

IMPIANTO FOTOVOLTAICO 'TUSCANIA 2'

Regione Lazio, Provincia di Viterbo, Comune di Tuscania

Titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E IDRAULICA

Proponente



IBERDROLA RENEVABLES ITALIA S.p.A.
Piazzale dell'Industria 40/46, Roma

Studio di impatto ambientale e coordinamento prestazioni specialistiche



ENVIarea snc stp
Viale XX Settembre 266bis, Carrara (MS)

Progettazione specialistica



Geol. Alessandro Murratzu
Ordine dei Geologi della Toscana, n. 640

Scala	Formato	Codice elaborato
-	A4	TSC-VIA-REL-06-00

Revisione	Data	Descrizione
00	06/2022	Emissione per VIA art. 23
01	-	-
02	-	-

Proponente: Iberdrola Renovables Italia S.p.A.



*RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA ED
IDRAULICA DI SUPPORTO ALLA VALUTAZIONE
DI IMPATTO AMBIENTALE (VIA MiTE) PER IL
PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO
DENOMINATO "TUSCANIA 2" NEL COMUNE DI
TUSCANIA (VT)*

Giugno 2022

SOMMARIO

1 – PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA DI INTERVENTO.....	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOTECNICO.....	4
4. CONSIDERAZIONI GENERALI SULL'ASSETTO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO.....	4
5. STUDI DI SUPPORTO ALLO S.U.G. VIGENTE: CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITA' DELL'AREA.....	5
5.1 Considerazioni relative al tracciato del cavidotto ed al suo attraversamento di corsi d'acqua.....	6
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI.....	7
6.1 Criteri di indagine	7
6.2 Descrizione delle indagini	7
6.3 Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area d'intervento	8
6.4 Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e modellazione geotecnica	9
6.5 Categoria di sottosuolo.....	11
7. MODELLAZIONE SISMICA	12
8. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	15
8.1– Parametri caratteristici e di progetto	15
9. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' GEOLOGICA DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO -CONCLUSIONI	16
9.1– Vincolo Idrogeologico: considerazioni sull'assetto idrogeologico dell'area e verifiche di stabilità dei terreni	17

ELABORATI CARTOGRAFICI

ALLEGATI:

- Allegato 1 - certificati prove penetrometriche statiche/dinamiche
- Allegato 2 - indagine sismica M.A.S.W.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA ED IDRAULICA DI SUPPORTO ALLA VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE (VIA MiTE) PER IL PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DENOMINATO “TUSCANIA 2” NEL COMUNE DI TUSCANIA (VT)

1 – PREMESSA

Per incarico della Società proponente del progetto Iberdrola Renovables Italia S.p.A. sono esposti e commentati i risultati dell'indagine geologica e geologico-tecnica di supporto alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA MiTE) per il progetto di un impianto fotovoltaico denominato “Tuscania 2” nel comune di Tuscania (VT)

L'impianto fotovoltaico “Tuscania 2” ha una dimensione di circa 40 ettari.

Il progetto per il quale si richiede la connessione in rete è un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare che prevede di installare 41.730 moduli fotovoltaici monofacciali in silicio monocristallino da 540 Wp ciascuno, su strutture fisse in acciaio zincato a caldo. L'impianto è caratterizzato da una potenza nominale pari a 22.534,2 kWp.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito complessivamente da 3 sottocampi fotovoltaici suddivisi come di seguito indicato:

- n° 2 Sottocampi fotovoltaici costituiti da
 - ✓ 13.884 moduli da 540 Wp/cad;
 - ✓ 534 stringhe;
 - ✓ 26 moduli per stringa;
 - ✓ potenza sottocampo pari a 7.497,36 Wp;
 - ✓ una cabina di sottocampo con 4 inverter, quadri BT, MT e 1 trasformatore da 7.200 kVA.

- n° 1 Sottocampo fotovoltaici aventi le seguenti caratteristiche:
 - ✓ 13.962 moduli da 540 Wp/cad;
 - ✓ 537 stringhe;
 - ✓ 26 moduli per stringa;
 - ✓ potenza sottocampo pari a 7.539,48 Wp;
 - ✓ una cabina di sottocampo con 4 inverter, quadri BT, MT e 1 trasformatore da 7.200 kVA.

I sottocampi saranno collegati tra loro con una rete MT a 30 kV in configurazione a semplice anello. L'anello MT sarà realizzato tramite cavidotto interrato con conduttori ad elica visibile. La rete interna terminerà in una cabina di media tensione, denominata Cabina di Centrale, in cui saranno installate le protezioni e da cui partiranno un cavidotto MT a 30 kV in semplice terna di

conduttori, anch'esso ad elica visibile, per raggiungere la SSEU e quindi il punto di consegna dell'energia alla RTN di Terna.

Il Comune di Tuscania è classificato fra i comuni sismici in zona 2b (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019) ossia zona con rischio sismico medio, che può essere soggetta a scuotimenti abbastanza forti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$ (L' a_g rappresenta l'indice di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni).

Si fa presente che l'area risulta interessata dal Vincolo Idrogeologico (*R.D. 3267/1923 e R.D. n. 1126/1926; la regione Lazio ha decentrato parte delle competenze in materia di Vincolo Idrogeologico agli Enti Locali con Legge Regionale n.53 del 11 dicembre 1998 e Deliberazione di Giunta Regionale n. 3888 del 30 settembre 1998 e ha regolamentato il rilascio di tale parere tramite la Pubblicazione di Linee Guida con il DGR 2649/1999 - Fig. 1*)¹.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area di studio è situata in una regione dell'Alto Lazio comprendente il tratto del litorale tirrenico e l'adiacente entroterra collinare e montuoso fino al lago di Bolsena (Geoparco della Tuscia). Per cui dalla fascia costiera pianeggiante si passa gradualmente in una vasta area centrale, caratterizzata da una morfologia di piana ondulata o di bassa collina, nella quale insiste l'area oggetto di studio, passando poi alla fascia pedemontana più interna fino al paesaggio di alta collina o montuoso. Il geoparco è caratterizzato dalla presenza di diverse tipologie di terreni: dai depositi vulcanici dell'attività dei distretti vulcanici Cimino, Vicano e Vulsino ai depositi del substrato sedimentario. Questo fa sì che il paesaggio risulti assai differenziato quale risposta alla diversa resistenza all'erosione.

Il paesaggio fisico cambia nettamente in corrispondenza della fascia marginale di territorio perivulcanico, in ragione dell'affioramento di depositi prevalentemente sedimentari. Nella zona centrale, nella quale è posizionata l'area oggetto di indagine, compresa tra la fascia caratterizzata dagli affioramenti vulcanici e quella costiera, il paesaggio ha una conformazione prevalentemente collinare e di bassa collina. La morfologia è rappresentata da forme irregolari, con versanti poco acclivi, dove affiorano litologie con una significativa componente argillosa, che diventano localmente più ripidi dove affiorano formazioni relativamente più competenti, quali conglomerati, calcareniti ed arenarie. Gran parte dell'area è interessata da una attiva e rapida erosione, conseguenza della eterogeneità dei terreni affioranti e della loro scarsa coesione. Forme relativamente più pronunciate si rinvengono nella Tuscia viterbese, in relazione alla presenza di rocce più competenti, rispettivamente carbonatiche e metamorfiche. A W dell'area oggetto di studio si osserva la fascia costiera caratterizzata da vaste spianate o superfici leggermente ondulate con pendenza generale verso mare e con incisioni vallive per lo più poco profonde.

¹ <https://mapserver.provincia.vt.it/>

Il perimetro dell'impianto "Tuscania 2" è posto in prossimità della località Montebello, a nord della stessa, confinante ad ovest con la S.P. 98 "Marta – Montebello" e ad est con una strada sterrata (Fig. 2). Esso si sviluppa lungo il fianco di una collina che termina in corrispondenza di un affluente del Fosso Mignattara, in un'areale denominato S. Lorenzo.

Tale area presenta una quota compresa tra i 205 m s.l.m. e i 116 m s.l.m. Per quanto riguarda le pendenze, la porzione occidentale risulta essere interessata da una classe 3 – inclinata (>10-20%) mentre la parte Est è classificata come classe 2 – leggermente inclinata (>2-10% - fig. 2a).

Il layout dell'impianto mostra come vi siano alcune interferenze sia con i fossi presenti che con l'acquedotto di Tarquinia ed un elettrodotto, dove, per questi ultimi due, verrà rispettata la fascia di asservimento (rifarsi all'allegato del progetto definitivo "Piano Tecnico delle Interferenze"): in tal caso, così come esplicitato in relazione tecnica, gli attraversamenti saranno gestiti mediante sottopassi (TOC).

Da un punto di vista geomorfologico, sia a livello comunale che provinciale che regionale, non si è riusciti a reperire una cartografia che descriva i principali elementi geomorfologici.

Quindi, in data 12 gennaio 2021 è stato effettuato un rilievo geologico - geomorfologico di dettaglio, volto ad individuare gli elementi geomorfologici principali (fig. 3).

Il rilievo di dettaglio ha individuato anche qui diverse porzioni del perimetro interessate da fenomeni di erosione incanalata. Ad est è presente una zona soggetta ad un movimento franoso piuttosto ampio, interessata da fenomeni di erosione incanalata e (esternamente al perimetro) da una scarpata morfologica.

Quest'ultima forma morfologica è presente anche nella parte orientale del perimetro.

È inoltre presente un'areale ad est soggetta a fenomeni di soliflusso e due aree interessate da fenomeni di erosione superficiale.

Lungo i versanti, nella parte orientale del perimetro, sono presenti dei fenomeni di erosione puntuale. Nella parte centro-settentrionale del perimetro vi è un'areale a cui sono associati dissesti geomorfologici diffusi

Sulla base di quanto evidenziato dal rilievo geomorfologico effettuato, è possibile affermare che sono presenti diverse criticità, di natura geomorfologica, che possono condizionare o rendere non fattibile l'intervento progettato.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E LITOTECNICO

Dal punto di vista geologico a piccola scala, il sito in esame si colloca all'interno di una vasta area dell'Alto Lazio che comprende il tratto del litorale tirrenico e l'adiacente entroterra collinare e montuoso fino al lago di Bolsena. Essa è caratterizzata dalla presenza e dalla coesistenza di diverse unità sedimentarie riconducibili a differenti paleoambienti e di rocce vulcaniche differenziate per natura petrografica e meccanismo di messa in posto.

Dall'analisi della carta geologica della Regione Lazio a scala 1:25.000, estrapolata dal portale della regione, si evidenzia la presenza delle seguenti litologie (Fig. 4):

- calcareniti e calcari organogeni
- flysch a componente dominante arenaceo o arenaceo/pelitica
- depositi prevalentemente sabbiosi a luoghi cementati

I terreni calcarenitici meglio definiti come calcareniti e calcari organogeni pliocenici sono costituiti da calcareniti e calcarei sabbiosi più o meno compatti con intercalazioni di conglomerati, sabbie gialle ed argille sabbiose continentali.

I terreni flyschoidi sono flysch ad associazione arenacea, arenaceo-pelitica e subordinatamente pelitico arenacea in strati generalmente spessi e ben definiti. L'età di questi terreni è Cretacico superiore – Miocene superiore.

I depositi prevalentemente sabbiosi a luogo cementati sono terreni di origine marina e di transizione, terrazzati lungo la costa di età plio-pleistocenici. Tali terreni come specificato sono prevalentemente sabbiosi, ma sono comprensivi anche di quei termini granulometricamente eterogenei (ciottoli, sabbie ed argille).

Non si evidenziano criticità geologiche degne di nota.

4. CONSIDERAZIONI GENERALI SULL'ASSETTO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO

Dal punto di vista idrogeologico, si evince la presenza di numerosi compluvi a carattere stagionale che confluiscono nei principali collettori dell'area, costituiti dal Fosso Mignattara ad est e Fosso Legno ad ovest.

L'elevato numero di corsi d'acqua evidenzia una permeabilità superficiale dei terreni sostanzialmente medio-bassa, che però tende a modificarsi repentinamente nei depositi al di sotto del piano di campagna, in relazione alla notevole eterogeneità granulometrica degli stessi.

Infatti, per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche dei terreni investigati, dal portale cartografico della provincia di Viterbo risulta che i terreni presentano livelli a differenti granulometrie e di conseguenza una variabilità della permeabilità in senso stretto che spazia da media a medio-alta – Fig. 5).

Dalla consultazione della carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio a scala 1:100.000, l'area del perimetro risulta interessata dai seguenti complessi idrogeologici (Fig. 5a):

- Complesso dei depositi clastici eterogenei – potenzialità acquifera bassa: depositi prevalentemente sabbiosi e sabbioso-argillosi a luoghi cementati in facies marina e di transizione, terrazzati lungo costa, sabbie e conglomerati fluviali di ambiente deltizio pliocenici. Spessore variabile fino ad un centinaio di metri. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa. Ove sono prevalenti facies conglomeratiche di elevata estensione e potenza si ha la presenza di falde di interesse locale.
- Complesso delle calcareniti organogene – potenzialità acquifera media: calcareniti, calcari sabbiosi e arenarie calcaree plioceniche. Gli spessori risultano variabili fino ad alcune decine di metri. Dove l'estensione dell'affioramento consente una ricarica zenitale significativa, ospitano falde di interesse locale.
- Complesso dei Flysch marnoso-argillosi – potenzialità acquifera bassissima: successioni generalmente caotiche di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi (cretacico superiore-oligocene) affioranti prevalentemente nei Monti della Tolfa e nella Valle Latina. Spessori variabili fino ad oltre 1000 m. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa.

Non vi sono dati che possano fornirci informazioni sulla profondità della falda, in quanto dai dati del portale ISPRA – Indagini del sottosuolo non vi sono segnalati pozzi nei dintorni dell'area d'interesse. Dalle prove geognostiche effettuate dalla committenza nell'area, però, non risulta essere individuata alcuna falda nei primi 9 metri di profondità (massima profondità raggiunta dalle prove penetrometriche)

Dalla mappa delle “Aree di Captazione ad uso idropotabile (art. 21 D. Lgs 152/99)” del PTPG della provincia di Viterbo, in un intorno di 200 m dall'area d'intervento non si rilevano inoltre pozzi potabili destinati al consumo umano (art. 94, comma 6 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.)

Pertanto, sulla base delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni, nonché delle specifiche progettuali dell'intervento, che prevede sostanzialmente l'infissione di pali in acciaio (strutture portanti dei pannelli fotovoltaici) nel terreno per la profondità di 1,50 m, nonché la realizzazione di cabinati per il trasporto della corrente elettrica ed accorgimenti mitigatori per facilitare il mantenimento dei parametri idrologici dell'area, si ritiene che le opere in progetto non comportino alterazioni del regime idrogeologico ed idraulico dell'area.

5. STUDI DI SUPPORTO ALLO S.U.G. VIGENTE: CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITA' DELL'AREA

Per quanto concerne la pericolosità geomorfologica ed idraulica dell'area in studio non esiste una cartografia a livello comunale.

L'area ricade, a livello di Autorità di Bacino, in quella dei Bacini Regionali Lazio. La Regione, a seguito di una serie di attività conoscitive e di acquisizione dati, si è dotata di un Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), redatto ai sensi dell'art. 17 della L. 183/89, degli artt. 11 e 12 della L.R. 39/96, dell'art. 1 della L. 267/98 e dell'art. 1bis della L. 365/2000. Tale piano è lo strumento conoscitivo,

normativo e tecnico operativo mediante il quale l’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio individua, nell’ambito di competenza, le aree da sottoporre a tutela per la prevenzione e la rimozione delle situazioni di rischio, sia mediante la pianificazione e programmazione di interventi di difesa, sia mediante l’emanazione di norme d’uso del territorio.

La Tavola di Piano 2.05 Nord (fig. 6), che copre entrambe i perimetri, mostra come l’area non ricada in alcuna area da sottoporre a tutela.

È stata consultata anche la Tavola 1.1.4 “Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico” del Piano Territoriale Provinciale Generale della Provincia di Viterbo (Fig. 6a). L’area risulta esclusa da qualsiasi area interessata da dissesti gravitativi attivi, quiescenti o inattivi.

5.1 Considerazioni relative al tracciato del cavidotto ed al suo attraversamento di corsi d’acqua

Come già detto precedentemente, l’area risulta solcata da numerosi fossi di natura stagionale. Come si può notare dalla Fig. 6b, tali fossi non fanno parte del demanio pubblico². Inoltre, essi non risultano interessati da vincoli paesaggistici, come visibile dalla tavola B del PTPR approvato.

Il layout dell’impianto mostra come vi siano alcune interferenze con i fossi presenti (rifarsi all’allegato del progetto definitivo “Piano Tecnico delle Interferenze”): in tal caso, così come esplicitato in relazione tecnica, per gli attraversamenti dei canali saranno utilizzati dei sottopassi mediante TOC (perforazioni teleguidate controllate senza scavo) andando a posizionare il cavidotto ad almeno 2,5 metri di profondità dal fondo del corso d’acqua. La trivellazione verrà realizzata ad una distanza di almeno 15 m dalle sponde dei fossi.

Anche nel punto di intersezione con l’acquedotto di Tarquinia si provvederà al passaggio dei cavidotti al di sotto dello stesso, ad una distanza (in altezza) minima di 0.50 m, mantenendo la fascia di rispetto definita per legge (2 m per lato).

Per quanto riguarda il posizionamento dei pannelli si cercherà di rispettare quanto più possibile la distanza minima di rispetto così come definita dal R.D. 523/1904 (pari a 10 m dal ciglio di sponda).

Nel caso in cui non si riuscirà a rispettare tale distanza, si provvederà alla presentazione della relazione di compatibilità idraulica.

² <https://geoportale.cartografia.agenziaentrate.gov.it/age-inspire/srv/ita/catalog.search#/home>

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU E CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

6.1 Criteri di indagine

Tenendo in considerazione le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del luogo di intervento, nonché tutte le prescrizioni della normativa e quelle derivate da strumenti sovraordinati di gestione del territorio, ai fini della definizione del modello geologico di sintesi per la progettazione preliminare sono state realizzate le seguenti indagini in prossimità del comparto d'intervento e comprendente:

- n. 5 prove penetrometriche;
- n. 1 stendimento geofisico MASW.

Le prove penetrometriche P5 e P8 risultano statiche. Mentre le prove P4, P6 e P7 sono dinamiche. Lo stendimento sismico MASW è stato realizzato dallo scrivente nelle vicinanze in terreni geologicamente simili.

Per l'ubicazione delle indagini eseguite si rimanda alla figura 7.

I certificati delle prove sono riportati in Allegato 1 (prove penetrometriche statiche e dinamiche) ed in Allegato 2 (Stendimento geofisico MASW).

6.2 Descrizione delle indagini

Prove penetrometriche

Nell'area sono state realizzate sia prove penetrometriche statiche che dinamiche.

Per l'esecuzione delle **prove penetrometriche statiche** si utilizza un penetrometro statico/dinamico da 10 tonnellate fornito di punta conica tipo "Begemann". L'operazione eseguita staticamente consiste nell'infiggere nel terreno a mezzo di un martinetto idraulico le aste misurando ai manometri ogni 20 cm la resistenza alla penetrazione (q_c), l'attrito laterale locale (F_s), il rapporto di attrito (RF) e la pressione totale di spinta (Q_t).

La **prova penetrometrica dinamica** consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari. Le prove penetrometriche dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Le prove penetrometriche, hanno raggiunto le seguenti profondità:

- DPSH 4 – 1,60 m dal p.c.;
- CPT 5 – 8,60 m dal p.c.;

- DPSH 6 – 1,00 m dal p.c.;
- DPSH 7 – 1,00 m dal p.c.;
- CPT 8 – 8,20 m dal p.c.;

Per i certificati si rimanda all'allegato 1 del presente elaborato.

Indagini sismiche – tecnica M.A.S.W.

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, 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 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.

La metodologia di acquisizione si sviluppa 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 Vs e il parametro VS,eq.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo delle analisi delle due prove MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro VS,eq relativi al sottosuolo del sito indagato.

Per i certificati si rimanda all'allegato 2 del presente elaborato.

6.3 Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area d'intervento

Dalle risultanze dell'indagine geognostica condotta nel comparto di interesse è stato possibile ricostruire, verosimilmente, il seguente assetto stratigrafico e litologico dei terreni di pertinenza dell'intervento in progetto.

DPSH 4:

- 0 – 0,60 Terreno rimaneggiato
- 0,60 – 1,20 Terreno limoso - sabbioso mediamente addensato
- 1,20 – 1,60 Terreno limoso - sabbioso molto addensato

CPT 5:

- 0 – 0,20 Terreno rimaneggiato
- 0,20 – 5,00 Terreno limoso - sabbioso poco addensato

5,00 – 8,60 Terreni limoso - sabbioso mediamente addensato

DPSH 6:

0 – 0,60 Terreno rimaneggiato

0,60 – 1,00 Terreno limoso - sabbioso molto addensato

DPSH 7:

0 – 0,40 Terreno rimaneggiato

0,80 – 1,00 Terreno sabbioso-limoso molto addensato

CPT 8:

0 – 1,00 Terreno rimaneggiato

1,00 – 7,80 Terreno sabbioso - limoso da mediamente addensato ad addensato

7,80 – 8,20 Terreno sabbioso - limoso molto addensato

6.4 Caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e modellazione geotecnica

Le indagini in situ eseguite hanno permesso di attribuire i seguenti parametri geotecnici agli orizzonti sopra definiti, in termini di valori caratteristici come indicato nelle nuove NTC (6.2.2).

DPSH 4							
Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ' (°)	Cu (KN/m2)	C' (KN/m2)	Ed (KN/m2)	γ (KN/m3)
1	Terreno rimaneggiato	0 – 0,60	-	-	-	-	-
2	Terreno limoso-sabbioso mediamente addensato	0,60 – 1,20	28	-	3	8.000	18
3	Terreno limoso-sabbioso molto addensato	1,20 – 1,60	32	-	10	40.000	18.5

CPT 5							
Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ' (°)	Cu (KN/m2)	C' (KN/m2)	Ed (KN/m2)	γ (KN/m3)
1	Terreno rimaneggiato	0 – 0,20	-	-	-	-	-
2	Terreno limoso argilloso sabbioso poco consistente	0,20 – 5,00	20	40	2	4500	18
3	Terreno limoso sabbioso mediamente addensato	5,00 – 8,60	28	-	3	10.000	18.5

DPSH 6							
Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ' (°)	Cu (KN/m ²)	C' (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato	0 – 0,60	-	-	-	-	-
2	Terreno limoso-sabbioso molto addensato	0,60 – 1,00	32	-	10	40.000	18.5

DPSH 7							
Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ' (°)	Cu (KN/m ²)	C' (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato	0 – 0,40	-	-	-	-	-
2	Terreni sabbiosi-limosi mediamente addensati	0,40 – 1,00	28	-	3	7.000	18.5

CPT 8							
Orizzonte	Stratigrafia schematica	PROFONDITA' (m)	ϕ' (°)	Cu (KN/m ²)	C' (KN/m ²)	Ed (KN/m ²)	γ (KN/m ³)
1	Terreno rimaneggiato	0 – 0,1	-	-	-	-	-
2	Terreno sabbioso - limoso da mediamente addensato ad addensato	0,1 – 7,80	30	-	5	13.000	18
3	Terreno sabbioso - limoso molto addensato	7,80 – 8,20	32	-	10	30.000	18.5

dove:

ϕ = angolo di attrito interno

Ed= modulo edometrico

Cu= coesione non drenata

C'=coesione efficace

γ = peso di volume del terreno

6.5 Categoria di sottosuolo

Al punto 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche), per la definizione dell'azione sismica di progetto si afferma che:

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

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.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

In riferimento al D.M. 17/01/2018, per i terreni indagati nell'area di realizzazione dell'impianto, dall'analisi della VS,eq (profondità del substrato sismico H > 30 m) e verificando la congruenza con la descrizione stratigrafica della tabella sopra (3.2. II NTC 2018), è stato stimato un sottosuolo di categoria "C", ovvero si tratta di "Deposit

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”

VS,eq = VS30 = 315 m/s (Categoria sottosuolo C)

7. MODELLAZIONE SISMICA

Nell’ambito dell’Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 sono state individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle individuate dalla L. n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione.

Il Comune di Tuscania è classificato fra i comuni sismici in zona 2b (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019) ossia zona con rischio sismico medio, che può essere soggetta a scuotimenti abbastanza forti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$ (L’ a_g rappresenta l’indice di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni).

Con l’entrata in vigore del D.M. 14/01/08 e del successivo aggiornamento del D.M. 17/01/18, la stima della pericolosità sismica viene inoltre definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

L’azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di interesse, che è l’elemento essenziale per la determinazione dell’azione sismica.

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale del valore dell’accelerazione massima a_g al sito e dei parametri (F_0 e T_c^*), che permettono di definire gli spettri di risposta elastici per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR.

È necessario, pertanto, determinare i parametri spettrali relativi al sito di intervento utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tab. 1 dell’allegato B del suddetto decreto.

Lo scuotimento al suolo così individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie:

- Categoria di sottosuolo B
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica **SS= 1,5** (tabella 3.2.IV – NTC 2018)
- Coefficiente di amplificazione topografica **ST= 1,0** (tabella 3.2.V – NTC 2018 per categoria topografica T1 in tabella 3.2.III)

Partendo dunque dai seguenti dati relativi alla costruzione in oggetto:

Tipo di costruzione	1
Vita nominale VN	≥ 50 anni
Classe d'uso	I
Coefficiente d'uso Cu	0,7
Vita o periodo di riferimento VR=VN x Cu	35 anni

per il sito di interesse sono stati ricavati, mediante l'utilizzo del programma di calcolo della GeoStru, i seguenti parametri sismici:

Sito in esame.

latitudine: 42,353496
 longitudine: 11,808648
 Classe: 1
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 26282 Lat: 42,3724 Lon: 11,7981 Distanza: 2274,213
 Sito 2 ID: 26283 Lat: 42,3734 Lon: 11,8658 Distanza: 5186,681
 Sito 3 ID: 26505 Lat: 42,3234 Lon: 11,8671 Distanza: 5852,894
 Sito 4 ID: 26504 Lat: 42,3224 Lon: 11,7994 Distanza: 3540,459

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 35anni
 Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,038 g
 Fo: 2,544
 Tc*: 0,230 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 35 [anni]
 ag: 0,041 g
 Fo: 2,524
 Tc*: 0,238 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 332 [anni]
 ag: 0,108 g
 Fo: 2,462
 Tc*: 0,277 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,140 g
Fo: 2,475
Tc*: 0,283 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,710
St: 1,000
Kh: 0,011
Kv: 0,006
Amax: 0,557
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,690
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,601
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,039
Kv: 0,019
Amax: 1,593
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,490
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,050
Kv: 0,025
Amax: 2,046
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 42.352510

longitudine: 11.807700

8. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

8.1– Parametri caratteristici e di progetto

Data la variabilità litologica verticale dei terreni in esame, sono stati presi in considerazione i risultati delle prove penetrometriche realizzate nei medesimi terreni e più prossime ai cabinati da realizzare. Si consiglia di seguire le seguenti direttive per la posa in opera delle fondazioni (si suggerisce fondazioni a PLATEA) dei diversi cabinati:

CS3 – orizzonte 2 (in DPSH6): Terreno limoso-sabbioso molto addensato (Vk)

C'k = coesione efficace = 10 kN/mq

ϕ_k =angolo di attrito = 32°

Cabina Secondaria MT + Cabina di centrale - orizzonte 2 (in DPSH4): Terreno limoso-sabbioso mediamente addensato (Vk)

C'k = coesione efficace = 3 kN/mq

ϕ_k =angolo di attrito = 28°

CSI e CS2 - orizzonte 2 (in P8): Terreno sabbioso - limoso da mediamente addensato ad addensato (Vk)

C'k = coesione efficace = 5 kN/mq

ϕ_k =angolo di attrito = 30°

I valori di progetto da adottare nel calcolo si ottengono dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale, secondo quanto indicato nelle NTC (Tabella 6.2.II del DM 17/01/2018).

La fattibilità e parametrizzazione geotecnica proposti sono basati sulla campagna d'indagine eseguita, la cui natura puntuale rende obbligatoria la verifica delle assunzioni fatte, in fase di esecuzione dei lavori; si prescrive quindi l'assistenza geologica durante l'esecuzione degli scavi. Si consiglia, comunque, di realizzare le fondazioni delle cabine e delle sottostazioni, oltre che l'infissione dei pali dei pannelli, negli orizzonti con le migliori caratteristiche geotecniche. Si ricorda che eventuali difformità rispetto alle ipotesi progettuali comporteranno necessariamente una verifica dei dimensionamenti previsti. Lo scrivente si rende comunque fin da ora disponibile a fornire integrazioni a quelle attuali secondo le diverse esigenze della Committenza, del Progettista Geotecnico (in merito alla necessità di una maggiore definizione della campagna geognostica ai fini della caratterizzazione-modellazione geotecnica), della Direzione Lavori e degli uffici preposti alla disamina della pratica in oggetto.

9. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' GEOLOGICA DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO - CONCLUSIONI

L'impianto prevede l'infissione di pannelli per un massimo di 1.5 m dal p.c e la realizzazione di cabinati prefabbricati la cui altezza delle fondazioni risulta essere inferiore ad 1 metro: per tanto è stato effettuato un rilevamento di dettaglio per controllare la presenza di fenomeni geomorfologici.

Dallo studio geologico-geotecnico-idraulico effettuato si può affermare che tale area presenta alcune aree con problematiche geomorfologiche (fig. 3)

Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha individuato un'areale ad est interessato da un fenomeno franoso potenzialmente attivo.

In relazione al diverso grado di dissesto determinato al suo interno, sono state individuate due aree (fig. 8): una assolutamente non idonea (in rosso) e una porzione potenzialmente idonea (in arancio) previo approfondimento geologico di dettaglio.

Tale approfondimento risulta necessario affinché l'area possa essere utilizzata per l'installazione dei pannelli fotovoltaici. SI PRESCRIVONO, quindi, idonee indagini geotecniche di dettaglio, interventi di stabilizzazione del versante con corretta regimazione delle acque mediante drenaggi a lisca di pesce e verifica di stabilità pre e post-opera.

Inoltre, risultano non idonee quelle aree interessate da dissesti geomorfologici diffusi e una piccola area ad ovest dove è presente una scarpata morfologica.

Ad est del perimetro è presente un'area soggetta a soliflusso che risulta idonea previa realizzazione di opere di regimazione.

Non vi sono problematiche e/o prescrizioni per la restante area.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area risulta attraversata da alcuni fossi stagionali. Pertanto, si cercherà di rispettare quanto più possibile la distanza minima di rispetto così come definita dal R.D. 523/1904.

Nel caso in cui non si riuscirà a rispettare tale distanza, si provvederà alla presentazione della relazione di compatibilità idraulica.

Come si può notare dal "piano tecnico delle interferenze", i fossi presenti saranno attraversati dal cavidotto MT e dalla recinzione dell'impianto. Per gli attraversamenti dei canali saranno utilizzati dei sottopassi mediante TOC (perforazioni teleguidate controllate senza scavo) andando a posizionare il cavidotto ad almeno 2,5 metri di profondità dal fondo del corso d'acqua. La trivellazione verrà realizzata ad una distanza di almeno 15 m dalle sponde dei fossi.

Anche nel punto di intersezione con l'acquedotto di Tarquinia si provvederà al passaggio dei cavidotti al di sotto dello stesso, ad una distanza (in altezza) minima di 0.50 m, mantenendo la fascia di rispetto definita per legge (2 m per lato).

Qualora la condotta interrata intersechi aree che risultano interessate da fenomeni di instabilità geomorfologica, si consiglia di utilizzare tubazioni flessibili e di non ostacolare la regimazione delle acque superficiali durante gli scavi.

La realizzazione dei cabinati elettrici avverrà mediante strutture prefabbricate, come da indicazioni progettuali, su fondazioni posate su platea di calcestruzzo.

Si raccomanda di realizzare le fondazioni al di sotto del terreno di riporto o comunque nei terreni aventi le migliori caratteristiche geotecniche.

Anche per quanto riguarda le strutture di supporto dei pannelli solari, si raccomanda l'infissione nei terreni dalle caratteristiche geotecniche migliori (consigliato il 2° o 3° orizzonte descritto nelle tabelle del paragrafo 6.4).

In relazione al quadro conoscitivo sopra delineato, nonché degli approfondimenti realizzati in questa fase di studio preliminare, per quanto concerne la fattibilità geologica e idraulica del progetto in esame, eccezion fatta per l'area necessaria di ulteriori approfondimenti, l'intervento risulta fattibile.

9.1– Vincolo Idrogeologico: considerazioni sull'assetto idrogeologico dell'area e verifiche di stabilità dei terreni

L'area del perimetro "Tuscania 2" è sottoposta al vincolo idrogeologico: in seguito agli approfondimenti realizzati in questa fase di studio relativamente alle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e litotecniche dei terreni d'interesse si ritiene che, per le aree non interessate da dissesti, la realizzazione delle opere non comprometta e/o alteri la stabilità dei terreni in oggetto, né l'assetto idrogeologico dell'area.

Sulla base di quanto sopra esposto e soprattutto delle specifiche tecniche dell'intervento e se verranno seguite le indicazioni precedentemente definite, si ritiene che non vi siano problematiche riguardanti la stabilità dei terreni direttamente interessati dall'intervento.

Per quanto riguarda le aree sottoposte a dissesto, anche se l'intervento da realizzare (installazione di pannelli fotovoltaici) non produrrà modifiche sostanziali dell'assetto idrogeologico dell'area, essendo esse opere a bassa incidenza sul terreno, si prescrivono, comunque, le indagini e gli approfondimenti sopracitati nel Cap 9 (idonee indagini geotecniche di dettaglio, interventi di stabilizzazione del versante con corretta regimazione delle acque mediante drenaggi a lisca di pesce e verifica di stabilità pre e post-opera).

In fase di progettazione definitiva, si agirà secondo quanto previsto dal Regio Decreto n. 3267/1923 in materia di corretta gestione del territorio ed individuazione delle procedure amministrative oltre che, in ottemperanza al DGR 6215/1996 per la determinazione della classificazione degli interventi ammissibili.

Per quanto riguarda il passaggio del cavidotto dall'area interessata dai pannelli fino alle sottostazioni e alla SE di Terna (Campovillano) si specifica che esso seguirà le strade attualmente presenti e, come già specificato nei capitoli precedenti, eventuali interferenze con i fossi presenti saranno gestite mediante sottopassi (TOC) posti ad almeno 2,5 metri dal letto del corso d'acqua, non andando così a modificare l'assetto idrogeologico dell'area.

Per ciò che riguarda le rocce e terre da scavo, si raccomanda di operare la redistribuzione in loco ed in area poco acclive dei terreni mediante adeguata compattazione evitandone il posizionamento all'interno di fossi campestri e/o di impluvi esistenti. Deve essere sempre assicurata la corretta

regimazione delle acque al fine di evitare fenomeni di ristagno o di erosione nell'area oggetto dei lavori e nei terreni limitrofi.

Lo stoccaggio definitivo e/o lo smaltimento del materiale di risulta degli scavi dovrà essere gestito comunque nel rispetto della normativa vigente e in particolare del D.L. 152/06 e s.m.i. e DPR 120/2017.

Certaldo, Giugno 2022

IdroGeo Service S.r.l.
Engineering and Consulting

Il Tecnico Responsabile
Dott. Geol.
Alessandro MURRATZU

Il Direttore Tecnico
Dott. Geol.
Simone FIASCHI

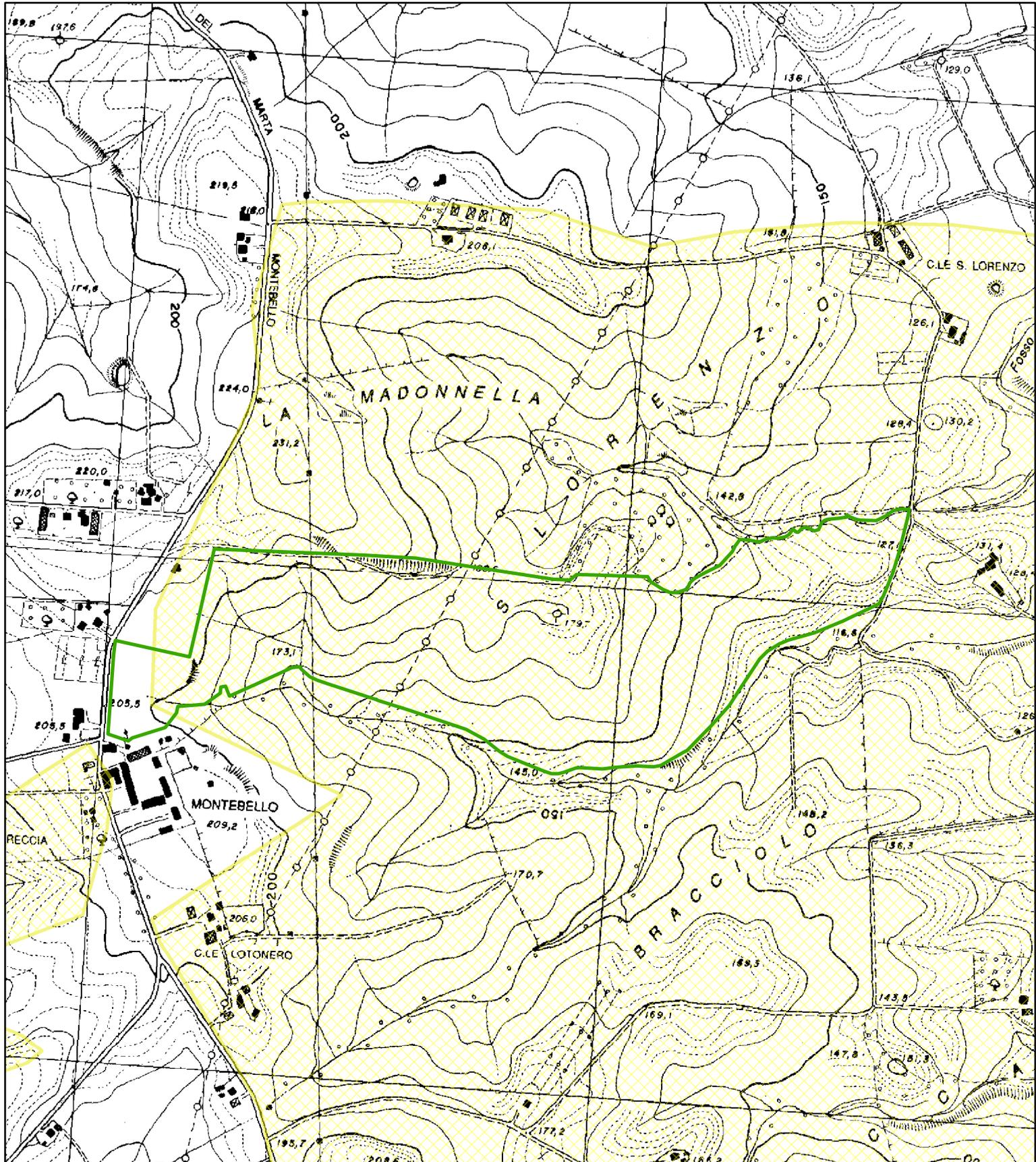
Collaboratore Tecnico
Dott. Giada De Angelis

ELABORATI CARTOGRAFICI

Mappa del Vincolo Idrogeologico

Scala 1:10.000

fonte: portale cartografico
provincia di Viterbo



Legenda



FTV Toscana 2

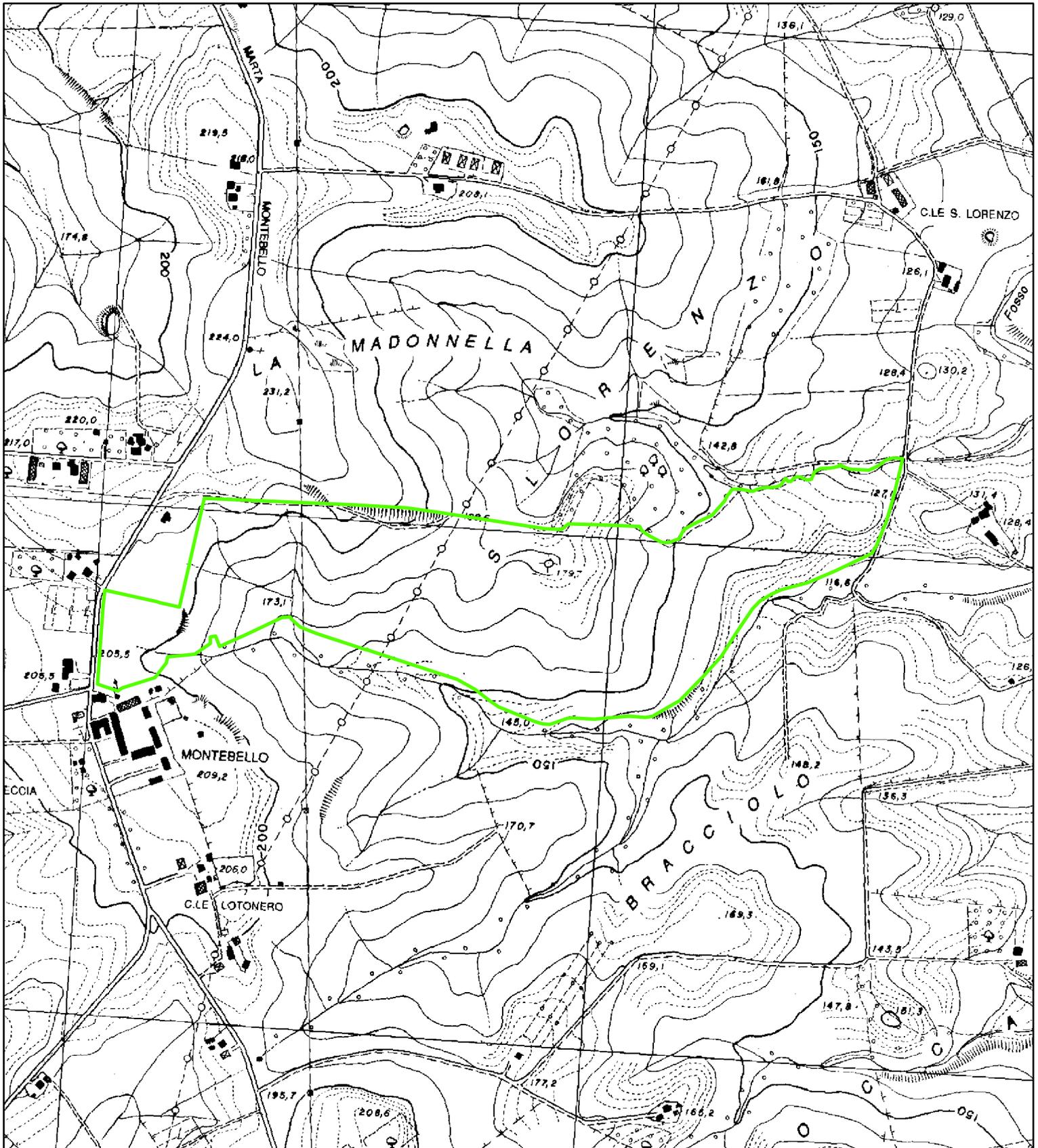


vincolo idrogeologico

Fig. 1

Carta corografica

Scala 1:10.000



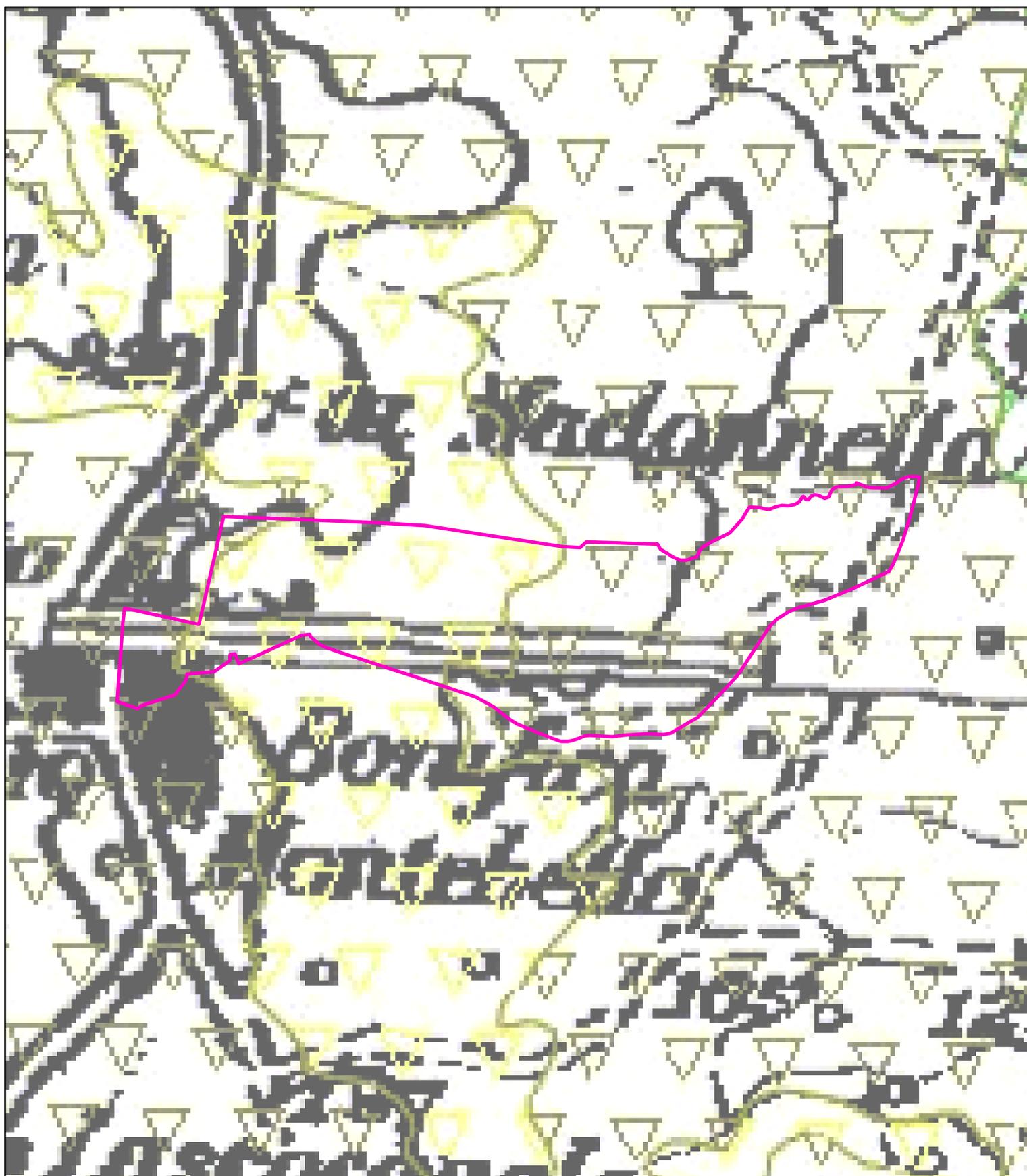
Legenda

 FTV Toscana 2

Carta delle pendenze

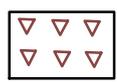
scala 1:10.000

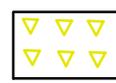
fonte: portale cartografico
provincia di Viterbo



Legenda

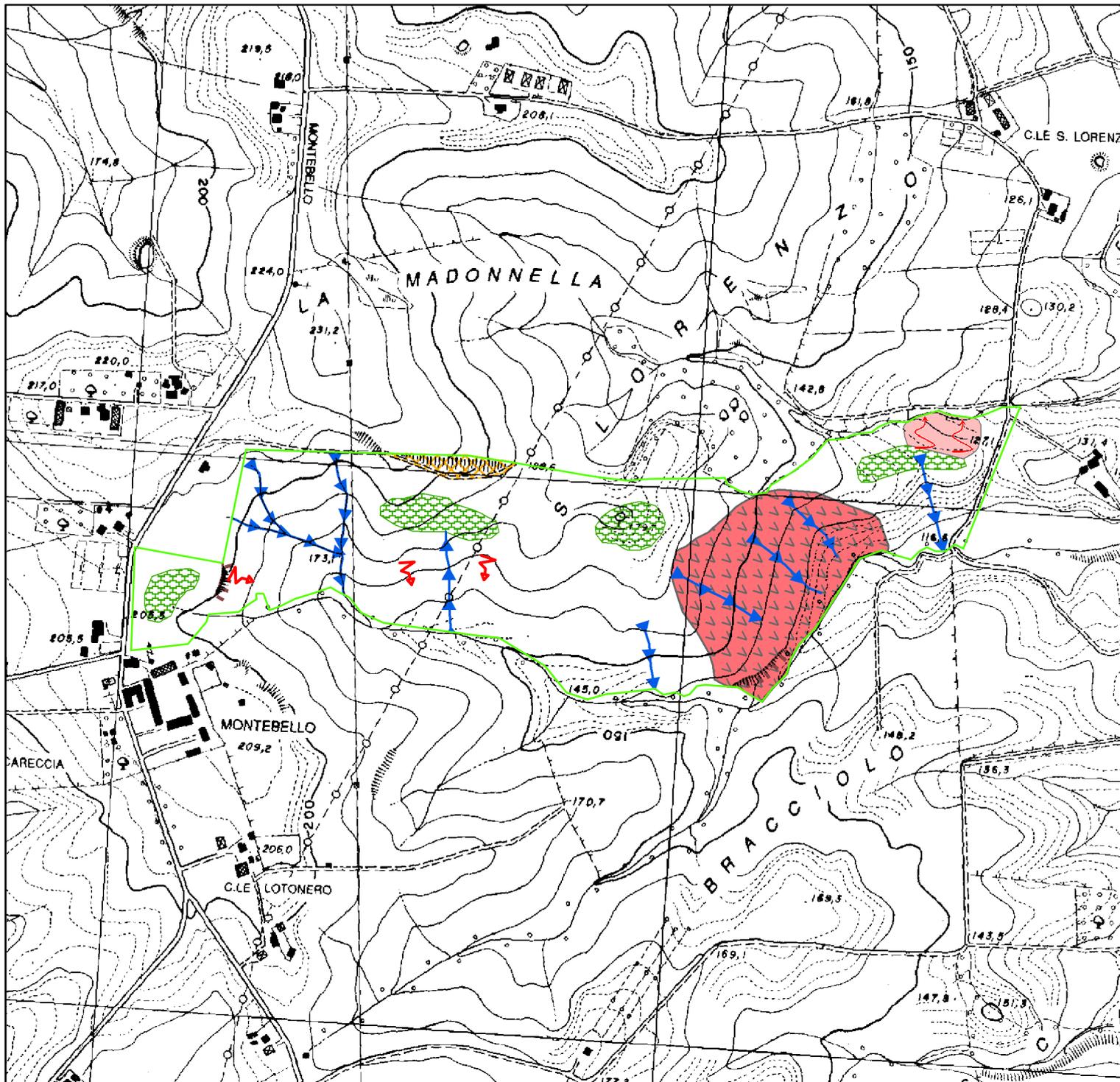
 FTV Tuscania 2

 classe 2
leggermente inclinata

 classe 3
inclinato

Mappa del rilievo geomorfologico di dettaglio

Scala 1:10.000



Legenda



FTV "Tuscania 2"



area interessata da dissesti geomorfologici diffusi



area interessata da soliflusso



erosione incanalata



erosione puntuale



area interessata da fenomeni franosi



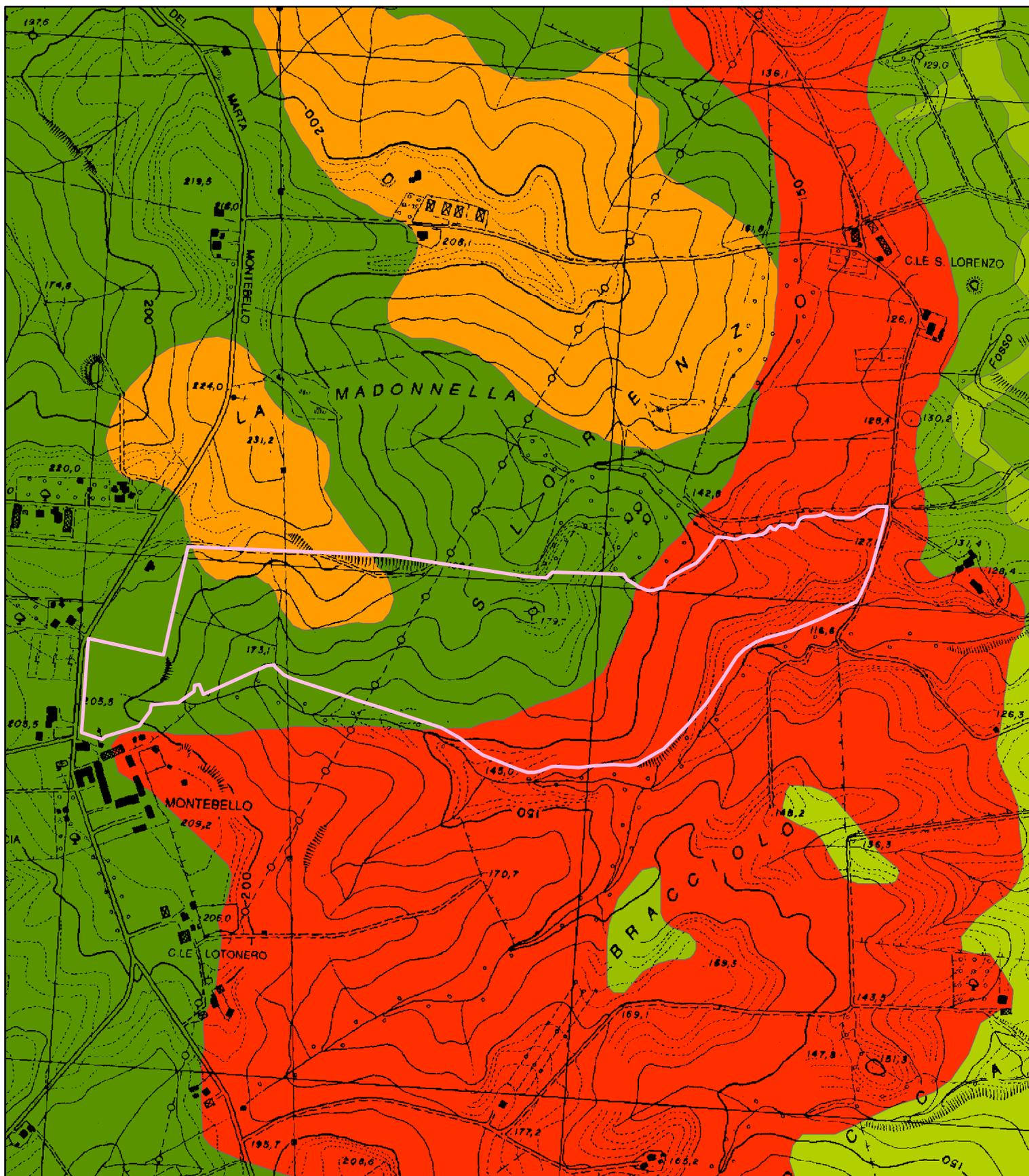
area interessata da erosione superficiale



scarpate

Estratto della carta geologica del Lazio

scala 1:10.000



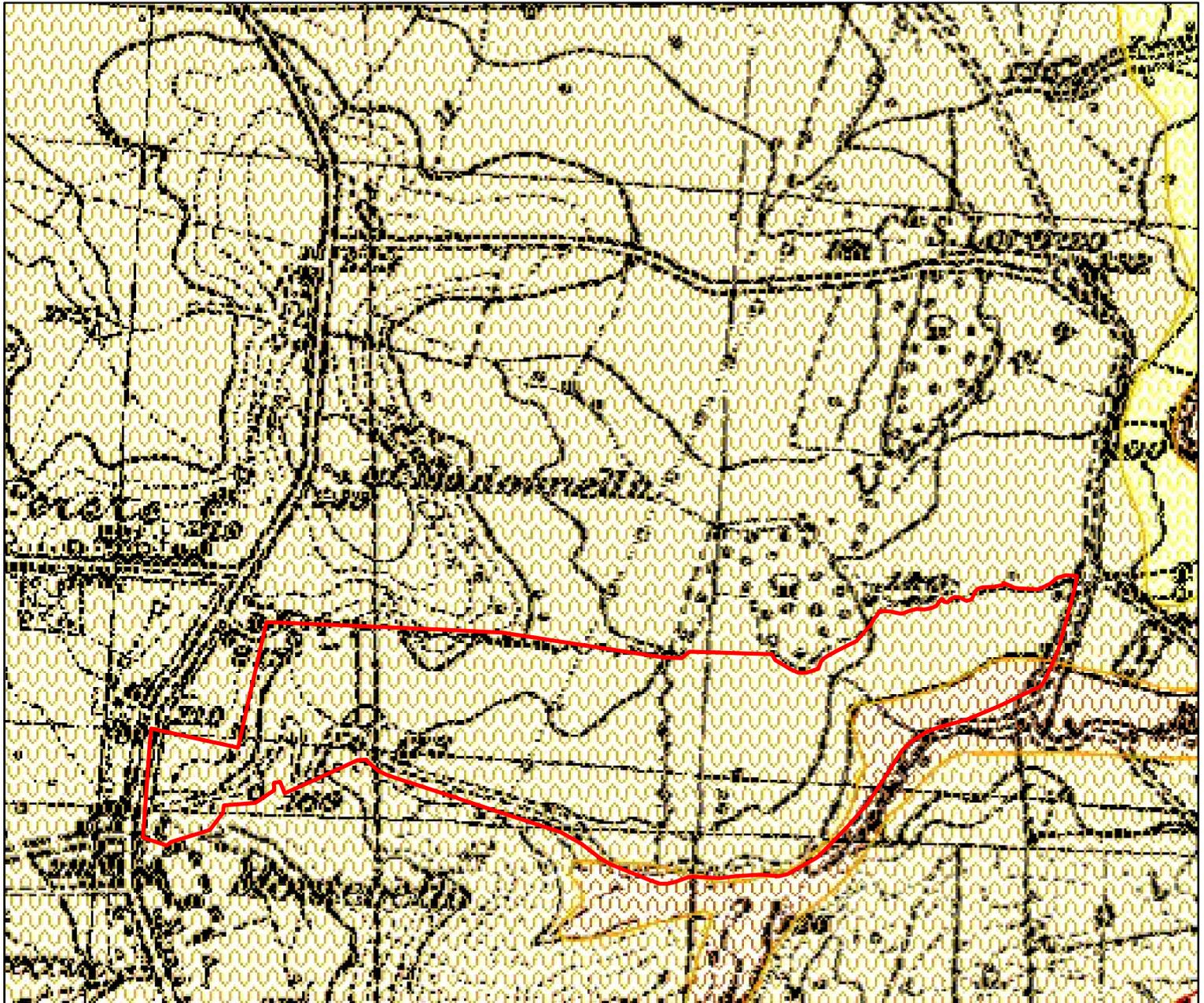
Legenda

- | | | | | | |
|--|---------------------|---|----------------------------------|---|---------------------------|
|  | FTV Toscana 2 |  | Sabbia/arenaria |  | Flysch arenaceo/argilloso |
|  | Calcareniti/calcare |  | Calcarea marnoso marna/argillite |  | Tufo/tufite |

Estratto della carta della permeabilità

scala 1:10.000

fonte: portale cartografico
provincia di Viterbo



Legenda

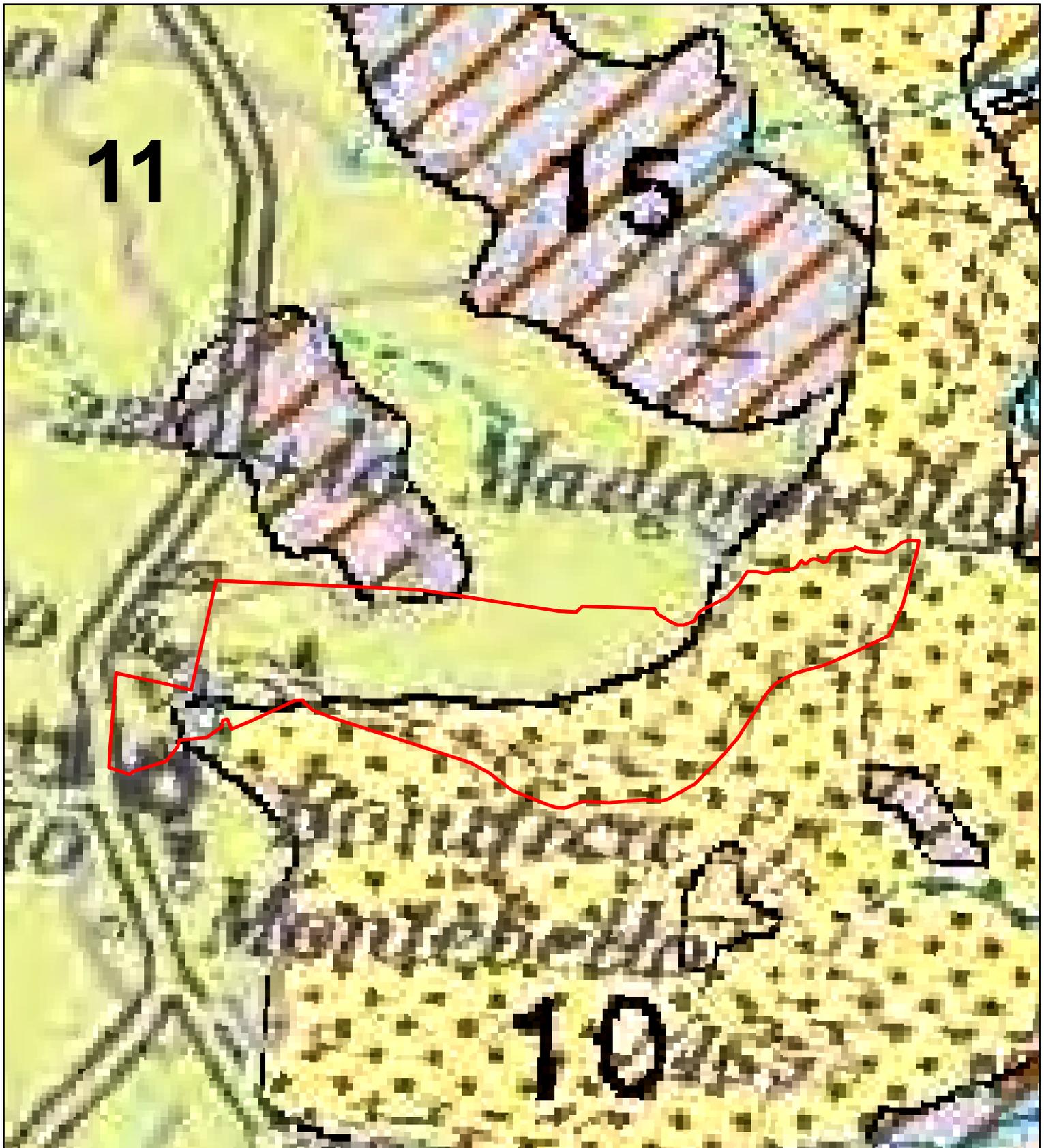
 FTV "Tuscania 2"

 permeabilità media

 permeabilità medio-alta

Estratto della carta idrogeologica della Regione Lazio

scala 1:10.000



Legenda



FTV Toscana 2

15

Complesso dei Flysch marnoso-argillosi

11

Complesso delle calcareniti organogene

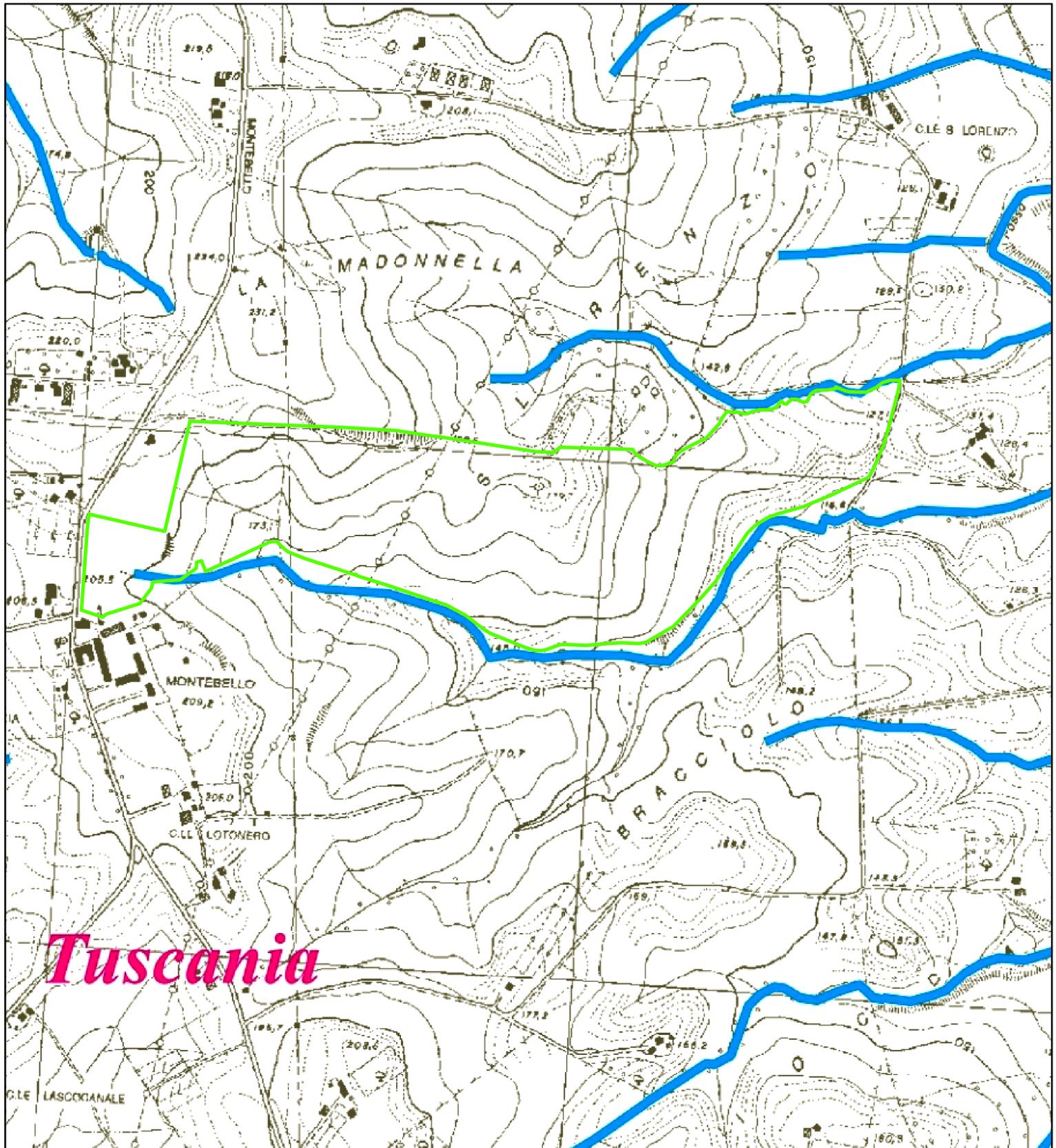
10

Complesso dei depositi clastici eterogenei

Fig. 5a

Estratto della mappa delle Aree sottoposte a tutela per dissesto idrogeologico - Autorità dei Bacini Regionali Lazio

scala 1:10.000



Legenda



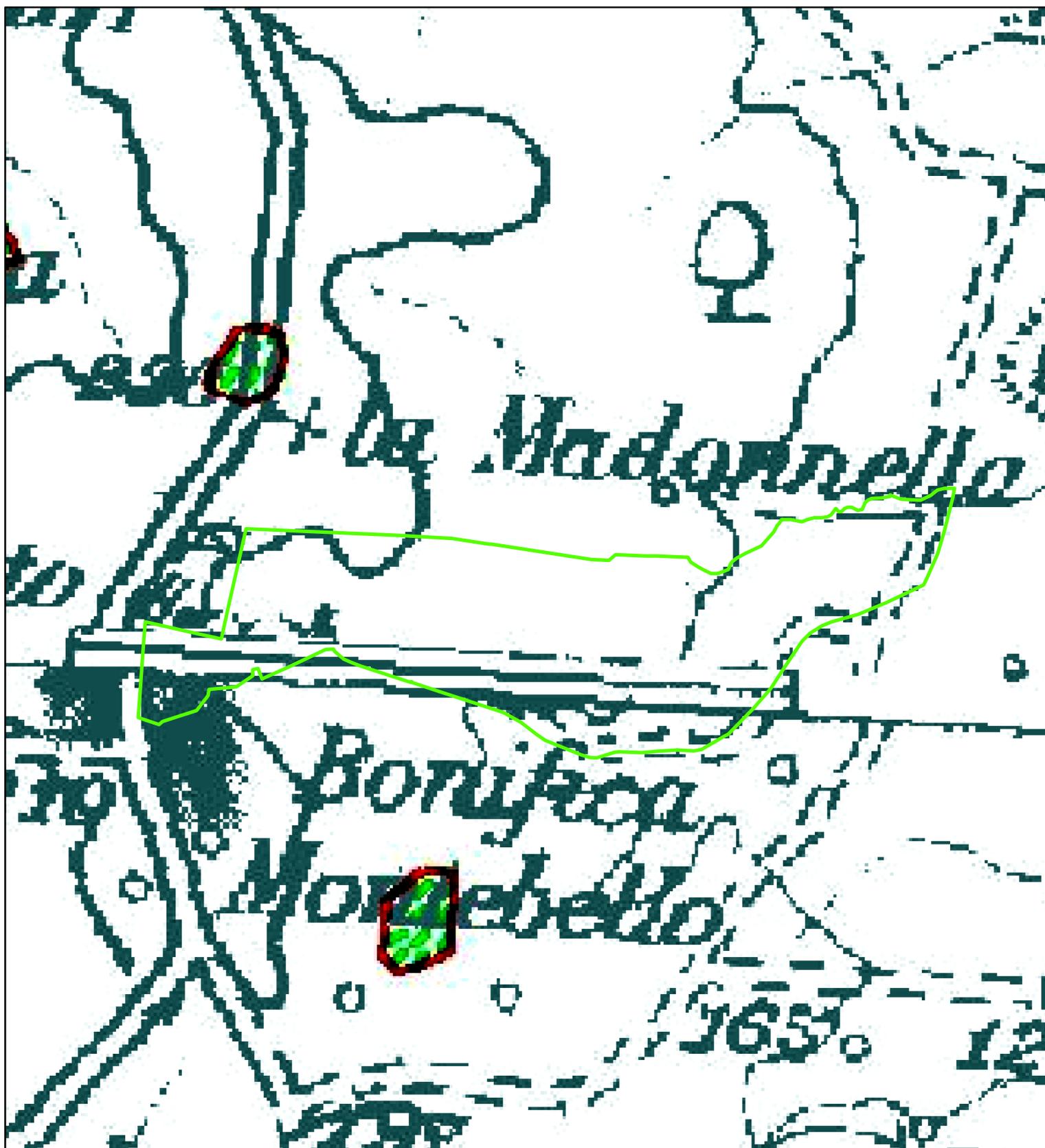
FTV Toscana 2



corsi d'acqua

Estratto della mappa delle Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico - PTPG Viterbo

scala 1:10.000



Legenda

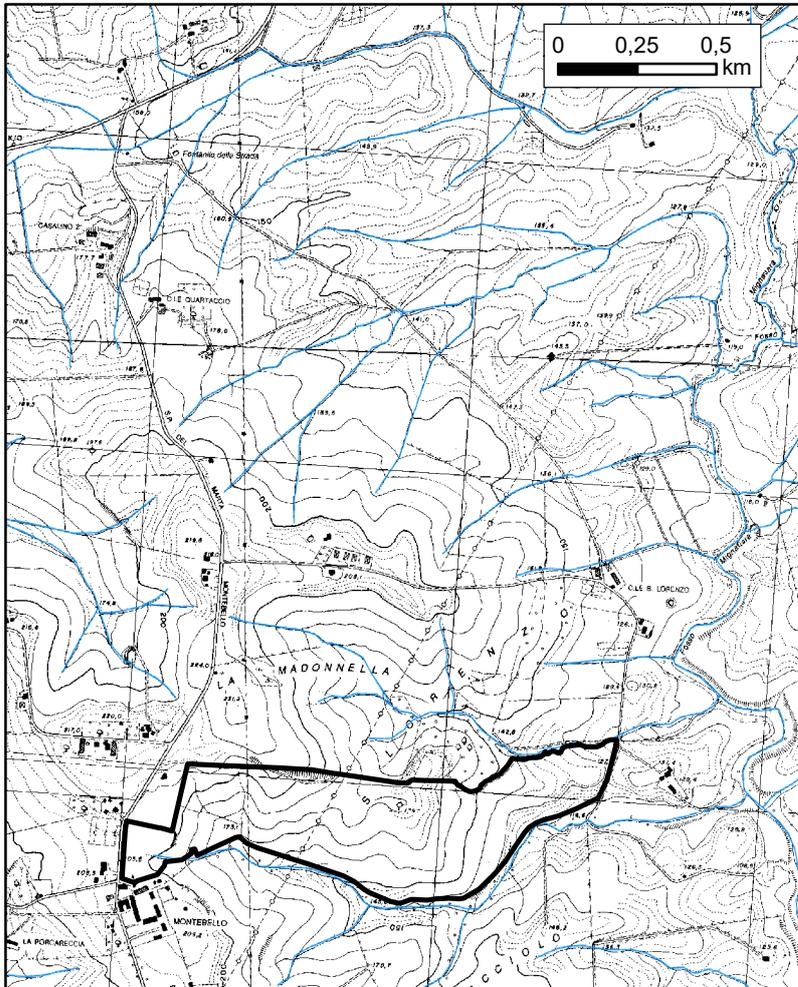


FTV Toscana 2

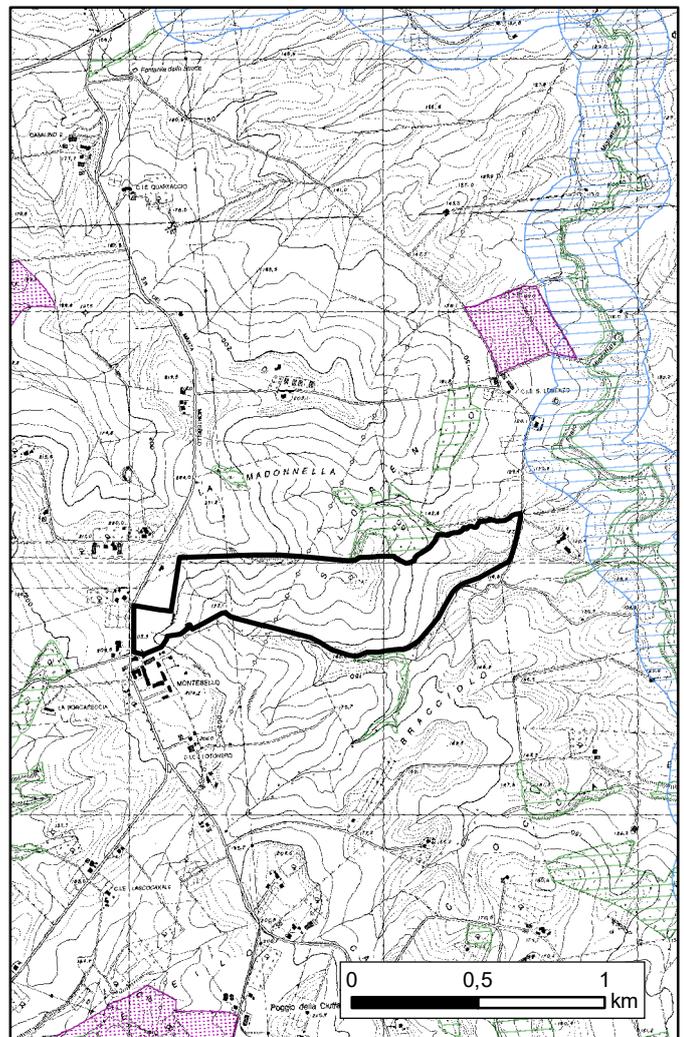


Area interessata da deformazioni superficiali lente e/o soliflusso

Rete idrografica nazionale/provinciale



PTPR Tav. B - Approvato



Rete idrografica (catasto) - fonte: Agenzia delle Entrate

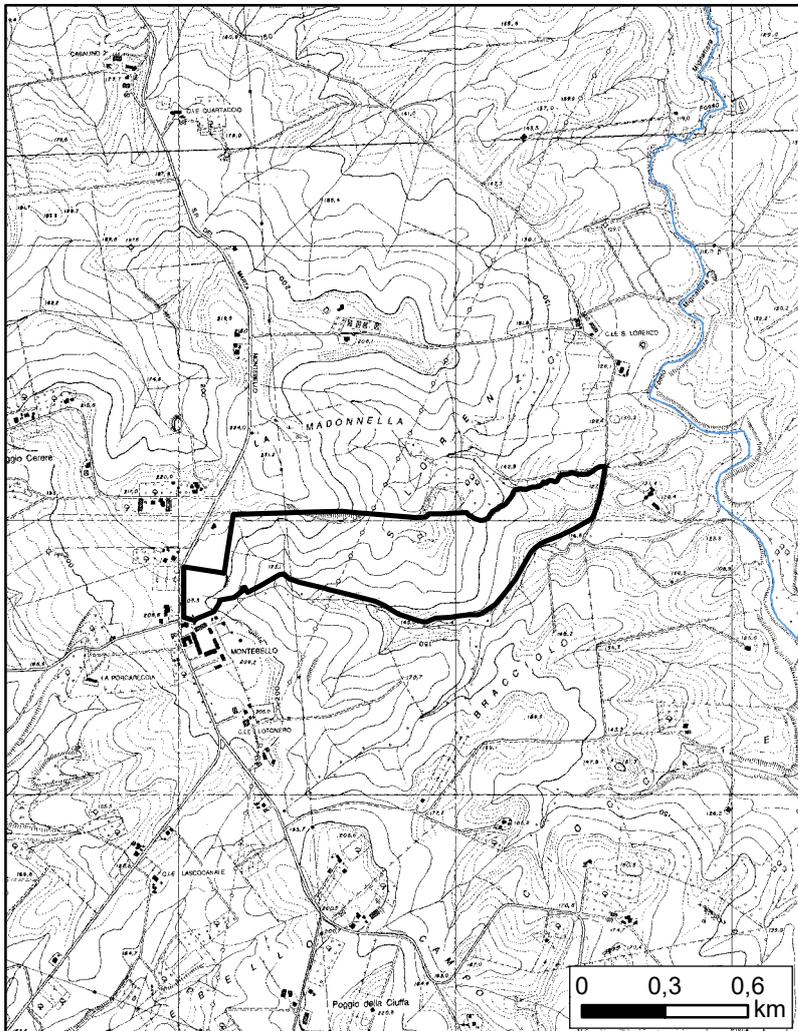
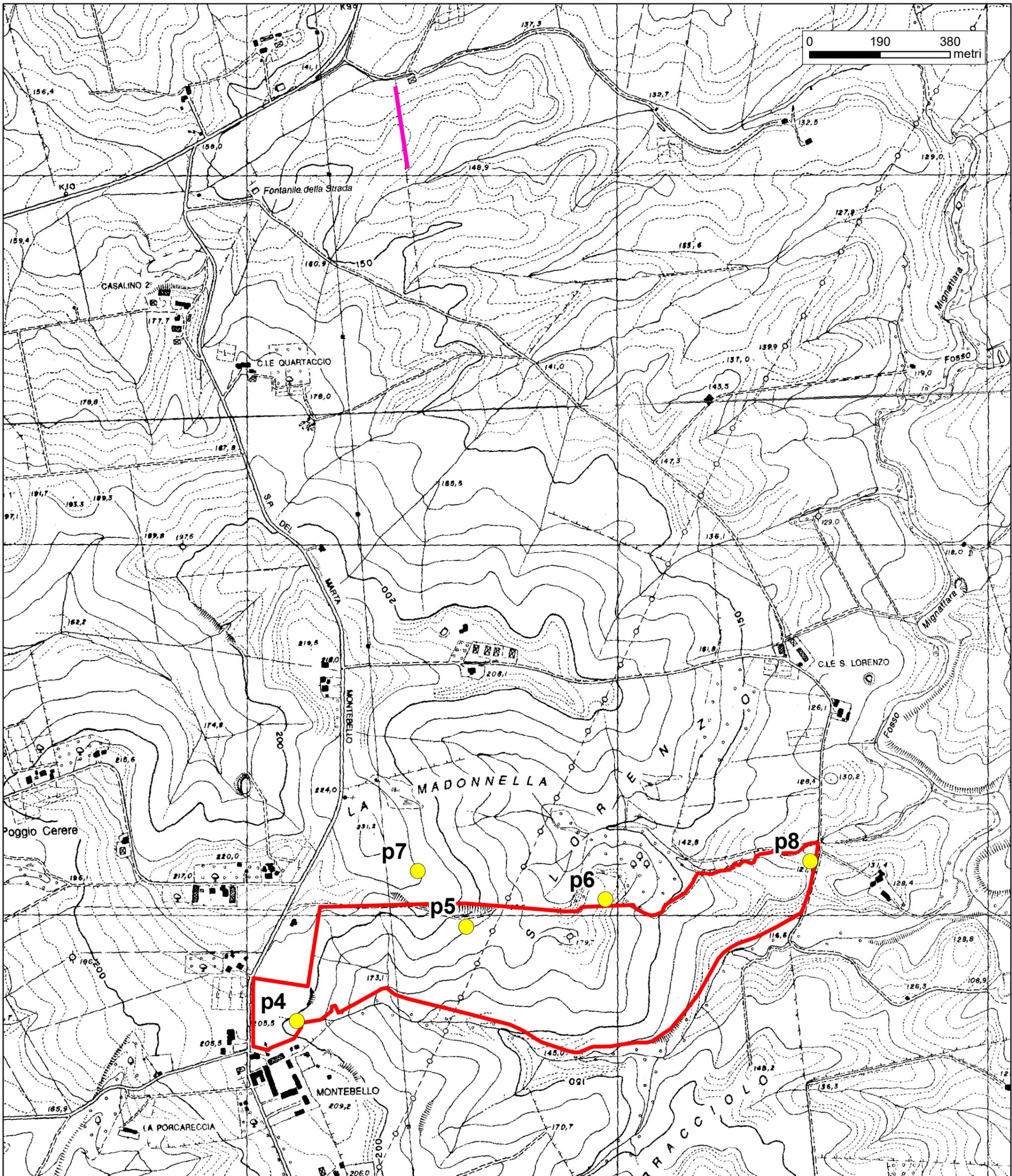


fig. 6b

Carta delle indagini

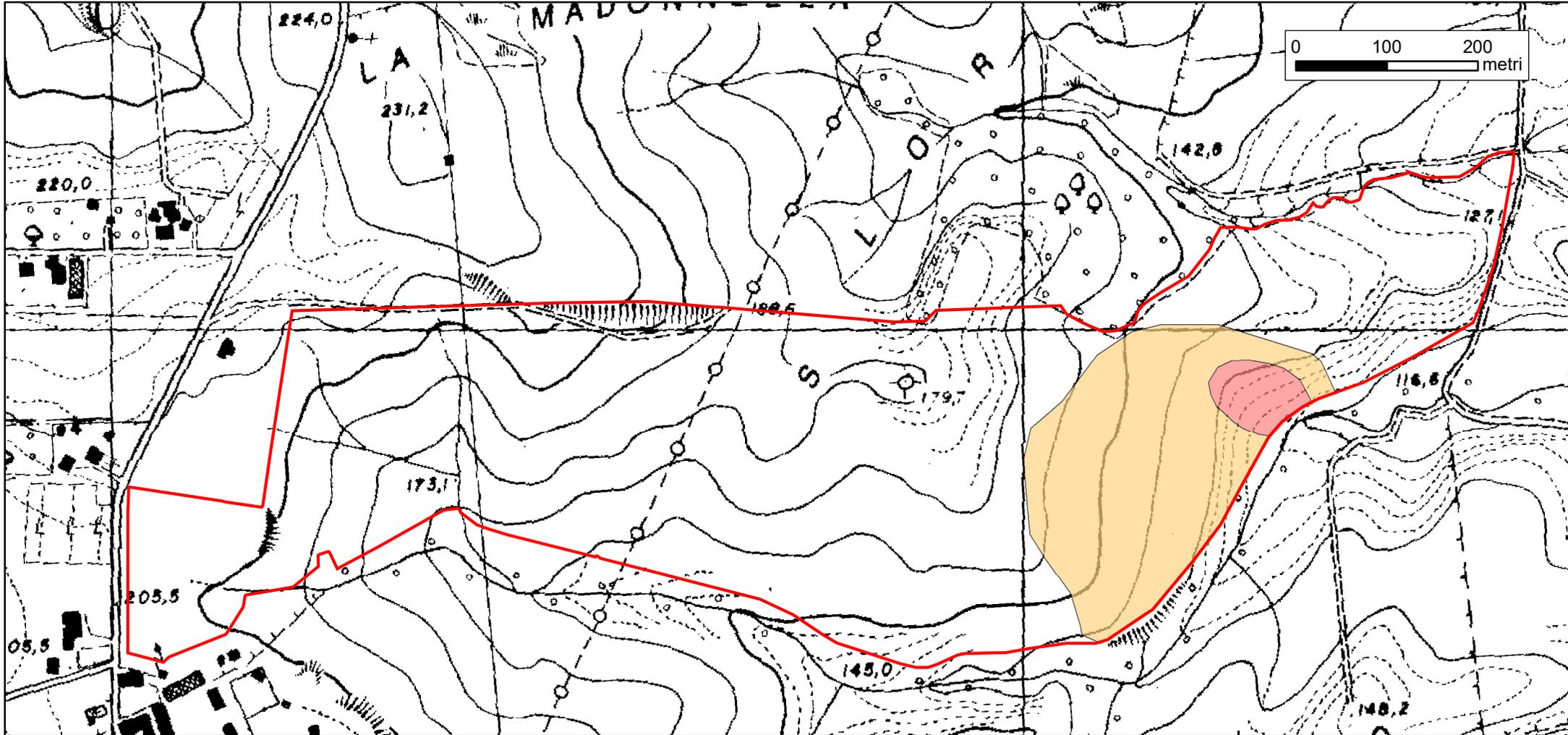


LEGENDA

● prove penetrometriche statiche/dinamiche

█ M.A.S.W.

Approfondimento area a dissesto - Tuscania 2



Legenda

- | | | | | | |
|--|----------------|---|-----------------|--|--|
|  | FTV Tuscania 2 |  | area non idonea |  | area potenzialmente idonea previa interventi di stabilizzazione del versante con corretta regimazione mediante drenaggi a lisca di pesce, verifiche di stabilità pre e post opera e idonee indagini geotecniche di dettaglio |
|--|----------------|---|-----------------|--|--|

fig. 8

ALLEGATO 1

Prove penetrometriche statiche - dinamiche

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiaptec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

4

Riferimento: 05 dps4 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,60
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA

PESO MASSA BATTENTE M = 63,50 kg

ALTEZZA CADUTA LIBERA H = 0,75 m

DIAMETRO PUNTA CONICA D = 51,00 mm

AREA BASE PUNTA CONICA A = 20 cm²

ANGOLO APERTURA PUNTA $\alpha = 90^\circ$

LUNGHEZZA DELLE ASTE La = 1,00 m

AVANZAMENTO PUNTA $\delta = 0,20$ m

NUMERO DI COLPI PUNTA N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm

RIVESTIMENTO / FANGHI - NO

resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A] M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = δ / N P = peso totale aste e sistema battuta



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

4

Tabella valori di resistenza

Riferimento: 05 dpsh4 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,60
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	1	10,83	-	1	da 0,80 a 1,00	8	86,64	-	1
da 0,20 a 0,40	2	21,66	-	1	da 1,00 a 1,20	14	139,05	-	2
da 0,40 a 0,60	3	32,49	-	1	da 1,20 a 1,40	37	367,50	-	2
da 0,60 a 0,80	6	64,98	-	1	da 1,40 a 1,60	85	844,25	-	2

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

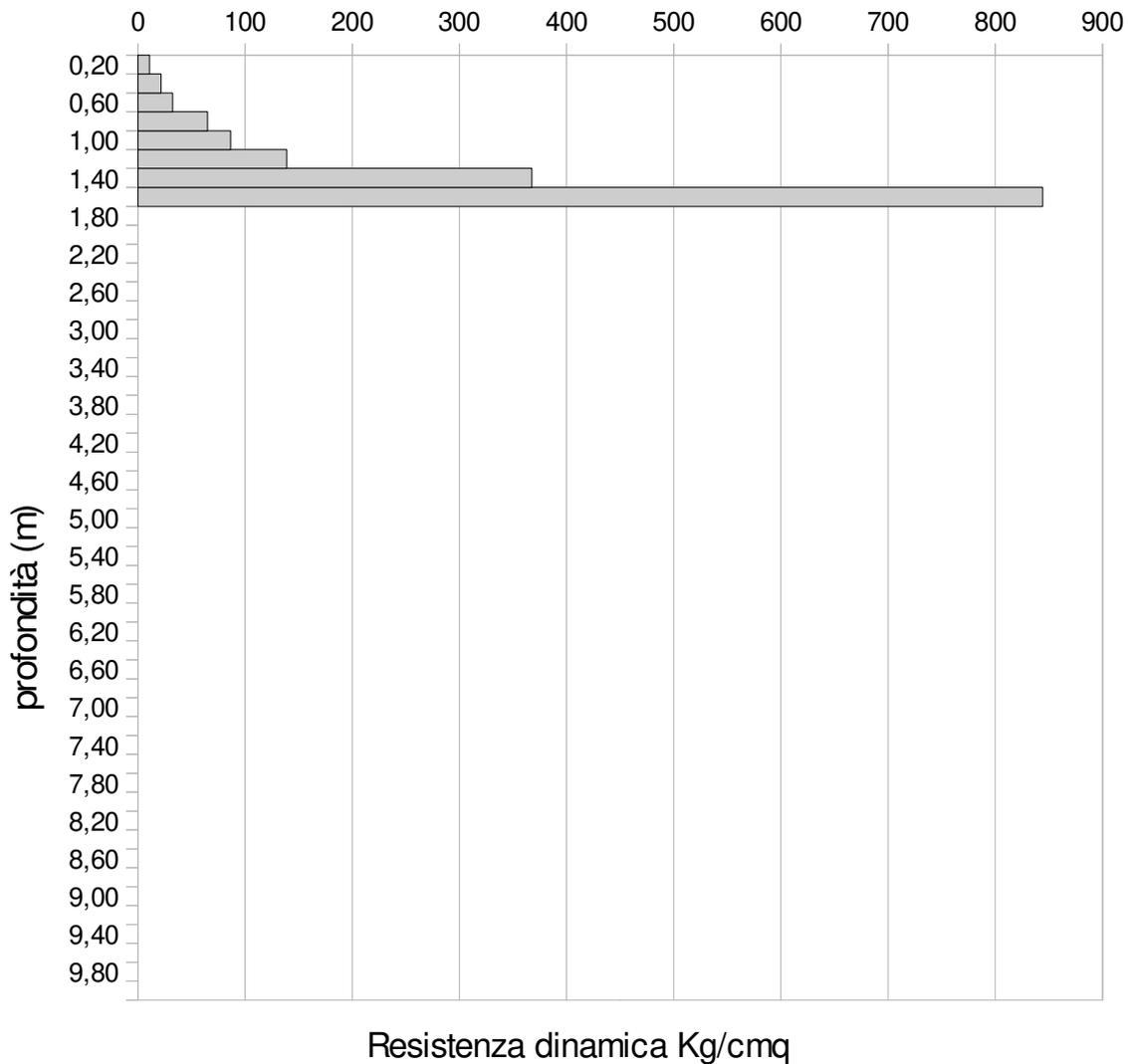
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

4

Resistenza dinamica - profondità

Riferimento: 05 dpsh4 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,60
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

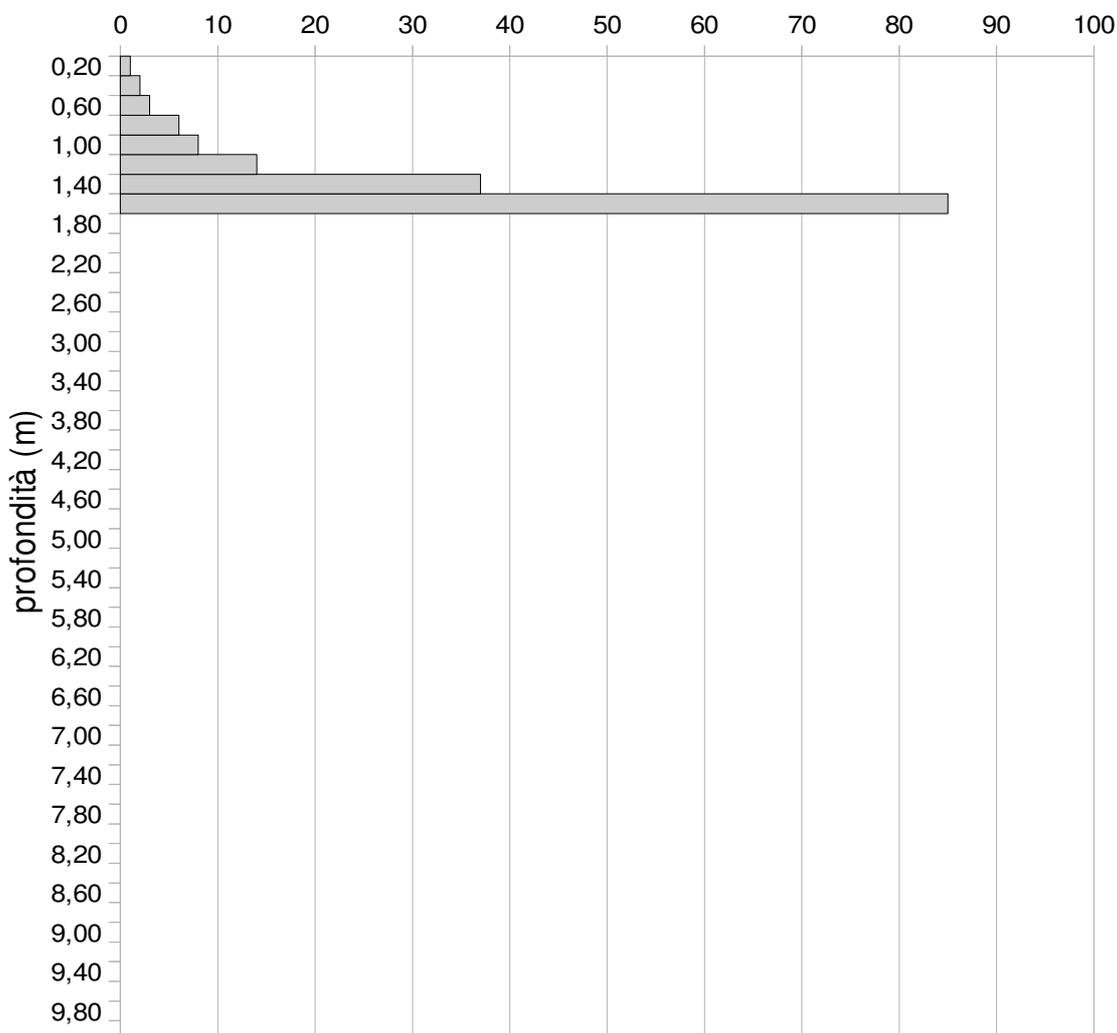
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n° 4

Grafico Ndp - profondità

Riferimento: 05 dpsh4 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,60
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



N colpi x 20 cm d'infissione

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiappec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

6

Riferimento: 05 dpsh6 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA

PESO MASSA BATTENTE M = 63,50 kg

ALTEZZA CADUTA LIBERA H = 0,75 m

DIAMETRO PUNTA CONICA D = 51,00 mm

AREA BASE PUNTA CONICA A = 20 cm²

ANGOLO APERTURA PUNTA $\alpha = 90^\circ$

LUNGHEZZA DELLE ASTE La = 1,00 m

AVANZAMENTO PUNTA $\delta = 0,20$ m

NUMERO DI COLPI PUNTA N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm

RIVESTIMENTO / FANGHI - NO

resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A] M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = δ / N P = peso totale aste e sistema battuta



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

6

Tabella valori di resistenza

Riferimento: 05 dpsh6 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	1	10,83	-	1	da 0,60 a 0,80	37	400,71	-	1
da 0,20 a 0,40	2	21,66	-	1	da 0,80 a 1,00	65	703,95	-	1
da 0,40 a 0,60	5	54,15	-	1					

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

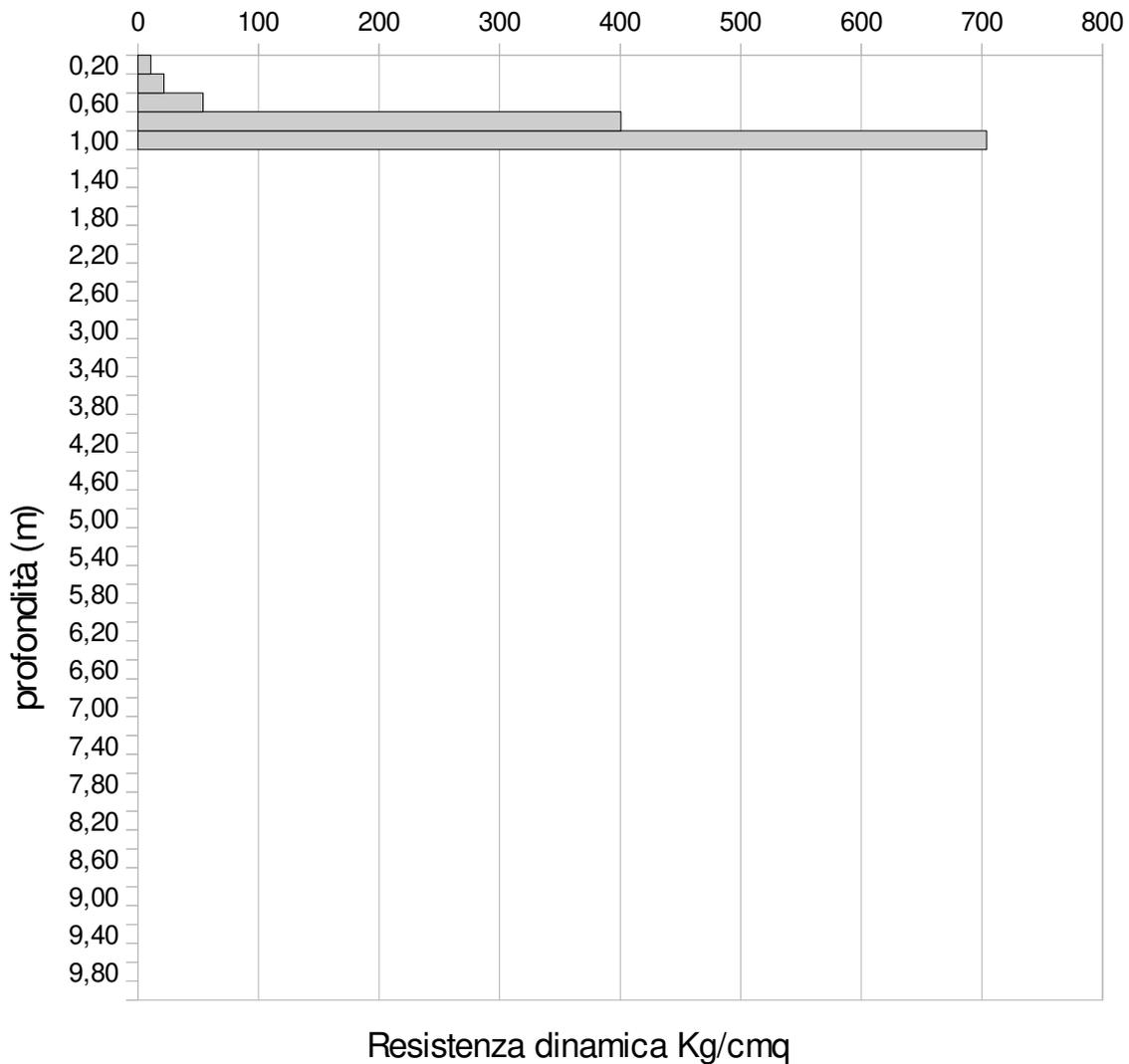
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

6

Resistenza dinamica - profondità

Riferimento: 05 dpsh6 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

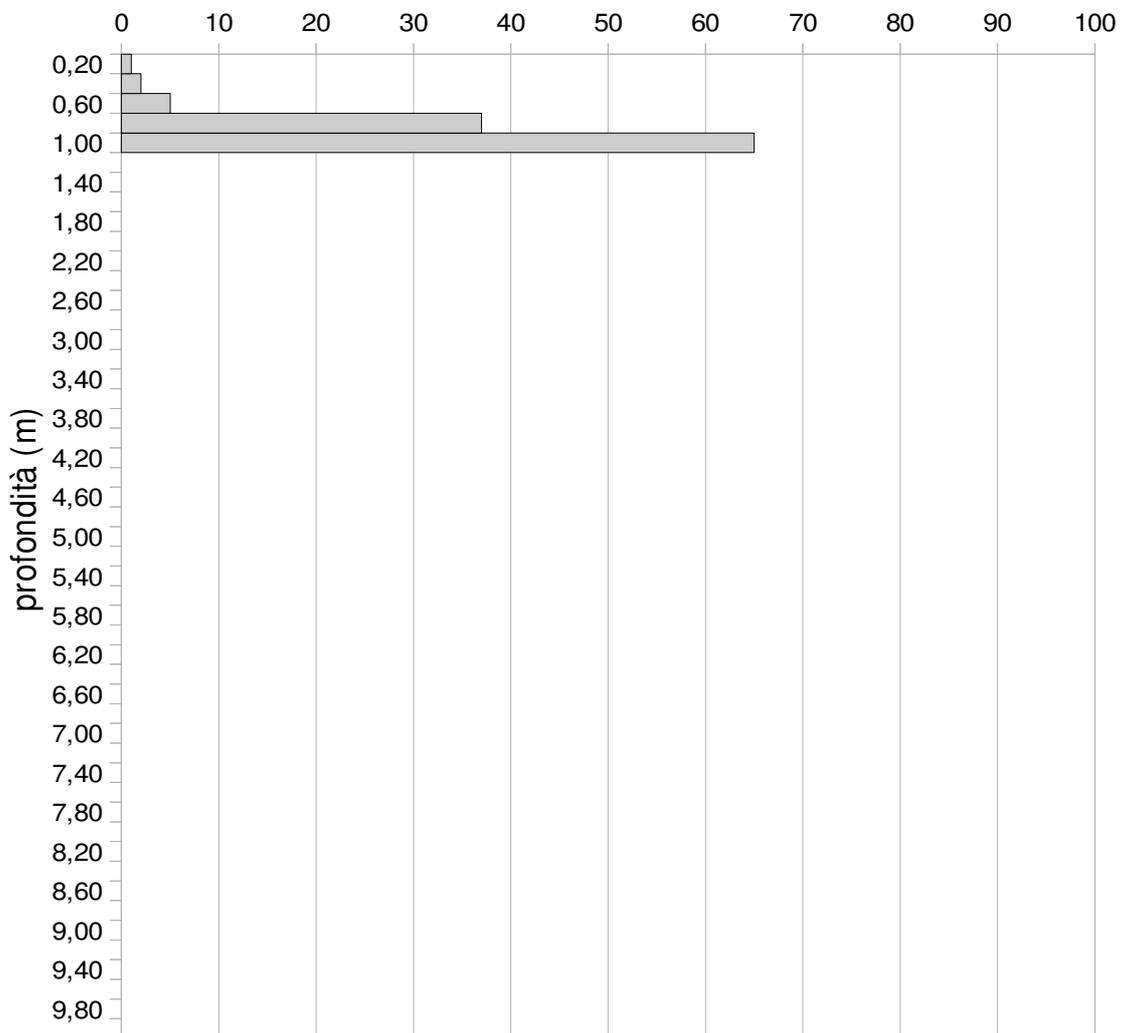
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n° 6

Grafico Ndp - profondità

Riferimento: 05 dpsh6 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



N colpi x 20 cm d'infissione

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetratiosnc@lamiaptec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

7

Riferimento: 05 dpsh7 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SISTEMA

PESO MASSA BATTENTE M = 63,50 kg

ALTEZZA CADUTA LIBERA H = 0,75 m

DIAMETRO PUNTA CONICA D = 51,00 mm

AREA BASE PUNTA CONICA A = 20 cm²

ANGOLO APERTURA PUNTA $\alpha = 90^\circ$

LUNGHEZZA DELLE ASTE La = 1,00 m

AVANZAMENTO PUNTA $\delta = 0,20$ m

NUMERO DI COLPI PUNTA N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm

RIVESTIMENTO / FANGHI - NO

resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A] M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = δ / N P = peso totale aste e sistema battuta



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiaptec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

7

Tabella valori di resistenza

Riferimento: 05 dps7 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		

Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste	Prof.(cm)	N colpi punta	Rpd	N colpi rivestimento	aste
da 0,00 a 0,20	1	10,83	-	1	da 0,60 a 0,80	55	595,65	-	1
da 0,20 a 0,40	2	21,66	-	1	da 0,80 a 1,00	61	660,63	-	1
da 0,40 a 0,60	20	216,60	-	1					

PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

PEC: penetrationsnc@lamiapec.it

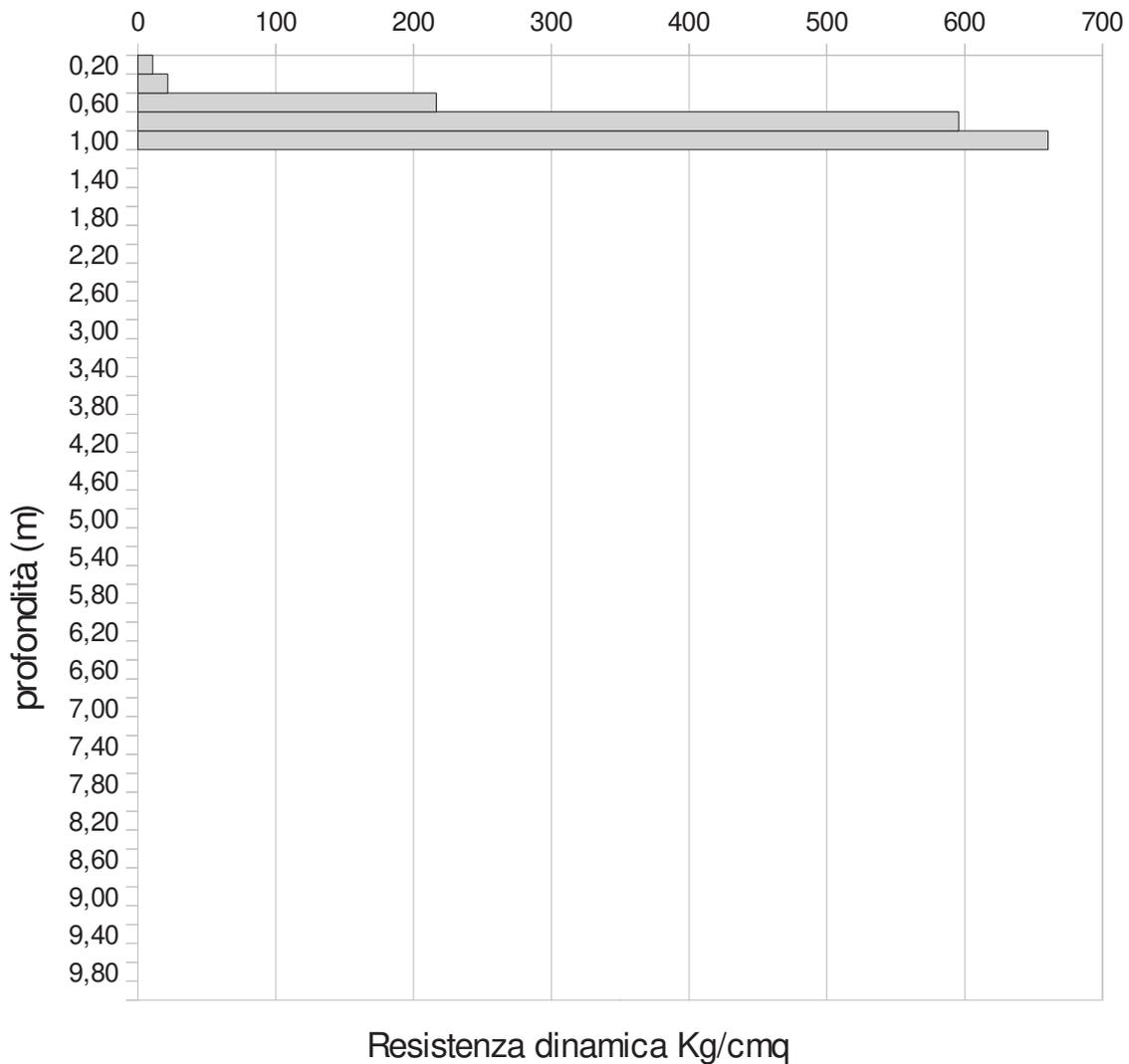
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n°

7

Resistenza dinamica - profondità

Riferimento: 05 dpsh7 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



PENETRATIO S.N.C.

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

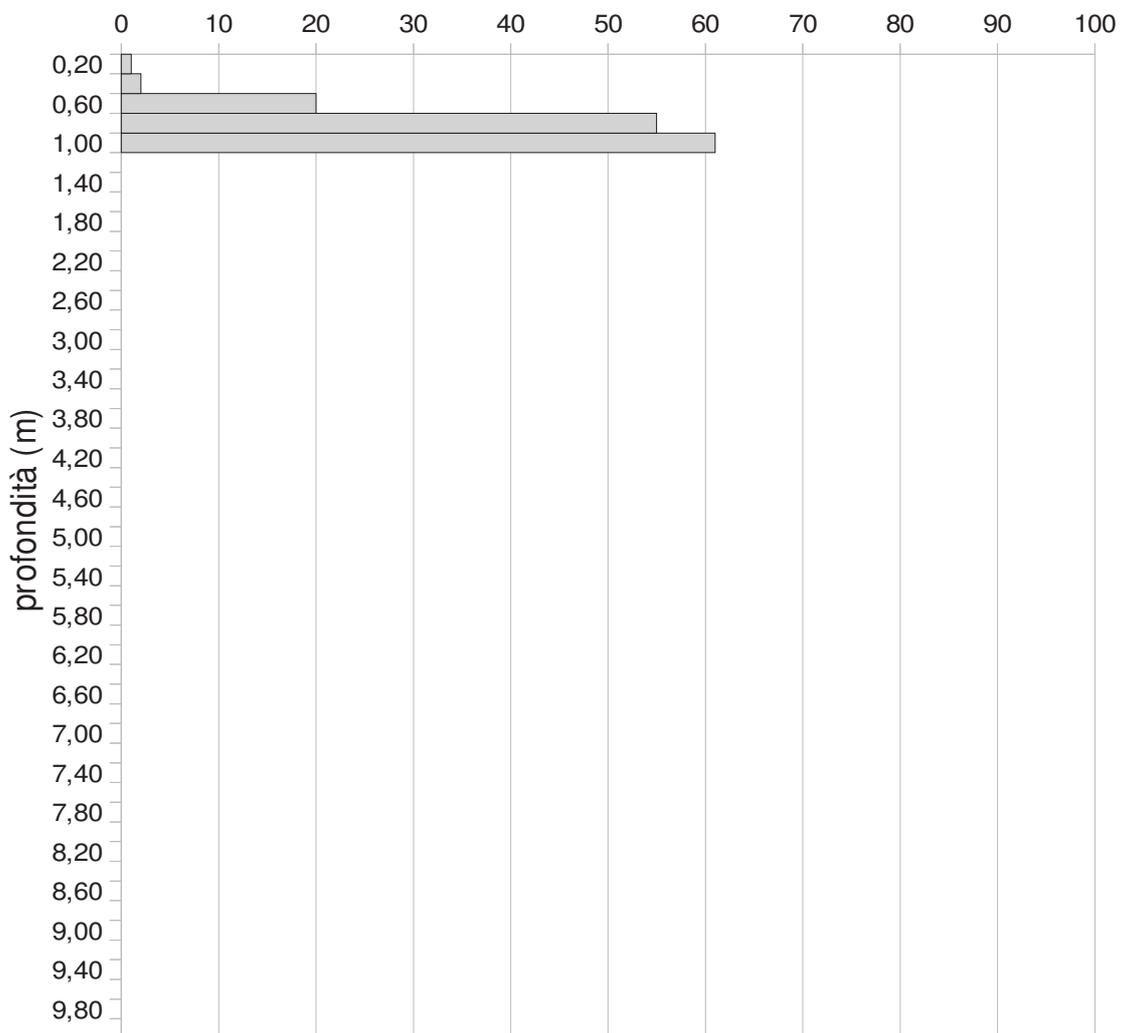
PEC: penetratiosnc@lamiapec.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH n° 7

Grafico Ndp - profondità

Riferimento: 05 dpsh7 2021

Committente:	Soc. IdroGeo Service Srl	Data:	19/01/2021
Località:	Tuscania	Prof.tà:	1,00
Comune:	Tuscania (VT)	Falda:	-
Note:	termine prova per sopraggiunto rifiuto strumentale		



N colpi x 20 cm d'infissione

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 5

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Toscana (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,60	----	4,60	17,0	42,0	17,0	1,93	9,0
0,40	9,0	18,0	9,0	0,67	13,0	4,80	24,0	53,0	24,0	1,93	12,0
0,60	12,0	22,0	12,0	1,27	9,0	5,00	27,0	56,0	27,0	2,00	14,0
0,80	13,0	32,0	13,0	1,33	10,0	5,20	39,0	69,0	39,0	2,20	18,0
1,00	13,0	33,0	13,0	1,40	9,0	5,40	40,0	73,0	40,0	1,87	21,0
1,20	12,0	33,0	12,0	1,53	8,0	5,60	44,0	72,0	44,0	2,40	18,0
1,40	11,0	34,0	11,0	1,27	9,0	5,80	46,0	82,0	46,0	2,33	20,0
1,60	13,0	32,0	13,0	1,20	11,0	6,00	45,0	80,0	45,0	2,20	20,0
1,80	13,0	31,0	13,0	1,40	9,0	6,20	43,0	76,0	43,0	2,07	21,0
2,00	12,0	33,0	12,0	1,20	10,0	6,40	45,0	76,0	45,0	2,40	19,0
2,20	14,0	32,0	14,0	1,33	10,0	6,60	43,0	79,0	43,0	2,67	16,0
2,40	15,0	35,0	15,0	1,47	10,0	6,80	40,0	80,0	40,0	2,60	15,0
2,60	12,0	34,0	12,0	1,20	10,0	7,00	35,0	74,0	35,0	1,80	19,0
2,80	13,0	31,0	13,0	1,20	11,0	7,20	37,0	64,0	37,0	2,07	18,0
3,00	14,0	32,0	14,0	0,80	17,0	7,40	44,0	75,0	44,0	2,33	19,0
3,20	18,0	30,0	18,0	1,27	14,0	7,60	42,0	77,0	42,0	2,07	20,0
3,40	21,0	40,0	21,0	1,33	16,0	7,80	39,0	70,0	39,0	2,53	15,0
3,60	24,0	44,0	24,0	1,67	14,0	8,00	40,0	78,0	40,0	2,40	17,0
3,80	20,0	45,0	20,0	1,73	12,0	8,20	42,0	78,0	42,0	2,47	17,0
4,00	22,0	48,0	22,0	1,20	18,0	8,40	45,0	82,0	45,0	2,73	16,0
4,20	22,0	40,0	22,0	1,33	16,0	8,60	48,0	89,0	48,0	-----	----
4,40	20,0	40,0	20,0	1,67	12,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (senza anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 8

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Toscana (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,13	----	4,40	60,0	107,0	60,0	3,27	18,0
0,40	105,0	122,0	105,0	1,20	87,0	4,60	62,0	111,0	62,0	3,13	20,0
0,60	60,0	78,0	60,0	1,93	31,0	4,80	69,0	116,0	69,0	3,53	20,0
0,80	24,0	53,0	24,0	1,73	14,0	5,00	69,0	122,0	69,0	3,47	20,0
1,00	31,0	57,0	31,0	1,47	21,0	5,20	67,0	119,0	67,0	2,60	26,0
1,20	48,0	70,0	48,0	2,53	19,0	5,40	69,0	108,0	69,0	2,93	24,0
1,40	46,0	84,0	46,0	2,20	21,0	5,60	60,0	104,0	60,0	2,80	21,0
1,60	43,0	76,0	43,0	1,60	27,0	5,80	67,0	109,0	67,0	2,47	27,0
1,80	44,0	68,0	44,0	2,53	17,0	6,00	61,0	98,0	61,0	2,40	25,0
2,00	50,0	88,0	50,0	2,27	22,0	6,20	58,0	94,0	58,0	2,67	22,0
2,20	52,0	86,0	52,0	2,53	21,0	6,40	50,0	90,0	50,0	2,47	20,0
2,40	65,0	103,0	65,0	2,53	26,0	6,60	52,0	89,0	52,0	2,93	18,0
2,60	67,0	105,0	67,0	2,73	25,0	6,80	56,0	100,0	56,0	2,80	20,0
2,80	57,0	98,0	57,0	2,93	19,0	7,00	68,0	110,0	68,0	4,00	17,0
3,00	58,0	102,0	58,0	3,13	19,0	7,20	70,0	130,0	70,0	2,67	26,0
3,20	57,0	104,0	57,0	3,07	19,0	7,40	69,0	109,0	69,0	3,40	20,0
3,40	59,0	105,0	59,0	3,07	19,0	7,60	84,0	135,0	84,0	3,93	21,0
3,60	66,0	112,0	66,0	3,33	20,0	7,80	89,0	148,0	89,0	3,20	28,0
3,80	64,0	114,0	64,0	3,07	21,0	8,00	104,0	152,0	104,0	2,87	36,0
4,00	63,0	109,0	63,0	3,00	21,0	8,20	136,0	179,0	136,0	-----	----
4,20	62,0	107,0	62,0	3,13	20,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (senza anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA

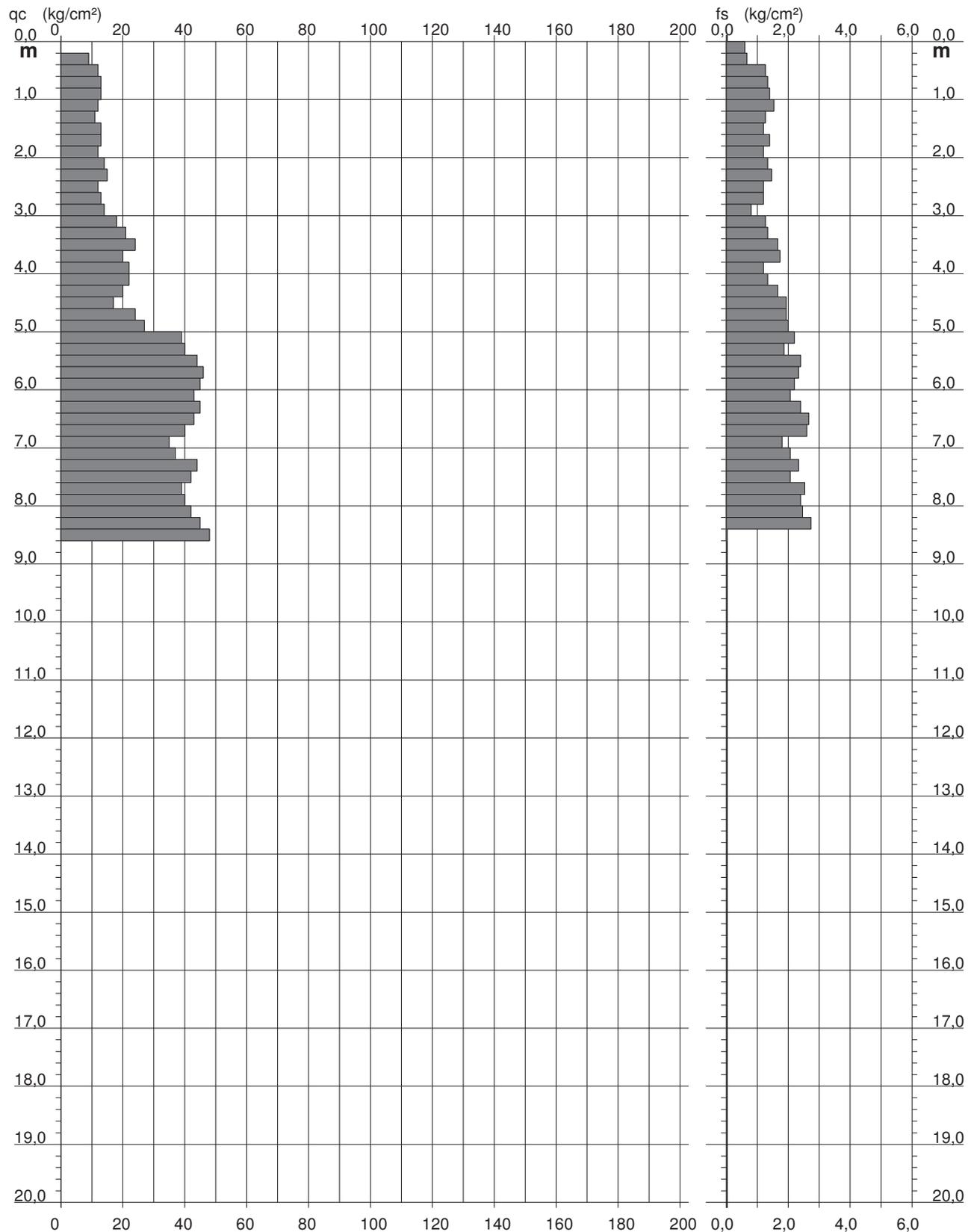
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Tuscania (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata



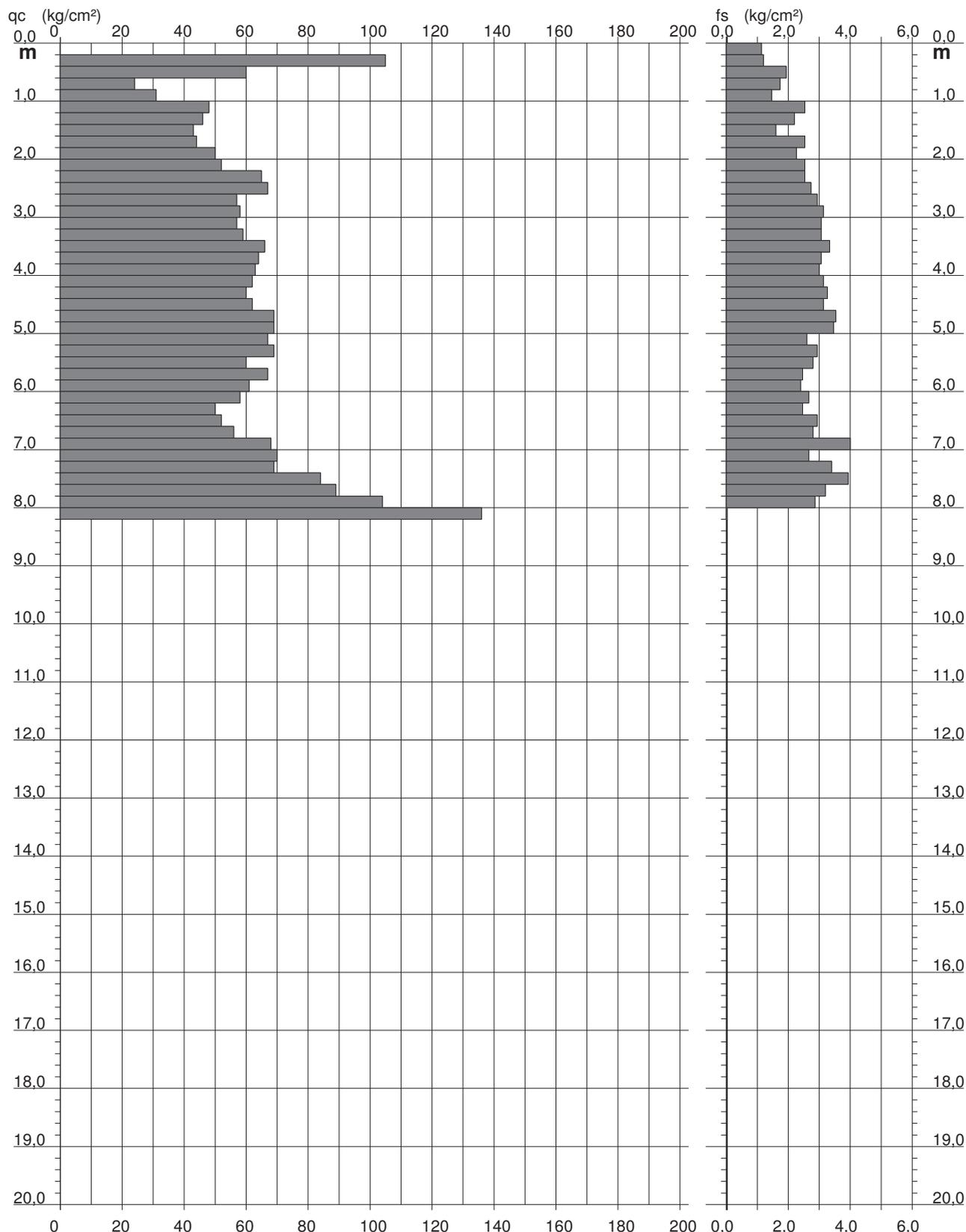
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Tuscania (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

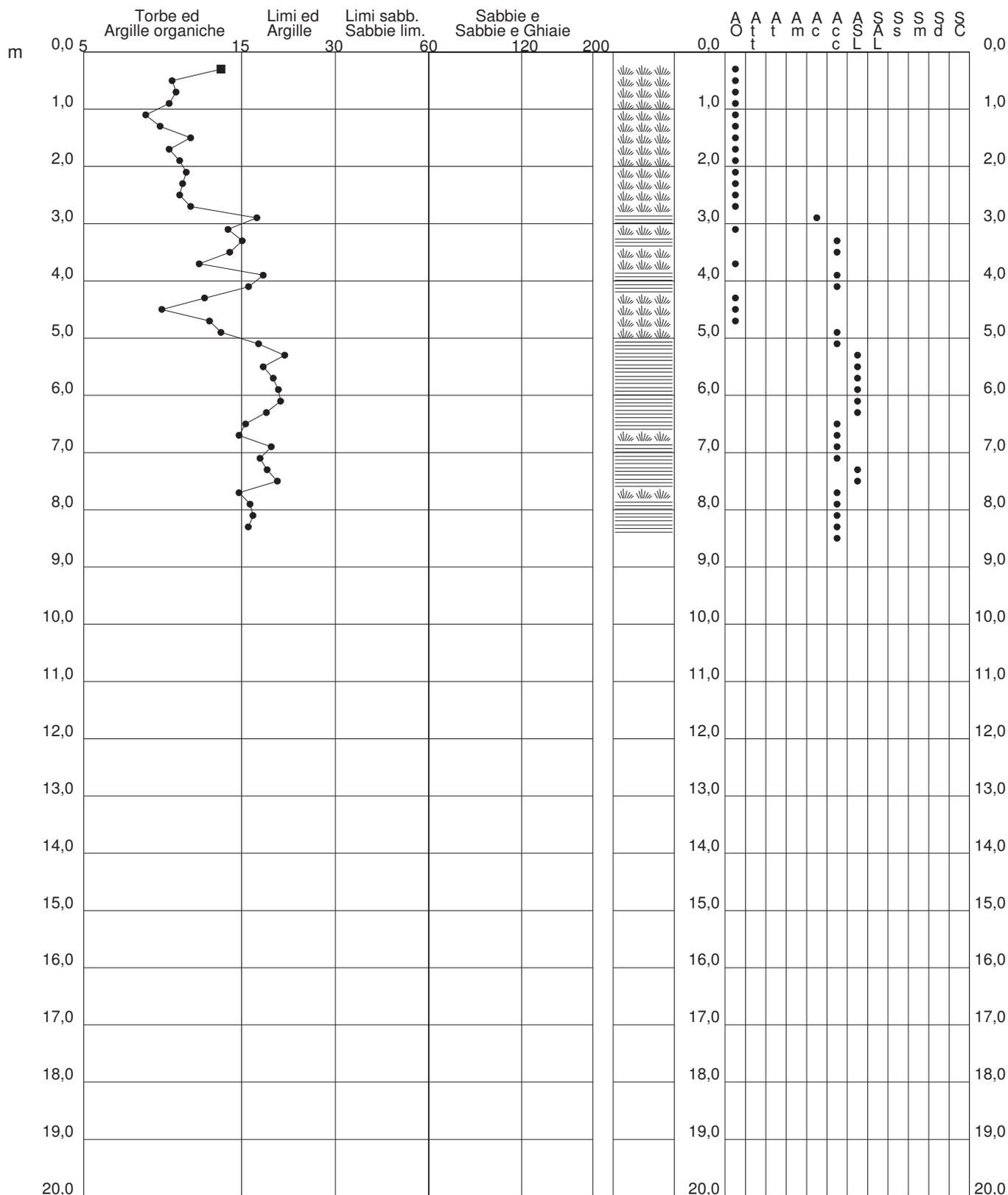
2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Tuscania (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

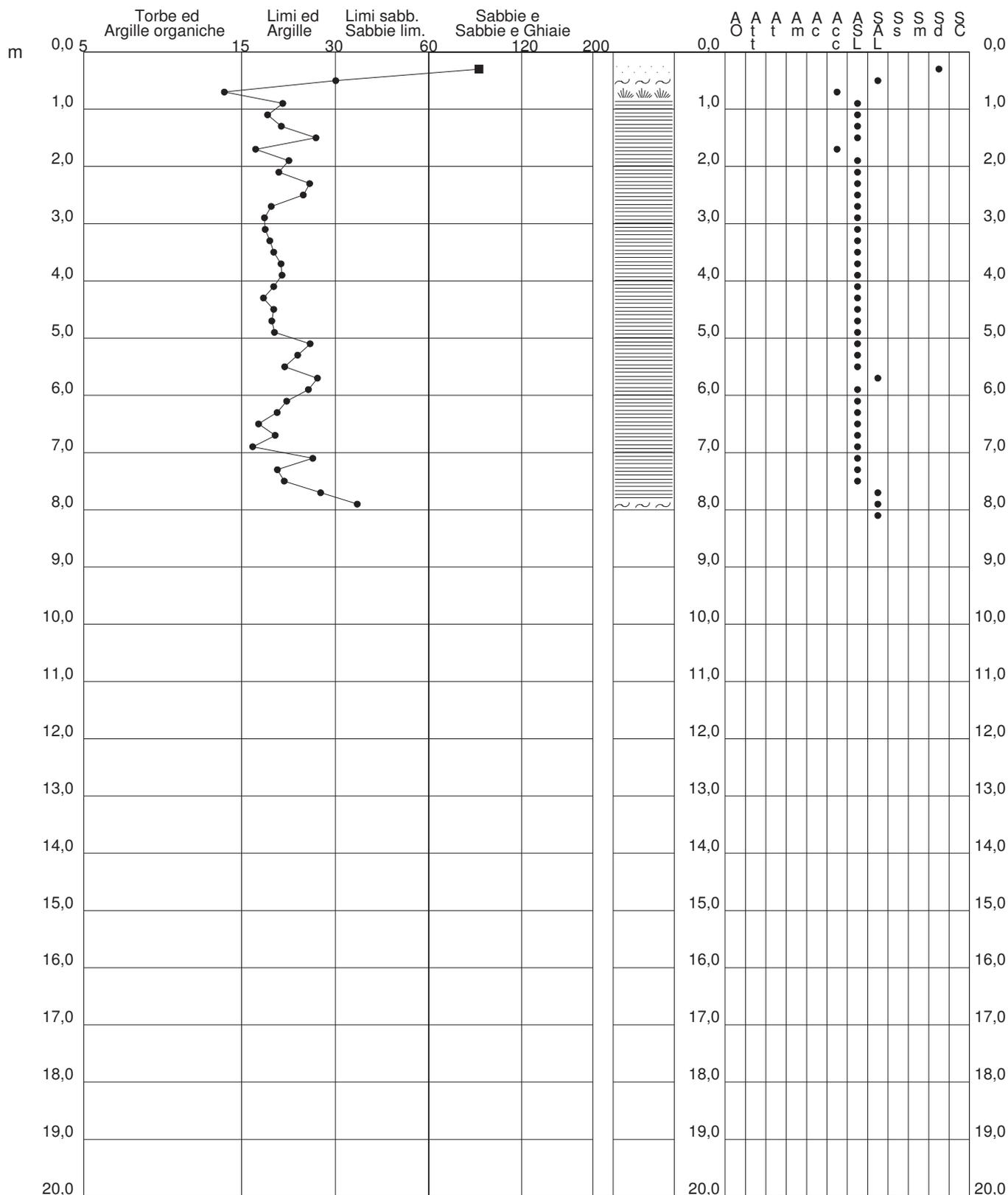
2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Tuscania (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 5

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Tuscania (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	9	13	2////	1,85	0,07	0,45	60,0	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	12	9	2////	1,85	0,11	0,57	48,7	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	13	10	2////	1,85	0,15	0,60	36,5	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	13	9	2////	1,85	0,19	0,60	27,6	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	12	8	2////	1,85	0,22	0,57	20,5	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	11	9	2////	1,85	0,26	0,54	15,6	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	13	11	2////	1,85	0,30	0,60	15,3	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	13	9	2////	1,85	0,33	0,60	13,2	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	12	10	2////	1,85	0,37	0,57	10,8	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	14	10	2////	1,85	0,41	0,64	11,0	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	15	10	2////	1,85	0,44	0,67	10,4	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	12	10	2////	1,85	0,48	0,57	7,8	116	175	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	13	11	2////	1,85	0,52	0,60	7,6	126	189	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	14	17	2////	1,85	0,55	0,64	7,4	136	204	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	18	14	2////	1,85	0,59	0,75	8,4	141	211	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	21	16	4/::	1,85	0,63	0,82	8,8	149	223	63	30	32	35	37	40	31	27	0,057	35	53	63	63
3,60	24	14	4/::	1,85	0,67	0,89	9,0	158	237	72	33	33	35	38	41	31	28	0,064	40	60	72	72
3,80	20	12	4/::	1,85	0,70	0,80	7,4	173	260	60	25	32	34	37	40	30	27	0,048	33	50	60	60
4,00	22	18	4/::	1,85	0,74	0,85	7,4	182	273	66	27	32	35	37	40	30	28	0,052	37	55	66	66
4,20	22	16	4/::	1,85	0,78	0,85	7,0	195	293	66	26	32	34	37	40	30	28	0,050	37	55	66	66
4,40	20	12	4/::	1,85	0,81	0,80	6,1	214	321	60	22	31	34	37	40	29	27	0,041	33	50	60	60
4,60	17	9	2////	1,85	0,85	0,72	5,1	234	351	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	24	12	4/::	1,85	0,89	0,89	6,3	232	347	72	26	32	34	37	40	30	28	0,049	40	60	72	72
5,00	27	14	4/::	1,85	0,93	0,95	6,5	239	358	81	29	32	35	37	40	30	28	0,055	45	68	81	81
5,20	39	18	4/::	1,85	0,96	1,30	9,1	229	343	117	41	34	36	39	41	32	30	0,081	65	98	117	117
5,40	40	21	4/::	1,85	1,00	1,33	9,0	237	355	120	41	34	36	39	41	32	30	0,081	67	100	120	120
5,60	44	18	4/::	1,85	1,04	1,47	9,7	251	376	132	43	34	36	39	41	32	31	0,087	73	110	132	132
5,80	46	20	4/::	1,85	1,07	1,53	9,8	261	392	138	44	34	36	39	41	32	31	0,088	77	115	138	138
6,00	45	20	4/::	1,85	1,11	1,50	9,1	264	396	135	42	34	36	39	41	32	31	0,084	75	113	135	135
6,20	43	21	4/::	1,85	1,15	1,43	8,3	273	410	129	40	34	36	39	41	31	30	0,079	72	108	129	129
6,40	45	19	4/::	1,85	1,18	1,50	8,4	281	422	135	40	34	36	39	41	32	31	0,081	75	113	135	135
6,60	43	16	4/::	1,85	1,22	1,43	7,7	297	445	129	38	33	36	38	41	31	30	0,075	72	108	129	129
6,80	40	15	4/::	1,85	1,26	1,33	6,8	320	480	120	35	33	35	38	41	31	30	0,068	67	100	120	120
7,00	35	19	4/::	1,85	1,30	1,17	5,5	351	526	105	30	32	35	37	40	30	29	0,057	58	88	105	105
7,20	37	18	4/::	1,85	1,33	1,23	5,7	358	537	111	31	32	35	38	40	30	30	0,060	62	93	111	111
7,40	44	19	4/::	1,85	1,37	1,47	6,8	346	520	132	36	33	36	38	41	31	31	0,071	73	110	132	132
7,60	42	20	4/::	1,85	1,41	1,40	6,2	367	551	126	34	33	35	38	41	30	30	0,066	70	105	126	126
7,80	39	15	4/::	1,85	1,44	1,30	5,5	391	586	117	31	32	35	38	40	30	30	0,059	65	98	117	117
8,00	40	17	4/::	1,85	1,48	1,33	5,5	401	601	120	31	32	35	38	40	30	30	0,060	67	100	120	120
8,20	42	17	4/::	1,85	1,52	1,40	5,7	408	612	126	32	32	35	38	41	30	30	0,062	70	105	126	126
8,40	45	16	4/::	1,85	1,55	1,50	6,0	411	617	135	34	33	35	38	41	30	31	0,066	75	113	135	135
8,60	48	--	3:::	1,85	1,59	--	--	--	--	--	35	33	36	38	41	30	31	0,069	80	120	144	144

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 8

2.0105-157

- committente : Soc. Idrogeo Service Srl
 - lavoro :
 - località : Toscana (VT)
 - assist. cantiere :

- data : 19/01/2021
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	105	87	3:~:~	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	34	0,258	175	263	315	--
0,60	60	31	3:~:~	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	32	0,258	100	150	180	--
0,80	24	14	4:/:	1,85	0,15	0,89	59,0	151	227	72	70	38	40	42	44	39	28	0,158	40	60	72	--
1,00	31	21	4:/:	1,85	0,19	1,03	53,9	176	264	93	73	38	40	42	44	39	29	0,168	52	78	93	--
1,20	48	19	4:/:	1,85	0,22	1,60	74,1	272	408	144	83	40	41	43	45	40	31	0,201	80	120	144	--
1,40	46	21	4:/:	1,85	0,26	1,53	58,0	261	391	138	78	39	41	42	44	40	31	0,184	77	115	138	--
1,60	43	27	4:/:	1,85	0,30	1,43	45,1	244	366	129	73	38	40	42	44	39	30	0,167	72	108	129	--
1,80	44	17	4:/:	1,85	0,33	1,47	40,1	249	374	132	71	38	40	42	44	38	31	0,161	73	110	132	--
2,00	50	22	4:/:	1,85	0,37	1,67	41,2	283	425	150	72	38	40	42	44	38	31	0,166	83	125	150	--
2,20	52	21	4:/:	1,85	0,41	1,73	38,4	295	442	156	71	38	40	42	44	38	31	0,163	87	130	156	--
2,40	65	26	4:/:	1,85	0,44	2,17	45,5	368	553	195	77	39	40	42	44	39	32	0,180	108	163	195	--
2,60	67	25	4:/:	1,85	0,48	2,23	42,8	380	570	201	76	39	40	42	44	39	32	0,178	112	168	201	--
2,80	57	19	4:/:	1,85	0,52	1,90	31,9	323	485	171	69	38	39	41	43	38	31	0,155	95	143	171	--
3,00	58	19	4:/:	1,85	0,55	1,93	29,9	329	493	174	68	37	39	41	43	37	31	0,152	97	145	174	--
3,20	57	19	4:/:	1,85	0,59	1,90	27,0	323	485	171	65	37	39	41	43	37	31	0,146	95	143	171	--
3,40	59	19	4:/:	1,85	0,63	1,97	26,1	334	502	177	65	37	39	41	43	37	32	0,145	98	148	177	--
3,60	66	20	4:/:	1,85	0,67	2,20	28,0	374	561	198	68	37	39	41	43	37	32	0,152	110	165	198	--
3,80	64	21	4:/:	1,85	0,70	2,13	25,1	363	544	192	65	37	39	41	43	36	32	0,145	107	160	192	--
4,00	63	21	4:/:	1,85	0,74	2,10	23,1	357	536	189	63	37	39	41	43	36	32	0,140	105	158	189	--
4,20	62	20	4:/:	1,85	0,78	2,07	21,3	351	527	186	62	37	39	41	43	36	32	0,135	103	155	186	--
4,40	60	18	4:/:	1,85	0,81	2,00	19,3	340	510	180	59	36	38	41	43	35	32	0,129	100	150	180	--
4,60	62	20	4:/:	1,85	0,85	2,07	19,0	351	527	186	59	36	38	41	43	35	32	0,129	103	155	186	--
4,80	69	20	4:/:	1,85	0,89	2,30	20,6	391	586	207	62	37	39	41	43	36	32	0,136	115	173	207	--
5,00	69	20	4:/:	1,85	0,93	2,30	19,6	391	586	207	61	37	39	41	43	35	32	0,134	115	173	207	--
5,20	67	26	4:/:	1,85	0,96	2,23	18,0	380	570	201	59	36	38	40	43	35	32	0,128	112	168	201	--
5,40	69	24	4:/:	1,85	1,00	2,30	17,8	391	586	207	59	36	38	40	43	35	32	0,128	115	173	207	--
5,60	60	21	4:/:	1,85	1,04	2,00	14,3	340	510	180	54	35	38	40	42	34	32	0,113	100	150	180	--
5,80	67	27	4:/:	1,85	1,07	2,23	15,7	380	570	201	57	36	38	40	43	34	32	0,121	112	168	201	--
6,00	61	25	4:/:	1,85	1,11	2,03	13,4	346	519	183	52	35	38	40	42	34	32	0,110	102	153	183	--
6,20	58	22	4:/:	1,85	1,15	1,93	12,1	329	493	174	50	35	37	40	42	33	31	0,104	97	145	174	--
6,40	50	20	4:/:	1,85	1,18	1,67	9,6	286	429	150	44	34	37	39	42	32	31	0,089	83	125	150	--
6,60	52	18	4:/:	1,85	1,22	1,73	9,7	296	444	156	45	34	37	39	42	32	31	0,091	87	130	156	--
6,80	56	20	4:/:	1,85	1,26	1,87	10,3	317	476	168	46	35	37	39	42	32	31	0,095	93	140	168	--
7,00	68	17	4:/:	1,85	1,30	2,27	12,6	385	578	204	52	35	38	40	42	33	32	0,110	113	170	204	--
7,20	70	26	4:/:	1,85	1,33	2,33	12,7	397	595	210	53	35	38	40	42	33	32	0,111	117	175	210	--
7,40	69	20	4:/:	1,85	1,37	2,30	12,0	391	586	207	52	35	37	40	42	33	32	0,108	115	173	207	--
7,60	84	21	4:/:	1,85	1,41	2,80	14,9	476	714	252	58	36	38	40	43	34	33	0,124	140	210	252	--
7,80	89	28	4:/:	1,85	1,44	2,97	15,5	504	757	267	59	36	38	40	43	34	33	0,128	148	223	267	--
8,00	104	36	3:~:~	1,85	1,48	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	35	34	0,141	173	260	312	--
8,20	136	--	3:~:~	1,85	1,52	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	36	35	0,166	227	340	408	--

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha= 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (\varnothing 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow spinta) $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ (Kg)} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- L1. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta S (Kg) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta .

CONVERSIONI

$$1 \text{ kN (kiloNewton)} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN (megaNewton)} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa (kiloPascal)} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa (MegaPascal)} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **F = (qc / fs)**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di qc e di FR = (fs / qc) %

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi

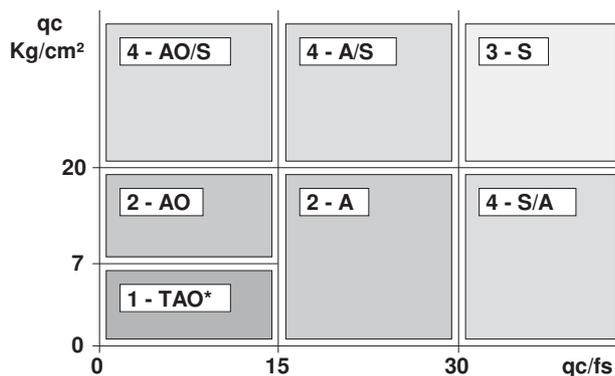
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto qc / fs
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se $(qc / fs) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se $(qc / fs) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ - qc - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ)
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - qc]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = indice plastico]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - qc]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - qc - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - qc - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - qc - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media uniforme/ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata
 ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniforme
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA CON INDIVIDUAZIONE DELLE VERTICALI D'INDAGINE



Postazione prova penetrometrica statica CPT5



Postazione prova penetrometrica statica CPT8

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

PENETRATIO s.n.c

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)
P.IVA 02174580502

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.
ESEGUITA NEL COMUNE DI TUSCANIA (VT).**

~~~~~



**Gennaio 2021**

**Committente: Soc. IdroGeo Service Srl**



**INDICE**

|                                                       |   |
|-------------------------------------------------------|---|
| 1 PREMESSE.....                                       | 3 |
| 2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH..... | 3 |
| 3 IL METODO M.A.S.W.....                              | 5 |
| 4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE.....         | 6 |
| 5 INTERPRETAZIONE DEI DATI.....                       | 7 |

**ALLEGATI:**

- *Grafici “common-shot gather”, spettro di velocità, profilo verticale onde S e modello sismostratigrafico*
- *Report di calcolo*
- *Documentazione fotografica*

## RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA NEL COMUNE DI TUSCANIA (VT).



### **1 PREMESSE**

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita, per incarico della Soc. IdroGeo Service Srl nel Comune di Tuscania (VT).

L'indagine M.A.S.W. è stata effettuata con l'obiettivo di determinare il parametro  $V_{seq}$ , necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, volendo procedere con l'approccio semplificato secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018 – "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni").

### **2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH**

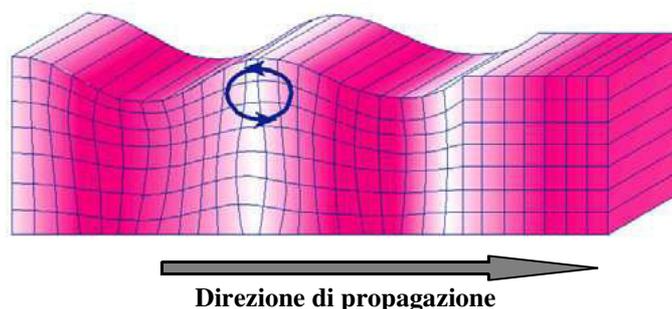
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92 V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ .

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



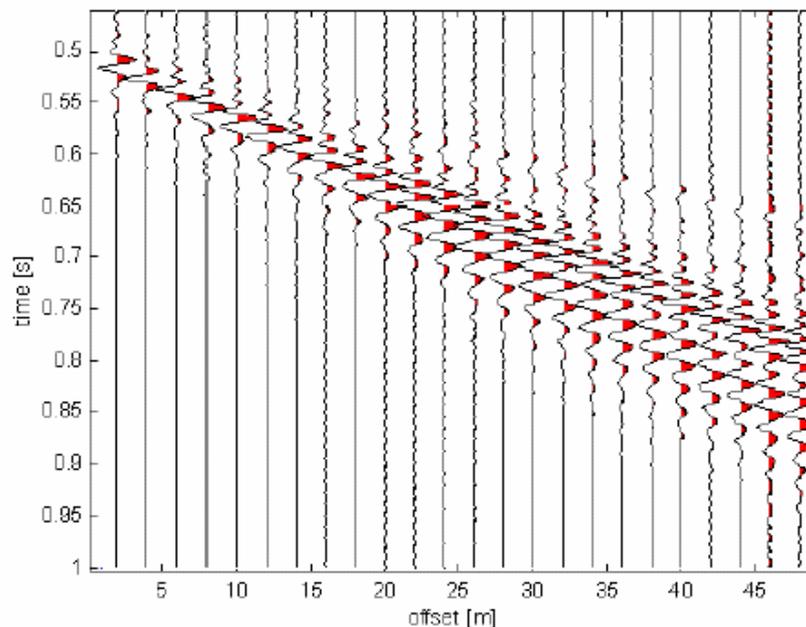
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 17/01/2018, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



**Fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

### **3 IL METODO M.A.S.W.**

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è un'efficiente e accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_S$ .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_S$ .

Per ottenere un profilo  $V_S$  vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

### **4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE**

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB

- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)
  - 800 msec (6121 punti)
  - 1000 msec
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2,00 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 3,0 m, 6,0 m e 11,0 m dalla linea geofonica
- tempo di acquisizione: 1.000 msec

Il profilo è da considerare sostanzialmente orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine del decimetro).

## **5 INTERPRETAZIONE DEI DATI**

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW versione 6.0 professional, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite il processo d'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh acquisite con la tecnica MASW. Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il processo si articola in due fasi:

- . determinazione dello spettro di velocità dove è possibile identificare la curva di dispersione, mediante il picking riconoscendo il solo modo fondamentale o anche i modi superiori.
- . inversione della curva di dispersione mediante algoritmi genetici.

Per il processo d'inversione si procede definendo un intervallo di ricerca sia per quanto riguarda le velocità che per gli spessori, all'interno del quale il software valuta tutte le possibili soluzioni fornendo quella più rispondente al picking eseguito. Risulta evidente che la rispondenza tra modello reale del sito e quello ottenuto dal processo d'inversione risente fortemente degli intervalli impostati all'interno dei quali il software esegue la ricerca. Il modello calcolato sarà più prossimo a quello reale tante più informazioni del sito si avranno a disposizione e quindi tanto più gli intervalli di ricerca saranno stringenti.

È possibile inoltre procedere con la modellazione diretta inserendo un modello di partenza del sito e confrontando la curva sintetica calcolata dal software con quella di dispersione ottenuta dalle rilevazioni con tecnica MASW.

Nel caso in esame il *picking* della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il solo modo fondamentale utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 6,00 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione. Anche gli spettri relativi agli altri shots sono risultati confrontabili con quello preso in esame.

I profili di velocità delle onde S ottenuti sono profili semplificati multistrato derivanti da parametri di partenza quali spessori e ranges di velocità. Tali parametri sono stimabili con indagini aggiuntive quali sondaggi geognostici, prove penetrometriche, indagini di sismica in foro o a rifrazione. In assenza di tali approfondimenti non è possibile ottenere il modello reale sismostratigrafico, ma sarà comunque possibile fornire un valore di  $V_{s_{eq}}$  affidabile.

Il software winMasw presenta come soluzione due modelli: il *modello migliore*, cioè quello che presenta la differenza minore tra la curva osservata e calcolata, e un *modello medio* calcolato secondo un'operazione statistica, fornendo per ciascun modello il valore di  $V_{s_{eq}}$ .

Di seguito sono riportate le velocità  $V_s$  e gli spessori dei livelli sismici costituenti i due modelli.

- secondo il MODELLO MEDIO

| strato n.     | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| VS (m/s):     | 170 | 293 | 440 | 900 |
| spessori (m): | 2,7 | 5   | 9,4 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1    | 2    | 3    | 4   |
|---------------|------|------|------|-----|
| VS (m/s):     | 170  | 295  | 440  | 900 |
| spessori (m): | 2,69 | 5,04 | 9,25 |     |

Come evidenziato dalle tabelle sopra riportate e nella colonna sismostratigrafica in allegato 1, l'indagine sismica ha intercettato il substrato ( $V_s > 800$  m/s) a partire dalla profondità di circa -17,00 m.

Pertanto, in ottemperanza con quanto riportato nel D.M. 17 gennaio 2018, con particolare riferimento al paragrafo 3.2.2, il valore della  $V_{s,eq}$  (in m/s) si ottiene da:

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

con:

- $h_i$  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 le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per i muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano d'imposta della fondazione. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita del parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al progettista, sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito, oltre che dai risultati della presente indagine sismica condotta in situ.

Per le categorie di sottosuolo che permettono l'approccio semplificato si rimanda alla Tab. 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018.

Per la consultazione del report si rimanda all'allegato 2 in calce.

San Miniato (PI), 25/01/2021

**Penetratio s.n.c.**

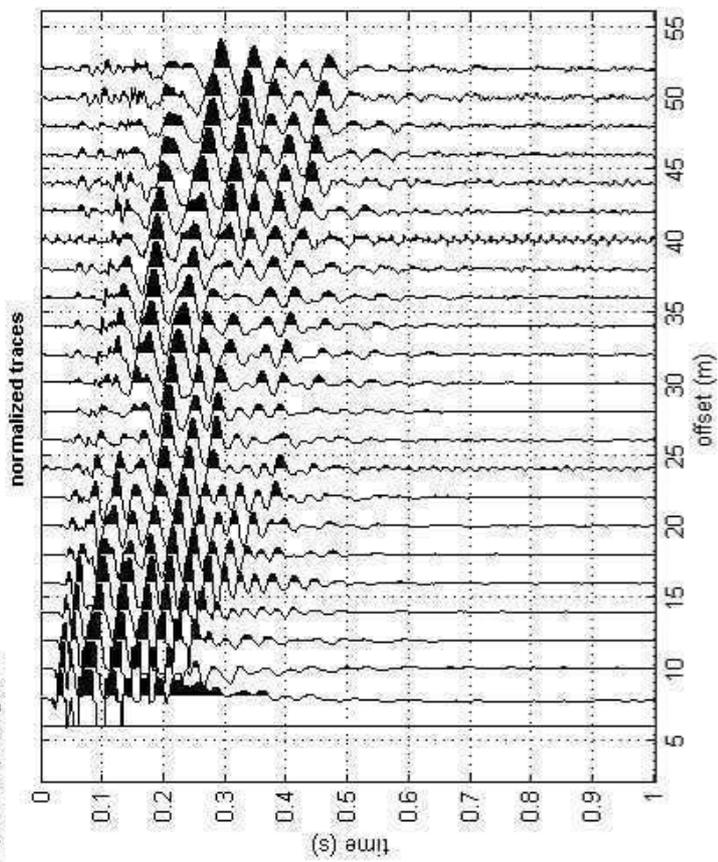
Dott. Geol. G. Lotti



***Allegato 1***

### #1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 6m.SGY  
 sampling: 0.131 ms  
 minimum offset: 6 m  
 geophone spacing: 2 m



resampling: 1    
 resample  accept    
 data selection: activate  select  60    
 cancel  save    
 filtering & spectra: filter  cancel    
 spectrum  spectrogram    
 refraction: refraction  100    
 upload  save    
 clear refraction    
 other tools & setting: 1.00215  time length to visualize (s)   
 done  flip traces  zero padding

### #2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

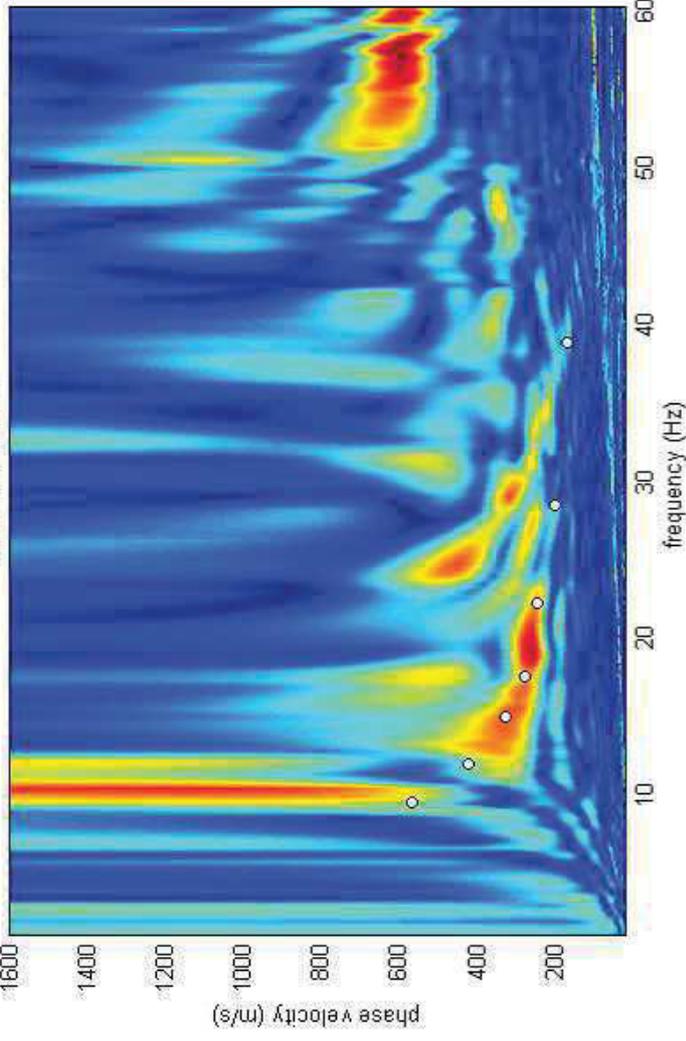
MASW: compute velocity spectrum

phase velocity  f-k    
 group velocity    
 save  upload  merge

handling the spectra

explore spectrum    
 mode separation

#### velocity spectrum



general setting:   
 Rayleigh  3    
 phase vel    
 Reference depth  Refraction    
 H/V body waves    
 H/V modes (SW ellipticity)  0

Vs (m/s)  100  Poisson  0.4  thickness (m)  1

calculate  upload mod.  save model  refresh    
 report

modelling:   
 synthetics  ZVF    
 elastic    
 shows DC    
 synthetics

visualize curves

input curve  ?

picking

?  show f-k    
 fundamental    
 to select the last point of the considered mode click the right button

save picking  ?

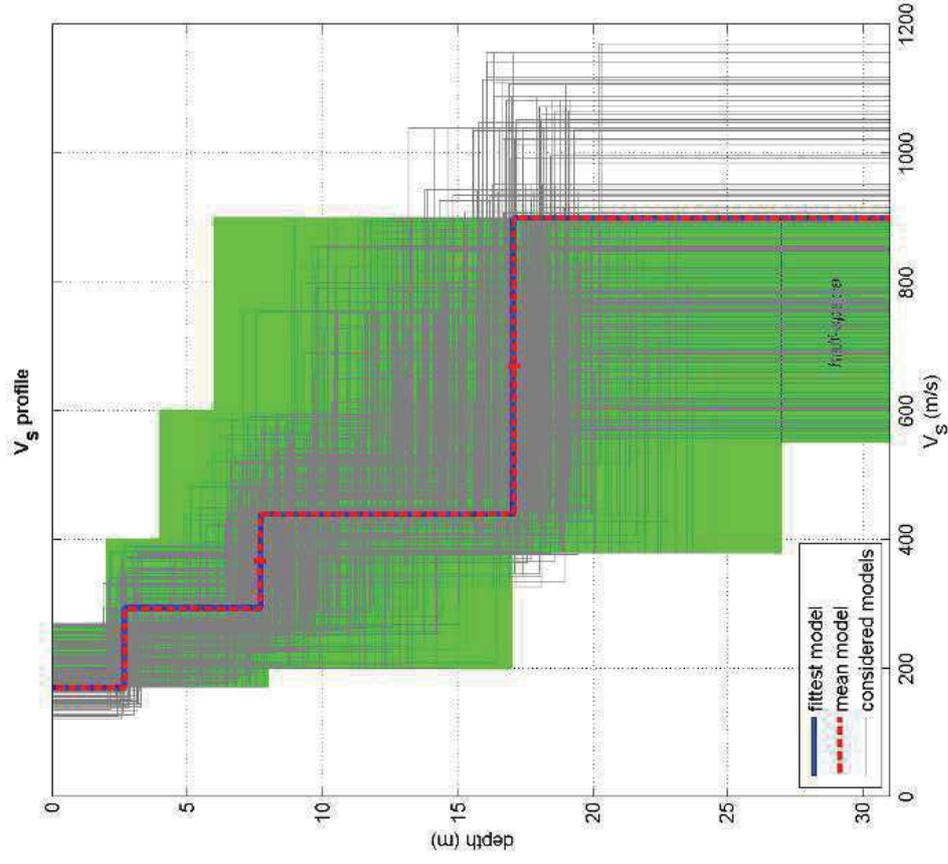
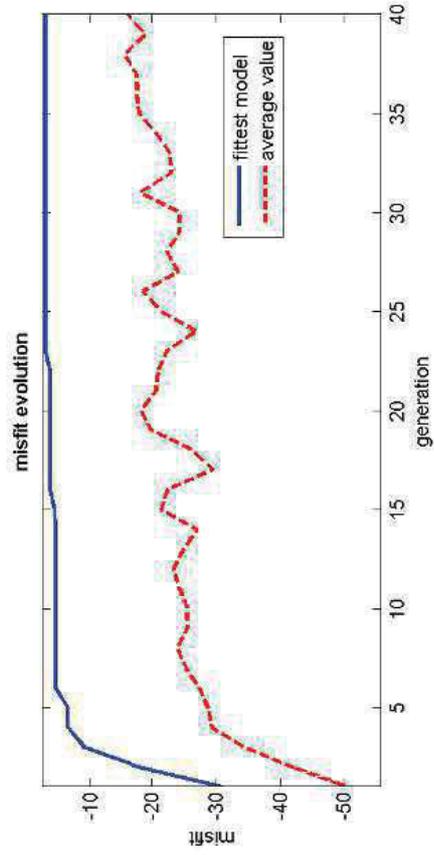
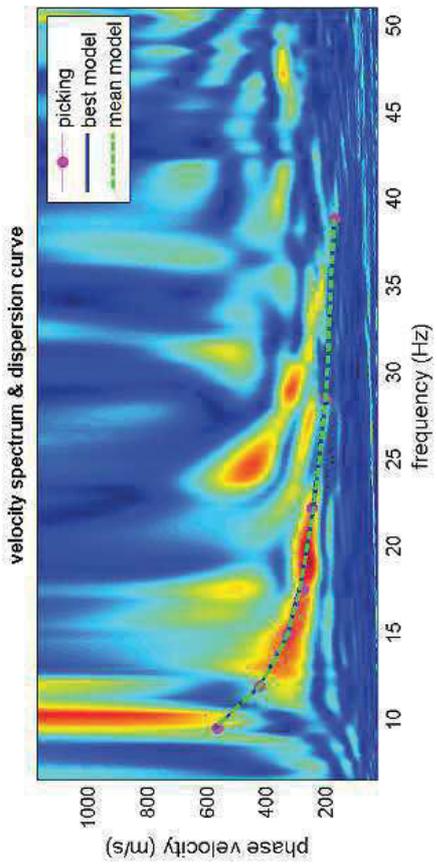
6m.cdp

cancel picking

inversion

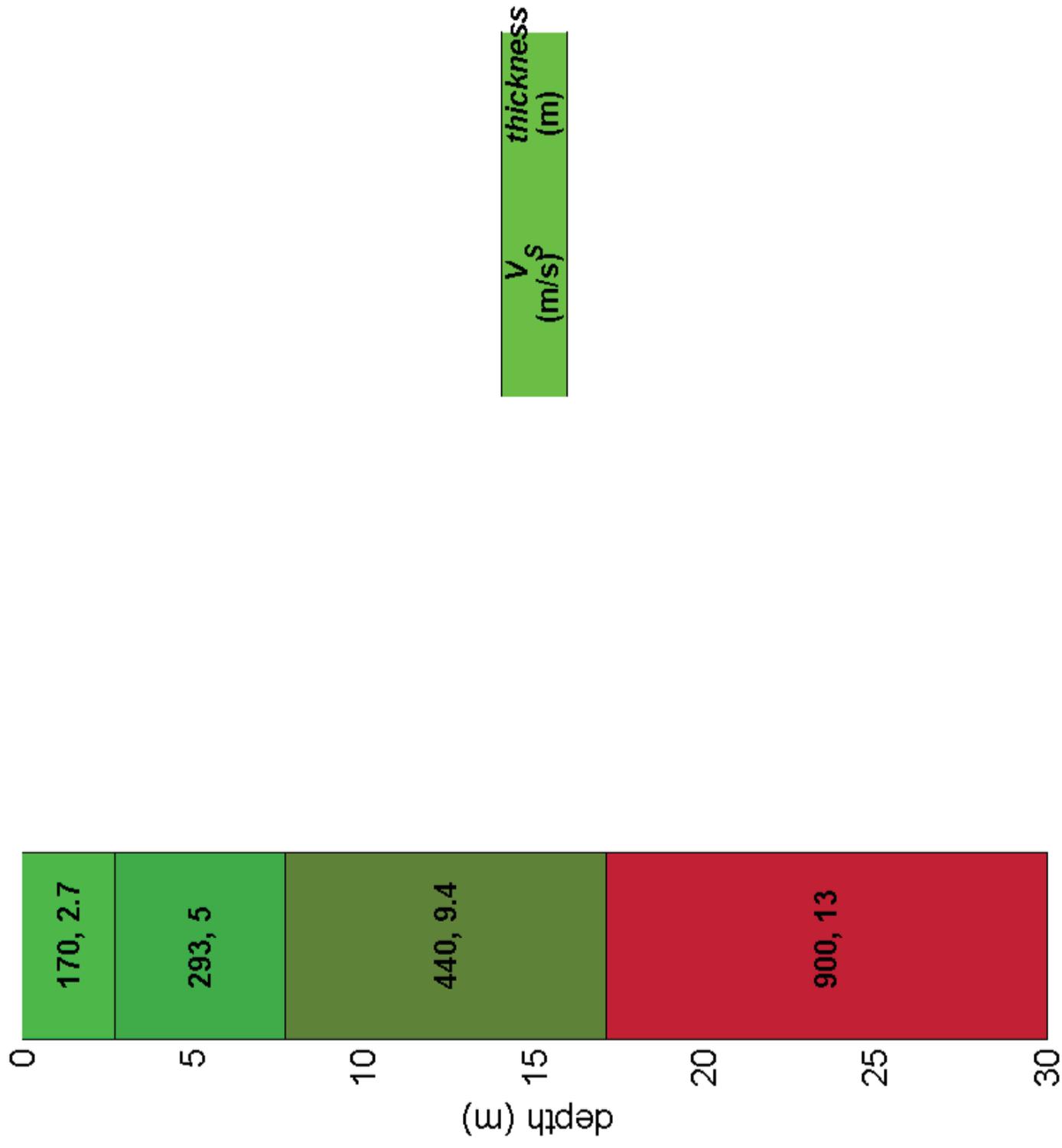
inversion

Joint DC-HV inv.



dataset: 6m.SGY  
 dispersion curve: 6m.cdp  
 $V_s30$  (best model): 438 m/s  
 $V_s30$  (mean model): 437 m/s

# Subsurface model



***Allegato 2***

## Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1  
dataset: 6m.SGY  
minimum offset (m): 6  
geophone spacing (m): 2  
sampling (ms): 0.131  
Dispersion curve: 6m.cdp  
Number of individuals: 30  
Number of generations: 31

## Rayleigh-wave dispersion analysis

### Analyzing phase Velocities

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 170    2    200    2    380    2  
550  
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 270    8    400    9    600    10  
900  
Adopted Poisson values: 0.4            0.35            0.35            0.35

Output folder: C:\Users\Giuseppe\Desktop\sismiche temp\output\_disp

### ==o== SECTION#2

#### Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -50.6206  
-30.9413  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -41.9538  
-17.9103  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -34.4526  
-9.14031  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -29.3572  
-6.54717  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -28.7532  
-6.54717  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -27.4383  
-4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -25.3287  
-4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -23.9406  
-4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -25.5825  
-4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:  
-25.5294        -4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:  
-24.3581        -4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:  
-23.4451        -4.62303  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:  
-24.9821        -4.62303



-3.07851  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -15.9599  
-3.07851

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 170 295 440 900

Thickness (m): 2.7 5 9.3

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35

Vp & Density Optimization

p14 =

0

p15 =

7

p16 =

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.2440 | 0.3072 | 0.3848 | 0.4509 | 0.5717 | 0.7327 | 1.0000 |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -9.3364  
-2.8832

Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -9.5081  
-2.842

Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -7.2572  
-2.842

Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -6.2648  
-2.4229

Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -6.9731  
-2.3098

Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -6.9261  
-2.3098

Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -7.6311  
-2.3098

Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -6.3638  
-2.3098

Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -6.1465  
-2.3098

Number of models considered to calculate the average model: 8

#####

RESULTS

#####

Dataset: 6m.SGY

Analyzed curve/spectrum: 6m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 170 293 440 900  
 Standard deviations (m/s): 1 4 1 2

Thickness (m): 2.7 5.0 9.4  
 Standard deviations (m): 0.1 0.2 0.2

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 370 680 885 3236  
 Density (gr/cm3): 1.81 1.96 2.02 2.34  
 Vp/Vs ratio: 2.18 2.32 2.01 3.60  
 Poisson: 0.37 0.39 0.34 0.46  
 Shear modulus (MPa): 52 168 392 1895  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

| f(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 9.45769 | 574.6938 |
| 11.9095 | 420.9386 |
| 14.9186 | 325.8613 |
| 17.4819 | 285.7144 |
| 22.1627 | 239.3829 |
| 28.4038 | 197.4805 |
| 38.7684 | 170.2061 |

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 170 295 440 900  
 thickness (m): 2.6956 5.0445 9.2967

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 366 680 899 2245  
 Density (gr/cm3): 1.81 1.96 2.03 2.25  
 Vp/Vs ratio: 2.15 2.31 2.04 2.49  
 Poisson: 0.36 0.38 0.34 0.40  
 Shear modulus (MPa): 52 171 393 1823  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 9.45769 | 573.297  |
| 11.9095 | 421.3189 |
| 14.9186 | 325.912  |
| 17.4819 | 286.3252 |
| 22.1627 | 240.7799 |
| 28.4038 | 198.416  |
| 38.7684 | 170.3608 |

===== SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method":  
24 m

Inversion quality: very good

Vs5 (mean model): 210 m/s

Vs5 (best model): 211 m/s

Vs20 (mean model): 348 m/s

Vs20 (best model): 349 m/s

Vs30 (mean model): 437 m/s

Vs30 (best model): 438 m/s

==o== SECTION#5

For Italian Users:

Dalla normativa vigente (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanato con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°42 del 20/02/2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definite come descritto al § 3.2.3. del D.M. 17.01.2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la determinazione delle azioni sismiche.

Results saved in the folder "C:\studio  
giuseppe\lavori\sismiche\output\_disp".

=====

winMASW  
Surface Waves & Beyond  
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

Number of models used to define the mean model: 8  
Vs5 for the best model: 211  
Vs30 for the best model: 438  
Analyzing phase velocities

Elapsed time is 15.377707 seconds.

***Allegato 3***

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

