



COMMESSA / DATA	TITOLO PROGETTO
01114 05/2018	INTERVENTI DI MOBILITA' URBANA SOSTENIBILE: INCREMENTO MOBILITA' DOLCE-PISTE CICLOPEDONALI-PISTE CICLABILI IN AMBITO URBANO. RIMODULAZIONE PROGETTO DI CONNESSIONE RETE CICLABILE ESISTENTE NEL TRATTO VAIANO- PRATO ED ESTENSIONE ALL'ABITATO DI "CAMINO" E DI "LA BRIGLIA" CON REALIZZAZIONE DI N°1 ATTRAVERSAMENTO SUL FIUME BISENZIO.

COMMITTENTE
 <b>COMUNE DI VAIANO</b> <b>Lavori Pubblici e Patrimonio</b> Via Mazzini 21 - 59021 Vaiano (PO) C.F. 01185740485 <b>R.U.P. Geom. Mario Galli</b>

PROGETTISTA
/

OGGETTO	SCALA
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE GEOLOGICA	/

CODICE TAVOLA
ESE.DOC. <b>004</b>

CONSEGNE	
1 - <b>ESE</b> 14/05/2018	5 -
2 -	6 -
3 -	7 -
4 -	8 -

REVISIONI	
A -	E -
B -	F -
C -	G -
D -	H -

**COMUNE DI VAIANO  
(PRATO)**

**SETTORE LAVORI PUBBLICI**

---



---

**Relazione geologica di supporto alla progettazione di due passerelle in loc.  
Camino, nel comune di Vaiano (PO), per la connessione della  
pista ciclopedonale esistente**

(ai sensi D.M. 14/01/2008)

18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni, Loc. Civettaio n.65, Torrita di Siena (Siena) -  
Via Orlandini Raffaello n. 845 Monsummano Terme (PT) - P.IVA 01199830520  
cell. 3478247486 - tel. 0577687734 - [francesco.agnelli@alice.it](mailto:francesco.agnelli@alice.it) –

# **Indice**

## **1. Premessa**

## **2. Inquadramento geografico e uso del suolo**

## **3. Inquadramento geologico generale**

### **3.1 Modello geologico del sottosuolo**

## **4. Aspetti geomorfologici**

## **5. Aspetti litologico-tecnici**

## **6. Aspetti idrogeologici**

## **7. Aspetti di pericolosità geomorfologica**

## **8. Aspetti di pericolosità idraulica**

## **9. Aspetti di pericolosità sismica**

### **9.1 Pericolosità sismica di base**

### **9.2 Pericolosità sismica locale**

## **Allegati**

## **TAVOLA A – ASPETTI DI QUADRO CONOSCITIVO**

## **1. Premessa**

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione di due passerelle per l'attraversamento del Torrente Bisenzio in loc. Camino. Lo scorso inverno il verificarsi di una estesa frana di crollo in sinistra idraulica del Torrente Bisenzio ha provocato l'interruzione della pista ciclopedonale che collega Prato con Vaiano. Gli interventi, perciò, consistono nella connessione del tratto a monte con quello di valle della pista ciclopedonale esistente.

A supporto della progettazione definitiva ed esecutiva è previsto che siano realizzati studi specialistici di tipo geologico, geotecnico e sismico.

Nella presente relazione geologica sono descritti gli aspetti geologici, geomorfologici, litologico-tecnici, idrogeologici, di pericolosità geomorfologica, di pericolosità idraulica e di pericolosità sismica dell'area di intervento.

Per gli aspetti di cartografia geologica si è fatto riferimento alla cartografia CARG del progetto Continuum della Regione Toscana. Per gli altri aspetti si è fatto riferimento alla cartografia del Quadro Conoscitivo di PS comunale.

Le indagini sono state effettuate ai sensi del D.M. LL.PP. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008) e alla relativa Circolare n. 617 del 02/02/2009.

Le cartografie relative agli aspetti di quadro conoscitivo sono riportate nella TAVOLA A allegata al presente studio.

## **2. Inquadramento geografico e uso del suolo**

Gli interventi oggetto di studio geologico, si collocano a sud dell'abitato di Vaiano, in prossimità della località Camino (vedi corografia generale nell'allegata TAVOLA A).

Gli attraversamenti si sviluppano tra la zona industriale presente in destra idraulica (loc. Camino) e la pista ciclabile esistente in sinistra.

Perciò gli interventi sono individuabili all'interno di area urbana.

In particolare in destra idraulica, all'interno dei terrazzi fluviali recenti, è presente del tessuto urbano continuo. All'interno di questo si individuano zone industriali e zone residenziali.

Le zone circostanti sono caratterizzate dalla presenza di rilievi collinari prevalentemente boscati. Le aree boschive sono caratterizzate principalmente dalla presenza di specie appartenenti alle latifoglie.



### **3. Inquadramento geologico generale**

Dall'analisi della cartografia CARG aggiornata (sezioni in scala 1:10.000 n. 263020 e 263060, foglio n. 263 "Prato" (progetto "Continuum Geologico della Regione Toscana"), nonché sulla scorta delle evidenze di campagna riscontrate in corrispondenza dei siti di interesse, nel corso del rilevamento geologico realizzato a supporto del presente studio, si evince che nel comprensorio indagato affiorano le seguenti unità geologiche (vedi TAV. A):

#### **DEPOSITI QUATERNARI**

##### **DEPOSITI OLOCENICI**

##### **Forme e depositi**

###### *- Corpo di frana (a1)*

Frana con tipo di movimento indeterminato. Si tratta di depositi caotici di litotipi eterogenei, costituiti da elementi litoidi più o meno eterometrici, immersi in una matrice di natura variabile da limoso-sabbiosa a limoso-argillosa a seconda del litotipo di origine.

###### *- Detriti di falda (a3a)*

Si tratta di accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa prevalentemente al piede delle pareti in roccia o delle paleofrane maggiori.

###### *- Depositi alluvionali attuali (b)*

Ghiaie, sabbie e limi degli attuali alvei fluviali.

###### *- Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)*

Si tratta di depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie, sabbie e limi. Sono costituiti essenzialmente da ghiaie, sabbie e limi, con clasti carbonatici (ghiaie e ciottoli) dispersi nella stessa matrice sabbioso-limosa. Le tre frazioni granulometriche tendono a variare sia verticalmente che orizzontalmente. Si presentano scarsamente stratificati e la loro permeabilità varia in relazione alla granulometria.

In corrispondenza dell'area di studio questi si presentano costituiti da livelli di ghiaie talora con ciottoli decimetrici calcarei biancastri in matrice sabbiosa debolmente limosa color

nocciola. Sono presenti, inoltre, anche blocchi con spessore variabile da decimetrico a metrico (come osservato su affioramenti presenti in corrispondenza dell'area di Camino, vedi fig. 1).

- Depositi eluvio-colluviali (**b2a**)

Coperture di materiale a granulometria medio-grossolana (sabbie e breccie), con rari frammenti litoidi grossolani; processi di alterazione e/o trasporto di entità limitata o non precisabile.

## **DOMINIO LIGURE ESTERNO**

**Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio, Unità dell'Antola**

- Formazione di Monte Morello (**MLL**)

Si tratta di un'alternanza di marne, calcari marnosi, calciscisti e calcareniti di colore biancastro di natura torbidity (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Il massimo spessore affiorante è di circa 500 metri.

All'interno di questa formazione sono stati rilevati corpi di breccie eterometriche di rocce ofiolitiche in clasti da spigolosi a sub-arrotondati mal classati e arenarie ofiolitiche (**brΣ**). In qualche caso sono stati individuati olistoliti abbastanza estesi costituiti, invece, da ultramafiti (**Σ**) o da lembi della Formazione di Sillano (**ol**) o di diaspri rossastri (**d**).

Il passaggio alla sottostante Formazione di Sillano avviene in modo brusco con la comparsa di argilliti nere e brune.

La natura di tale passaggio è incerta: in vari casi potrebbe essere stratigrafica ma in altri la netta discordanza angolare tra le due formazioni e la presenza di un certo grado di tettonizzazione nella Formazione di Sillano farebbe supporre una natura tettonica.

**(Paleocene sup. – Eocene med.)**

- Formazione di Sillano – Santa Fiora (**SIL**)

Argilliti e siltiti fogliettate, grigio scure, nerastre, rosse, marroni e verdastre, alternate a strati calcarei, calcarenitici e calcareo-marnosi a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione, grigio chiari al taglio, talvolta con patina

verdastra. Frequenti strati gradati calcarenitici grigio-scuri, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine. Anche all'interno di questa formazione, sono stati rilevati corpi di breccie eterometriche di rocce ofiolitiche in clasti da spigolosi a sub-arrotondati mal classati (**br** $\Sigma$ ). In qualche caso sono stati individuati olistoliti abbastanza estesi costituiti invece da ultramafiti ( $\Sigma$ ). La potenza geometrica massima è di circa 150-200 m.

**(Cretacico sup. – Paleocene.)**

- Formazione di Sillano – Santa Fiora – Membro a calcilutiti grigie e argilliti nocciola (**SILa**) - (Cretacico sup. – Paleocene.)

Alternanze di calcilutiti grigie e argilliti color nocciola.



**Fig. 1:** Affioramento di blocchi della Formazione di Monte Morello (MLL) immersi nei deposti alluvionali terrazzati (bna) nell'area di Camino.

Gli affioranti dell'unità di Monte Morello presenti nell'area di Camino denotano che l'ammasso roccioso risulta generalmente molto stratificato (livelli lapidei decimetrici) e fratturato. Sul versante presente ad est, in particolare lungo la pista ciclabile, sono presenti affioramenti nei quali la formazione presenta localmente bassa stratificazione (affioramento di bancate calcarenitiche con spessore metrico). Sono presenti inoltre numerosi giunti di

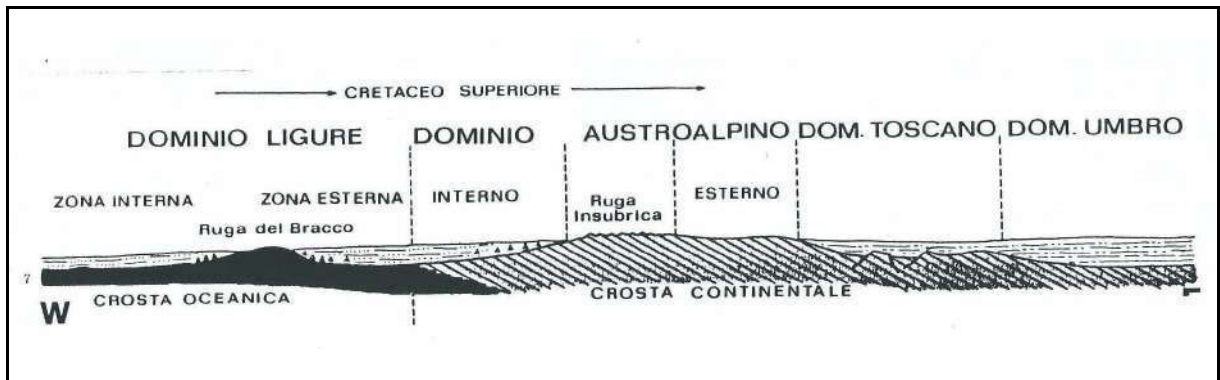
fessurazione (a giacitura sub-verticale o comunque con elevata inclinazione) per i quali, nonostante la locale bassa stratificazione della formazione, l'ammasso risulta piuttosto fratturato (vedi foto in fig. 2).



**Fig. 2:** Affioramento Formazione di Monte Morello (MLL) in prossimità della pista ciclabile ad est di Camino.

Sia dalle indagini in sito che dagli affioramenti presenti sul versante ad ovest di Camino, la formazione presenta una notevole stratificazione con livelli che generalmente presentano spessori massimi di 20-30 cm.

Le unità sopra descritte, appartenenti al Dominio Ligure Esterno, fanno parte dell'insieme di unità tettoniche denominate Liguridi. Tali unità risultano alloctone rispetto al bacino deposizionale di origine (Dominio Oceanico: Dominio ligure esterno, vedi fig. 3).



**Fig. 3:** Domini paleogeografici dell'Appennino settentrionale

L'assetto tettono-stratigrafico delle liguridi è il risultato del processo di deformazione crustale iniziato a partire dal Cretacico superiore e che si è protratto fino all'Eocene medio attraverso il quale è avvenuta la formazione della catena appenninica. Infatti con movimento compressivo verso NE, è avvenuto l'accavallamento di vari lembi crustali costituiti sia da rocce del basamento che da rocce sedimentarie. I contatti geologici tra le varie unità, molto spesso sono da ritenersi dei contatti tettonici.

Nell'Eocene medio-superiore ha inizio la fase intracontinentale dell'orogenesi appenninica. In questa fase, come già accennato, si ha lo sviluppo di una tettonica a thrust e falde con sottoscorrimento verso ovest delle Unità Toscane (prima) e di quelle Umbro-marchigiane (dopo) sotto le unità precedentemente impilate. Fenomeni gravitativi e di retroscorrimento, anche importanti, accompagnano in superficie questa strutturazione crostale.

Con la fine della fase compressiva appenninica, ha avuto inizio la fase distensiva che ha portato all'apertura del mar Tirreno e alla formazione dei sistemi ad horst e graben con il quale si sono formati i diversi bacini deposizionali neogenici e quaternari della Toscana (vedi fig. 4).

Questa nuova fase è stata caratterizzata da una tettonica distensiva che ha determinato un assottigliamento della crosta terrestre con conseguente sprofondamento della stessa lungo linee di rottura (*faglie*) adiacenti tra di loro. Le faglie sviluppatesi in questa fase presentano ovviamente tutte direzione appenninica, in quanto legate ai movimenti tettonici che hanno originato la stessa catena montuosa.

La deposizione dei sedimenti "marini" plio-pleistocenici è stata caratterizzata più volte dall'alternarsi di fasi trasgressive e fasi regressive. Le variazioni granulometriche presenti nei sedimenti marini sono la testimonianza che nel passato si sono alternati ambienti deposizionali di mare profondo o poco profondo con ambienti di spiaggia o addirittura di tipo continentale-lacustre.

Successivamente nel Pliocene medio superiore, l'innescarsi di un generale fenomeno di sollevamento tettonico (isostatico) ha portato al verificarsi di una regressione del mare con il conseguente instaurarsi di un ambiente continentale (deposizione di sedimenti fluvio-lacustri). I movimenti crustali più importanti che hanno caratterizzato l'area in esame sono riconducibili cronologicamente al Miocene superiore.



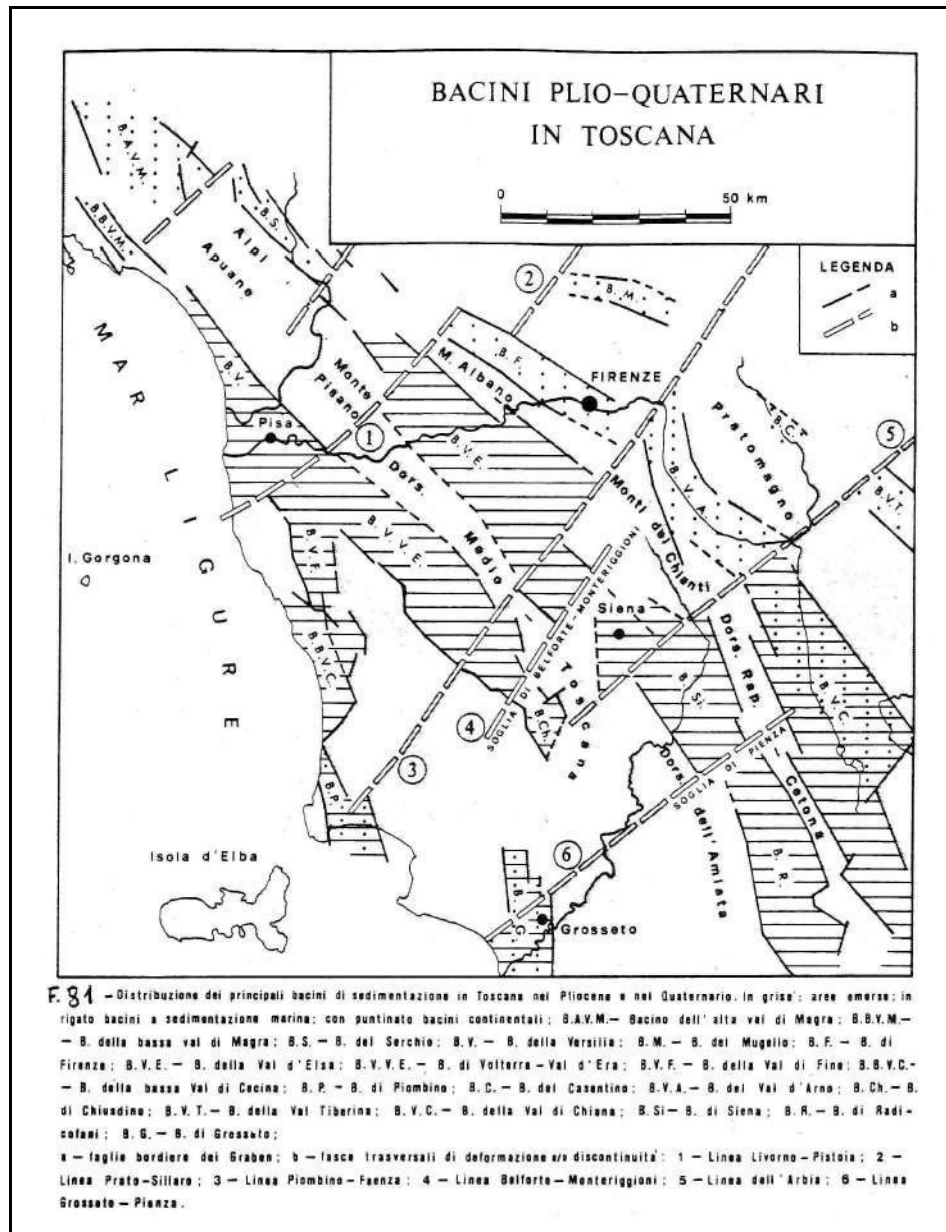


Fig. 4: Bacini deposizionali neogenici e quaternari della Toscana.

### 3.1 Modello geologico del sottosuolo

Al fine di definire il modello geologico del sottosuolo di fondazione in corrispondenza di ciascun attraversamento, considerando che la lunghezza delle due passerelle risulta piuttosto importante e che per ciascuna passerella si hanno condizioni stratigrafiche del sottosuolo diverse tra una spalla e l'altra, si è ritenuto significativo delineare il modello geologico in corrispondenza di ciascun punto di appoggio dei due ponti.

In corrispondenza della passerella di nord sul Torrente Bisenzio, il modello geologico del sottosuolo è caratterizzato dalla presenza delle seguenti unità geologiche (vedi allegata TAVOLA B):

**- Passerella di monte - sponda in destra idraulica**

**DEPOSITI QUATERNARI**

**DEPOSITI OLOCENICI**

**- Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)**

Si presentano costituiti da livelli di ghiaie limoso-sabbiose da millimetriche a centimetriche, talora limo con ghiaia sabbioso, con rari blocchi sub-spigolosi di calcitutte. Lo spessore osservato in questo sito è di circa 16 m.

**DOMINIO LIGURE ESTERNO**

**Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio, Unità dell'Antola**

**- Formazione di Monte Morello (MLL)**

Si tratta di un'alternanza di marne, calcari marnosi, calciscisti e calcareniti di colore biancastro di natura torbidity (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Il massimo spessore affiorante è di circa 500 metri.

***(Paleocene sup. – Eocene med.)***

**- Passerella di monte - sponda in sinistra idraulica**

**Terreni di riporto**

Ghiaia sabbioso-limosa, talora con rari blocchi calcarenitici decimetrici. Matrice di colorazione bruna. Il loro spessore è di alcuni decimetri. Non risultano cartografati visto il limitato sviluppo nel sito di riferimento.

## **DEPOSITI QUATERNARI**

### **DEPOSITI OLOCENICI**

#### **- Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)**

Si presentano costituiti da ghiaie con ciottoli sabbioso-limose. Presenti talora rari blocchi e rari ciottoli di laterizi. In corrispondenza del sito di studio presentano spessori presunti di circa 5-6 m.

## **DOMINIO LIGURE ESTERNO**

### **Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio, Unità dell'Antola**

#### **- Formazione di Monte Morello (MLL)**

Si tratta di un'alternanza di marne, calcari marnosi, calciscisti e calcareniti di colore biancastro di natura torbidity (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Il massimo spessore affiorante è di circa 500 metri.

*(Paleocene sup. – Eocene med.)*

#### **- Passerella di valle - sponda in destra idraulica**

### **Terreni di riporto**

Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna. Presenti rari resti di laterizi centimetrici.

## **DEPOSITI QUATERNARI**

### **DEPOSITI OLOCENICI**

#### **- Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)**

Si presentano costituiti generalmente da ghiaie con ciottoli sabbioso-limose. Alla base risultano costituiti da ciottoli con ghiaie con rari blocchi decimetrici. Presenti talora livelli limoso-sabbiosi debolmente ghiaiosi di spessore metrico. In corrispondenza della passerella di valle raggiungono spessori di circa 15 m.



## **DOMINIO LIGURE ESTERNO**

**Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio, Unità dell'Antola**

**- Formazione di Monte Morello (MLL)**

Si tratta di un'alternanza di marne, calcari marnosi, calciscisti e calcareniti di colore biancastro di natura torbidity (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Il massimo spessore affiorante è di circa 500 metri.

***(Paleocene sup. – Eocene med.)***

**- Passerella di valle - sponda in sinistra idraulica**

## **DEPOSITI QUATERNARI**

### **DEPOSITI OLOCENICI**

**- Detriti di falda (a3a)**

Si tratta di accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa prevalentemente al piede delle pareti in roccia o delle paleofrane maggiori. Lo spessore massimo alla sommità del versante è di circa 16-17 m.

**- Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati (bna)**

Si presentano costituiti generalmente da ghiaie con ciottoli sabbioso-limose. Alla base risultano costituiti da ciottoli con ghiaie con rari blocchi decimetrici. Presenti talora livelli limoso-sabbiosi debolmente ghiaiosi di spessore metrico. Si ipotizza siano presenti al piede del versante sotto ai detriti di falda. Lo spessore presunto è di circa 5-6 m.

## **DOMINIO LIGURE ESTERNO**

**Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio, Unità dell'Antola**

*- Formazione di Monte Morello (MLL)*

Si tratta di un'alternanza di marne, calcari marnosi, calciscisti e calcareniti di colore biancastro di natura torbidity (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Il massimo spessore affiorante è di circa 500 metri.

*(Paleocene sup. – Eocene med.)*

#### **4. Aspetti geomorfologici**

Relativamente agli aspetti geomorfologici, i siti di intervento risultano collocati all'interno di un'area valliva, legata all'incisione del substrato roccioso ad opera del Torrente Bisenzio.

In destra idraulica le passerelle sono presenti all'interno di zone caratterizzate da pendenze medio-basse (5° - 20°).

In sinistra idraulica, invece, le pendenze risultano elevate e talora molto elevate ( $\geq 30^\circ$ , vedi carta delle pendenze in TAV. A).

Le morfologie maggiormente significative sono legate alla presenza di superfici deposizionali legate ai depositi alluvionali terrazzati. Tali superfici sono presenti sia in destra idraulica (dove risultano per buona parte rimaneggiate dalle attività antropiche (area soggetta a forte edificazione) che in sinistra idraulica a ridosso della passerella di monte.

In corrispondenza del torrente si individuano perciò orli di scarpata fluviale e localmente scarpate in erosione (in corrispondenza di tratti curvi).

Nell'area di studio sono presenti talora scarpate di erosione inattive e attive legate ai naturali processi di evoluzione dei versanti. In particolare in corrispondenza della pista ciclabile (come evidenziato anche nella carta geomorfologica di PS riportata nell'allegata TAV. A in scala 1:5.000) si riscontra la presenza di una scarpata attiva legata a fenomeni di crollo di blocchi, nonché frane localizzate nella coltre detritica. In corrispondenza della scarpata è individuabile un'area con forma arcuata, caratterizzata da elevate pendenze nella quale si verificano frequenti crolli.

Attualmente risulta giacente sulla pista ciclabile parte del corpo di frana distaccatosi nei mesi precedenti nell'area precedentemente menzionata.

Testimonianza del frequente riattivarsi di fenomeni franosi a monte della pista ciclabile sono i

numerosi sistemi di reti paramassi realizzati a monte della stessa.

Anche lo stesso rilevato della pista ciclabile, precedentemente funzionale per la vecchia rete ferroviaria, costituisce una rottura di pendio presente per alcune centinaia di metri lungo il versante presente ad est di Camino.

## **5. Aspetti litologico-tecnici**

Nell'allegata TAVOLA A è riportato uno stralcio cartografico della carta litologico-tecnica e dei dati di base, in scala 1:5.000, redatta per il PS di Vaiano.

Il substrato lapideo affiorante lungo i versanti vallivi è riconducibile, secondo la cartografia di PS, all'unità litotecnica delle "rocce stratificate". Infatti la formazione di Monte Morello, come già accennato nel paragrafo relativo agli aspetti geologici, si presenta generalmente molto stratificato con livelli generalmente decimetrici e solo localmente metrici. Secondo le linee guida VEL tale litotipo è riconducibile all'unità litologico-tecnica B4 (rocce stratificate costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici).

In corrispondenza dei punti di realizzazione delle passerelle sono presenti in superficie depositi riconducibili sia alle alluvioni terrazzate che ai detriti di versante. Nel primo caso (alluvioni) sono costituite da sedimenti prevalentemente grossolani (ghiaie, ciottoli e rari blocchi) immersi in una matrice medio-fine.

Eguale, anche se di origine diversa, i depositi di versante sono caratterizzati da granulometrie piuttosto grossolane in quanto originatisi per erosione o collasso gravitativi di orizzonti litoidi affioranti lungo lo stesso versante.

Sia i depositi alluvionali che i depositi di versanti, sono riconducibili (secondo le linee guida VEL) all'unità litologico-tecnica E (materiali granulari non cementati).

## **6. Aspetti idrogeologici**

Per quanto concerne gli aspetti idrogeologici nell'allegata TAV. A è mostrato uno stralcio cartografico della carta idrogeologica di Piano Strutturale.

Per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche della formazione rocciosa di Monte Morello, ad essa è associabile una **permeabilità per porosità secondaria** (per fessurazione) **medio-bassa**. Come si evince dall'osservazione della cartografia di PS, solo nella porzione di

affioramento presente ad est di Camino, la permeabilità risulta medio-alta, probabilmente legata alla minore presenza di livelli siltoso-marnosi.

I depositi alluvionali terrazzati presentano caratteristiche idrogeologiche variabili. Mediamente ad essi è associabile una **permeabilità per porosità primaria medio-elevata**. Localmente comunque possono presentare permeabilità medio-bassa per la presenza di orizzonti limoso-sabbiosi.

Per quanto concerne i depositi di versante, questi presentano condizioni di permeabilità variabili lungo la vallata a seconda della facies che li ha prodotti. In sinistra idraulica, in prossimità di Camino, essi presentano caratteristiche strutturali per le quali può essere associata una **permeabilità per porosità primaria medio-elevata**. A nord di Camino, invece, come si evince dall'osservazione della carta idrogeologica di PS (vedi TAV. A), la permeabilità risulta medio-bassa, probabilmente perché la facies affiorante sul versante ovest è più ricca in orizzonti siltoso-marnosi.

Nel corso del rilevamento dell'area di interesse non sono state individuate sorgive. Nel corso della campagna geognostica realizzata a supporto del presente studio geologico, è stata riscontrata la presenza di acqua di falda nel foro S1 alla quota – 6 m da p.c.. negli altri fori, invece, si registra l'assenza totale di orizzonti acquiferi.

## **7. Aspetti di pericolosità geomorfologica**

L'area di camino risulta caratterizzata da zone sub-orizzontali o con basse pendenze con rotture di pendio ad elevata acclività. Perciò nell'area di studio si individuano sia aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica media G.2 che da pericolosità geomorfologica elevata G.3.

Le due passerelle si sviluppano all'interno di aree caratterizzate da pendenze elevate, nelle quali sono presenti sia depositi alluvionali che substrato roccioso affiorante.

Perciò si conclude che gli interventi di realizzazione delle passerelle sono caratterizzate da pericolosità geomorfologica elevata G.3.

Nella allegata TAVOLA A mostrato uno stralcio della cartografia di pericolosità geomorfologica (da PS) in scala 1:5.000.

Ai sensi del regolamento regionale 53/R la pericolosità geomorfologica (espressa come pericolosità geologica) è discriminabile per mezzo delle seguenti classi:

- **Pericolosità geologica molto elevata (G.4):** aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.
- **Pericolosità geologica elevata (G.3):** aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.
- **Pericolosità geologica media (G.2):** aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.
- **Pericolosità geologica bassa (G.1):** aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giacaturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

## **8. Aspetti di pericolosità idraulica**

Dall'analisi della cartografia di PS si evince che è presente pericolosità idraulica elevata soltanto nelle porzioni arginali prossime all'alveo attuale. A nord di Camino in sinistra idraulica, è presente una porzione di territorio più ampia rispetto alla direttrice del corso attuale soggetta a pericolosità idraulica elevata.

Anche se la struttura delle passerelle si trova fuori da zone a pericolosità idraulica elevata (perché sopralelevata), la struttura portante comprese le fondazioni andranno probabilmente ad interessare parte delle aree di esondazione. Si rimanda comunque ad approfondimenti di modellazione idraulica la determinazione dell'eventuale interferenza degli impalcati con le soglie di piena trentennale, duecentennale e cinquecentennale.

Ai sensi del regolamento regionale 53/R la pericolosità idraulica è discriminabile per mezzo delle seguenti classi:

- **Pericolosità idraulica molto elevata (I.4):** aree interessate da allagamenti per eventi con  $Tr < 30$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali

ricorrano contestualmente le seguenti condizioni: a)vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**- Pericolosità idraulica elevata (I.3):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < TR < 200$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni: a)vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**- Pericolosità idraulica media (I.2):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < TR < 500$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: a)non vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

**- Pericolosità idraulica bassa (I.1):** aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: a)non vi sono notizie storiche di inondazioni; b)sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

## **9. Aspetti di pericolosità sismica**

### **9.1 Pericolosità sismica di base**

Con Deliberazione GRT n° 431 del 19 giugno 2006 la Giunta Regionale della Toscana approvava la riclassificazione sismica del territorio regionale, applicando i criteri nazionali riportati nell'O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, di cui la Mappa di Pericolosità Sismica in figura 5 ne rappresenta l'Allegato 1.

Tale classificazione teneva conto della individuazione della pericolosità sismica locale e della relativa azione sismica di progetto sulla base di un approccio “zona-dipendente”, metodo legato anche alla normativa vigente nel 2006 in materia di costruzioni (DM 1996 e NTC 2005). Secondo la GRT n°431/2006 il comune di Vaiano risultava classificato in **zona 2**.

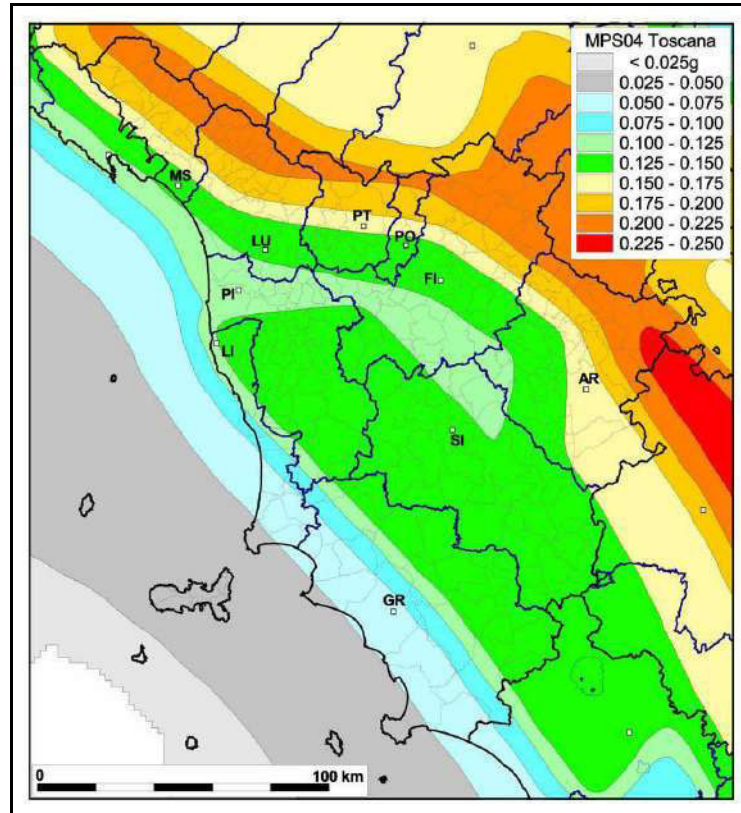
Ai sensi delle nuove Norme Tecniche (D.M. 14/01/2008) la pericolosità sismica di base deve essere individuata sulla mappa di pericolosità prodotta a livello nazionale dall’I.N.G.V (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nella quale tale pericolosità è espressa in termini di accelerazione massima orizzontale delle onde sismiche su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s) e con superficie topografica orizzontale (condizione topografica T1).

La stima della pericolosità sismica risulta basata su un approccio di tipo sito-dipendente, dove la pericolosità non è più assegnata per territorio comunale ma sui nodi di una griglia di punti a maglia quadrata presenti su tutto il territorio nazionale.

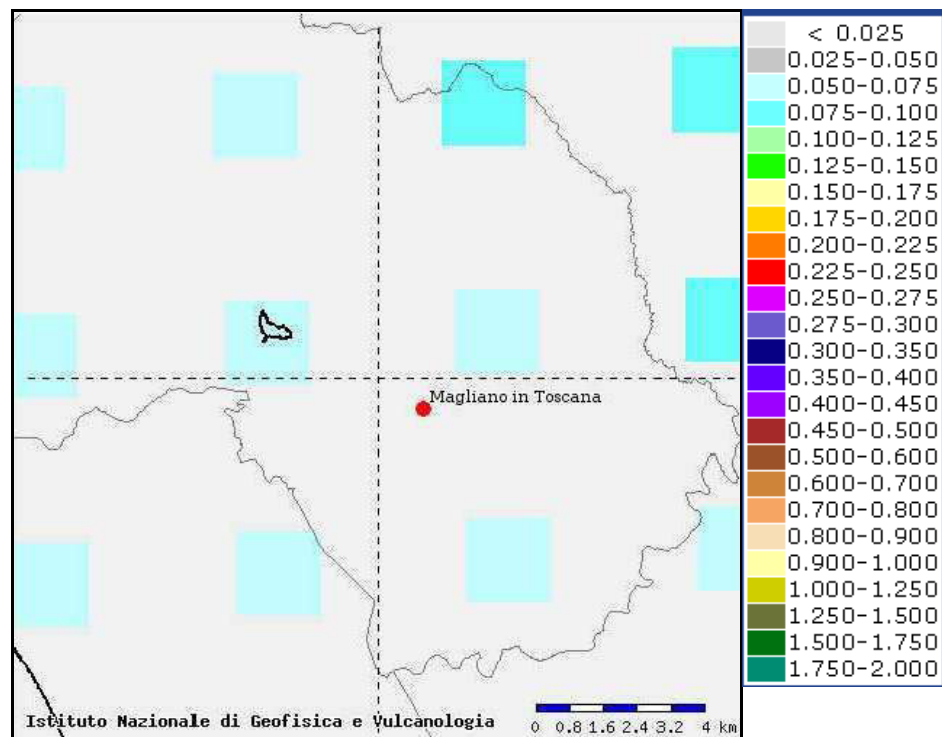
La pericolosità sismica di base da utilizzare per il calcolo di quella progettuale è determinata all’interno del territorio compreso tra quattro vertici della maglia. Tali vertici sono identificati da un codice univoco (ID), da coordinate geografiche espresse in gradi decimali (latitudine e longitudine) e da parametri spettrali ( $a_g/g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) riferiti a diversi tempi di ritorno  $T_r$ .

In fig. 6 è mostrato un estratto della mappa dell’INGV, relativo al territorio comunale di Vaiano, con riportati i nodi e la relativa scala di valori associati di accelerazione sismica su suolo rigido, riferiti ad un tempo di ritorno di 475 anni e una probabilità di superamento in 50 anni del 10%.

Considerando la necessità di adattare la classificazione sismica del territorio regionale alla nuova mappa di pericolosità sismica (sito-dipendente), sulla scorta dei valori di  $a_g$  riferiti ai diversi punti della maglia e tenendo conto di una serie di aspetti valutativi legati alla presenza, all’interno dei territori comunali, di nodi con valori di  $a_g > 0,15g$ , è stata prodotta la nuova mappa di classificazione sismica regionale approvata con D.G.R. n. 58/R del 22 ottobre 2012. Secondo la nuova classificazione, il comune di Vaiano è stato riconfermato in **zona 2**.



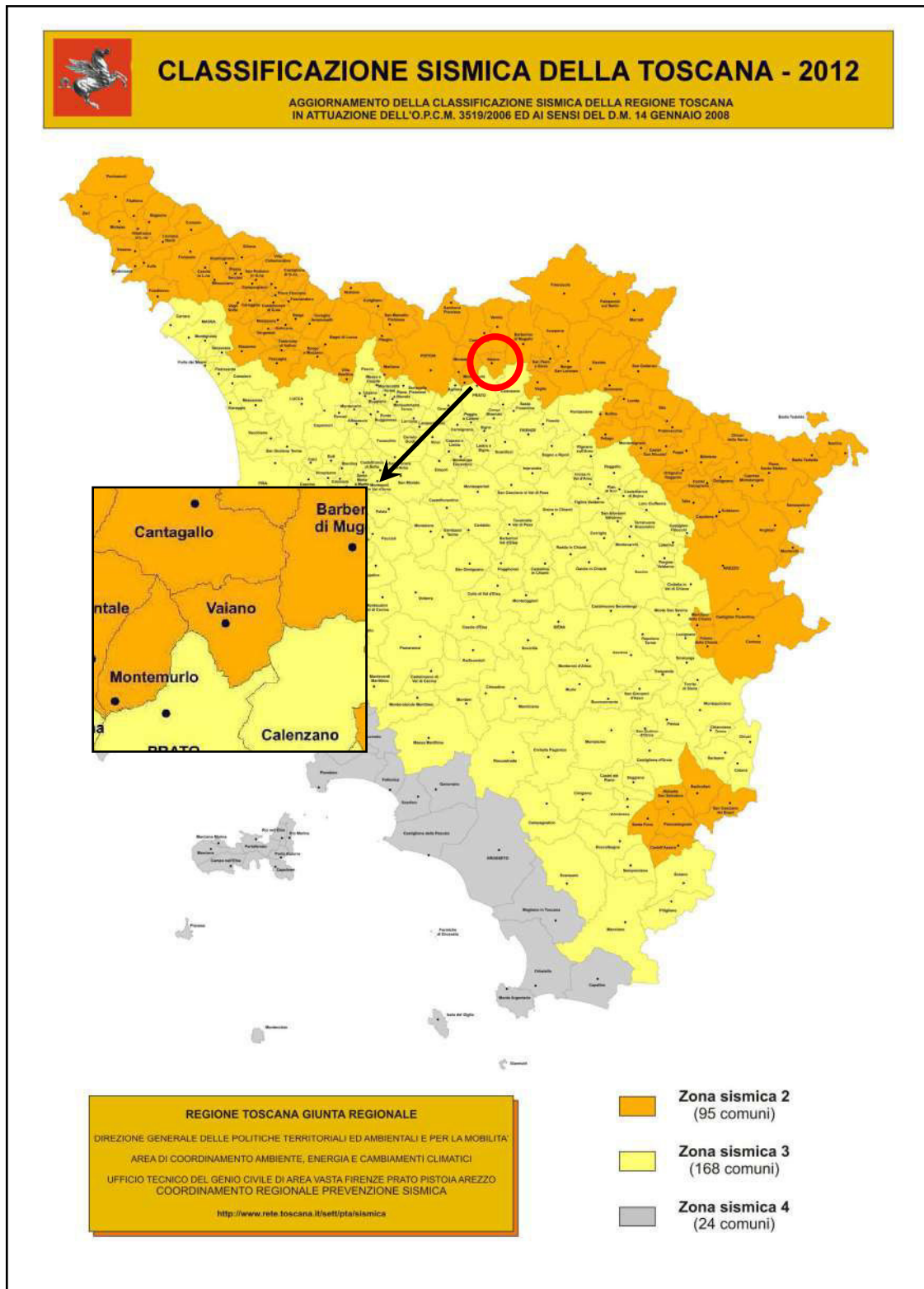
**Fig. 5:** Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)



**Fig.6:** Mappa di pericolosità sismica (INGV) relativa al territorio comunale di Vaiano (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione associati a ciascun nodo sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)



Di seguito è mostrata l'ubicazione del comune di Vaiano sulla nuova mappa di classificazione sismica dei comuni toscani (vedi fig. 7).



**Fig.7:** Mappa di pericolosità sismica della Regione Toscana

## **9.2 Pericolosità sismica locale**

Le aree di intervento sono caratterizzate dalla presenza sia di forme e depositi alluvionali che di forme e depositi di versante.

La presenza di depositi sciolti alluvionali in zona sismica 2 comporta una potenziale predisposizione all'amplificazione sismica. Conseguentemente in corrispondenza dei depositi alluvionali terrazzati è riscontrabile una pericolosità sismica elevata.

Lungo i versanti le elevate pendenze, nonché la presenza localmente di corpi di frana e/o di scarpate di frana o di erosione attive, conferisce al territorio una pericolosità sismica locale elevata G.3.

In corrispondenza dei siti di intervento si riscontra la presenza sia di spesse coltri alluvionali (area industriale di Camino), che di falde detritiche di versante (versante sovrastante la pista ciclabile ad est di Camino). Perciò i siti di intervento risultano caratterizzati da **pericolosità sismica locale elevata G.3** (vedi carta della pericolosità sismica locale in TAV. A).

A monte della pista ciclabile è individuabile un'area caratterizzata da pericolosità sismica locale molto elevata (G.4) legata alla presenza di una frana attiva.

Ai sensi del regolamento regionale 53/R la pericolosità sismica locale è discriminabile per mezzo delle seguenti classi:

- **Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):** zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2;
- **Pericolosità sismica locale elevata (S.3):** zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;
- **Pericolosità sismica locale media (S.2):** zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono

verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3);

- **Pericolosità sismica locale bassa (S.1)**: zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

lì, 18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

**COMUNE DI VAIANO  
(PRATO)**

**SETTORE LAVORI PUBBLICI**

---



---

**Relazione geotecnica delle indagini di supporto alla progettazione di due passerelle in loc. Camino, nel comune di Vaiano (PO), per la connessione della pista ciclopedonale esistente**

(ai sensi D.M. 14/01/2008)

18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni, Loc. Civettaio n.65, Torrita di Siena (Siena) -  
Via Orlandini Raffaello n. 845 Monsummano Terme (PT) - P.IVA 01199830520  
cell. 3478247486 - tel. 0577687734 - [francesco.agnelli@alice.it](mailto:francesco.agnelli@alice.it) –

# Indice

## 1. Premessa

## 2. Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo

- Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata nella campagna geognostica
- Risultanze campagna geognostica
- Modellazione geotecnica e determinazione dei parametri di resistenza al taglio

MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S1

MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S2

MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S3

MODELLO GEOTECNICO SAGGIO GEOGNOSTICO T1

- Modello geotecnico del sottosuolo

PASSERELLA DI MONTE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA DESTRA

PASSERELLA DI MONTE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA SINISTRA

PASSERELLA DI VALLE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA DESTRA

PASSERELLA DI VALLE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA SINISTRA

- Condizioni della falda
- Determinazione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
- Azione sismica di progetto

## 3. Verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo

## 4. Conclusioni

## Allegati

**Allegato 1 – Certificati delle stratigrafie di sondaggio**

**Allegato 2 – Foto delle cassette catalogatrici**

**Allegato 3 – Parametri sismici di sito e spettri elastici**

**TAVOLA C – SEZIONI GEOTECNICHE – Scala 1:2000**

## **1. Premessa**

La presente relazione geotecnica fornisce le risultanze delle indagini geognostiche eseguite a supporto della progettazione di due passerelle da realizzare sul Torrente Bisenzio. Tali passerelle risultano necessarie al fine di collegare il tratto di valle con il tratto di monte della pista ciclopedonale che da Prato si sviluppa fino al centro abitato di Vaiano. Tale pista risulta interrotta dallo scorso inverno per il verificarsi di una frana di crollo in corrispondenza del tratto prossimo alla località Camino. Il corpo di frana, costituito da coltre detritica e blocchi rocciosi calcarei, si è distaccata dalla scarpata acclive soprastante l'arteria infrastrutturale e si è deposta principalmente sulla sede stradale così da impedire l'utilizzo della stessa arteria nel tratto terminale che sfocia a Vaiano.

Le indagini sono state realizzate al fine di definire il modello lito-stratigrafico del sottosuolo in corrispondenza delle spalle dei due ponti, nonché allo scopo di fornire i parametri caratteristici del sottosuolo all'interno del volume significativo di ciascuna opera fondazionale.

Il presente studio geotecnico è stato redatto ai sensi del D.M. LL.PP. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008) e alla relativa Circolare n. 617 del 02/02/2009.

Lo studio è consistito nelle seguenti fasi di lavoro:

- esecuzione di indagini geognostiche in sito (n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino a circa 20 m di profondità da p.c., con realizzazione di prove SPT in foro e n. 1 saggio geognostico fino alla profondità di circa 2 m da p.c.);
- ricostruzione del modello stratigrafico del terreno indagato;
- determinazione dei parametri geotecnici nominali e caratteristici di ciascun orizzonte litologico, significativo per la ricostruzione del modello geotecnico in ciascuna verticale indagata;
- determinazioni delle condizioni della falda
- determinazione parametri sismici sito-specifici e azione sismica di progetto
- verifiche del potenziale di liquefazione del sottosuolo in corrispondenza di ciascun sondaggio geognostico

## **2. Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo**

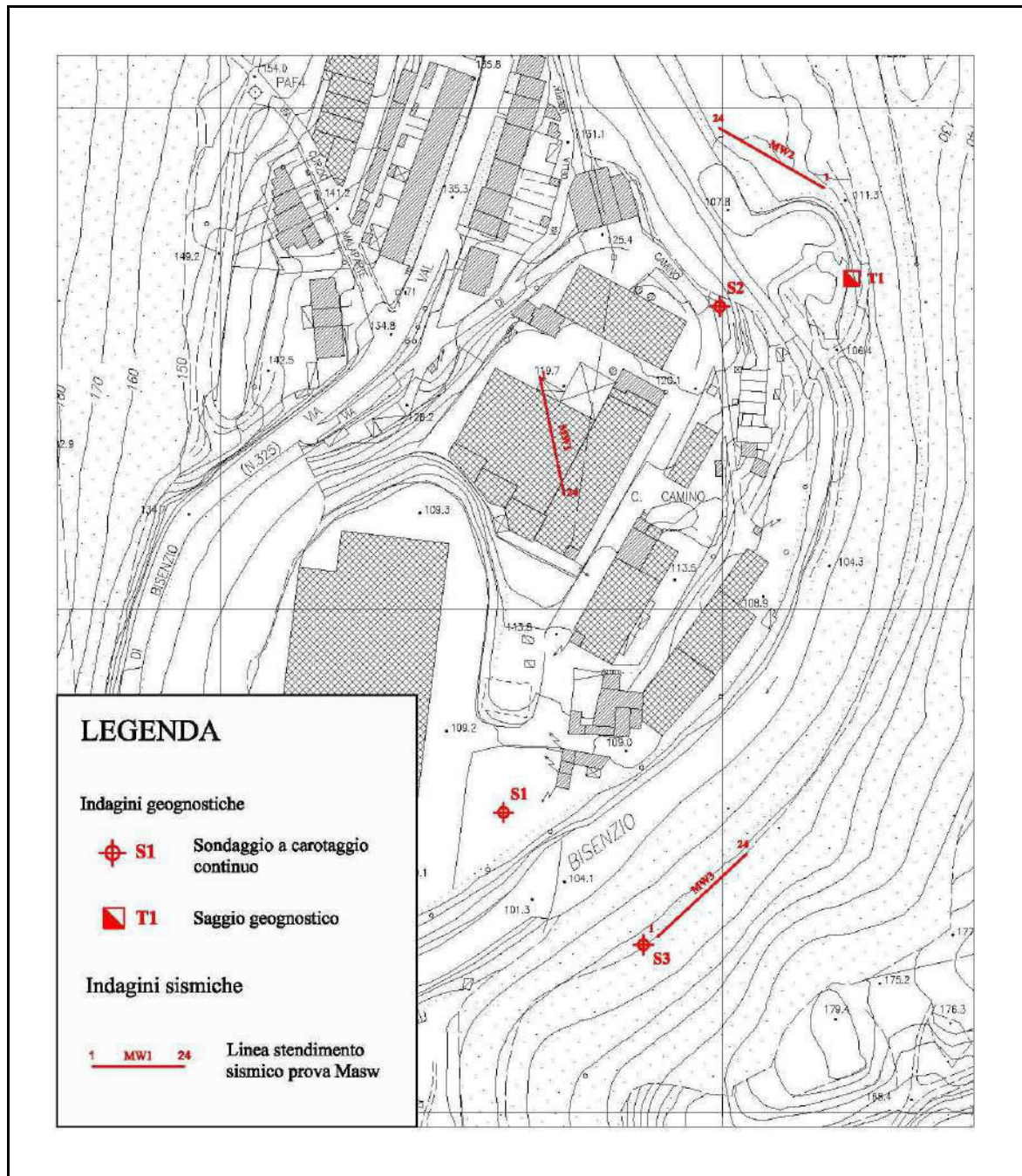
Al fine di ricostruire il modello geotecnico del terreno di fondazione per entrambe le spalle delle due passerelle, sono stati realizzati sondaggi a carotaggio continuo in prossimità del punto di appoggio delle stesse spalle come da progetto preliminare.

Inizialmente era stata programmata l'esecuzione di n. 4 sondaggi spinti fino a 20 m da p.c. suddivisi ciascuno per ogni estremità dei due attraversamenti. Nel corso della campagna geognostica, è risultato impossibile raggiungere la zona di realizzazione della spalla est della passerella di monte. Infatti la strada rupestre presente come collegamento tra la soprastante pista ciclopedonale e il terrazzo fluviale collocato in sinistra idraulica a monte di Camino, è risultata di ampiezza non sufficiente affinché la macchina perforatrice potesse raggiungere l'argine fluviale del torrente Bisenzio. Visti i tempi ristretti di esecuzione delle indagini, si è optato per by-passare tale sondaggio e sostituirlo con un saggio geognostico da realizzare con escavatore in prossimità della passerella di monte sull'argine in sinistra idraulica.

L'ubicazione delle indagini geognostiche realizzate nell'area di Camino è mostrata in fig.1.

Il sondaggio S1, realizzato in prossimità della passerella di valle, è stato eseguito a carotaggio continuo soltanto tra 0 e 11,5 m di profondità da p.c.. La parte restante è stata esplorata attraverso l'uso di martello a fondo-foro con perforazione a distruzione di nucleo. Infatti la presenza in profondità di materiale grossolano e molto addensato (ciottoli e probabili rari blocchi, come testimoniato dagli affioramenti limitrofi) ha impedito di realizzare un corretto carotaggio, con tempistiche adeguate al normale svolgimento della campagna geognostica.





**Fig 1:** Ubicazione indagini geognostiche e sismiche in prossimità di Camino (Vaiano – PO)

- **Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata nella campagna geognostica**

Per quanto concerne il sondaggio geognostico, la perforazione è stata eseguita con una perforatrice oleodinamica della marca Casagrande modello C6. Le caratteristiche principali dell'attrezzatura utilizzata:



- lunghezza = 7,32 m
- larghezza = 2,25 m
- altezza = 2,77 m
- peso = circa 15.000 kg
- spinta = 82,5 kN
- coppia massima testa = 13.550 N\*m
- potenza motore a 2300 giri = 93 kW

Tale perforatrice risulta montata su carro cingolato e presenta una testa di rotazione azionata da circuito oleodinamico.

Il carotaggio è stato eseguito per mezzo di un carotiere semplice della lunghezza di 1,7 m e diametro 101 mm. Per l'approfondimento è stata utilizzata una batteria di aste aventi ciascuna lunghezza di 3 m e avvitatura tronco-conica.

Talora, al fine di permettere l'avanzamento, sia per la tenacità di alcuni orizzonti, che per la natura argillosa dei terreni attraversati, si è reso necessario l'utilizzo di acqua in foro. Soltanto il sondaggio S1 è stato realizzato a secco nel tratto realizzato a carotaggio continuo.

Considerata la natura granulare e grossolana dei depositi da attraversare, nonché delle coltri detritiche di versante presenti lungo le zone spondali del torrente Bisenzio, le prove SPT realizzate in foro sono state effettuate con sistema di infissione a punta chiusa. Il sistema di battitura utilizzato è del tipo Pilcon, caratterizzato da un sistema con caduta libera del maglio (peso pari a 63,5 kg) da un'altezza di 76 cm.

#### • **Risultanze campagna geognostica**

In allegato 1 sono riportati i certificati di prova relativi alle indagini geognostiche realizzate a Camino (Vaiano).

Di seguito si riportano le stratigrafie ottenute dalla realizzazione sia dei 3 sondaggi (S1, S2, S3) che del saggio geognostico (T1), come da rapporto di campagna.

#### SONDAGGIO S1

*da 0 a 0,7 m - Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna.*

*da 0,7 a 1,3 m - ghiaia centimetrica con rari ciottoli in matrice limosa deb. sabbiosa bruna mod. addensata*

*da 1,3 a 1,8 m - limo con sabbia deb. ghiaioso, moderatamente consistente*

*da 1,8 a 2,35 m - limo con sabbia, color bruno, poco consistente, a tratti inconsistente, con rari clasti di ghiaia, da millimetrici a centimetrici*

*da 2,35 a 2,70 m - limo con sabbia deb. ghiaioso, bruno, consistente, talora con clasti rossastri centimetrici di laterizi alterati. Presente ciottolo calcarenitico decimetrico a quota 2,70 m*

*da 2,70 a 3,50 - limo sabbioso-ghiaioso deb. argilloso, bruno nerastro (matrice ricca in sostanza organica), da inconsistente a poco consistente*

*da 3,50 a 3,70 - ghiaia limoso-sabbiosa, matrice color nocciola, clasti max 5-6 cm*

*da 3,70 a 4,55 - ghiaia centimetrica con ciottoli decimetrici calcarenitici in matrice limosa mod. addensata*

*da 4,55 a 5,20 - ghiaia limosa; matrice color nocciola, clasti calcarenitici centimetrici*

*da 5,20 a 5,45 - limo con sabbia bruno, mod. consi.*

*da 5,45 a 5,80 - ghiaia millimetrica da subarrotondata ad arrotondata, con rari ciottoli centimetrici (max 7 cm) in matrice sabbioso-limosa color nocciola (matrice 20-30%)*

*da 5,80 a 9,45 m - ghiaia, da millimetrica a centimetrica (max 6 cm), subarrotondata (clasti calcarenitici), sabbioso-limosa, con rari ciottoli decimetrici calcarenitici*

*da 9 a 9,45 eseguita prova SPT (8+14+25)*

*da 9,45 a 10 - ghiaia ciottolosa in matrice limoso-sabbiosa, color nocciola (ciottoli calcarenitici talora calciruditici)*

*da 10 a 15 m - ciottoli con ghiaia, decimetrici (max circa 22 cm); (tra 11,5 e 15 avanzamento a distruzione di nucleo)*

*da 15 a 15,08 m eseguita prova SPT con rifiuto (50 + 50+ R) - avanzamento 8 cm per 100 colpi*

*da 15 a 20 m - breccia calcilutitica in matrice limoso-sabbiosa color nocciola; substrato roccioso stratificato, molto fratturato (avanzamento a distruzione di nucleo)*

*da 20 a 20,05 m eseguita prova SPT con rifiuto (50 + 50) - avanzamento 5 cm per 100 colpi*

*Falda osservata a quota – 6 m circa da p.c..*

## SONDAGGIO S2

*da 0 a 0,9 m - Riporto. Ghiaia sabbioso-limosa, talora con rari clasti centimetrici di breccia calcarea e rari resti vegetali. Matrice di colorazione bruna*

*da 0,9 a 2,2 m: ghiaia con ciottoli sub-spigolosa calcarenitica, talora breccia (clasti max 10 cm) addensata*

*da 2,2 a 2,85 m: breccia calcarenitica alterata, in matrice limoso-sabbiosa bruna, talora limoso-sabbiosa deb. argillosa, addensata, da millimetrica a centimetrica, con patine bruno-rossastre di alterazione. La matrice risulta talora prevalente (matrice > 50%)*

*2,85 – 5,50 m: ghiaia limoso-sabbiosa, sub-spigolosa, da millimetrica a centimetrica, talora con patine bruno-rossastre di alterazione, addensata. Talora limo con ghiaia sabbioso (matrice > 50%) con resti di clasti siltitici centimetrici. Tra 3,25 e 3,65, nonché tra 4,20 e 4,40 m presenti ciottoli con ghiaia con diametro > 10 cm.*

*A quota 4,50 eseguita prova SPT (28+40+47)*

*da 5,50 a 6 m - limo con ghiaia sabbioso, talora ghiaia sub-spigolosa limoso-sabbiosa deb. argillosa, clasti da millimetrici a centimetrici (max 1 cm), matrice color bruno con screziature color nocciola*

*da 6 a 10 m - ghiaia millimetrica sub-spigolosa sabbiosa debolmente limosa, talora sabbioso-limosa, da addensata a molto addensata. Matrice color nocciola. Tra 6,50 e 6,60 m ciottoli calcarenitici decimetrici. Presente a quota 8,25 m ciottolo sub-spigoloso (max circa 20 cm) calcarenitico.*

*A quota 8,50 m eseguita prova SPT con rifiuto (50+50)*

*10 – 11,30 m - limo con ghiaia sabbioso molto consistente, a tratti ghiaia con limo sabbioso addensata; clasti da millimetrici a centimetrici (max circa 2 cm), da subarrotondati a sub-spigolosi, molto consistente*

*11,30 - 11,80 m - ghiaia millimetrica con sabbia, addensata*

*11,80 – 12,90 m - limo con ghiaia bruno, molto consistente*

*12,90 – 18 m - ghiaia sub-spigolosa sabbioso-limosa, addensata, talora sabbia limoso-ghiaiosa talora breccia calcilutitica immersa in matrice sabbioso-limosa. Presenti rari clasti di ghiaia sub-spigolosi centimetrici. Probabile frantumazione di blocchi spigolosi calcilutitici costituenti il deposito.*

*A quota 14,5 m eseguita prova SPT con rifiuto (50+50) - avanzamento 8 cm + 5 cm*

*18 – 19,2 m - Breccia da centimetrica a decimetrica calcilutitica in matrice sabbiosa grossolana, talora limoso-sabbiosa, color nocciola, molto addensata. Possibile inizio orizzonte alterazione substrato roccioso.*

*A quota 18,5 m eseguita prova SPT - (17+24+37)*

*Falda non rilevata*

### SONDAGGIO S3

*da 0 a 1 m - Riporto. Breccia calcarenitica prevalentemente centimetrica in matrice sabbioso-limosa*

*da 1 a 9 m - Breccia prevalentemente calcilutitica grigia, moderatamente addensata, in matrice limosa debolmente sabbiosa bruna*

*A quota 1,5 m da p.c. eseguita prova SPT (6+5+7)*

*A quota 4,10 m da p.c. eseguita prova SPT (5+11+9)*

*A quota 8 m da p.c. eseguita prova SPT (3+5+5)*

*da 9 a 10,70 m - Breccia da sub-arrotondata a sub-spigolosa, prevalentemente millimetrica, limoso-sabbiosa, addensata*

*da 10,70 a 15 m - Breccia prevalentemente in clasti decimetrici calcarenitici grigi, in matrice limoso-sabbiosa color nocciola molto addensata*

*A quota 12 m eseguita prova SPT (45+50+50) - avanzamento 15 cm + 8 cm + 3 cm*

*da 15 a 15,50 m - Calcarenite grigia fratturata (RQD = 20)*

*da 15,50 a 16,50 m - Breccia calcarenitica in matrice limoso-sabbiosa addensata*

*A quota 16 m eseguita prova SPT (48+50+50) avanzamento 15 cm + 10 cm + 8 cm*

*da 16,50 a 17,20 m - Breccia prevalentemente millimetrica, sub-spigolosa in matrice limoso-sabbiosa bruna, molto addensata*

*da 17,20 a 17,50 m - Limo color bruno, deb. sabbioso-argilloso con rari clasti di breccia centimetrici*

*da 17,50 a 19,50 m - Breccia calcilutitica in matrice limosa deb. sabbiosa, bruno-verdastra (probabile substrato roccioso fratturato)*

*A quota 18,5 m eseguita prova SPT (50+50) R, avanzamento tot. 16 cm*

*da 19,50 a 20,50 m - Breccia calcilutitica talora in matrice limosa deb. sabbiosa (probabile substrato roccioso fratturato)*

*A quota 20,50 m da p.c. eseguita prova SPT (50+50) R, avanzamento 14 cm*

*Falda non rilevata*

### SAGGIO GEOGNOSTICO T1

*da 0 a 1 m - Ciottoli con ghiaia talora ghiaia con ciottoli, con rari blocchi decimetrici e rari clasti arrotondati di laterizi*

*da 1 a 2 m - Substrato roccioso costituito dal alternanze di livelli decimetrici calcilutitici e marnoso-siltitici, molto fratturato e brecciato nei primi decimetri*

*Falda non presente (scavo sotto alveo)*

#### **• Modellazione geotecnica e determinazione dei parametri di resistenza al taglio**

Al fine di ottenere i parametri di resistenza al taglio relativi agli orizzonti litologici individuati con i carotaggi geognostici, è stata effettuata la normalizzazione dei valori di  $N_{spt}$  ottenuti dalle 14 prove SPT realizzate nei fori di sondaggio.

La normalizzazione è stata effettuata tenendo conto sia del sovraccarico litostatico (coefficiente riduttivo  $C_n$ ), che del rendimento dell'attrezzatura di battitura (coefficiente  $C_e$  riferita al rapporto 55/60), nonché della lunghezza delle aste utilizzate per ogni prova SPT (coefficiente  $C_r$ ). Per quanto concerne la determinazione del sovraccarico litostatico, questo è stato considerato (a scopo cautelativo) non in termini di tensioni efficaci (come indicato da bibliografia) ma in termini di tensioni totali. Ciò perché soltanto nella verticale di indagine S1 è stata riscontrata la presenza di falda. Perciò, non essendo presente acqua negli altri siti, né all'interno dei depositi alluvionali, né nella parte superficiale del substrato roccioso, al fine di non restituire risultati difforni tra S1 e gli altri sondaggi si è scelto di considerare sempre un sovraccarico in termini di tensioni totali ( $\sigma_{vo}$ ).

In allegato 1 e 2 sono riportati rispettivamente i certificati delle stratigrafie di sondaggio e le foto delle cassette catalogatrici.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive della normalizzazione di  $N_{spt}$  per ciascuna prova.

### PROVA SPT1 – SONDAGGIO S1

Z (m)	$\sigma_{vo}$	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
9	175,5	87,3	39	0,7549	29	0,92	27	0,95	26

**PROVA SPT2 – SONDAGGIO S1**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
15	307,5	160,5	100	0,5703	57	0,92	52	1,00	52

**PROVA SPT3 – SONDAGGIO S1**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
20	410	214	100	0,4939	49	1,00	49	1,00	49

**PROVA SPT1 – SONDAGGIO S2**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
4,5	87,75	43,65	87	1,0675	93	0,92	85	0,95	73

**PROVA SPT2 – SONDAGGIO S2**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
8,5	165,75	82,45	100	0,7767	78	0,92	71	0,95	68

**PROVA SPT3 – SONDAGGIO S2**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
14,5	290	147,9	100	0,5872	59	0,92	54	1,00	54

**PROVA SPT4 – SONDAGGIO S2**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
19,2	384	195,84	61	0,5103	31	0,92	29	1,00	29

**PROVA SPT1 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
1,5	27,75	13,05	12	1,8983	23	0,92	21	0,75	16

**PROVA SPT2 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
4,1	76,67	36,49	20	1,1421	23	0,92	21	0,85	18

**PROVA SPT3 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
8	149,6	71,2	10	0,8176	8	0,92	8	0,85	6

**PROVA SPT4 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
12	234	116,4	100	0,6537	65	0,92	60	1,00	60

**PROVA SPT5 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
16	312	155,2	100	0,5661	57	0,92	52	1,00	52

**PROVA SPT6 – SONDAGGIO S4**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>Nspt</b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
18,5	379,25	197,95	100	0,5135	51	0,92	47	1,00	47

**PROVA SPT7 – SONDAGGIO S3**

<b>Z (m)</b>	<b><math>\sigma_{vo}</math></b>	<b><math>\sigma_{v'}</math></b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>CN</b>	<b>N1</b>	<b>CE</b>	<b>(N1)60</b>	<b>CR</b>	<b>(N1)60 defi</b>
20,5	420,25	219,35	100	0,4878	49	0,92	45	1,00	45

Per ciascun sondaggio, sulla scorta sia dei parametri ricavati per correlazione con i valori di  $N_{spt}$  che di conoscenze delle caratteristiche meccaniche di materiali simili a quelli presenti in loco, sono stati definiti i parametri nominali e caratteristici di ciascun layer geotecnico discriminato lungo le verticali di esplorazione. Si sottolinea che un orizzonte geotecnico talora può comprendere più di un layer stratigrafico descritto nei certificati delle stratigrafie di cantiere.

Di seguito si riporta il modello geotecnico con i parametri caratteristici definito per ciascuna verticale di indagine.

**MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S1**

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 0,70 m di profondità da p.c.) – Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna. A tale layer si associano i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 7

peso di volume ( $\gamma$ ) = 19 kN/m<sup>3</sup> = 0,00194 kg/cm<sup>3</sup>

Dr (%) = 35

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) = 33°

coesione efficace  $c'$  = 8 kPa = 0,081 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza al taglio non drenata  $c_u$  = 49,03 kPa = 0,5 kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico  $E_s$  = 7.800 kPa = 79,54 kg/cm<sup>2</sup>

- **2° orizzonte** (da 0,70 a 1,30 m di profondità da p.c.) – Ghiaia centimetrica con rari ciottoli in matrice limosa deb. sabbiosa bruna, mod. addensata



E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 10$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$$

$$Dr (\%) = 40$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 33,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 9 \text{ kPa} = 0,092 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 66,68 \text{ kPa} = 0,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 9.600 \text{ kPa} = 97,89 \text{ kg/cm}^2$$

- **3° orizzonte** (da 1,30 a 3,50 m di profondità da p.c.) – Limo sabbioso debolmente ghiaioso, da inconsistente a poco consistente, di colorazione bruna talora bruno-nerastra. Presenta i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 2$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 18,2 \text{ kN/m}^3 = 0,00185 \text{ kg/cm}^3$$

$$Dr (\%) = 10$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 22^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 7 \text{ kPa} = 0,71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 13,73 \text{ kPa} = 0,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 5.440 \text{ kPa} = 55,47 \text{ kg/cm}^2$$

- **4° orizzonte** (da 3,50 a 5,20 m di profondità da p.c.) – Ghiaia , da millimetrica a centimetrica, limoso-sabbiosa, da sub- arrotondata ad arrotondata, moderatamente addensata. Presenti talora rari blocchi calcarei e rari livelli di limo con sabbia bruno, moderatamente consistente. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 26$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$$

$$Dr (\%) = 65$$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 171,60 \text{ kPa} = 1,75 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.200 \text{ kPa} = 216,18 \text{ kg/cm}^2$

- **5° orizzonte** (da 5,20 a 5,45 m di profondità da p.c.) – Limo sabbioso debolmente ghiaioso, da inconsistente a poco consistente, di colorazione bruna talora bruno-nerastra. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 7

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19 \text{ kN/m}^3 = 0,00194 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 35

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $26^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 49,03 \text{ kPa} = 0,50 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 7.040 \text{ kPa} = 71,79 \text{ kg/cm}^2$

- **6° orizzonte** (da 5,45 a 9,45 m di profondità da p.c.) – Ghiaia , da millimetrica a centimetrica, limoso-sabbiosa, da sub- arrotondata ad arrotondata, moderatamente addensata. Presenti talora rari blocchi calcarei e rari livelli di limo con sabbia bruno, moderatamente consistente. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 26

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 65

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 171,60 \text{ kPa} = 1,75 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.200 \text{ kPa} = 216,18 \text{ kg/cm}^2$

- **7° orizzonte** (da 9,45 a 15,00 m di profondità da p.c.) – Ciottoli con ghiaia molto addensati. I ciottoli sono decimetrici (generalmente max circa 22 cm). Presenti talora rari blocchi. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 52

peso di volume ( $\gamma$ ) = 20,5 kN/m<sup>3</sup> = 0,0021 kg/cm<sup>3</sup>

Dr (%) = 95

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) = 39°

coesione efficace  $c'$  = 0 kPa

resistenza al taglio non drenata  $c_u$  = 196 kPa = 2 kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico  $E_s$  = 36.800 kPa = 375,25 kg/cm<sup>2</sup>

- **8° orizzonte** (da 15,00 a 20,00 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e fratturato.

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 49

peso di volume ( $\gamma$ ) = 20,5 kN/m<sup>3</sup> = 0,0021 kg/cm<sup>3</sup>

Dr (%) = 95

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) = 39°

coesione efficace  $c'$  = 0 kPa

resistenza al taglio non drenata  $c_u$  = 196 kPa = 2 kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico  $E_s$  = 35.000 kPa = 356,89 kg/cm<sup>2</sup>

#### MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S2

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 0,90 m di profondità da p.c.) – Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna. A tale layer si associano i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 7

peso di volume ( $\gamma$ ) = 19 kN/m<sup>3</sup> = 0,00194 kg/cm<sup>3</sup>

$Dr (\%) = 35$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 33^\circ$

coesione efficace  $c' = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 49,03 \text{ kPa} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 7.800 \text{ kPa} = 79,54 \text{ kg/cm}^2$

- **2° orizzonte** (da 0,90 a 5,50 m di profondità da p.c.) – Ghiaia limoso-sabbiosa, sub-spigolosa, da millimetrica a centimetrica, addensata. A tratti breccia calcarenitica in matrice limoso-sabbiosa. Talora limo con ghiaia sabbioso (matrice > 50%) con resti di clasti siltitici centimetrici. E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 73$

peso di volume  $(\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 100$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 39^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 47.400 \text{ kPa} = 483,34 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 5,50 a 6,00 m di profondità da p.c.) – Limo con ghiaia sabbioso, molto consistente, color bruno, a tratti ghiaia con limo sabbiosa, addensata. Presenta i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 20$

peso di volume  $(\gamma) = 19,7 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 57$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 36^\circ$

coesione efficace  $c' = 16 \text{ kPa} = 0,163 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 133,40 \text{ kPa} = 1,36 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 15.600 \text{ kPa} = 159,07 \text{ kg/cm}^2$

- **4° orizzonte** (da 6,00 a 10,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia millimetrica sub-spigolosa, sabbiosa debolmente limosa, talora sabbioso-limosa, da addensata a molto addensata. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 68

peso di volume  $(\gamma) = 20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 100$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 39^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 44.400 \text{ kPa} = 452,75 \text{ kg/cm}^2$

- **5° orizzonte** (da 10,00 a 12,90 m di profondità da p.c.) – Limo con ghiaia sabbioso, molto consistente, color bruno, a tratti ghiaia con limo sabbiosa, addensata. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 25

peso di volume  $(\gamma) = 19,7 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 65$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 37^\circ$

coesione efficace  $c' = 12 \text{ kPa} = 0,122 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 162,79 \text{ kPa} = 1,66 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 18.600 \text{ kPa} = 189,66 \text{ kg/cm}^2$

- **6° orizzonte** (da 12,90 a 17,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia sub-spigolosa sabbioso-limosa, addensata, talora sabbia limoso-ghiaiosa talora breccia calcilutitica immersa in matrice sabbioso-limosa. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 54

peso di volume  $(\gamma) = 20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 96$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 39^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.000 \text{ kPa} = 367,01 \text{ kg/cm}^2$

- **7° orizzonte** (da 17,00 a 19,20 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e molto fratturato.

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 29$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 68$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37,5^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 186 \text{ kPa} = 1,90 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.000 \text{ kPa} = 214,14 \text{ kg/cm}^2$

### MODELLO GEOTECNICO SONDAGGIO S3

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 1,00 m di profondità da p.c.) – Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna. A tale layer si associano i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 12$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $18,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00189 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 45$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $34^\circ$

coesione efficace  $c' = 5 \text{ kPa} = 0,051 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 88,26 \text{ kPa} = 0,90 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 10.800 \text{ kPa} = 110,13 \text{ kg/cm}^2$

- **2° orizzonte** (da 1,00 a 9,00 m di profondità da p.c.) – Breccia prevalentemente calcilutitica grigia, moderatamente addensata, in matrice limosa debolmente sabbiosa bruna. E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 12

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $18,7 \text{ kN/m}^3 = 0,0019 \text{ kg/cm}^3$

Dr (%) = 45

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $34^\circ$

coesione efficace  $c' = 5 \text{ kPa} = 0,051 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 88,26 \text{ kPa} = 0,90 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 10.800 \text{ kPa} = 110,13 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 9,00 a 10,70 m di profondità da p.c.) – Breccia da sub-arrotondata a sub-spigolosa, prevalentemente millimetrica, limoso-sabbiosa, addensata. Presenta i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 20

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

Dr (%) = 57

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $36^\circ$

coesione efficace  $c' = 10 \text{ kPa} = 0,102 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 133,40 \text{ kPa} = 1,36 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 15.600 \text{ kPa} = 159,07 \text{ kg/cm}^2$

- **4° orizzonte** (da 10,70 a 16,50 m di profondità da p.c.) – Breccia calcarenitica prevalentemente centimetrica in matrice limoso-sabbiosa addensata. Talora presenti blocchi di calcarenite fratturati. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 52

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

Dr (%) = 95

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 16 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 34.800 \text{ kPa} = 354,85 \text{ kg/cm}^2$

- **5° orizzonte** (da 16,50 a 20,50 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato fortemente fratturato. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 46

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 89

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 15 \text{ kPa} = 0,153 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 31.200 \text{ kPa} = 318,15 \text{ kg/cm}^2$

#### MODELLO GEOTECNICO SAGGIO GEOGNOSTICO T1

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 1,00 m di profondità da p.c.) – Ciottoli con ghiaia talora ghiaia con ciottoli, con rari blocchi decimetrici e rari clasti arrotondati di laterizi.

A tale layer si associano i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 26

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19 \text{ kN/m}^3 = 0,00193 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 65

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 2 \text{ kPa} = 0,02 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 96 \text{ kPa} = 0,98 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 19.200 \text{ kPa} = 195,78 \text{ kg/cm}^2$



- **2° orizzonte** (da 1,00 a 2,00 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso costituito dal alternanze di livelli decimetrici calcilutitici e marnoso-siltitici, molto fratturato e brecciato nei primi decimetri. E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 46$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 89$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 31.200 \text{ kPa} = 318,15 \text{ kg/cm}^2$

#### • **Modello geotecnico del sottosuolo**

Al fine di restituire i parametri caratteristici da considerare nelle verifiche delle opere fondazionali, è stato tracciato il modello geotecnico in corrispondenza di ciascun punto di appoggio delle spalle delle passerelle, secondo le indicazioni progettuali ricevute dal progettista incaricato.

Di seguito viene descritto il modello geotecnico sulla base della parametrizzazione eseguita per le indagini geognostiche. Ciascun modello geotecnico ha come riferimento la quota attuale del p.c. in corrispondenza della verticale di realizzazione delle fondazioni.

#### **PASSERELLA DI MONTE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA DESTRA**

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 2,50 m di profondità da p.c.) – Limo con ghiaia sabbioso, molto consistente, color bruno, a tratti ghiaia con limo sabbiosa, addensata. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 25$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,7 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 65$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 37^\circ$

coesione efficace  $c' = 12 \text{ kPa} = 0,122 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 162,79 \text{ kPa} = 1,66 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 18.600 \text{ kPa} = 189,66 \text{ kg/cm}^2$

- **2° orizzonte** (da 2,50 a 6,50 m di profondità da p.c.) – Ghiaia sub-spigolosa sabbioso-limosa, addensata, talora sabbia limoso-ghiaiosa talora breccia calcilutitica immersa in matrice sabbioso-limosa. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 54$

peso di volume  $(\gamma) = 20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 96$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 39^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.000 \text{ kPa} = 367,01 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 17,00 a 19,20 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e molto fratturato.

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 29$

peso di volume  $(\gamma) = 20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 68$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 37,5^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 186 \text{ kPa} = 1,90 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.000 \text{ kPa} = 214,14 \text{ kg/cm}^2$

## PASSERELLA DI MONTE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA SINISTRA

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 1,00 m di profondità da p.c.) – Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici. Clasti calcarenitici e calcilutitici immersi in una matrice limoso-sabbiosa bruna. A tale layer si associano i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 30

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,8 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 70

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.000 \text{ kPa} = 367,1 \text{ kg/cm}^2$

- **2° orizzonte** (da 1,00 a 6,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia sub-spigolosa sabbioso-limosa, addensata, talora sabbia limoso-ghiaiosa talora breccia calcilutitica immersa in matrice sabbioso-limosa. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 54

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr$  (%) = 96

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.000 \text{ kPa} = 367,1 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 6,00 a 10,00 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e molto fratturato.

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 29$

peso di volume  $(\gamma) = 20 \text{ kN/m}^3 = 0,002 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 68$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 37,5^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 186 \text{ kPa} = 1,90 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.000 \text{ kPa} = 214,14 \text{ kg/cm}^2$

### PASSERELLA DI VALLE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA DESTRA

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 1,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia centimetrica con rari ciottoli in matrice limosa deb. sabbiosa bruna, mod. addensata

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 7$

peso di volume  $(\gamma) = 19 \text{ kN/m}^3 = 0,00194 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 35$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 33^\circ$

coesione efficace  $c' = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 49,03 \text{ kPa} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 7.800 \text{ kPa} = 79,54 \text{ kg/cm}^2$

- **2° orizzonte** (da 1,00 a 3,00 m di profondità da p.c.) – Limo sabbioso debolmente ghiaioso, da inconsistente a poco consistente, di colorazione bruna talora bruno-nerastra. Presenta i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 2$

peso di volume  $(\gamma) = 18,2 \text{ kN/m}^3 = 0,00185 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 10$

angolo d'attrito interno efficace  $(\phi') = 22^\circ$

coesione efficace  $c' = 7 \text{ kPa} = 0,71 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 13,73 \text{ kPa} = 0,14 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 5.440 \text{ kPa} = 55,47 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 3,00 a 9,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia , da millimetrica a centimetrica, limoso-sabbiosa, da sub- arrotondata ad arrotondata, moderatamente addensata. Presenti talora rari blocchi calcarei e rari livelli di limo con sabbia bruno, moderatamente consistente. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 26

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

$D_r$  (%) = 65

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 171,60 \text{ kPa} = 1,75 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.200 \text{ kPa} = 216,18 \text{ kg/cm}^2$

- **4° orizzonte** (da 9,00 a 14,00 m di profondità da p.c.) – Ciottoli con ghiaia molto addensati. I ciottoli sono decimetrici (generalmente max circa 22 cm). Presenti talora rari blocchi. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{\text{spt}}$  medio = 52

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

$D_r$  (%) = 95

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 0 \text{ kPa}$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.800 \text{ kPa} = 375,25 \text{ kg/cm}^2$

- **5° orizzonte** (da 14,00 a 15,00 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e fratturato. E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 49

peso di volume ( $\gamma$ ) = 20,5 kN/m<sup>3</sup> = 0,00209 kg/cm<sup>3</sup>

Dr (%) = 95

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) = 39°

coesione efficace  $c'$  = 0 kPa

resistenza al taglio non drenata  $c_u$  = 196 kPa = 2 kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico  $E_s$  = 35.000 kPa = 356,9 kg/cm<sup>2</sup>

#### PASSERELLA DI VALLE - MODELLO GEOTECNICO SPALLA SINISTRA

- **1° orizzonte** (da 0,00 a 3,50 m di profondità da p.c.) – Breccia prevalentemente calcilutitica grigia, moderatamente addensata, in matrice limosa debolmente sabbiosa bruna.

E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt}$  medio = 12

peso di volume ( $\gamma$ ) = 18,7 kN/m<sup>3</sup> = 0,0019 kg/cm<sup>3</sup>

Dr (%) = 45

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) = 34°

coesione efficace  $c'$  = 5 kPa = 0,051 kg/cm<sup>2</sup>

resistenza al taglio non drenata  $c_u$  = 88,26 kPa = 0,90 kg/cm<sup>2</sup>

modulo elastico  $E_s$  = 10.800 kPa = 110,13 kg/cm<sup>2</sup>

- **2° orizzonte** (da 3,50 a 8,00 m di profondità da p.c.) – Ghiaia , da millimetrica a centimetrica, limoso-sabbiosa, da sub- arrotondata ad arrotondata, moderatamente addensata. Presenti talora rari blocchi calcarei e rari livelli di limo con sabbia bruno, moderatamente consistente. Al presente layer stratigrafico sono associabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 26$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 65$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $37^\circ$

coesione efficace  $c' = 13 \text{ kPa} = 0,132 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 171,60 \text{ kPa} = 1,75 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 21.200 \text{ kPa} = 216,18 \text{ kg/cm}^2$

- **3° orizzonte** (da 8,00 a 9,00 m di profondità da p.c.) – Ciottoli con ghiaia molto addensati. I ciottoli sono decimetrici (generalmente max circa 22 cm). Presenti talora rari blocchi. Questo orizzonte è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 52$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 95$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 0 \text{ kPa}$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 36.800 \text{ kPa} = 375,25 \text{ kg/cm}^2$

- **4° orizzonte** (da 9,00 a 10,00 m di profondità da p.c.) – Substrato roccioso stratificato e fratturato. E' caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici:

$N_{spt} \text{ medio} = 46$

peso di volume ( $\gamma$ ) =  $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

$Dr (\%) = 89$

angolo d'attrito interno efficace ( $\phi'$ ) =  $39^\circ$

coesione efficace  $c' = 15 \text{ kPa} = 0,153 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata  $c_u = 196 \text{ kPa} = 2 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico  $E_s = 31.200 \text{ kPa} = 318,15 \text{ kg/cm}^2$

Si evidenzia che il modello geotecnico è stato rappresentato, in ciascun sito investigato, fino ad una profondità massima di 10 m. Ciò perchè si ritiene che tale profondità sia sufficiente per la rappresentazione della sequenza stratigrafica alla cui base siano presenti materiali con buone/elevate caratteristiche meccaniche. In particolare la quota di progetto delle spalle della passerella di monte fa ipotizzare (sulla scorta delle indagini geognostiche realizzate) che già a circa 6 m si incontri substrato roccioso. Soltanto per il sito prossimo al sondaggio S1 è stato restituito un modello fino alla profondità di 15 m, in quanto il substrato risulta collocato a profondità maggiori da p.c. rispetto agli altri siti modellati.

Per quanto concerne la passerella di valle, in sinistra idraulica si presume che a circa 9-10 m sia presente substrato roccioso. In destra idraulica, invece, si ipotizza che a circa 9 m siano individuabili depositi grossolani costituiti principalmente da ciottolami e ghiaie con talora blocchi, molto addensati e che a circa 14-15 m si incontri il tetto del substrato roccioso calcareo stratificato e fratturato.

Le prove SPT hanno restituito generalmente valori elevati di  $N_{spt}$ , per i quali già a profondità inferiori a quelle di carotaggio ( $< 20$  m) si trovano materiali con buone caratteristiche meccaniche sui quali probabilmente posso essere attestati i pali di fondazione delle passerelle. Comunque si rimanda al progettista qualsiasi valutazione definitiva in merito alla profondità adeguata di realizzazione delle sottofondazioni, a fronte delle risultanze delle verifiche agli SLU che lo stesso dovrà produrre in fase progettuale.

Si precisa infine che il substrato è stato caratterizzato dal punto di vista geotecnico considerandolo come un materiale incoerente (in quanto è stato esplorato solo il tetto dell'ammasso roccioso), perciò i parametri geotecnici espressi sono quelli usuali dei materiali non litoidi. Dagli affioramenti presenti in corrispondenza del sito di studio è emerso (vedi relazione geologica) che talora l'ammasso è costituito da bancate metriche e perciò meno stratificato. Il grado di fatturazione però risulta sempre elevato, per effetto dei giunti di fessurazione diffusi all'interno dello stesso ammasso. Perciò si può stimare che l'RQD del tetto del substrato sia generalmente  $\leq 25$ .

#### • Condizioni della falda

Nel corso della realizzazione dei carotaggi sono state eseguite misurazioni della falda in foro al fine di osservare l'eventuale presenza della stessa e la quota rispetto al p.c..



Soltanto il sondaggio S1 ha evidenziato la presenza di acqua all'interno dei depositi alluvionali con quota -6 m da p.c..

Gli altri fori non hanno raggiunto alcun orizzonte acquifero. Inoltre, è importante sottolineare che il saggio geognostico realizzato in sinistra idraulica per la passerella di monte, ha messo in risalto l'assenza di falda almeno al tetto del substrato roccioso. Infatti lo scavo ha raggiunto una quota inferiore a quella dell'alveo del torrente Bisenzio. Perciò, nonostante sia stato realizzato uno scavo sotto l'alveo, non è stata osservata alcuna falda affiorante.

- **Determinazione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche**

Dalle risultanze delle 3 indagini di sismica attiva con metodo M.A.S.W., eseguite in corrispondenza dell'area di Camino (vedi relazione sulla modellazione sismica del sottosuolo), si evince che la categoria di sottosuolo rappresentativa nei vari siti di studio è la **B** per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008, appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche di sito, dallo studio morfologico dell'area di interesse si evince che la categoria topografica che meglio approssima le condizioni reali in ciascun punto modellato dal punto di vista sismico è la **T1** per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008, ci si trova su superficie pianeggiante oppure su pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

- **Azione sismica di progetto**

L'azione sismica di progetto si determina a partire dal valore di  $a_g/g$  individuata per l'area di studio.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, le verifiche in presenza di azione sismica devono essere eseguite utilizzando parametri sismici ( $a_g/g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) definiti per diversi valori di  $P_{vr}$  e  $T_r$  che variano a seconda dello stato limite considerato (SLV, SLC, SLO, SLD).

Tali parametri, inoltre sono riferiti ad un periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_r$  che ai sensi delle NTC 2008 si determina secondo l'espressione  $V_r = V_n * C_u$ , dove  $V_n$  è la vita

nominale dell'opera e  $C_u$  è il coefficiente d'uso determinato sulla base della classe d'uso a cui appartiene l'opera d'interesse.

Nel caso del presente studio si è considerato  $V_n \geq 50$  anni,  $C_u = 1$  (corrispondente ad una classe d'uso = II) e  $V_r = 50$  anni.

Al fine di ottenere l'azione sismica di progetto, si determinano coefficienti sismici che, applicati all'azione sismica di base definita per ciascun stato limite, permettono di amplificare la stessa azione rispetto alle condizioni stratigrafiche (categoria di sottosuolo –  $V_{s30}$ ) e rispetto alle condizioni topografiche del sito di studio (categoria topografica). In questo caso si è fatto riferimento alla categoria di suolo C, nonché alla categoria topografica T1.

I coefficienti di amplificazione che rappresentano rispettivamente le condizioni di sottosuolo e topografiche sono  $S_s$  (coefficiente di amplificazione sismica) e  $S_t$  (coefficiente di amplificazione topografica). L'accelerazione sismica di progetto ( $a_g/g_{max}$ ) si ottiene secondo la seguente relazione:

$$a_g/g_{max} = a_g/g * S_s * S_t$$

I parametri e i coefficienti sismici necessari all'esecuzione delle verifiche di sicurezza in condizioni sismiche, nonché gli spettri di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali per i diversi stati limite sono mostrati nell'allegato 3.

### **3. Verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo**

Constatando la presenza talora di orizzonti con grado di addensamento medio-basso, nonché di una falda in corrispondenza della passerella di valle in corrispondenza del sondaggio geognostico S1 (falda a – 6 m da p.c.), è stata eseguita la verifica a liquefazione del sottosuolo di fondazione.

La verifica è stata eseguita applicando il metodo semplificato per cui si ha:

$$F_s = (CRR_{7,5}/CSR) * MSF * k_\sigma$$

dove:

$CRR_{7,5}$  = tensione di taglio normalizzata che esprime la resistenza del terreno alla liquefazione riferita ad un sisma di magnitudo 7,5

CSR = sforzo di taglio ciclico normalizzato, riferito all'azione sismica di progetto  $a_g/g_{max}$

MSF = coefficiente correttivo di CRR per terremoti attesi con magnitudo diverso da 7,5

$k_\sigma$  = coefficiente correttivo funzione della pressione di confinamento

Ai sensi delle NTC 2008 per la verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo, possono essere utilizzati metodi semplificati. Nel calcolo dello sforzo di taglio ciclico applicato dal sisma al terreno, si considera l'accelerazione di picco determinata per suolo rigido ( $A_g$  per SLV). Si è considerata la magnitudo attesa per i terremoti nella zona di studio ( $M = 6,5$ , zona sismogenetica 915) secondo i valori definiti per le varie zone sismogenetiche individuate nel territorio nazionale e mostrate negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica.

Si riportano di seguito le verifiche eseguite per i siti di realizzazione delle fondazioni di ciascuna passerella (con  $a_g/g$  relativa agli SLV), facendo riferimento ai modelli geotecnici sopra descritti.

#### PASSERELLA DI MONTE - SPALLA IN DESTRA IDRAULICA

Z (m)	CRR <sub>7,5</sub>	CSR	K <sub>σ</sub>	MSF	F <sub>s</sub>
2,5	0,23	0,25	1,00	1,67	1,334849
6,5	0,28	0,24	1,00	1,67	1,645895
19,2	0,34	0,22	1,00	1,67	2,239021

#### PASSERELLA DI MONTE - SPALLA IN SINISTRA IDRAULICA

Z (m)	CRR <sub>7,5</sub>	CSR	K <sub>σ</sub>	MSF	F <sub>s</sub>
1	0,27	0,26	1,00	1,67	1,510876
6	0,35	0,26	1,00	1,67	1,943272
10	0,43	0,25	1,00	1,67	2,454087

**PASSERELLA DI VALLE - SPALLA IN DESTRA IDRAULICA**

<b>Z (m)</b>	<b>CRR<sub>7,5</sub></b>	<b>CSR</b>	<b>K<sub>σ</sub></b>	<b>MSF</b>	<b>F<sub>s</sub></b>
1	0,23	0,25	1,00	1,67	1,31408
3	0,28	0,24	1,00	1,67	1,68411
9	0,34	0,23	1,00	1,67	2,101291
14	0,33	0,23	1,00	1,67	2,095863

**PASSERELLA DI VALLE - SPALLA IN SINISTRA IDRAULICA**

<b>Z (m)</b>	<b>CRR<sub>7,5</sub></b>	<b>CSR</b>	<b>K<sub>σ</sub></b>	<b>MSF</b>	<b>F<sub>s</sub></b>
3,5	0,22	0,26	1,00	1,67	1,219975
8	0,34	0,26	1,00	1,67	1,883879
9	0,33	0,26	1,00	1,67	1,844701

Dall'analisi delle risultanze ottenute per i quattro siti di modellazione, si evince che il fattore di sicurezza nei confronti del potenziale di liquefazione del terreno è sempre maggiore di 1 e quasi sempre maggiore di 1,25. Poiché secondo gli eurocodici deve essere tenuto come soglia minima del fattore di sicurezza il valore di 1,25, si conclude che l'orizzonte superficiale in corrispondenza della spalla di sinistra della passerella di valle si trova in condizioni prossime alla liquefazione. Si ricorda che comunque in questa fase stagionale non è presente lungo il versante alcuna falda sospesa.

#### **4. Conclusioni**

La campagna geognostica realizzata a supporto della progettazione dei due attraversamenti sul torrente Bisenzio, ha permesso di esplorare il sottosuolo di fondazione fino a raggiungere il tetto substrato roccioso.

Le stratigrafie hanno evidenziato la presenza in entrambe le passerelle di materiali granulari da mediamente addensati ad addensati e talora molto addensati, come testimoniato dai valori di  $N_{spt}$  ottenuti. Infatti buona parte delle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio hanno manifestato rifiuto. Soltanto nei primi 3 m circa di perforazione di S1 e nei primi 9 m del

sondaggio S3 si registra la presenza di materiali che se pur costituiti in parte da pezzame lapideo centimetrico (ghiaia per S1 e breccia per S3), presentano una matrice limoso-sabbiosa (talora prevalente) poco consistente o addirittura inconsistente, come evidenziato dalla perdita della carota sia nel foro S1 che S3 all'interno degli intervalli di profondità sopra indicati.

Le misure di sismica attiva indicano che i diversi siti di intervento presentano caratteristiche sismo-stratigrafiche tali da associare il sottosuolo, ai sensi delle NTC 2008, alla categoria **B** per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008, appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, dallo studio morfologico dell'area di interesse si evince che la categoria topografica che meglio approssima le condizioni reali in ciascun punto modellato dal punto di vista sismico è la **T1** per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008, ci si trova su superficie pianeggiante oppure su pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

Infine la verifica del potenziale di liquefazione in ciascun sito di intervento, ha restituito sempre  $F_s > 1$  e quasi sempre  $F_s > 1,25$ . Solo per l'orizzonte superficiale in corrispondenza della passerella di valle – sponda in sinistra idraulica,  $F_s < 1,25$ . Poiché secondo gli eurocodici deve essere tenuto come soglia minima del fattore di sicurezza il valore di 1,25, si conclude che l'orizzonte superficiale in corrispondenza della spalla di sinistra della passerella di valle si trova in condizioni prossime alla liquefazione.

Per quanto concerne il dimensionamento delle sottofondazioni (pali) delle passerelle, si lascia al progettista la scelta sulla profondità a cui attestare la stessa fondazione.

Si ricorda, comunque, che per quanto concerne la passerella di valle, in sinistra idraulica si presume che a circa 9-10 m sia presente substrato roccioso. In destra idraulica, invece, si ipotizza che a circa 9 m siano individuabili depositi grossolani costituiti principalmente da ciottolami e ghiaie con talora blocchi, molto addensati e che a circa 14-15 m si incontri il tetto del substrato roccioso calcareo stratificato e fratturato. Le prove SPT hanno restituito generalmente valori elevati di  $N_{spt}$ , per i quali già a profondità inferiori a quelle di carotaggio ( $< 20$  m) si trovano materiali con buone caratteristiche meccaniche sui quali probabilmente posso essere attestati i pali di fondazione delle passerelle.

lì, 18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

## **ALLEGATI**

## **ALLEGATO 1**

### **Certificati delle stratigrafie di sondaggio**



# SONDAGGIO n° S1

committente: Comune Vaiano (PO)  
località: Camino

data: 03/07/2014 quota: p.c. 110,5 m  
cantiere: Passerella di valle

diam mm	prof dal p.c.	q. campioni	tubaggio	scala m.	stratigrafia	falda	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da p.c.)	p. volume Kd	Pocket P. K	Vane test K	SPT=N colpi 15*15+15 cm (punta chiusa)
101				0,5			Riporto. Ghiaia talora con ciottoli e rari blocchi decimetrici calcarenitici; presenti rari resti di laterizi					
	0,7			1			Ghiaia centimetrica con rari ciottoli in matrice limosa deb. sabbiosa bruna mod. addensata					
	1,3			1,5			Limo con sabbia deb. ghiaioso, moderatamente consistente					
	1,8			2			Limo con sabbia, color bruno, poco consistente, a tratti inconsistente, con rari clasti di ghiaia, da millimetrici a centimetrici					
	2,35			2,5			Limo con sabbia deb. ghiaioso, bruno, consistente					
	2,7			3			Limo sabbioso-ghiaioso deb. argilloso, bruno nerastro (matrice ricca in sostanza organica), da inconsistente a poco consistente					
	3,5			3,5			Ghiaia limoso-sabbiosa, matrice color nocciola, clasti max 5-6 cm					
	3,7			4			Ghiaia centimetrica con ciottoli decimetrici calcarenitici in matrice limosa mod. addensata					
	4,55			4,5			Ghiaia limosa; matrice color nocciola, clasti calcarenitici centimetrici					
	5,2			5			Limo con sabbia bruno, mod. consi.					
	5,45			5,5			Ghiaia millimetrica da subarrotondata ad arrotondata, con rari ciottoli centimetrici (max 7 cm) in matrice sabbioso-limosa color nocciola					
	5,8			6								
				6,5								
				7								
				7,5								
				8			Ghiaia da millimetrica a centimetrica (max 6 cm), subarrotondata (clasti calcarenitici), sabbioso-limosa, con rari ciottoli decimetrici calcarenitici					
				8,5								
				9								
	9,45			9,5								
	10			10			Ghiaia ciottolosa in matrice limoso-sabbiosa color nocciola (clasti calcarenitici)					
				10,5								
				11								
				11,5								
				12								
				12,5			Ciottoli con ghiaia, decimetrici (max circa 22 cm); (tra 11,5 e 15 avanzamento a distruzione di nucleo)					
				13								
				13,5								
				14								
				14,5								
	15			15								
								9				(8+14+25)
								15				(50+50) R



# SONDAGGIO n° S2

committente: Comune Vaiano (PO)  
località: Camino

data: 07/07/2014 quota: p.c. 123 m  
cantiere: Passerella di monte

diam mm	prof dal p.c.	q. campioni	tubaggio	scala m.	stratigrafia	falda	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da p.c.)	p. volume Kg	Pocket P. K	Vane test K	SPT=N colpi 15*15+15 cm (punta chiusa)
101				0,5			Riporto. Ghiaia sabbioso-limosa, talora con rari clasti centimetrici di breccia calcarea e rari resti vegetali. Matrice di colorazione bruna.					
	0,9			1								
				1,5			Ghiaia con ciottoli sub-spigolosa calcarenitica, talora breccia (clasti max 10 cm), addensata					
	2,2			2								
	2,8			2,5			Breccia calcarenitica alterata, in matrice limoso-sabbiosa bruna, talora limoso-sabbiosa deb. argillosa, addensata, da millim. a centimetrica					
				3								
				3,5								
				4			Ghiaia limoso-sabbiosa, sub-spigolosa, da millimetrica a centimetrica, talora con patine bruno-rossastre di alterazione, addensata. Talora limo con ghiaia sabbioso (matrice > 50%) con resti di clasti siltitici centimetrici. Tra 3,25 e 3,65, nonché tra 4,20 e 4,40 m presenti ciottoli con ghiaia con diametro > 10 cm	4,5				(28+40+47)
	5,5			5								
	6			5,5			Limo con ghiaia sabbioso, talora ghiaia sub-spigolosa limoso-sabbiosa deb. argillosa, clasti da milli. a centim. (max 1 cm), matrice bruna					
				6								
				6,5								
				7								
				7,5								
				8			Ghiaia millimetrica sub-spigolosa sabbiosa debolmente limosa, talora sabbioso-limosa, da addensata a molto addensata. Matrice color nocciola. Tra 6,50 e 6,60 m ciottoli calcarenitici decimetrici. Presente a quota 8,25 m ciottolo sub-spigoloso (max circa 20 cm) calcarenitico	8,5				(50+50) R
				8,5								
				9								
				9,5								
	10			10								
				10,5			Limo con ghiaia sabbioso molto consistente, a tratti ghiaia con limo sabbioso addensata; clasti da millimetrici a centimetrici (max circa 2 cm), da subarrotondati a sub-spigolosi, molto consistente					
	11,3			11								
	11,8			11,5			Ghiaia millimetrica subspigolosa con sabbia, addensata					
				12								
				12,5			Limo con ghiaia deb sabbioso, bruno, molto consistente					
	12,9			13								
				13,5								
				14								
				14,5				14,5				(50+50) R
				15								

# SONDAGGIO n° S2

committente: Comune Vaiano (PO)  
località: Camino

data: 07/07/2014 quota: p.c. 123 m  
cantiere: Passerella di monte

diam mm	prof dal p.c.	q. campioni	tubaggio	scala m.	stratigrafia	falda	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da p.c.)	p. volume Kg	Pocket P. K	Vane test K	SPT=N colpi 15*15+15 cm (punta chiusa)
101	18			0,5			Ghiaia sub-spigolosa sabbioso-limosa, addensata, talora sabbia limoso-ghiaiosa talora breccia calcilitica immersa in matrice sabbioso-limosa. Presenti rari clasti di ghiaia sub-spigolosi centimetrici. Probabile frantumazione di blocchi spigolosi calcilititici costituenti il deposito.					
				1								
				1,5								
				2								
				2,5								
				3								
				3,5			Breccia da centimetrica a decimetrica calcilitica in matrice sabbiosa grossolana, talora limoso-sabbiosa, color nocciola, molto addensata. Possibile inizio orizzonte alterazione substrato roccioso.	18,5				(17+24+37)
	19,2			4								
				4,5								
				5			Fine sondaggio					

# SONDAGGIO n° S3

committente: Comune Vaiano (PO)  
località: Galleria Pista

data: 07/07/2014 quota: p.c. 122,5 m  
cantiere: Passerella di valle

diam mm.	prof dal p.c.	qt. campioni	tubaggio	scala mt.	stratigrafia	falda	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da	p. volume Kg	Pocket P. K	Vane test K	SPT=N colpi 15*15+15 cm (punta chiusa)
101	1			0,5			Riporto. Breccia calcarenitica prevalentemente centimetrica in matrice sabbioso-limosa					
				1								
				1,5				1,5				(6+5+7)
				2								
				2,5								
				3								
				3,5								
				4				4,1				(5+11+9)
				4,5								
				5			Breccia prevalentemente calcilititica grigia, da poco addensata a moderatamente addensata, in matrice limosa debolmente sabbiosa bruna. Nei primi 5 metri perdita talora della carota					
				5,5								
				6								
				6,5								
				7								
				7,5								
				8				8				(3+5+5)
				8,5								
	9			9								
				9,5								
				10			Breccia da sub-arrotondata a sub-spigolosa, prevalentemente centimetrica, limoso-sabbiosa, addensata					
				10,5								
	10,7			11								
				11,5								
				12				12				(45+50+50)
				12,5								
				13			Breccia prevalentemente in clasti decimetrici calcarenitici grigi, in matrice limoso-sabbiosa color nocciola molto addensata					
				13,5								
				14								
				14,5								
	15			15								






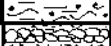






# SONDAGGIO n° S3

committente: Comune Vaiano (PO)

data: 07/07/2014 quota: p.c. 122,5 m

località: Galleria Pista

cantiere: Passerella di valle

diam mm.	prof dal p.c.	qt. campioni	tubaggio	scala mt.	stratigrafia	feldia	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da	p. volume Kg	Pocket P. K	Vane test K	SPT=N colpi 15*15+15 cm (punta chiusa)
101	15,5			0,5			Calcarenite grigia fratturata (RQD = 20)	16				(48+50+50)
				1			Breccia calcarenitica in matrice limoso-sabbiosa addensata					
	16,5			1,5			Breccia prevalentemente millimetrica, sub-spigolosa in matrice limoso-sabbiosa bruna, molto addensata					
	17,2			2			Limo color bruno, deb. sabbioso-argilloso con rari clasti di breccia centim.					
	17,5			2,5				18,5				(50+50) R
				3								
				3,5			Breccia calcilutitica in matrice limosa deb. sabbiosa, bruno-verdastra (probabile orizzonte di alterazione substrato roccioso)					
				4								
	19,5			4,5				20,5				(50+50) R
				5			Breccia calcilutitica talora in matrice limosa deb. sabbiosa (matrice 5% circa del totale, probabile orizzonte di alterazione substrato roccioso)					
				5,5								
	20,5			6			Fine sondaggio					

							SAGGIO n°		T1			
committente: Comune Vaiano (PO)							data: 07/07/2014 quota: p.c. 107,5 m					
località: Galleria Pista							cantiere: Passerella di valle					
diam mm.	prof dal p.c.	q. campioni	tubaggio	scala mf.	stratigrafia	falda	Descrizione dei terreni attraversati	quota (m. da	p. volume Kg	Pocket P. K	Vane test Kg	SPT=N colpi 15+15+15 cm (punta Schuss)
101				0,5			Ciottoli con ghiaia talora ghiaia con ciottoli, con rari blocchi decimetrici e rari clasti arrotondati di laterizi					
				1								
				1,5			Substrato roccioso costituito dal alternanze di livelli decimetrici calcilutitici e marnoso-siltitici, molto fratturato e brecciato nei primi decimetri					
				2								
				2,5								
				3			Fine saggio					

## **ALLEGATO 2**

**Foto cassette catalogatrici e scavo trincea**



## SONDAGGIO S1



**da 0 a 5 m di profondità**



**da 5 a 10 m di profondità**





**da 10 a 15 m di profondità**



**da 15 a 20 m di profondità**



## SONDAGGIO S2



da 0 a 5 m di profondità



da 5 a 10 m di profondità





da 10 a 15 m di profondità



da 15 a 20 m di profondità



### SONDAGGIO S3



da 0 a 5 m di profondità



da 5 a 10 m di profondità





**da 10 a 15 m di profondità**



**da 15 a 20,5 m di profondità**



## **SAGGIO GEOGNOSTICO T1**



**Vista trasversale**



**Vista longitudinale**

## **ALLEGATO 3**

### **Parametri sismici di sito e spettri elastici**



## **PASSERELLA DI MONTE – SPALLA IN DESTRA IDRAULICA**

### **Parametri e coefficienti sismici**

#### **Sito in esame.**

latitudine: 43,932760 [°]

longitudine: 11,128469 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### **Siti di riferimento.**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	19390	43,909780	11,061470	5943,5
Sito 2	19391	43,911200	11,130750	2404,3
Sito 3	19169	43,961180	11,128840	3160,3
Sito 4	19168	43,959760	11,059440	6289,3

#### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

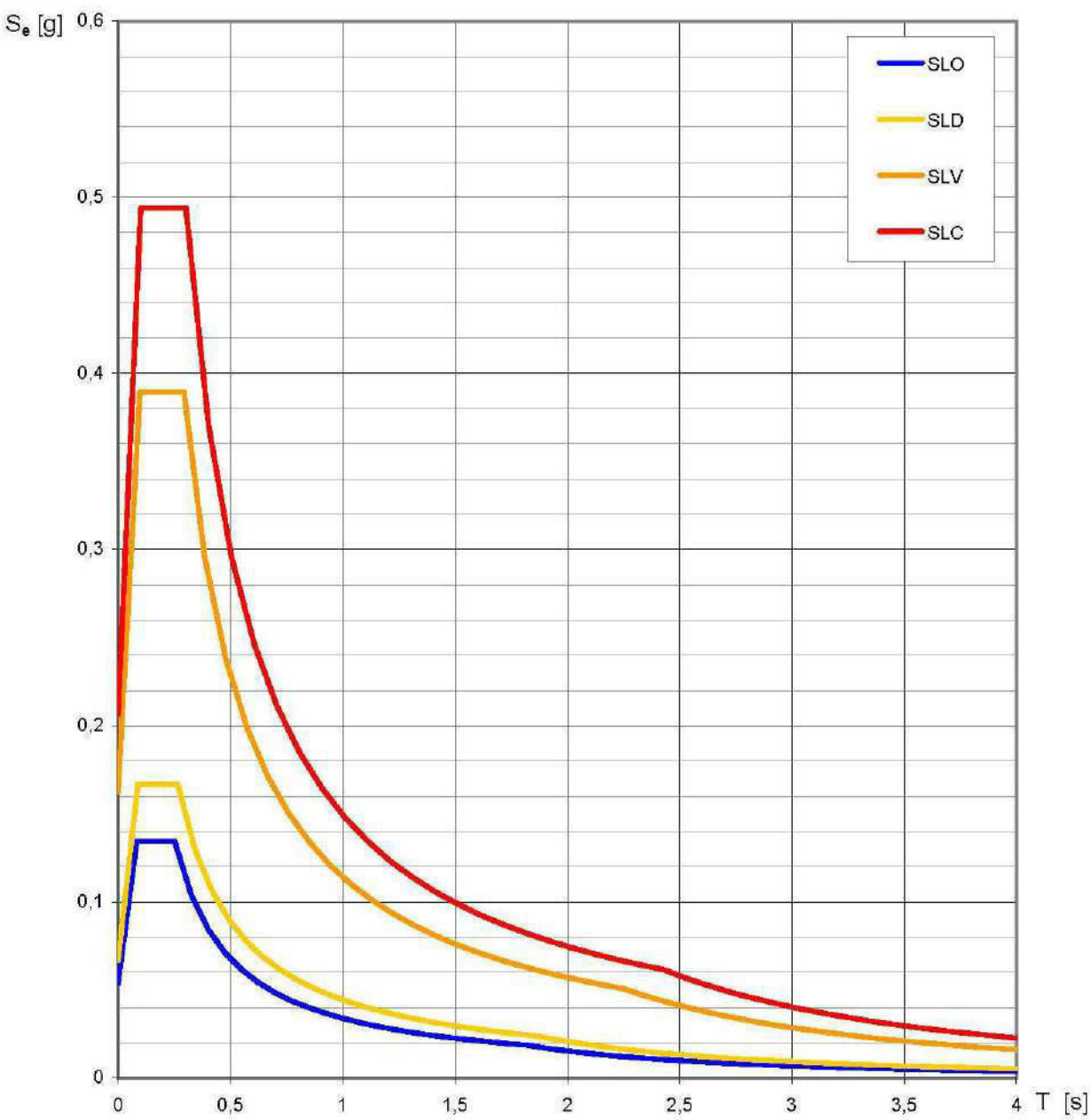
	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,502	0,252

Danno (SLD)	63	50	0,067	2,500	0,266
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,163	2,393	0,293
Prevenzione e dal collasso (SLC)	5	975	0,207	2,390	0,303

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,450	1,000	0,013	0,006	0,631	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,783	0,200
SLV	1,200	1,410	1,000	0,047	0,023	1,916	0,240
SLC	1,200	1,400	1,000	0,069	0,035	2,432	0,280

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



## **PASSERELLA DI MONTE – SPALLA IN SINISTRA IDRAULICA**

### **Parametri e coefficienti sismici**

#### **Sito in esame.**

latitudine: 43,933123 [°]

longitudine: 11,129021 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### **Siti di riferimento.**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	19390	43,909780	11,061470	6000,8
Sito 2	19391	43,911200	11,130750	2441,6
Sito 3	19169	43,961180	11,128840	3119,9
Sito 4	19168	43,959760	11,059440	6309,1

#### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

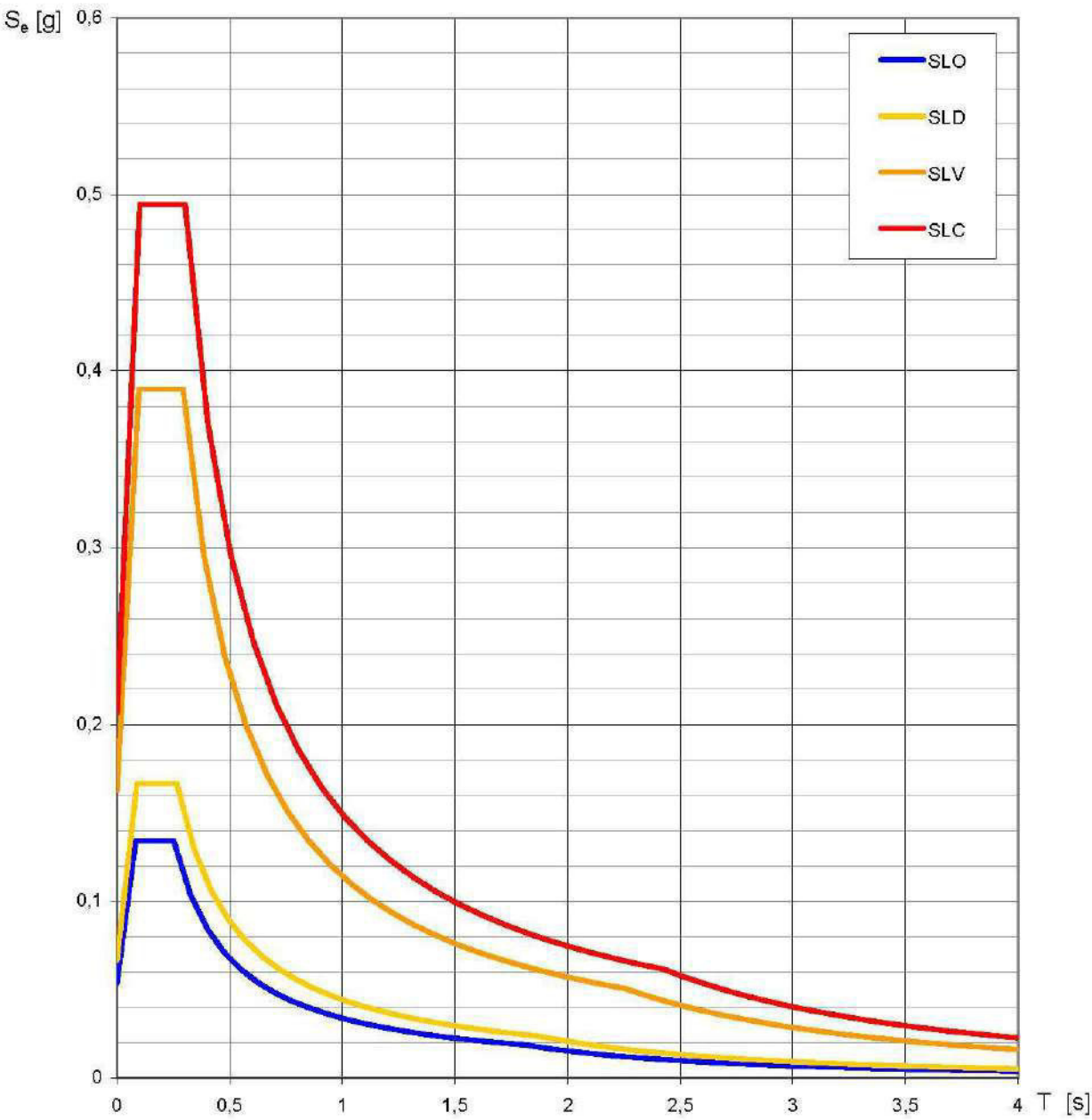
	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,502	0,252

Danno (SLD)	63	50	0,067	2,499	0,266
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,163	2,393	0,293
Prevenzione e dal collasso (SLC)	5	975	0,207	2,390	0,302

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,450	1,000	0,013	0,006	0,631	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,783	0,200
SLV	1,200	1,410	1,000	0,047	0,023	1,917	0,240
SLC	1,200	1,400	1,000	0,069	0,035	2,434	0,280

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



## **PASSERELLA DI VALLE – SPALLA IN DESTRA IDRAULICA**

### **Parametri e coefficienti sismici**

#### **Sito in esame.**

latitudine: 43,931023 [°]

longitudine: 11,127441 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### **Siti di riferimento.**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	19390	43,909780	11,061470	5787,9
Sito 2	19391	43,911200	11,130750	2220,1
Sito 3	19169	43,961180	11,128840	3355,2
Sito 4	19168	43,959760	11,059440	6312,7

#### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,502	0,252

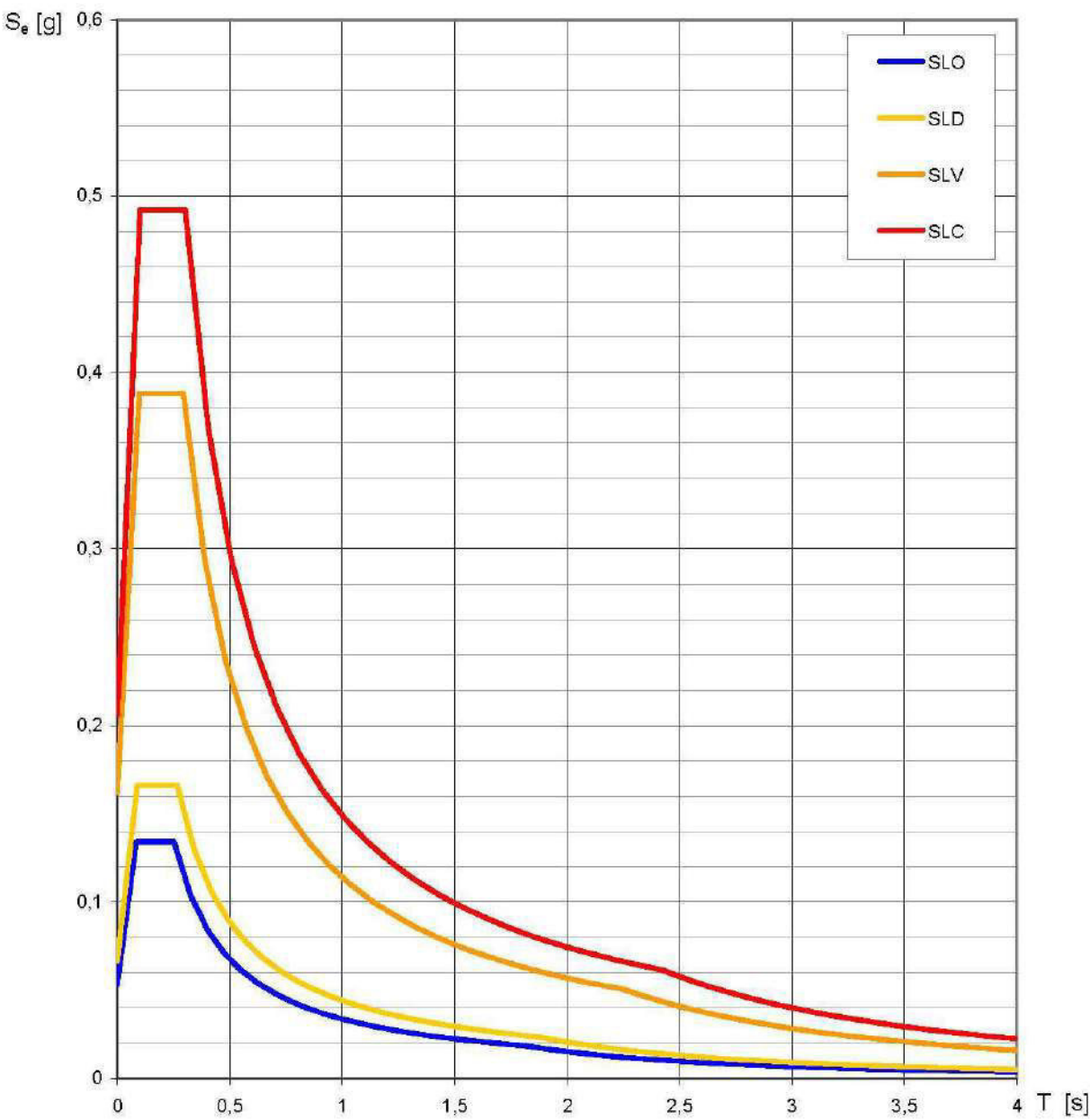
Danno (SLD)	63	50	0,066	2,501	0,266
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,162	2,393	0,294
Prevenzione e dal collasso (SLC)	5	975	0,206	2,390	0,303

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,450	1,000	0,013	0,006	0,630	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,781	0,200
SLV	1,200	1,410	1,000	0,047	0,023	1,909	0,240
SLC	1,200	1,400	1,000	0,069	0,035	2,422	0,280



**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



## **PASSERELLA DI VALLE – SPALLA IN SINISTRA IDRAULICA**

### **Parametri e coefficienti sismici**

#### **Sito in esame.**

latitudine: 43,930622 [°]

longitudine: 11,128188 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### **Siti di riferimento.**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	19390	43,909780	11,061470	5824,7
Sito 2	19391	43,911200	11,130750	2169,3
Sito 3	19169	43,961180	11,128840	3398,3
Sito 4	19168	43,959760	11,059440	6386,9

#### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

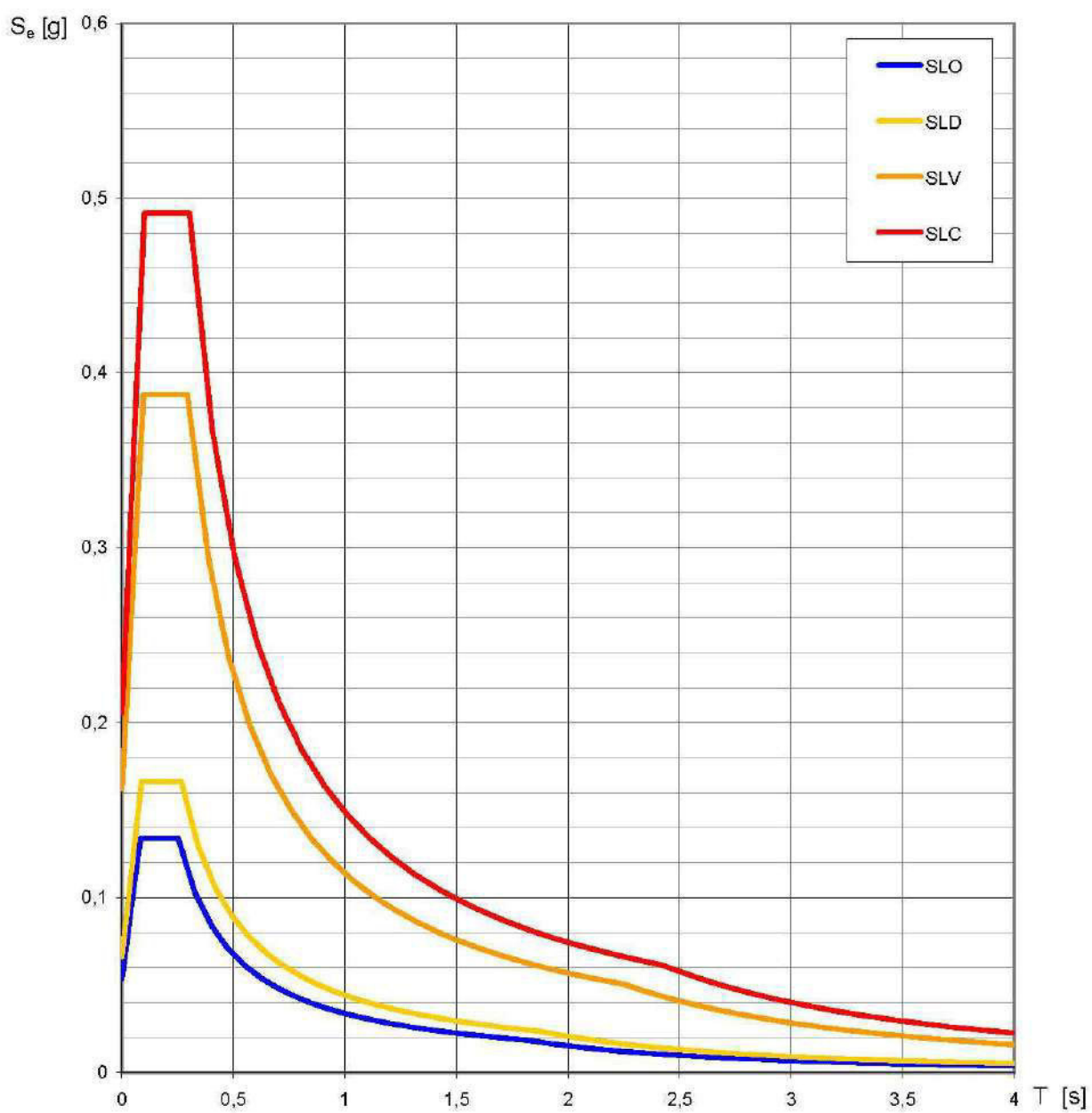
	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,054	2,503	0,252

Danno (SLD)	63	50	0,066	2,502	0,266
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,162	2,393	0,294
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,206	2,390	0,303

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,450	1,000	0,013	0,006	0,630	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,781	0,200
SLV	1,200	1,410	1,000	0,047	0,023	1,907	0,240
SLC	1,200	1,400	1,000	0,069	0,035	2,420	0,280

## Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



# **COMUNE DI VAIANO (PRATO)**

## **SETTORE LAVORI PUBBLICI**

---



---

**Relazione sulla modellazione sismica di supporto alla progettazione di due passerelle in loc. Camino, nel comune di Vaiano (PO), per la connessione della pista ciclopedonale esistente**

(ai sensi D.M. 14/01/2008)

18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni, Loc. Civettaio n.65, Torrita di Siena (Siena) -  
Via Orlandini Raffaello n. 845 Monsummano Terme (PT) - P.IVA 01199830520  
cell. 3478247486 - tel. 0577687734 - [francesco.agnelli@alice.it](mailto:francesco.agnelli@alice.it) –

# Indice

## 1. Premessa

## 2. Indagine sismica M.A.S.W.

### 2.1 Cenni teorici sulla metodologia utilizzata

### 2.2 Strumentazione utilizzata

### 2.3 Tipo di configurazione dello stendimento ed acquisizione del segnale sismico

### 2.4 Elaborazione dei dati acquisiti e determinazione del parametro $V_{s,30}$

- STENDIMENTO MW1

- STENDIMENTO MW2

- STENDIMENTO MW3

## 3. Conclusioni

## Allegati

### Allegato 1 – Ubicazione indagine sismiche – scala 1:2.000

### Allegato 2 - Risultanze indagine sismica M.A.S.W.

#### 2.1 Stendimento MW1

- 3.1.1 Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico
- 3.1.2 Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D
- 3.1.3 Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D
- 3.1.4 Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica
- 3.1.5 Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale
- 3.1.6 Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ )

#### 2.2 Stendimento MW2

- 2.2.1 Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico
- 2.2.2 Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D
- 2.2.3 Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D
- 2.2.4 Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica
- 2.2.5 Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale
- 2.2.6 Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ )

### **2.2.7 Funzione di trasferimento**

## **2.3 Stendimento MW3**

### **2.3.1 Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico**

#### **2.3.2a Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D - modo fondamentale**

#### **2.3.2b Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D – 1° modo superiore**

#### **2.3.3a Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D – modo fondamentale**

#### **2.3.3b Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D – 1° modo superiore**

#### **2.3.4a Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica – modo fondamentale**

#### **2.3.4b Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica – 1° modo superiore**

#### **2.3.5a Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale – modo fondamentale**

#### **2.3.5b Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale – modo fondamentale**

#### **2.3.6a Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ) – modo fondamentale**

#### **2.3.6b Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ) – 1° modo superiore**

#### **2.3.7 Determinazione della categoria di sottosuolo prova M.A.S.W. MW3**

## **1. Premessa**

La presente relazione illustra le risultanze delle indagini di sismica attiva tipo M.A.S.W., realizzate in corrispondenza dei punti di appoggio delle spalle delle passerelle da realizzare sul Torrente Bisenzio per il by-pass della frana sulla pista ciclo-pedonale di Vaiano (PO).

In totale sono state realizzate n. 3 prove M.A.S.W.: 2 sono state realizzate in sinistra idraulica (una per la passerella di monte e una per la passerella di valle), mentre in destra idraulica è stata realizzata solamente una prova in quanto non è stato individuato spazio sufficiente su terreno naturale per realizzare una prova M.A.S.W. per ciascuna spalla di entrambe le passerelle in destra idraulica.

Si è scelto perciò, al fine di caratterizzare il terreno di fondazione delle due passerelle in destra idraulica del torrente Bisenzio (località Camino), di effettuare una unica stesa di sismica attiva tipo M.A.S.W. in corrispondenza dell'area oggetto di lottizzazione collocata circa centralmente tra le due passerelle nell'area della località Camino.

Le indagini sismiche di seguito descritte, hanno lo scopo di restituire:

- l'andamento della velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo a partire dal piano di posa delle fondazioni, al quale può essere associato un modello sismo-stratigrafico tarato, il quale costituisce dato ulteriore sull'assetto lito-stratigrafico del terreno di fondazione
- il parametro  $V_{s,30}$  del terreno di fondazione, nonché la relativa categoria di sottosuolo necessaria per la determinazione dell'azione sismica di progetto. Inoltre, è stato ottenuto da ripristinare, ai sensi del D.M. LL.PP. 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008) e alla relativa Circolare n. 617 del 02/02/2009.

L'ubicazione dei tre stendimenti M.A.S.W. è mostrato in allegato 1.

Le coordinate Gauss Boaga approssimative di ubicazione delle tre prove sono:

- Prova M.A.S.W. 1

X = 1670727

Y = 4866493

- Prova M.A.S.W. 2

X = 1670840

Y = 4866568



- Prova M.A.S.W. 3

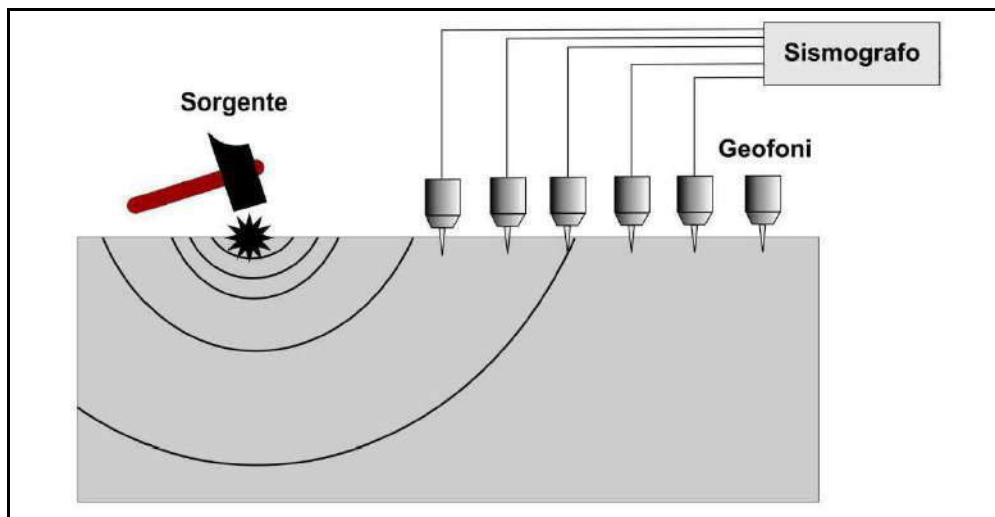
X = 1670774

Y = 4866270

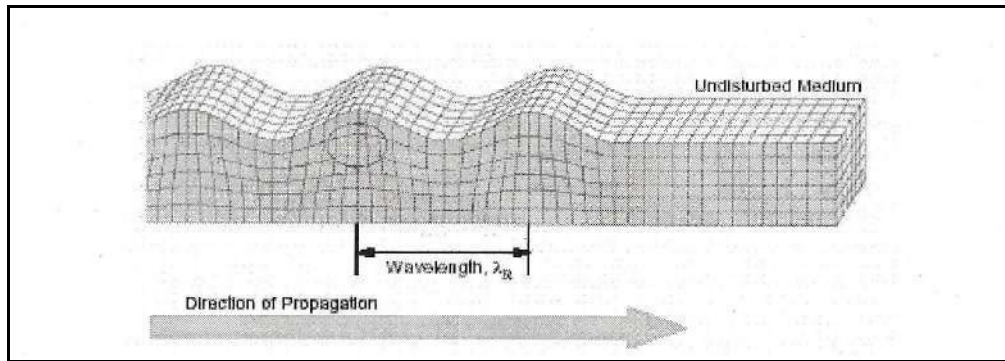
## **2. Indagine sismica M.A.S.W.**

### **2.1 Cenni teorici sulla metodologia utilizzata**

La tecnica di sismica attiva M.A.S.W. si basa sulla misurazione delle onde sismiche superficiali di Rayleigh. Tali onde sono riprodotte nel corso della prova attraverso la generazione di una sorgente sismica artificiale (vedi fig.1).



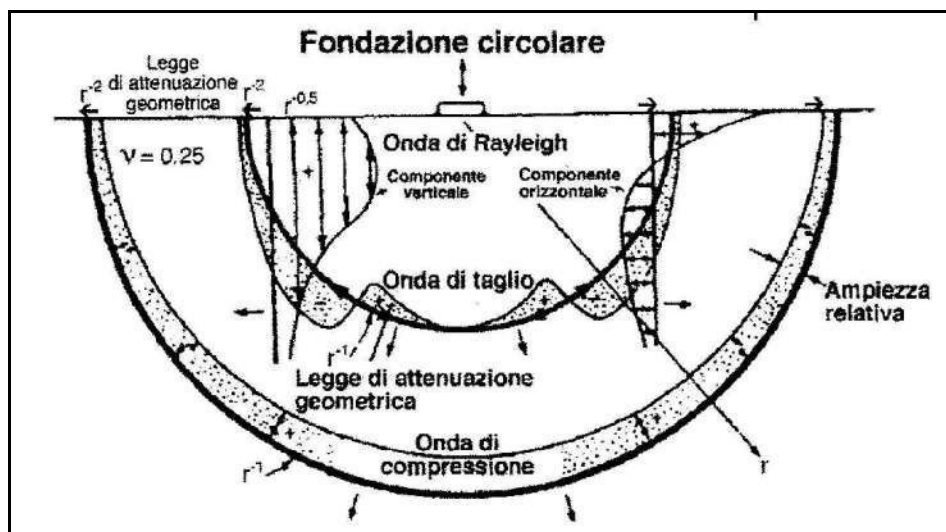
**Fig.1:** Indagine di sismica attiva con realizzazione stendimento di geofoni e generazione di una fonte artificiale. Le onde di Rayleigh si propagano vibrando su di un piano verticale. Tali onde, nella propagazione all'interno di mezzi stratificati (vedi fig.2), presentano un comportamento dispersivo dovuto alla presenza nel sottosuolo di orizzonti con diverse caratteristiche fisico-meccaniche. Infatti l'attraversamento degli orizzonti litologici dipende dalle proprietà delle onde di Rayleigh quali lunghezza d'onda e frequenza di vibrazione. Maggiore è la lunghezza dell'onda (e quindi minore è la frequenza) e maggiore sarà la profondità esplorata dalle onde.



**Fig.2:** Propagazione delle onde in un mezzo stratificato.

Perciò eseguendo misure con frequenze di registrazione inferiori ai 100 Hz, si è potuto acquisire segnale sismico relativo sia ad onde che hanno attraversato solo i primi metri, che ad onde provenienti da qualche decina di metri di profondità ( $\leq 30$  metri circa).

Ciò è stato possibile perché le onde di Rayleigh si propagano nel terreno per mezzo di un fronte d'onda cilindrico. Ne consegue che nella propagazione le stesse onde si attenuano con un fattore  $1/r$  (vedi fig.3).



**Fig.3:** Attenuazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

La misura delle onde di Rayleigh viene eseguita attraverso l'utilizzo di geofoni verticali.

Il segnale viene utilizzato per la costruzione dello spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) dalla cui interpretazione semi-automatica o automatica si ottiene la curva di dispersione apparente sperimentale relativa al semispazio stratificato indagato e rappresentativa del modo fondamentale. Dalla stessa curva, attraverso un procedimento matematico di inversione che può essere applicato manualmente, oppure in modalità automatica o semiautomatica, si

ottiene il profilo delle onde di taglio S nel sottosuolo. Si ricorda che la velocità delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) è minore della velocità delle onde S ( $V_s$ ) ed è individuabile nell'intervallo  $0,862-0,955 * V_s$ .

## **2.2 Strumentazione utilizzata**

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione della prova M.A.S.W. è la seguente:

- Sismografo Ambrogeo Echo 2002 seismic unit – 12/24 canali - A/D conversione 16 bit
- 24 geofoni verticali da 4,5 Hz
- 1 cavo della lunghezza di 48 m con 24 take-out (passo 2 m)
- Mazza da 8 kg per energizzazione
- Cavo con avvolgitore di collegamento del trigger con il sismografo
- Batteria esterna per alimentazione sismografo
- Notebook Asus

## **2.3 Tipo di configurazione dello stendimento ed acquisizione del segnale sismico**

Lo stendimento è stato realizzato per una lunghezza di 48 m. I geofoni verticali sono stati interposti lungo lo stendimento ad una distanza di 2 m. L'energizzazione è stata prodotta ad una distanza di 5 m dal 1° geofono. Tale distanza è stata scelta sia in funzione dello spazio a disposizione per l'esecuzione della prova, che al fine di ottenere una registrazione efficiente del segnale sismico in tutti i geofoni utilizzati.

L'acquisizione del segnale captato nei 24 geofoni verticali è stata eseguita per un periodo di tempo di 1 sec, con un intervallo di campionamento di 0,131 ms.

Sono state realizzate più battute con la stessa configurazione intergeofonica, al fine di avere più di una misura a disposizione per ciascun sito da caratterizzare.

Le registrazioni ottenute, sono state salvate nel formato .seg.y.

## **2.4 Elaborazione dei dati acquisiti e determinazione del parametro $V_{s,30}$**

### **STENDIMENTO MW1**

Tra i diversi segnali sismici registrati è stato scelto quello ritenuto più spurio da eventuali interferenze di rumore ambientale.

Il file seg.y di acquisizione è stato salvato nel formato .seg2.

Tale file è stato importato all'interno del software di elaborazione GeoMASW della ProgramGeo. Sono stati visualizzati i sismogrammi registrati nei 24 geofoni dello stendimento (vedi allegato 2.2.1). Successivamente è stato creato lo spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) sia di tipo bidimensionale, che di tipo tridimensionale (vedi allegato 2.2.2 e 2.2.3).

E' stato individuato l'intervallo di frequenza significativo dello spettro 2D, al fine di eseguire l'interpretazione della prova ed è stata disegnata manualmente sullo stesso spettro una serie di punti al fine di individuare le zone di maggiore energia (ampiezza del segnale) relativi al modo fondamentale di vibrazione delle onde superficiali nel terreno. Tale procedura semi-automatica viene eseguita per rendere migliore la generazione della curva di dispersione sperimentale. L'interpretazione è stata effettuata per un intervallo di frequenza di 9-50 Hz.

Si è ritenuto significativo utilizzare il segnale sismico fino alla frequenza di 50 Hz in quanto la velocità di fase registrata a tale frequenza risulta compatibile con quelle dei materiali presenti in loco.

La curva di dispersione apparente sperimentale ottenuta dall'interpretazione dell'indagine sismica è mostrata in allegato 2.2.4.

Nell'immagine relativa allo spettro f-k si nota la presenza di curve di isovelocità delle onde sismiche intervallate ogni 100 m/s. Si nota come la maggiorparte dell'energia sia distribuita tra le curve di 400 e 600 m/s. Al fine di eseguire una interpretazione corretta è stata utilizzata l'energia relativa al modo fondamentale di vibrazione del terreno.

Il diagramma rappresentativo della curva di dispersione sperimentale riporta in sovrapposizione anche la curva di interpolazione dei punti di picking, nonché la curva di dispersione teorica ottenuta attraverso la successiva fase di inversione (vedi allegato 2.2.4).

La fase di inversione della curva di dispersione sperimentale viene eseguita per mezzo di un algoritmo il quale tiene conto di un modello stratigrafico presunto del sottosuolo fino alla profondità di interesse (30 m dal piano di appoggio della fondazione) e della presenza di uno strato più profondo a maggiore velocità di trasmissione delle onde sismiche (bedrock – semispazio infinito). Per ogni orizzonte litologico individuato, si sono inseriti valori presunti della velocità delle  $V_s$ , del peso di volume e del coefficiente di Poisson. Il software ha eseguito l'elaborazione dei dati considerando uno scarto finale impostato ad 1 m/s e con 20 iterazioni; inoltre ha restituito il valore di  $V_{s,30}$  con una deviazione standard di circa 26,32 m/s. Nel corso della fase di inversione, gli stessi parametri del modello stratigrafico iniziale

presunto risultano modificati ed ottimizzati al fine di risolvere l'algoritmo di inversione. Il modello stratigrafico finale ottenuto è mostrato in allegato 2.2.5.

Il profilo delle  $V_s$  nei primi trenta metri di sottosuolo è stato calcolato a partire dal piano campagna. Il profilo delle  $V_s$  ottenuto è mostrato in allegato 2.2.6.. Si nota che il valore di  $V_{s,30}$  stimato è di circa **533 m/s**. Tale valore risulta compatibile con le litologie presenti nel sottosuolo.

L'interpretazione è stata effettuata tarando il modello finale con valori dei parametri fisici dei materiali presenti nel sottosuolo, sulla scorta delle conoscenze pregresse acquisite su tali materiali.

L'indagine MW1 è stata realizzata per motivi di spazio all'interno dell'area presente tra gli edifici della nuova lottizzazione realizzata in loc. Camino in vicinanza del sondaggio S2. Tale superficie è stata ottenuta dalla demolizione di edifici pre-esistenti (come si desume dall'osservazione della CTR 1:2.000, vedi allegato 1). Perciò nei primi metri si ritiene che siano presenti depositi antropici. I materiali comunque hanno velocità paragonabili a quelli dei depositi alluvionali presenti nei primi metri all'interno dell'area di Camino.

Si ritiene che la prova sia sufficientemente rappresentativa dell'andamento reale delle  $V_s$  nei primi 30 m di sottosuolo. Per contro, la posizione della prova MW1 non è totalmente rappresentativa della configurazione sismo-stratigrafica dei sondaggi S1 e S2, in quanto si ritiene che la velocità media in corrispondenza dei due sondaggi sia maggiore. Comunque la categoria da considerare per la determinazione dell'azione sismica di progetto sia per la fondazione in S1 che in S2 è la B e si presume che il parametro  $V_{s,30}$  più rappresentativo sia quello determinato con la prova MW2 descritta di seguito.

Si ricorda che ai sensi del D.M. 14/01/2008, alla categoria **B** appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*. La configurazione geologico-stratigrafica del sito di realizzazione di MW1 è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e ciottolati addensati con rari blocchi, sovrapposti al substrato litoide costituito dalla formazione flyscoide di Monte Morello. Nonostante la presenza di substrato a partire da circa 20 m sia nel sondaggio S2 (come evidenziato anche dai rilievi di campagna) che nel sondaggio S1, la natura della

formazione rocciosa di Monte Morello determina velocità del substrato inferiori a 800 m/s, almeno nei primi metri.

## STENDIMENTO MW2

Tra i diversi segnali sismici registrati è stato scelto quello ritenuto più spurio da eventuali interferenze di rumore ambientale.

Il file seg.y di acquisizione è stato salvato nel formato .seg2 e al fine di eseguire una interpretazione ottimale è stato effettuato un ricampionamento del segnale con un intervallo di 1 ms.

Il nuovo segnale è stato importato all'interno del software di elaborazione GeoMASW della ProgramGeo. Sono stati visualizzati i sismogrammi registrati nei 24 geofoni dello stendimento (vedi allegato 2.2.1). Successivamente è stato creato lo spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) sia di tipo bidimensionale, che di tipo tridimensionale (vedi allegato 2.2.2 e 2.2.3).

E' stato individuato l'intervallo di frequenza significativo dello spettro 2D, al fine di eseguire l'interpretazione della prova ed è stata disegnata manualmente sullo stesso spettro una serie di punti al fine di individuare le zone di maggiore energia (ampiezza del segnale) relativi al modo fondamentale di vibrazione delle onde superficiali nel terreno. Tale procedura semi-automatica viene eseguita per rendere migliore la generazione della curva di dispersione sperimentale. L'interpretazione è stata effettuata per un intervallo di frequenza di 12-23 Hz. La curva di dispersione apparente sperimentale ottenuta dall'interpretazione dell'indagine sismica è mostrata in allegato 2.2.4.

Nell'immagine relativa allo spettro f-k si nota la presenza di curve di isovelocità delle onde sismiche intervallate ogni 100 m/s. Si nota come la maggiorparte dell'energia sia distribuita tra le curve di 400 e 800 m/s. Al fine di eseguire una interpretazione corretta si è ritenuto sufficiente interpretare l'energia relativa al modo fondamentale di vibrazione del terreno. Comunque è stato interpretato secondariamente anche il 1° modo superiore individuato nello spettro di energia originario, al fine di verificare la presenza di onde sismiche con velocità superiore a quelle considerate nell'interpretazione del modo fondamentale.

Il diagramma rappresentativo della curva di dispersione sperimentale riporta in sovrapposizione anche la curva di interpolazione dei punti di picking, nonchè la curva di dispersione teorica ottenuta attraverso la successiva fase di inversione (vedi allegato 2.2.4).

La fase di inversione della curva di dispersione sperimentale viene eseguita per mezzo di un algoritmo il quale tiene conto di un modello stratigrafico presunto del sottosuolo fino alla profondità di interesse (30 m dal piano di appoggio della fondazione) e della presenza di uno strato più profondo a maggiore velocità di trasmissione delle onde sismiche (bedrock – semispazio infinito). Per ogni orizzonte litologico individuato, si sono inseriti valori presunti della velocità delle  $V_s$ , del peso di volume e del coefficiente di Poisson. Il software ha eseguito l'elaborazione dei dati considerando uno scarto finale impostato ad 1 m/s e con 10 iterazioni; inoltre ha restituito il valore di  $V_{s,30}$  con una deviazione standard di circa 37,24 m/s. Nel corso della fase di inversione, gli stessi parametri del modello stratigrafico iniziale presunto risultano modificati ed ottimizzati al fine di risolvere l'algoritmo di inversione. Il modello stratigrafico finale ottenuto è mostrato in allegato 2.2.5.

Il profilo delle  $V_s$  nei primi trenta metri di sottosuolo è stato calcolato a partire dal piano campagna. Il profilo delle  $V_s$  ottenuto è mostrato in allegato 2.2.6.. Si nota che il valore di  $V_{s,30}$  stimato è di circa **606 m/s**. Tale valore risulta compatibile con le litologie presenti nel sottosuolo.

L'interpretazione è stata effettuata tarando il modello finale con valori dei parametri fisici del terreno desunti dalle indagini geognostiche eseguite nell'area di studio, nonché da conoscenze pregresse sulle caratteristiche del substrato roccioso esistente alla base dei depositi.

La configurazione geologico-stratigrafica del sito di realizzazione di MW2 è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e ciottolati addensati con rari blocchi, sovrapposti al substrato litoide costituito dalla formazione flyscoide di Monte Morello. Quest'ultima in loco presenta notevole stratificazione (spessore decimetrico delle alternanze di livelli calcilutitici e marnosi), nonché notevole fatturazione. Perciò inizialmente il substrato presenta velocità inferiori a 800 m/s.

Perciò, se in un primo momento, sulla scorta della configurazione stratigrafica secondo la quale sono presenti depositi alluvionali grossolani con spessore di circa 15 -18 m sovrapposti a substrato stratificato, si poteva ipotizzare che la categoria di sottosuolo rappresentativa del sito di misurazione di MW2 fosse la categoria E, dall'analisi della stessa prova M.A.S.W. sia attraverso il modo fondamentale che il 1° modo superiore, si è potuto osservare che la velocità delle onde S nel substrato non è > 800 m/s almeno nei primi 30 m. perciò si ritiene che la categoria alla quale può essere ricondotto il sottosuolo di fondazione nel sito della prova MW2 è la categoria **B** per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008, appartengono “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*”

*con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)''.*

In allegato 2.2.7 è mostrata la funzione di trasferimento ottenuta dalla prova M.A.S.W. la quale dà una idea della eventuale amplificazione di sito. Dall'osservazione del grafico si nota che esiste eventualmente una amplificazione bassa per un contrasto di impedenza sismica profondo (alcune decine di metri). Perciò in questa fase di studio si può presumere che il passaggio dalle ghiaie e ciottolati al substrato stratificato e fratturato non comporti aumenti significativi della velocità delle onde sismiche.

### STENDIMENTO MW3

Tra i diversi segnali sismici registrati è stato scelto quello ritenuto più spurio da eventuali interferenze di rumore ambientale.

Il file seg.y di acquisizione è stato salvato nel formato .seg2.

Il file ottenuto è stato importato all'interno del software di elaborazione GeoMASW della ProgramGeo. Sono stati visualizzati i sismogrammi registrati nei 24 geofoni dello stendimento (vedi allegato 2.3.1). Successivamente è stato creato lo spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) sia di tipo bidimensionale, che di tipo tridimensionale. Sono stati individuati il modo fondamentale e un 1° modo superiore di vibrare del sottosuolo. Al fine di eseguire una interpretazione maggiormente accurata sono stati interpretati entrambi. Perciò sono stati individuati gli intervalli significativi di frequenza dello spettro 2D per ciascun modo (vedi allegato 2.3.2a e 2.3.2b), nonché lo spettro in 3D (vedi allegato 2.3.3a e 2.3.3b). Al fine di eseguire l'interpretazione della prova ed è stata disegnata manualmente sullo stesso spettro una serie di punti al fine di individuare le zone di maggiore energia (ampiezza del segnale) relativi al modo fondamentale e del 1° modo superiore di vibrazione delle onde superficiali nel terreno. Tale procedura semi-automatica viene eseguita per rendere migliore la generazione della curva di dispersione sperimentale. L'interpretazione è stata effettuata per un intervallo di frequenza di 16-26 Hz per il modo fondamentale e 26-35 Hz per il 1° modo superiore. La curva di dispersione apparente sperimentale ottenuta dall'interpretazione dell'indagine sismica, per ciascun modo, è mostrata in allegato 2.3.4a e 2.3.4b.

Nelle immagini relative allo spettro f-k si nota la presenza di curve di isovelocità delle onde sismiche intervallate ogni 100 m/s. Si nota come la maggiorparte dell'energia sia distribuita per entrambi i modi analizzati tra le curve di 400 e 600 m/s.



Il diagramma rappresentativo della curva di dispersione sperimentale riporta in sovrapposizione anche la curva di interpolazione dei punti di picking, nonché la curva di dispersione teorica ottenuta attraverso la successiva fase di inversione.

La fase di inversione della curva di dispersione sperimentale viene eseguita per mezzo di un algoritmo il quale tiene conto di un modello stratigrafico presunto del sottosuolo fino alla profondità di interesse (30 m dal piano di appoggio della fondazione) e della presenza di uno strato più profondo a maggiore velocità di trasmissione delle onde sismiche (bedrock – semispazio infinito). Per ogni orizzonte litologico individuato, si sono inseriti valori presunti della velocità delle  $V_s$ , del peso di volume e del coefficiente di Poisson.

Nel caso del modo fondamentale il software ha eseguito l'elaborazione dei dati considerando uno scarto finale impostato ad 1 m/s e con 10 iterazioni. L'elaborazione ha restituito un valore di  $V_{s,30}$  pari a circa 507 m/s con una deviazione standard di circa 32,82 m/s. Nel corso della fase di inversione, gli stessi parametri del modello stratigrafico iniziale presunto risultano modificati ed ottimizzati al fine di risolvere l'algoritmo di inversione. Il modello stratigrafico finale ottenuto è mostrato in allegato 2.3.5a.

Il profilo delle  $V_s$  nei primi trenta metri di sottosuolo è stato calcolato a partire dal piano campagna. Il profilo delle  $V_s$  ottenuto è mostrato in allegato 2.3.6a..

Nel caso del 1° modo superiore, il software ha ugualmente eseguito l'elaborazione dei dati considerando uno scarto finale impostato ad 1 m/s e con 10 iterazioni. L'elaborazione ha restituito un valore di  $V_{s,30}$  superiore al precedente, pari a 676 m/s con una deviazione standard di circa 40,18 m/s. Il modello stratigrafico finale ottenuto è mostrato in allegato 2.3.5b, mentre il profilo delle  $V_s$  è mostrato in allegato 2.3.6b.

Al fine di ottenere un unico valore di  $V_{s,30}$  comprensivo dell'interpretazione sia del dello spettro relativo al modo fondamentale che di quello relativo al 1° modo superiore, si sono importati i dati finali dei due modelli ottenuti all'interno del software Sisma. Tale software ha eseguito, ai sensi delle NTC2008, il calcolo statistico delle due serie di valori di  $V_s$  ottenuti per entrambi i modi di vibrazione e restituendo un valore di  $V_{s,30}$  rappresentativo del sito pari a circa 639 m/s (vedi allegato 2.3.7).

Tale valore risulta compatibile con la configurazione lito-stratigrafica presente nel sottosuolo e con le categorie ottenute per gli altri siti indagati.

Il valore di  $V_{s,30}$  ottenuto, pari a **639 m/s**, indica che la categoria di sottosuolo da considerare anche per questo sito è la **B**. Ai sensi del D.M. 14/01/2008 alla categoria B appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina*

*molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”.*

L’assetto geologico-stratigrafica del sito di realizzazione di MW3 è caratterizzata dalla presenza di una coltre detritica di versante ben sviluppata circa 15-18 m, sotto ai quali è presente il substrato roccioso che come già detto precedentemente risulta molto stratificato e particolarmente fratturato sul versante presente in sinistra idraulica del Torrente Bisenzio. Perciò anche per il substrato le velocità delle Vs sono inferiori a 800 m/s.

### **3. Conclusioni**

Le indagini di sismica attiva MW1, MW2 e MW3, hanno delineato generalmente un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo caratterizzato dalla presenza, nei primi metri 10-18 m di di materiali granulari grossolani (depositi alluvionali e/o detrito di versante) mediamente addensati sovrapposti al substrato roccioso della formazione geologica di Monte Morello caratterizzato da elevata stratificazione e talora fatturazione spinta per alcuni metri, tali da renderlo un substrato non sismico in quanto le Vs nei primi 30 m di sottosuolo non superano mai, all’interno dello stesso substrato, valori di 800 m/s.

Per tutte le tre prove la categoria ottenuta è la B, per la quale, ai sensi del D.M. 14/01/2008 alla categoria B appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”.*

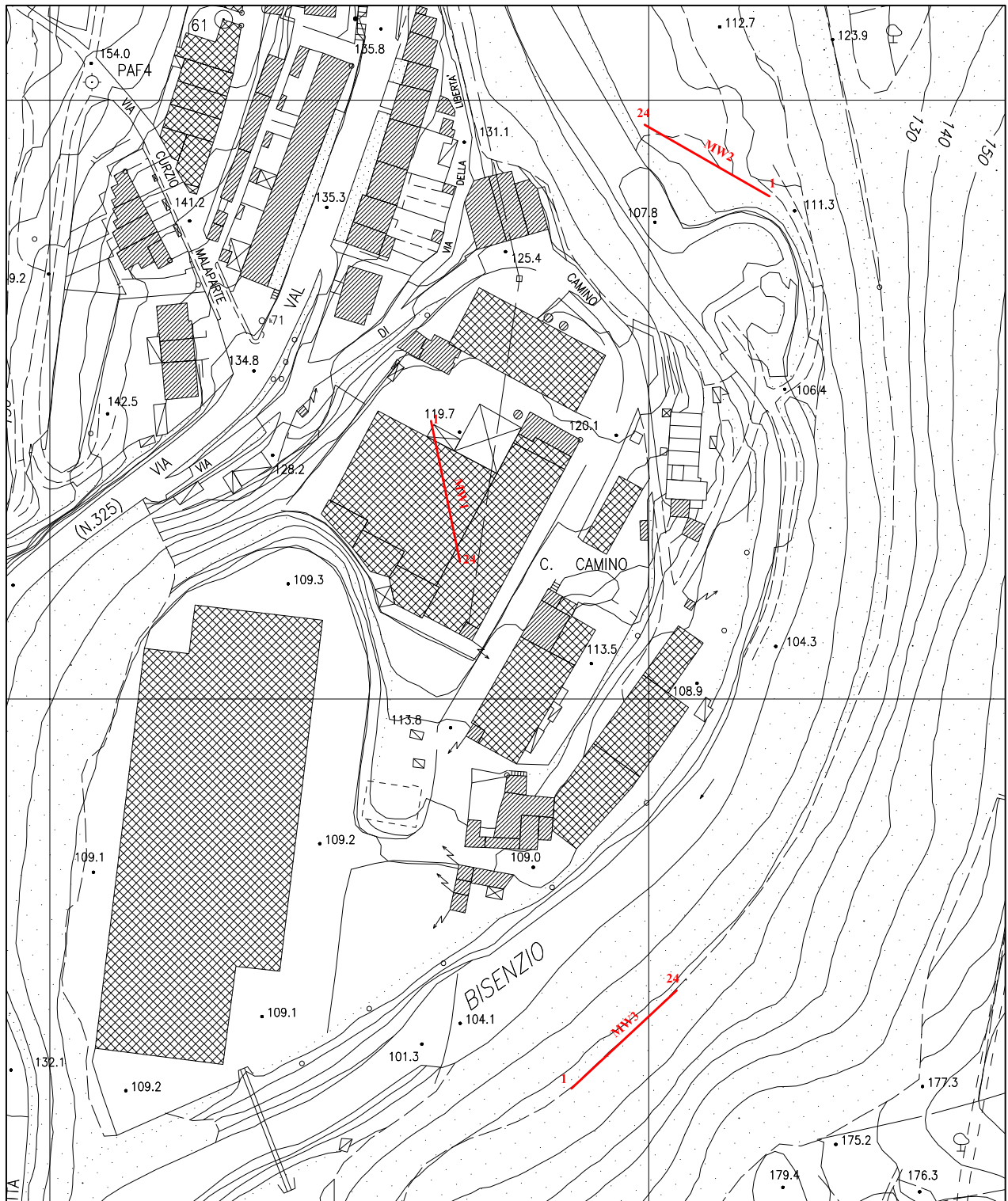
Nel caso di MW1 la velocità media registrata nei primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ) è pari a **533 m/s**; nel caso, invece della prova MW2 si è ottenuto  $V_{s,30} = \mathbf{606\ m/s}$ , mentre con la prova MW3 si è ricavato un  $V_{s,30}$  pari a circa **639 m/s**.

lì, 18 luglio 2014

Dott. Geol. Francesco Agnelli

## **ALLEGATI**

scala 1:2.000



1 MW1 24

Linea stendimento sismico prova Masw

## **ALLEGATO 2**

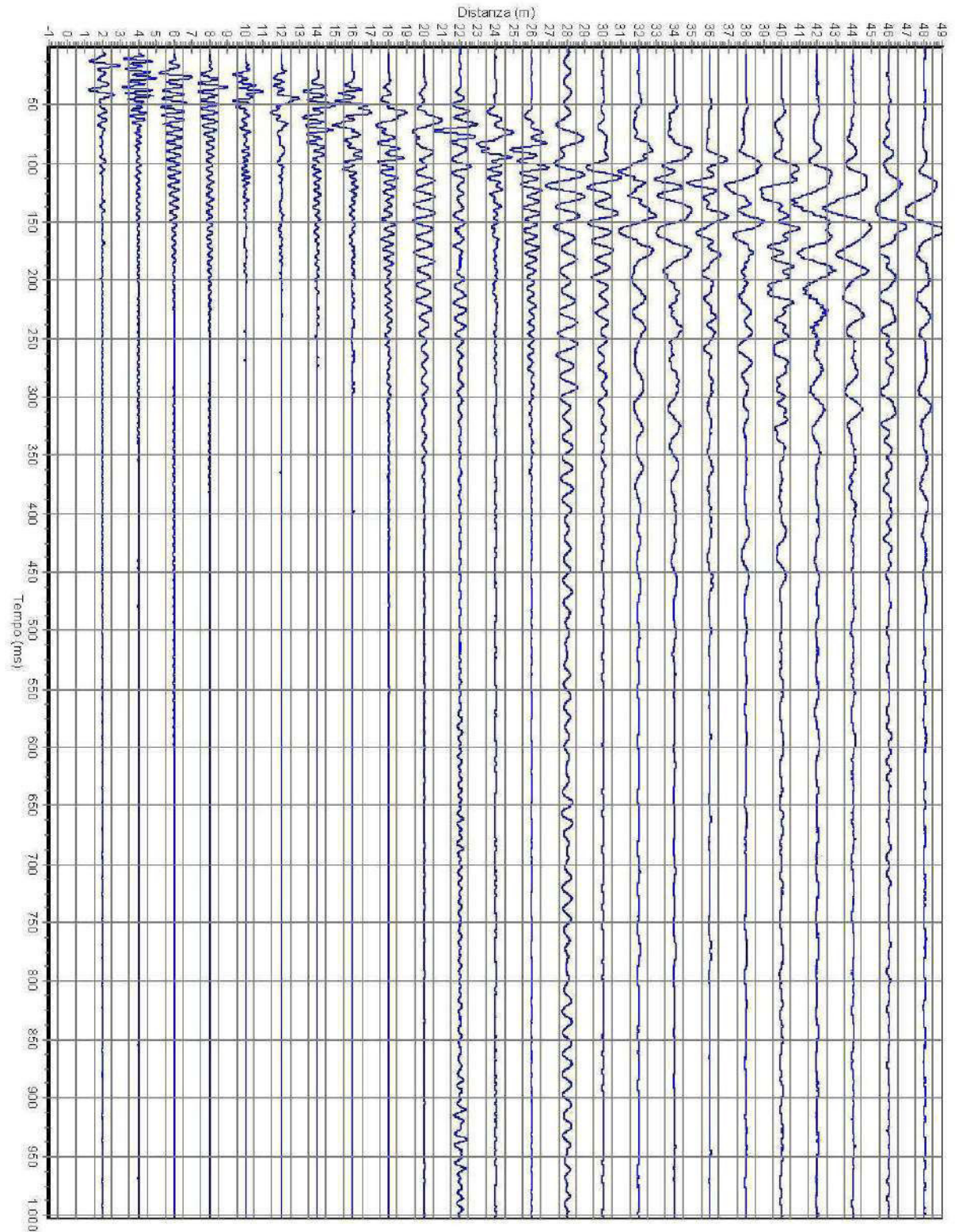
**Risultanze indagine sismica M.A.S.W.**

## **ALLEGATO 2.1**

Stendimento MW1

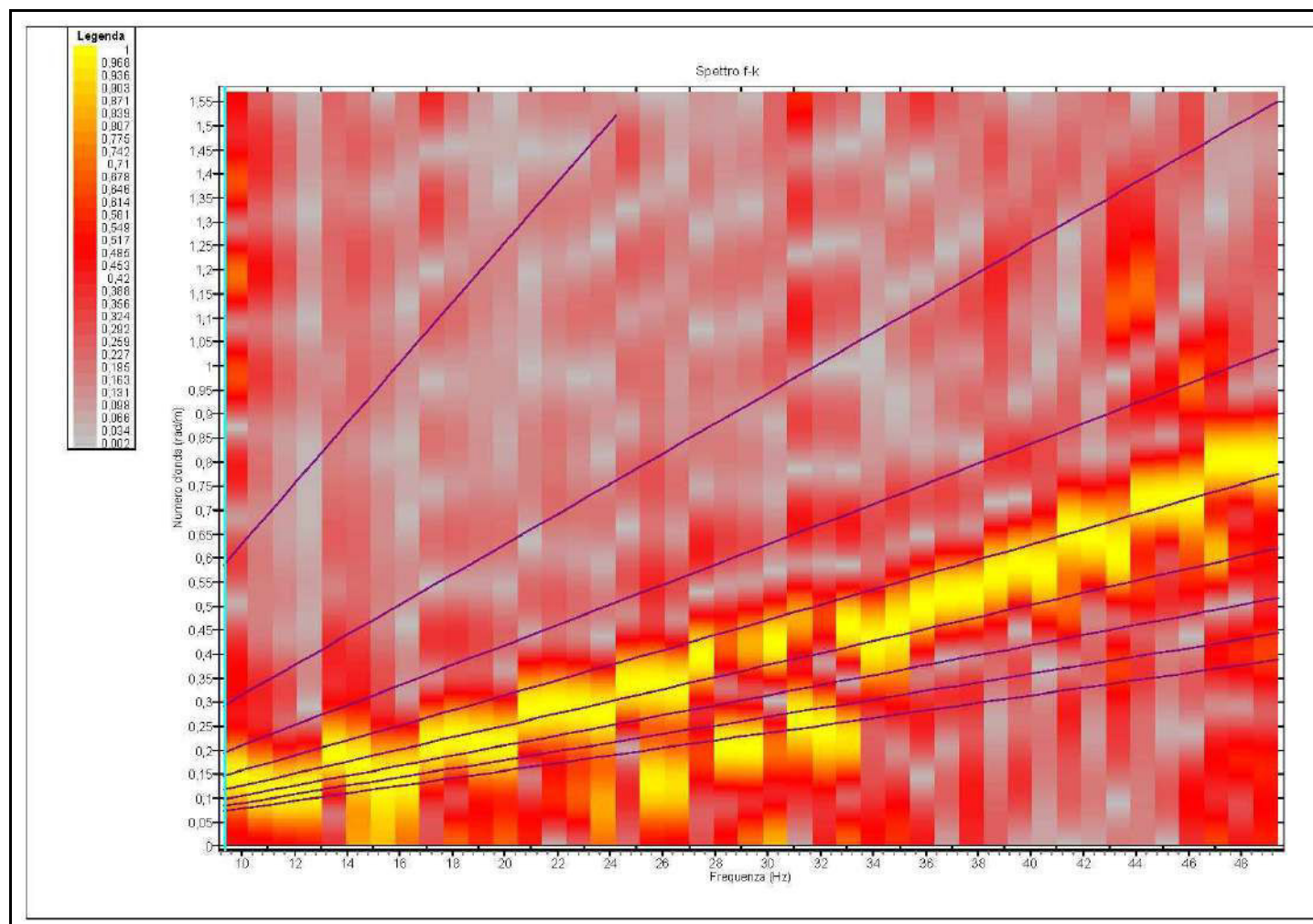
## ALLEGATO 2.1.1

### Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico



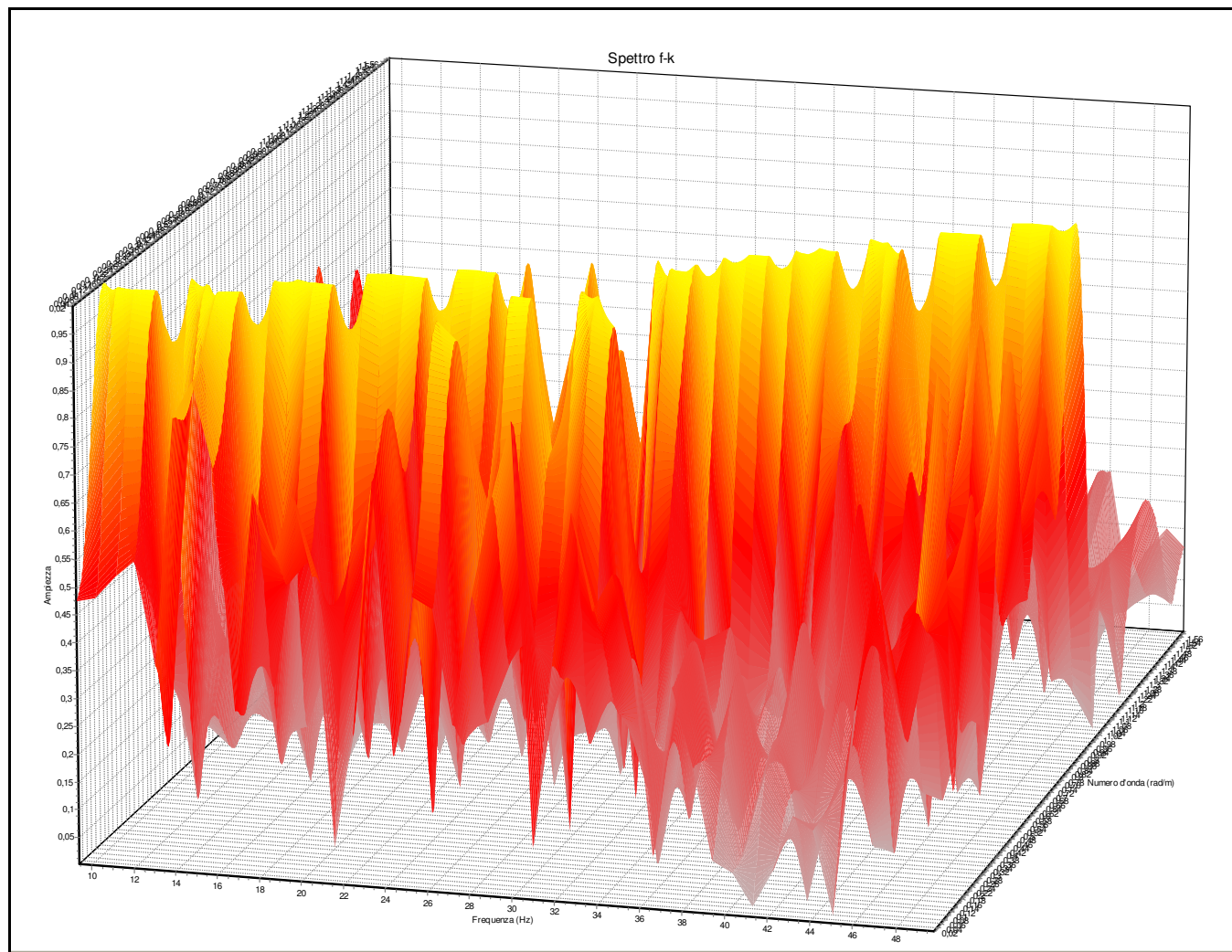


## ALLEGATO 2.1.2 - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D

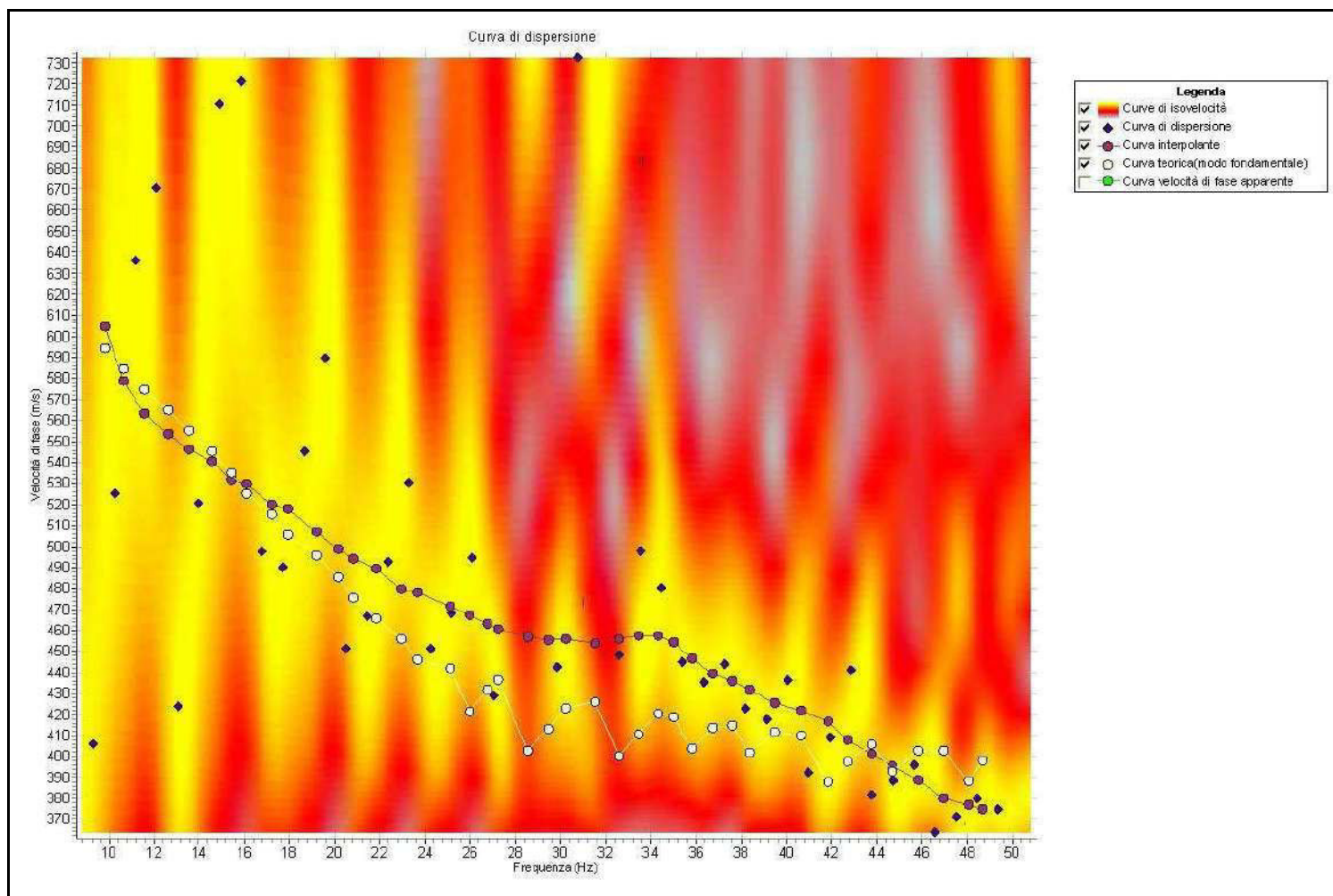




### ALLEGATO 2.1.3 - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D



### ALLEGATO 2.1.4 - Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica



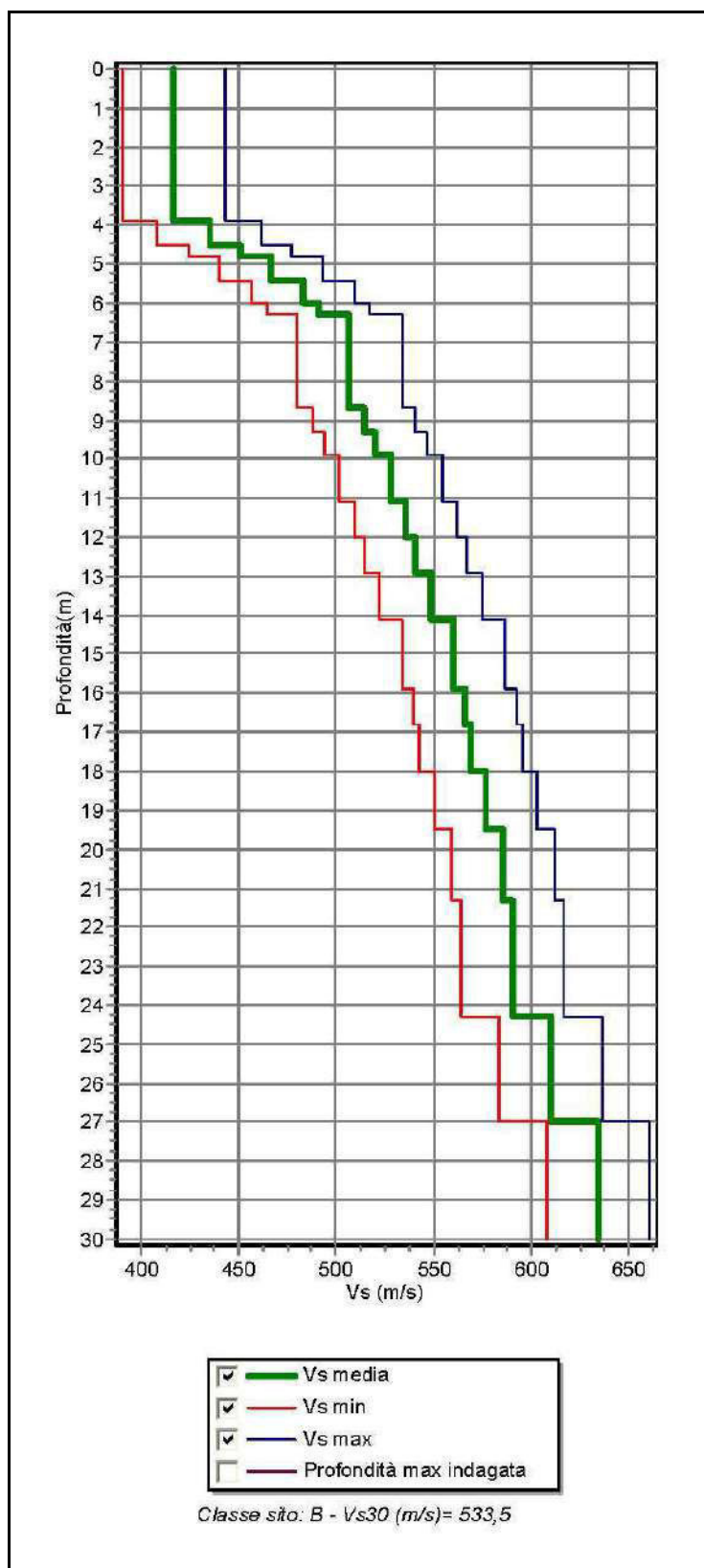
## ALLEGATO 2.1.5

Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale

Tabella parametri geotecnici da MASW M1									
N.	Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)	Vp(m/s)	G0(MPa)	Ed(MPa)	M0(MPa)	Ey(MPa)
1	3,9	417,0	0,3	1,94	777,52	343,88	1195,53	737,02	892,78
2	4,5	435,0	0,3	1,94	811,2	374,21	1301,33	802,39	971,58
3	4,8	451,0	0,3	1,97	838,52	408,46	1411,96	867,35	1059,12
4	5,4	467,0	0,3	1,97	869,32	437,96	1517,61	933,67	1136,21
5	6,0	483,0	0,29	1,97	883,92	468,48	1568,99	944,35	1206,01
6	6,3	491,0	0,29	1,92	902,82	471,84	1595,27	966,15	1217,35
7	8,7	507,0	0,29	1,97	928,05	516,19	1729,56	1041,3	1328,98
8	9,3	514,0	0,29	1,92	945,11	517,08	1748,23	1058,78	1334,07
9	9,9	520,0	0,29	1,93	955,3	531,98	1795,44	1086,14	1371,95
10	11,1	528,0	0,29	1,92	970,85	545,63	1844,76	1117,25	1407,73
11	12,0	536,0	0,29	1,92	985,56	562,29	1901,08	1151,36	1450,71
12	12,9	541,0	0,29	1,9	996,43	566,86	1923,01	1167,19	1463,65
13	14,1	548,0	0,29	1,89	1010,14	578,57	1965,89	1194,47	1494,42
14	15,9	560,0	0,29	1,92	1030,53	613,77	2078,52	1260,16	1584,13
15	16,8	566,0	0,29	1,92	1041,56	627,0	2123,26	1287,27	1618,25
16	18,0	569,0	0,29	1,9	1048,76	627,06	2130,27	1294,19	1619,6
17	19,5	577,0	0,29	1,93	1060,95	655,0	2214,52	1341,19	1689,89
18	21,3	585,0	0,28	1,95	1058,3	680,26	2226,32	1319,3	1741,48
19	24,3	590,0	0,28	1,95	1067,35	691,94	2264,54	1341,95	1771,37
20	27,0	610,0	0,28	1,96	1103,53	743,44	2433,08	1441,83	1903,21
21	30,0	634,0	0,28	2,0	1143,71	819,48	2666,83	1574,19	2094,92

## ALLEGATO 2.1.6

Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ )



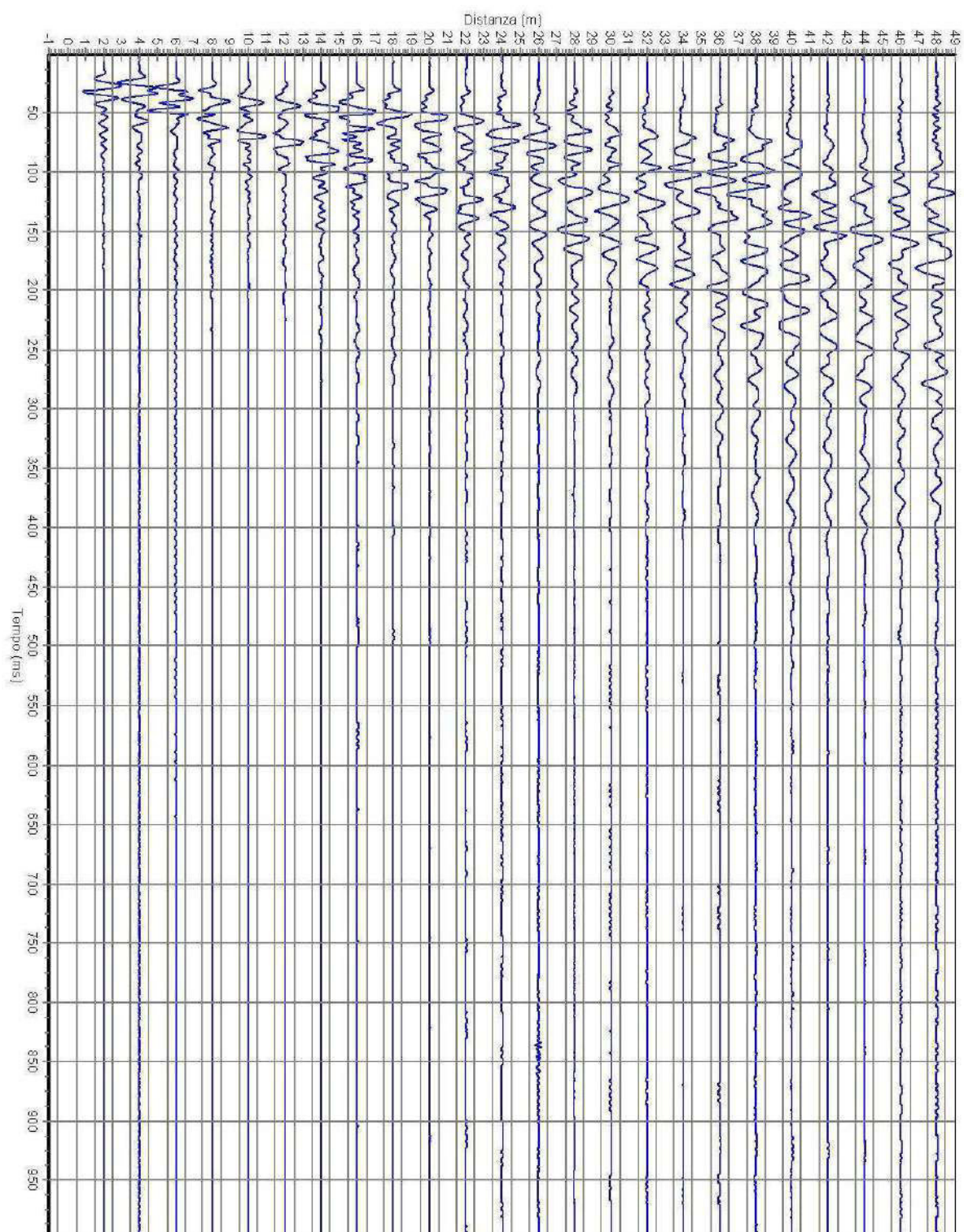
**ALLEGATO 2.2**

Stendimento MW2

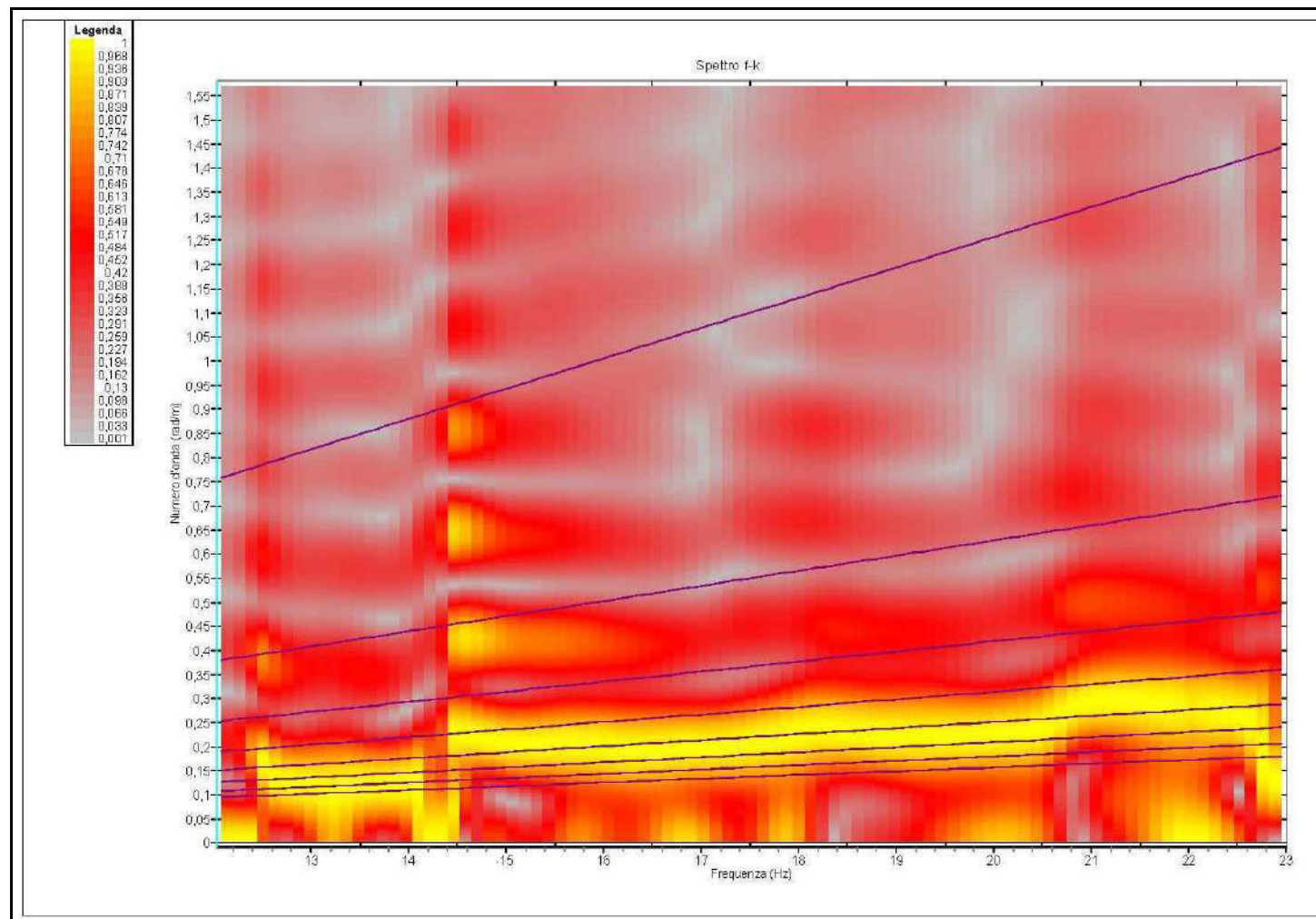


## ALLEGATO 2.2.1

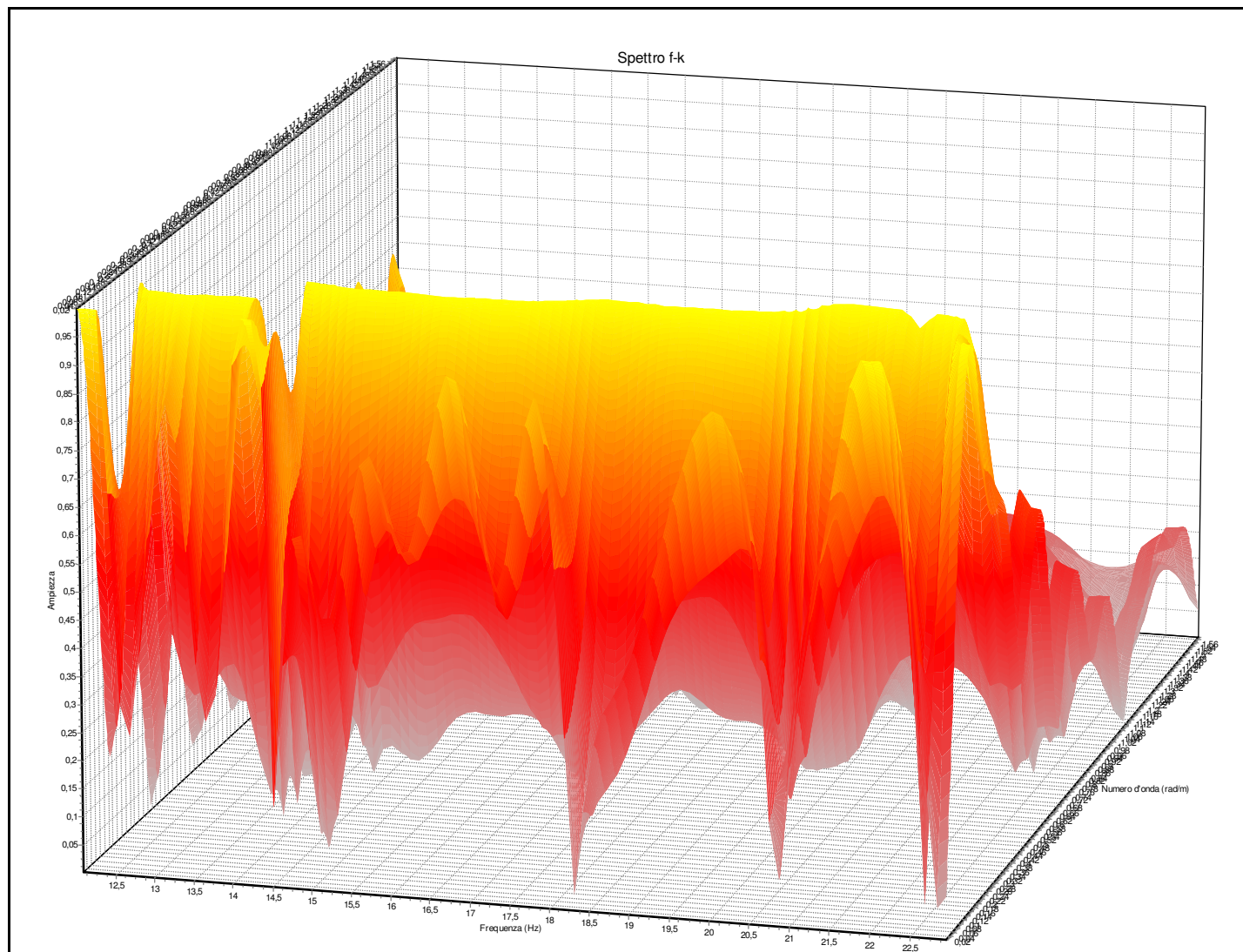
### Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico



## ALLEGATO 2.2.2 - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D

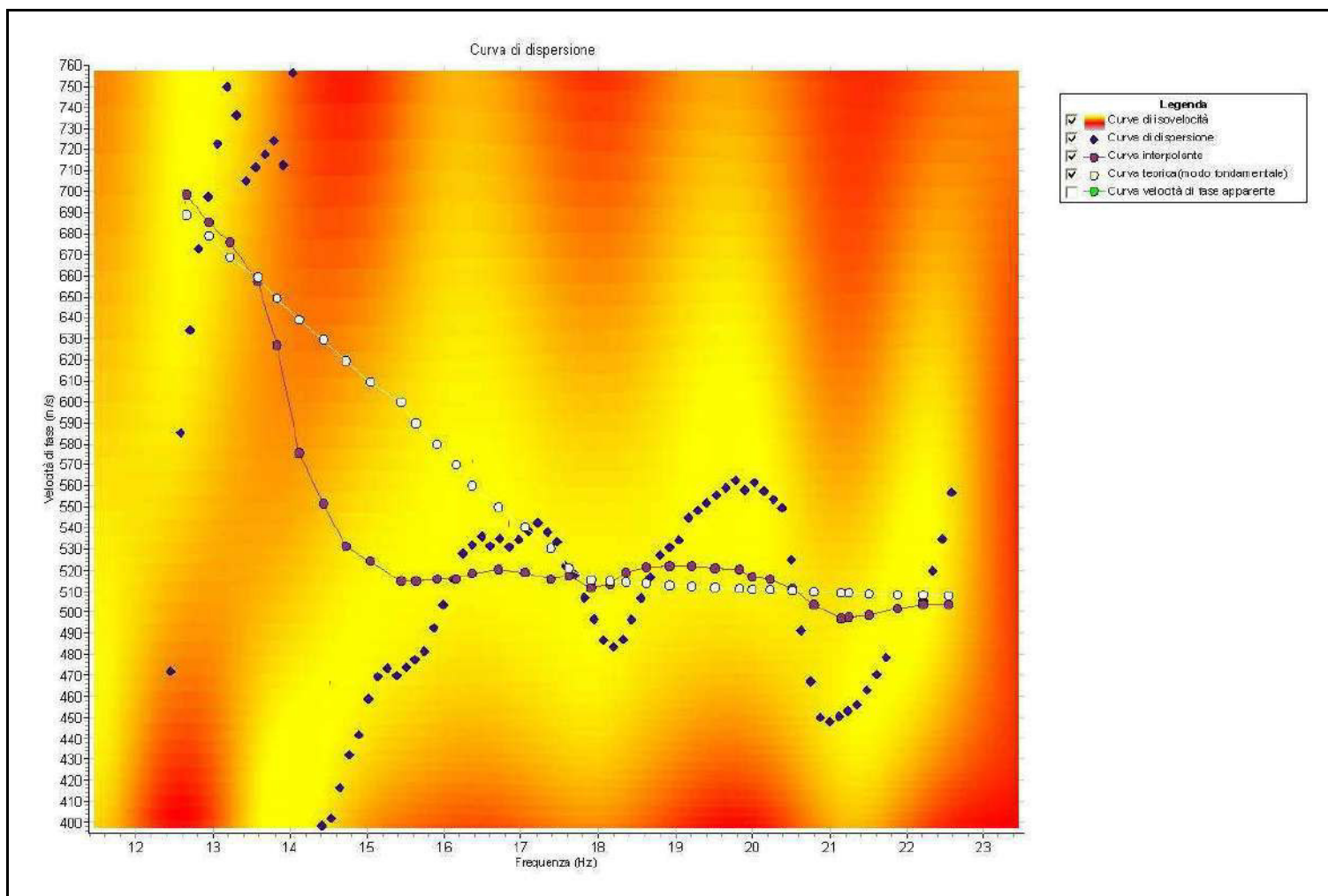


### ALLEGATO 2.2.3 - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D





## ALLEGATO 2.2.4 - Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica



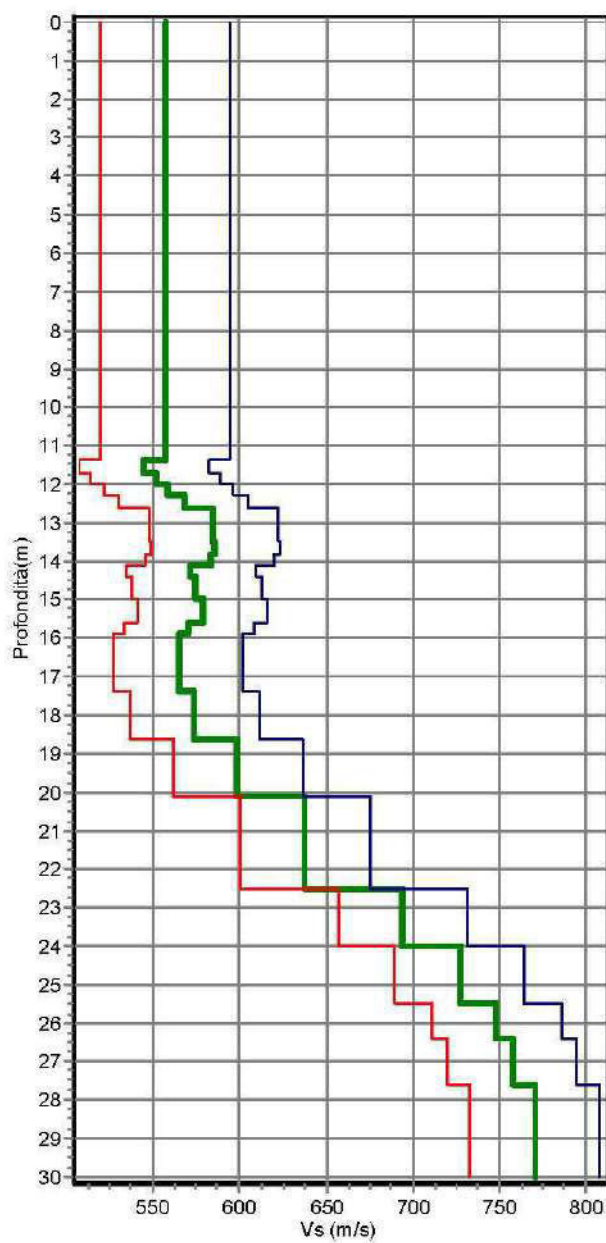
## ALLEGATO 2.2.5

Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di dispersione apparente sperimentale

Tabella parametri geotecnici da MASW M1									
N.	Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)	Vp(m/s)	G0(MPa)	Ed(MPa)	M0(MPa)	Ey(MPa)
1	11,4	557,0	0,28	1,95	1005,22	616,7	2008,59	1186,32	1576,87
2	11,7	545,0	0,28	19,15	989,99	5798,19	19131,95	11401,02	14873,23
3	12,0	552,0	0,28	1,97	994,56	611,89	1986,37	1170,51	1563,27
4	12,3	559,0	0,27	1,97	991,98	627,51	1976,06	1139,38	1590,54
5	12,6	568,0	0,27	1,98	1008,01	651,17	2050,82	1182,59	1650,56
6	13,5	585,0	0,27	2,0	1036,73	697,71	2191,27	1261,0	1767,19
7	13,8	586,0	0,27	1,98	1040,08	693,09	2183,38	1259,26	1756,94
8	14,1	583,0	0,27	1,99	1033,95	689,48	2168,63	1249,33	1747,05
9	14,4	572,0	0,27	1,99	1014,36	663,71	2087,2	1202,26	1681,67
10	15,0	575,0	0,27	2,0	1018,92	674,06	2116,61	1217,87	1707,21
11	15,6	579,0	0,27	2,0	1026,83	683,47	2149,59	1238,3	1731,79
12	15,9	571,0	0,27	2,0	1012,57	664,71	2090,33	1204,05	1684,21
13	17,4	565,0	0,27	2,0	1001,89	650,82	2046,43	1178,68	1648,95
14	18,6	574,0	0,27	1,99	1018,7	668,36	2105,12	1213,98	1694,16
15	20,1	599,0	0,27	2,0	1063,24	731,5	2304,75	1329,41	1854,38
16	22,5	638,0	0,27	2,02	1132,72	838,15	2641,97	1524,43	2125,01
17	24,0	694,0	0,27	2,01	1233,27	986,84	3116,32	1800,54	2503,2
18	25,5	727,0	0,26	2,02	1273,55	1088,31	3339,73	1888,66	2738,85
19	26,4	748,0	0,26	2,02	1310,42	1152,09	3535,93	1999,82	2899,47
20	27,6	757,0	0,26	2,01	1326,98	1174,14	3607,91	2042,4	2955,97
21	30,0	770,0	0,26	1,99	1351,32	1202,72	3704,25	2100,62	3029,9

## ALLEGATO 2.2.6

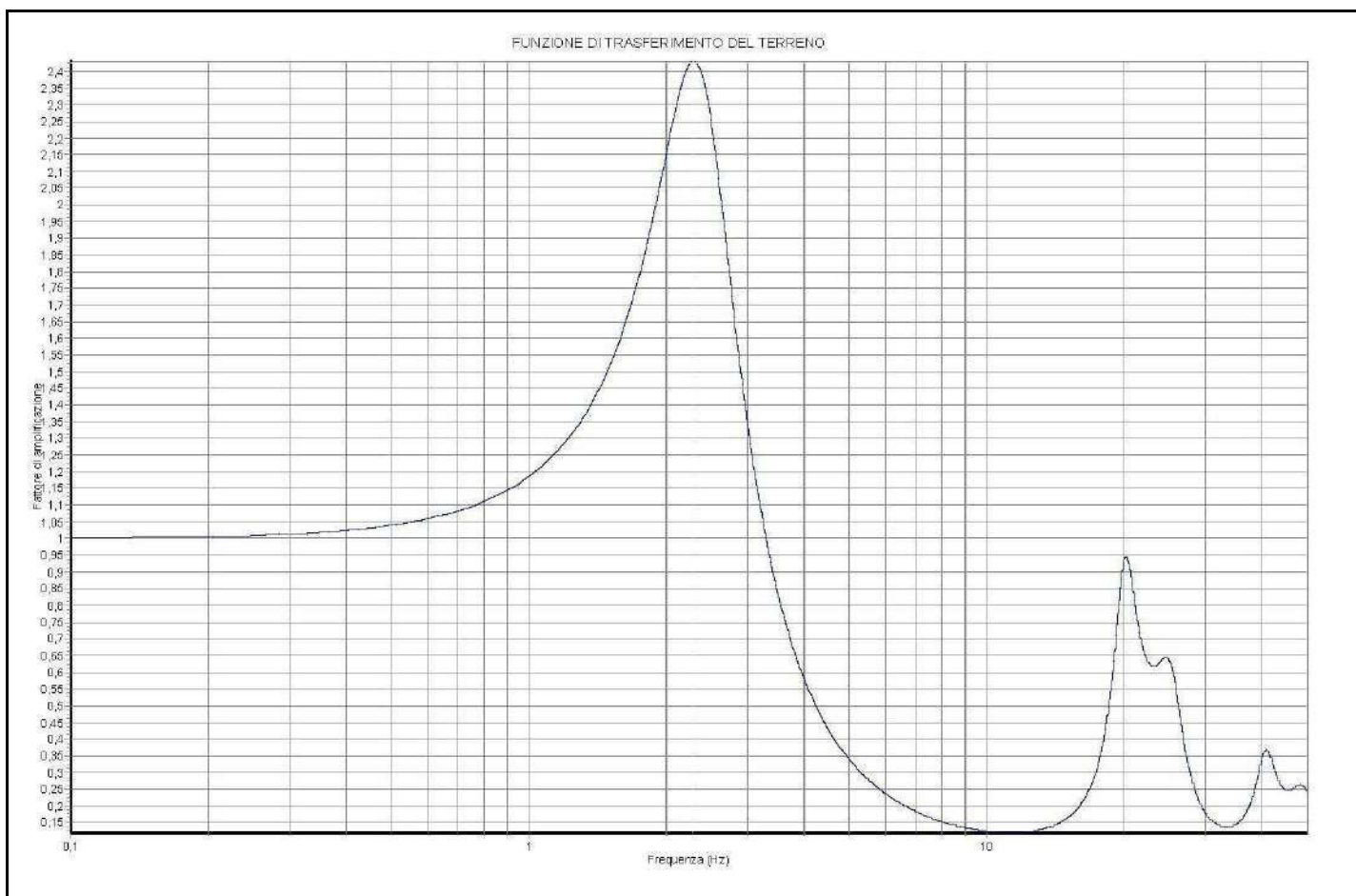
Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s,30}$ )



Classe sito: B -  $V_{s30}$  (m/s) = 606,5

## ALLEGATO 2.2.7

### Funzione di trasferimento



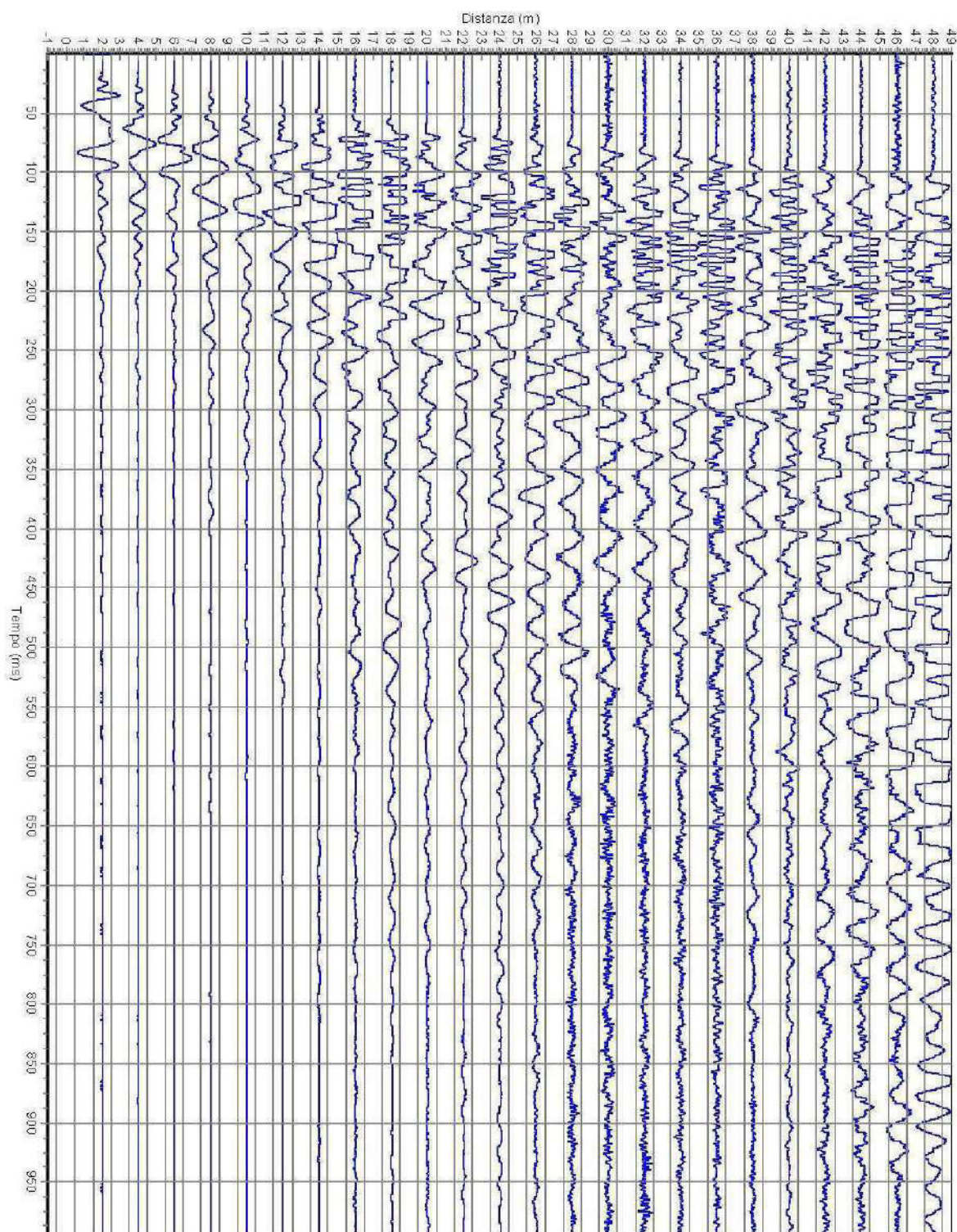
## **ALLEGATO 2.3**

Stendimento MW3

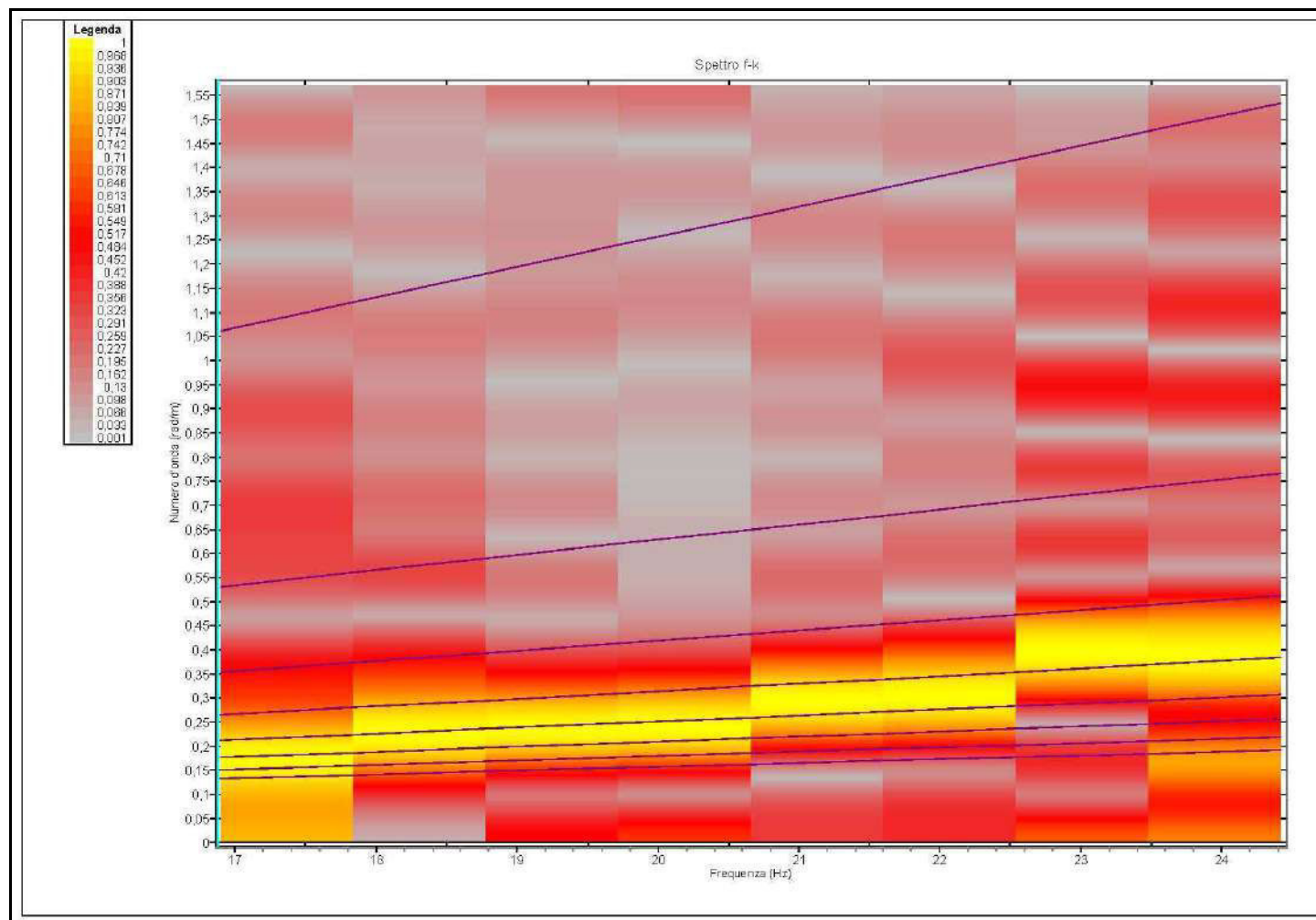


## ALLEGATO 2.3.1

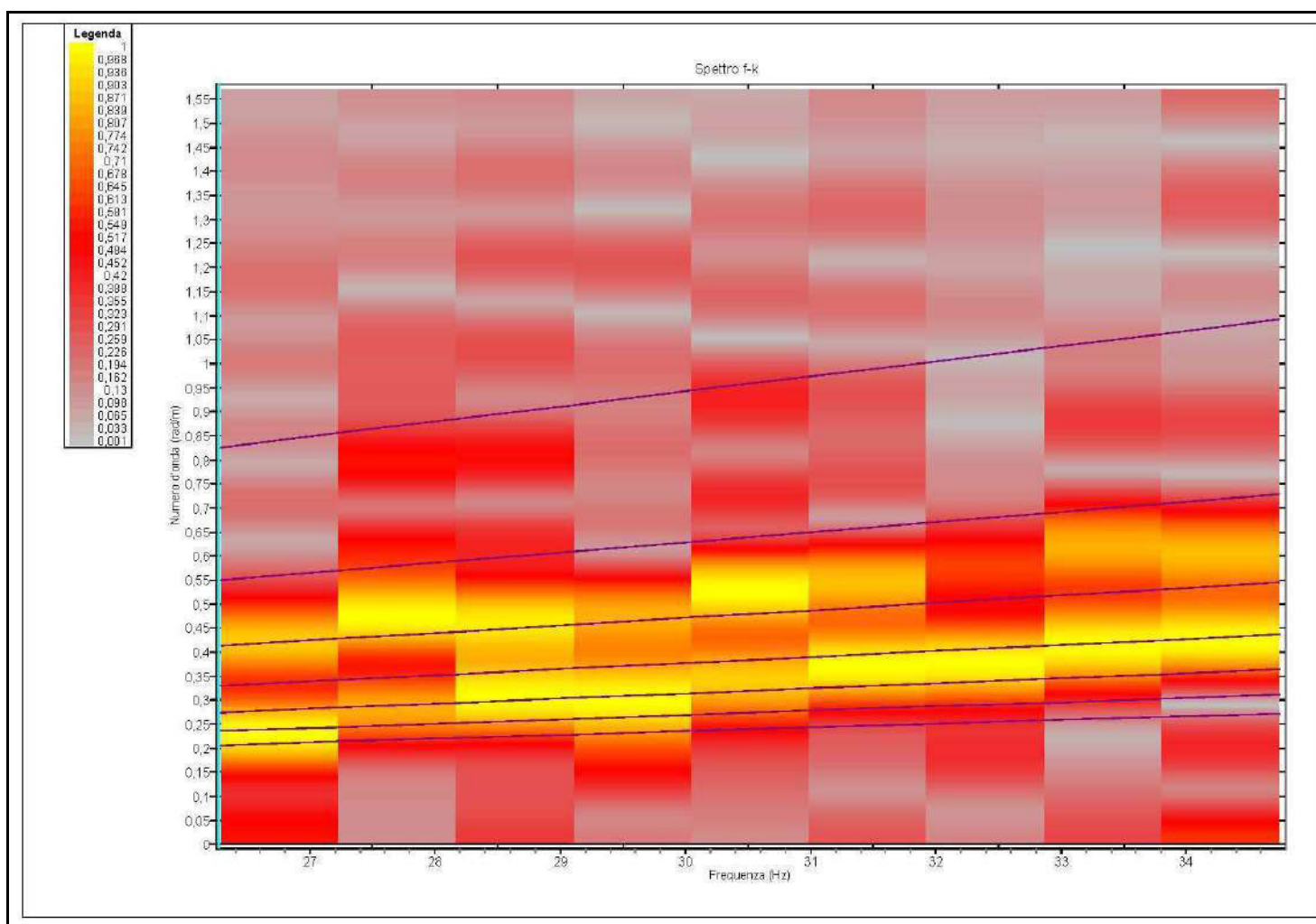
### Sismogrammi di acquisizione del segnale sismico



### ALLEGATO 2.3.2a - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D – modo fondamentale

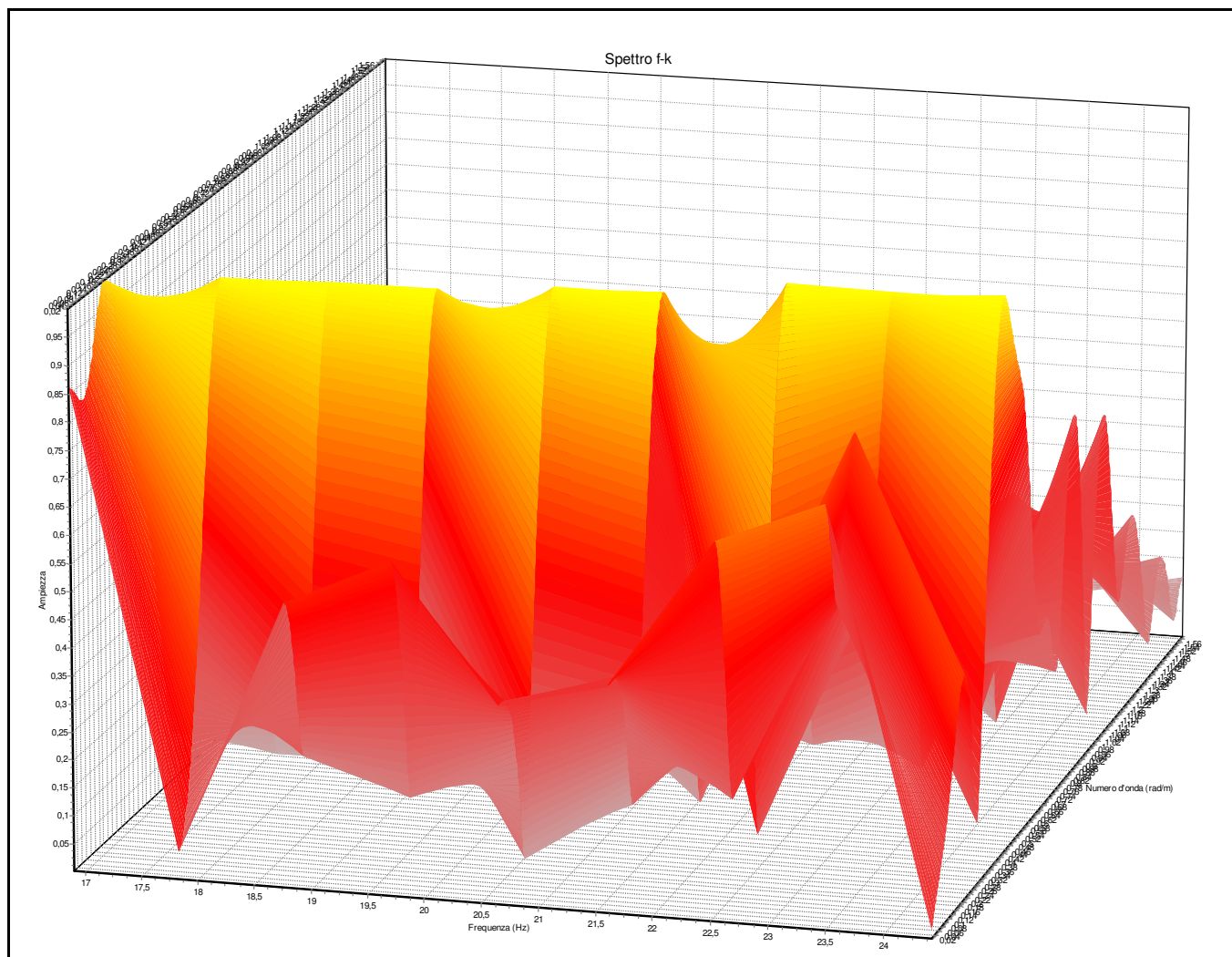


**ALLEGATO 2.3.2b - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 2D – 1° modo superiore**

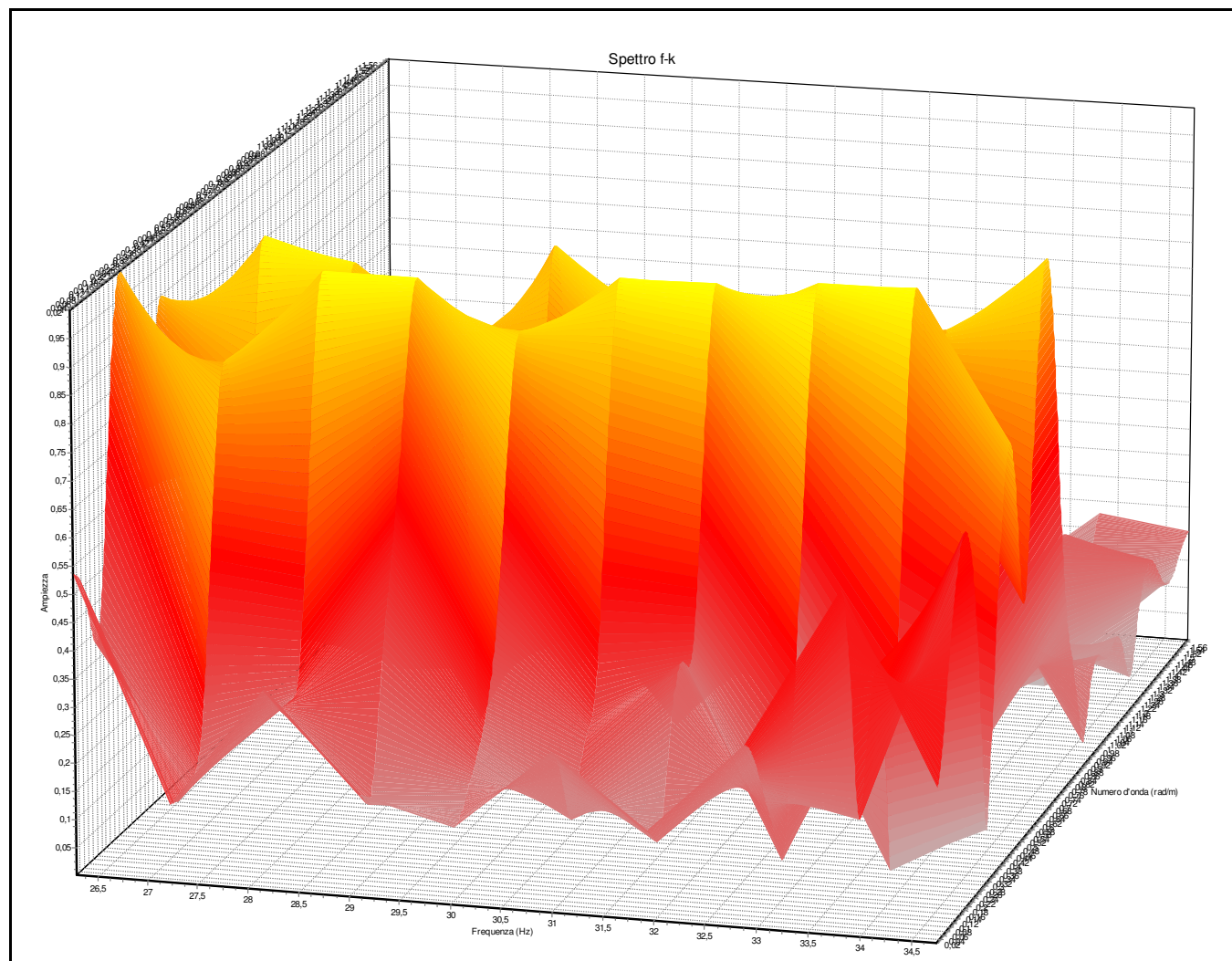




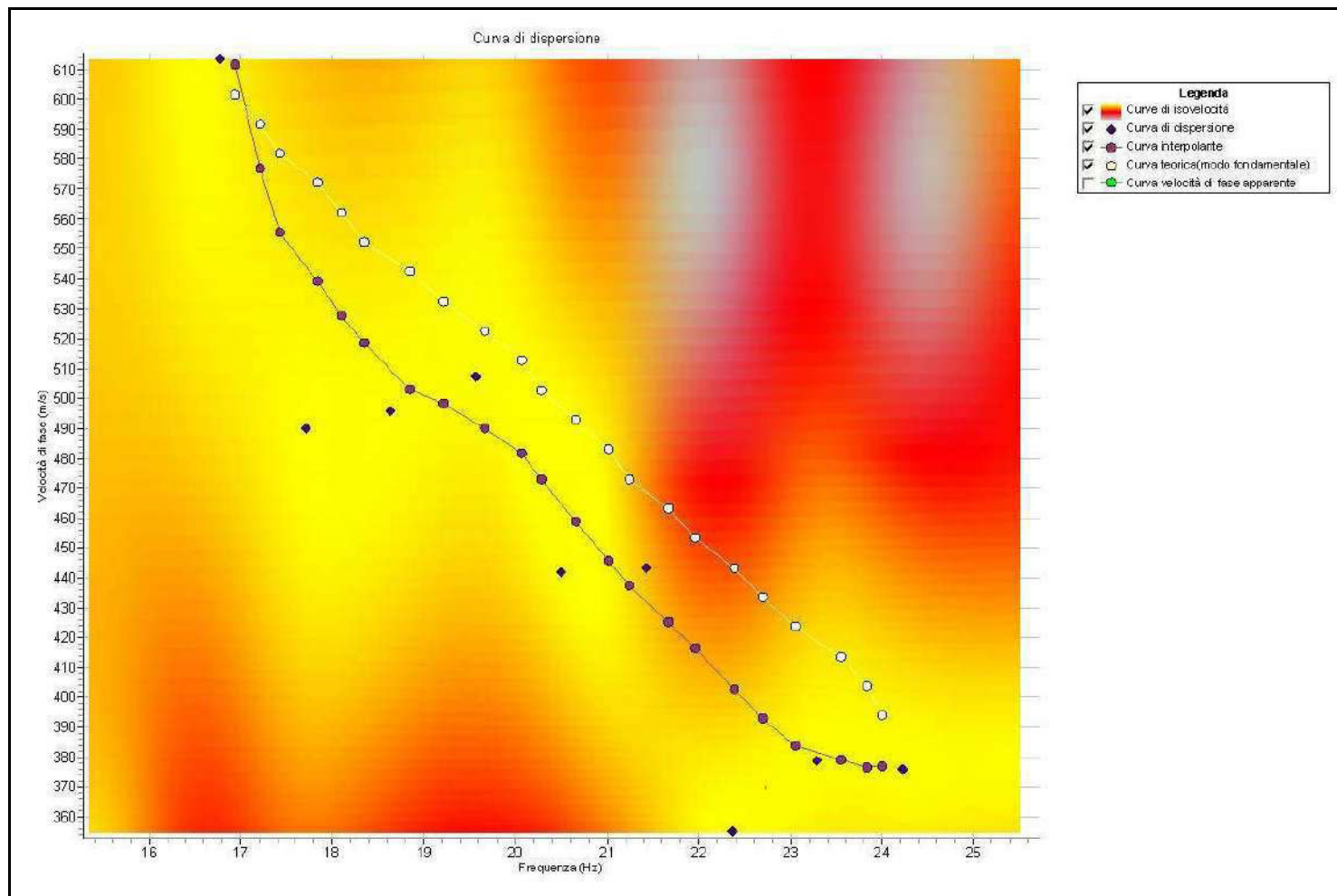
**ALLEGATO 2.3.3a - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D – modo fondamentale**



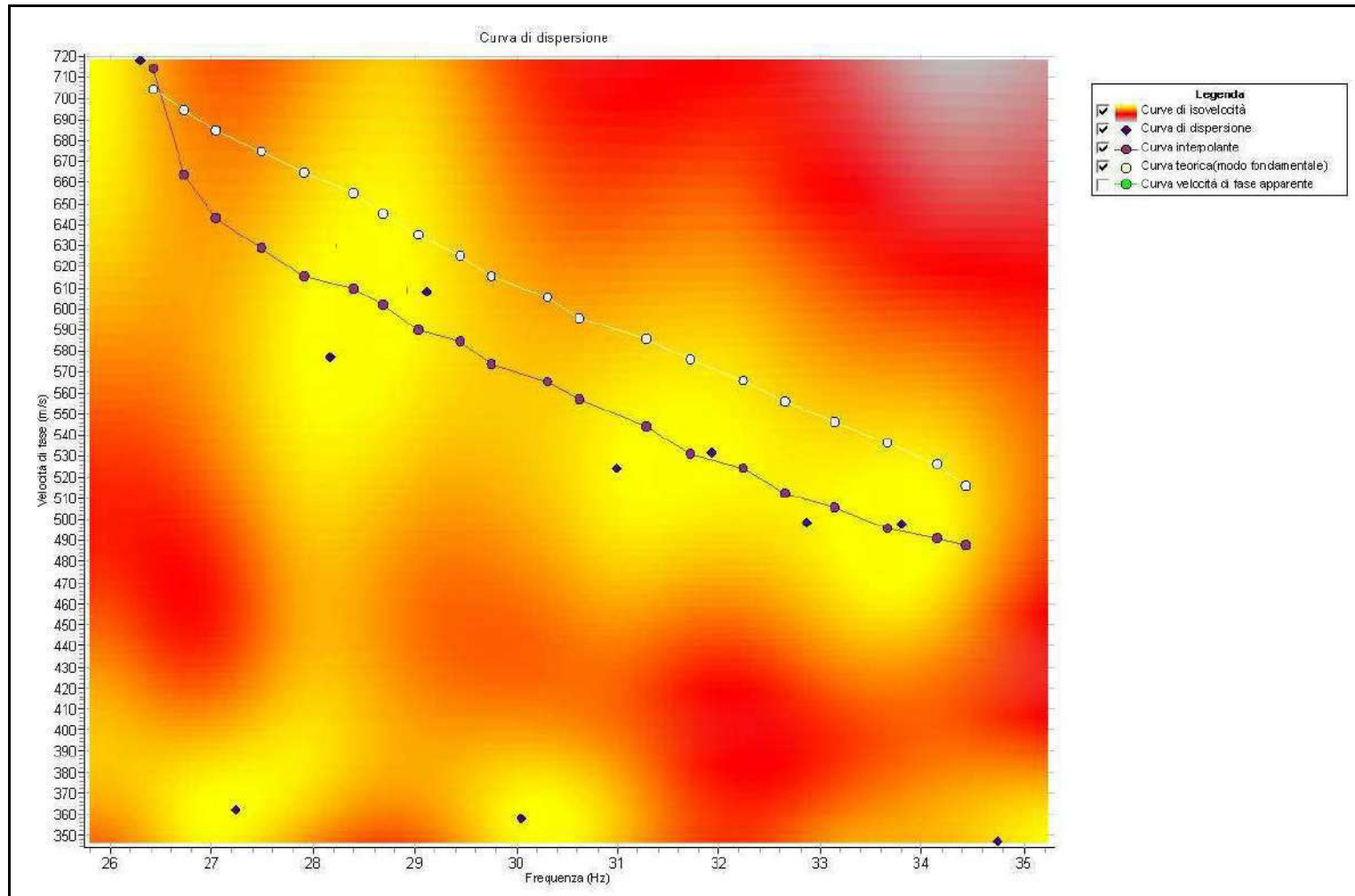
**ALLEGATO 2.3.3b - Spettro f-k (frequenza vs numero d'onda) in 3D – 1° modo superiore**



### ALLEGATO 2.3.4a - Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica – modo fondamentale



**ALLEGATO 2.3.4b** - Curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione teorica – 1° modo superiore





### ALLEGATO 2.3.5a

Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di  
dispersione apparente sperimentale – modo fondamentale

Tabella parametri geotecnici da MASW M1									
N.	Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)	Vp(m/s)	G0(MPa)	Ed(MPa)	M0(MPa)	Ey(MPa)
1	7,5	360,0	0,29	1,83	661,95	241,76	817,38	495,04	623,74
2	7,8	370,0	0,29	1,84	680,33	256,77	868,14	525,78	662,48
3	8,1	390,0	0,29	1,84	717,11	285,28	964,53	584,15	736,03
4	8,4	400,0	0,29	1,85	735,49	301,73	1020,14	617,83	778,47
5	9,0	421,0	0,29	1,85	774,11	334,25	1130,07	684,41	862,36
6	9,6	443,0	0,29	1,85	814,56	370,09	1251,26	757,81	954,84
7	10,2	460,0	0,29	1,86	845,82	401,2	1356,43	821,5	1035,09
8	10,5	470,0	0,29	1,86	864,21	418,83	1416,05	857,61	1080,59
9	11,1	490,0	0,28	1,87	886,44	457,68	1497,87	887,63	1171,67
10	11,4	510,0	0,28	1,87	922,62	495,81	1622,64	961,57	1269,27
11	11,7	520,0	0,28	1,88	940,72	518,2	1695,92	1004,99	1326,59
12	12,3	530,0	0,28	1,88	958,81	538,32	1761,77	1044,01	1378,1
13	12,6	539,0	0,28	1,9	975,09	562,68	1841,5	1091,26	1440,46
14	12,9	542,0	0,28	1,9	980,51	568,96	1862,06	1103,44	1456,54
15	13,5	544,0	0,27	1,9	969,16	573,17	1819,19	1054,96	1455,85
16	14,1	555,0	0,27	1,9	988,76	596,58	1893,5	1098,06	1515,32
17	14,7	570,0	0,27	1,9	1015,48	629,27	1997,24	1158,21	1598,34
18	15,6	575,0	0,27	1,9	1024,39	640,35	2032,43	1178,62	1626,5
19	16,5	595,0	0,26	1,92	1044,79	692,89	2136,42	1212,56	1746,09
20	18,0	615,0	0,26	1,92	1079,9	740,26	2282,46	1295,45	1865,45
21	30,0	670,0	0,25	1,94	1160,47	887,73	2663,2	1479,55	2219,33

### ALLEGATO 2.3.5b

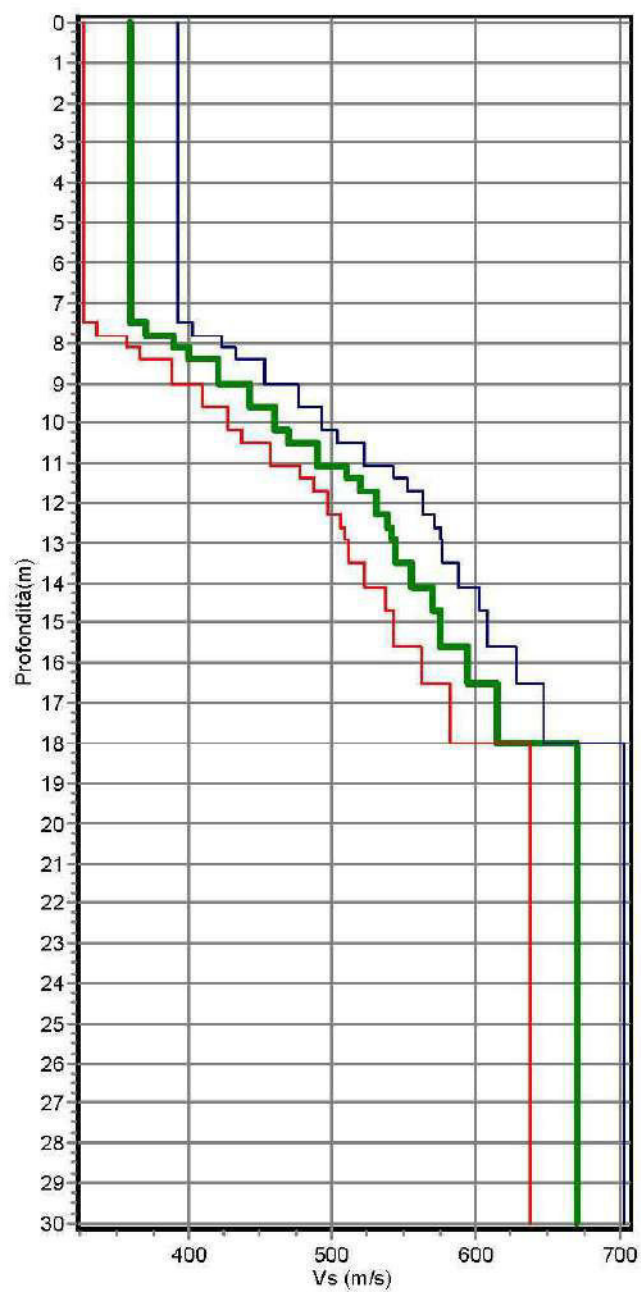
Tabella parametri geotecnici ottenuti dalla fase di inversione della curva di  
dispersione apparente sperimentale – 1° modo superiore

Tabella parametri geotecnici da MASW M1

N.	Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)	Vp(m/s)	G0(MPa)	Ed(MPa)	M0(MPa)	Ey(MPa)
1	6,9	530,0	0,29	1,8	980,4	515,41	1763,65	1076,43	1333,42
2	7,2	532,0	0,29	1,81	983,24	522,2	1783,73	1087,47	1350,43
3	7,5	539,0	0,29	1,83	996,11	541,95	1850,96	1128,36	1401,48
4	7,8	550,0	0,28	1,83	999,84	564,3	1864,85	1112,46	1448,05
5	8,1	558,0	0,28	1,84	1014,31	584,01	1929,72	1151,04	1498,57
6	8,4	575,0	0,28	1,85	1045,07	623,5	2059,64	1228,31	1599,81
7	9,0	593,0	0,28	1,85	1077,63	663,15	2190,0	1305,8	1701,43
8	9,3	609,0	0,27	1,88	1088,09	710,76	2268,91	1321,23	1808,06
9	9,6	621,0	0,27	1,91	1107,12	750,84	2386,47	1385,35	1907,85
10	9,9	632,0	0,27	1,92	1125,94	781,75	2481,2	1438,87	1985,64
11	10,2	646,0	0,27	1,93	1150,88	821,02	2605,84	1511,15	2085,39
12	10,5	662,0	0,27	1,93	1179,38	862,19	2736,52	1586,93	2189,97
13	10,8	671,0	0,27	1,93	1195,42	885,8	2811,44	1630,38	2249,92
14	11,4	677,0	0,27	1,93	1206,11	901,71	2861,94	1659,66	2290,34
15	11,7	692,0	0,27	1,94	1232,83	946,99	3005,66	1743,01	2405,35
16	12,3	707,0	0,27	1,94	1259,55	988,49	3137,38	1819,39	2510,76
17	13,5	730,0	0,26	1,95	1281,84	1059,28	3266,12	1853,74	2669,39
18	30,0	786,0	0,26	1,96	1380,17	1234,33	3805,86	2160,08	3110,52

### ALLEGATO 2.3.6a

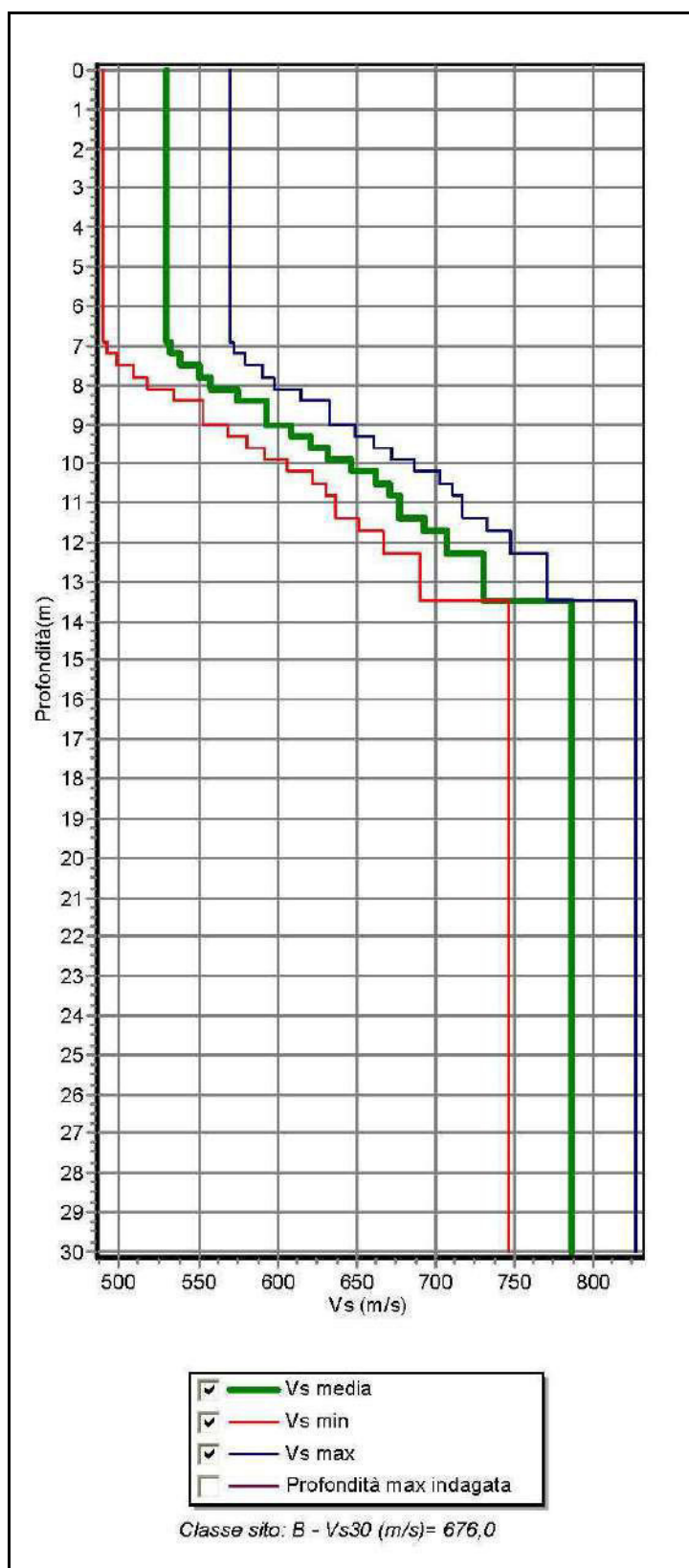
Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri  
di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ) – modo fondamentale



Classe sito: B -  $V_{s30}$  (m/s) = 506,9

### ALLEGATO 2.3.6b

Profilo di velocità delle onde S per i primi 30 metri  
di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ) – 1° modo superiore





**ALLEGATO 2.3.7**

Determinazione della categoria di sottosuolo prova M.A.S.W. MW3

### Determinazione della categoria di sottosuolo prova M.A.S.W. MW3

