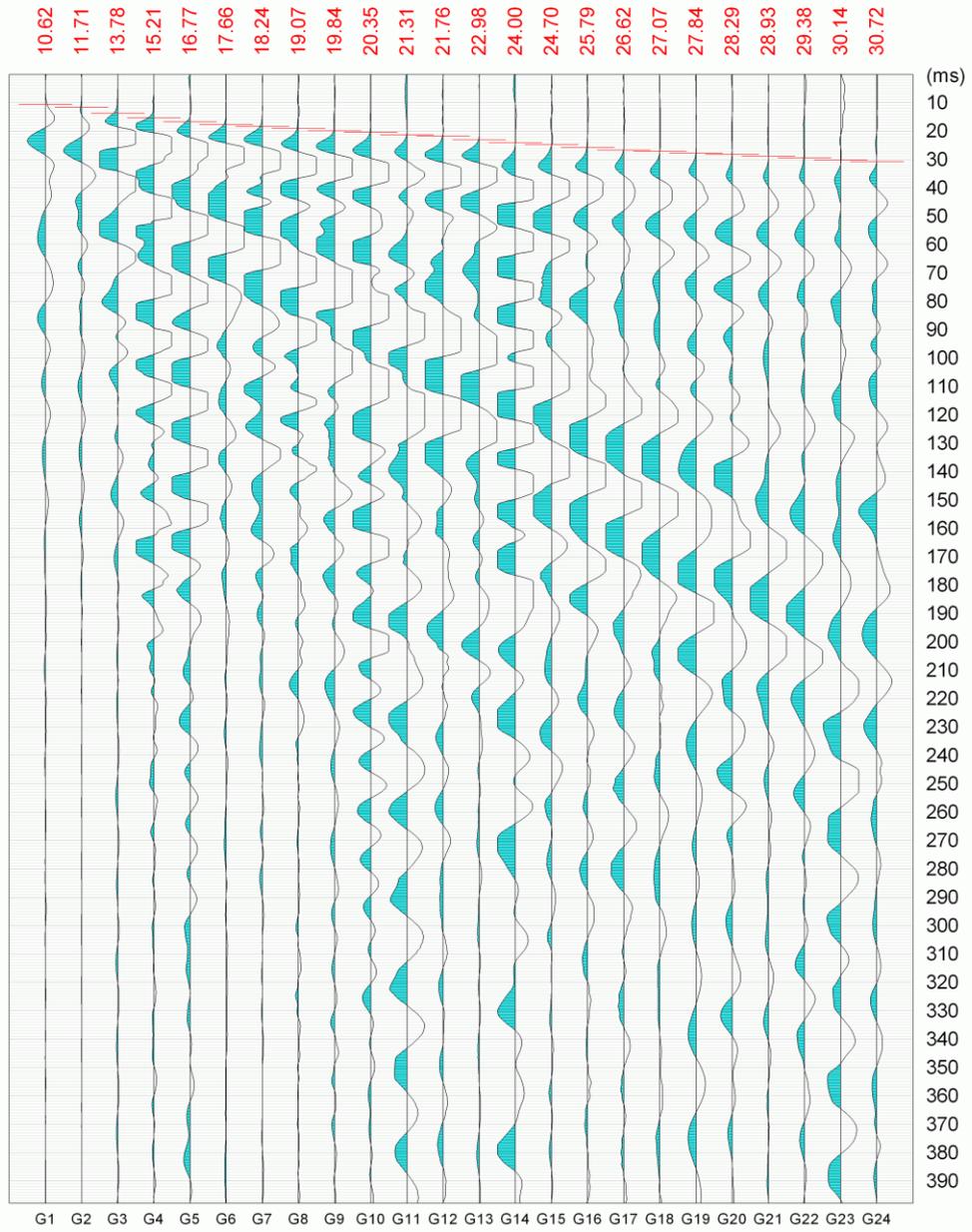


## *Registrazione Onde P*

Le registrazioni per ciascun punto di scoppio sono state campionate con un intervallo di 400 microsecondi, senza utilizzo di filtro hardware. Di seguito si riportano i sismogrammi multishot acquisiti:

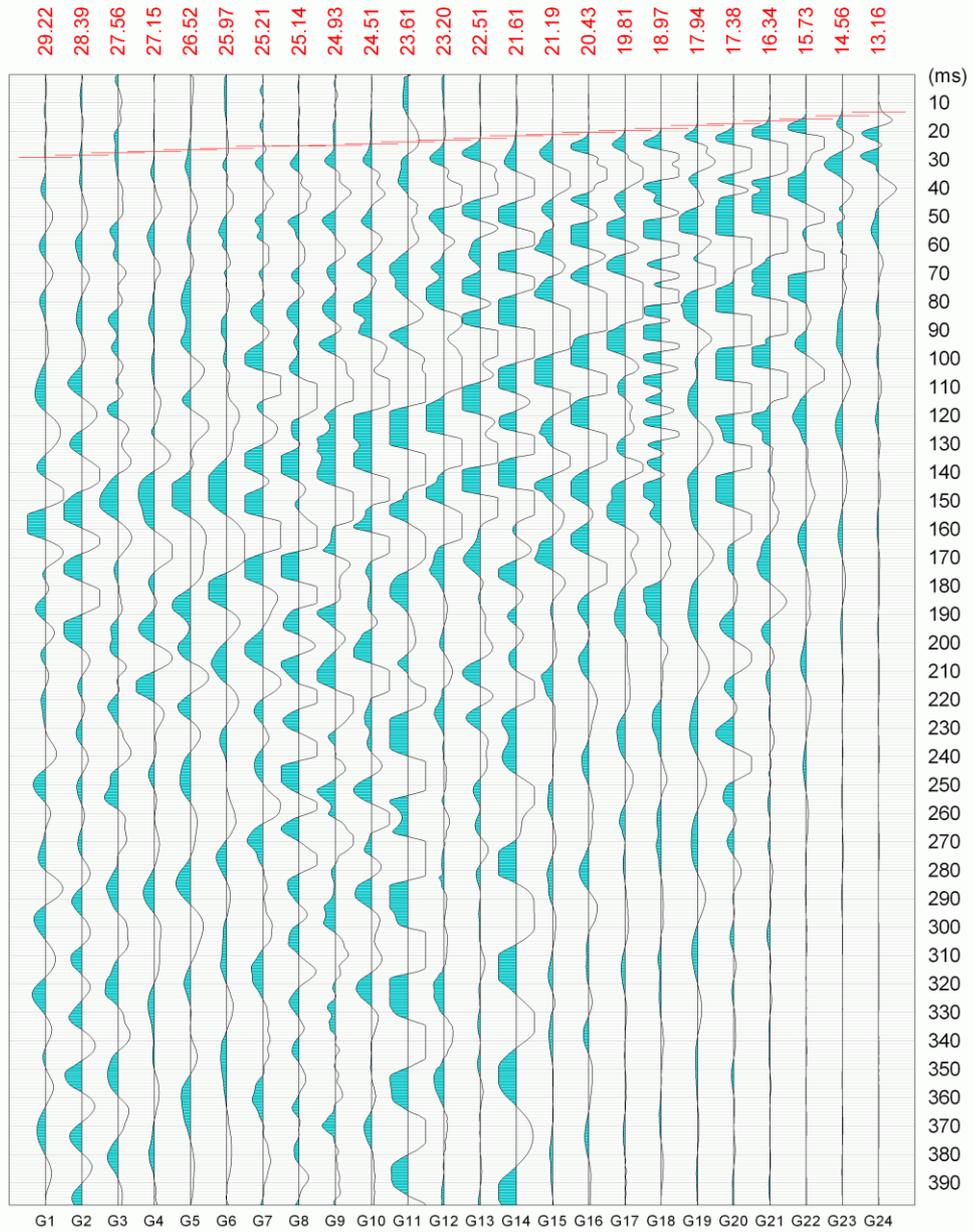
Comune di Bonefro-Casacalenda-Ripabottoni

Base sismica 2

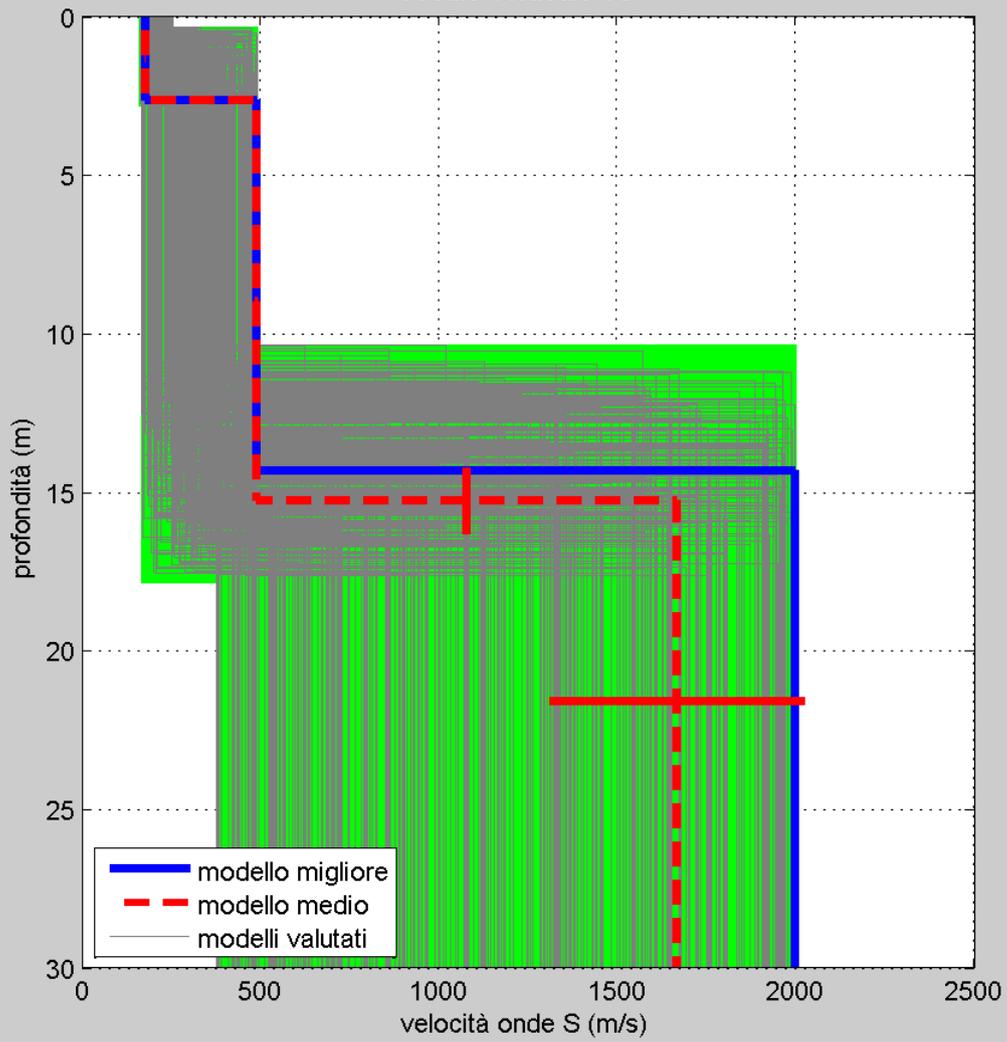


Comune di Bonefro-Casacalenda-Ripabottoni

Base sismica 2



### Profilo verticale Vs



dataset: 3m 80.SGY

curva di dispersione: 3m 80 Bonefro 2.cdp

modello migliore VS30: 642 m/s

modello medio VS30: 604 m/s

## **Modello medio**

VS (m/s): 178, 487, 1664

Deviazioni Standard (m/s): 0, 3, 356

Spessori (m): 2.6, 12.6

Deviazioni Standard (m): 0.0, 1.0

## **Tipo di analisi: onde di Rayleigh**

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm<sup>3</sup>): 1.81, 2.07, 2.41

Modulo di Poisson: 0.35, 0.36, 0.41

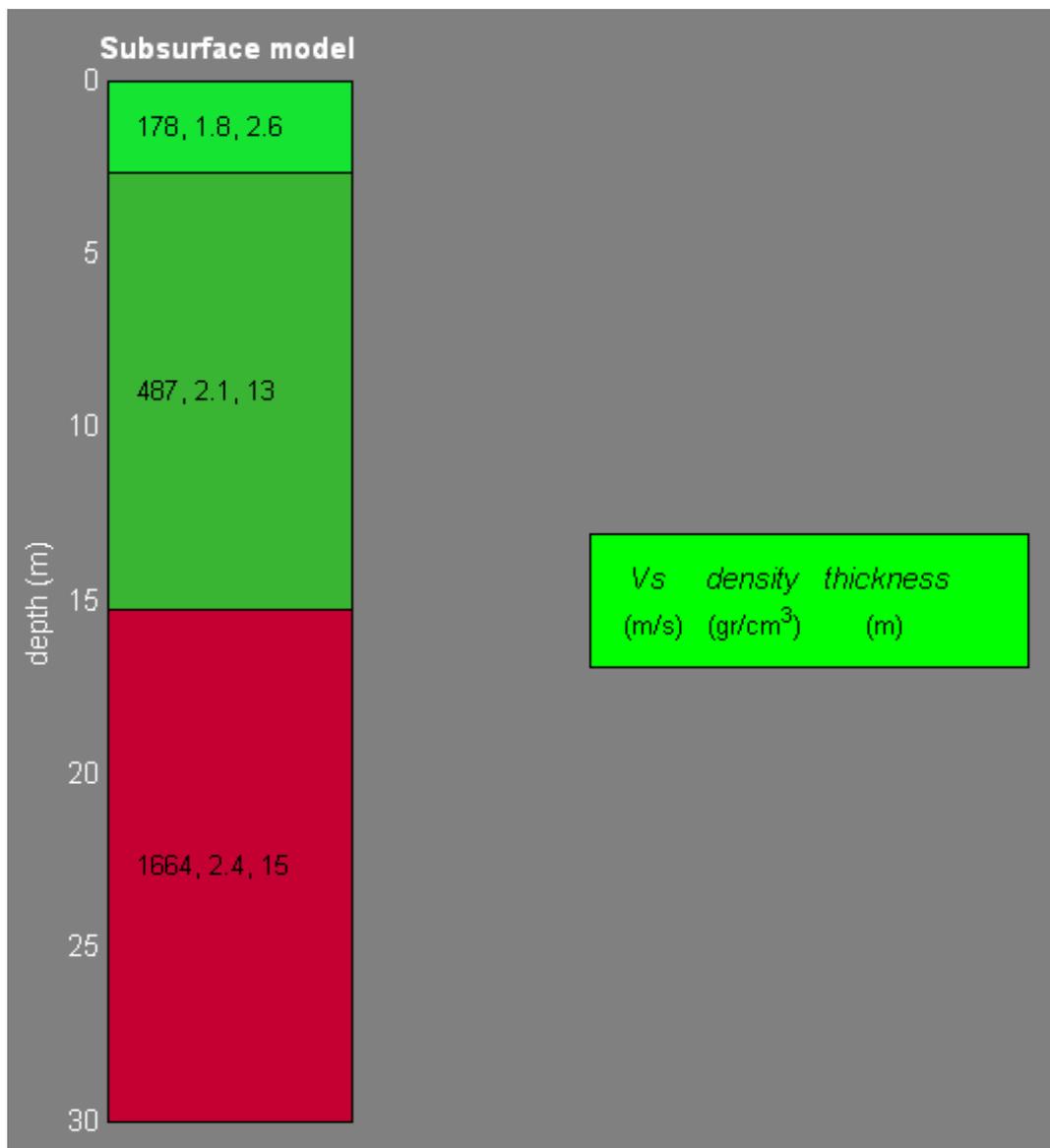
Modulo di taglio (MPa): 57, 490, 6660

Modulo di compressione (MPa): 172, 1633, 3409

Modulo di Young (MPa): 155, 1336, 1875

Modulo di Lamé (MPa): 133, 1307, 2965

VS30 (m/s): 604



Dal modello geofisico sopra riportato è possibile definire la situazione monodimensionale più sfavorevole dal punto di vista dei fenomeni di amplificazione sismica litologica, assegnando valori medi di  $V_s$  e valori massimi dello spessore di ciascuna unità e calcolando un opportuno gradiente fino a 30 m per definire il

parametro Vs30 da normativa nazionale e fino al bedrock geofisico per definire il parametro T (periodo proprio del sottosuolo).

## CONCLUSIONI

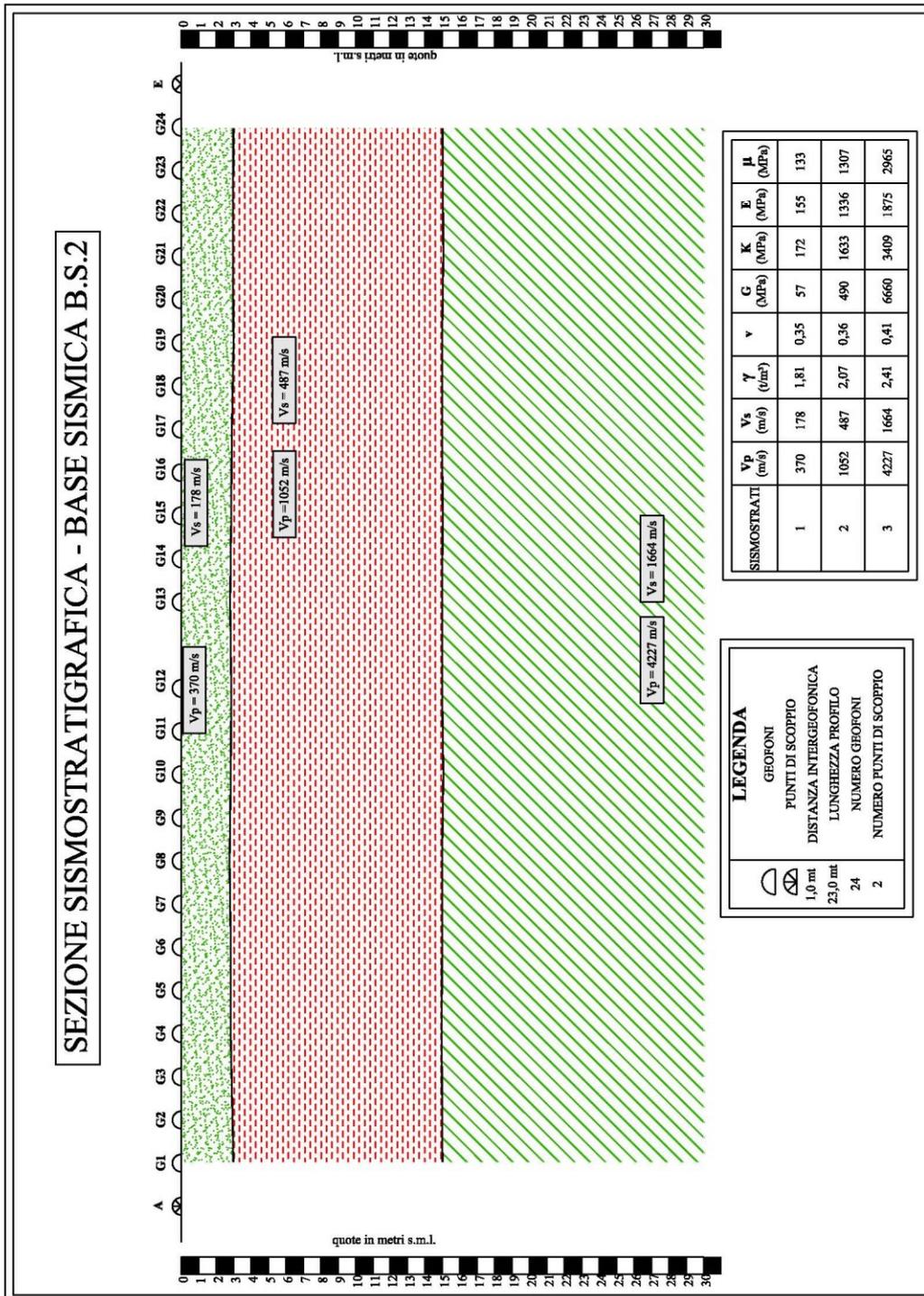
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- Le linee sismiche evidenziano principalmente 3 sismostrati:
  - *Sismostrato superficiale*, coltre superficiale con  $V_p \approx 370$  m/s e  $V_s \approx 178$  m/s, di spessore di circa 2,5 m;
  - *Sismostrato intermedio*, substrato intermedio con  $V_p \approx 1052$  m/s e  $V_s \approx 487$  m/s;
  - *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con  $V_p \approx 4227$  m/s e  $V_s \approx 1664$  m/s, rinvenuto ad una profondità di  $\approx 15,0$  m.
- Il sito indagato è compreso, con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003, nella **zona 2** della classificazione sismica del territorio nazionale, con  $a_g = 0,25$ .
- Alla luce dei dati emersi dall'indagine sismica, si riporta una tabella riassuntiva in cui sono indicati i principali moduli per i diversi sismostrati.

Sismostrati	Velocità onde P $V_p$ (m/s)	Velocità onde S $V_s$ (m/s)	Densità $\gamma$ ( $\text{gr/cm}^3$ )	Modulo di Poisson $\nu$	Modulo di Taglio $G$ (MPa)	Modulo di Compressione $K$ (MPa)	Modulo di Young $E$ (MPa)	Modulo di Lamé $\mu$ (MPa)
Superficiale	370	178	1,81	0,35	57	172	155	133

Intermedio	1052	487	2,07	0,36	490	1633	1336	1307
Fondo	4227	1664	2,41	0,41	6660	3409	1875	2965

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è  $V_{s30} = 604$  m/s.



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



# VERIFICA AL COLLASSO PER CARICO LIMITE PER IL SISTEMA TERRENO-FONDAZIONE

## CONDIZIONI NON DRENATE

### 1 COMBINAZIONE DI CALCOLO E PARAMETRI SISMICI

Condizione di verifica: APPROCCIO 2 --- Combinazione (A1+M1+R3)

Secondo la combinazione: SISMICA

AZIONI	A
$\gamma G1$	1,00
$\gamma G2$	1,00
$\gamma Qk$	1,00

GEOTECNICA	M
$Tan(\phi'),k$	1,00
$c',k$	1,00
$c_u,k$	1,00
$\gamma,k$	1,00

RESISTENZE	R
capacità portante	2,30
scorrimento	1,10

Accelerazione massima su suolo rigido

Coefficiente di amplificazione spettrale

Periodo di inizio tratto a velocità costante

Categoria di sottosuolo

Categoria topografica

Coefficiente di riduzione dell'accelerazione

Coefficiente sismico orizzontale

Coefficiente sismico verticale

$a_g$	1,570 m/s <sup>2</sup>
$F_0$	2,4
$T_c^*$	0,301 s
	C
	T1
$\beta_m$	0,380
$K_h$	0,089
$K_v$	0,045

### 2 DATI DI PROGETTO

angolo di attrito

Resistenza a taglio non drenata

P.S. terreno sopra il piano di posa.

P.S. terreno sotto il piano di posa.

P.S. medio del terreno

inclinazione piano posa

inclinazione piano campagna

Profondità della curva di scorrimento

$\phi,d$	0,00 °
$c_u,d$	60,00 kPa
$\gamma_{f,sopra,d}$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{f,sotto,d}$	19,0 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{f,medio}$	18,8 kN/m <sup>3</sup>
$\alpha$	0,00 °
$\omega$	0,00 °
$H_{scor.}$	7,80 m

Base

Lunghezza

Base ridotta

Lung. Ridotta

Altezza zattera

Affondamento

Altezza magrone

<b>B</b>	10,00
<b>L</b>	26,00
<b>B*</b>	9,63
<b>L*</b>	25,63
<b>H</b>	2,00
<b>D</b>	2,60
<b>Hm</b>	0,10

Carico verticale	<b>V,d</b>	14404,0 kN
Carico Orizzontale	<b>H,d</b>	1369,5 kN
Momento Sollecitante b	<b>Mb,d</b>	2676,9 kNm
Momento Sollecitante l	<b>Ml,d</b>	2676,9 kNm
Taglio Sismico	<b>H,s</b>	1287,5 kN

### 3 FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE

<b>N<sub>v,0</sub></b>	0,00
<b>N<sub>c,0</sub></b>	5,14
<b>N<sub>q,0</sub></b>	1,00

Secondo Vesic (1973)

Secondo Vesic (1970)

Secondo Prandtl (1921)

### 4 COEFFICIENTI CORRETTIVI

Coefficienti di forma	
<b>S<sub>c,0</sub></b>	1,075

Coefficienti di profondità	
<b>d<sub>c,0</sub></b>	1,108

Coefficienti di inclinazione del carico	
<b>i<sub>c,0</sub></b>	0,969
mb	1,727
ml	1,273
m	1,500
ϕ	45,00 °

Coefficienti di inclinazione del piano campagna	
<b>b<sub>c,0</sub></b>	1,000

Coefficienti di inclinazione del piano di posa della fondazione	
<b>g<sub>c,0</sub></b>	1,000

Coefficienti Paolucci e Pecker (1997)	
<b>Z<sub>c,0</sub></b>	0,971

## 5 REGOLA DI MEYERHOF

$e_b$	0,19 m
$B^*$	9,63 m

$e_L$	0,19 m
$L^*$	25,63 m

## 6 CARICO LIMITE

$q_{lim}$	392,7	[kN/m <sup>2</sup> ]
-----------	-------	----------------------

$Q_{lim}$	96901,8	[kN]
-----------	---------	------

$$q_{lim} = c_u N_{c,0} s_{c,0} d_{c,0} i_{c,0} b_{c,0} z_{c,0} + q$$

 contributo forze di **coesione**
 contributo **sovraccarico**

 contributo forze di **coesione**
 contributo **sovraccarico**

## 7 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

(ROTTURA GENERALE)

$E_d$  14404,0 [kN]

$R_d$  42131,2 [kN]

$e_d$  58,4 [kPa]

$r_d$  170,7 [kPa]

$E_d \leq R_d$

verificato

2,92

## 8 VERIFICA A SCORRIMENTO

$E_d$  1369,5 [kN]

$R_d$  344943,8 [kN]

$E_d \leq R_d$

verificato

251,88

Vuoi trascurare la spinta passiva nella verifica a scorrimento?

si

Altezza per la spinta passiva

2,30 m

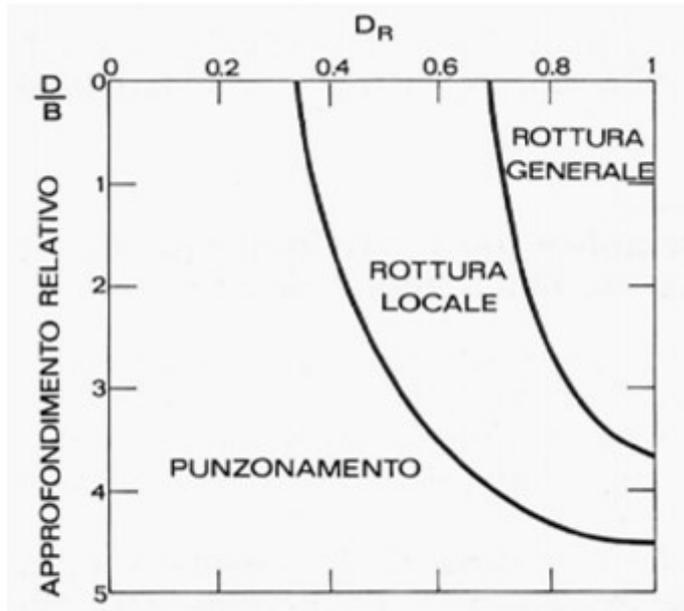
La resistenza laterale della fondazione, allo scorrimento viene trascurata

### 9 ROTTURA PER PUNZONAMENTO

Questo tipo di rottura richiede una significativa variazione di volume del terreno, perciò non può verificarsi in condizioni drenate in cui per ipotesi il terreno è incomprimibile. La verifica si applica soprattutto in terreni sabbiosi sciolti.

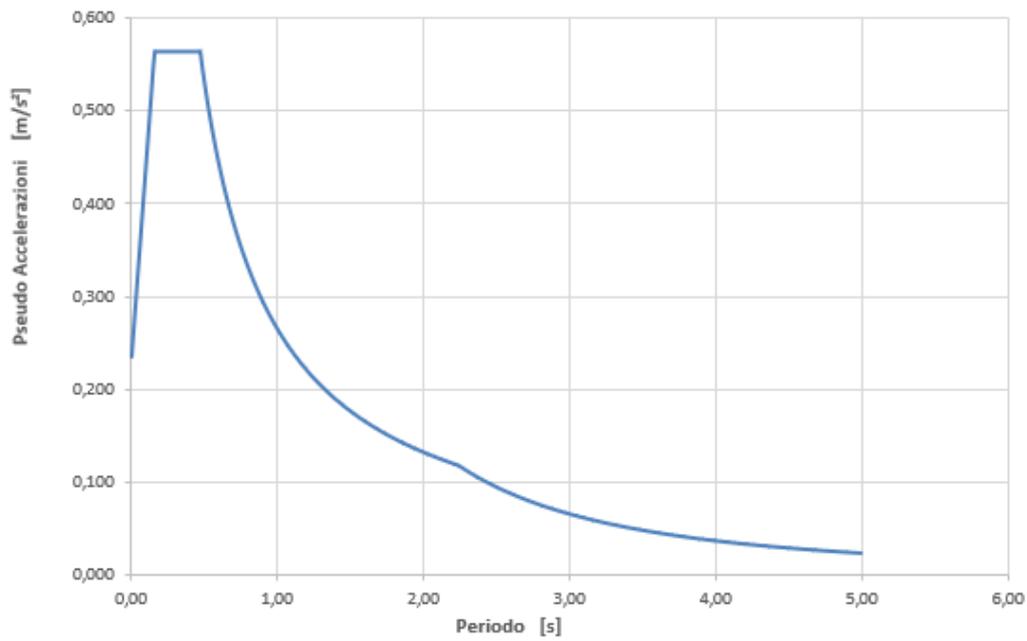
### 10 ROTTURA LOCALE

Questo tipo di rottura costituisce un caso intermedio fra la rottura globale e la rottura per punzonamento e non si verifica in condizioni drenate, perché per ipotesi il terreno è incomprimibile.



De Beer (1967)

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



**Acc. Spettro orizzontale elastico**

Se (0)	0,235 m/s <sup>2</sup>
Se (T <sub>B</sub> )	0,565 m/s <sup>2</sup>
Se (T <sub>C</sub> )	0,565 m/s <sup>2</sup>
Se (T <sub>D</sub> )	0,118 m/s <sup>2</sup>

**Periodi fondamentali**

T <sub>0</sub>	0,000 s
T <sub>B</sub>	0,157 s
T <sub>C</sub>	0,470 s
T <sub>D</sub>	2,240 s

## CONCLUSIONI

Visto che la società Stel Renewable Energies S.r.l. vuole realizzare un impianto eolico in agro dei Comuni di Bonefro, Casacalenda e Ripabottoni, con opere di connessione anche nel Comune di Morrone del Sannio, il sottoscritto ha effettuato una indagine geologica conforme al [D.M. 17 Gennaio 2018.](#),

Da quanto si è accertato, si possono trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- le aree analizzate risultano caratterizzate da settori più rilevati, ben evidenti, costituiti da litotipi calcareo marnosi, alternati a rilievi con sommità arrotondate che evidenziano la presenza di litotipi prevalentemente argillosi;
- I siti interessati dalle opere sono fuori *dalle aree a rischio frang, rischio idraulico e rischio da alluvione;*
- si sono riscontrati processi morfogenetici legati all'azione delle acque superficiali e non alla forza di gravità che, visto le pendenze, gioca un ruolo piuttosto limitato;
- data la bassa permeabilità dei terreni non si sono riscontrate falde acquifere superficiali, le poche falde di modesta entità, sono ubicate al contatto tra i terreni superficiali più permeabili e le sottostanti argille impermeabili; proprio questi accumuli potrebbero facilitare movimenti di versante nel caso in cui aumentassero le pressioni interstiziali;
- nel suo insieme le aree interessate risultano sufficientemente stabili almeno per quanto riguarda i terreni meno superficiali;

- l'area di studio è interessata dal Torrente Cigno e da alcuni suoi piccoli affluenti, *tale torrente scorre a quote ben inferiori alle zone di intervento, pertanto non ci sono rischi di allagamento, spesso tali torrenti, esercitano, nei periodi di piena, erosione alla base dei versanti, causando piccoli smottamenti alla base degli stessi, ma che nel complesso non incidono sulla stabilità dell'intero versante;*
- il sottosuolo interessato dalle fondazioni è costituito da alternanza di terreni argillo sabbiosi alternati a strati calcarei ed arenacei a cui seguono argille grigie di notevole spessore;
- dal punto di vista strutturale il complesso delle formazioni affioranti nel foglio è interessato da una serie di pieghe successive, ad assi ravvicinati, più o meno paralleli, generalmente secondo la direzione appenninica (NO – SE);
- gli strati calcarei e arenacei hanno direzione verso nord nord est, pendenza di pochi gradi e soprattutto giacitura lievemente a reggipoggio rispetto all'inclinazione del pendio;
- viste le caratteristiche del sottosuolo e delle opere da realizzare si consiglia una fondazione di tipo profonda (palificata), che interessi per almeno un terzo della sua lunghezza le argille grigie;
- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è mediamente  $V_{s30} = 600,00$  m/s, tali terreni appartengono alla ***Categoria di suolo di fondazione B;***
- il committente e/o il direttore dei lavori durante l'esecuzione dei lavori di scavo per la posa in opera delle fondazioni deve necessariamente interpellare il

sottoscritto geologo, in modo che lo stesso possa verificare se le caratteristiche litologiche, geomeccaniche e idrogeologiche del terreno siano compatibili con quelle previste da progetto.

Le osservazioni effettuate, unitamente alle conoscenze dirette della geologia della zona ed al comportamento meccanico dei litotipi presenti, consentono di definire sufficientemente idoneo il sito interessato dall'opera.

San Severo 16 Settembre 2023

**Dott. Geol. Longo P. Giuseppe** \_\_\_\_\_