

**VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO
INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA MOBILITÀ, REALIZZAZIONE DI
PISTA CICLO-PEDONALE TRATTO CENAIA - LE LAME
COMUNE DI CRESPINA LORENZANA (PI)**

Geol. Francesca Franchi



CONTENUTI: RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

COMMITTENTE: Comune di Crespina Lorenzana

<input checked="" type="checkbox"/>	REDAZIONE		del	gennaio 2019
<input type="checkbox"/>	REDAZIONE	n. <input type="checkbox"/>	del	
<input type="checkbox"/>	INTEGRAZIONE	n. <input type="checkbox"/>	del	

GEOPROGETTI
studio associato

Via Venezia, 77
56038 Ponsacco (PI)
tel./fax 0587 54001
e-mail geoprogetti.franchi@jol.it

**VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO
PER INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA MOBILITÀ
REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE TRATTO CENAIA - LE LAME
COMUNE DI CRESPINA LORENZANA (PI)**

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

PREMESSA

La presente relazione è stata redatta a supporto della Variante al Regolamento Urbanistico per la realizzazione di una pista ciclabile tra l'abitato di Cenaia e la località Le Lame, nel Comune di Crespina Lorenzana (appendice 1).

La pista ciclopedonale in progetto costituirà il completamento del tratto già esistente che termina al margine Sud dell'abitato di Cenaia. Il nuovo tratto di pista si svilupperà nell'ambito di territorio agricolo attraversato dalla Via di Lustignano, al margine della strada stessa, per una lunghezza di circa 650 m.

Partendo dall'esame degli studi geologici contenuti nel P.R.G. comunale vigente e negli elaborati del "P.G.R.A." del Distretto Appennino Settentrionale, sono state condotte indagini in sito e di laboratorio, i cui risultati hanno consentito l'approfondimento delle conoscenze in merito alle caratteristiche geologiche dell'area ed agli elementi di pericolosità della zona interessata dalla nuova pista ciclabile.

Gli approfondimenti di indagine effettuati in questa fase hanno permesso di verificare la fattibilità della variante e di definire le condizioni di fattibilità per l'intervento.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- P.R.G. vigente del Comune di Crespina Lorenzana;
- D.P.G.R. 25 ottobre 2011 n.53/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 62 L.R. n.1/2005";
- L.R. 24 luglio 2018 n. 41: "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49 ...";
- D.P.C.M. 27 ottobre 2016: "Approvazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale." (G.U. n. 28 S.g. del 3-2-2017);

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA VARIANTE

La pista ciclabile, con larghezza variabile da 2,5 m a 3,5 m, si svilupperà completamente a raso e non sarà necessario alcun rilevato.

La realizzazione della pista comporterà lievi modifiche all'assetto delle fosse campestri, che nei punti di intersezione col tracciato saranno tombate con tubazioni di idoneo diametro o ricollegate alle fosse esistenti vicine.

Gl interventi più significativi connessi alla realizzazione della pista sono rappresentati dalla realizzazione dell'opera di attraversamento del Fosso La Settembrina, e dallo spostamento di un tratto di circa 150 della Via di Lustignano, per creare lo spazio necessario alla pista ciclabile laddove la viabilità esistente lambisce un fabbricato (appendice 4).

Il percorso della pista ciclopedonale incrocia il Fosso Settembrina, ricompreso all'interno del reticolo idrografico di riferimento della Regione Toscana.

Per determinare la quota minima dell'impalcato della passerella di attraversamento del corso d'acqua e verificare la non interferenza delle opere con il regolare deflusso del corso d'acqua, è stata condotta dall'Ingegnere Idraulico Jacopo Taccini una specifica verifica idrologico-idraulica.

Per maggiori dettagli sugli interventi previsti si rimanda agli elaborati progettuali redatti dall'Arch. Matteo Ferrini (PI).

1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di indagine si colloca nella fascia di pianura al piede delle propaggini settentrionali dell'ambito collinare denominato "Colline Pisane", nella zona a Nord del rilievo collinare su cui sorge l'abitato di Crespina (appendice 1).

Dalla carta geologica del P.R.G. si rileva che il tracciato della pista si svilupperà in prevalenza sui terreni pleistocenici della Formazione delle Sabbie e Limi di Vicarello. Nel tratto centrale del tracciato è invece presente una coltre di terreni alluvionali recenti di copertura dei depositi pleistocenici (appendice 1a).

Le quote del piano di campagna vanno dai 25 m circa s.l.m. nel tratto Nord della pista ciclabile, fino a raggiungere i 29 m circa nel tratto finale, in corrispondenza della località Le Lame (appendice 4).

Il drenaggio delle acque meteoriche che scorrono in superficie è affidato al reticolo delle fossette campestri, che le recapitano nei due principali assi drenanti della zona, rappresentati dal Fosso La Settembrina e dal Torrente Crespina (appendici 1 e 4).

Poichè contestualmente alla variante in oggetto abbiamo condotto un'indagine geologico-tecnica a supporto del progetto definitivo della pista ciclabile e delle opere connesse, ci avvaliamo in questa sede anche dei risultati delle indagini in sito eseguite in quella sede e che hanno consentito di approfondire il quadro conoscitivo già disponibile.

Per la caratterizzazione geologico-stratigrafica del sottosuolo, in particolare dell'area del nuovo attraversamento del Fosso Settembrina, sono state effettuate due prove penetrometriche tipo statico "CPT", spinte fino a -10 m dal p.c. (appendici 4 e 6). Inoltre, tramite lo stesso penetrometro, è stato effettuato il prelievo di un campione indisturbato di terreno tra -2,45 e -2,9 m circa, sul quale sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio per la determinazione dei parametri geomeccanici del substrato di fondazione (appendice 7).

I risultati delle prove effettuate hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sottosuolo dell'area di intervento ed hanno consentito di individuare le proprietà geomeccaniche dei singoli litotipi individuati .

<i>Profondità dal p.d.c (m)</i>	<i>Litotipo dominante</i>
0 – 1 ca.	suolo
1 – 3	sabbia con limo argillosa
3 – 7	sabbia con limo argillosa
7 – 10 ed oltre	limo argilloso

Nel complesso, i risultati delle indagini in sito e di quelle a disposizione confermano la presenza di terreni a grana fine, da sabbioso limosi a limo-argillosi, di consistenza variabile da media a medio-bassa, correlabili con le formazioni indicate dalla cartografia.

Dalle misurazioni effettuate all'interno dei fori delle prove penetrometriche, ubicate a pochi metri di distanza tra loro, i terreni sono risultati asciutti fino a poco oltre i 3 m di profondità.

2 - PERICOLOSITA' DELL'AREA

Pericolosità geologica:

Per l'individuazione degli elementi di pericolosità si è fatto riferimento alla Carta della Pericolosità Geologica della variante al R.U. (dicembre 2013), redatta ai sensi del vigente D.P.G.R. 53/R del 2011. Secondo tale elaborato all'area in esame corrisponde una "Pericolosità geologica media" Classe G.2: "aree con elementi ... dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto" (appendice 2a).

Tale valutazione generale di pericolosità è coerente con il quadro geologico-tecnico emerso nell'ambito della presente indagine.

Pericolosità sismica locale:

Secondo la specifica cartografia comunale redatta secondo il D.P.G.R. 53/R, la pista ciclo-pedonale ricade in maggior parte in classe S.2 "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ...", mentre la porzione Sud della pista ricade in Classe S.3, "pericolosità sismica locale elevata", data la presenza di terreni la cui composizione è ritenuta potenzialmente soggetta a fenomeni di liquefazione in campo sismico (appendice 2c).

Avendo a disposizione i risultati di due prove penetrometriche statiche in sito ed un'analisi granulometrica, la quale alla luce delle penetrometrie è correlabile con la porzione di terreni maggiormente sabbiosa, si è proceduto ad una valutazione numerica della sicurezza alla liquefazione utilizzando il metodo di Robertson e Wride (1997).

I risultati ottenuti (Appendice 6) indicano che il fattore di sicurezza F_s rispetto alla potenziale liquefazione è superiore al minimo di legge, con un ampio margine. L'indice di potenziale liquefazione equivale quindi a "0" ovvero a terreni con rischio di liquefazione da molto basso a nullo.

Nell'ambito della presente indagine è stata effettuata anche una misura tramite un metodo sismico attivo della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (S) (appendice 8).

Nell'ambito di detta indagine è stato possibile determinare un profilo verticale della velocità delle onde S e quindi calcolare i moduli elastici dinamici ed il valore V_{s30} del sottosuolo.

L'andamento delle velocità sismiche mostra una V_s in aumento a partire da velocità inferiori ai 200 m/s nei primi 11 metri circa di sottosuolo, fino a superare i 280 m/s oltre i 20 m circa di profondità ed i 350 m/s dai 40 m circa.

Visti i parametri di resistenza dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area di intervento, l'andamento della V_s , il valore della V_{s30} e le caratteristiche dell'amplificazione sismica di sito, il substrato dell'area di intervento si inquadra in un profilo stratigrafico corrispondente alla categoria di sottosuolo "C", definita, secondo il D.M. 17 gennaio 2018, come segue:

...

C – “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

I risultati delle indagini condotte sono coerenti con il quadro conoscitivo delineato dagli studi di supporto al RU e consentono di confermare il grado di pericolosità attribuito all'area in studio.

Pericolosità idraulica:

Per valutare la pericolosità idraulica delle zone interessate dall'intervento si è fatto riferimento alla carta di pericolosità idraulica redatta ai sensi del vigente D.P.G.R. 53/R 2011, estratta dal R.U. comunale, Variante del dicembre 2013.

La pista ciclabile attraversa in buona parte una zona a pericolosità idraulica molto elevata, classe I.4, che corrisponde alle aree inondabili da eventi con tempi di ritorno inferiori ai 30 anni. In particolare, tale area risulta vulnerabile anche per eventi con T_r di 20 anni (appendice 2b).

Tale indicazione di pericolosità risulta in linea con il quadro conoscitivo allegato al P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, secondo il quale l'area di intervento ricade in Pericolosità Idraulica elevata "P3", corrispondente alle aree inondabili per eventi con tempo di ritorno (T_r) fino a 30 anni (appendice 3).

Lo studio idraulico condotto dall'Ing. Jacopo Taccini per il dimensionamento dell'opera di

attraversamento non apporta novità al quadro conoscitivo disponibile che viene pertanto confermato nel suo complesso.

3 - CONDIZIONI ALLA TRASFORMAZIONE E FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI

3.1 - fattibilità geologica

La fattibilità geologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R, riportata nella tabella di fattibilità per gli interventi nel sub-sistema agricolo del R.U. vigente, corrisponde ad una Classe "F2 - *fattibilità con normali vincoli*". Le prove geotecniche effettuate in sito confermano l'assetto geologico generale descritto dallo studio geologico dello strumento urbanistico e non segnalano particolari problematiche inerenti all'assetto geologico-geotecnico del sottosuolo, per cui in questa fase, in relazione all'intervento in oggetto, si conferma la classe di fattibilità geologica F2 (appendice 3a).

3.2 - fattibilità sismica

Vista la presenza di terreni segnalati come potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica, il R.U. prescrive che siano realizzate indagini geognostiche finalizzate al calcolo del coefficiente di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni.

A fronte di tali prescrizioni, la classe di fattibilità attribuita all'intervento è la F3 "fattibilità condizionata" ai sensi del D.P.G.R. 53/R 2011. Gli esiti delle indagini e verifiche condotte escludono il rischio di liquefazione e consentono di confermare la compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate (appendice 3a).

3.3 - fattibilità idraulica

La fattibilità idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R, riportata nella tabella di fattibilità per gli interventi nel sub-sistema agricolo del R.U. vigente, indica per l'opera in progetto la Classe "F3 - *fattibilità condizionata*", cosa per cui gli interventi non debbono costituire ostacolo al normale deflusso delle acque superficiali, nè determinare pericolo per persone e beni, e non aumentare la pericolosità nelle aree circostanti.

Per quanto riguarda la fattibilità dell'intervento in relazione alla normativa regionale vigente in materia di rischio idraulico (L.R. 41/2018), l'intervento in oggetto rientra tra le fattispecie consentite ai sensi dell'Art. 3 comma 2.

Nei confronti della Disciplina di Piano del P.G.R.A., che pone come obiettivo generale quello della "riduzione del rischio per la vita delle persone e la salute umana" (Art. 1 comma 4 punto 1a), nelle aree P3, "per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possono essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4 ... ". Anche per quanto riguarda gli indirizzi per gli strumenti di governo del territorio del P.G.R.A. nelle aree P3 (Art. 8), l'intervento in progetto, classificabile tra quelli a fini ricreativo-sportivi, rientra tra gli indirizzi privilegiati.

Si può quindi affermare che le caratteristiche dell'intervento consentono di rispettare anche

le prescrizioni di fattibilità ai fini del P.G.R.A.

In conclusione, dato che l'intervento in progetto è rappresentato da una pista ciclo-pedonale completamente a raso, a completamento di quella esistente, oltre ad un piccolo spostamento di un tratto di strada esistente, quindi senza alcun aumento della pericolosità idraulica della zona, e che l'unico elemento significativo di sovrapposizione con il reticolo idraulico, è costituito dalla passerella pedonale, si conferma la classe di fattibilità idraulica F3 ai sensi del vigente D.P.G.R. 53/R 2011 da cui discende come unica prescrizione quella di dimensionare l'opera di attraversamento tenendo conto degli esiti dello studio idraulico appositamente condotto (appendice 3a).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base delle indagini effettuate non si rilevano problematiche di natura geologica che possano ostacolare la realizzazione delle opere in progetto. L'intervento non costituisce elemento che possa alterare la naturale stabilità geologica delle aree contermini.

Dal punto di vista della sicurezza idraulica le caratteristiche degli interventi in progetto non configurano elementi di pericolo per le persone o beni, né creano un'alterazione delle condizioni di pericolosità idraulica al contorno.

A conclusione degli approfondimenti di indagine svolti con riguardo al contesto geologico, sismico ed idraulico, si ritiene che la variante in esame sia compatibile con il contesto nel quale si inserisce.

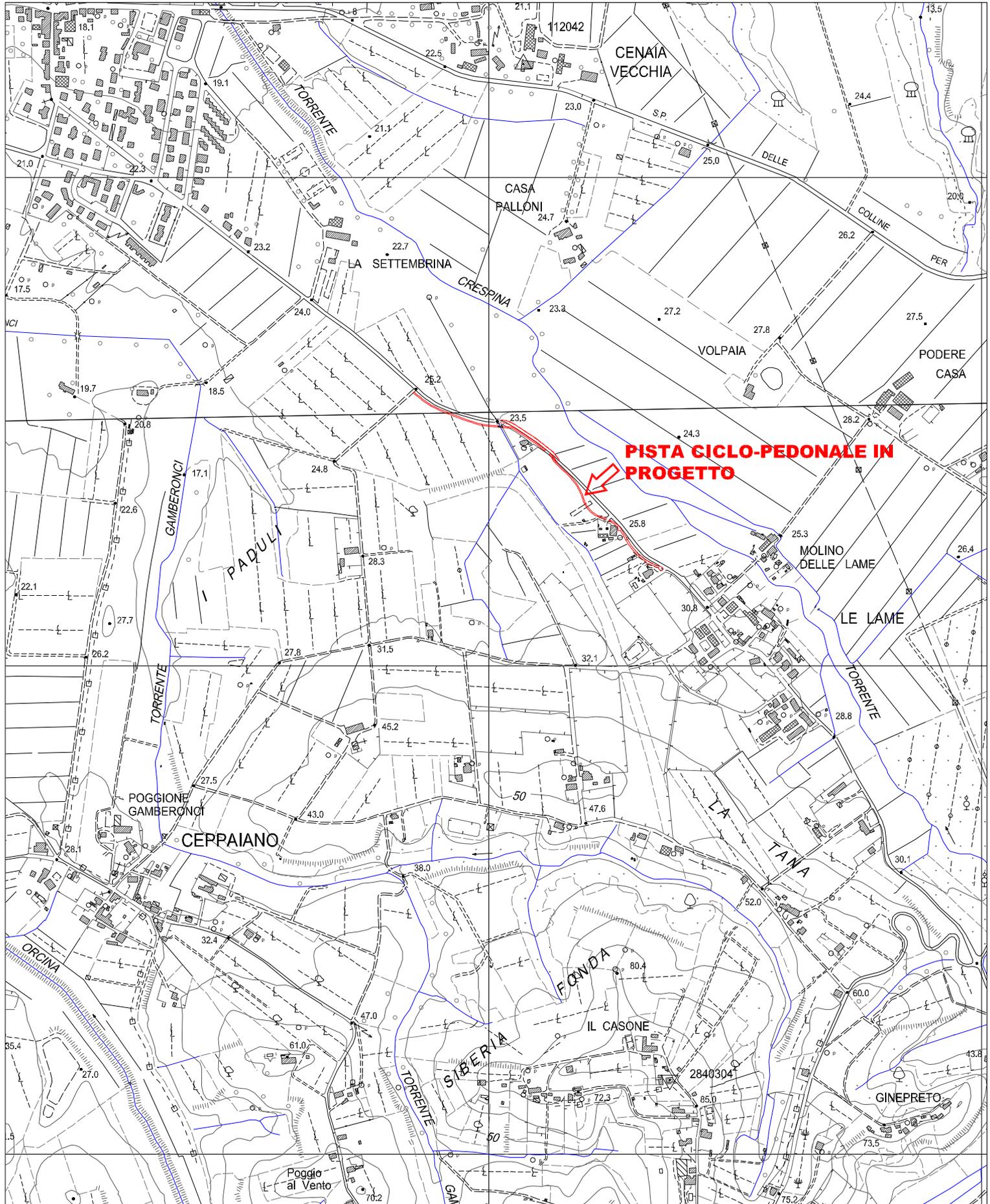
Ponsacco, Gennaio 2019

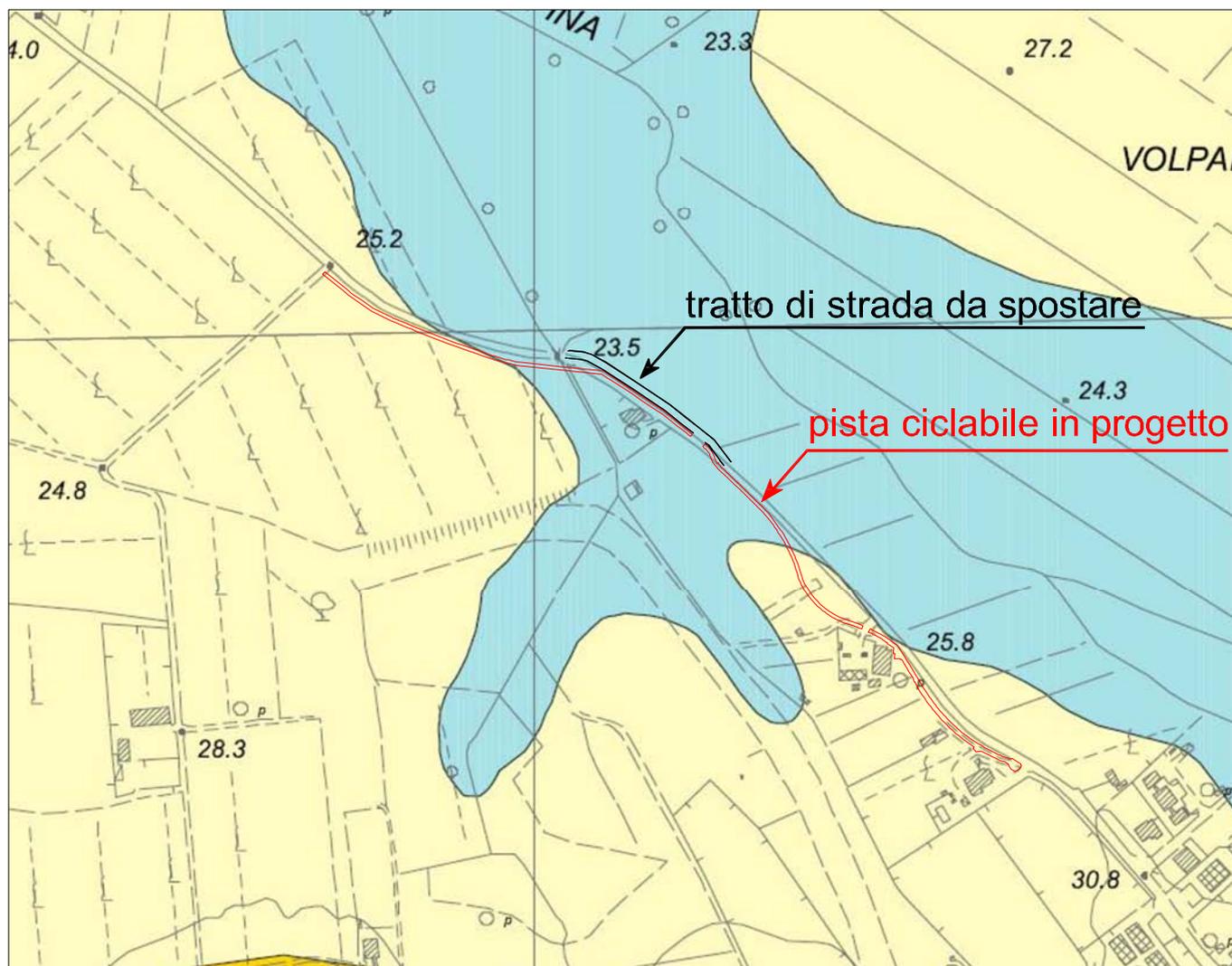


Geol. Francesca Franchi

UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO

Scala 1:10'000





Estratta dalla Variante al Piano Strutturale comunale (giugno 2011)

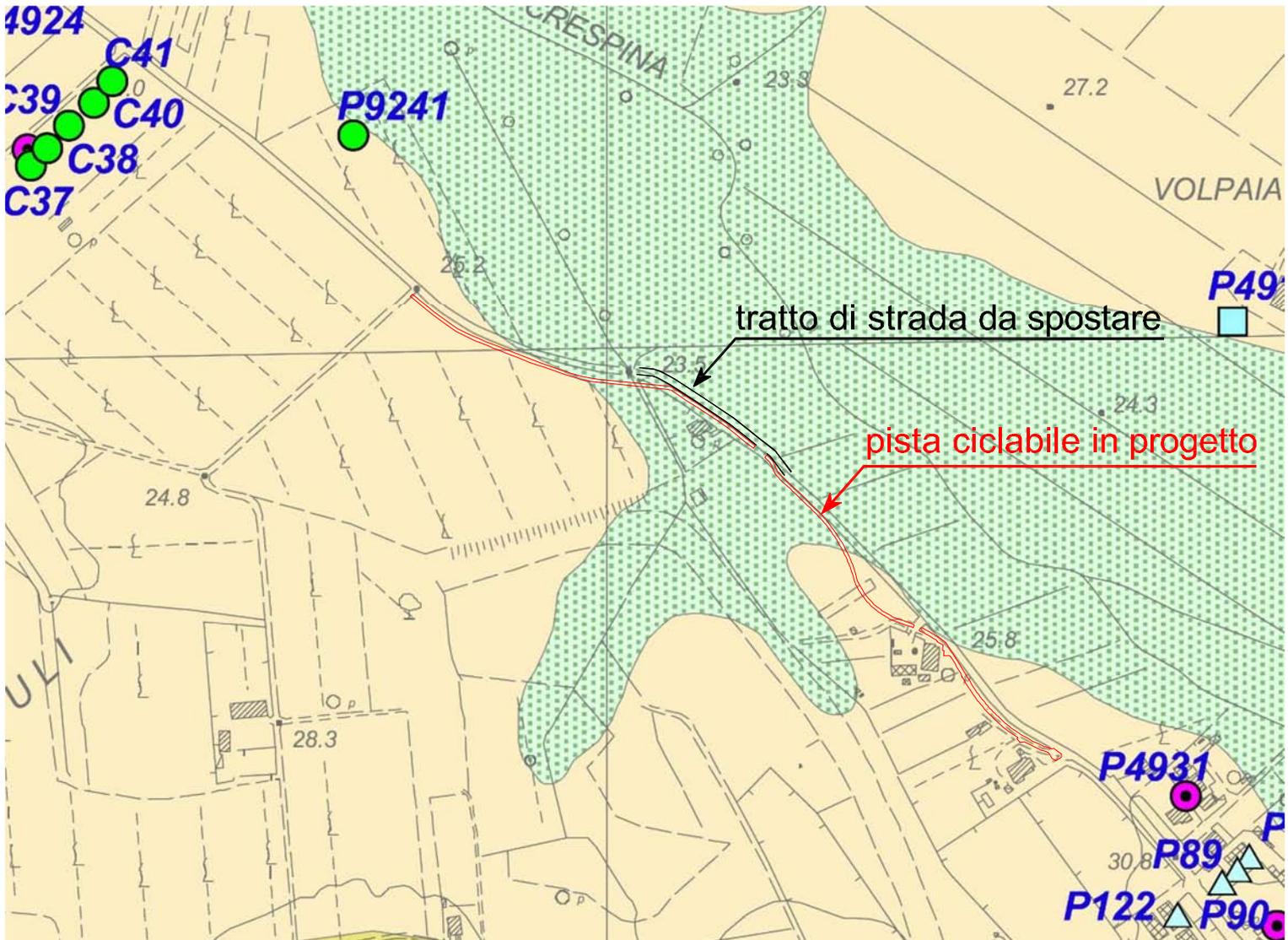
DEPOSITI CONTINENTALI RECENTI ED ATTUALI

ac	Depositi alluvionali prevalentemente coesivi	(Olocene)
am	Depositi alluvionali misti	(Olocene)
as	Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi	(Olocene)

DEPOSITI QUATERNARI DEI TERRAZZI GLACIOEUSTATICI

qvc	Sabbie e limi di Vicarello	(Pleistocene inf.)
-----	----------------------------	--------------------

Scala 1:5'000



Estratta dalla Variante al Piano Strutturale comunale (giugno 2011)

Unità Litologico-Tecnica: F

Materiali con consistenza limitata o nulla

 F1.s3/4.t2 - Limi, da consistenti a moderatamente consistenti
(Depositi alluvionali sabbiosi)

Unità Litologico-Tecnica: C

Materiali granulari cementati

 D1.s2 - Limi molto consistenti
(Sabbie e limi di Vicarello)

-  Sondaggio a distruzione di nucleo
-  Penetrometria statica
-  Saggio geognostico

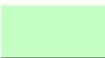
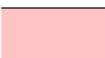
CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Scala 1:10'000



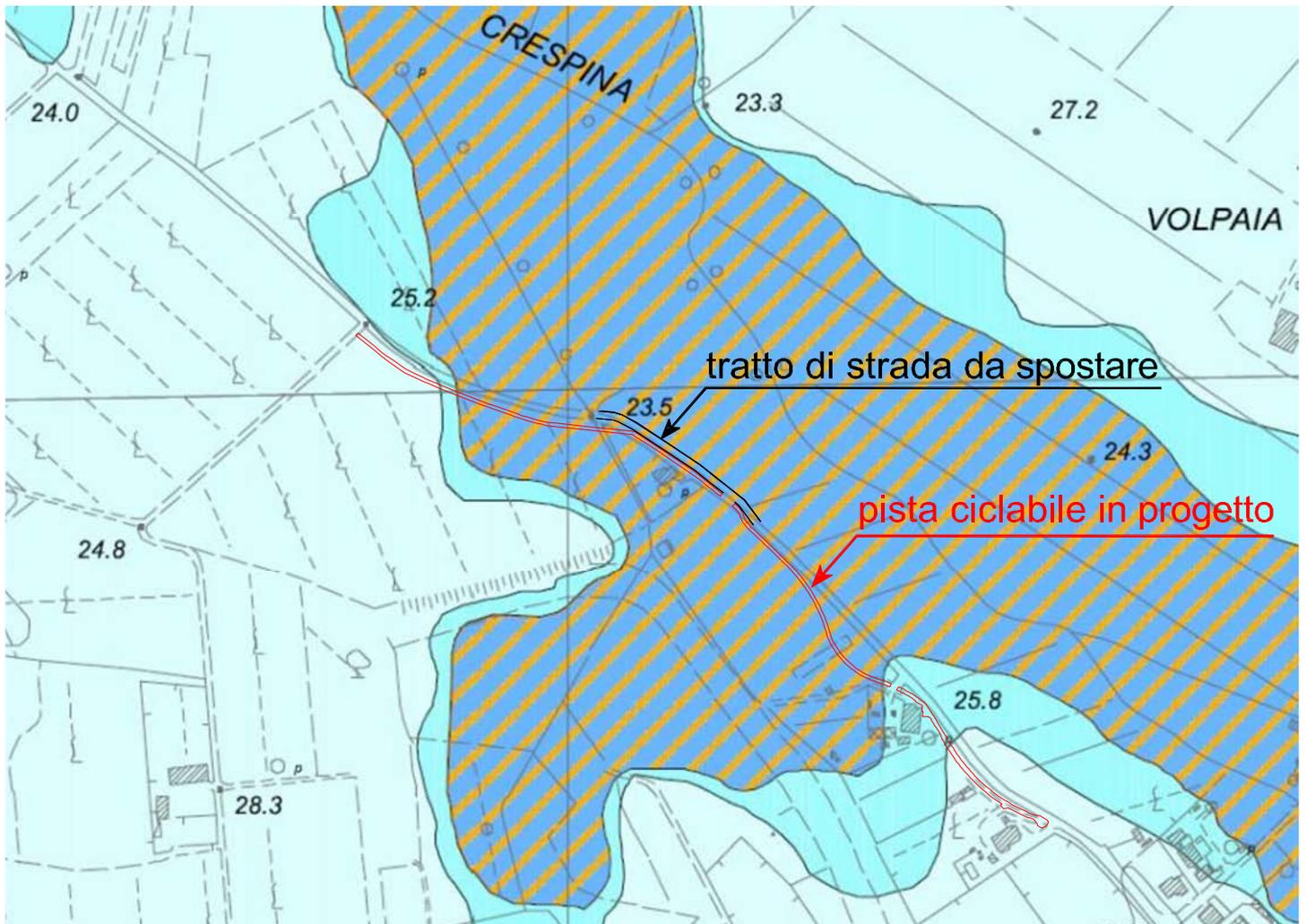
Estratta dalla Variante al Regolamento Urbanistico (dicembre 2013)

CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA
ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

-  Classe G.1 - Pericolosità bassa
-  Classe G.2 - Pericolosità media
-  Classe G.3 - Pericolosità elevata
-  Classe G.4 - Pericolosità molto elevata

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Scala 1:5'000



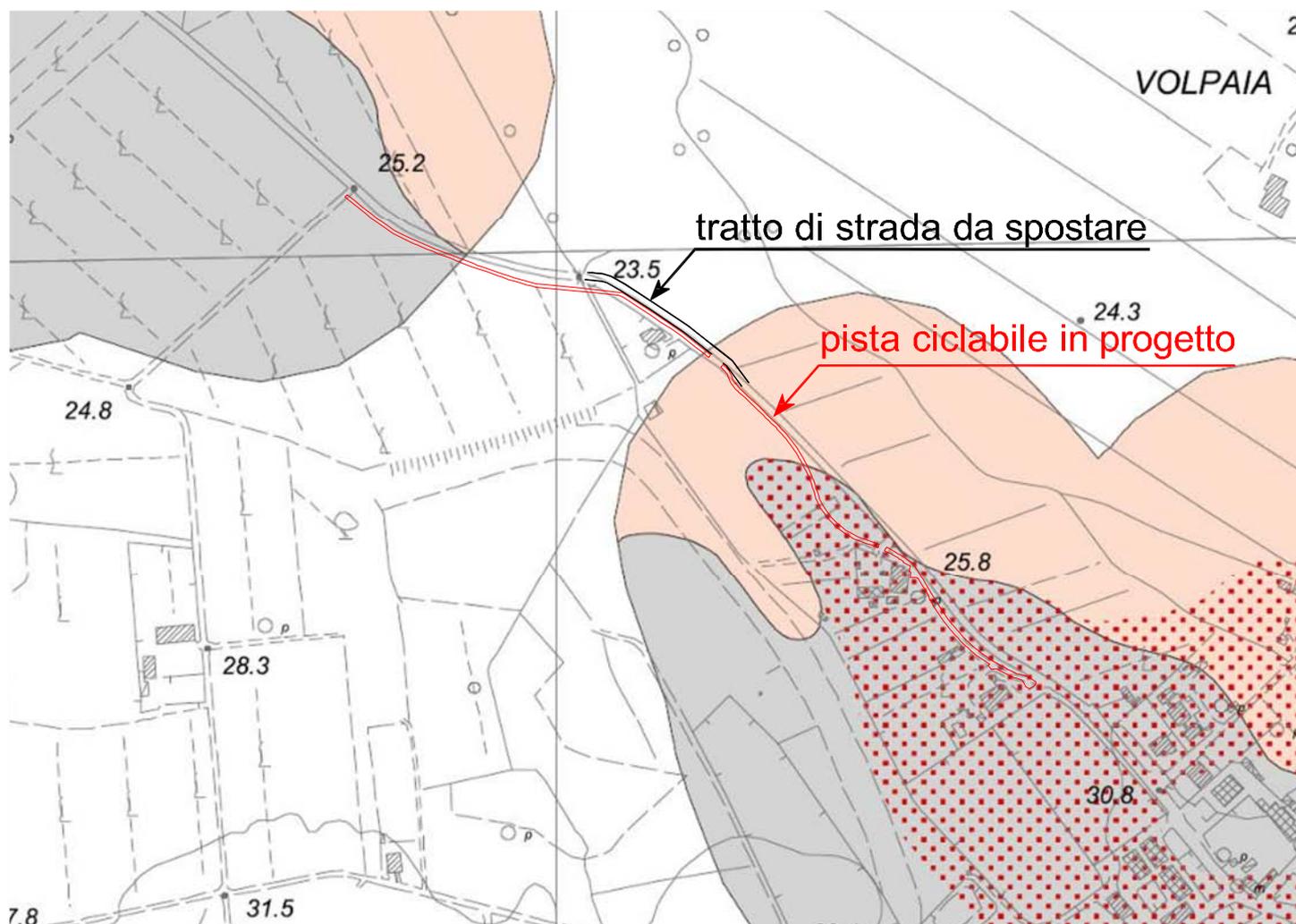
Estratta dalla Variante al Regolamento Urbanistico (dicembre 2013)

CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

- Classe I.1 - Pericolosità bassa
- Classe I.2 - Pericolosità media
- Classe I.3 - Pericolosità elevata
- Classe I.4 - Pericolosità molto elevata
- Classe I.4 - Pericolosità molto elevata
Zone vulnerabili per eventi con Tr20

CARTA DELLE MOPS E DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Scala 1:5'000



Estratta dalla Variante al Regolamento Urbanistico (febbraio 2015)

ZONE INSTABILI

FRANE COMPLESSE



Attive

S.4



Quiescenti

S.3

AREE A FRANOSITA' DIFFUSA



Attive

S.4



Quiescenti

S.3



Zone caratterizzate da depositi sabbiosi, spesso saturi, potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione dinamica (LI)

S.3

PERICOLOSITA' SISMICA

ai sensi della D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE



Zona 1: 220 m/s < Vs < 700 m/s

S.2



Zona 2: 290 m/s < Vs < 700 m/s

S.2



Zona 3: 200 m/s < Vs < 700 m/s

S.2



Zona 4: 300 m/s < Vs < 700 m/s

S.2



Zona 5: 190 m/s < Vs < 400 m/s

S.2



Zona 6: 200 m/s < Vs < 600 m/s

S.2



Zona 7: 200 m/s < Vs < 400 m/s

S.2



Zona 8: 180 m/s < Vs < 400 m/s

S.2

Classi di Fattibilità relative agli interventi previsti nei Sub-sistemi agricoli

Trasformazioni ed attività	Classi di Pericolosità idraulica				Classi di Pericolosità Geologica			
	I1	I2	I3	I4	G1	G2	G3	G4
Nuove abitazioni rurali	1	2	3	N.F.	1	2	4	N.F.
Nuovi annessi rurali, box per cavalli, capannoni, stalle e magazzini	1	2	3	N.F.	1	2	4	N.F.
Manufatti precari	1	2	3	4	1	2	3	4
Serre (fisse, temporanee e stagionali)	1	2	3	4	1	2	2	4
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Manutenzione Ordinaria - Ma.O)	1	2	3	3	1	2	2	3
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Manutenzione Straordinaria - Ma.S)	1	2	3	3	1	2	3	3
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Restauro e Risanamento Conservativo Re.A. - Ri.C.)	1	2	3	3	1	2	2	2
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Demolizione con fedele ricostruzione - Rs.E.)	1	2	3	N.F.	1	2	4	N.F.
Interventi sul patrimonio edilizio esistente /Addizione funzionale - Rs.E.)	1	2	3	3	1	2	3	4
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Addizione Volumetrica - Ad.V.)	1	2	3	3	1	2	3	4
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Sostituzione Edilizia - So.E.)	1	2	3	4	1	2	4	N.F.
Interventi sul patrimonio edilizio esistente (Ristrutturazione Urbanistica - Rs.U.)	1	2	3	4	1	2	4	N.F.
Volumi interrati e seminterrati	1	2	3	N.F.	1	2	4	N.F.
Nuove strutture pertinenziali (porticati, box da giardino, garage, volumi tecnici, pergolati, gazebo, vollere)	1	2	3	3	1	2	3	4
Viabilità (nuova realizzazione)	1	2	3	3	1	2	4	4
Viabilità (Manutenzione ordinaria e straordinaria)	1	2	3	3	1	2	3	4
Percorsi pedonali, ciclabili e ippovie	1	1	2	2	1	1	2	2
Impianti tecnici e reti tecnologiche (acquedotti, fognature, sistemi per il trasporto dell'energia e delle telecomunicazioni, gasdotti e simili)	1	2	2	3	1	2	3	3
Impianti tecnici di modesta entità (cabine elettriche, cabine di decompressione per il gas, per gli acquedotti e simili)	1	2	3	3	1	2	3	3
Piscine e biolaghi	1	2	2	3	1	2	4	N.F.
Lagheti per l'accumulo di acqua	1	2	2	3	1	2	4	N.F.
Scarichi di acque reflue nel terreno, lagoni di accumulo liquami	1	2	3	4	1	2	4	N.F.
Movimenti terra e modifiche dell'assetto originario dei luoghi (riporti, sbancamenti, rilevati e simili)	1	2	3	4	1	2	4	4
Impianti sportivi	1	2	3	4	1	2	4	N.F.
Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica	1	1	2	2	1	1	2	2

N.F. Non Fattibile

Le Classi di Pericolosità sono definite nel rispetto del D.P.G.R. 53/r del 25 Ottobre 2011

Il grado di fattibilità di un intervento viene stabilito nel modo seguente:

- si individua nelle carte di pericolosità (geologica e idraulica) la classe di appartenenza dell'intervento;
- si definisce la tipologia dell'intervento;
- dall'incrocio delle informazioni suddette si individua nella tabella della fattibilità la classe corrispondente all'intervento distintamente per i due diversi aspetti della pericolosità: geologica e idraulica;
- la fattibilità dell'intervento è quella prevalente tra i giudizi corrispondenti ai vari aspetti della pericolosità.

DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE



Autorità di Bacino del Fiume Arno



CTR10K TOSCANA (WMS)

Scala 1:5'000

Reticolo_principale

Blue Line

pericolosità_alluvioni_fluviali

P1 - pericolosità bassa

P2 - pericolosità media

P3 - pericolosità elevata

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni appr.
D.P.C.M. 27 ottobre 2016 (G.U. 28sg 3-2-2017)

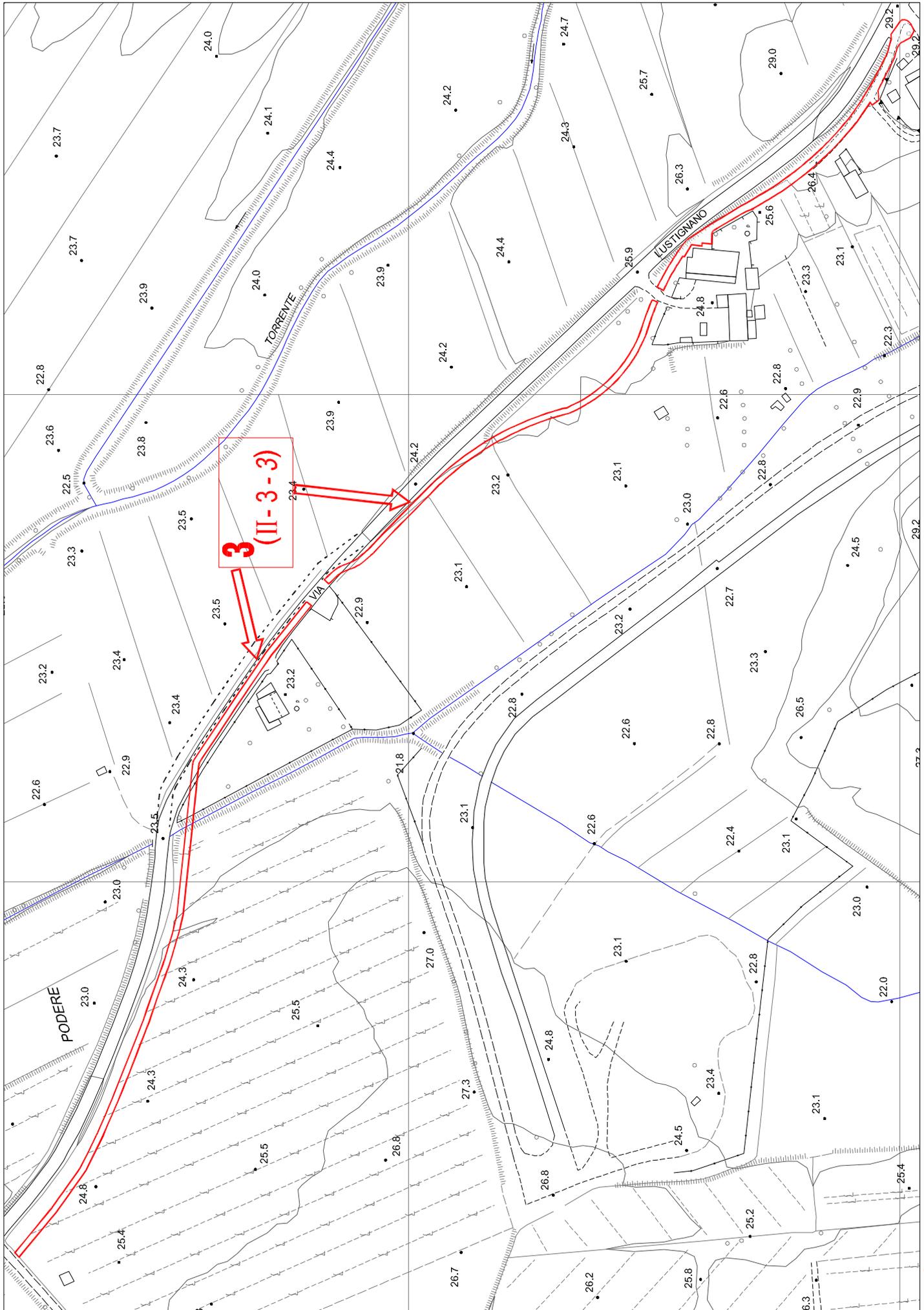
Pericolosità - P1, bassa - aree inondabili per eventi con $Tr > 200$ anni; P2, media - aree inondabili per eventi con $Tr: 30$ anni $< Tr \leq 200$ anni; P3, elevata - aree inondabili per eventi con $Tr \leq 30$ anni

01.04.2019

CARTA DELLA FATTIBILITÀ

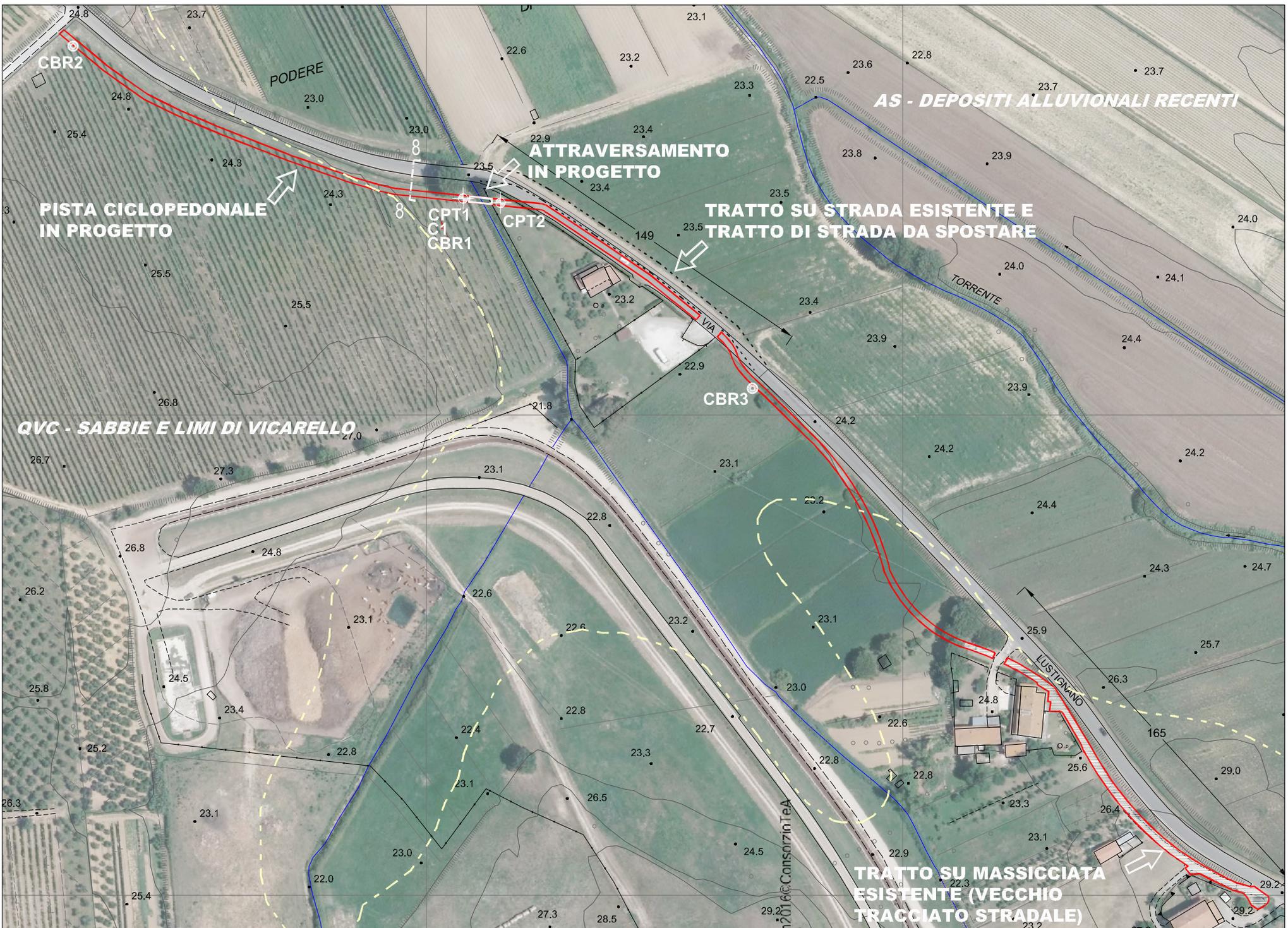
Ai sensi del D.P.G.R. 53/R 2011 - scala 1:2'000

APPENDICE .3a.



Fattibilità condizionata : si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessivi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

3 ← Classe di Fattibilità massima
(II-3-3) ← Classe di Fattibilità relativa agli aspetti sismici
← Classe di Fattibilità relativa agli aspetti idraulici
← Classe di Fattibilità relativa agli aspetti geologici



- CPT1 - C1** Prova penetrometrica e prelievo campione indisturbato
- CBR** Campione per prova CBR
- Contatto tra terreni QVC e AS, dalla carta geologica del PS
- 8** Traccia sezione
- 8** Traccia sezione
- Ortofoto RT su base cartografica CTR 1:2.000**



Foto n. 1: prova CPT1 e punto di prelievo campione C1.

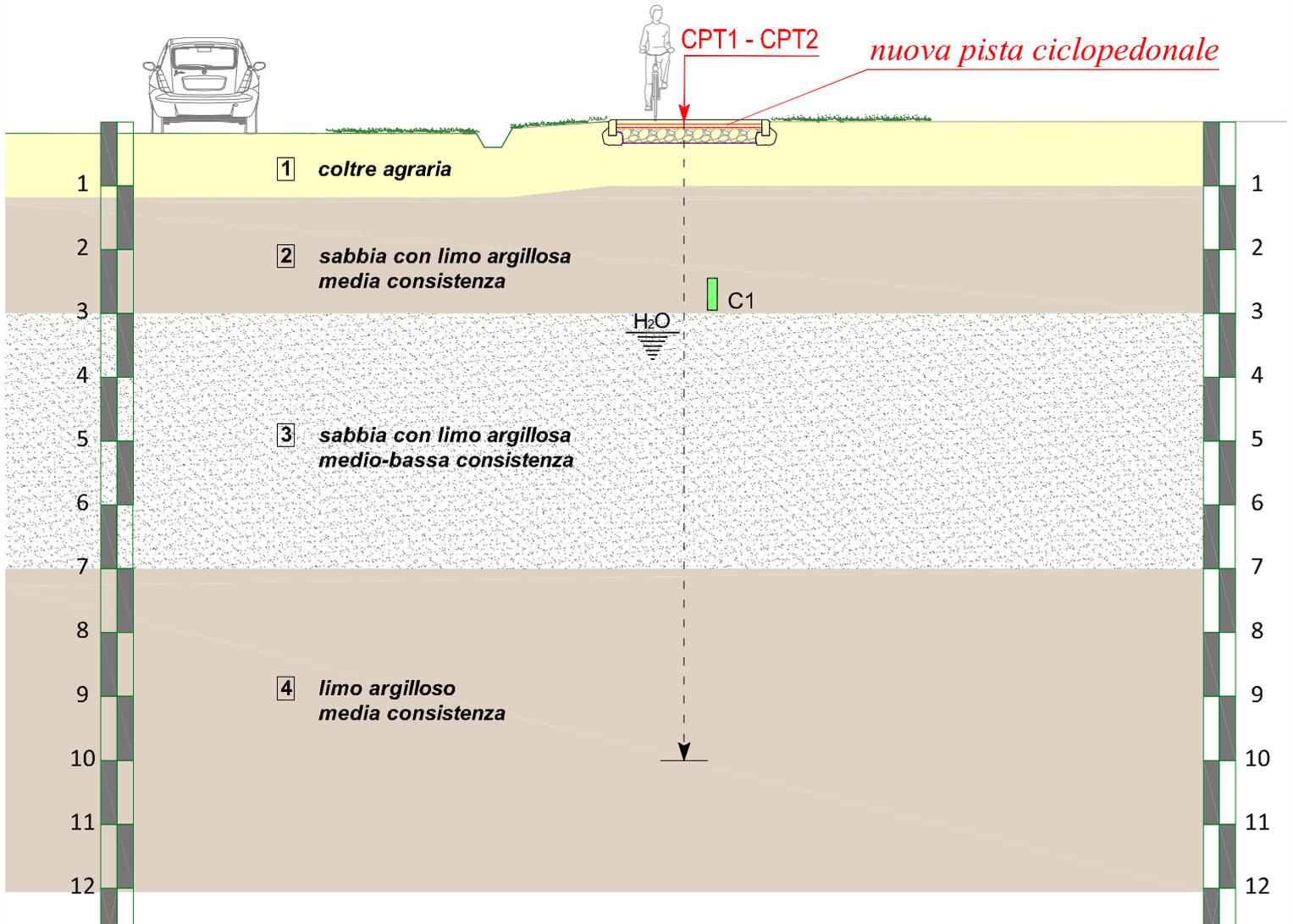


Foto n. 2: postazione della prova penetrometrica CPT1 vista da Sud.



Foto n. 3: postazione della prova penetrometrica CPT2.

Scala 1: 100



CPT1
↓
prova penetrometrica

H₂O
↓
quota acqua nel foro della
prova penetrometrica

C1
↓
posizione prelievo
campione indisturbato

↓
profondità raggiunta dalla
prova penetrometrica

**CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE
EFFETTUATE IN SITO**



GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)

Cell. 339-1344492

geoservizipisa@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA STATICA

ELABORAZIONE NUMERICA DEI RISULTATI

Committente: COMUNE DI CRESPINA
Località: CRESPINA
Cantiere: LE LAME
Data: 12/12/18
N. prove: 2

Caratteristiche del sistema

Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani
Punta meccanica tipo "Begemann"
Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°
Ap=10 cm²; At=20 cm²; Am=150 cm²
Velocità di avanzamento = 2 cm/sec
peso aste interne: 0,130 Kg
passo di lettura: 20 cm

LEGENDA

#####	aot	argilla organica e/o torba	Qc	Resistenza alla Punta (Kg/cm ²)
=====	a	argilla	Fs	Attrito laterale unitario (Kg/cm ²)
====~	al	argilla limosa	Qc/Fs	Rapporto Begemann
~~~~~	l	limo	Rt	Spinta totale (rivest.+punta)
~.~.~.~.~	sl	sabbia e limo	$\gamma$	Peso di volume
~.~.~.~.~	ss	sabbia sciolta	$\sigma'_{vo}$	Pressione verticale efficace
~.~.~.~.~	sm	sabbia mediamente addensata	$\phi$	Angolo di attrito interno
~.~.~.~.~	sdg	sabbia densa e/o ghiaia	Dr	Densità relativa
*****	rip	riporto	Cu	Coesione non drenata
			m _v	Coeff. di compressibilità volum.

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p><b>GEOSERVIZI snc</b> Via S. Calabrese- Loc. Montacchiello Ospedaletto (PI) C.F./RIVA 01121470502</p>		<p>prove totali: 2 Prova numero: 1 Committente: COMUNE DI CRESPINA Località: CRESPINA Cantiere: LE LAME Data: 12/12/18</p>	
<p>certificato num: 252/2018</p>		<p>profondità massima: 10 quota falda: quota piano campagna:</p>	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			24
0,4			42
0,6	41	54	80
0,8	50	68	126
1	63	90	125
1,2	63	91	136
1,4	52	70	130
1,6	40	64	115
1,8	39	58	97
2	37	53	91
2,2	32	48	84
2,4	30	45	78
2,6	31	44	72
2,8	26	38	64
3	27	41	65
3,2	28	37	40
3,4	13	22	24
3,6	11	14	22
3,8	13	18	22
4	15	21	28
4,2	16	21	30
4,4	10	17	24
4,6	7	13	22
4,8	6	11	19
5	3	7	16
5,2	3	5	17
5,4	4	6	31
5,6	17	20	26
5,8	5	14	38
6	11	16	33
6,2	18	28	46
6,4	36	43	59
6,6	26	40	82
6,8	26	47	85
7	24	44	93
7,2	24	45	113
7,4	24	40	128
7,6	22	39	148
7,8	20	39	161
8	23	38	180
8,2	26	41	206
8,4	28	45	226
8,6	34	50	243
8,8	37	58	261
9	34	56	267
9,2	18	40	274
9,4	20	40	289
9,6	35	52	300
9,8	35	53	301
10	37	54	305



**GEOSERVIZI S. N. C.**  
 di Cosco e Spadaro  
 Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
 Cell. 339-1344492  
 geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 1

Data: 12/12/18

Committente: COMUNE DI CRESPINA

Località: CRESPINA

Cantiere: LE LAME

Profondità massima: 10,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: m dal p.c.

Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	parametri geotecnici stimati							Colonna stratig.	lito_ logia
					$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]			
0,2				251	1,80	0,04	-	-	-	-	-	non ril.	
0,4				431	1,80	0,07	-	-	-	-	-	non ril.	
0,6	42,1	0,87	49	811	1,81	0,11	43	89	-	7,9	=====	sm	
0,8	51,3	1,20	43	1273	1,86	0,15	31	-	-	6,5	====~	sl	
1	64,3	1,80	36	1263	1,92	0,18	31	-	-	5,2	====~	sl	
1,2	64,3	1,87	34	1373	1,92	0,22	31	-	-	5,2	====~	sl	
1,4	53,3	1,20	44	1313	1,87	0,26	31	-	-	6,3	====~	sl	
1,6	41,3	1,60	26	1163	1,97	0,30	-	-	1,64	9,7	====~	al	
1,8	40,4	1,27	32	984	1,80	0,33	30	-	-	8,3	====~	sl	
2	38,4	1,07	36	924	1,79	0,37	30	-	-	8,7	====~	sl	
2,2	33,4	1,07	31	854	1,77	0,41	29	-	-	10,0	====~	sl	
2,4	31,4	1,00	31	794	1,76	0,44	29	-	-	10,6	====~	sl	
2,6	32,4	0,87	37	734	1,76	0,48	29	-	-	10,3	====~	sl	
2,8	27,5	0,80	34	655	1,74	0,51	28	-	-	12,1	====~	sl	
3	28,5	0,93	31	665	1,74	0,55	28	-	-	11,7	====~	sl	
3,2	29,5	0,60	49	415	1,75	0,58	33	39	-	11,3	=====	sm	
3,4	14,5	0,60	24	255	1,91	0,62	-	-	0,56	19,8	=====	a	
3,6	12,5	0,20	63	235	1,66	0,65	28	7	-	26,6	=====	ss	
3,8	14,7	0,33	44	237	1,67	0,69	-	-	0,56	18,0	~~~~~	l	
4	16,7	0,40	42	297	1,68	0,72	-	-	0,64	17,1	~~~~~	l	
4,2	17,7	0,33	53	317	1,69	0,75	29	15	-	18,9	=====	ss	
4,4	11,7	0,47	25	257	1,90	0,79	-	-	0,43	21,5	=====	a	
4,6	8,7	0,40	22	237	1,83	0,83	-	-	0,31	25,6	=====	a	
4,8	7,8	0,33	23	208	1,79	0,86	-	-	0,28	27,5	=====	a	
5	4,8	0,27	18	178	1,48	0,89	-	-	0,16	61,9	#####	aot	
5,2	4,8	0,13	36	188	1,64	0,93	-	-	0,15	40,2	====~	al	
5,4	5,8	0,13	43	328	1,63	0,96	-	-	0,19	33,7	~~~~~	l	
5,6	18,8	0,20	94	278	1,69	0,99	28	11	-	17,7	=====	ss	
5,8	6,9	0,60	12	399	1,50	1,02	-	-	0,24	46,7	#####	aot	
6	12,9	0,33	39	349	1,66	1,06	-	-	0,47	19,1	~~~~~	l	
6,2	19,9	0,67	30	479	1,92	1,09	-	-	0,75	20,0	====~	al	
6,4	37,9	0,47	81	609	1,79	1,13	31	32	-	8,8	=====	sm	
6,6	27,9	0,93	30	839	1,74	1,16	28	-	-	11,9	====~	sl	
6,8	28,0	1,40	20	870	1,94	1,20	-	-	1,07	14,3	=====	a	
7	26,0	1,33	20	950	1,94	1,24	-	-	0,99	15,4	=====	a	
7,2	26,0	1,40	19	1150	1,94	1,28	-	-	0,99	15,4	=====	a	
7,4	26,0	1,07	24	1300	1,94	1,32	-	-	0,99	15,4	====~	al	
7,6	24,0	1,13	21	1500	1,93	1,36	-	-	0,91	16,6	=====	a	
7,8	22,2	1,27	18	1632	1,93	1,40	-	-	0,83	18,0	=====	a	
8	25,2	1,00	25	1822	1,93	1,44	-	-	0,95	15,9	====~	al	
8,2	28,2	1,00	28	2082	1,94	1,47	-	-	1,07	14,2	====~	al	
8,4	30,2	1,13	27	2282	1,94	1,51	-	-	1,15	13,3	====~	al	
8,6	36,2	1,07	34	2452	1,78	1,55	29	-	-	9,2	====~	sl	
8,8	39,3	1,40	28	2633	1,97	1,59	-	-	1,51	10,2	====~	al	
9	36,3	1,47	25	2693	1,96	1,63	-	-	1,39	11,0	====~	al	
9,2	20,3	1,47	14	2763	1,92	1,67	-	-	0,75	19,7	=====	a	
9,4	22,3	1,33	17	2913	1,93	1,70	-	-	0,82	17,9	=====	a	
9,6	37,3	1,13	33	3023	1,79	1,74	30	-	-	8,9	====~	sl	
9,8	37,4	1,20	31	3034	1,79	1,78	30	-	-	8,9	====~	sl	
10	39,4	1,13	35	3074	1,80	1,81	30	-	-	8,5	====~	sl	

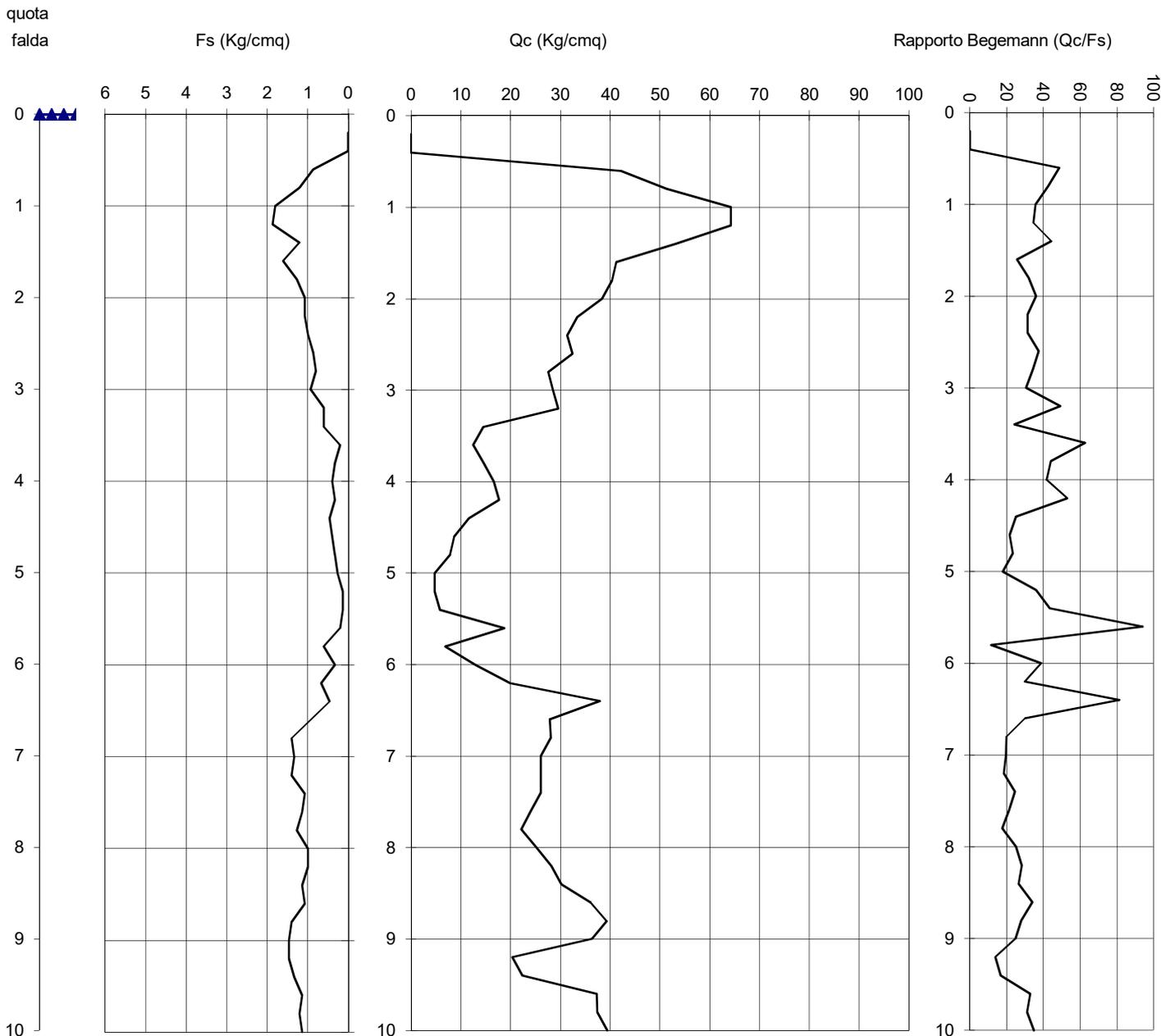


GEOSERVIZI S. N. C.  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)  
Cell. 339-1344492

Prova numero 1  
Committente COMUNE DI CRESPINA  
Località CRESPINA  
Cantiere LE LAME  
Data 12/12/18

Profondità massima (m): 10

Quota falda (m dal p.c.):



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p><b>GEOSERVIZI snc</b> Via S. Calabrese- Loc. Montacchiello Ospedaletto (PI) C.F./RIVA 01121470502</p>		prove totali: 2 Prova numero: 2 Committente: COMUNE DI CRESPINA Località: CRESPINA Cantiere: LE LAME Data: 12/12/18	
certificato num: 253/2018		profondità massima: 10 quota falda: 3,3 quota piano campagna:	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			12
0,4			14
0,6	5	10	19
0,8	6	11	23
1	13	20	55
1,2	66	73	84
1,4	56	60	115
1,6	55	71	112
1,8	40	61	112
2	48	66	103
2,2	41	53	92
2,4	25	37	77
2,6	22	45	80
2,8	28	42	56
3	13	25	33
3,2	6	15	18
3,4	6	11	15
3,6	8	13	19
3,8	10	15	22
4	6	20	28
4,2	15	21	33
4,4	12	19	34
4,6	9	18	35
4,8	25	39	67
5	23	26	57
5,2	21	32	76
5,4	16	28	68
5,6	33	48	71
5,8	26	33	85
6	26	38	61
6,2	6	17	42
6,4	4	10	25
6,6	4	7	24
6,8	4	8	26
7	5	11	31
7,2	12	19	30
7,4	11	21	51
7,6	13	20	49
7,8	16	21	52
8	13	22	52
8,2	13	18	64
8,4	16	26	78
8,6	15	28	92
8,8	12	27	101
9	17	28	113
9,2	21	34	123
9,4	19	33	139
9,6	20	34	157
9,8	22	38	161
10	20	36	170



**GEOSERVIZI S. N. C.**  
 di Cosco e Spadaro  
 Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
 Cell. 339-1344492  
 geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 2

Data: 12/12/18

Committente: COMUNE DI CRESPINA

Località: CRESPINA

Cantiere: LE LAME

Profondità massima: 10,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 3,3 m dal p.c.

**parametri geotecnici stimati**

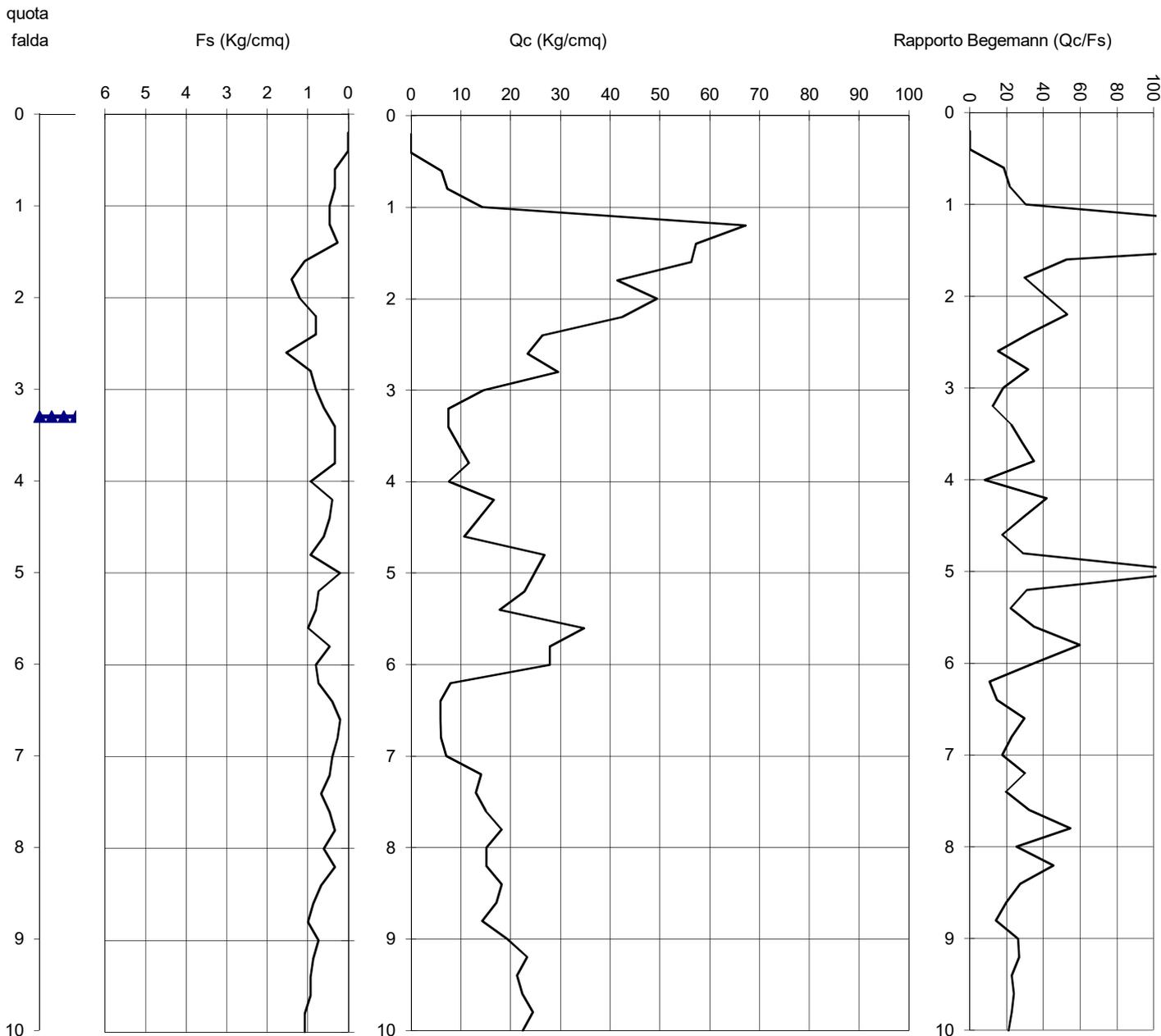
Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				131	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				151	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	6,1	0,33	18	201	1,71	0,11	-	-	0,24	32,9	=====	a
0,8	7,3	0,33	22	243	1,76	0,14	-	-	0,28	28,9	=====	a
1	14,3	0,47	31	563	1,91	0,18	-	-	0,56	19,9	====~==	al
1,2	67,3	0,47	144	853	1,94	0,22	42	89	-	5,0	=====	sm
1,4	57,3	0,27	215	1163	1,89	0,26	41	80	-	5,8	=====	sm
1,6	56,3	1,07	53	1133	1,88	0,29	40	76	-	5,9	=====	sm
1,8	41,4	1,40	30	1134	1,81	0,33	30	-	-	8,1	====~==	sl
2	49,4	1,20	41	1044	1,85	0,37	31	-	-	6,7	====~==	sl
2,2	42,4	0,80	53	934	1,81	0,40	37	59	-	7,9	=====	sm
2,4	26,4	0,80	33	784	1,73	0,44	28	-	-	12,6	====~==	sl
2,6	23,4	1,53	15	814	1,93	0,48	-	-	0,92	17,1	=====	a
2,8	29,5	0,93	32	575	1,75	0,51	28	-	-	11,3	====~==	sl
3	14,5	0,80	18	345	1,91	0,55	-	-	0,56	19,8	=====	a
3,2	7,5	0,60	13	195	1,51	0,58	-	-	0,28	44,0	#####	aot
3,4	7,5	0,33	23	165	1,78	0,59	-	-	0,28	28,2	=====	a
3,6	9,5	0,33	29	205	1,88	0,61	-	-	0,36	24,1	====~==	al
3,8	11,7	0,33	35	237	1,66	0,63	-	-	0,44	20,2	====~==	l
4	7,7	0,93	8	297	1,51	0,64	-	-	0,28	43,5	#####	aot
4,2	16,7	0,40	42	347	1,68	0,65	-	-	0,64	17,1	====~==	l
4,4	13,7	0,47	29	357	1,91	0,67	-	-	0,52	20,2	====~==	al
4,6	10,7	0,60	18	367	1,90	0,69	-	-	0,40	22,6	=====	a
4,8	26,8	0,93	29	688	1,94	0,70	-	-	1,04	14,9	====~==	al
5	24,8	0,20	124	588	1,72	0,72	31	28	-	13,5	=====	sm
5,2	22,8	0,73	31	778	1,71	0,73	27	-	-	14,6	====~==	sl
5,4	17,8	0,80	22	698	1,92	0,75	-	-	0,68	19,4	=====	a
5,6	34,8	1,00	35	728	1,77	0,77	29	-	-	9,6	====~==	sl
5,8	27,9	0,47	60	869	1,74	0,78	31	30	-	11,9	=====	sm
6	27,9	0,80	35	629	1,74	0,80	28	-	-	11,9	====~==	sl
6,2	7,9	0,73	11	439	1,51	0,81	-	-	0,28	42,5	#####	aot
6,4	5,9	0,40	15	269	1,49	0,82	-	-	0,20	52,4	#####	aot
6,6	5,9	0,20	30	259	1,70	0,83	-	-	0,20	33,8	====~==	al
6,8	6,0	0,27	23	280	1,70	0,84	-	-	0,21	33,2	=====	a
7	7,0	0,40	18	330	1,75	0,86	-	-	0,25	29,6	=====	a
7,2	14,0	0,47	30	320	1,91	0,88	-	-	0,53	20,0	====~==	al
7,4	13,0	0,67	20	530	1,91	0,90	-	-	0,49	20,5	=====	a
7,6	15,0	0,47	32	510	1,91	0,91	-	-	0,57	19,7	====~==	al
7,8	18,2	0,33	55	542	1,69	0,93	28	12	-	18,3	====~==	ss
8	15,2	0,60	25	542	1,91	0,95	-	-	0,57	19,6	=====	a
8,2	15,2	0,33	46	662	1,68	0,96	-	-	0,57	17,7	====~==	l
8,4	18,2	0,67	27	802	1,92	0,98	-	-	0,69	19,5	====~==	al
8,6	17,2	0,87	20	942	1,92	1,00	-	-	0,65	19,4	=====	a
8,8	14,3	1,00	14	1033	1,91	1,01	-	-	0,53	19,9	=====	a
9	19,3	0,73	26	1153	1,92	1,03	-	-	0,73	19,7	====~==	al
9,2	23,3	0,87	27	1253	1,93	1,05	-	-	0,89	17,2	====~==	al
9,4	21,3	0,93	23	1413	1,93	1,07	-	-	0,81	18,8	=====	a
9,6	22,3	0,93	24	1593	1,93	1,09	-	-	0,85	17,9	====~==	al
9,8	24,4	1,07	23	1634	1,93	1,11	-	-	0,93	16,4	=====	a
10	22,4	1,07	21	1724	1,93	1,13	-	-	0,85	17,8	=====	a



GEOSERVIZI S. N. C.  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)  
Cell. 339-1344492

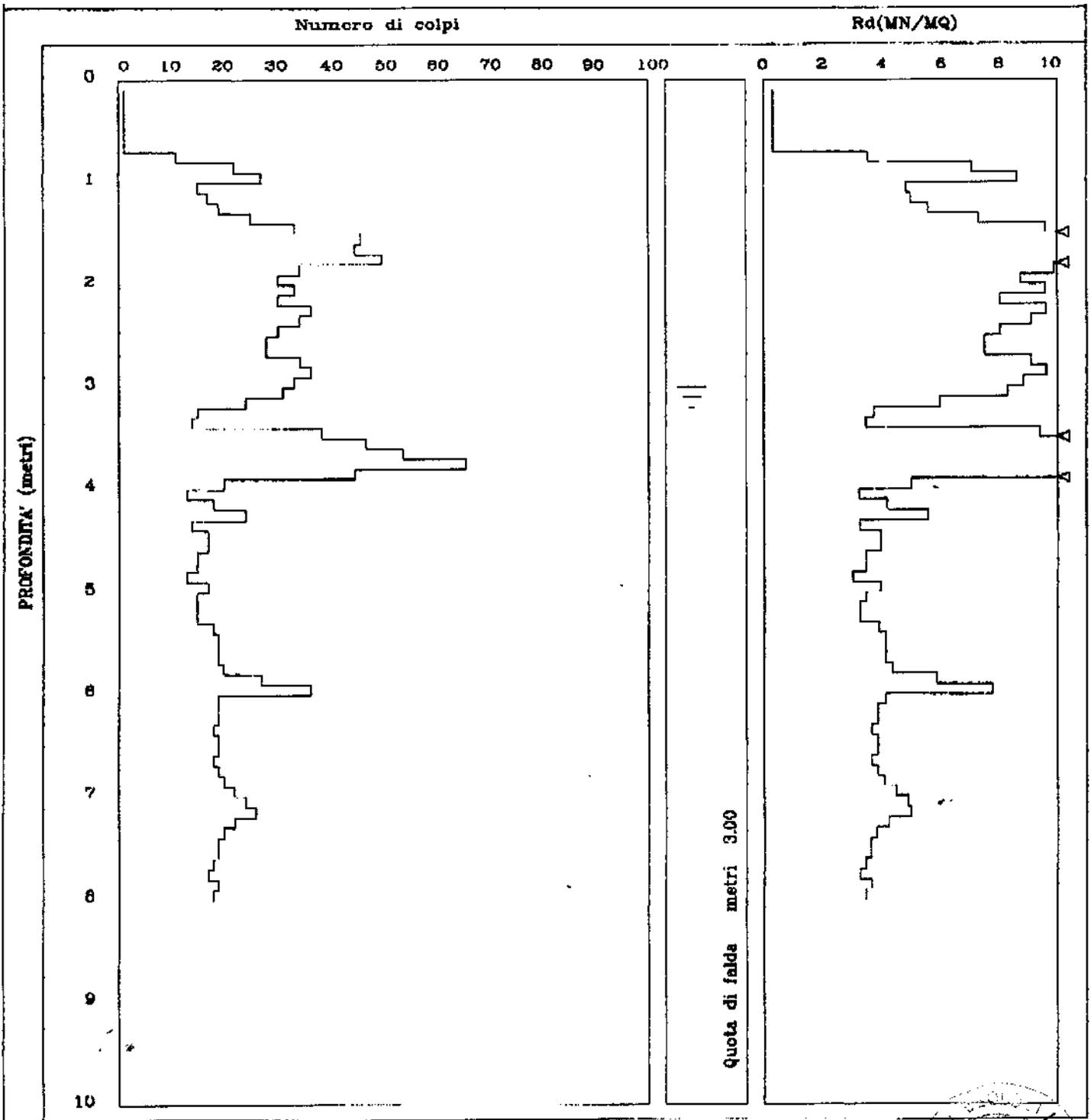
Prova numero 2  
Committente COMUNE DI CRESPINA  
Località CRESPINA  
Cantiere LE LAME  
Data 12/12/18

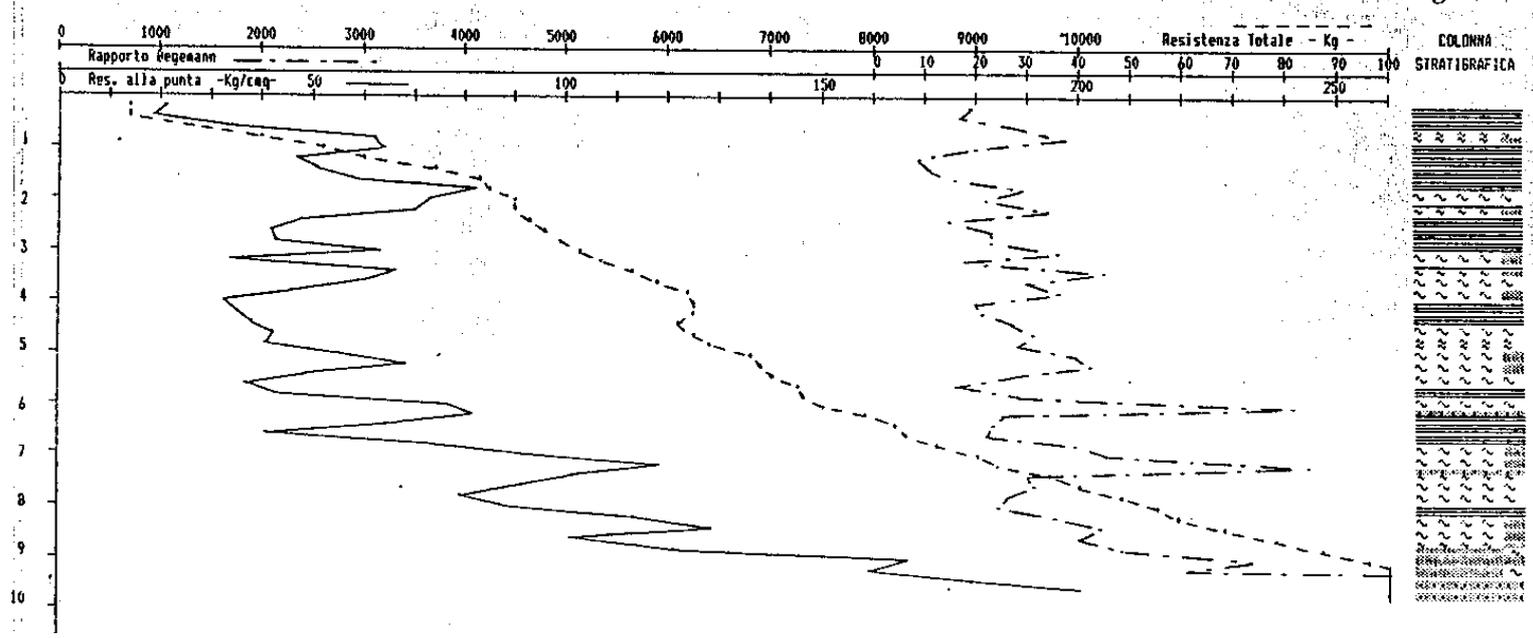
Profondità massima (m): 10  
Quota falda (m dal p.c.): 3,3



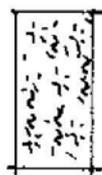
PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

**PROVE PENETROMETRICHE A DISPOSIZIONE  
ESTRATTE DALLA BANCA DATI COMUNALE**

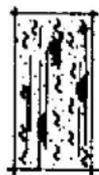




legenda



TERRENO DI COLTURA LIMOSO SCIOLTO

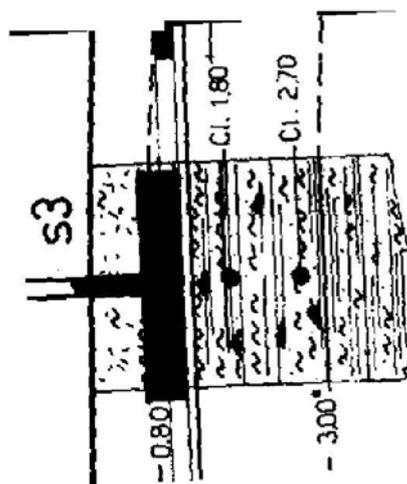


LIMO ARGILLOSO IN MATRICE SABBIOSA  
CON INTERCALAZIONI TORBOSE DIFFUSE



LIMO ARGILLOSO IN MATRICE SABBIOSA

● CAMPIONE INDISTURBATO





**Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**

Settore A – Prove di laboratorio su terre

Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

# LABOTER snc di Paolo Tognelli e C. Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13

**Committente :** Geoprogetti

**Cantiere :** Cenaia (PI)

**Verbale Accettazione n° :** 536 del 14/12/2018

**Data Certificazione :** 20/12/2018

**Campioni n°:** 1

**Certificati da n° a n° :** 04987 a 04991





OGGETTO:		<b>INDAGINI SISMICHE PER IL CALCOLO DEL PARAMETRO $V_{s,eq}$</b>
TIPOLOGIA INDAGINI: <b>MASW HVS</b>	DATA INDAGINE:	
	<b>Dicembre 2018</b>	
LOCALITA': <b>COMUNE DI CRESPINA - LORENZANA (PI) FRAZIONE DI CENAIA</b>		
RICHIEDENTE: <b>GEOPROGETTI STUDIO ASSOCIATO</b>		

codice documento:	<b>j18.122.15_cen.doc</b>
versione /revisione:	<b>01</b>
stato documento:	<b>definitivo</b>
autore:	<b>a.benvenuti</b>
revisione:	<b>v.carnicelli</b>
approvazione:	<b>v.carnicelli</b>
data:	<b>Dicembre 2018</b>

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	2
2.2	INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE .....	2
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE .....	3
3	ANALISI DEI RISULTATI .....	6

## 1 PREMESSA

Su richiesta di Geoprogetti Studio Associato è stata eseguita un'indagine geofisica nel Comune di Crespina - Lorenzana (PI), nella frazione di Cenaia, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) ed al calcolo del parametro  $V_{S,eq}$ .

La campagna di indagini, svolta nel mese di Dicembre 2018, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica.

Nella fattispecie particolare le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

L'ubicazione delle prove è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR - Fonte dei dati Regione Toscana:

dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000": Sezione 273150 Titolo: Cenaia - Sezione 284030 Titolo: Fauglia; dataset "Ortofotocarte scala 1:2.000" OFC2K: Foglio 16G02.

## 2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro  $V_{S,eq}$  è stata eseguita n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") in onde di Rayleigh.

Per verificare i risultati ottenuti dall'indagine MASW è inoltre stata eseguita n.1 acquisizione in sismica passiva a stazione singola denominata, in seguito, TR1, e ubicata in prossimità dello stendimento stesso.

In particolare l'elaborazione dell'acquisizione in sismica passiva HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di incrementare la profondità di indagine raggiunta attraverso l'indagine MASW stessa.

### 2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

un sistema di energizzazione ad impatto verticale costituito da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz.

un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello GEA24; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I.;

un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per la misura dei microtremori ambientali, elaborata attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino® di *MoHo s.r.l.*) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

## 2.2 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  e il parametro  $V_{s,eq}$ .

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software winMASW® Academy 2018 (*Eliosoft*).

Le acquisizioni sono state eseguite secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW</b>	
Orientazione	NW-SE (N 122)
Coordinate GB geofono G1	X= 1625030 Y= 4828503
Coordinate GB geofono G24	X= 1625069 Y= 4828478
Lunghezza stendimento	46 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero punti di energizzazione per estremo	3
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	2 m, 3 m, 5 m
Durata acquisizione	1 s
Intervallo di campionamento	500 ms

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate: 3 acquisizioni con sorgenti a distanze crescenti (2 m, 3 m e 5 m) dal primo geofono (G1) dello stendimento e 3 acquisizioni, con medesimi offsets minimi, dall'ultimo geofono dello stendimento (G24).

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con l'acquisizione in sismica passiva eseguito in prossimità dello stendimento (TR1).

### **2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE**

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

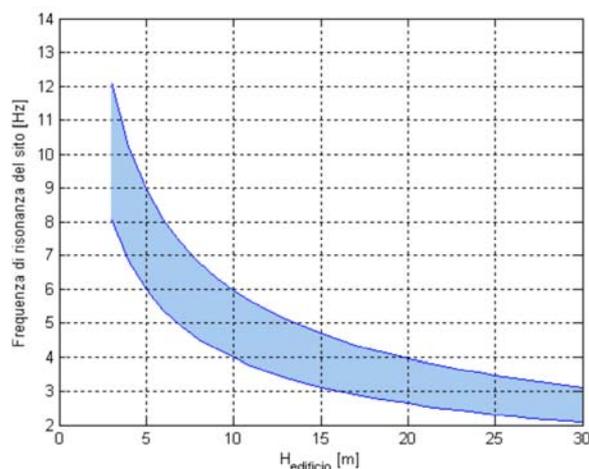
I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_s$ ;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica è stata eseguita una misura di microtremore ambientale (acquisizione in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR			
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga	Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
<b>TR1</b>	X= 1625030 Y= 4828506	20 min	128 Hz

La misura dei microtremori ambientali, orientata secondo il Nord e della durata di 20 minuti, tempo di registrazione più che adeguato per la finalità dell'indagine stessa, è stata effettuata con il tromografo digitale Tromino® di *MoHo s.r.l.*

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I risultati ottenuti dall'esecuzione dall'indagine tromografica sono stati elaborati attraverso il software Grilla 7.4.1 (*MoHo s.r.l.*).

### 3 ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso le prospezioni geofisiche eseguite, per mezzo dell'analisi dell'indagine indagini MASW e dell'acquisizione H/V, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro  $V_{S,eq}$ : il modello di sottosuolo in termini di  $V_S$  è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V e delle curve di dispersione ricavate da ciascuna indagine MASW.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ). L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale delle  $V_S$  e di stimare il parametro  $V_{S,eq}$ .

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza dell'indagine MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$V_S$ [m/s]
1.00	1.00	135
3.50	2.50	190
4.50	1.00	160
6.50	2.00	150
11.00	4.50	160
20.00	9.00	280
40.00	20.00	350
inf.	inf.	400

$$V_{S,eq}(0.0-30.0)=233\text{m/s}$$

**Il profilo MASW individua una  $V_{S,eq}$ , riferita al piano di campagna, pari a 233 m/s.**

Pisa, Dicembre 2018

P3 s.n.c.  
**P3 s.n.c.**  
 Piazza Martiri della Libertà, 22/23  
 56127 PISA  
 C.F./P.IVA 01923910507  
*Alto Benvenuti*

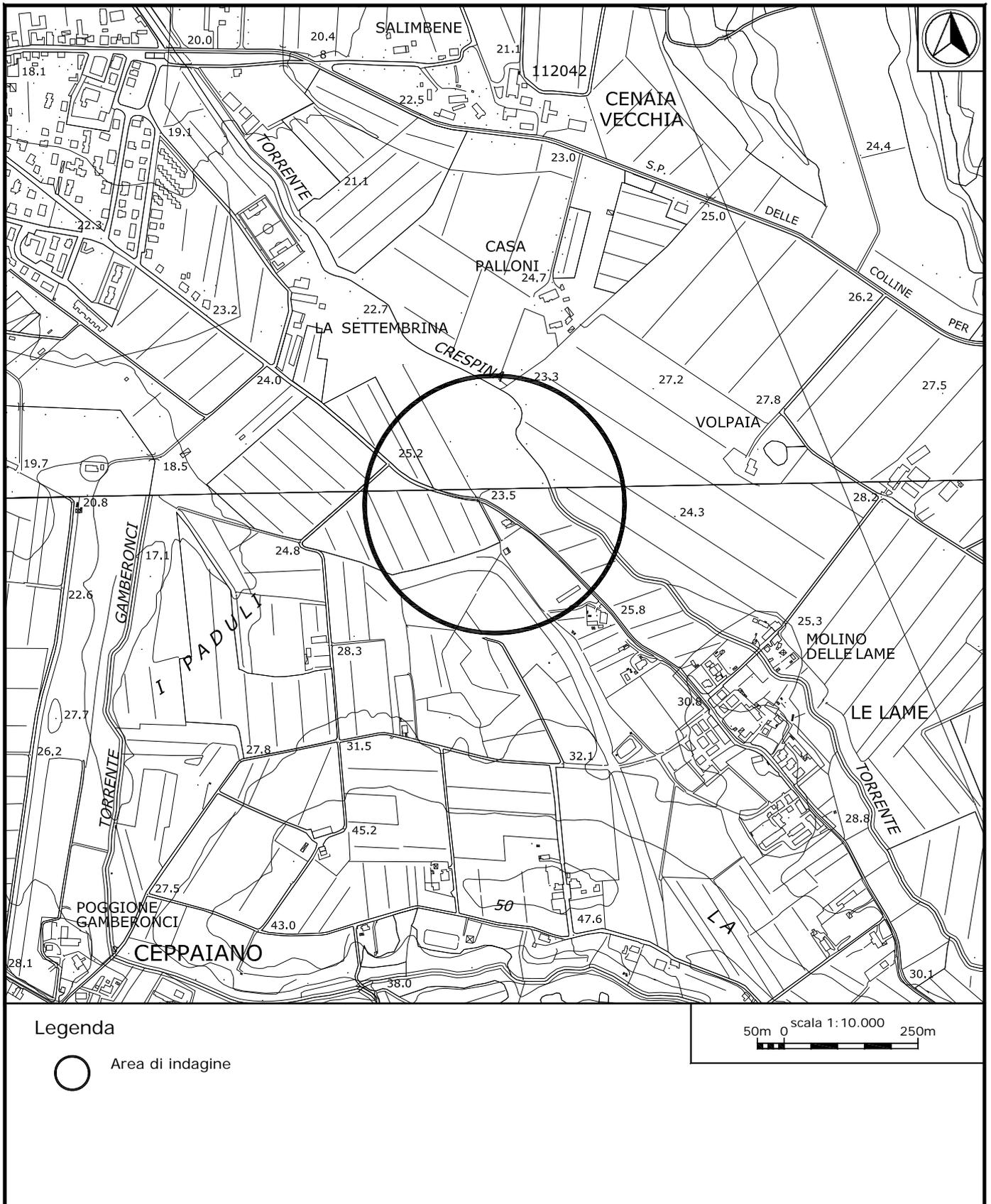


Figura1. Ubicazione indagini – Inquadramento.

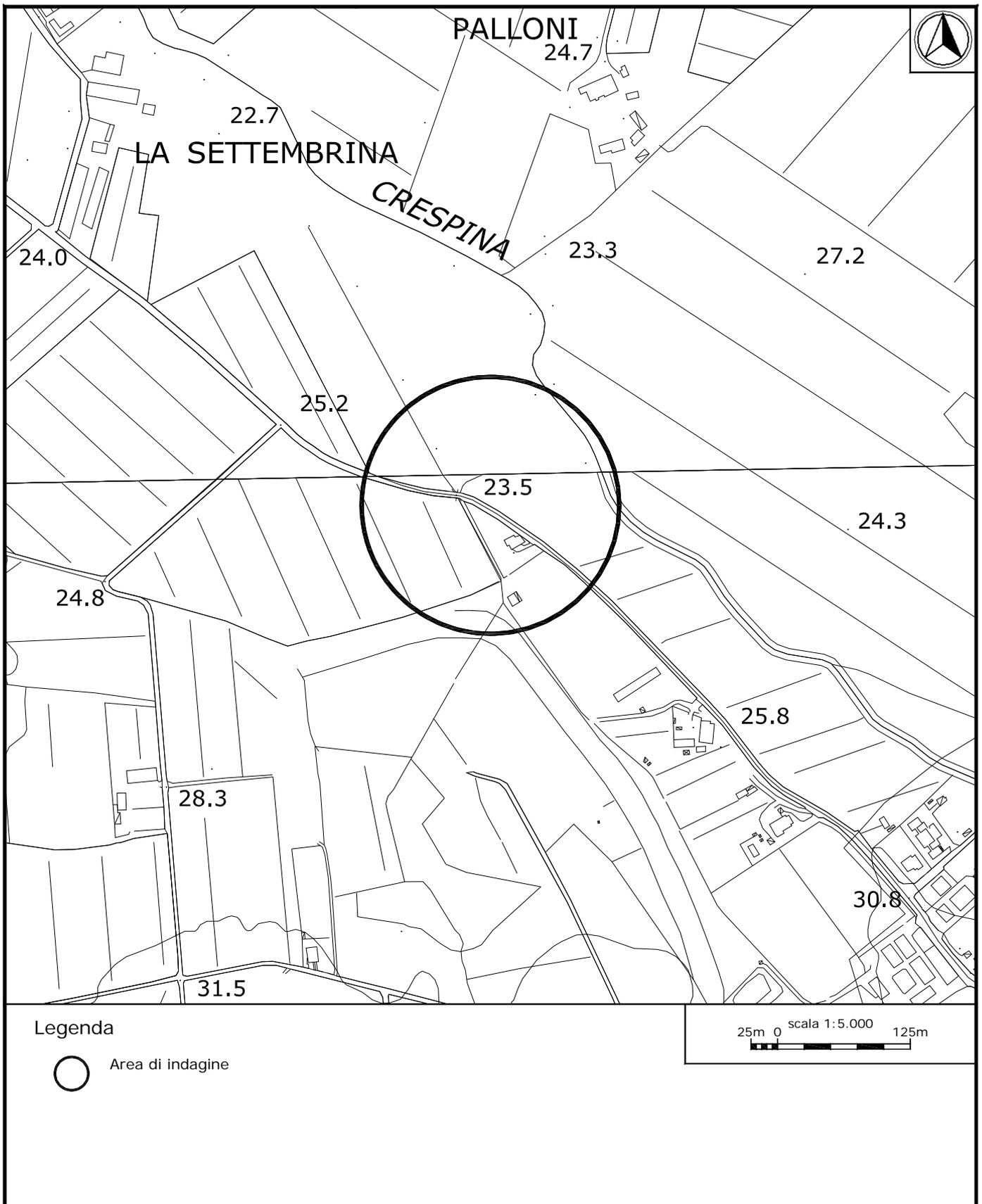
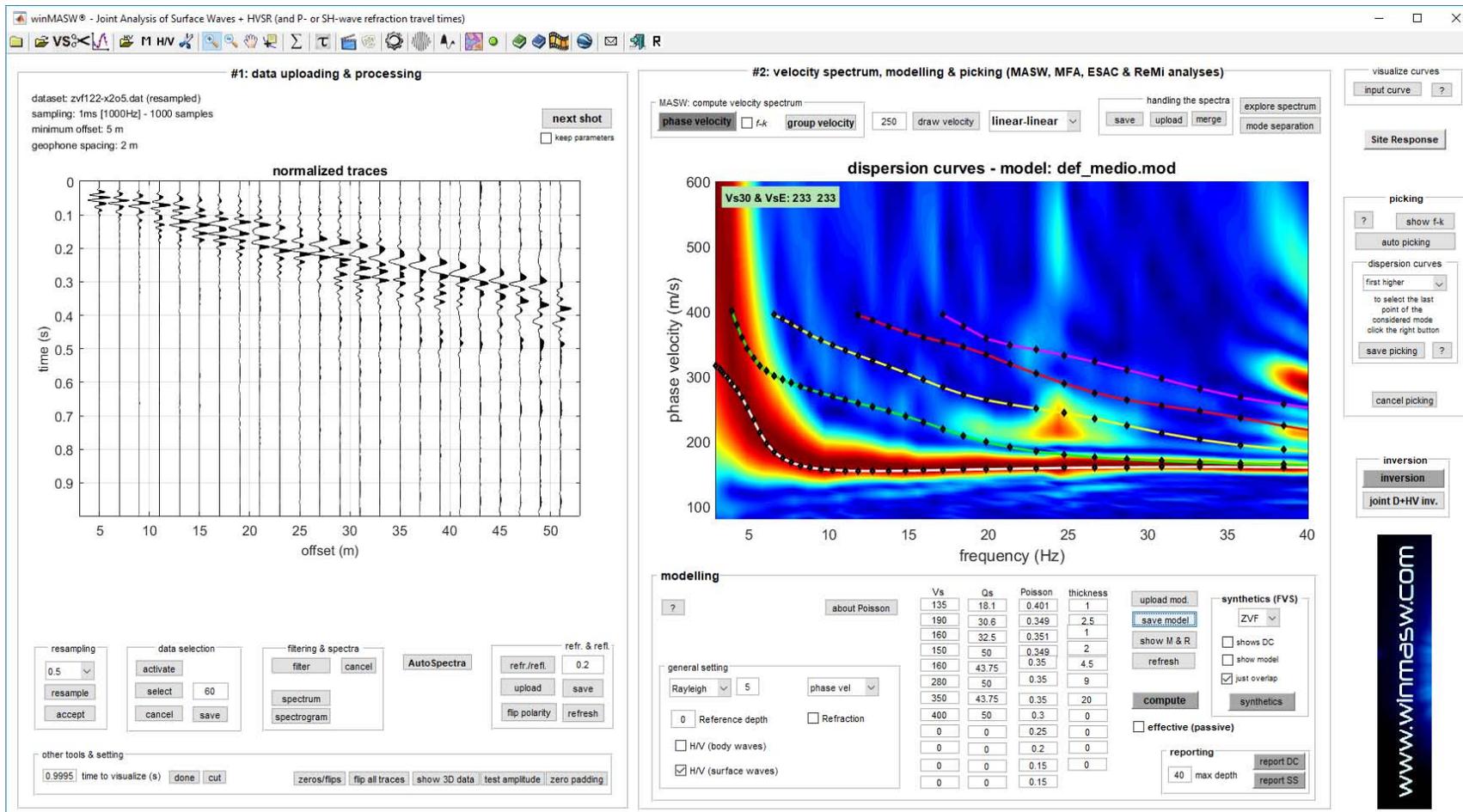


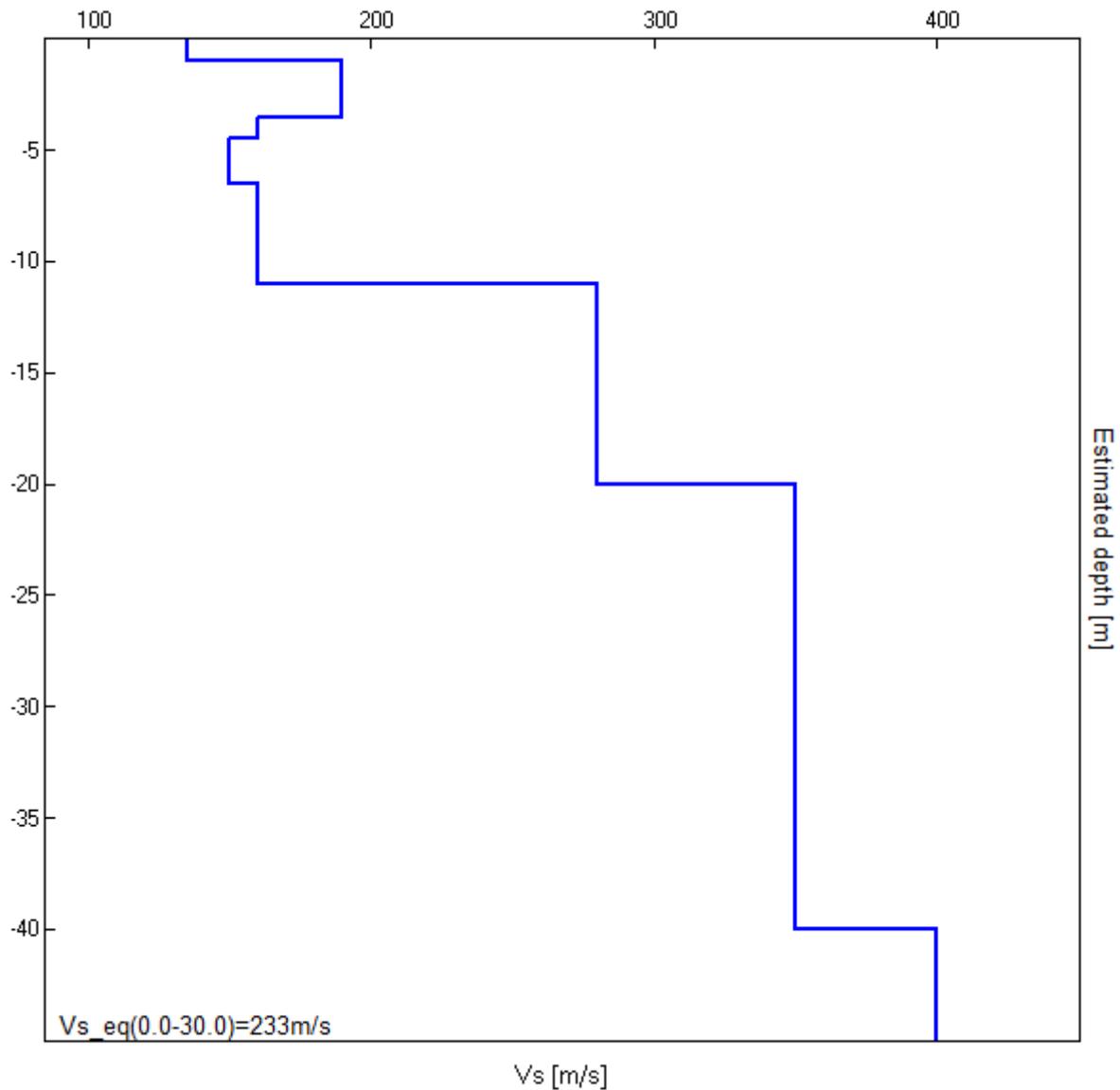
Figura 2. Ubicazione indagini – Inquadramento di dettaglio.



Figura 3. Indagine MASW e ubicazione indagine in sismica passiva HVSr – Particolare.



Indagine MASW. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	135
3.50	2.50	190
4.50	1.00	160
6.50	2.00	150
11.00	4.50	160
20.00	9.00	280
40.00	20.00	350
inf.	inf.	400

Vs_eq(0.0-30.0)=233m/s

**Seguono: schede indagine HVSR** – Oltre al grafico della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).

**J18_122_12_15_CRESPINA_TR, CENAIA TR1**

Strumento: TEP-0085/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 15/12/18 10:28:44 Fine registrazione: 15/12/18 10:48:45

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

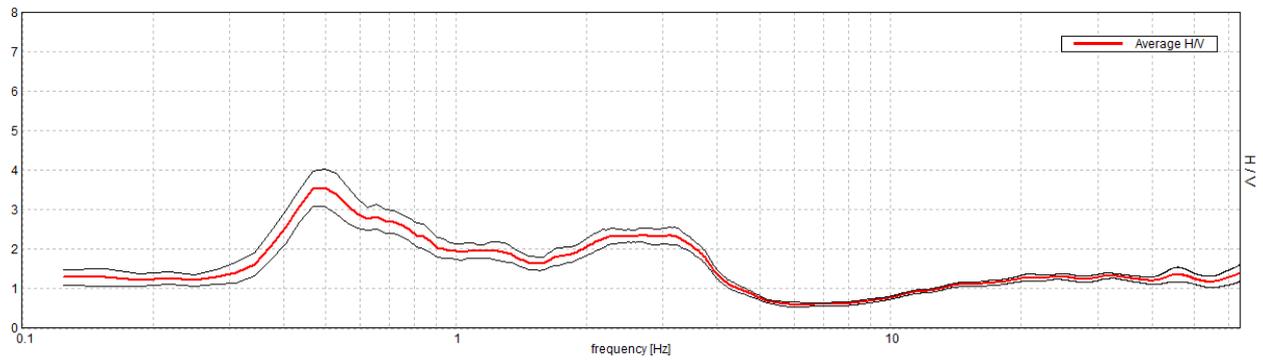
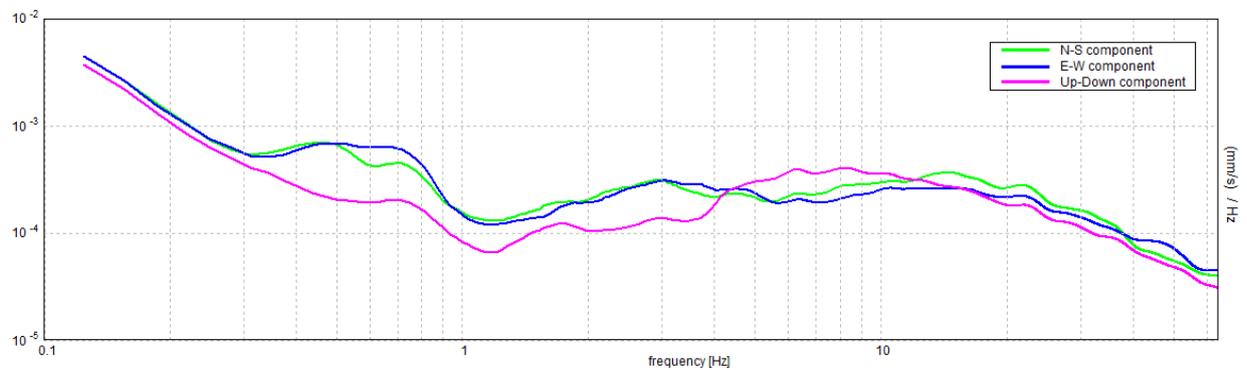
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

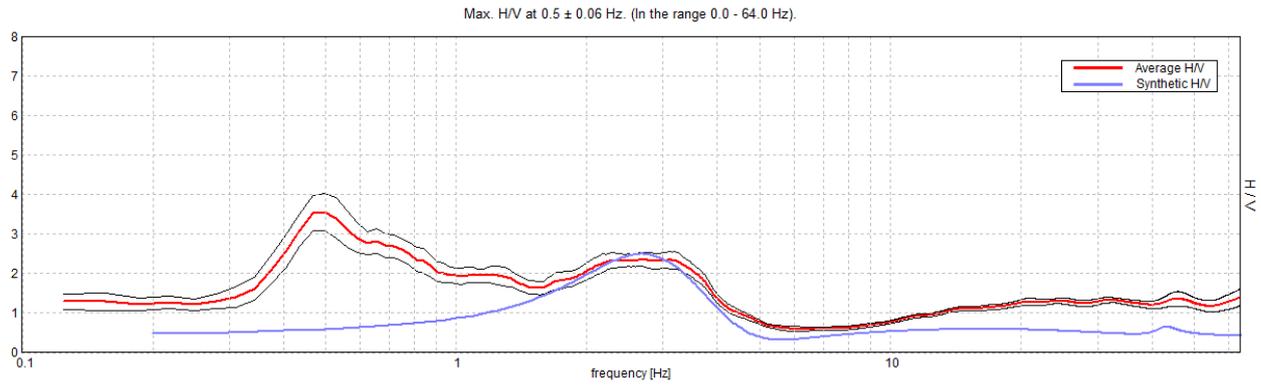
Lunghezza finestre: 30 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

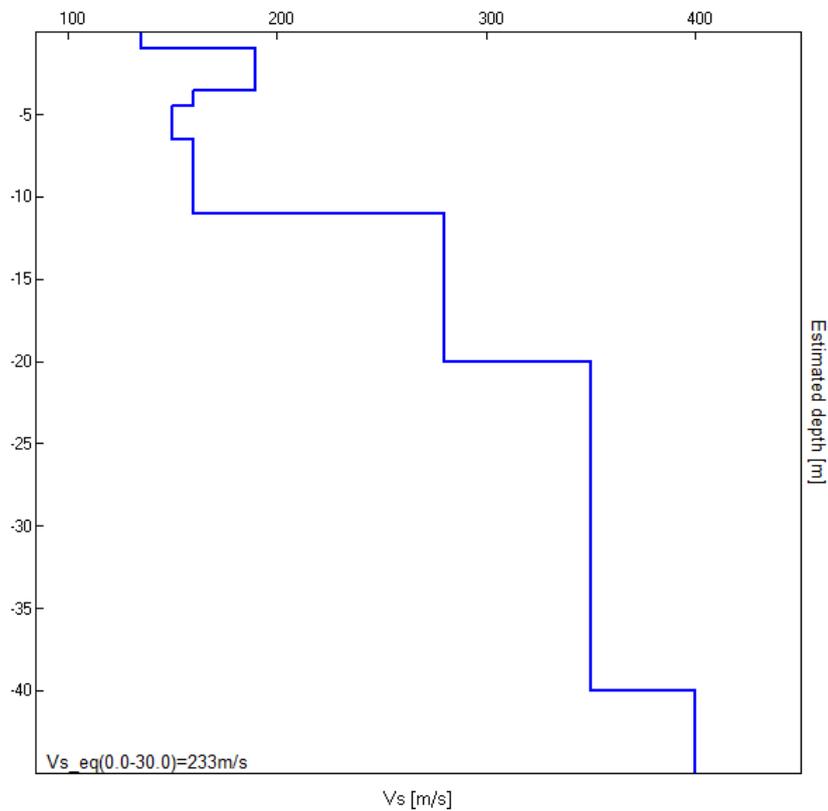
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**Max. H/V at  $0.5 \pm 0.06$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	135
3.50	2.50	190
4.50	1.00	160
6.50	2.00	150
11.00	4.50	160
20.00	9.00	280
40.00	20.00	350
inf.	inf.	400

$V_{s_eq}(0.0-30.0)=233\text{m/s}$





Indagine MASW - Documentazione fotografica.