



COMUNE DI VITORCHIANO



COMUNE DI VITERBO

PROVINCIA DI VITERBO



REGIONE LAZIO



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW

Denominazione Impianto:

VITERBO

Ubicazione:

Strada comunale di Ferento – S.P. n. 23 della Vezza
(Frazione Grotte Santo Stefano)
01100 Viterbo (VT)

- Strada vicinale del Pantano (Località San Silvestro)
- S.P. n. 23 della Vezza (Località Pozzali)
01030 Vitorchiano (VT)

**ELABORATO
020800**

RELAZIONE GEOLOGICA

Cod. Doc.: VIT-020800-R_Rel-Geologica

Sviluppatore:



Project - Commissioning – Consulting
ENGINEERING ENERGY TERRA PROJECTS S.R.L.
Str. Grigore Ionescu, 63, Bl. T73, sc. 2,
Sect 2, Jud. Municipiul Bucuresti, Romania
RO43492950

Scala: --

PROGETTO

Data:

30/11/2023

PRELIMINARE



DEFINITIVO



AS BUILT



Proponente:



CCEN VITERBO S.R.L.
Piazza Walther Von Vogelweide, 8
39100 BOLZANO BZ
P.IVA 03093300212
REA BZ-231516
PEC ccen_viterbo@pec.it

Tecnici e Professionisti:

DOTT GEOL ANDREA COLA
ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE MARCHE N. 518
CORSO VITTORIO EMANUELE 13
63100 ASCOLI PICENO
P.I. 01580970448
PEC: fra.lupo@pec.it


Versione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
00	30/11/2023	Prima emissione	L.F.P.	L.F.P.	L.F.P.
01					
02					
03					

Il Tecnico:



Il Proponente:

CCEN VITERBO S.R.L.

ELABORATO 020800	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE GEOLOGICA	Pag. 2 di 2

1. OGGETTO

Il presente documento è parte della documentazione relativa al progetto per la costruzione e l'esercizio in conformità alle vigenti disposizioni di legge di un **IMPIANTO AGROVOLTAICO** costituito da:

- un generatore di energia elettrica da fonte rinnovabile solare di potenza di picco pari a **33.805,20 kW** e potenza massima in immissione pari 45.000,00 kW, suddiviso in n. 3 sottocampi;
- un sistema agro-zootecnico diversificato che prevede la coltivazione di olivo per la produzione di oliva da olio, foraggio e pascolo per ovini;

da realizzare nei **Comuni di Vitorchiano e Viterbo (VT)**.

L'impianto sarà del tipo *grid connected* e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, previa elevazione di tensione da 30 kV a 150 kV con allaccio presso una nuova sottostazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV di Terna S.p.A., come da STMG avente **codice di rintracciabilità n. 202000953**.

Il progetto prevede le seguenti opere da autorizzare:

- Generatore fotovoltaico da 33.085,20 kWp
- Elettrodotto interrato MT 30 kV
- Stazione di Elevazione di Utenza 30/150 kV
- Elettrodotto interrato AT 150 kV

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la centrale di produzione venga collegata in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV della nuova Stazione di Smistamento (ubicata nel territorio comunale di Viterbo, frazione Grotte Santo Stefano, in Località Piscinale presso la Strada vicinale del Cavato) di asservimento alla nuova Stazione Elettrica Primaria SE-RTN 380/150 kV, ubicata in comune di Vitorchiano - Località Pozzali, da inserire in entra-esce sull' elettrodotto RTN a 380 kV "Roma Nord - Pian della Speranza".

Il proponente e soggetto responsabile è la società **CCEN VITERBO S.R.L.** corrente in Bolzano (BZ) – Piazza Walther Von Vogelweide, 8 – n. iscrizione REA BZ-231516 – P.IVA 03093300212 – PEC: ccen_viterbo@pec.it – Legale Rappresentante sig. Menyesch Joerg.

comune:
VITORCHIANO (VT)
VITERBO

località:
STRADA VICINALE DEL PANTANO (LOC. SAN SILVESTRO)
VITORCHIANO
STRADA COMUNALE DI FERENTO (FRAZ. GROTTI S. STEFANO)
VITERBO

Studio di Geologia

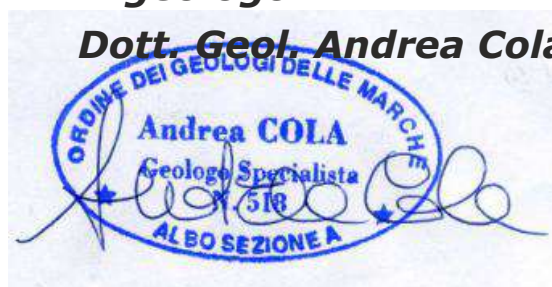
Corso Vittorio Emanuele 13
63100 Ascoli Piceno

**INDAGINE GEOLOGICA CON INDICAZIONI GEOTECNICHE
PER REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGROVOLTAICO
CONNESSO ALLA R.T.N. DELLA POTENZA DI PICCO
PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE
PARI A 45.000,00 kW
NEI COMUNI DI VITORCHIANO (VT) E DI VITERBO
CON DENOMINAZIONE DELL'IMPIANTO: VITERBO**

committente:
CCEN-VITERBO-S.R.L.

Il geologo

Dott. Geol. Andrea Cola



codice pratica
2023

Ascoli Piceno novembre 2023

Si allega l'elenco delle pagine in cui sono riportati i contenuti minimi previsti nell'allegato C del Regolamento regionale 26/2020.

- 1) L'indicazione del Livello di Vulnerabilità si trova a Pag.2 del testo
- 2) La Carta Geologica di dettaglio è la TAVOLA 25/26
- 3) Le caratteristiche idrogeologiche e la interazione con la falda idrica sono a Pag.4/5 del testo
- 4) La categoria di sottosuolo e la categoria topografica sono a Pag 7/8 del testo
- 5) La planimetria di ubicazione prove è in TAVOLE 29/30
- 6) Gli elaborati delle indagini eseguite sono allegate subito dopo le tavole del testo in pdf.
- 7) Lo stralcio del livello 1 di Microzonazione Sismica validato è in TAVOLA 21/24.
- 8) La documentazione fotografica delle prove eseguite è negli allegati subito dopo la Tav . 31
- 9) La stratigrafia estesa è a Tavola 31
- 10) Le conclusioni sulla fattibilità e le prescrizioni progettuali sono da pag. 14 a pag.16 del testo

Su incarico della **CCEN-VITERBO S.R.L.** è stata espletata la seguente indagine geologica con indicazioni relative alla geotecnica e relative prove di tipo geognostico e sismico, per verificare situazione geologica e geomorfologica locale, per quanto riguarda la **REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 KwP E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 Kw CON DENOMINAZIONE "VITERBO"** in Località Strada Comunale di Ferento-S.P. n.23 della Vezza nel Comune di Viterbo e Strada vicinale del Pantano (Località San Silvestro)-S.P. n.23 della Vezza (Località Pozzali) nel comune di Vitorchiano (VT)..

L'indagine è stata condotta in conformità a:

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L. 229/2016 e ss.mm.ii.

Decreto ministeriale 17.01.2018 – Testo Unitario –**Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Istruzioni per l'applicazione dell' <<Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al **D.M. 17.01.2018. Circolare 21.01.2019.**

Consiglio superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. **Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007**

Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20.03.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"; Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3379 del 05.11.2004 e successive modifiche ed integrazioni.

Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte I : regole Generali . – UNI

Euro codice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Euro codice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

Decreto ministeriale 11.03.1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione e **Circolare LL.PP.n. 30483 del 24.09.88**

D.L. n. 152 del 11.05.99, nuovo regolamento edilizio tipo

DGR LAZIO 22 maggio 2009, n.387

ATTI DELLA GIUNTA REGIONALE DELIBERAZIONE 20 OTTOBRE 2020 N.26: "Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016 n.14 e successive modifiche"

La regolamentazione legislativa per quanto attiene alla Pianificazione Territoriale è normata a carattere nazionale attualmente dal DPR 380/01 e da Leggi e Delibere a carattere Regionale dato che la pianificazione urbanistica e territoriale è demandata alle singole Regioni.

L'attuale Testo Unico sull'Edilizia (D.P.R. 380/2001) riunisce in una unica normativa le regole per la pianificazione territoriale ed esso accorpa le leggi precedenti come la L. 64/74 (che stabiliva norme e regole per costruzioni in particolare per zone sismiche).

Inoltre la Regione Lazio ha la L.R. Lazio 75/72 per la formazione degli strumenti urbanistici comunali e la D.G.R. Lazio 2649/99 per le linee guida e documentazione per indagini geologica e vegetazionale per tutti i Comuni della Regione Lazio sia sismici sia non sismici.

Il regolamento per la gestione del Vincolo Idrogeologico disciplina il procedimento per lo svolgimento delle funzioni ai sensi della L.R. n.5 del 05/03/1997 e n.14 del 06/08/1999 in materia di vincolo idrogeologico, di cui al R.D. L. 3267 del 30/12/1923 conosciuto come "Legge Forestale" e al suo Regolamento di applicazione ed esecuzione R.D. n. 16 del 16/05/1926.

Le norme riportate nel Vincolo Idrogeologico si applicano agli interventi di trasformazione e gestione del territorio come nella Delibera di G.R. 6215 del 30/06/1996 con autorizzazione ad operare rilasciata dalla Provincia ai sensi della Delibera di G.R. n.3888 del 29/07/1998.

Si fa riferimento alle seguenti normative:

R.D.L.3267 del 30/12/1923

R.D. 1126 del 16/05/1926

D.G.R. Lazio 6215 del 30/07/1996

D.L. 490/1999 "Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di Beni Culturali ed Ambientali a norma dell'Art. 1 della L. 8 ott 1997 n. 352"

L. 64/1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

D.M. 22/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno della terra e delle opere di fondazione".

L. 18 maggio 1989 n. 183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"

L. R. n.53 del 11/12/1998 "Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della legge 18 maggio 1989, n.183", come modificata dalla L.R. n.14 del 6 agosto 1999.

D.G.R. n. 4340 del 28/05/1996 "Criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo nel territorio della Regione Lazio".

D.G.R. lazio 1745 20/12/2002

PREMESSA

La redazione della presente rientra nell'ambito del progetto relativo alla **REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 KwP E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 Kw CON DENOMINAZIONE "VITERBO"** in Località Strada Comunale di Ferento-S.P. n.23 della Vezza nel Comune di Viterbo e Strada vicinale del Pantano (Località San Silvestro)-S.P. n.23 della Vezza (Località Pozzali) nel comune di Vitorchiano (VT)..

I terreni interessati ricadono completamente all'interno dei Comuni di Vitorchiano (VT) e Viterbo in prossimità della frazione Grotte Santo Stefano.

Detto impianto è denominato impianto fotovoltaico "VITERBO".

Il committente del progetto in questione è la società: CCEN-VITERBO S.R.L.

Lo studio in oggetto è stato corredato da una serie di dati di bibliografia e studi per interventi che hanno interessato la medesima area e/o zone limitrofe a quella di intervento. Oltre ad una serie di prove di tipo geognostico e geofisico. A conclusione di tale attività è stata redatta la presente relazione che ha permesso di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche dei terreni presenti ed affioranti e valutare l'ammissibilità geologica dell'intervento.

Dato che si tratta di una costruzione il cui uso prevede **normali affollamenti**, sulla scorta del D.M. 17.01.2018 la Classe d'Uso è la **Classe II** (NTC2018 – 2.4.2.).

RIFERIMENTI agli ATTI DELLA GIUNTA REGIONALE DELIBERAZIONE 20 OTTOBRE 2020 N.26 "Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016 n.14 e successive modifiche"

Premessa

Relativamente al R.R. Lazio n.26 20/10/2020 si forniscono di seguito argomenti relativi al modo di stabilire il tipo di indagini obbligatorie di carattere geologico geofisico geotecnico da eseguire come specificato da Allegato C del suddetto R.R.

Considerazioni su R.R.

L'opera in oggetto rientra tra quelle per cui è obbligatorio la relazione geologica con relative indagini come prescritto in Allegato C del Regolamento Regionale.

La scelta delle tipologie di indagini sono in base ad un parametro che identifica quattro distinti livelli di Rischio Geologico.

Si definiscono 3 classi di pericolosità geologica sulla base della zonazione sismica regionale, delle condizioni geologiche dell'area di sedime e dei vincoli derivanti dagli atti di governo del territorio:

- nel caso in oggetto la PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO è: **media** (VITERBO e VITORCHIANO = ZONA SISMICA 2B)

facendo una interazione tra Pericolosità Geologiche e Classi d'uso delle opere si hanno 4 classi di Rischio Geologico (Rischio Basso, Medio, Medio-Alto, Alto).

- nel nostro caso, pericolosità Tipo A Bassa e classe 2, la CLASSE DI RISCHIO GEOLOGICO è: **RISCHIO MEDIO.**

INQUADRAMENTO DELL'AREA

Le aree oggetto della presente relazione, sono localizzabili nel territorio dei comuni di VITORCHIANO in Località Strada vicinale del Pantano (Località San Silvestro) e di VITERBO in Località Strada Comunale di Ferento-S.P. n.23 della Vezza.

Esse sono compresa nelle tavolette 137 III NE Viterbo e 137 IV SE Celleno.

Le aree possono anche essere identificate agli estratti delle Carte Tecniche Regionali sez.345060 Fastello e 345070 Grotte Santo Stefano.

Nel caso in oggetto l'ubicazione dell'impianto fotovoltaico interessa aree pianeggianti in prossimità alla Strada Provinciale 23 della Vezza.

METODOLOGIA D'INDAGINE

Lo studio è stato condotto, estendendolo ad un *intorno significativo dell'area interessata* così come riportato nella planimetria generale dell'area. A supporto conoscitivo, è stata condotta una *campagna geologica di rilevamento*, allo scopo di acquisire informazioni e dati utili alla presente fase progettuale.

Inoltre si è condotta una campagna di prove mirate a definire i parametri geotecnici necessari per la futura edificazione, per la stabilità delle terre oltre ad ottemperare alla nuova normativa (NTC18).

La campagna geognostica consta di 4 stendimenti di sismica a rifrazione e MASW della lunghezza di 60 metri e 12 geofoni finalizzate all'acquisizione di dati utili per la realizzazione del progetto suddetto, 5 prove penetrometriche superpesanti DPSH e 2 prove tromometriche HVSR.

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Le indagini condotte sono finalizzate alla definizione della pericolosità sismica locale, delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e del comportamento geomeccanico dei terreni affioranti nella zona.

La campagna è stata finalizzata alla verifica dell'assetto stratigrafico e alla caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati.

La campagna di prove che si sono effettuate come supporto (e di cui si allegano i risultati) consta di una campagna di **indagini geosismiche in ragione di 4 stendimenti di sismica a rifrazione da 60 metri e 12 geofoni, 2 prove tromometriche HVSR, 5 prove penetrometriche DPSH.**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nelle Tavv 29/30.

I risultati delle indagini e le relative elaborazioni numeriche e rappresentazioni grafiche costituiscono parte integrante del lavoro svolto e sono state allegate a questo studio come allegati e tavole.

INQUADRAMENTO LITO-GEOLÓGICO

I territori dei comuni in esame si estendono in quella che viene definita Fascia Pedemontana Tirrenica (posizionata tra la fascia costiera ad ovest e la fascia appenninica ad est), in corrispondenza dei rilievi vulcanici della provincia tosco-laziale, in un'area compresa tra il Monte Cimino ed il lago di Bolsena.

Tutto il territorio risulta influenzato sia geologicamente che geomorfologicamente dalla attività di alcuni centri vulcanici. Tale attività ed i suoi prodotti sono iniziati dalla fine del Pliocene impostandosi su un substrato sedimentario formato da quattro unità principali di diversi cicli sedimentari: a) successione carbonatica basale dal Triassico sup all'Eocene riferibile alla serie toscana ed umbro-marchigiana; b) complesso alloctono flyschoid (Unità Liguridi esterne) noto come Complesso alloctono Tolfetano dal Cretacico Superiore; c) sedimenti neo-autoctoni neogenici in facies marina dal Messiniano superiore al Pleistocene medio; d) sedimenti in facies continentale del Pleistocene medio-superiore.

Le formazioni della Provincia Vulcanica Tosco-Laziale possono suddividersi in serie che comprendono rocce acide, intermedie o potassiche. Nel Lazio il vulcanismo ha originato diversi distretti vulcanici tipo il Vulsino, il Cimino-Vicano, il Sabatino ed il distretto dei Colli Albani.

L'area oggetto dello studio presente è interessata dalla attività dei distretti Cimino, Vulsino e Vicano.

L'area interessata dall'opera presenta una morfologia piatta; dal punto di vista geologico le formazioni affioranti sono vulcaniche di tipo lavico e depositi eluvio colluviali (perlopiù sabbie e limi, ma possono presentare localmente frazioni ghiaiose e/o argillose).

Quadro Tettonico

L'area è stata interessata inizialmente da uno stato tensionale di tipo compressivo con la costituzione di una struttura a falde sovrapposte costituite dalle successioni carbonatiche mesozoiche con spessori di circa 1500 m e la messa in posto successiva di unità alloctone costituite dalle unità Flyschoidi Liguridi (Miocene Inf). Poi l'instaurarsi di un campo di sforzi estensionali ha portato alla creazione di sistemi di faglie dirette e la formazione di bacini paralleli con sviluppo longitudinale e direzione NO-SE. Le zone depresse hanno costituito luoghi di deposito dal Messiniano sup al Pleistocene di ambiente marino, continentale o transizionale rispettivamente nelle zone esterne, interne ed intermedie e mostrano età decrescenti da ovest verso est.

Dalla fine del Pliocene in conseguenza ad un sollevamento generale dell'area e ad un assottigliamento crostale, queste zone sono state interessate dal vulcanismo che ha condotto a deporre notevoli spessori di vulcaniti di varia natura e chimismo, o sui depositi Plio-Pleistocenici o sui Flysch nelle zone di alto strutturale.

Nel corso del rilevamento non sono stati osservati fenomeni di dissesti idrogeologici in atto o potenziali.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le morfologie che costituiscono le aree in oggetto come tutto il territorio dei due comuni interessati sono fortemente influenzate dalla attività vulcanica quaternaria.

Relativamente alla morfologia vulcanica la presenza di diversi apparati ha determinato forme assai variabili del paesaggio. In questo senso è possibile differenziare l'area cimino-vicana da quella vulsina. Nell'area cimino-vicana è evidente la morfologia degli apparati che risultano ancora ben conservati. Il vulcano cimino è caratterizzato dalla presenza di rilievi di forma arrotondata costituiti dai duomi di lava. L'edificio del Vico

presenta i caratteri di uno strato-vulcano con versanti regolari e presenza di una caldera di sprofondamento ora occupata dal Lago di Vico.

Nelle aree esterne all'apparato cimino-vicano la morfologia risulta influenzata dagli espandimenti piroclastici di tipo ignimbritico che hanno colmato le depressioni ed un livellamento delle morfologie pre-vulcaniche. Tale fase ha determinato le forme del paesaggio e quindi si ha il classico andamento tabulare dei plateau vulcanici con superficie pianeggiante debolmente degradante verso l'esterno.

L'area di influenza vulsina ha morfologie diverse in seguito alla variabilità delle manifestazioni effusive che hanno portato alla demolizione dell'edificio principale e al collasso della camera magmatica oggi sede in parte del Lago di Bolsena. Generalmente si ha un paesaggio mutevole che varia sia verticilmente che lateralmente in base ai prodotti deposti. Anche in questo caso nelle aree esterne rispetto all'apparato prevalgono forme più dolci ed ondulate.

Nella fase post vulcanica c'è stata la azione di diversi fattori come l'azione di fenomeni idrotermali, l'azione erosiva e modellante delle acque superficiali, fenomeni di instabilità gravitativa e l'attività antropica; esse hanno localmente modificato le forme ma l'impronta vulcanica dei luoghi è rimasta.

L'azione morfogenetica dei corsi d'acqua ha avuto una grande influenza sul modellamento della superficie topografica e quindi sulla sua condizione di stabilità geomorfologica.

Le aree in esame sono situate in zone che risultano, dal punto di vista morfologico, pianeggianti con quote assolute che varia tra i 280 e 350m s.l.m..

Tali zone non sono soggette a tutela per rischio di inondazione e/o di frana.

Come si nota nell'ingrandimento del Foglio N. 137 "Viterbo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 allegato alla presente relazione, nella zona affiorano prevalentemente terreni di origine vulcanica.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Idrogeologicamente a livello profondo l'area dei Comuni interessati è principalmente regolata dall'assetto geologico su larga scala, dato dal basso verso l'alto da unità calcaree, unità flyschoidi, depositi marini coperture vulcaniche e continentali.

Mentre unità calcaree e vulcaniche sono caratterizzate da una permeabilità da media ad alta di tipo primario e/o secondario, e quindi sono corpi acquiferi, le unità flyschoidi ed i depositi marini Plio-Pleistocenici sono caratterizzati da bassa permeabilità e costituiscono perciò acquiclude che separano le due macro circolazioni cioè quella profonda carbonatica e quella superficiale vulcanica.

La presenza di una struttura ad horst e graben ha permesso la formazione di alti e bassi strutturali del substrato pre vulcanico e ha dato luogo a linee di displuvio o linee di impluvio sotterraneo che costituiscono linee preferenziali di drenaggio della falda.

L'insieme delle vulcaniti non può però essere schematizzato come un unico corpo idrogeologico. Le vulcaniti dei vari apparati e dei singoli episodi effusivi mostrano caratteri composizionali, granulometrici, tessiturali e perciò idraulici assai variabili.

Globalmente il pacco delle vulcaniti è sede di una falda a carattere freatico ma in base alle variabili litologiche, si può presentare la formazione di falde secondarie sospese sostenute da orizzonti lavici o da orizzonti tufacei argillificati o pedogenizzati.

Relativamente al deflusso idrico superficiale esso risulta governato dalla superficie topografica e dalle caratteristiche di erodibilità dei materiali che affiorano. I rilievi dell'apparato cimino-vulsino sono chiare zone di displuvio superficiale e generano pattern idrografici di tipo centrifugo rispetto alle loro culminazioni topografiche.

Le opere in oggetto non alterano il deflusso naturale delle acque visto la presenza di vie preferenziali idonee al deflusso delle acque meteoriche.

Ci troviamo in zone antropizzate il cui impatto ha modificato le originarie caratteristiche morfologiche e ciò potrebbe portare all'innescò di fenomeni morfogenetici in concomitanza con l'azione erosiva dei corsi d'acqua, dell'infiltrazione di acque, che determina una costante saturazione della matrice limosa a valle con conseguente abbassamento della resistenza meccanica.

Le zone di interesse in considerazione della loro posizione topografica sono interessate soprattutto dalle acque di precipitazione meteorica. I litotipi presenti in copertura sono costituiti da limi sabbiosi e sabbie limose e sono tali da consentire lo smaltimento in profondità delle acque superficiali in tempi piuttosto brevi. Le acque poi sono ben drenate dalle ignimbriti che alimentano eventuali falde presenti.

Dal punto di vista strutturale l'area non è interessata da lineazioni tettoniche che possano interferire con l'opera in oggetto.

In considerazione di quanto espresso nel presente paragrafo e nel rispetto delle considerazioni e prescrizioni progettuali, non si riscontrano particolari agenti morfologici attivi, che impediscano o ostacolino la realizzazione di quanto in progetto.

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Le aree in esame rientrano nell'ambito dell'Autorità di Bacini Distrettuale dell'Appennino Centrale.

Il piano stralcio è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale vengono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

L'assetto idrogeologico comprende: a) l'assetto dei versanti, riguardante le aree a rischio di frane e valanghe; b) l'assetto idraulico, riguardante le aree a rischio idraulico

Nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), i principali processi morfogenetici legati alla gravità consistono, essenzialmente in scivolamenti (translational slides) o scoscendimenti (rotational slides) e in fenomeni di soliflusso diffusi particolarmente sulle argille caotiche. Tutti gli episodi sono innescati da azioni destabilizzanti a causa dei processi di infiltrazione che determinano effetti di rigonfiamento e rammollimento con conseguente diminuzione di resistenza al taglio.

Le frane di colamento interessano le coltri argillose superficiali del complesso delle argille caotiche ed hanno estensione e profondità limitata. Le frane più estese vengono considerate attive e sono state altresì oggetto di monitoraggio.

Per quanto concerne i siti in oggetto, la loro collocazione li pone al di fuori da pericolo di esondazione e la cartografia del P.A.I. conferma anche l'assenza di movimenti gravitativi.

SISMICITA' LOCALE

Il territorio dei Comuni di Viterbo e Vitorchiano secondo l'Ordinanza P.C.M. n.3274 del 23.03.2003 risultano classificati come ricadenti in zona sismica 2B.

In base alla DGR Lazio n. 387 del 22/05/2009 nonché della DGR Lazio n.835 del 03/11/2009 i territori dei suddetti Comuni sono classificati come Zona Sismica 2 Sottozona Sismica B, con una accelerazione di picco a_g che è $0.15 < a_g \leq 0.25$.

In base alla Delibera di Giunta Regione Lazio n.387 del 22.05.2009 "Nuova classificazione sismica del territorio della regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519

del 28.04.2006 e della DGR Lazio 766/03, il territorio dei due Comuni presentano le seguenti caratteristiche sismiche:

<u>zona sismica ai sensi della precedente DGR 766/03</u>	<u>2</u>
<u>nuova zona sismica DGR 387/09 e DGR 835/09</u>	<u>2</u>
<u>sottozona sismica</u>	<u>B</u>

INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA DELL'AREA

Sulla scorta dei dati disponibili in letteratura, è possibile ricostruire la successione stratigrafica dell'area in esame. In superficie, dopo un piccolo spessore (variabile da 0,30 a 0,80m) di materiali alterati, segue una coltre di sedimenti prevalentemente argillosi di età quaternaria dello spessore variabile tra 0,40 e 2,0 m, che ricopre la formazione dei tufi.

AZIONE SISMICA

L'azione sismica di progetto in base cui valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definisce a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito in oggetto.

La pericolosità sismica (nuove NTC 17.01.2018) in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC stesse ed i risultati che la definiscono devono essere espressi:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini tra loro;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_r ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore max del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Si definisce "risposta sismica locale" l'azione sismica riferita al sito in esame tenendo conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA ATTESA

Per il sito in esame, individuato dalle coordinate **LAT 42.476578 LONG 12.150861** i parametri di a_g (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g), e F_0 , T_c^* relativi agli STATI LIMITE presi in considerazione, danno i seguenti valori:

STATI LIMITE		T_r anni	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Operatività (SLO)	30	0.048	2.501	0.253
	Danno (SLD)	50	0.060	2.527	0.265
STATI LIMITE ULTIMI	Salvaguardia vita (SLV)	475	0.141	2.486	0.290
	Prevenzione collasso (SLC)	975	0.176	2.517	0.295

CATEGORIA SUOLO FONDAZIONE

Per individuare la categoria del suolo di fondazione dei terreni su cui soggia il fabbricato in questione si fa riferimento ai dati elaborati dallo scrivente dalle indagini geologiche di superficie precedenti e dai dati disponibili in letteratura.

Per cui si può collocare il suolo di fondazione nella **categoria B**:

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

Ciò in considerazione dei risultati delle 4 prove sismiche eseguite, con i seguenti risultati:

- 1) **Vseq = 548.11 m/s**
- 2) **Vseq = 526.66 m/s**
- 3) **Vseq = 384.33 m/s**
- 4) **Vseq = 382.30 m/s**

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per i coefficienti S_s e C_c relativi al sottosuolo del sito esaminato che rientra come detto sopra nella **Categoria B** Tab.3.2.II – Categorie di sottosuolo (Nuove NTC – D.M. 17.01.2018), si può fare riferimento per i coefficienti S_s e C_c in relazione allo Spettro di progetto inelastico (SLU) ai seguenti parametri:

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss Amplificazione stratigrafica	1.200	1.200	1.200	1.200
Cc Coeff. Funz. Categoria	1.45	1.43	1.41	1.40

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Lo studio della configurazione morfologica ci fa attribuire il sito in oggetto alla **categoria topografica T1**:
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i < 15^\circ$.

PARAMETRIZZAZIONE SISMICA

I parametri della azione del sisma relativi all'area oggetto dell'intervento e riconducibili allo Stato Limite di Salvaguardia della vita sono:

$a_g = 0,141$ g

$F_o = 2,486$

$T_c^* = 0,290$ s

Con un tempo di ritorno di 475 anni

L'ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO è: **PGA (SLV) $S_s \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.00 \cdot 0.141 = 0.170$**

MODELLO GEOTECNICO E CARATTERISTICHE DEI TERRENI

Per dare un quadro litologico-tecnico dei litotipi fondali della zona in oggetto, oltre alla valutazione delle caratteristiche litologiche locali, si sono prese in considerazione **le linee sismiche eseguite onde poter determinare i valori delle Vseq come richiesto dalla normativa** e le prove penetrometriche **come richiesto dalla nuova normativa, di cui si sono elaborati** i dati ed i risultati si allegano.

Le litologie che caratterizzano l'imposta fondale, si ipotizzano nel quadro generale d'insieme dell'area a comportamento incoerente; in particolare dall'analisi dei dati estrapolati e dalla loro correlazione emerge un quadro superficiale caratterizzato da litologie a comportamento a prevalenza costituiti da sabbie limoso argillose e sabbie con ghiaie per quello che riguarda in genere i primi 5m.

Le prove penetrometriche sono state condotte fino ad intercettare il substrato litoide, alle seguenti quote:

DPSH 1 = 6.00 m da p.c.

DPSH 2 = 6.00 m da p.c.

DPSH 3 = 5.20 m da p.c.

DPSH 4 = 3.00 m da p.c.

DPSH 5 = 4.00 m da p.c.

Le prove sismiche/MASW sono state condotte in corrispondenza di zone intermedie ai vari lotti che saranno occupati dall'impianto e i risultati delle suddette confermano a livello di risposta i risultati della geognostica.

Le prove geologiche effettuate (penetrometriche dinamiche e sismiche) hanno evidenziato nei primi 6 metri dal piano campagna la presenza di terreni con buone caratteristiche geotecniche, le condizioni meccaniche migliorano con la profondità arrivando ad ottime caratteristiche con il substrato litoide (a tal proposito si vedano i risultati delle prove, allegati in fondo).

Generalità

Si può stabilire una suddivisione in almeno due strati

1° strato - **Limi argillosi** (*attuale*)

2° strato - **Serie dei tufi** (plio-Pleistocene)

Parametrazioni geotecniche

Per quel che riguarda la parametrizzazione delle formazioni i terreni costituenti l'area possono raggrupparsi dal punto di vista geotecnico nei seguenti livelli:

LIMI ARGILLOSI :

$\gamma = 1.58 \text{ t/m}^3$ (peso di volume)

$\gamma_{\text{sat}} = 1.93 \text{ t/m}^3$ (peso di volume saturo)

$\Phi = 27^\circ$ (angolo di attrito interno)

Coesione non drenata (Cu) = 0.48 kg/cm²

Modulo elastico = 61.27 kg/cm²

Modulo edometrico = 67.96 kg/cm²

Poisson = 0.36

TUFI

$\gamma = 1.90 \text{ t/m}^3$ (peso di volume)

$\gamma_{\text{sat}} = 2.10 \text{ t/m}^3$ (peso di volume saturo)

$\Phi = 39^\circ$ (angolo di attrito interno)

Coesione non drenata (Cu) = 1.80 kg/cm²

Modulo elastico = 328.40 kg/cm²

Modulo edometrico = 361.05 kg/cm²

Poisson = 0.35

Carico limite di fondazione su terreni

La realizzazione di una sufficiente interazione tra i terreni e la struttura fondale può ottenersi scegliendo come terreno portante quello relativo al livello geotecnico dei limi argillosi, rilevati dalle prove effettuate fino alla profondità di circa 5.0 m dal p.c. impostandosi quindi su substrato indisturbato che offra sufficienti garanzie di stabilità grazie alla sua consistenza e la quasi totale assenza di falde freatiche o di percolazioni di rilievo.

Si consiglia un tipo di fondazione di tipo superficiale.

Per migliorare la suddetta interazione si potrebbero realizzare delle strutture sottofondali così da distribuire in maniera più ampia i carichi su materiali con buone caratteristiche fisico meccaniche.

Dati generali (coefficienti sismici NTC):

latitudine 42.476578

longitudine 12.150861

tipo di opera 2 – opere ordinarie

classe d'uso classe II

vita nominale 50 anni

vita di riferimento 50 anni

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo B

Categoria topografica T1

Considerazioni Progettuali

Si consiglia la D.L. di avviare la **realizzazione di opportuni drenaggi e canalette per la raccolta delle acque di infiltrazione e la loro regimazione eventuale.**

L'impostazione delle opere di fondazione nella condizione litotecnica suddetta dovrebbe escludere la possibilità di innesco di cedimenti. La questione da considerare riguarda invece il fatto che il **piano di fondazione deve presentare delle caratteristiche uniformi in tutto il suo sviluppo.** A tale scopo, oltre a condurre questa verifica in fase esecutiva dell'opera, per evitare cedimenti di tipo differenziale, si consiglia di verificare che la **fondazione abbia idonee caratteristiche di continuità e rigidità.**

Considerare inoltre **gli incrementi di carico in gioco**, legati in gran parte ad una riorganizzazione organica ed uniforme del quadro tensionale prodotto dall'opera e dalla sua distribuzione sul terreno.

Valutazioni finali

E' evidente come il carico massimo applicabile, possa essere stimato in sede esecutiva, nel rispetto delle considerazioni e prescrizioni riportate nel presente paragrafo. Si consiglia al progettista di considerare che

comunque, **le strutture di progetto, saranno periodicamente soggette ad assestamenti, seppure di minima entità e quindi è fondamentale che la struttura si presenti strutturalmente idonea.**

Si consiglia di tenere conto nella scelta della fondazione:

a) le eventuali risalite della falda che potrebbero portare ad una ulteriore riduzione delle pressioni e ad un incremento delle deformazioni

b) la valutazione dei cedimenti di insieme che coinvolgendo spessori maggiori di terreno porterebbero ad incrementi delle deformazioni

c) la sismicità dell'area e le dimensioni areali ed in elevazione dei manufatti, suggerisce una particolare cautela nella valutazione dei cedimenti.

RISPOSTA DEL TERRENO IN PROSPETTIVA SISMICA

I comuni di Vitorchiano e di Viterbo classificati come zona sismica 2B hanno una accelerazione orizzontale massima convenzionale sismica $a_g=0.135g$.

Si è inoltre determinato il valore V_{seq} che a termini di legge si dovrà tenere presente per la edificabilità.

In ottemperanza al D.M. 17/01/2018 e alla Circolare Ministeriale 21/01/2019, **Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni**, in base alla Tab. 3.2.II – CATEGORIE DI SOTTOSUOLO, e in base alla Tabella 3.2.IV – CATEGORIE TOPOGRAFICHE, si stabilisce quanto segue (per determinare il valore del sottosuolo ci si è basati sulle norme dell'Art. 3.2.2 della Legge): che la categoria di sottosuolo interessata sarà

S_s = B – Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

e la categoria topografica

S_T = T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i < 15^\circ$.

VERIFICA DI INVARIANZA IDRAULICA

Con l'intervento in oggetto si mettono in campo azioni di mitigazione finalizzate ad ottenimento dell'invarianza idraulica, mantenendo nell'area in studio, i colmi di piena invariati, in situazione post operam rispetto all'ante operam.

Secondo il principio per cui "per invarianza idraulica si intende una trasformazione che non provochi un aggravio di portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa".

Le misure da applicare sono diversificate in funzione della consistenza della trasformazione.

Per eventuale trasformazione sul suolo che possa provocare una variazione della superficie permeabile, debbono applicarsi misure di compensazione per l'invarianza idraulica, commisurate alla consistenza delle suddette variazioni, seguendo le indicazioni di cui alla suddetta tabella. Per ogni intervento che interessa la permeabilità del suolo (ampliamenti di superfici, pavimentazione di aree, sostituzione di pavimentazioni esistenti, nuove costruzioni sia interrate sia fuori terra, corti pavimentate, marciapiedi, ecc), diviene obbligo la valutazione delle misure compensative previste per assicurare l'invarianza idraulica.

Non si ravvisano le condizioni che implicano la progettazione di vasche di laminazione.

TERRE E ROCCE DA SCAVO

Le terre e rocce prodotte durante l'esecuzione di interventi che prevedono scavi di qualsiasi natura in materiali naturali possono essere riutilizzate (ad esempio per rinterri, riempimenti, rilevati, etc.) solo previa autorizzazione e solo nel caso in cui soddisfino i requisiti enunciati nell'art. 186 del Decreto Legislativo

152/06 (Norme in materia ambientale). In particolare è necessario classificare questi materiali come sottoprodotti; in caso contrario devono essere considerati come rifiuti e si deve provvedere al loro smaltimento in discarica, secondo la normativa vigente in materia di rifiuti di cui alla parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Accertate pertanto le caratteristiche dei materiali prodotti dalla realizzazione delle opere in progetto, i materiali non rientrano nella gestione della normativa dei materiali da terre e rocce da scavo ai sensi dell'art. 185 comma 1 lett. D) del D.lgs 152/2006.

AREE DI VULNERABILITA' E PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Le Carte della Pericolosità e Vulnerabilità Geologica dei territori Comunali danno un quadro di insieme delle pericolosità e vulnerabilità geologiche del territorio. Si tratta in genere di una sintesi delle conoscenze geolitologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche.

Si definiscono in genere Aree Vulnerabili quelle di Salvaguardia geologica quali: 1) sorgenti pubbliche di acqua potabile, 2) aree per acque minerali di estrazione privata, 3) aree critiche con degrado delle acque sotterranee, 4) località di interesse geologico-ambientale (Geositi).

Si definiscono Aree di Pericolosità: 1) zone in frana, 2) luoghi interessati da sprofondamenti catastrofici improvvisi (sinkhole), 3) cave, 4) catacombe ed ambienti sotterranei di interesse storico-archeologico, 5) aree di esondazione dei fiumi o del reticolo secondario, 6) località interessate da eventi di piena, 7) aree interessate da allagamenti, 8) aree situate al di sotto del livello del mare.

Basandosi sulla interpretazione della cartografia allegata (vedere le Tavv. da 11 a 24) e sul rilevamento geologico effettuato, si può escludere la zona interessata dal progetto in oggetto dall'elenco sopra menzionato, e quindi si può classificarla come non soggetta a vulnerabilità o pericolosità geologiche.

AREA DI PROGETTO E CARTOGRAFIA DI IDONEITA' TERRITORIALE

La Carta della Idoneità Territoriale dei territori Comunali costituisce una sintesi delle Carte precedenti soprattutto (alla luce delle nuove normative sia nazionali sia regionali) delle carte di vulnerabilità e pericolosità oltre che delle carte riguardanti i vari vincoli.

Quindi relativamente all' opera in oggetto si può arrivare alle seguenti conclusioni.

Le indagini geologiche reperite ai fini della progettazione della pianificazione urbanistica hanno consentito di caratterizzare il terreno interessato che si sintetizza così:

- il sito in oggetto è collocato su una zona pianeggiante costituita da limi argillosi e tufi;
- il terreno non è interessato allo stato attuale da movimenti gravitativi di alcun tipo, confermato ciò anche dalla cartografia fornita;
- la copertura alluvionale non è interessata da processi di allagamento ed erosione;
- non sono presenti aree con presenza di cavità sotterranee;
- il livello piezometrico della falda idrica sotterranea è rinvenibile, ad una profondità media di oltre 10 metri;
- il territorio non ricade in aree critiche relativamente ai sistemi acquiferi;
- l'area ricade nei Comuni di Viterbo e Vitorchiano che sono zona sismica 2B relativamente alla nuova normativa sismica regionale.

Conseguentemente, sulla base dei dati disponibili e raccolti dalle prove effettuate e dal rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, il sito in questione, in relazione appunto agli interventi da realizzare, è stato classificato in 1 classe di idoneità:

1) AREE GIUDICATE IDONEE RISPETTO AI CARATTERI GEOLOGICI E SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI:

area le cui caratteristiche geologiche e geotecniche sono congrue alla principale destinazione d'uso ed in cui non c'è alcun limite alla edificabilità in quanto non sono presenti zone in frana o di esondazione. I terreni presentano più che buone caratteristiche geomeccaniche. La progettazione degli interventi edificatori deve comunque attenersi alle Norme Tecniche del DM 11/03/1988, del DPR 380/201 e alle nuove NTC2018.

Interventi mirati come fondazioni profonde e idonei ed adeguati sistemi di drenaggio in corrispondenza di interrati, ovvieranno sicuramente ad eventuali inconvenienti puntiformi, oltre ad una mirata Direzione Lavori, anche Geologica. Si potrà eventualmente approfondire lo studio delle capacità portanti e degli eventuali cedimenti differenziali.

La progettazione degli interventi edificatori deve comunque attenersi alle Norme Tecniche del DM 11/03/1988, del DPR 380/201 e alle nuove NTC2018.

In ultima analisi il terreno in oggetto **si può considerare come vocato alla attività edificatoria richiesta.**

PRESCRIZIONI DA OSSERVARE RELATIVAMENTE ALLA ESECUZIONE DELLE OPERE PREVISTE

Dovranno essere rispettate tutte le prescrizioni nessuna esclusa della presente relazione geologica e idrogeologica e geologico/geotecnica.

Il materiale terroso proveniente dagli scavi qualora non riutilizzato per il riempimento degli stessi, se rimarrà sul posto dovrà essere depositato in zone prive di vegetazione forestale, opportunamente conguagliato sistemato a strati livellato compattato e rinverdito, così da evitare ristagni di acqua o erosioni o frane.

Tutto il materiale di risulta dovrà essere smaltito nei luoghi e con le modalità consentite dalla norma vigente.

Dovranno essere realizzate tutte quelle opere (canalette di scolo, scoline trasversali, drenaggi ecc.) atte a garantire il regolare deflusso delle acque meteoriche, superficiali e di infiltrazione.

Le aree non interessate da opere, così come indicate negli elaborati di progetto dovranno conservare la loro permeabilità originale con esclusione di pavimentazione di qualsiasi genere.

Gli interventi di regimazione idraulica non dovranno aggravare le condizioni di rischio a valle degli insediamenti da essi protetti.

VALUTAZIONI E PRESCRIZIONI GENERALI

Generalità

Per quanto riguarda la stabilità dell'area, bisogna considerare che l'opera di progetto è posizionata in un contesto morfologico caratterizzato da terreni a medio-elevato grado di addensamento.

In tale quadro, quindi, effettuare una **corretta intercettazione e regimazione delle acque superficiali e subsuperficiali** di pari passo con il **rispetto di angoli di versante** in base alle caratteristiche geomeccaniche locali e/o realizzando strutture di contenimento per l'effettuazione di operazioni di scavo, rappresentano un buon compromesso con le condizioni di stabilità generale dell'area.

La condizione delle litologie costituenti il piano di fondazione è caratteristica per lo sviluppo di cedimenti, per l'estrema sensibilità alle mutazione dry/saturo (cicli di idratazione ed essiccamento) legate alle condizioni meteorologiche esterne; in tale caso, l'isolamento delle litologie di imposta del piano fondale potrà essere realizzato, oltre che aumentando la profondità di imposta, provvedendo ad **isolarla previo realizzazione di idonee opere drenanti**, aventi tra l'altro la funzione di impedire che le acque di deflusso superficiale e sub-superficiale vadano ad interessare i piani fondali ipotizzati

Interventi

Nel quadro di possibili interventi strutturali sulle strutture fondali, si consiglia di *evitare di impostare geometrie che producano un approfondimento del bulbo delle pressioni* (distribuzione in profondità del carico), che potrebbe produrre oltre a condizioni favorevoli all'innescò di cedimenti fondali, possibili interferenze sulle pareti in parte perimetrali l'area di progetto, soggette a condizioni di instabilità.

Ciò, unito ad una **corretta regimazione delle acque** e ad una idonea ed attenta conduzione dei lavori (con particolare attenzione all'apertura e contenimento di eventuali fronti di scavo) dovrebbe garantire sufficienti condizioni di stabilità (eccetto particolari situazioni locali non prevedibili in questa fase e da valutare con una corretta D.L.).

Gli interventi di drenaggio hanno lo scopo di allontanare o raccogliere le acque superficiali e sotterranee in corrispondenza di pendii instabili o di terreni di fondazione da bonificare o consolidare, in modo da diminuire le pressioni interstiziali e perciò le spinte del terreno.

In generale i drenaggi comprendono anche gli interventi diretti ad esercitare un'azione regolatrice delle acque correnti superficiali non incanalate.

Nell'esecuzione dei drenaggi è di fondamentale importanza assicurarsi che tutti gli scarichi delle canalizzazioni siano condotti al più vicino fosso o impluvio e che in corrispondenza dei punti di scarico non inneschino processi erosivi.

Generalità sulla stabilità dell'area

Per quanto attiene alla stabilità dell'area, non si evidenziano morfologie e/o morfotipi correlabili a condizioni di instabilità, vista anche la morfologia locale pianeggiante; le uniche problematiche che devono essere tenute in conto riguardano le **possibili difformità areali del dato di consistenza del substrato** locale, la **plasticità dei depositi** e le **oscillazioni della falda acquifera**. A tale scopo, una volta definita la tipologia fondale e determinato il suo dimensionamento, dovranno essere condotte verifiche tese a valutare i cedimenti generabili con i carichi da progetto, soprattutto alla luce di possibile innescò di cedimenti differenziali

Valutazioni e prescrizioni per la fase progettuale e di cantiere

Si consiglia, nel quadro della sicurezza del cantiere di lavoro che si impianterà, di porre particolare attenzione durante le possibili fasi di scavo; onde evitare lo sviluppo di fenomeni particolarmente dannosi per la stabilità dei fronti di scavo e soprattutto per la sicurezza di persone e cose (che operano nel cantiere), sarà opportuno provvedere ad una svasatura degli stessi e comunque sempre al provvisorio contenimento; in tale contesto si consiglia di effettuare sempre un attento controllo dei fronti di scavo su cui si andrà operare, soprattutto se la fase di costruzione delle opere, non è immediatamente successiva alla fase di scavo; la presenza nella sequenza stratigrafica superficiale di intercalazioni di litologie plastiche, in occasione di processi di idratazione ivi possibili, provocherebbe drastica modificazione del parametro geotecnico, con cedimento diffuso dei fronti e quindi con pericoli per persone e mezzi che operano nella fase di cantiere. Ciò vale anche per la stabilità stessa del piano fondale, sia nella fase di cantiere che nella successiva fase di esercizio, per il possibile sviluppo di cedimenti a preponderante carattere differenziale.

Riepilogando in fase esecutiva del progetto di sistemazione dell'area limitrofa alla nuova struttura, sarà opportuno:

-- operare **drenaggio delle acque superficiali e sub-superficiali** in tutta l'area interessata dal progetto; a tale scopo, si prescrive, in fase di sistemazione dell'area, la **realizzazione idonee linee di smaltimento delle acque superficiali e meteoriche (canalette/trincee drenanti realizzate fino alla quota di imposta del piano fondale)**, aventi lo scopo di intercettare processi di idratazione e ristagno idrico rilevati in questa fase e deflussi superficiali; **verificare che le acque raccolte siano convogliate a valle in idonei impluvi** (per evitare fenomeni di ruscellamento diffuso e/o concentrato); ciò oltre a mantenere

costanti (dry) le condizioni del sito di imposta fondale, evita l'instaurarsi di flussi idrici, che nel tempo, modificando le caratteristiche tessiturali e geognostiche dei terreni di fondazione possano produrre squilibri all'equilibrio locale; ciò si potrà realizzare sia con l'uso di canalette di raccolta che con la realizzazione di trincee e che **dovranno essere approfondite fino ad almeno 1.0 m dal p.c.**, evitando in tale modo che eventuali acque di infiltrazione vadano ad infiltrarsi al di sotto dell'opera stessa. onde evitare infiltrazioni ed erosioni;

-- porre attenzione nella fase di realizzazione, avendo cura di non creare sbancamenti tali da porre in una condizione di latente instabilità il versante a monte, con possibile innesco di movimenti di massa verso valle (effetto dello scalzamento al piede di materiale);

-- per quanto riguarda *la messa in posto di terre e materiali per la creazione di rilevati, questo dovrà essere condotto con metodologie e tecniche stabilite dalla normativa tecnica vigente;*

-- prevedere la realizzazione di strutture di contenimento provvisorie onde garantire idonee condizioni di sicurezza di chi opera in cantiere;

-- rispettare in sede lavori, le dimensioni previste da progetto.

CONCLUSIONI

L'indagine condotta ha consentito di determinare le principali caratteristiche geomorfologiche, ideologiche, litogeologiche e geotecniche dei terreni in oggetto. A tale proposito si aggiunge a quanto riportato ciò che segue.

- In seguito all'indagine effettuata si ritiene l'area idonea alla realizzazione di quanto in progetto, poiché non si sono notati elementi geologico, idrologico e geomorfologico, che possano pregiudicarne la realizzazione.

- Esente da rischi di instabilità di natura gravitativa;

I **coefficienti** determinati in base alla **Nuova Normativa (D.M. 17/01/2018)** sono la **categoria di sottosuolo** e la **categoria topografica** rispettivamente **$S_s = B$ e $S_T = T1$**

Ed inoltre:

- Realizzare **adequati drenaggi lungo il perimetro dell'opera di progetto**, al fine di favorire l'allontanamento delle acque meteoriche e superficiale onde evitare ristagni, infiltrazioni, sviluppo erosioni lineari.

- Il *piano di posa*, deve coincidere con il substrato inalterato, provvedendo ad eliminare eventuali tasche di materiale detritico e verificando che non ricada su parti disarticolate.

- Valutare la possibilità che innalzamenti della falda (stagionali) producano imbibizione dei piani di fondazioni da progetto.

IL GEOLOGO



ALLEGATI

TAVV.1/4– Corografia scala 1:25000

TAVV.5/8 – Carta Tecnica Regionale scala 1:10000

TAV.9/10 – Carta Tecnica Regionale scala 1:5000

TAVV.11/13 – Riferimenti idrogeologici

TAVV.12/13 – Riferimenti geomorfologici

TAVV.18/26– Riferimenti geologici

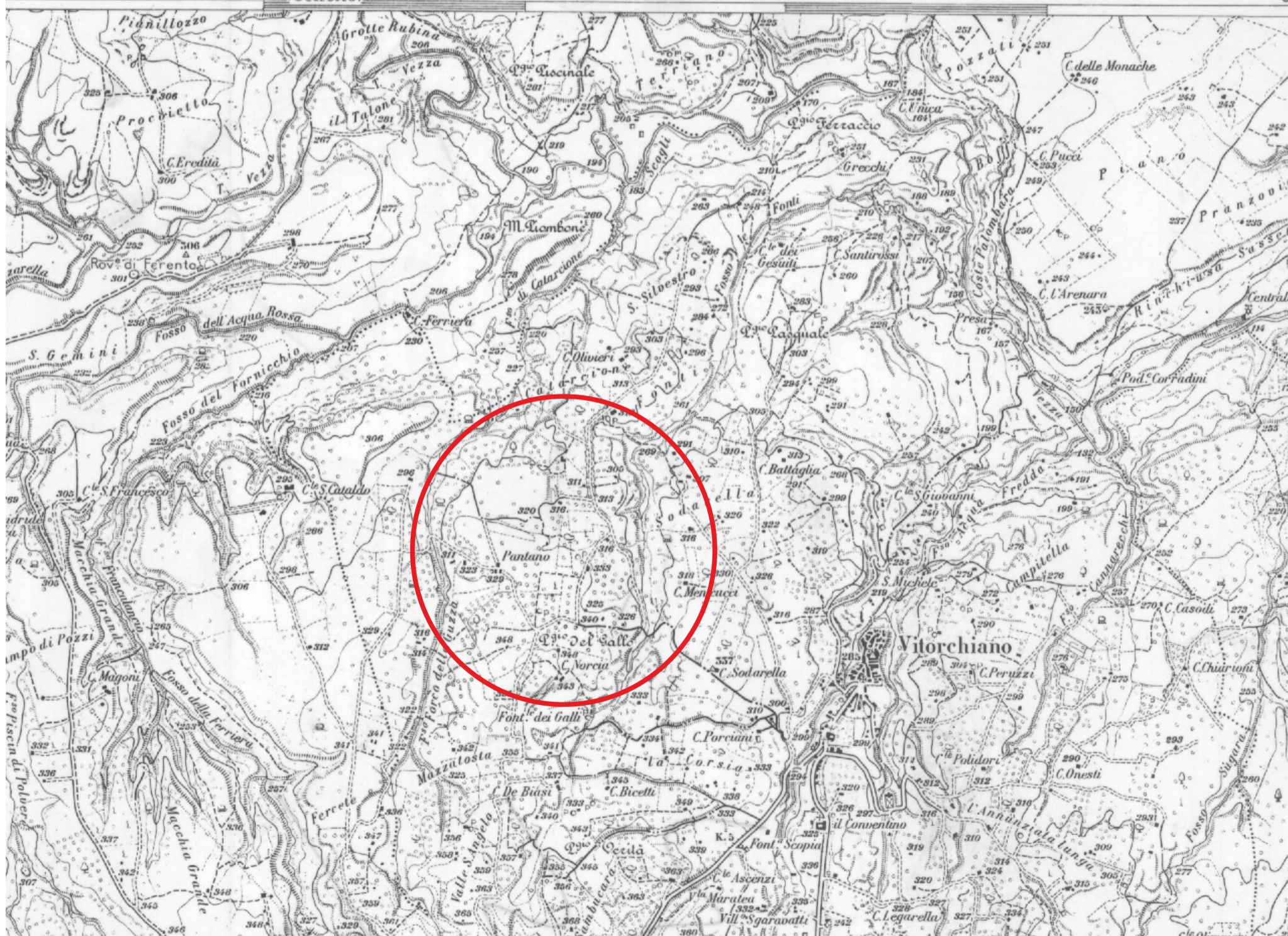
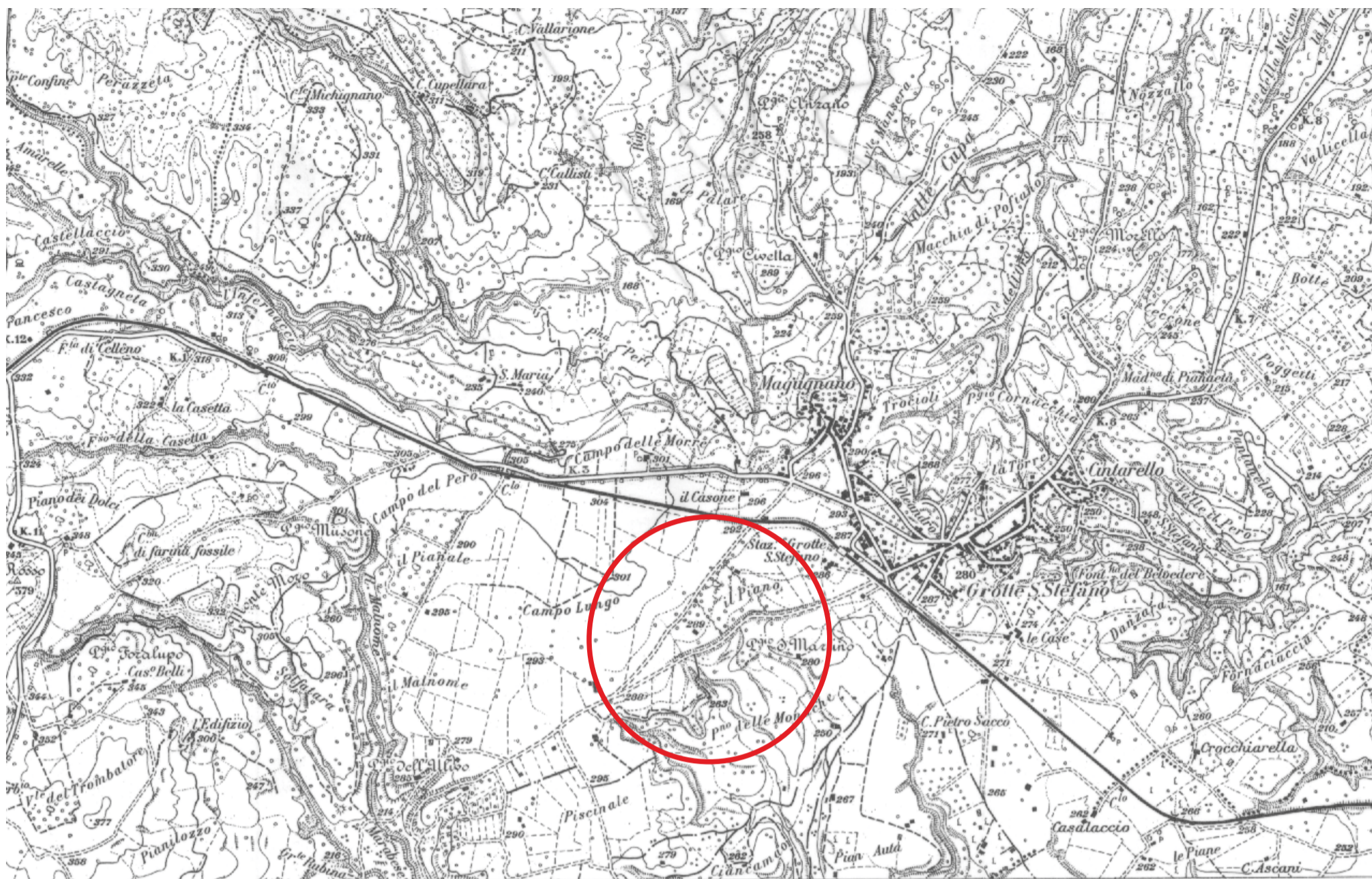
TAVV.27/28 – Carta idoneità territoriale

TAVV.29/30 – Planimetria generale con posizionamento prove effettuate

TAV.31 – Colonna stratigrafica

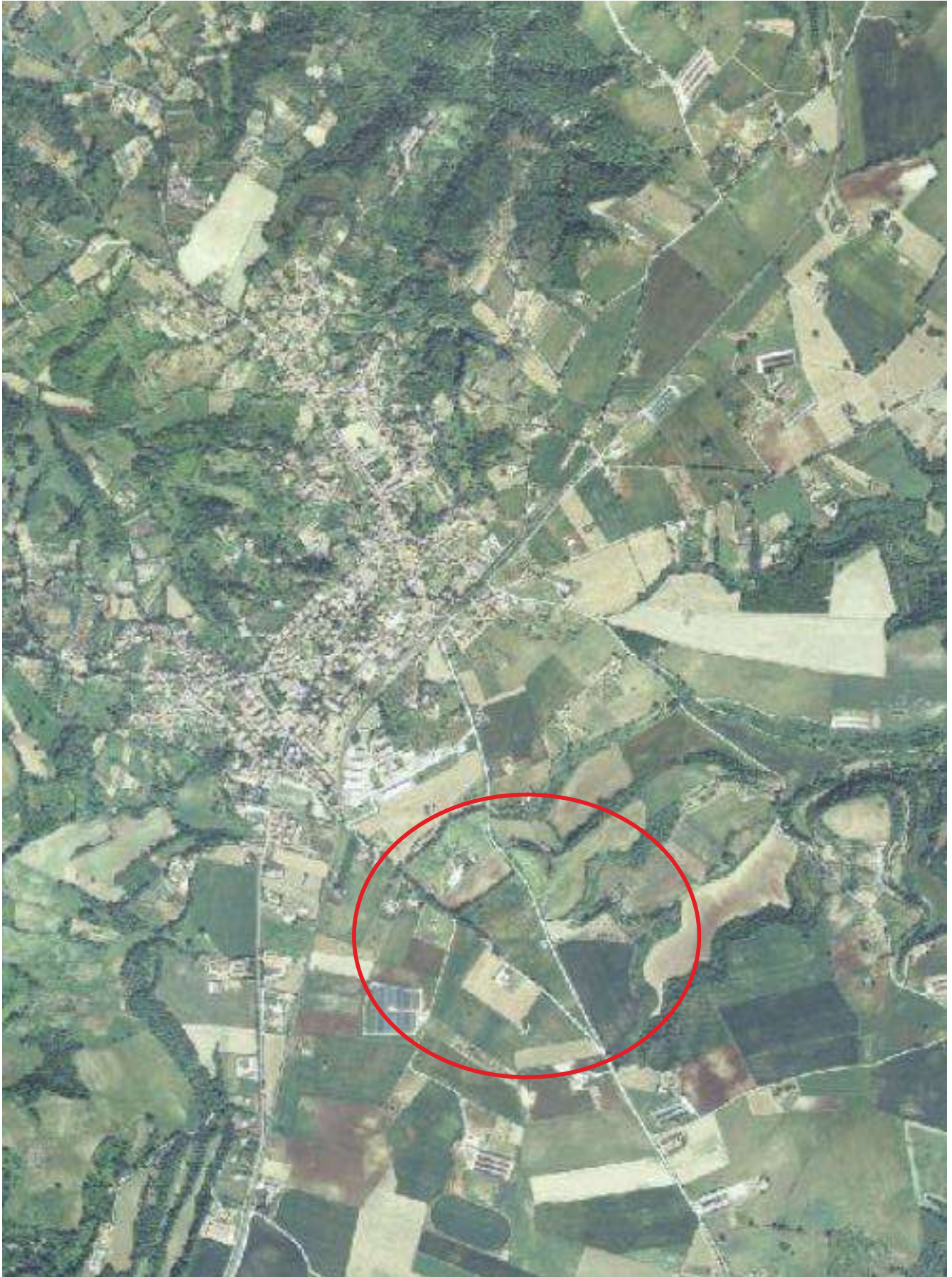
TAV 1

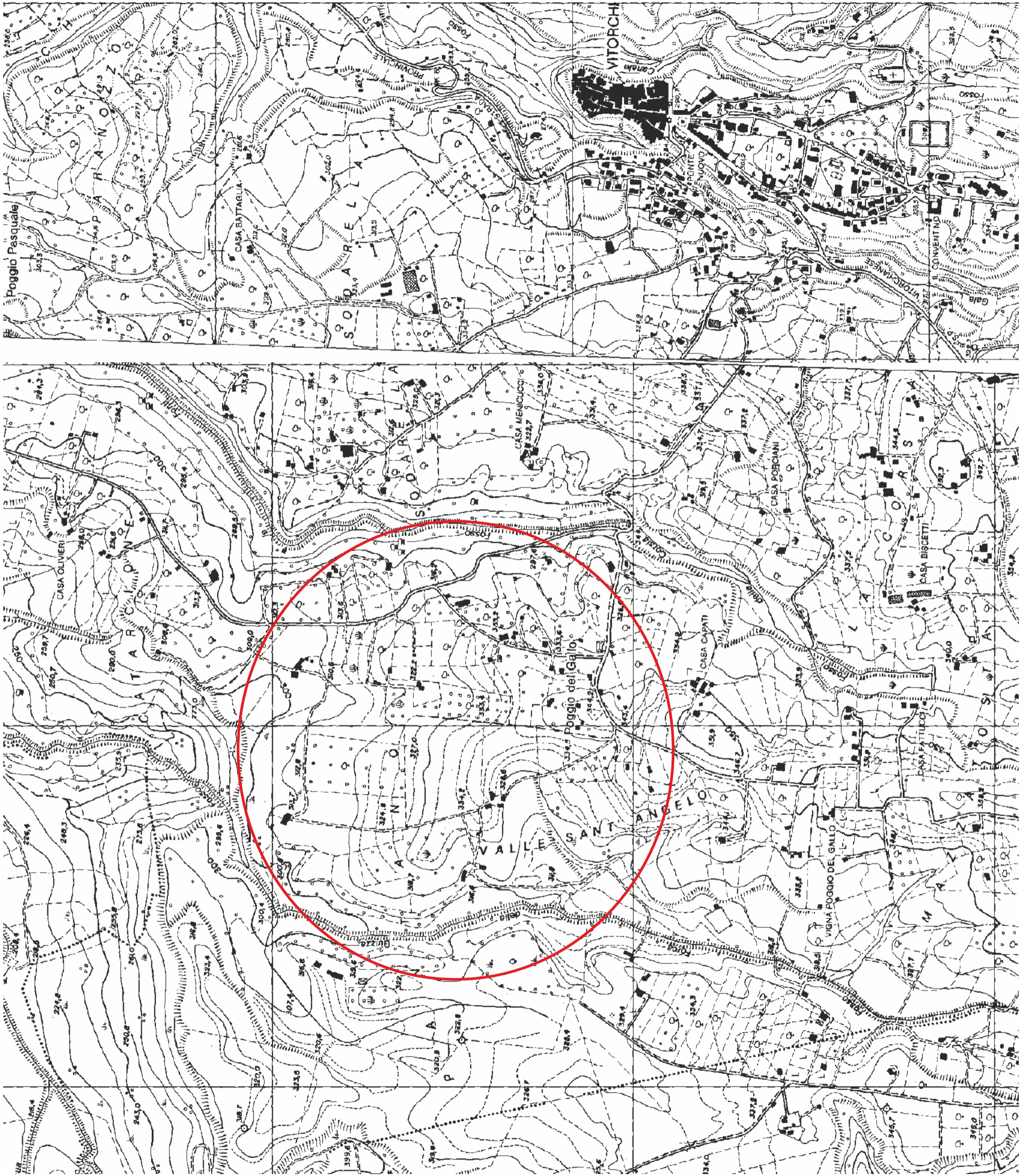




COROGRAFIA scala 1:25000
Sezione 137 III NE Viterbo / 137 IV SE Celleno



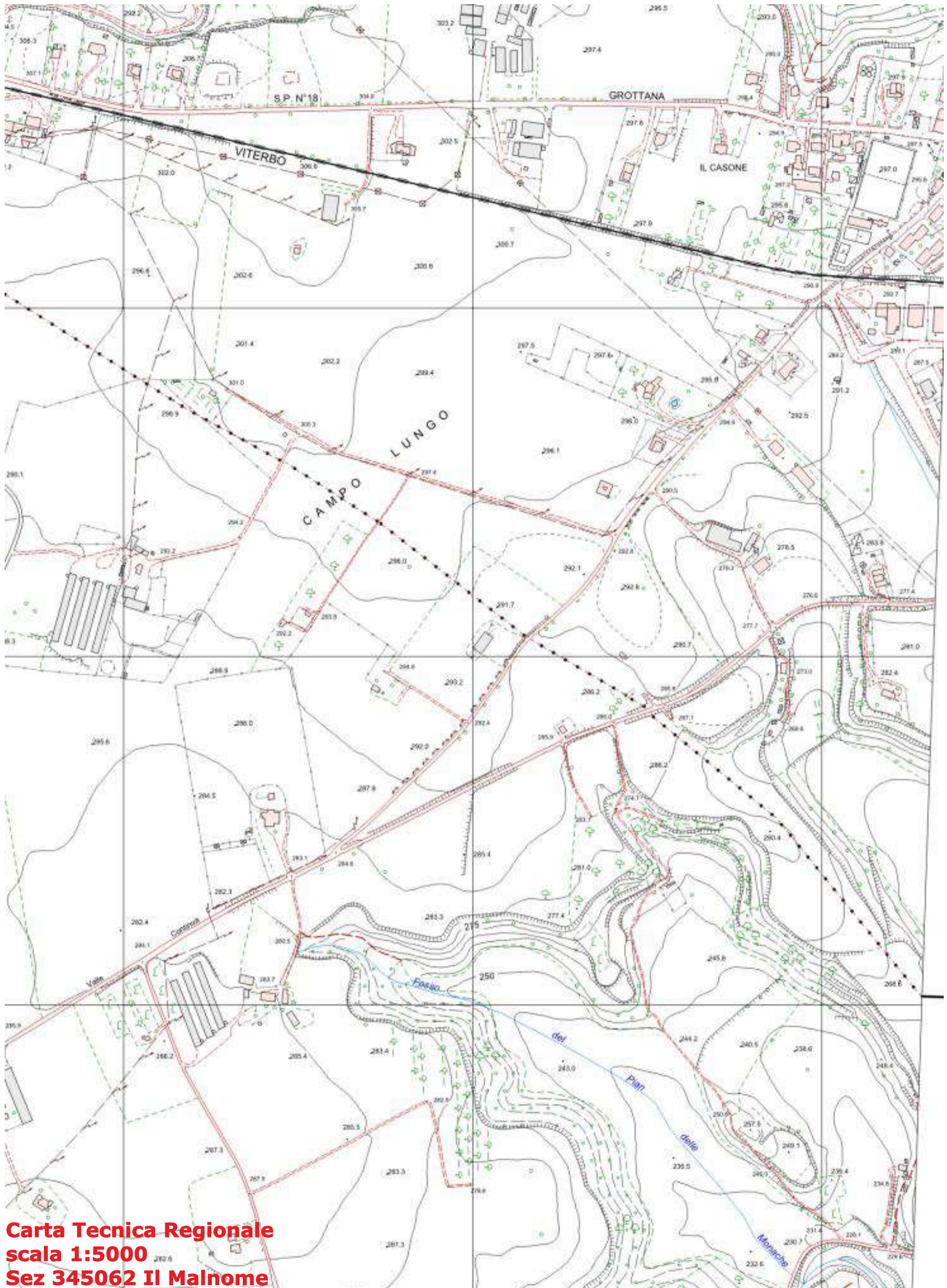




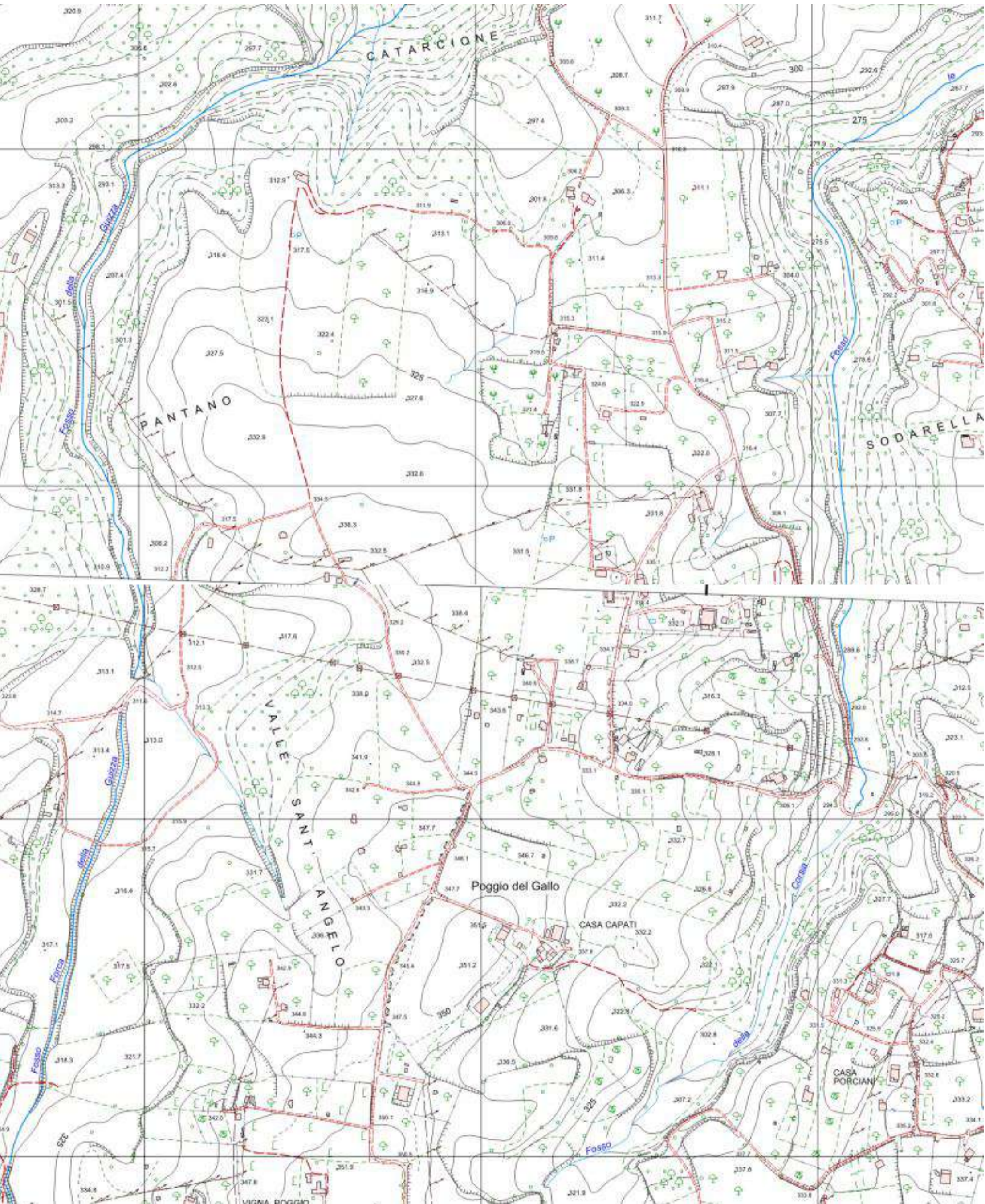
Carta Tecnica Regionale scala 1:10000
Sez. 345100 Rovine di Ferento / 345110 Vitorchiano







**Carta Tecnica Regionale
scala 1:5000
Sez 345062 Il Malnome**



**Carta Tecnica Regionale
scala 1:5000
Sez 345101 Rovine di Ferento / 345102 Poggio del Gallo**



da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO
derivata Scala 1:10000

AUTORITA' BACINO DISTRETTUALE
APPENNINO CENTRALE

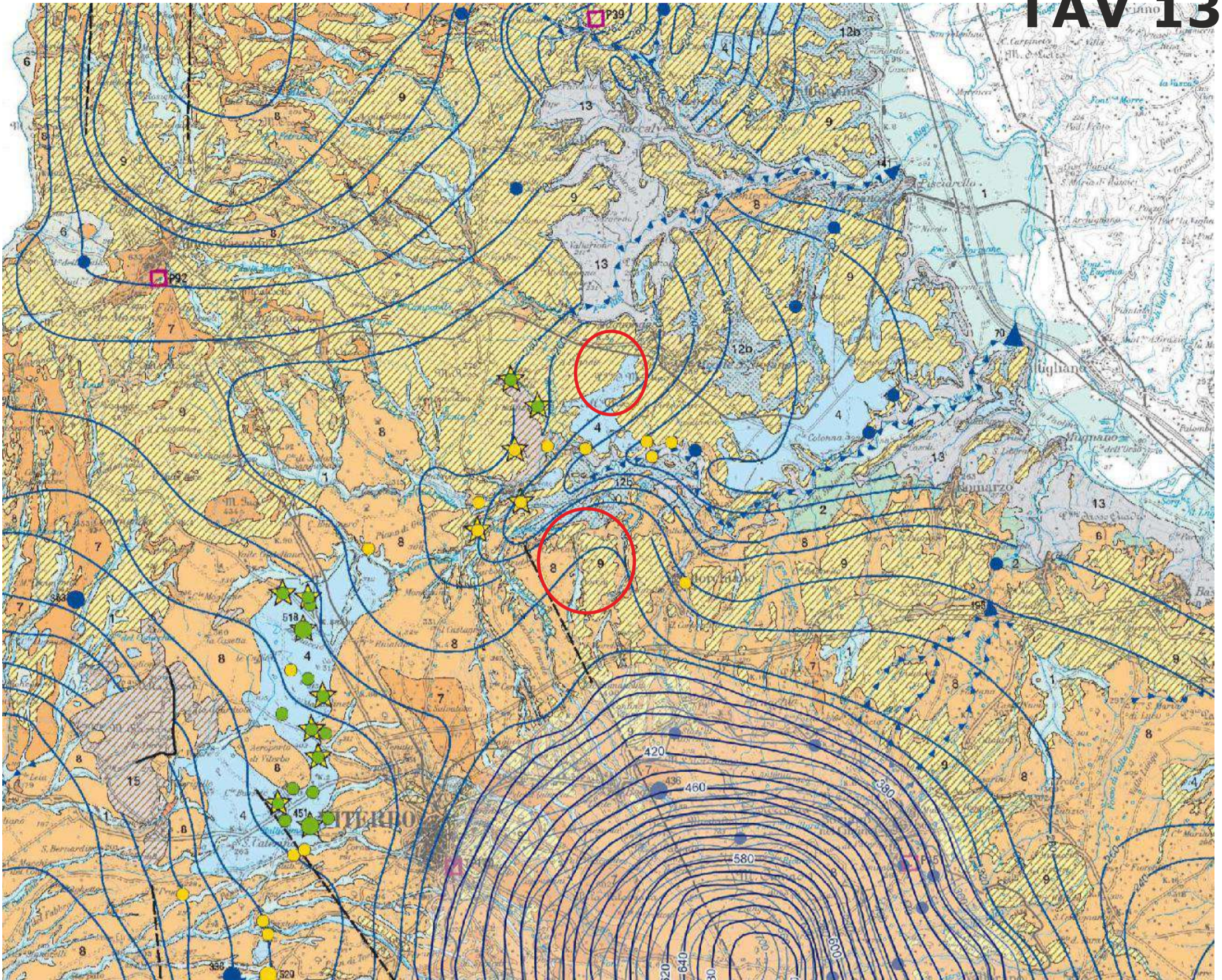
RIFERIMENTI IDROGEOLOGICI



RETICOLO IDROGRAFICO
estratto da P.C.N. scala 1:10000

AUTORITA' BACINO DISTRETTUALE
APPENNINO CENTRALE

RIFERIMENTI IDROGEOLOGICI



- 4** **COMPLESSO DEI TRAVERTINI - potenzialità acquifera medio alta**
 Travertini antichi, recenti e a tufi, concrezioni travertinose in cascata e depositi alluvionali (PLEISTOCENE - GIOCCENE), spessore variabile fino ad un massimo di un centinaio di metri. Dove affiora in estesa porzione isola A sede di una circolazione idrica significativa che da luogo a talora locali di buona produttività, dove si trova in continuità idraulica con gli acquiferi alluvionali e i pozzi carbonatici regionali, la produttività della falda aumenta perché ben alimentata.
- 8** **COMPLESSO DELLE POZZOLANE - potenzialità acquifera media**
 Depositi di colata preclastica, genericamente massivi e caotici, prevalentemente litoidi. Nel complesso sono comprese le lignititi e tufi (PLEISTOCENE). Spessori da pochi metri ad un migliaio di metri. Questo complesso è sede di una estesa articolata circolazione idrica sotterranea che alimenta la falda di base dei grandi acquiferi vulcanici regionali.
- 9** **COMPLESSO DEI TUFI STRATIFICATI E DELLE FACIES FREATOMAGMATICHE - potenzialità acquifera bassa**
 Tufi stratificati, tufi tuffosi (breccie piroclastiche, pomice, lapilli e blocchi lavici in matrice cinerica (PLEISTOCENE). I termini del complesso si presentano interdigitati tra gli altri complessi vulcanici per cui risulta difficile definirne lo spessore totale. Il complesso ha una rilevanza idrogeologica limitata anche se, localmente può condizionare la circolazione idrica sotterranea, assumendo localmente il ruolo di limite di flusso e sostenendo, es. que falde superficiali.

LINEAMENTI TETTONICI

- in affioramento
- - - - - sepolti

SORGENTI PUNTUALI

- Sorgente con numero di riferimento. Se sorgente con portata inferiore a 10 L/s non sono numerate.
- termale (T ≥ 20 °C)
- minerale (TUS > 750 mg/L)
- termominerale (T ≥ 20 °C; TUS > 750 mg/L)

Classi di portata (portata media misurata L/s)

- < 10 L/s
- da 10 a 50 L/s
- da 50 a 250 L/s
- da 250 a 1000 L/s
- da 1000 a 5000 L/s
- da 5000 a 10000 L/s
- > 10000 L/s

SORGENTI SOTTOMARINE

Classi di portata (portata media stimata L/s)

- ↖ < 100 L/s
- ↗ da 100 a 1000 L/s
- ↘ > 1000 L/s

ISOPIEZE

La piezometria è stata ricostruita solo per gli acquiferi vulcanici e alluvionali

- Equidistanza 1 m per le topografie con quote inferiori a 5 m
- Equidistanza 5 m per le topografie con quote comprese fra 5 e 20 m
- Equidistanza 20 m per le topografie con quote superiori a 20 m

SORGENTI LINEARI

- Sorgente con numero di riferimento

Classi di portata (portata media misurata L/s)

- ▼ da 10 a 50 L/s
- ▼ da 50 a 250 L/s
- ▼ da 250 a 1000 L/s
- ▼ da 1000 a 5000 L/s
- ▼ da 5000 a 10000 L/s

- Decremento di portata in alveo
- ★ Emissione gassosa
- P32 Stazione pluviometrica
- P39 Stazione termopluviometrica
- ◇ Stazione idrometrica in telemisura
- Territorio urbanizzato (posizioni e modalità dei pozzi di estrazione)

da CARTA IDROGEOLOGICA DEL TERRITORIO DELLA REGIONE LAZIO derivata da scala 1:100000

RIFERIMENTI IDROGEOLOGICI

Legenda - Catalogo Frane Frane poligonali

Frane poligonali

- Crollo/ribaltamento
- Scivolamento rotazionale/traslativo
- Espansione
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Complesso
- n.d.



Legenda - Catalogo Frane Aree a franosità diffusa

Aree soggette a franosità diffusa

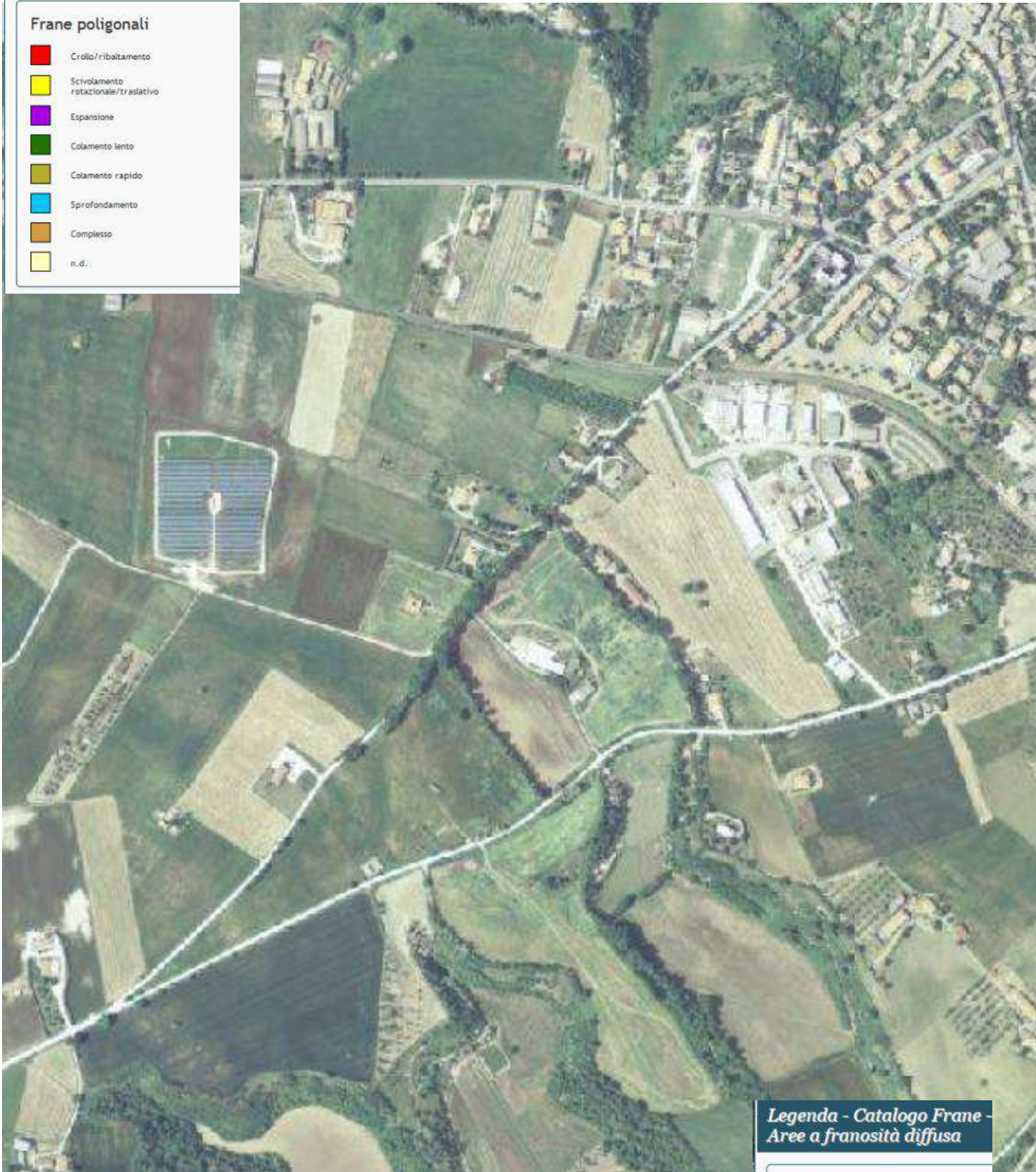
- Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
- Aree soggette a sprofondamenti diffusi
- Aree soggette a frane superficiali diffuse

da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CATALOGO FRANE
derivate Scala 1:10000

RIFERIMENTI GEOMORFOLOGICI

Frane poligonali

- Crollo/ribaltamento
- Scivolamento rotazionale/traslattivo
- Espansione
- Colamento lento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Complesso
- n.d.



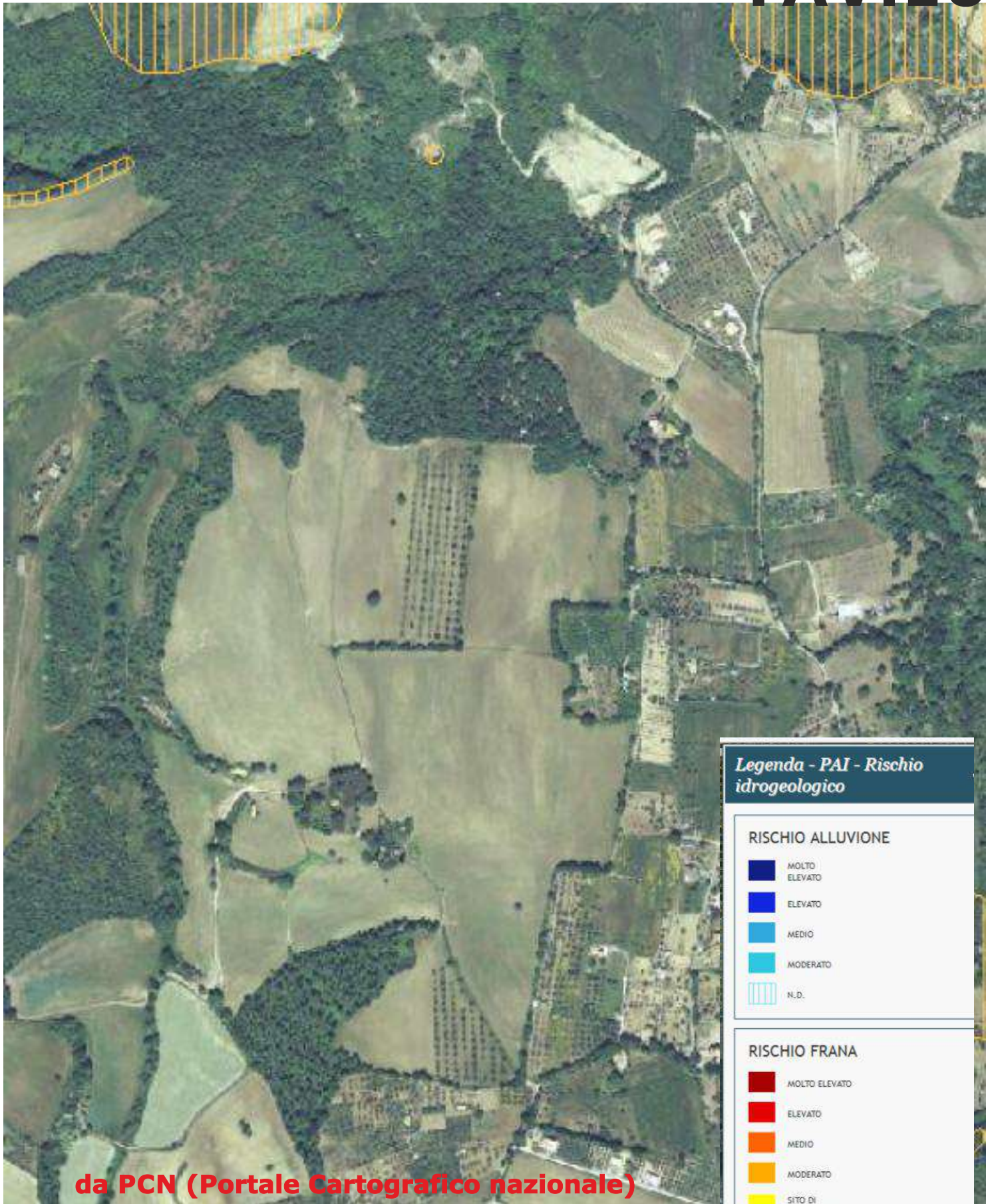
Legenda - Catalogo Frane Aree a franosità diffusa

Aree soggette a franosità diffusa

- Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
- Aree soggette a sprofondamenti diffusi
- Aree soggette a frane superficiali diffuse

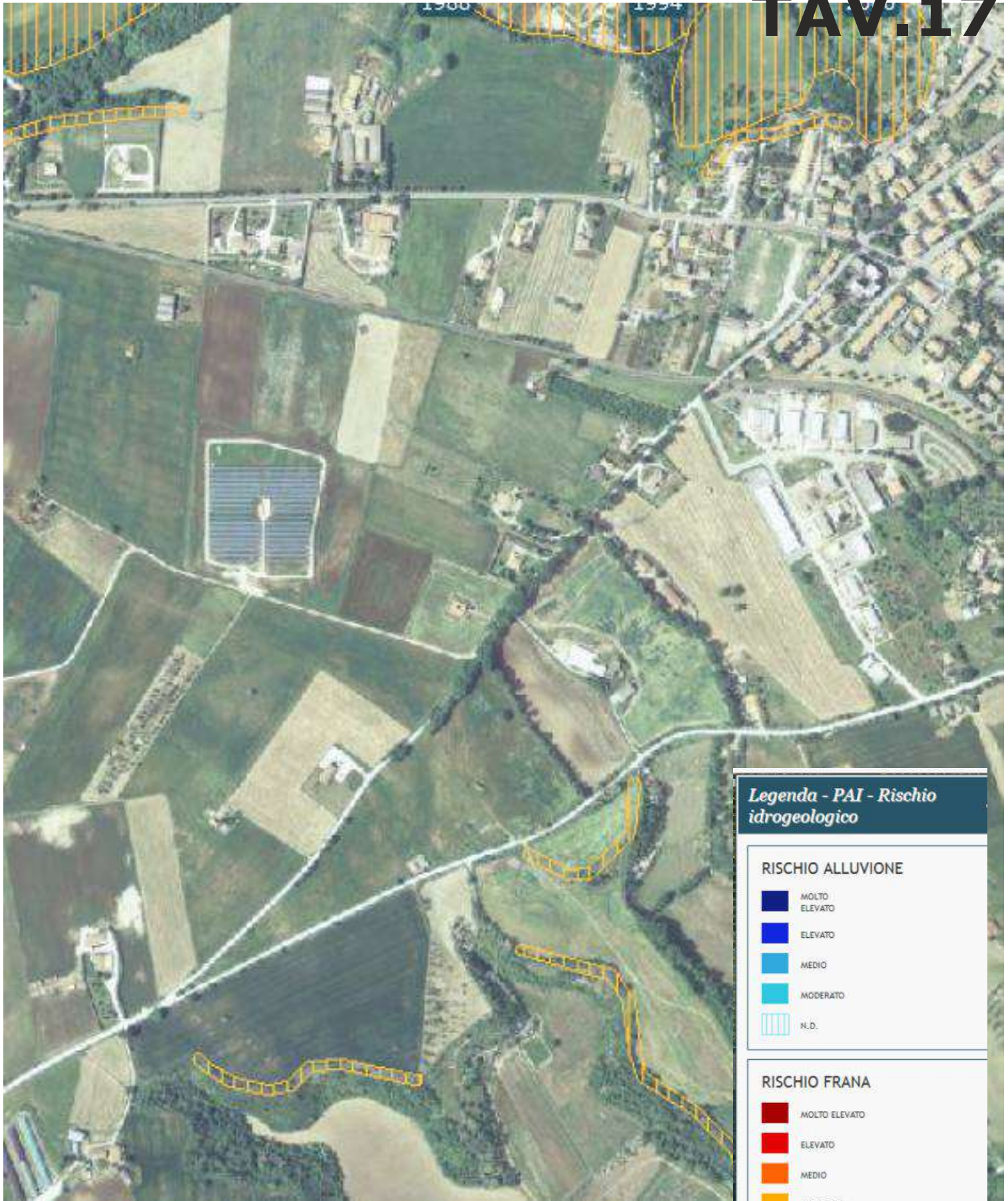
da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CATALOGO FRANE
derivate Scala 1:10000

RIFERIMENTI GEOMORFOLOGICI



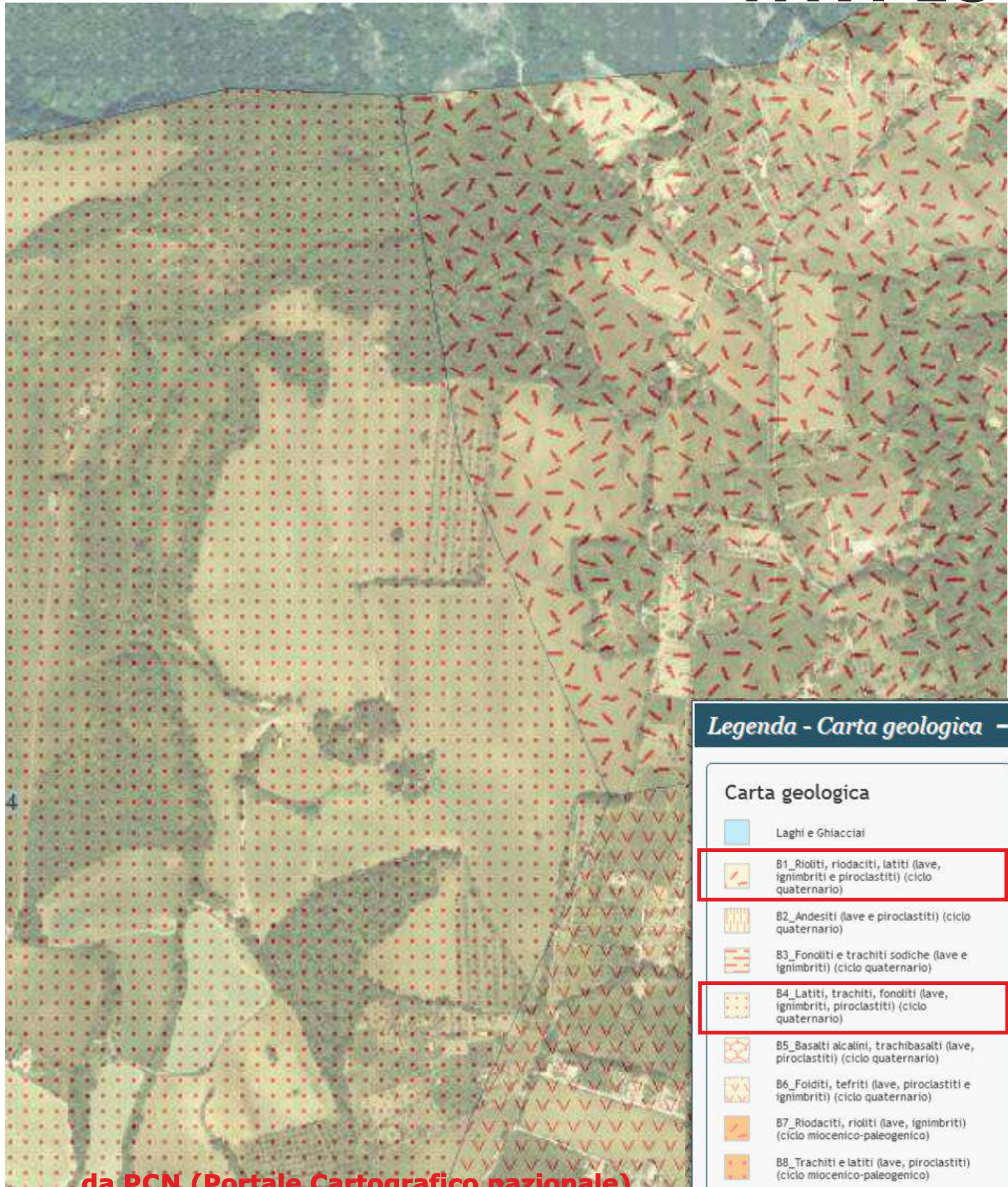
da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CARTA PAI - RISCHIO IDROGEOLOGICO
derivata da scala 1:10000

RIFERIMENTI GEOMORFOLOGICI















da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CARTA PAI - RISCHIO IDROGEOLOGICO
 derivata da scala 1:10000

RIFERIMENTI GEOMORFOLOGICI



Legenda - Carta geologica -

Carta geologica

-  Laghi e Ghiacciai
-  B1_Rioliti, riolaciti, latiti (lave, ignimbriti e piroclastiti) (ciclo quaternario)
-  B2_Andesiti (lave e piroclastiti) (ciclo quaternario)
-  B3_Fonditi e trachiti sodiche (lave e ignimbriti) (ciclo quaternario)
-  B4_Latiti, trachiti, fonditi (lave, ignimbriti, piroclastiti) (ciclo quaternario)
-  B5_Basalti alcalini, trachibasalti (lave, piroclastiti) (ciclo quaternario)
-  B6_Foiditi, tefriti (lave, piroclastiti e ignimbriti) (ciclo quaternario)
-  B7_Riolaciti, rioliti (lave, ignimbriti) (ciclo miocenico-paleogenico)
-  B8_Trachiti e latiti (lave, piroclastiti) (ciclo miocenico-paleogenico)
-  B9_Andesiti (lave e piroclastiti) (ciclo miocenico-paleogenico)
-  B10_Basalti alcalini (lave, ialoclastiti, piroclastiti) (ciclo miocenico-paleogenico)
-  B11_Basalti e tefriti sodiche (ialoclastiti) (ciclo cretastico-giurassico)

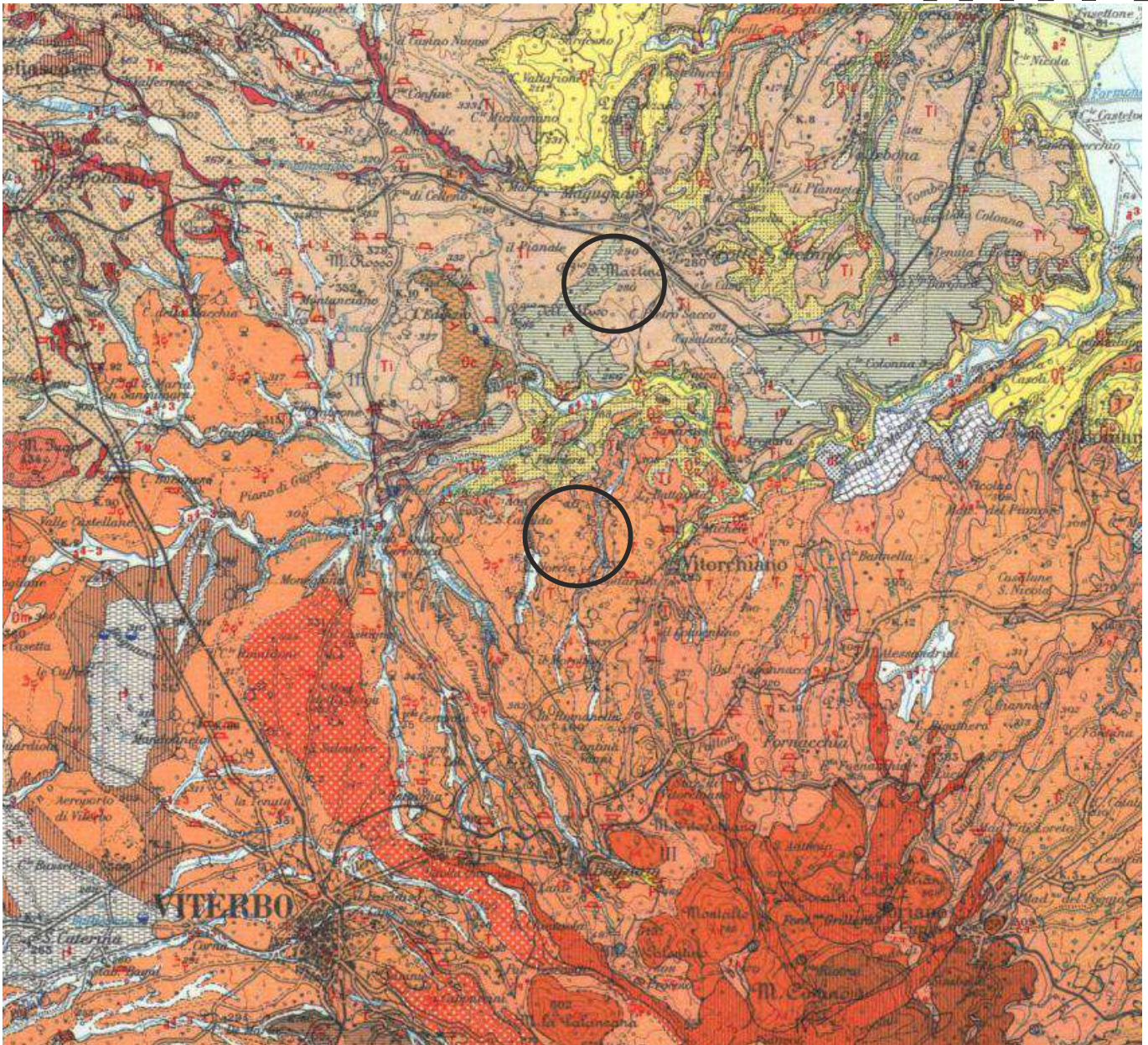
da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CARTA GEOLOGICA
derivata Scala 1:10000

RIFERIMENTI GEOLOGICI



**da PCN (Portale Cartografico nazionale)
CARTA GEOLOGICA
derivata Scala 1:10000**

RIFERIMENTI GEOLOGICI



T
 Complesso tufaceo composto, comprendente tutti i tipi tufacei sopradescritti con prevalenza di tipi trachitico-fonolitici, bruno-giallastri, per lo più cineritici, con strati a lapilli e pomice di dimensioni variabili (diametro 1-3 cm); alternanze di strati lenti di limi e sabbie con prevalenti elementi vulcanici e piante e molluschi dulcicoli; localmente livelli paleosulzati, diatomeiferi e ad impregnazioni travertinose. Comprende per la gran parte prodotti rimaneggiati di formazioni vulcaniche precedenti; di grande estensione cronologica ed areale, indica fenomeni esplosivi ed erosivi intercalati alle manifestazioni laviche ed «ignimbricche» (T).



Ti
 Tufi leucitici basali, con fenoclasti pirossenici, abbondanti pomice e piccoli brandelli di rocce di varia natura. Si presentano in fitte alternanze di livelli di colore variabile dal grigio al giallo chiaro, frequentemente pedogenizzati. Nel settore orientale dell'apparato sono frequenti, a tutti i livelli, intercalazioni lentiformi di diatomee con resti di pesci e di grossi mammiferi (*Elephas [Hesperodaxdon] antiquus* FALC. e CAUTL., *Bos primigenius* BOJ.) (Ti).

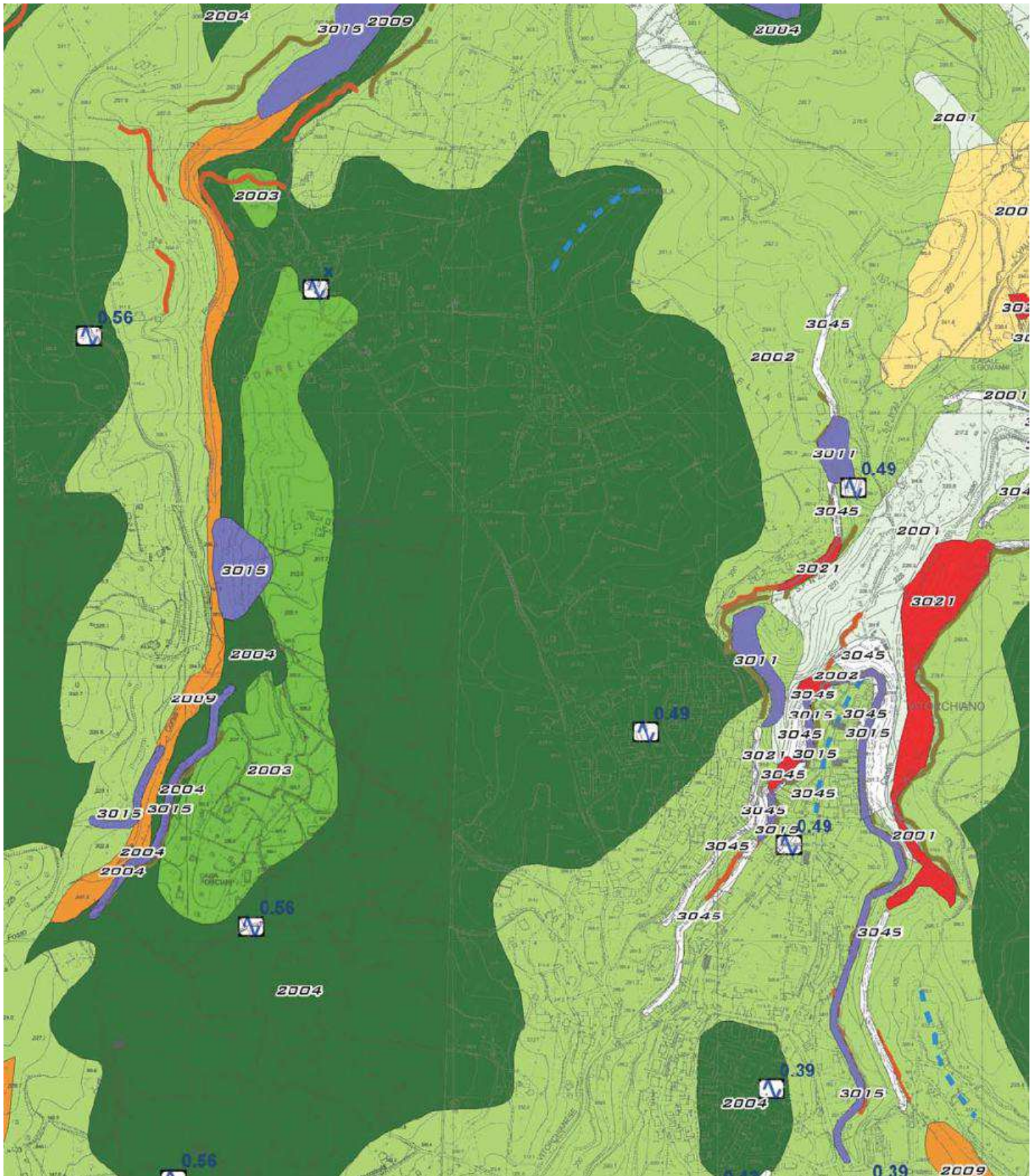


Alluvioni terrazzate (terrazzo di 2° ordine del F. Tevere) (a) e travertini (b)

Alluvioni terrazzate (terrazzo di 1° ordine del F. Tevere) (a).

da **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA**
 scala **1:100000**
 foglio **137- VITERBO**

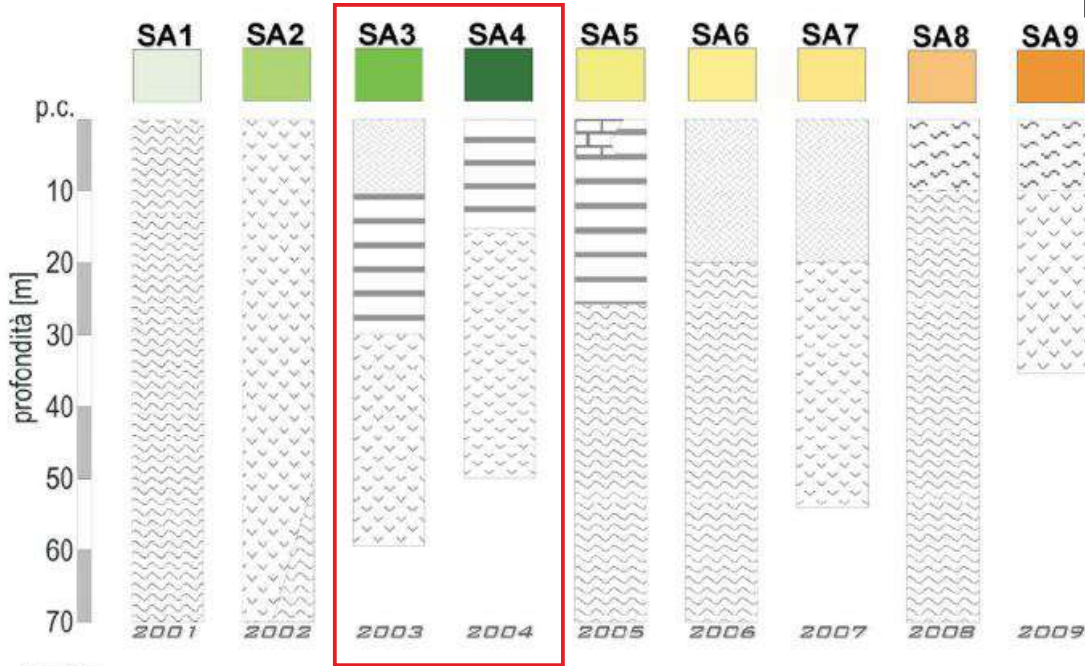
RIFERIMENTI GEOLOGICI



**MICROZONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO 1 - COMUNE DI VITORCHIANO
CARTA MICROZONE OMOGENEE
IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)
Scala 1:10000**

RIFERIMENTI GEOLOGICI

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE **TAV 22**



- Coperture recenti (alluvioni e detrito)
- Travertino
- Ignimbrite III vicana
- Tufi stratificati
(Complesso Tufaceo Composito vicano e Tufi Leucititici Basali vulsini)
- Complesso delle vulcaniti cimine
(Lave quarzolatitiche in domi, Ignimbrite quarzolatitiche e Lave Trachitiche-Oliviniche)
- Basamento sedimentario

ZONE INSTABILI - instabilità di versante

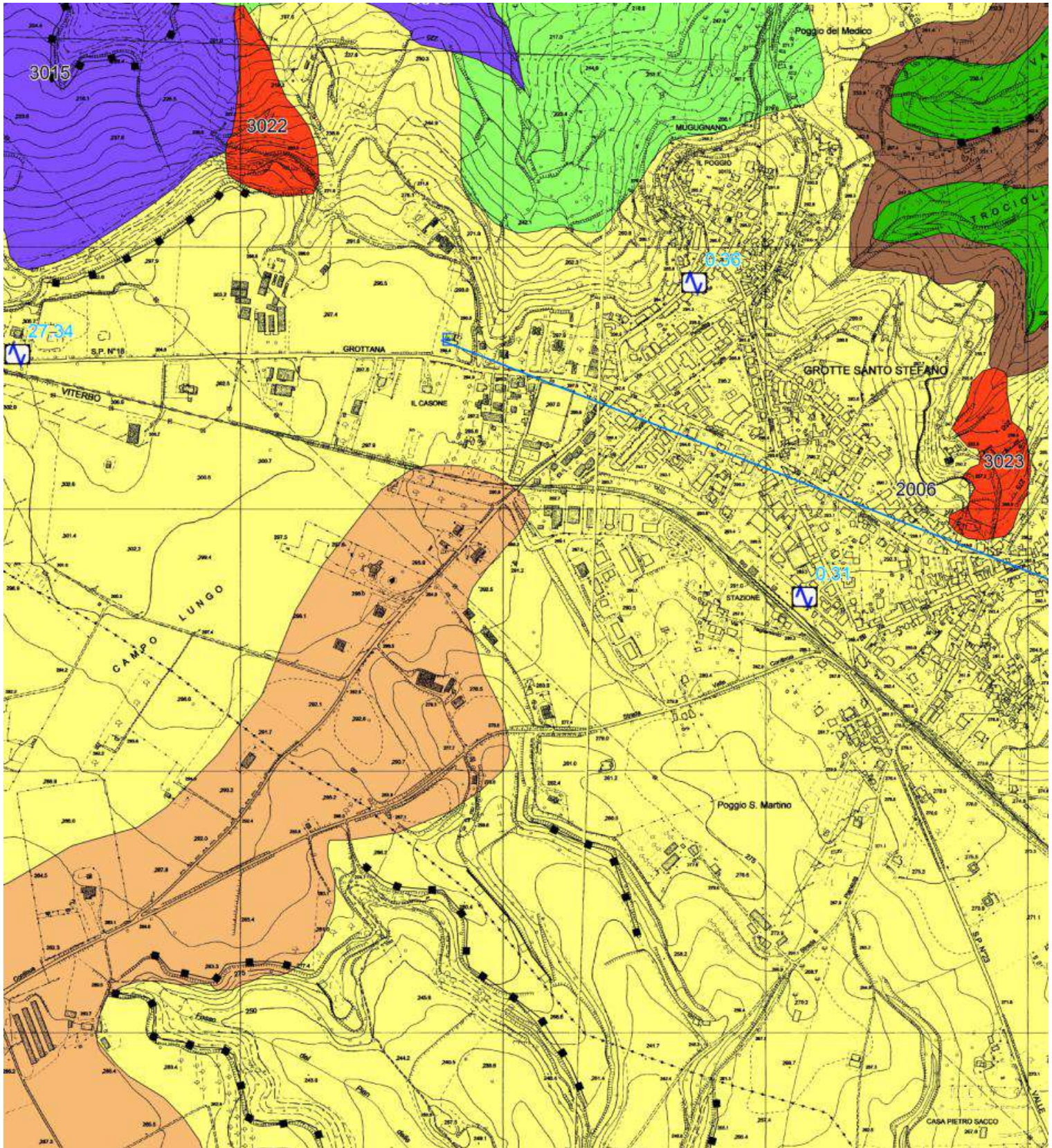
- S11**
 stato di attività : NON DEFINITO
3045
- S12**
 stato di attività : ATTIVO
3013
- S13**
 stato di attività : QUIESCENTE
3035

Elementi morfologici

- Picco isolato
6010
- Orlo di scarpata morfologica (10-20m)
5041
- Orlo di scarpata morfologica (>20 m)
5042
- Cresta
5060

**MICROZONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO 1 - COMUNE DI VITORCHIANO
CARTA MICROZONE OMOGENEE
IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)
Scala 1:10000**

RIFERIMENTI GEOLOGICI



**MICROZONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO 1 - COMUNE DI VITERBO
CARTA MICROZONE OMOGENEE
IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)
Scala 1:10000**

RIFERIMENTI GEOLOGICI

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



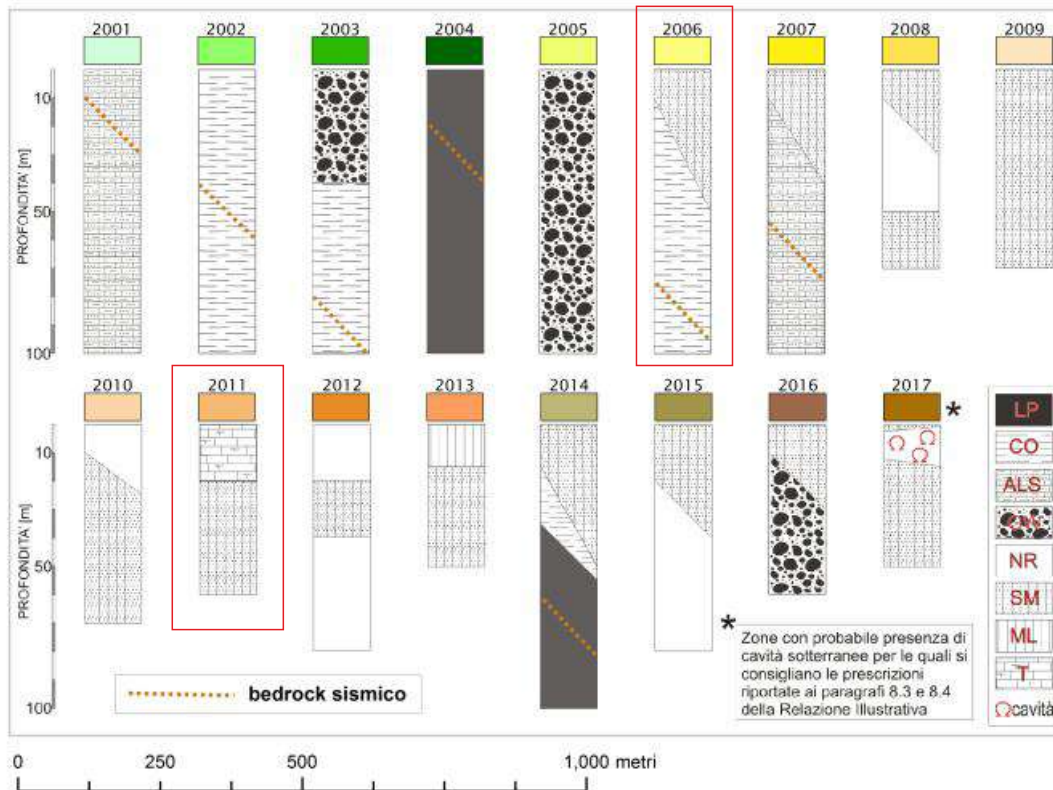
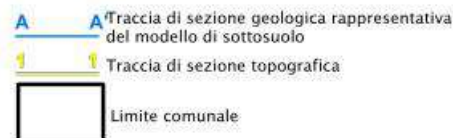
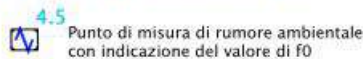
Zone suscettibili di instabilità



Forme di superficie e sepolti

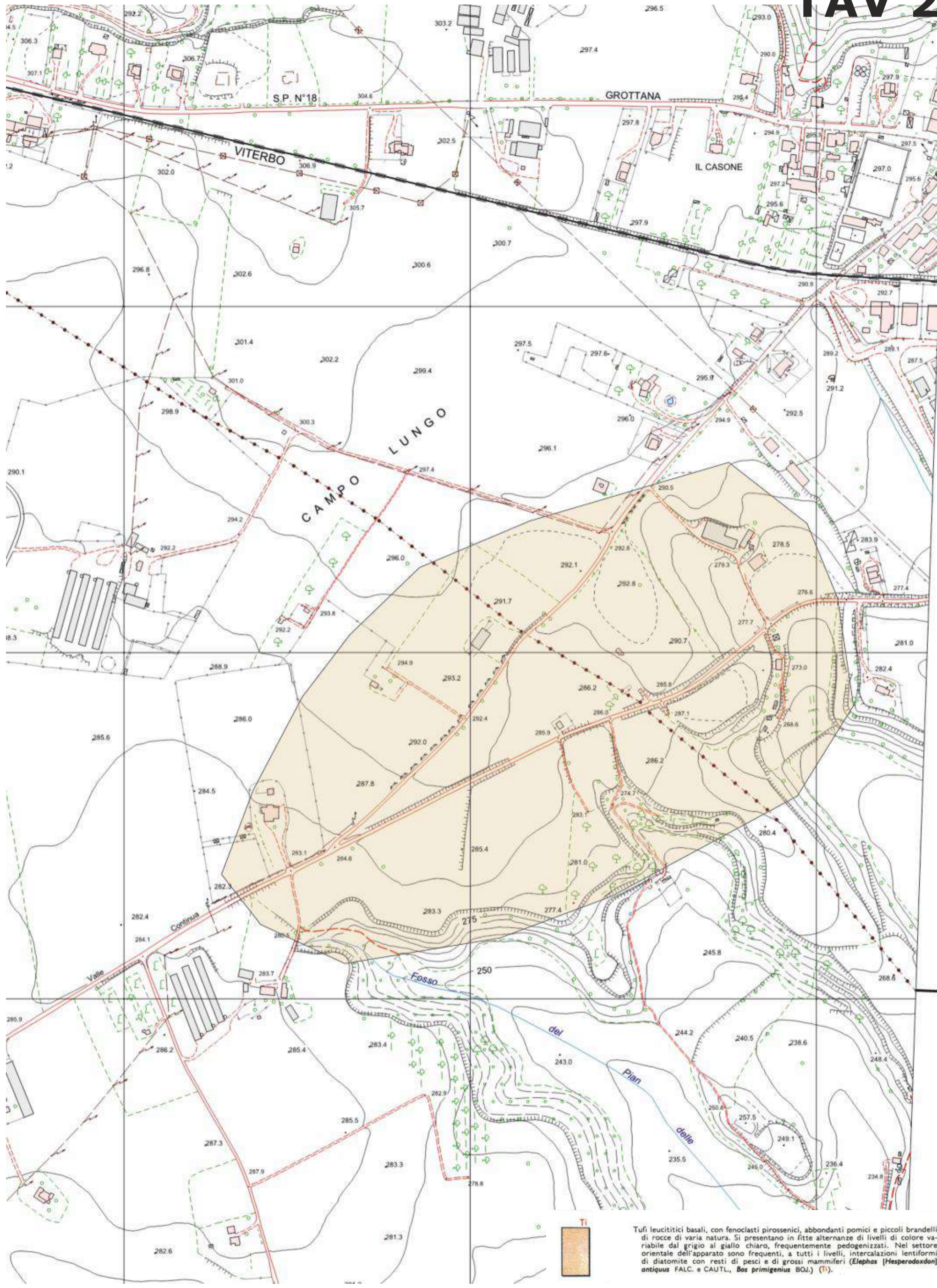


Punti di misura di rumore ambientale



**MICROZONAZIONE SISMICA
DI LIVELLO 1 - COMUNE DI VITERBO
CARTA MICROZONE OMOGENEE
IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)
Scala 1:10000**

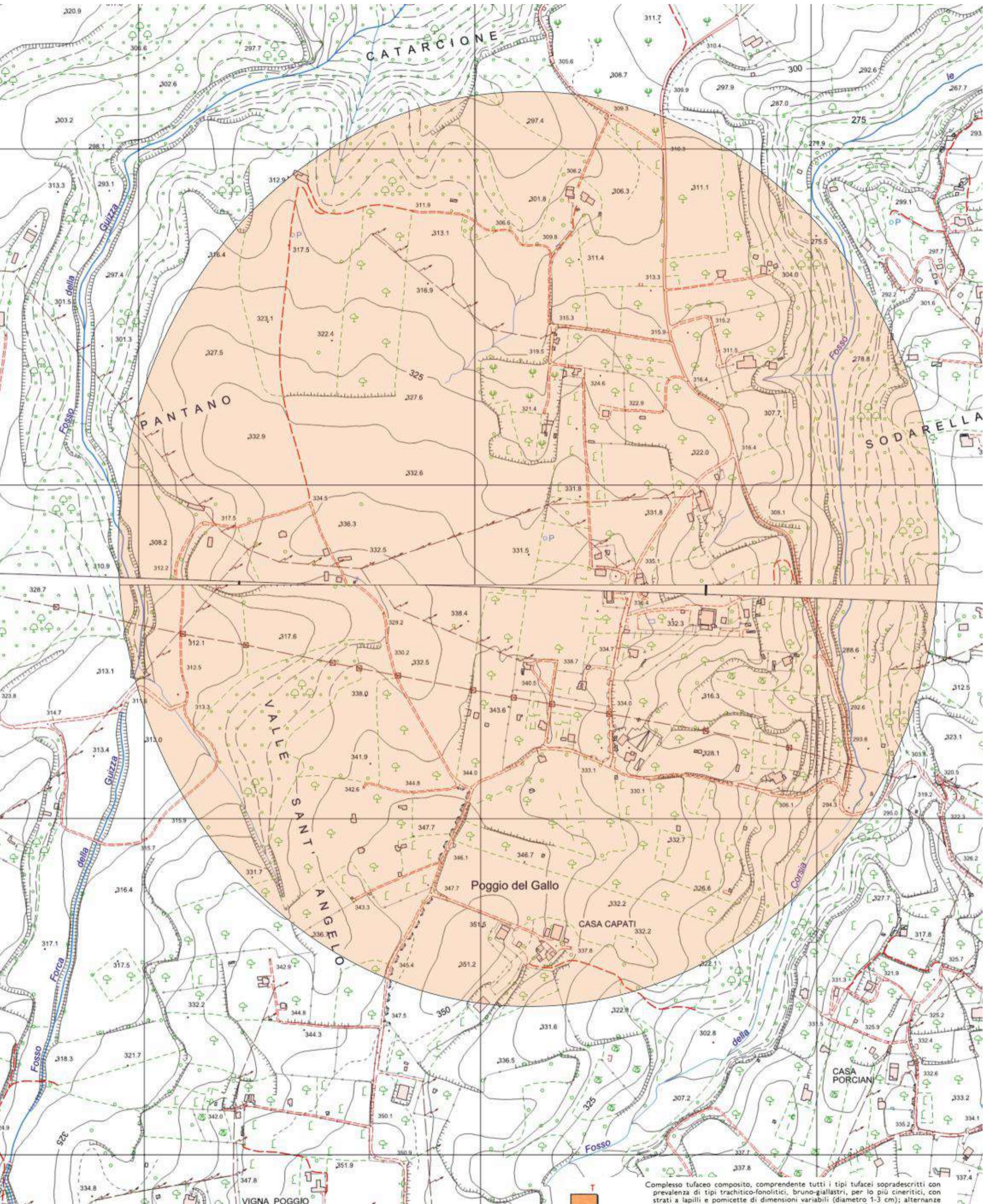
RIFERIMENTI GEOLOGICI



Tufi leucitici basali, con fenoclasti pirossenici, abbondanti pomici e piccoli brandelli di rocce di varia natura. Si presentano in fitte alternanze di livelli di colore variabile dal grigio al giallo chiaro, frequentemente pedogenizzati. Nel settore orientale dell'apparato sono frequenti, a tutti i livelli, intercalazioni lentiformi di diatomite con resti di pesci e di grossi mammiferi (*Elephas [Hesperodaxodon] antiquus* FALC. e CAUTL., *Bos primigenius* BOJ.) (1).

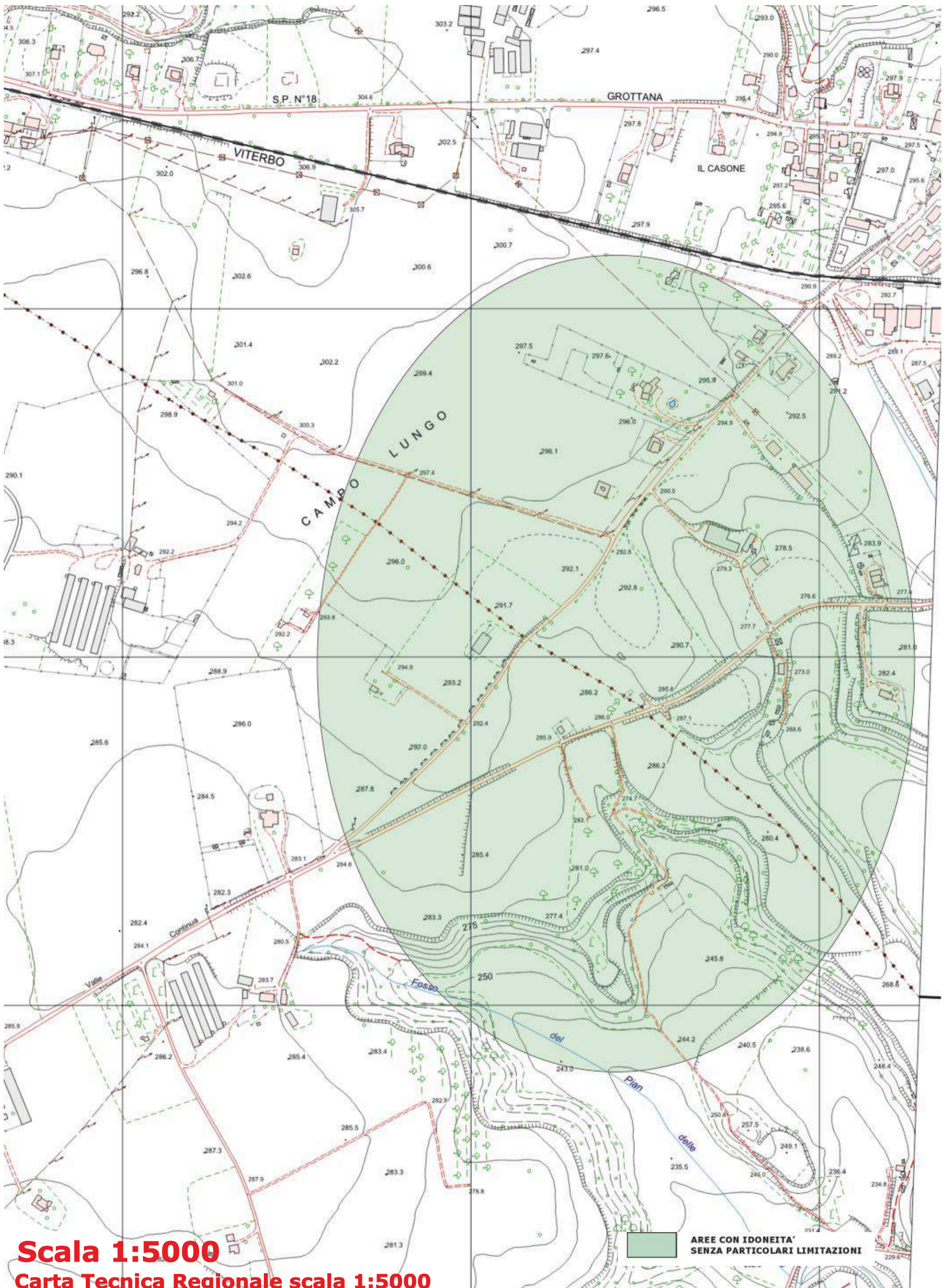
CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO

RIFERIMENTI GEOLOGICI



CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO

RIFERIMENTI GEOLOGICI



Scala 1:5000

Carta Tecnica Regionale scala 1:5000

CARTA DELLA IDONEITA' TERRITORIALE

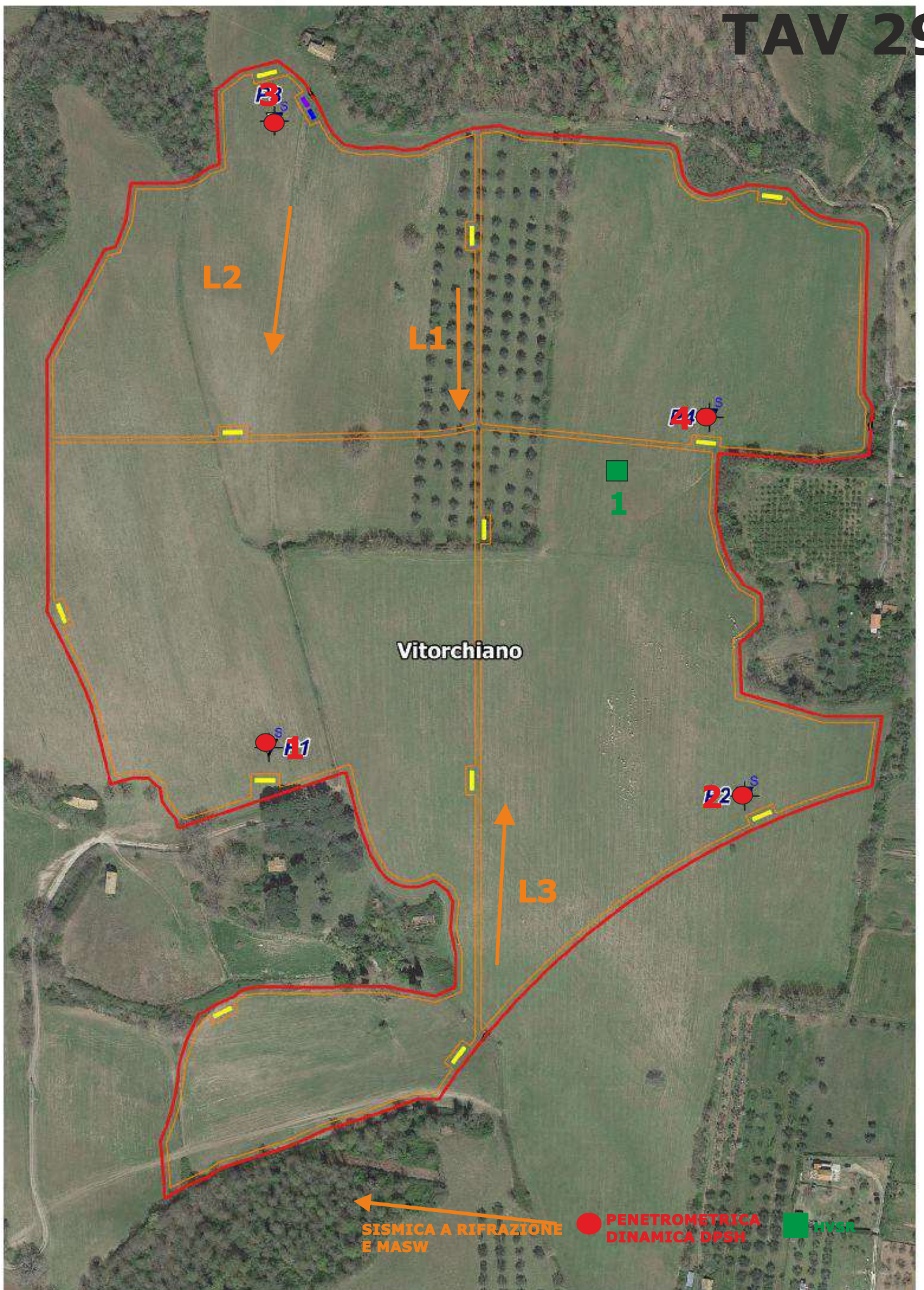


Scala 1:5000

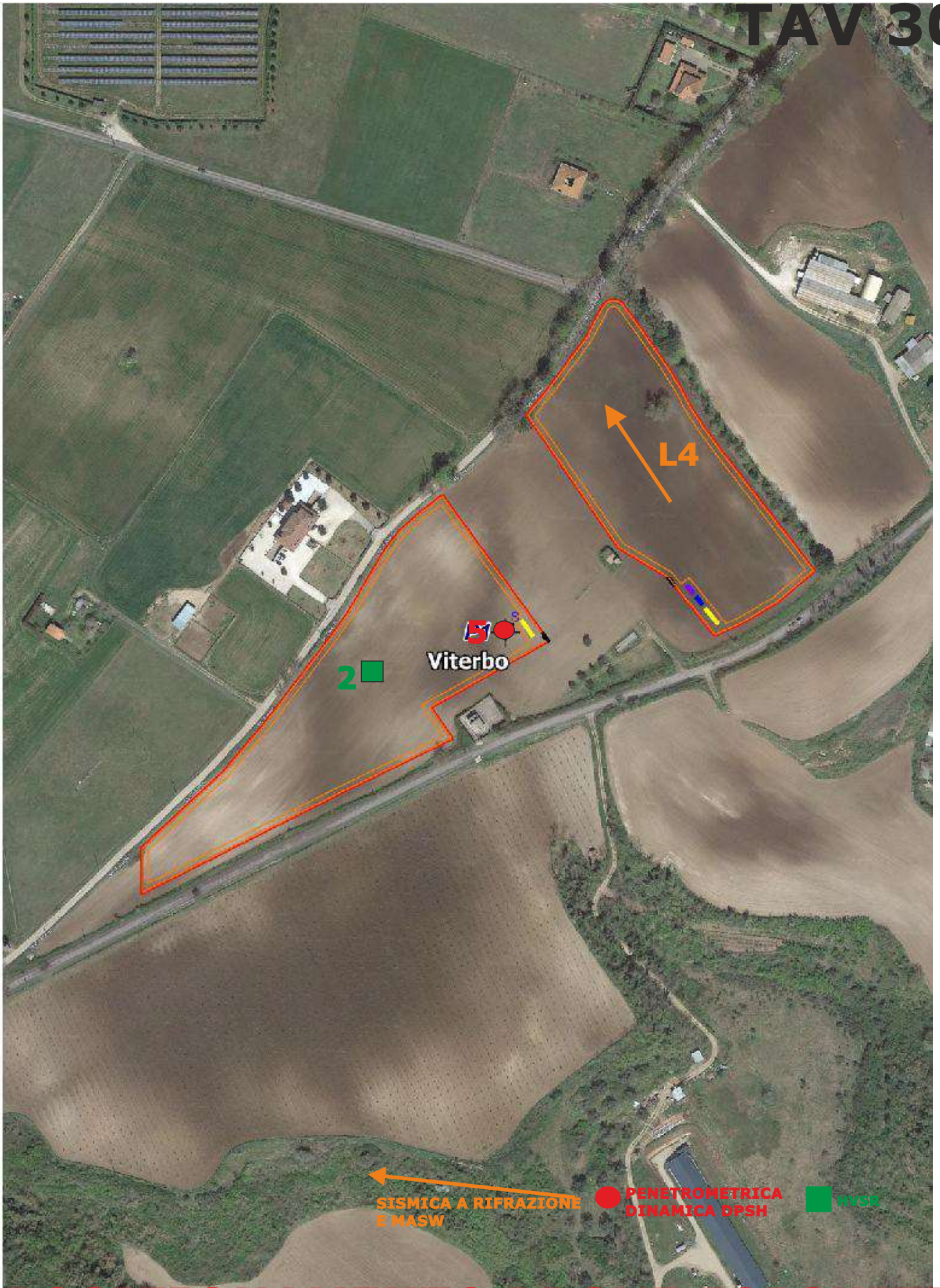
Carta Tecnica Regionale scala 1:5000

CARTA DELLA IDONEITA' TERRITORIALE

 **AREE CON IDONEITA' SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI**



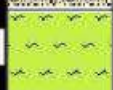



**POSIZIONAMENTO PROVE ESEGUITE
DPSH e MASW**



**POSIZIONAMENTO PROVE ESEGUITE
MASW, HVSr e DPSH**

TAV. 31

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici
		TERRENO VEGETALE	0.50	
1		SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI		
2			2.50	
3		LIMI ARGILLOSI		
4			5.00	
5		TUFI		
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19			20.00	
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				

COLONNA STRATIGRAFICA

PROVE DPSH



PROVA 1



PROVA 2



PROVA 3



PROVA 4



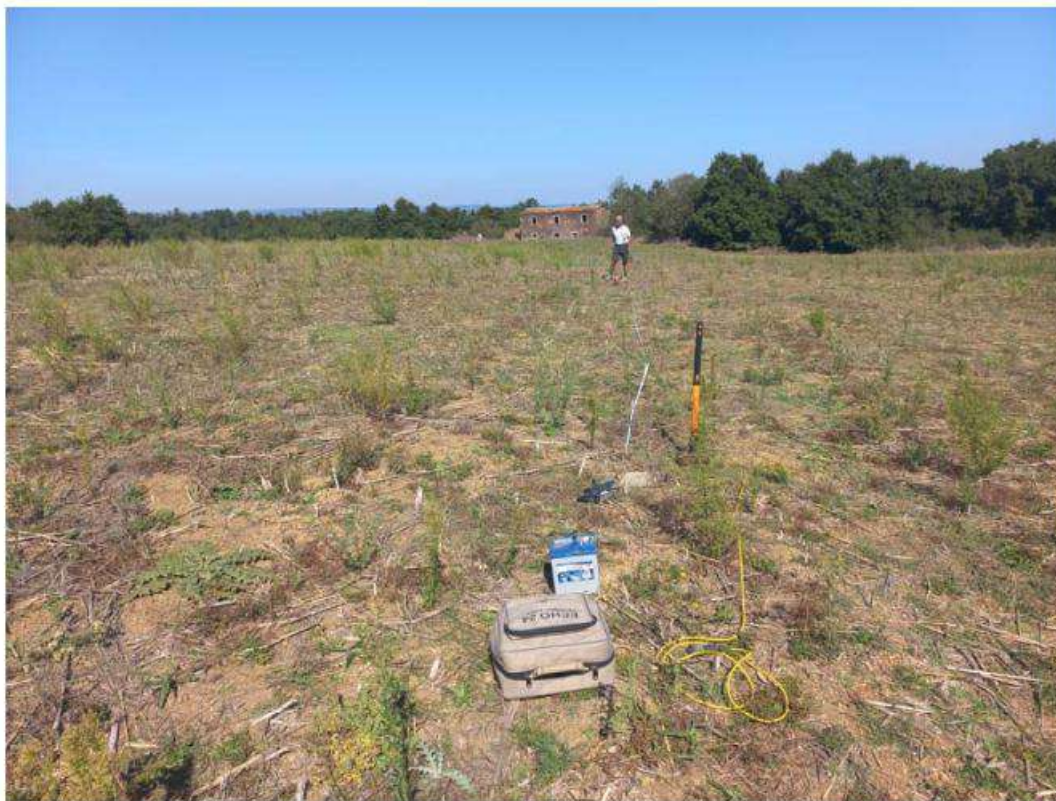
PROVA 5

PROVE SISMICHE



Ubicazione linea sismica MASW n. 1

LINEA 1



Ubicazione linea sismica MASW n. 2

LINEA 2



Ubicazione linea sismica MASW n. 3

LINEA 3



Ubicazione linea sismica MASW

LINEA 4



Ubicazione prova HVSR

HVSR 1



Ubicazione prova HVSR

HVSR 2



TB INDAGINI E PROVE S.R.L.S Via Roma, 181 63082
CASTEL DI LAMA (AP) REA AP 203061 Codice Fiscale /
Partita IVA: 02280810447 tb.indaginiprove@pec.it
tb.indaginiprove@gmail.com

INDAGINE GEOFISICA METODO MASW - HVSR

Comune di: VITORCHIANO (VT)

Loc. Strada vicinale del Pantano – Località San Silvestro

**Oggetto: Indagine geofisica con metodo MASW – HVSR PER
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA
R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 28.142,40 kW E POTENZA IN
IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW**

Committente: CCEN VITERBO S.R.L.

Monterubbiano: 8 novembre 2023



Sismografo AMBROGEO "ECHO 24 Seismic Unit" - 24 canali 24 bits N.12 o 24 Geofoni verticali a 4,5 hz

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

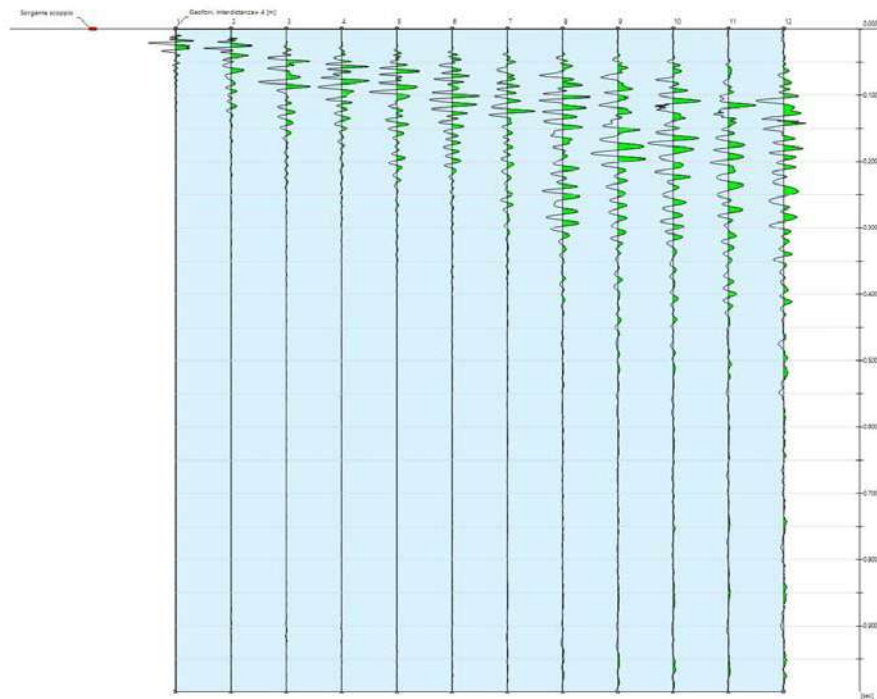
Dati generali linea 1

Data | 07/10/2023 13:52

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	999.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

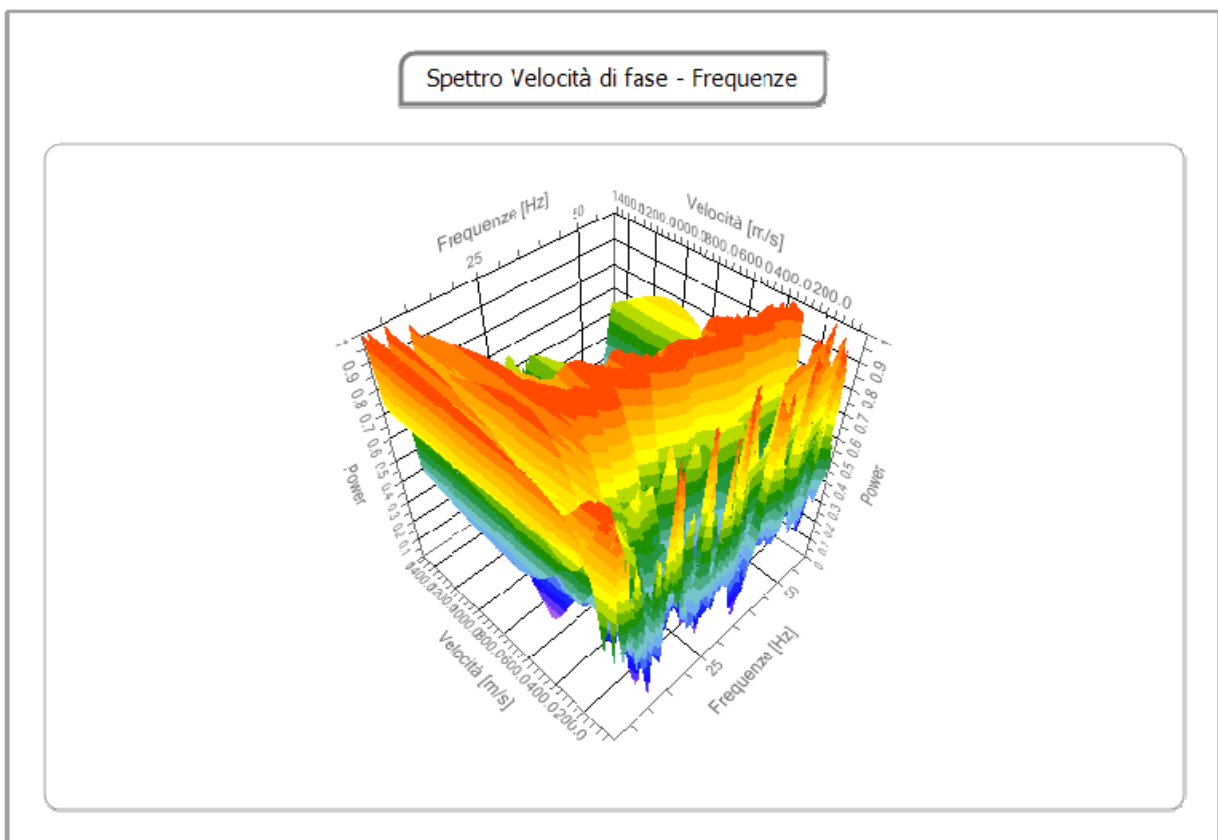
Lunghezza linea sismica 44



metri

Analisi spettrale

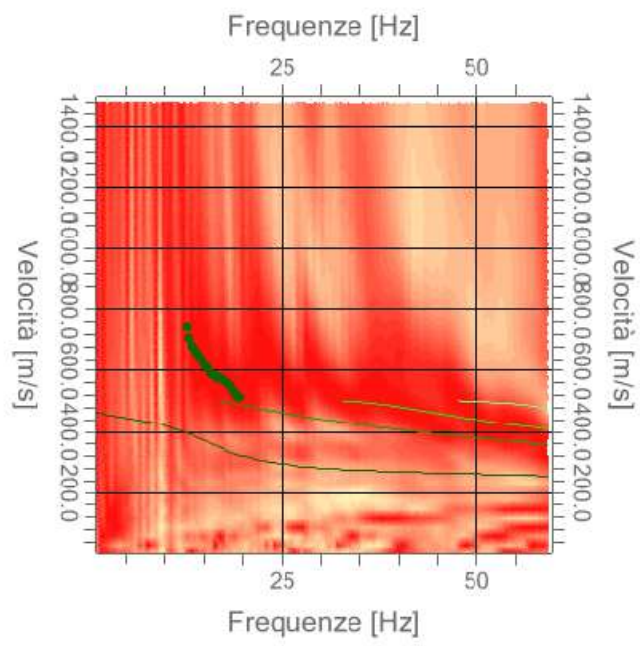
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	12.7	744.6	0
2	13.1	706.7	0
3	13.5	683.0	0
4	13.9	665.4	0
5	14.3	649.6	0
6	14.7	633.9	0
7	15.0	618.4	0
8	15.4	604.1	0
9	15.8	591.9	0
10	16.2	582.5	0
11	16.6	576.1	0
12	17.0	572.0	0
13	17.3	568.8	0
14	17.7	564.8	0
15	18.1	558.2	0
16	18.5	547.9	0
17	18.9	534.2	0
18	19.3	520.0	0
19	19.6	511.6	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

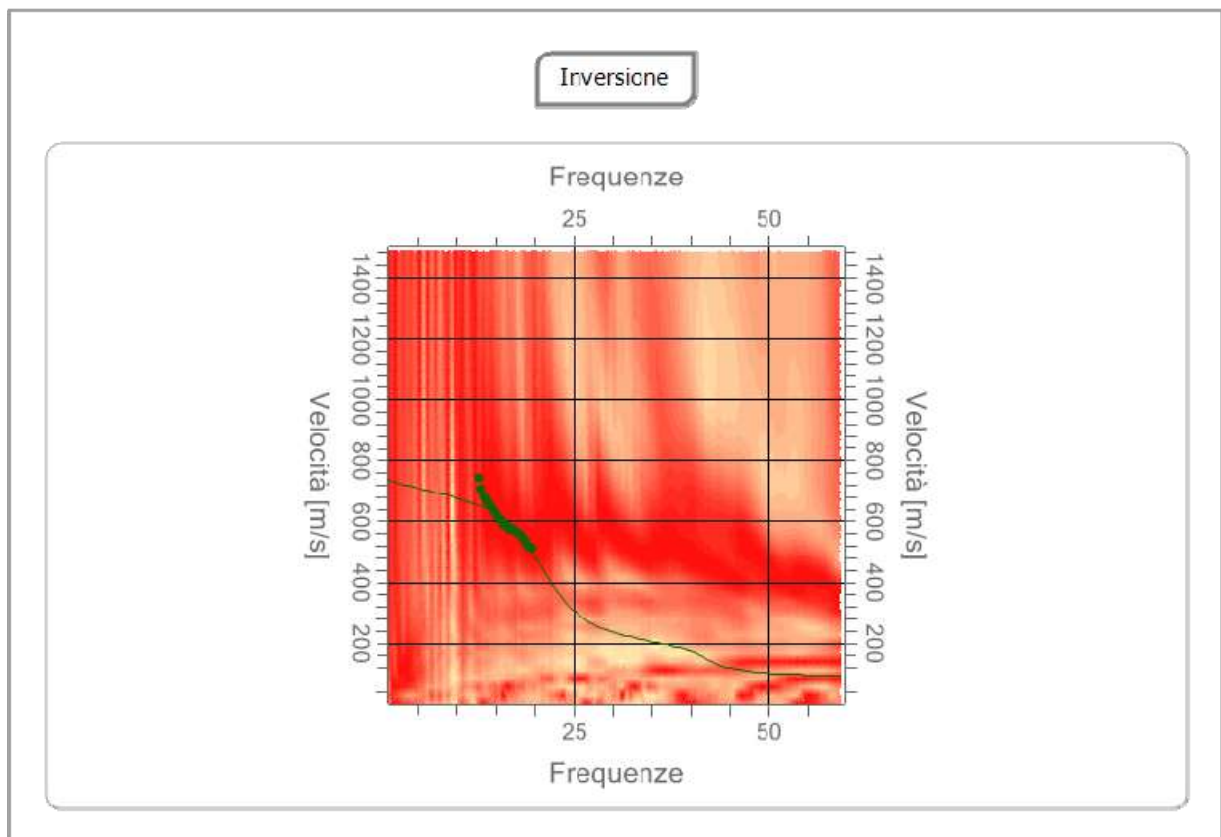
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1850.0	0.37	No	200.2	90.9
2		3.00	2.00	1890.0	0.37	No	879.6	399.6
3		10.00	7.00	1930.0	0.36	No	1102.5	515.6
4		oo	oo	1980.0	0.35	No	1654.9	795.0

Percentuale di errore

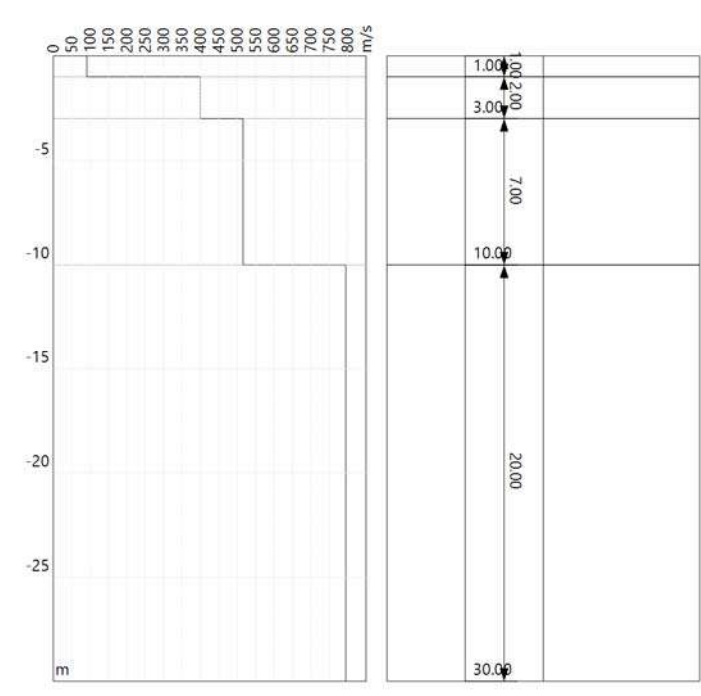
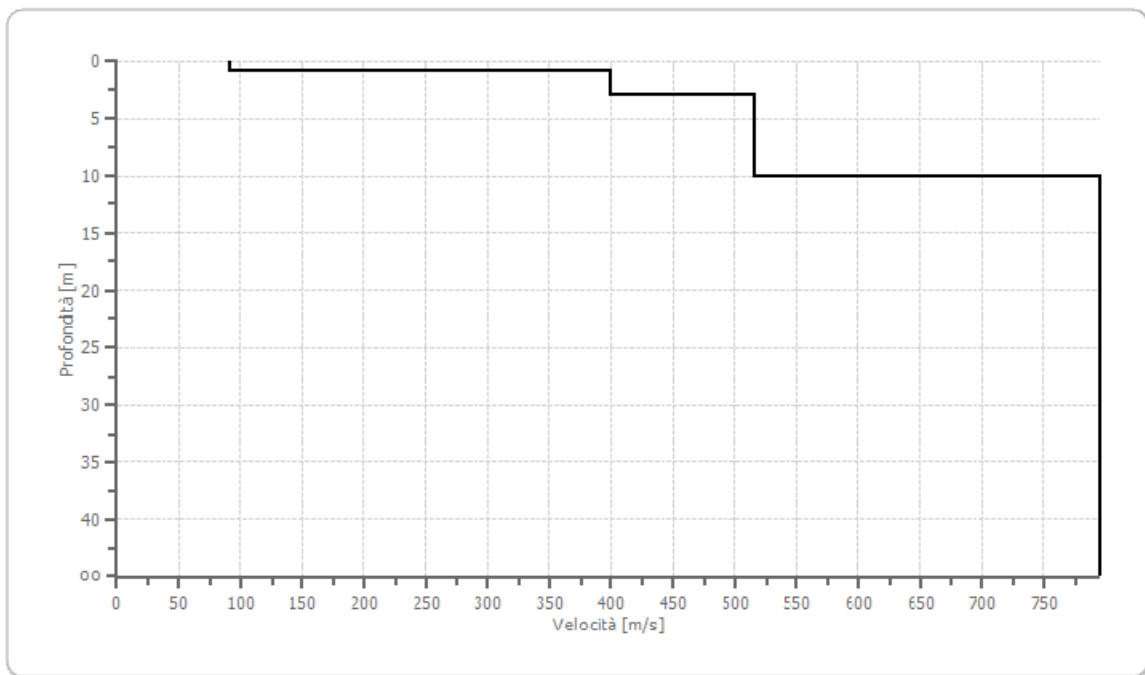
0.235 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.042



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	548.11
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	90.94	200.21	1850.00	0.37	15.30	74.15	53.75	41.93	N/A	N/A
2	3.00	2.00	399.58	879.63	1890.00	0.37	301.76	1462.40	1060.04	826.83	N/A	N/A
3	10.00	7.00	515.62	1102.45	1930.00	0.36	513.13	2345.72	1661.55	1395.70	N/A	N/A
4	oo	oo	795.00	1654.92	1980.00	0.35	1251.41	5422.77	3754.23	3378.81	NaN	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

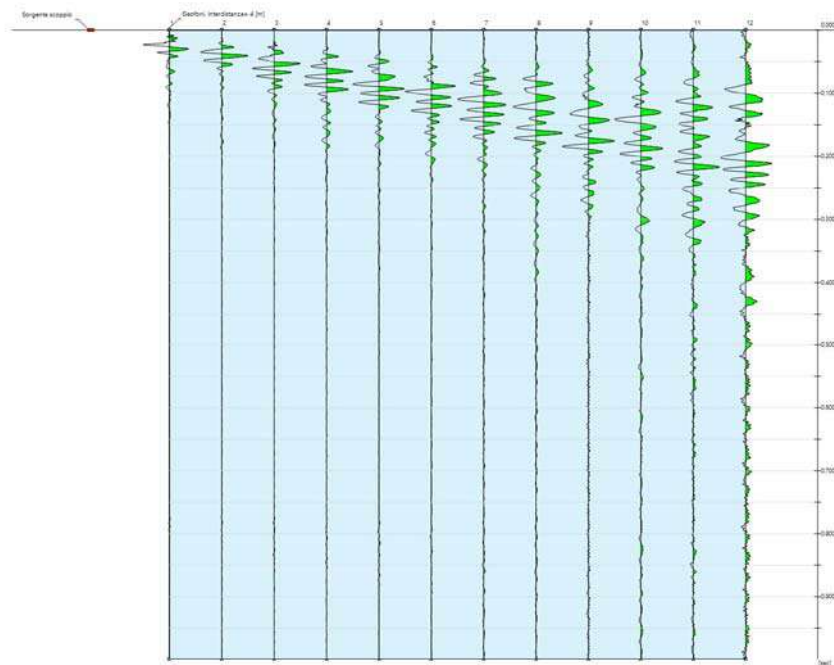
Dati generali linea 2

Data | 07/10/2023 16:45

Tracce

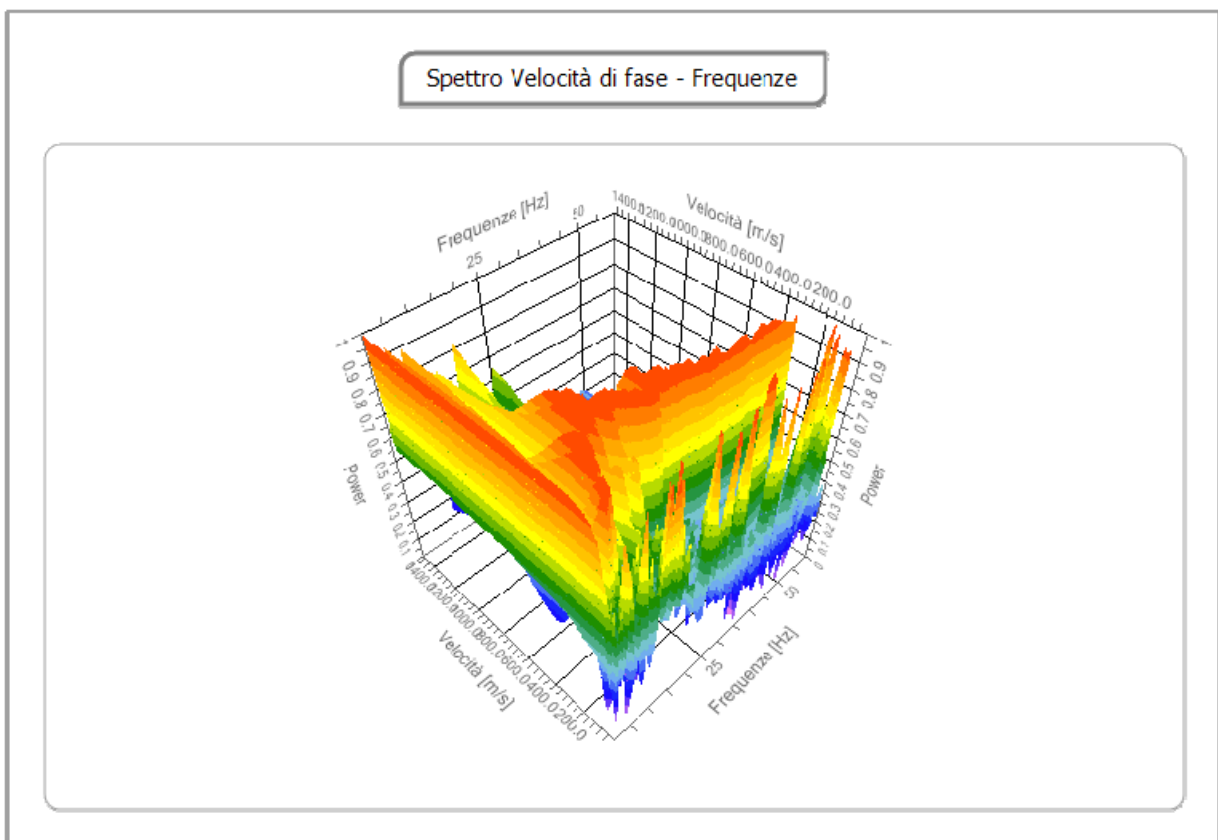
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	999.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

Lunghezza linea sismica 44 metri



Analisi spettrale

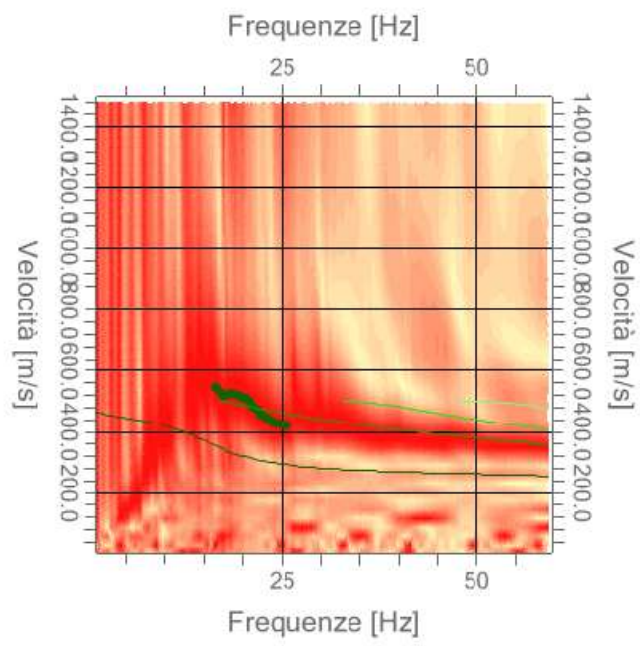
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	16.5	544.3	0
2	17.0	525.5	0
3	17.5	519.7	0
4	17.9	519.9	0
5	18.4	520.8	0
6	18.9	521.1	0
7	19.4	519.9	0
8	19.9	514.3	0
9	20.4	505.7	0
10	20.9	494.9	0
11	21.3	482.8	0
12	21.8	470.4	0
13	22.3	458.6	0
14	22.8	448.0	0
15	23.3	439.1	0
16	23.8	432.1	0
17	24.2	426.8	0
18	24.7	423.2	0
19	25.2	421.0	0
20	25.7	420.4	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

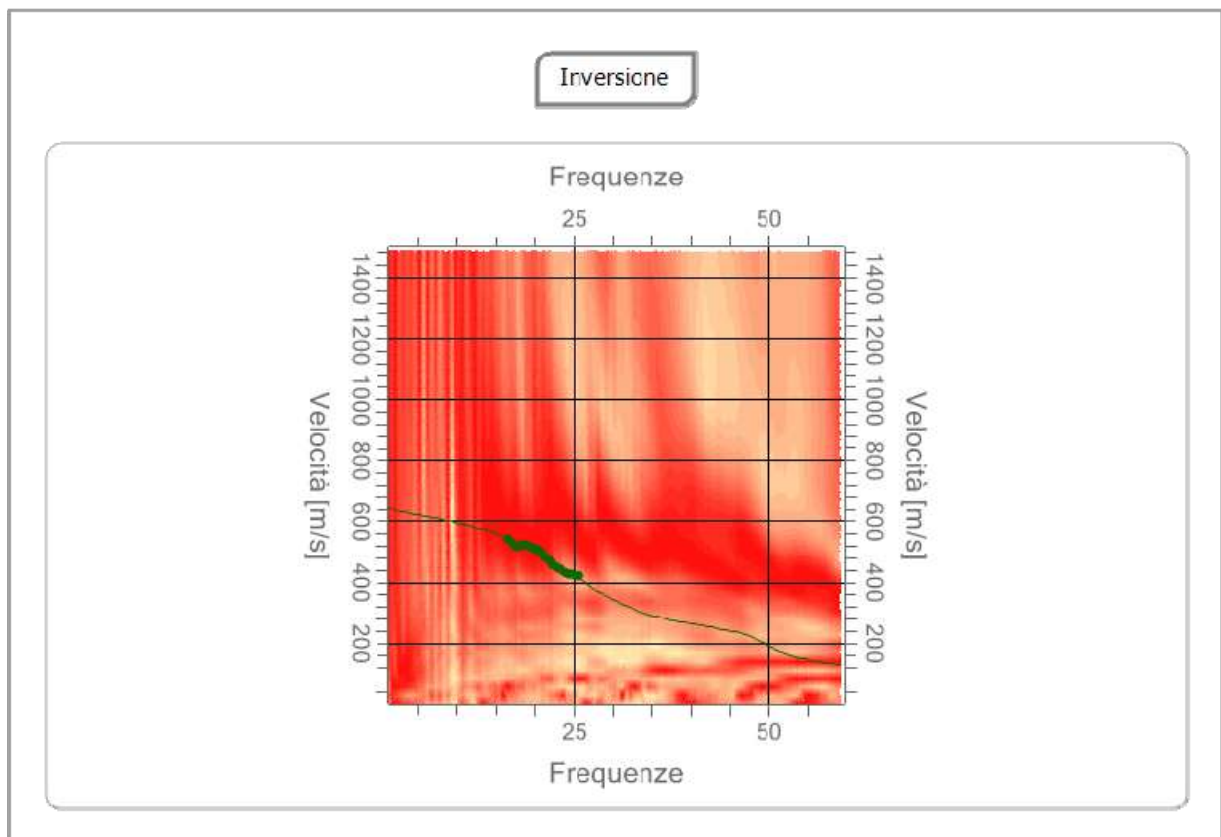
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1850.0	0.37	No	247.7	112.5
2		4.00	3.00	1890.0	0.37	No	845.2	384.0
3		10.00	6.00	1930.0	0.36	No	1125.3	526.3
4		oo	oo	1980.0	0.35	No	1442.5	693.0

Percentuale di errore

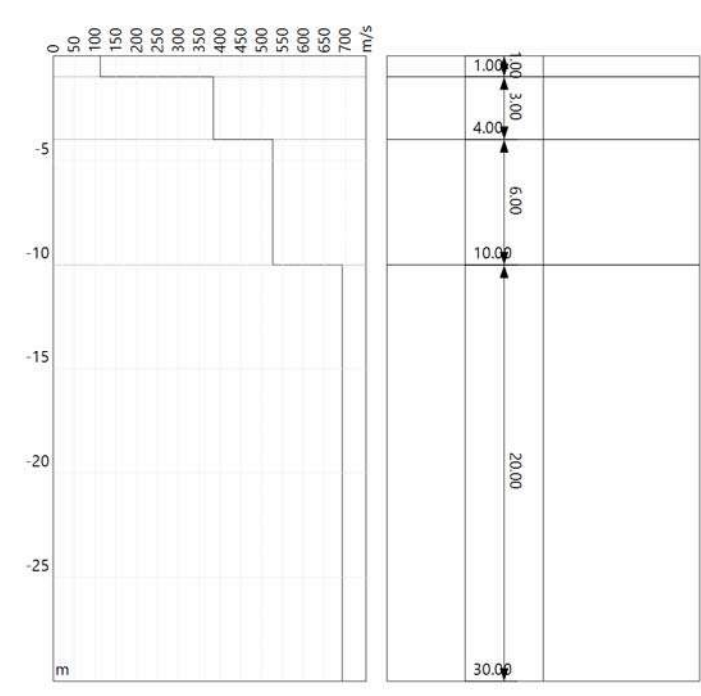
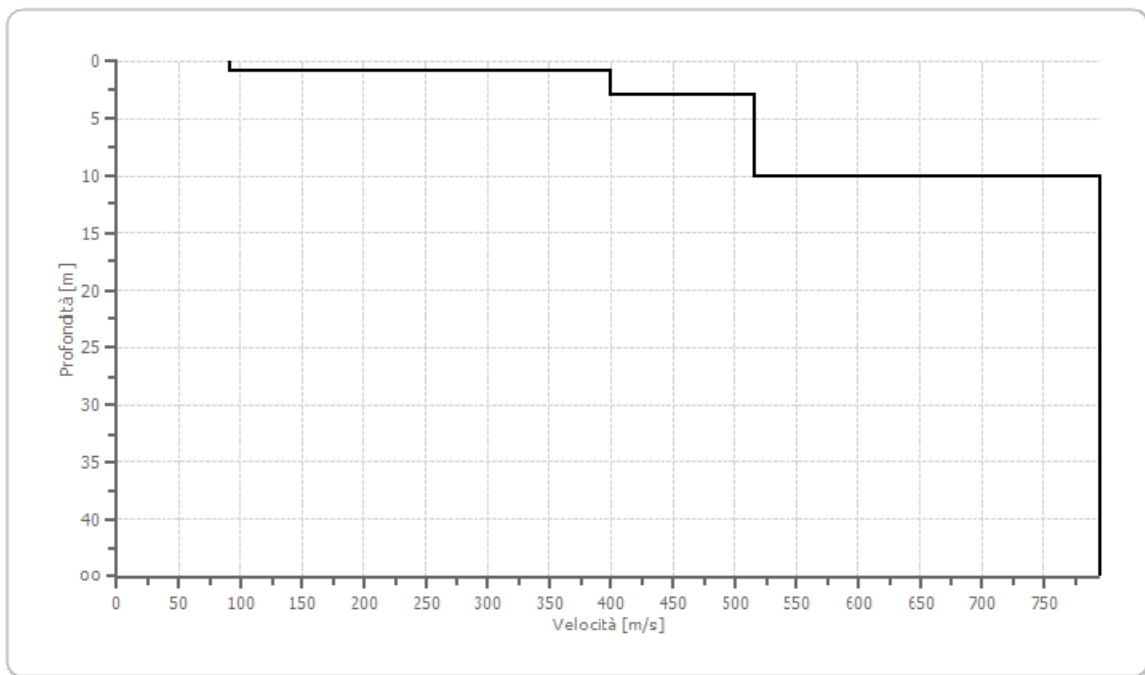
0.032 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.018



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	526.66
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	112.52	247.69	1850.00	0.37	23.42	113.50	82.27	64.17	N/A	N/A
2	4.00	3.00	383.95	845.23	1890.00	0.37	278.62	1350.24	978.75	763.42	N/A	N/A
3	10.00	6.00	526.29	1125.26	1930.00	0.36	534.57	2443.77	1731.00	1454.04	N/A	N/A
4	oo	oo	692.96	1442.52	1980.00	0.35	950.79	4120.11	2852.38	2567.14	NaN	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

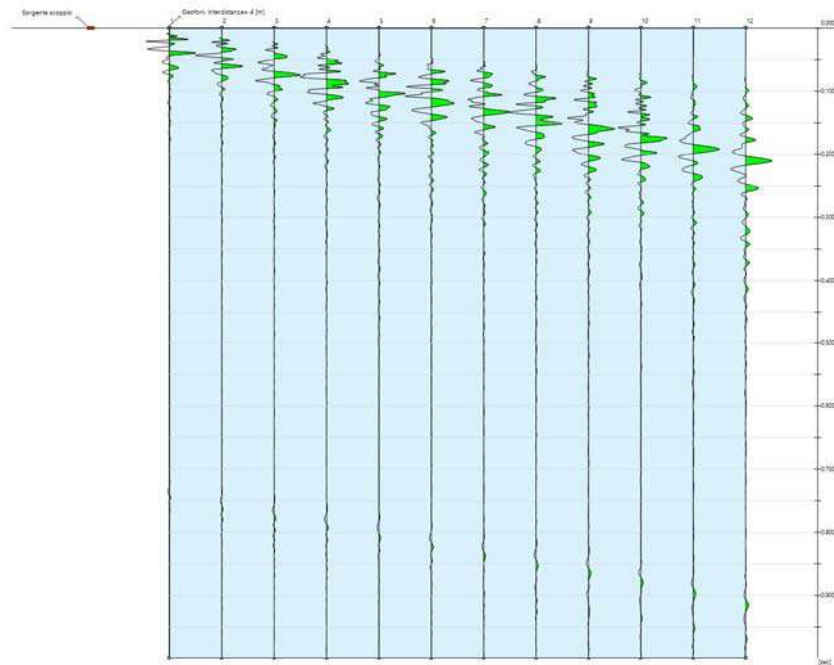
Dati generali linea 3

Data | 07/10/2023 19:20

Tracce

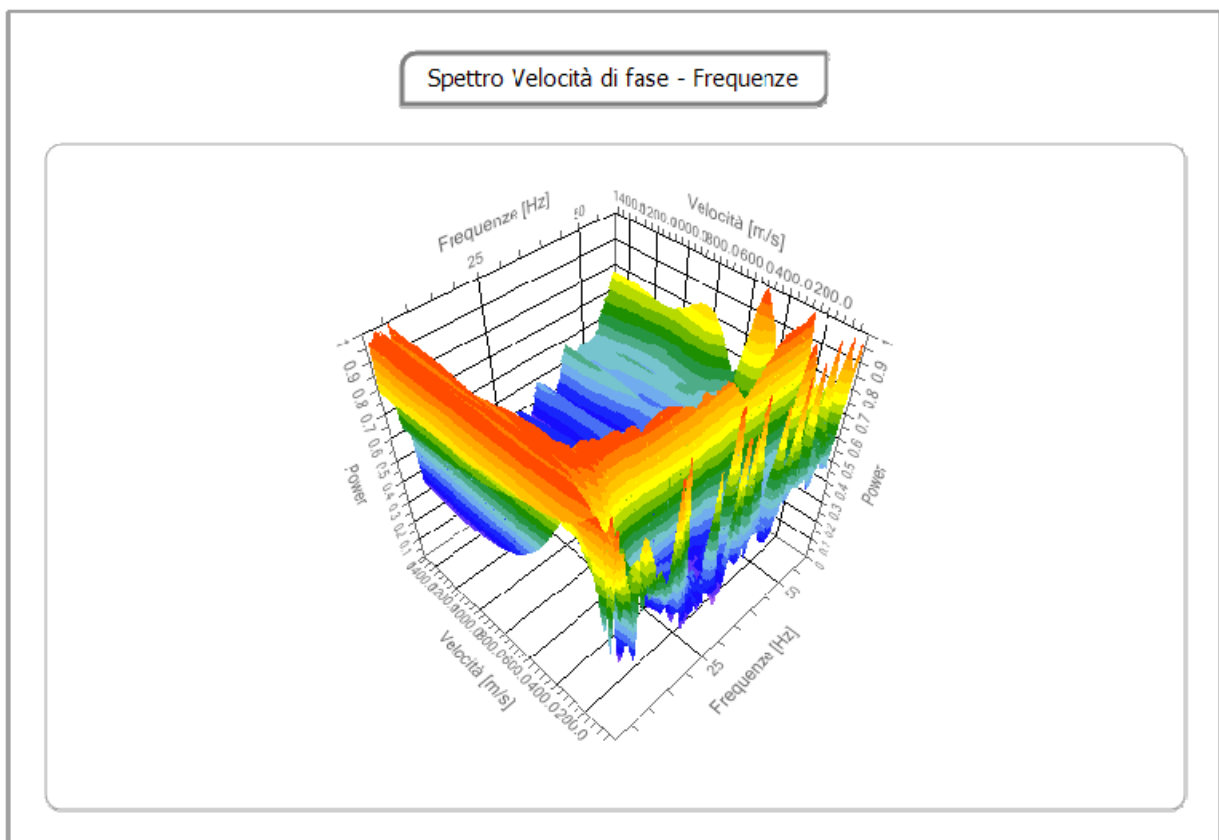
N. tracce | 12
Durata acquisizione | 999.0
[msec]
Interdistanza geofoni | 4.0
[m]
Periodo di campionamento | 0.478
[msec]

Lunghezza linea sismica 44 metri



Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1500
Intervallo velocità [m/sec]	1

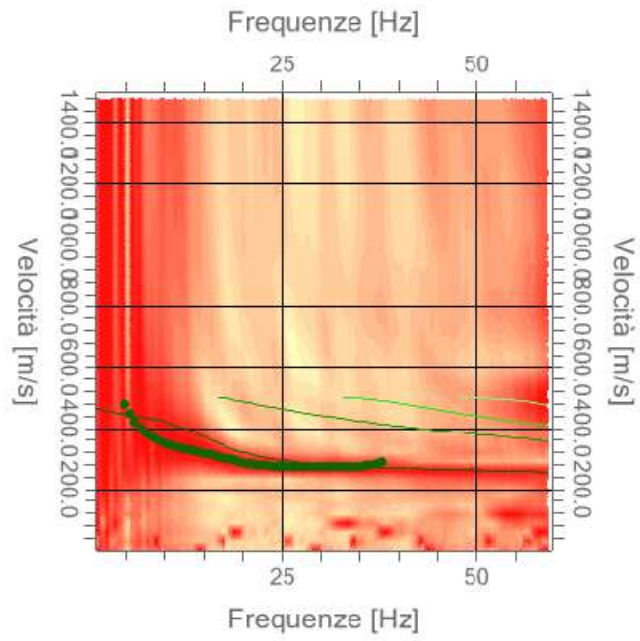


Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.8	475.7	0
2	5.4	444.8	0
3	6.1	420.1	0
4	6.7	400.4	0
5	7.4	384.8	0
6	8.0	372.5	0
7	8.7	362.7	0
8	9.3	354.9	0
9	10.0	348.6	0
10	10.6	343.2	0
11	11.3	338.6	0
12	11.9	334.5	0
13	12.6	330.6	0
14	13.2	326.8	0
15	13.9	323.0	0
16	14.5	319.2	0
17	15.2	315.3	0
18	15.8	311.4	0
19	16.5	307.4	0
20	17.1	303.3	0
21	17.8	299.4	0
22	18.4	295.5	0
23	19.1	291.7	0
24	19.7	288.2	0
25	20.3	284.8	0

26	21.0	281.8	0
27	21.6	279.1	0
28	22.3	276.8	0
29	22.9	274.8	0
30	23.6	273.2	0
31	24.2	271.9	0
32	24.9	271.0	0
33	25.5	270.4	0
34	26.2	270.0	0
35	26.8	269.9	0
36	27.5	270.0	0
37	28.1	270.1	0
38	28.8	270.2	0
39	29.4	270.4	0
40	30.1	270.6	0
41	30.7	270.7	0
42	31.4	270.9	0
43	32.0	271.2	0
44	32.7	271.4	0
45	33.3	271.8	0
46	34.0	272.4	0
47	34.6	273.2	0
48	35.3	274.5	0
49	35.9	276.3	0
50	36.6	279.0	0
51	37.2	282.7	0
52	37.9	287.8	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

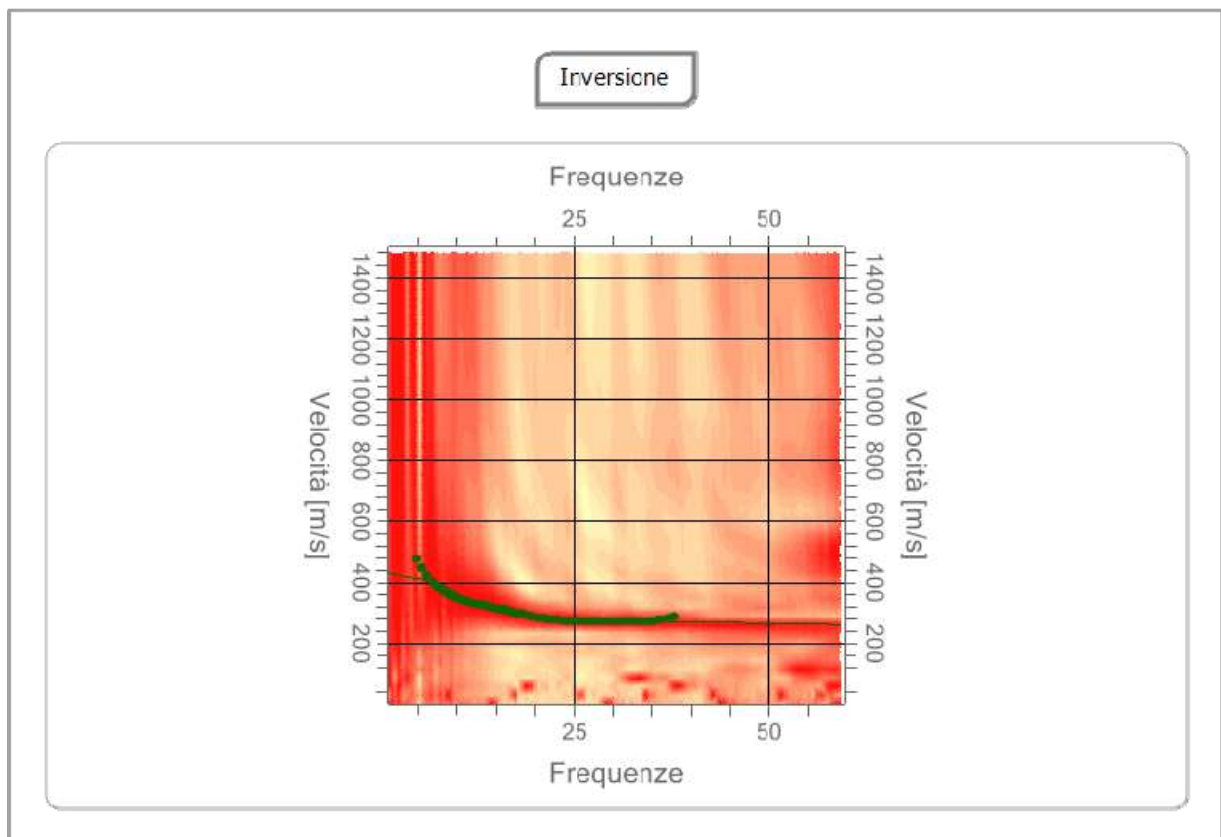
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		2.00	2.00	1850.0	0.37	No	580.4	263.7
2		5.00	3.00	1890.0	0.37	No	656.5	298.2
3		11.00	6.00	1930.0	0.36	No	647.0	302.6
4		oo	oo	1980.0	0.35	No	974.5	468.1

Percentuale di errore

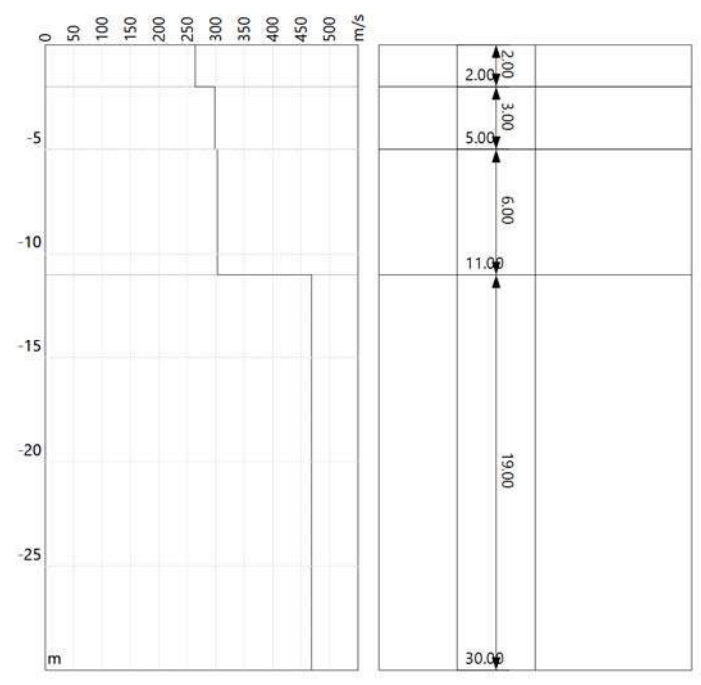
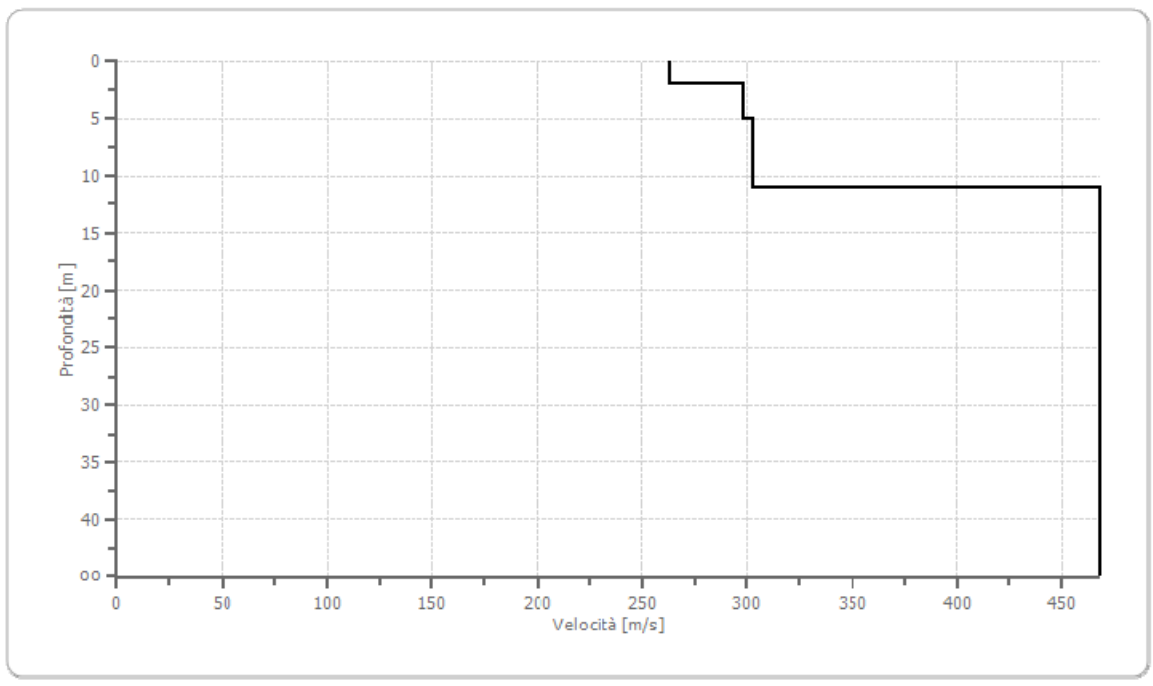
0.192 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.035



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	384.33
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.00	2.00	263.66	580.42	1850.00	0.37	128.61	623.24	451.77	352.38	N/A	N/A
2	5.00	3.00	298.21	656.48	1890.00	0.37	168.08	814.52	590.42	460.53	N/A	N/A
3	11.00	6.00	302.62	647.04	1930.00	0.36	176.75	808.01	572.34	480.77	N/A	N/A
4	oo	oo	468.13	974.49	1980.00	0.35	433.91	1880.29	1301.74	1171.56	NaN	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

Responsabile:

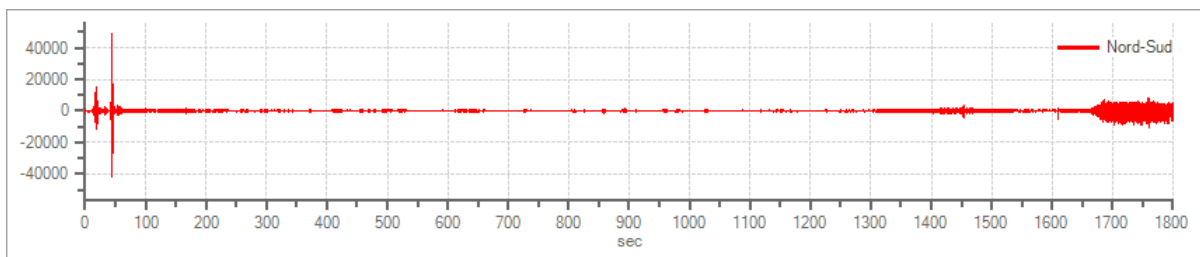
Data: 06/11/2023 00:00:00

Tracce in input

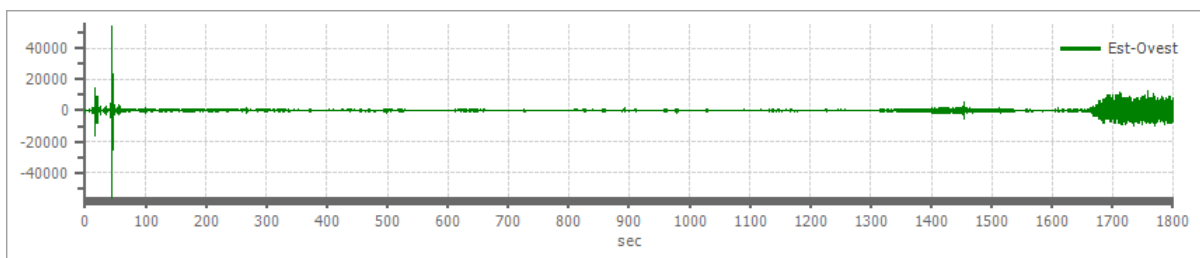
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	156.00 Hz
Numero campioni:	280799
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

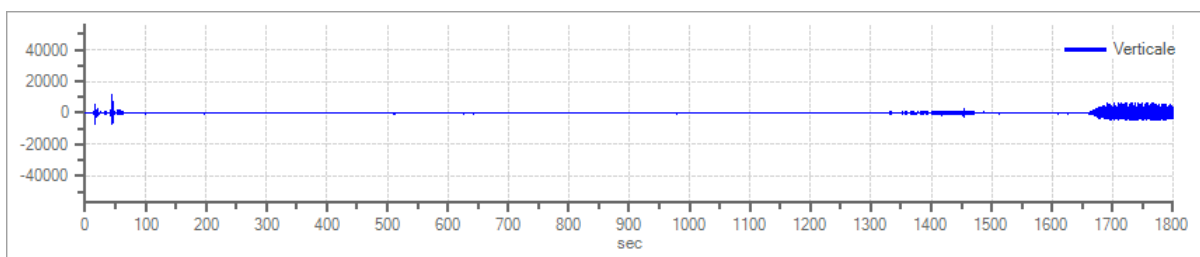
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

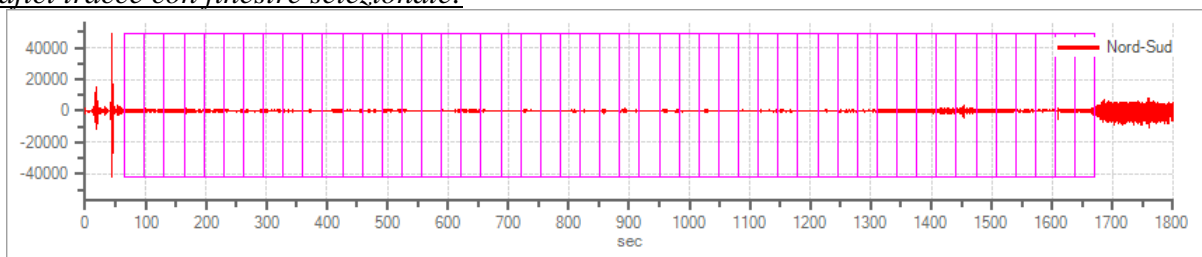
Numero totale finestre selezionate: 49
Numero finestre incluse nel calcolo: 49
Dimensione temporale finestre: 32.763 s
Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Tabella finestre:

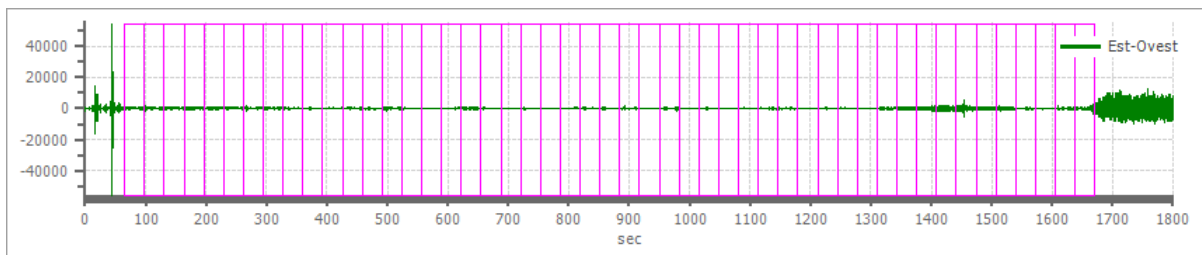
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	65.526	98.288	Inclusa
2	98.288	131.051	Inclusa
3	131.051	163.814	Inclusa
4	163.814	196.577	Inclusa
5	196.577	229.34	Inclusa
6	229.34	262.103	Inclusa
7	262.103	294.865	Inclusa
8	294.865	327.628	Inclusa
9	327.628	360.391	Inclusa
10	360.391	393.154	Inclusa
11	393.154	425.917	Inclusa
12	425.917	458.679	Inclusa
13	458.679	491.442	Inclusa
14	491.442	524.205	Inclusa
15	524.205	556.968	Inclusa
16	556.968	589.731	Inclusa
17	589.731	622.494	Inclusa
18	622.494	655.256	Inclusa
19	655.256	688.019	Inclusa
20	688.019	720.782	Inclusa
21	720.782	753.545	Inclusa
22	753.545	786.308	Inclusa
23	786.308	819.071	Inclusa
24	819.071	851.833	Inclusa
25	851.833	884.596	Inclusa
26	884.596	917.359	Inclusa
27	917.359	950.122	Inclusa
28	950.122	982.885	Inclusa
29	982.885	1015.647	Inclusa
30	1015.647	1048.41	Inclusa
31	1048.41	1081.173	Inclusa
32	1081.173	1113.936	Inclusa
33	1113.936	1146.699	Inclusa
34	1146.699	1179.462	Inclusa
35	1179.462	1212.224	Inclusa
36	1212.224	1244.987	Inclusa
37	1244.987	1277.75	Inclusa

38	1277.75	1310.513	Inclusa
39	1310.513	1343.276	Inclusa
40	1343.276	1376.038	Inclusa
41	1376.038	1408.801	Inclusa
42	1408.801	1441.564	Inclusa
43	1441.564	1474.327	Inclusa
44	1474.327	1507.09	Inclusa
45	1507.09	1539.853	Inclusa
46	1539.853	1572.615	Inclusa
47	1572.615	1605.378	Inclusa
48	1605.378	1638.141	Inclusa
49	1638.141	1670.904	Inclusa

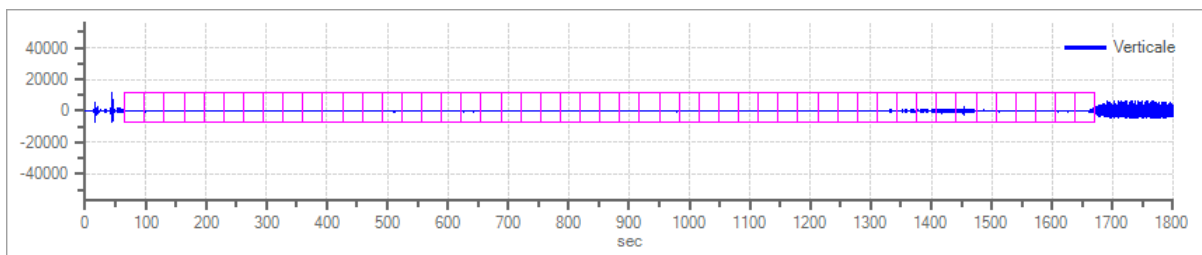
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

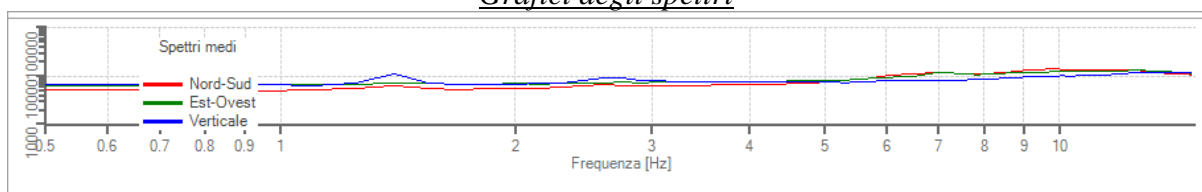


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

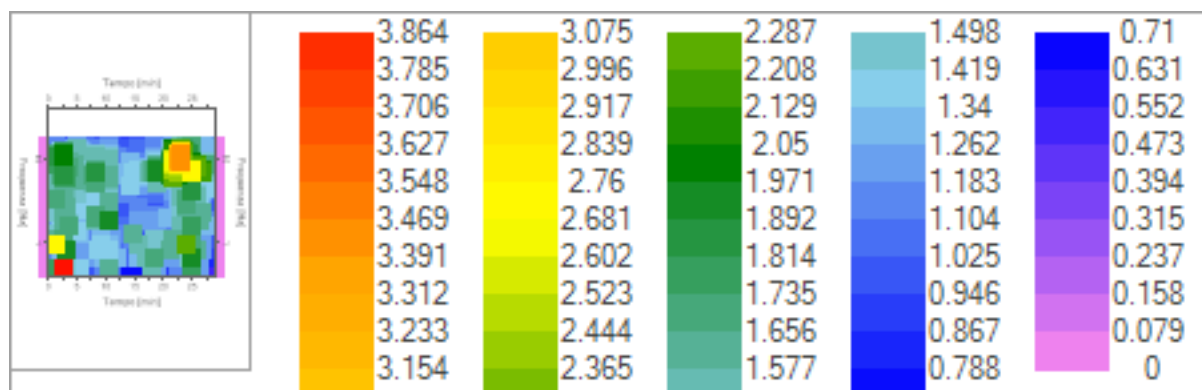


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

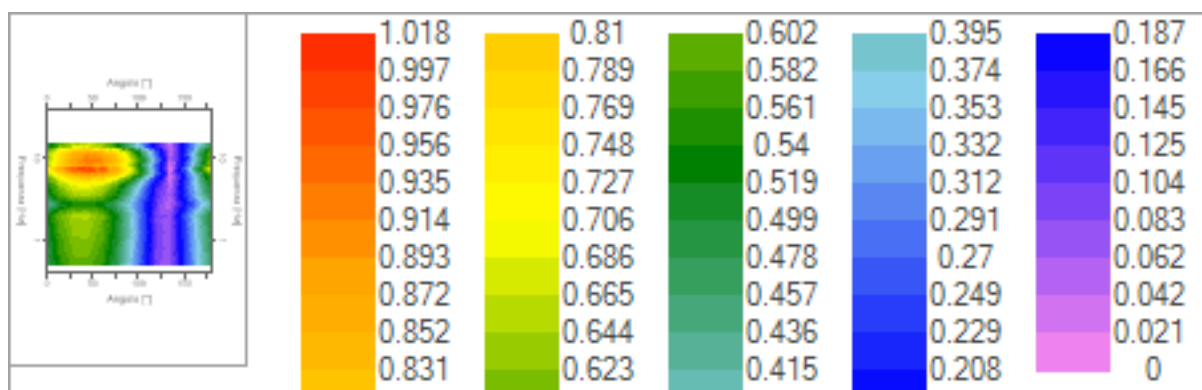
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

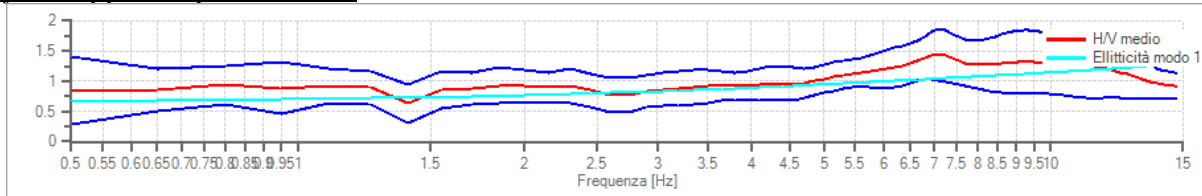
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	15.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamiento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamiento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 7.10 Hz ±0.30 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

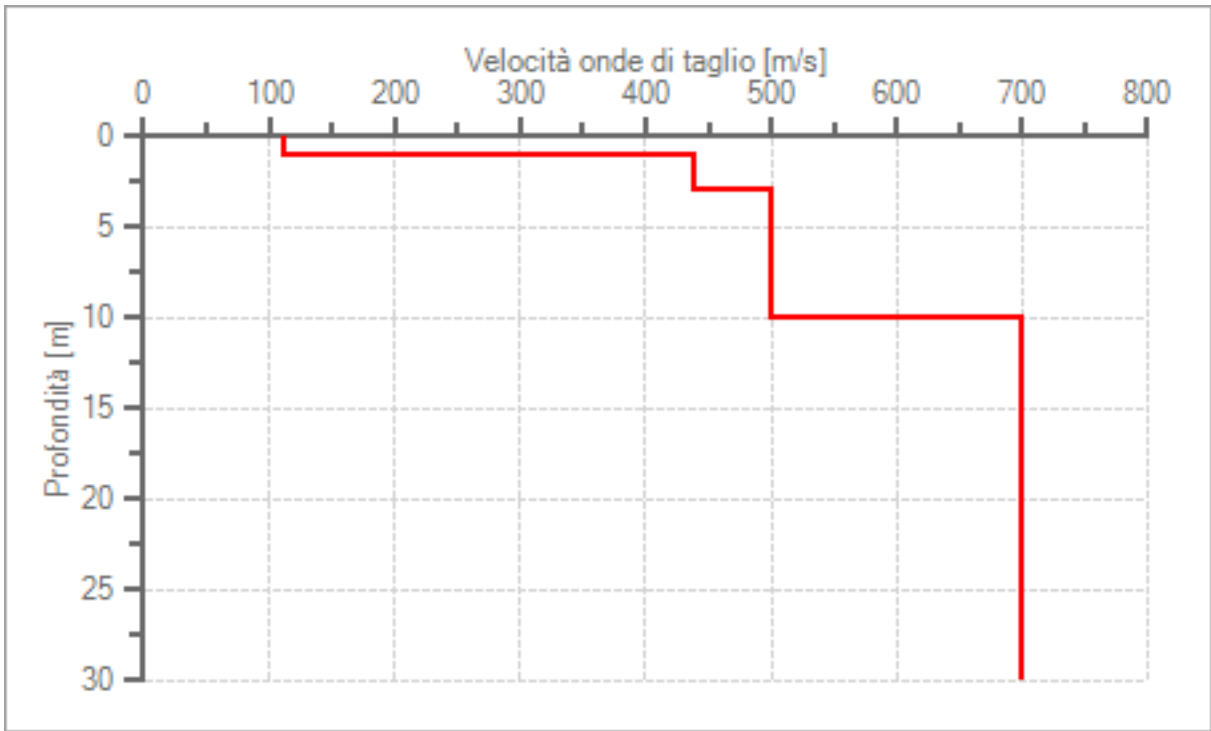
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14.75 Hz
 Valore di disadattamento: 0.19
 Valore Vseq: 535.11 m/s

Dati della stratigrafia:

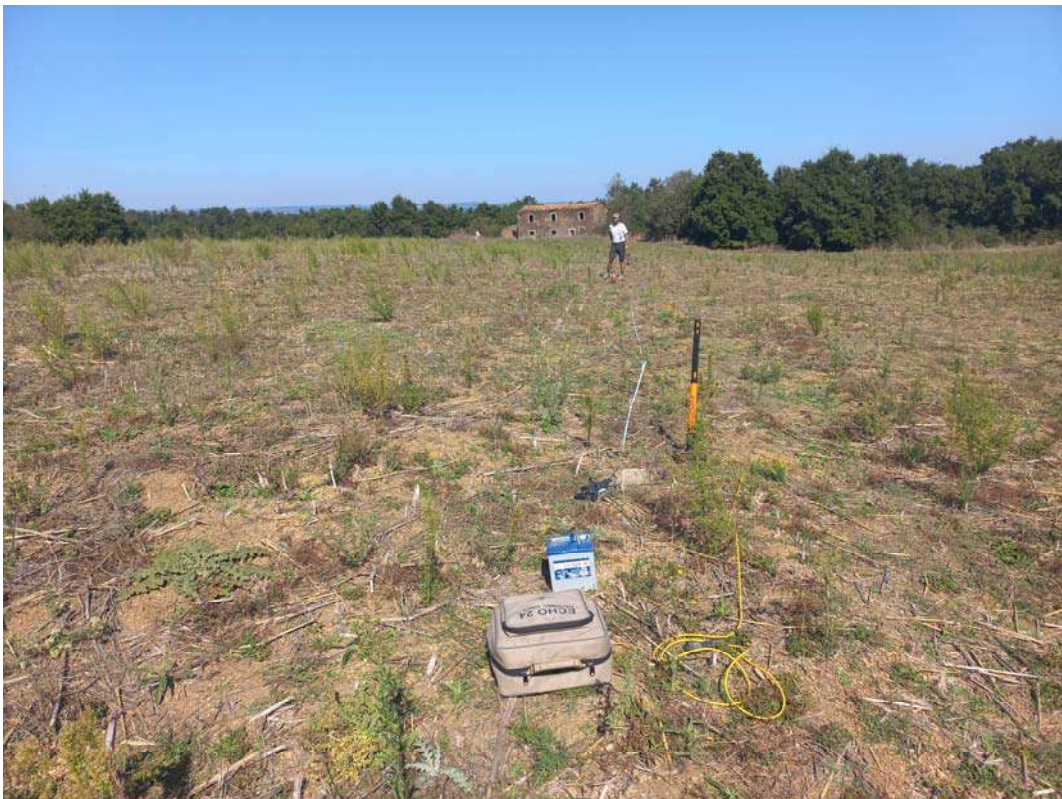
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18.5	0.37	112
2	1	2	18.9	0.37	438
3	3	7	19.3	0.36	500
4	10	20	19.8	0.35	700



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



Ubicazione linea sismica MASW n. 1



Ubicazione linea sismica MASW n. 2

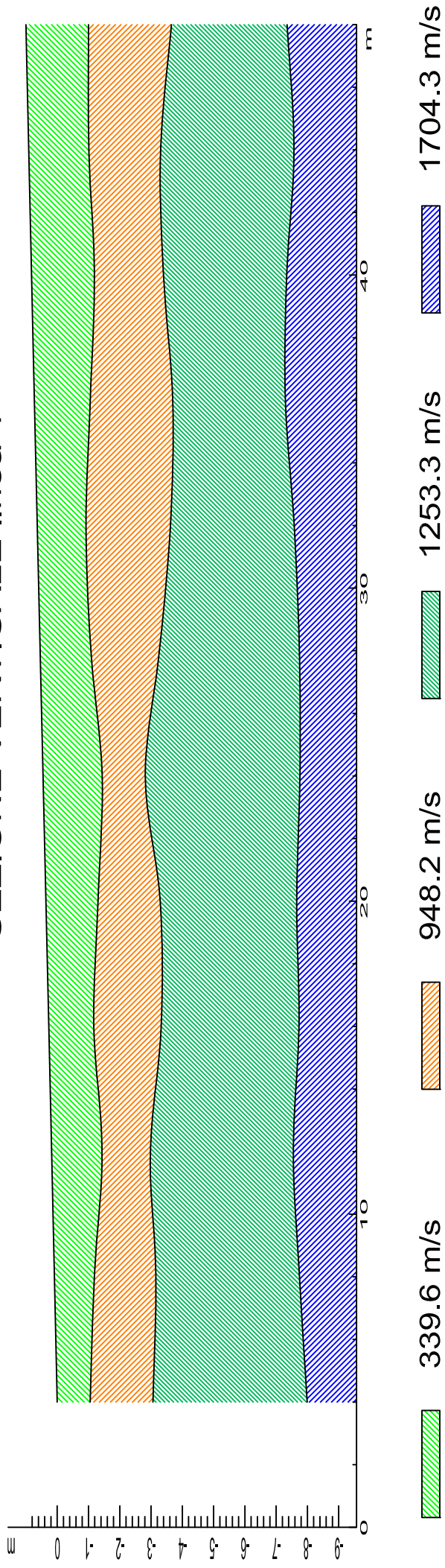


Ubicazione linea sismica MASW n. 3

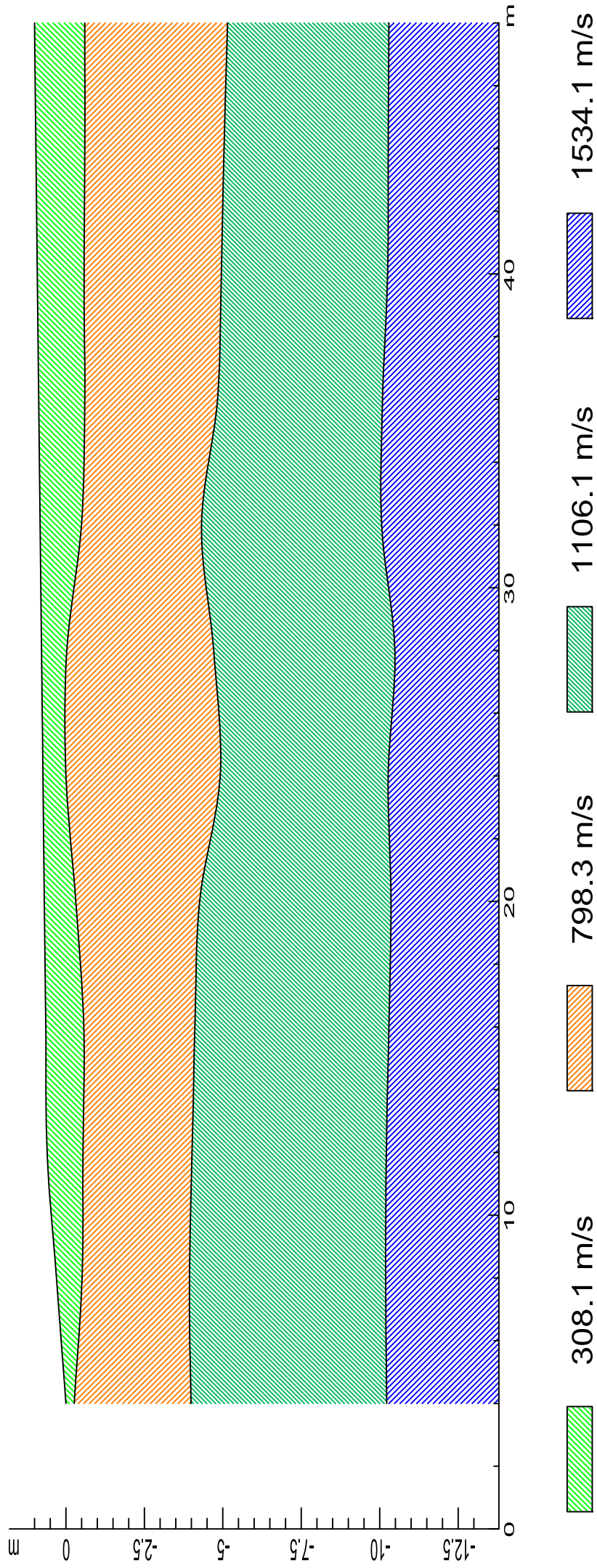


Ubicazione prova HVSR

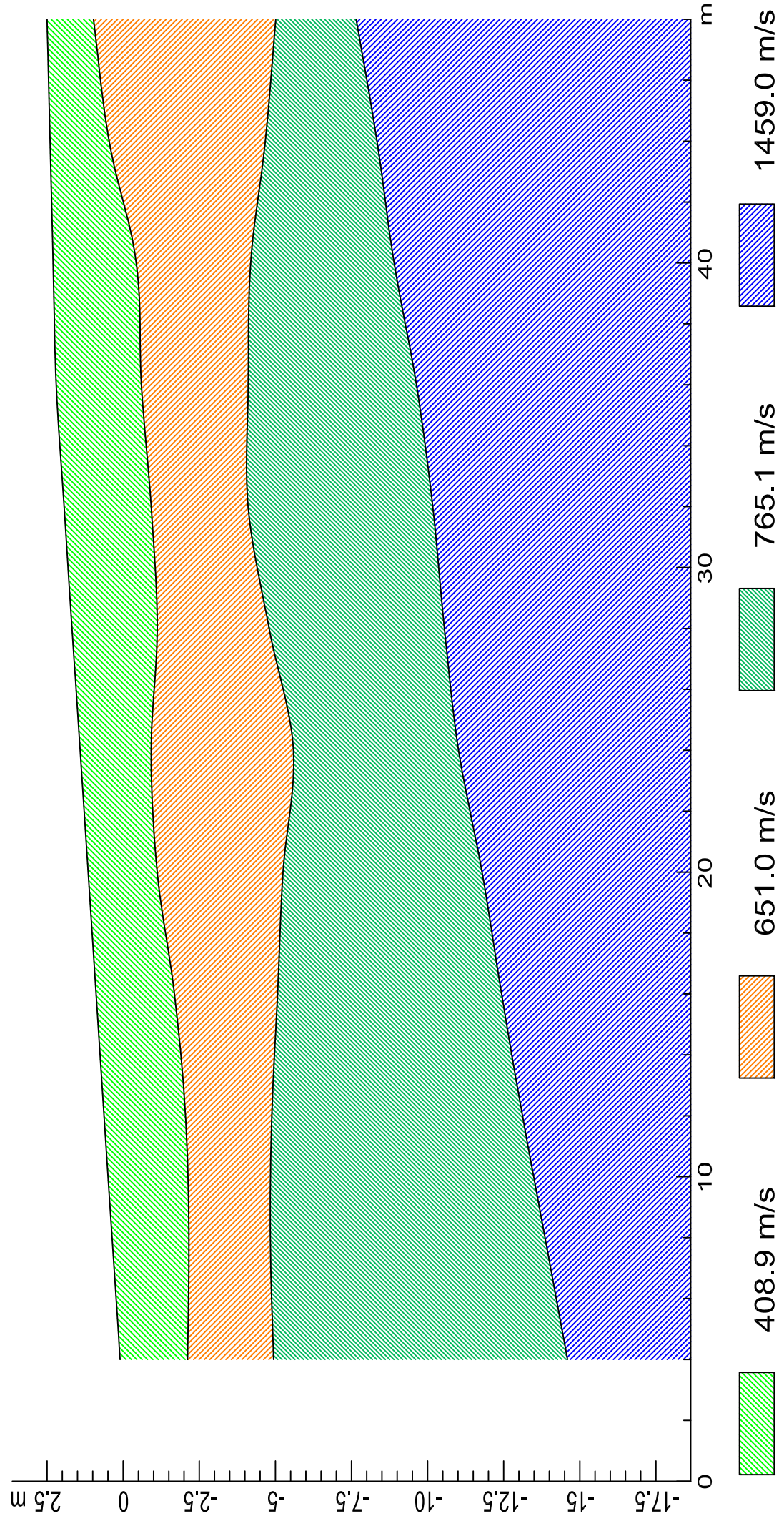
SEZIONE VERTICALE linea 1



SEZIONE VERTICALE linea 2



SEZIONE VERTICALE linea 3





TB INDAGINI E PROVE S.R.L.S Via Roma, 181 63082
CASTEL DI LAMA (AP) REA AP 203061 Codice Fiscale /
Partita IVA: 02280810447 tb.indaginiprove@pec.it
tb.indaginiprove@gmail.com

INDAGINE GEOFISICA METODO MASW - HVSR

Comune di: VITERBO (VT)

Loc. Strada comunale di Ferento – Frazione Grotte Santo Stefano

**Oggetto: Indagine geofisica con metodo MASW – HVSR PER
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA
R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 28.142,40 kW E POTENZA IN
IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW**

Committente: CCEN VITERBO S.R.L.

Monterubbiano: 8 novembre 2023



Sismografo AMBROGEO "ECHO 24 Seismic Unit" - 24 canali 24 bits N.12 o 24 Geofoni verticali a 4,5 hz

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

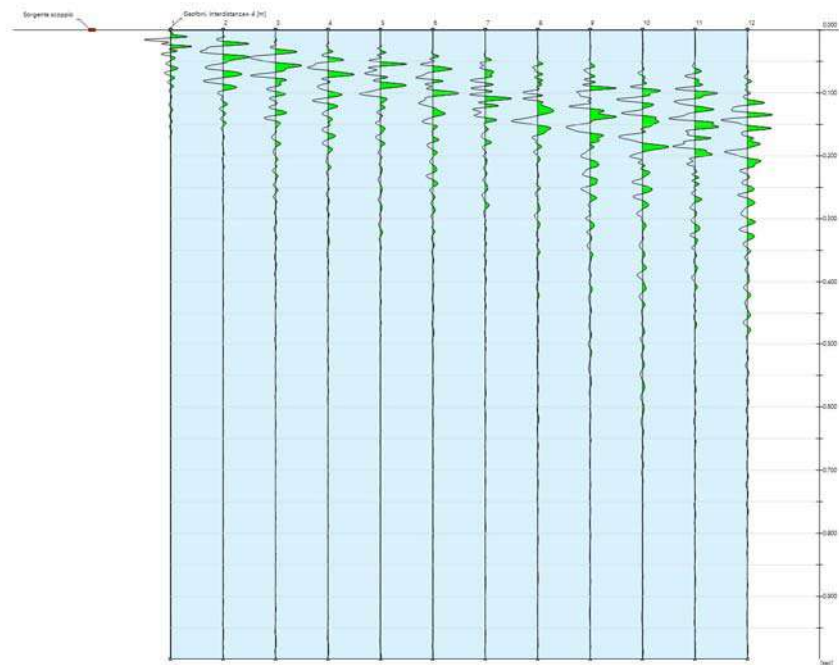
Dati generali

Data | 07/11/2023 12:21

Tracce

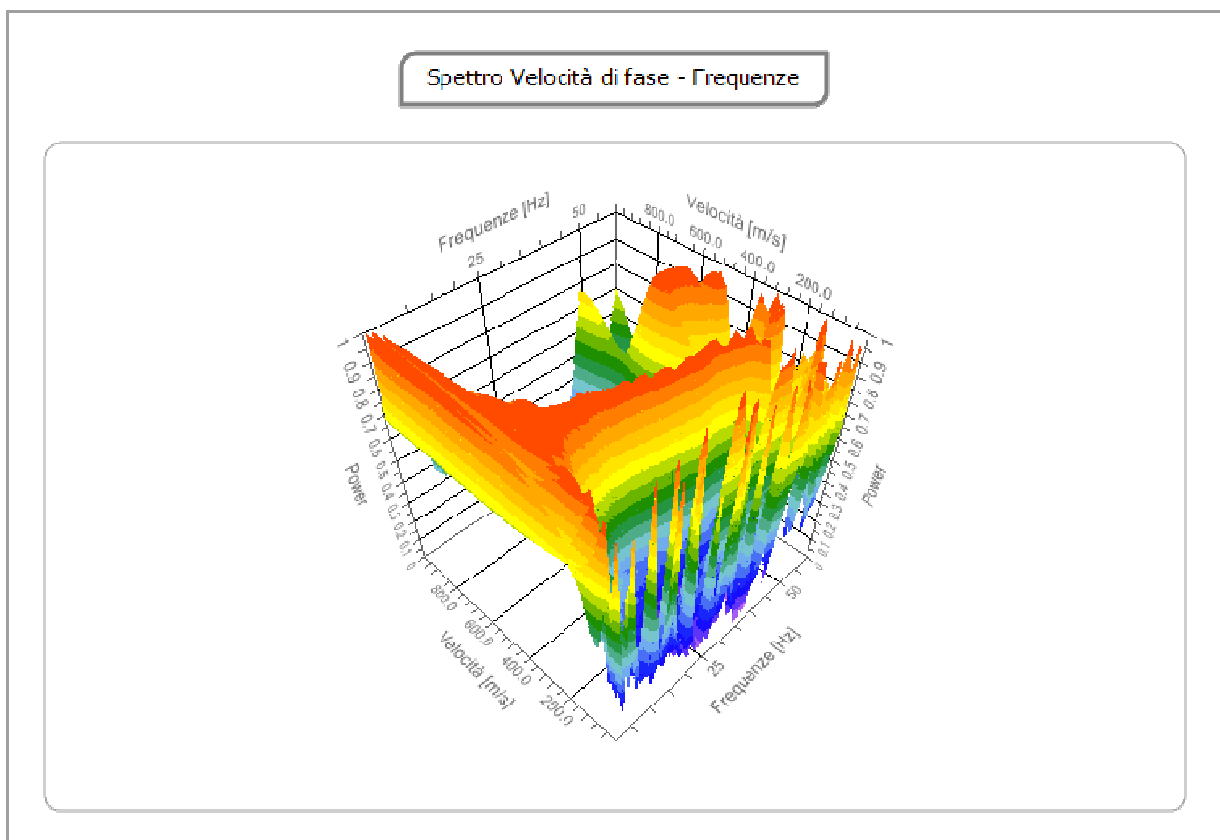
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	999.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	0.478

Lunghezza linea sismica 44 metri



Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6.4	443.0	0
2	7.1	420.6	0
3	7.9	404.7	0
4	8.7	393.6	0
5	9.5	386.1	0
6	10.3	381.3	0
7	11.0	378.2	0
8	11.8	376.3	0
9	12.6	374.9	0
10	13.4	373.8	0
11	14.2	372.6	0
12	14.9	371.1	0
13	15.7	369.3	0
14	16.5	367.0	0
15	17.3	364.3	0
16	18.1	361.2	0
17	18.8	357.8	0
18	19.6	354.1	0
19	20.4	350.2	0
20	21.2	346.2	0
21	21.9	342.1	0
22	22.7	338.1	0
23	23.5	334.1	0
24	24.3	330.1	0
25	25.1	326.3	0

26	25.8	322.5	0
27	26.6	318.9	0
28	27.4	315.3	0
29	28.2	311.7	0
30	29.0	308.2	0
31	29.7	304.7	0
32	30.5	301.2	0
33	31.3	297.8	0
34	32.1	294.6	0
35	32.8	291.7	0
36	33.6	289.4	0
37	34.4	287.9	0
38	35.2	287.6	0
39	36.0	288.4	0
40	36.7	290.4	0

Inversione

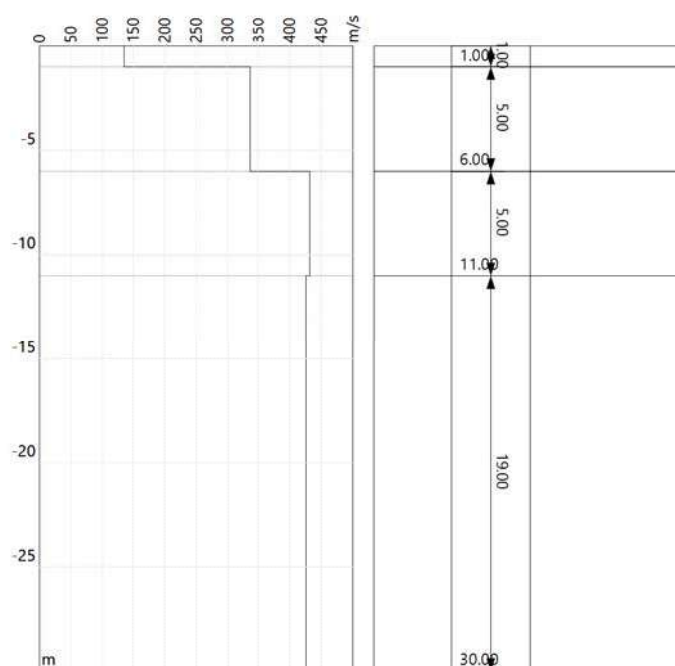
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1830.0	0.38	No	307.5	135.3
2		6.00	5.00	1860.0	0.38	No	763.2	335.8
3		11.00	5.00	1910.0	0.37	No	950.8	431.9
4		oo	oo	1960.0	0.36	No	910.6	425.9

Percentuale di errore

0.011 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.010



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	382.30
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	135.30	307.53	1830.00	0.38	33.50	173.08	128.41	92.46	N/A	106.68
2	6.00	5.00	335.76	763.20	1860.00	0.38	209.69	1083.40	803.81	578.74	N/A	N/A
3	11.00	5.00	431.89	950.77	1910.00	0.37	356.27	1726.56	1251.53	976.19	N/A	N/A
4	oo	oo	425.89	910.59	1960.00	0.36	355.51	1625.17	1151.17	966.98	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

Dati generali

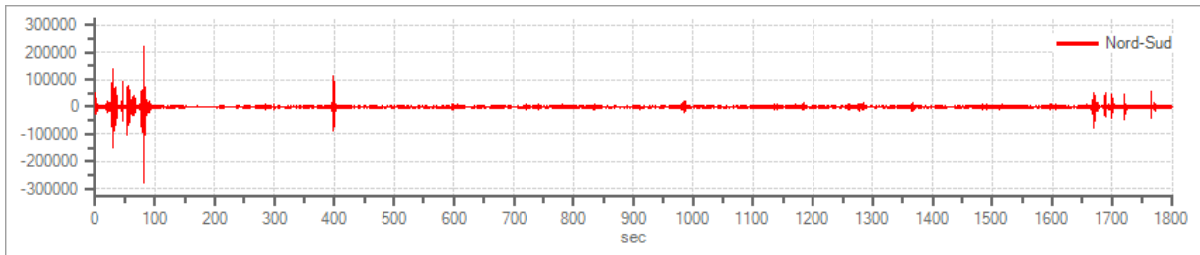
Data: 07/10/2023 00:00:00

Tracce in input

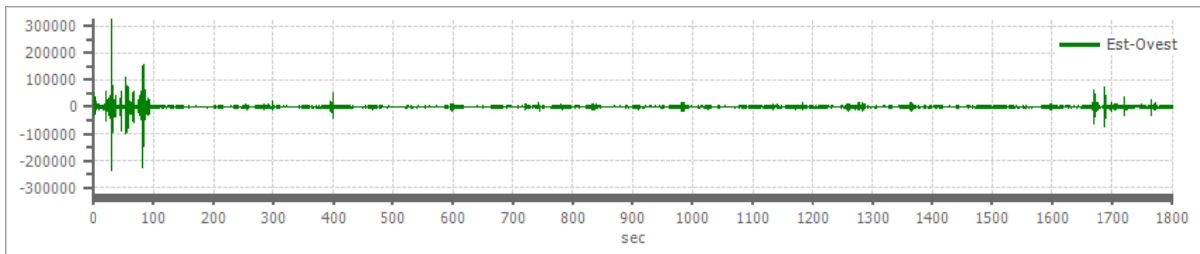
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1800 s
Frequenza di campionamento: 156.00 Hz
Numero campioni: 280799
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

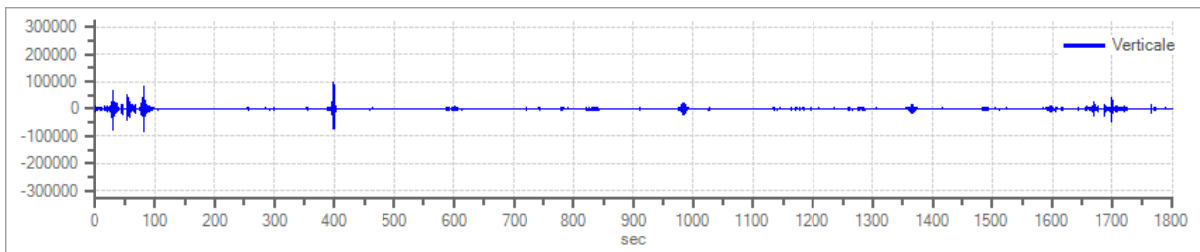
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

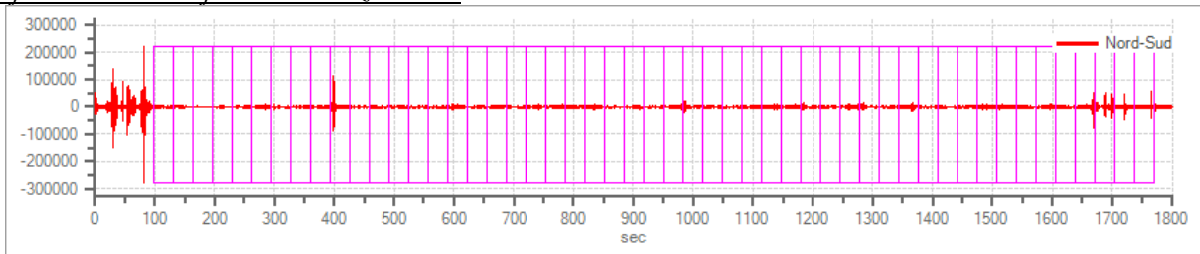
Numero totale finestre selezionate: 51
Numero finestre incluse nel calcolo: 51
Dimensione temporale finestre: 32.763 s
Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Tabella finestre:

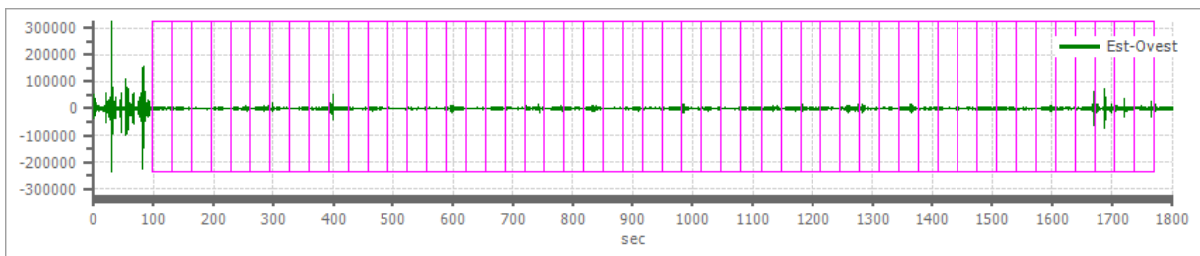
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	98.288	131.051	Inclusa
2	131.051	163.814	Inclusa
3	163.814	196.577	Inclusa
4	196.577	229.34	Inclusa
5	229.34	262.103	Inclusa
6	262.103	294.865	Inclusa
7	294.865	327.628	Inclusa
8	327.628	360.391	Inclusa
9	360.391	393.154	Inclusa
10	393.154	425.917	Inclusa
11	425.917	458.679	Inclusa
12	458.679	491.442	Inclusa
13	491.442	524.205	Inclusa
14	524.205	556.968	Inclusa
15	556.968	589.731	Inclusa
16	589.731	622.494	Inclusa
17	622.494	655.256	Inclusa
18	655.256	688.019	Inclusa
19	688.019	720.782	Inclusa
20	720.782	753.545	Inclusa
21	753.545	786.308	Inclusa
22	786.308	819.071	Inclusa
23	819.071	851.833	Inclusa
24	851.833	884.596	Inclusa
25	884.596	917.359	Inclusa
26	917.359	950.122	Inclusa
27	950.122	982.885	Inclusa
28	982.885	1015.647	Inclusa
29	1015.647	1048.41	Inclusa
30	1048.41	1081.173	Inclusa
31	1081.173	1113.936	Inclusa
32	1113.936	1146.699	Inclusa
33	1146.699	1179.462	Inclusa
34	1179.462	1212.224	Inclusa
35	1212.224	1244.987	Inclusa
36	1244.987	1277.75	Inclusa
37	1277.75	1310.513	Inclusa

38	1310.513	1343.276	Inclusa
39	1343.276	1376.038	Inclusa
40	1376.038	1408.801	Inclusa
41	1408.801	1441.564	Inclusa
42	1441.564	1474.327	Inclusa
43	1474.327	1507.09	Inclusa
44	1507.09	1539.853	Inclusa
45	1539.853	1572.615	Inclusa
46	1572.615	1605.378	Inclusa
47	1605.378	1638.141	Inclusa
48	1638.141	1670.904	Inclusa
49	1670.904	1703.667	Inclusa
50	1703.667	1736.429	Inclusa
51	1736.429	1769.192	Inclusa

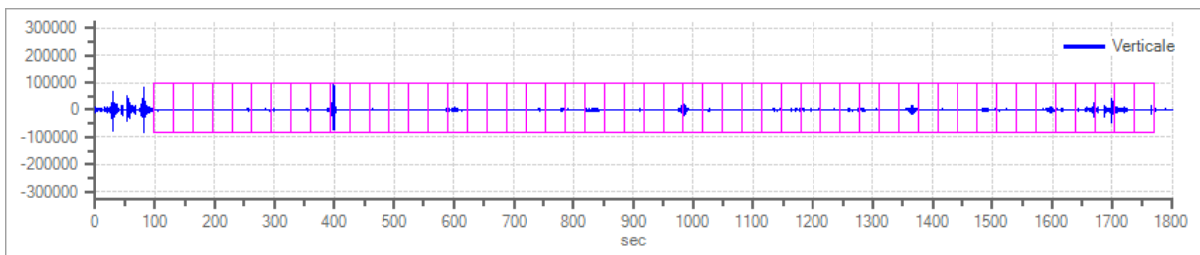
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

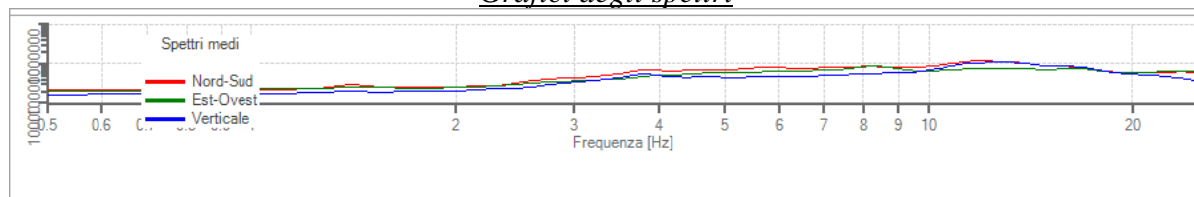


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

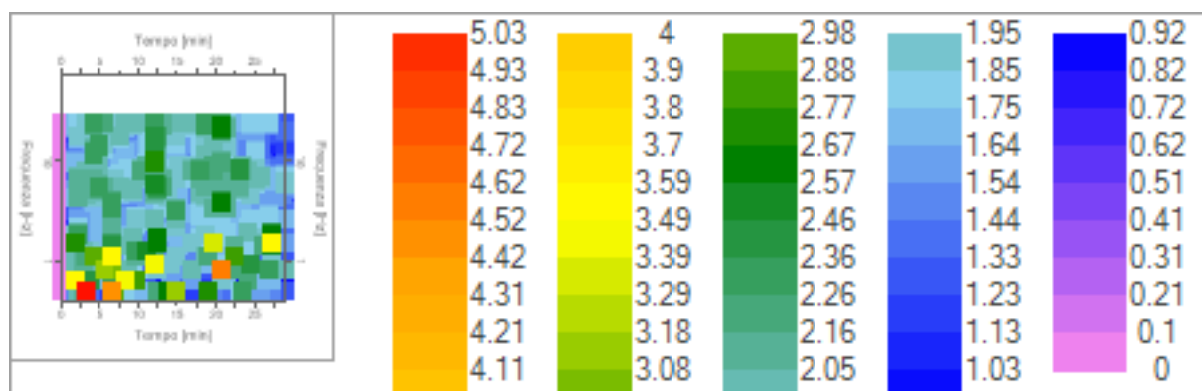


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

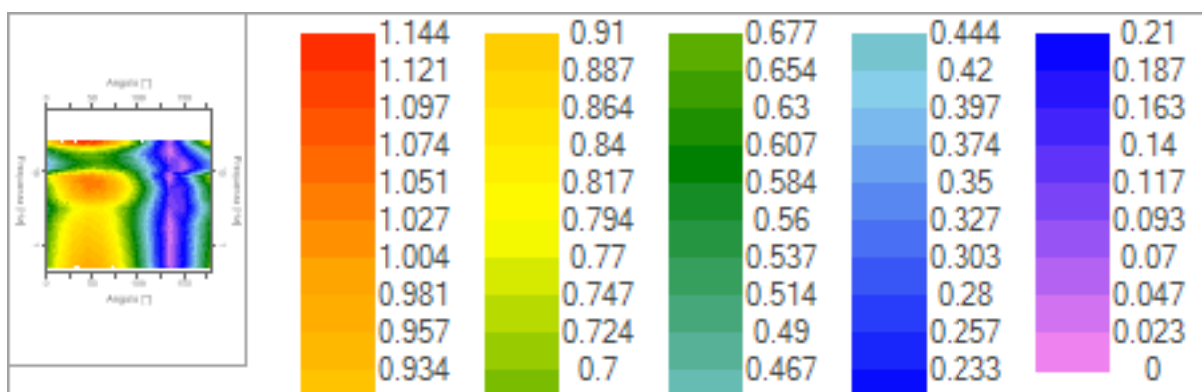
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

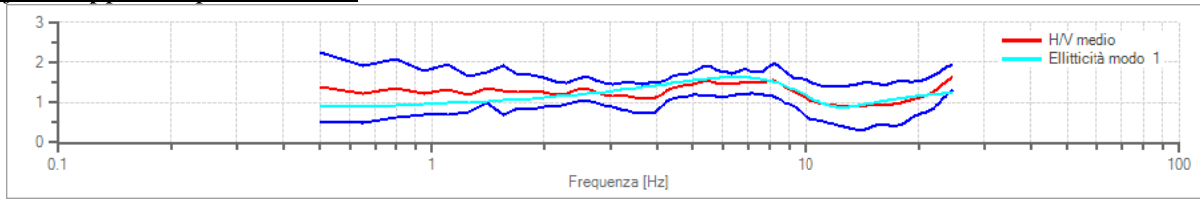
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	25.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 24.80 Hz \pm 0.19 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$.	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$.	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

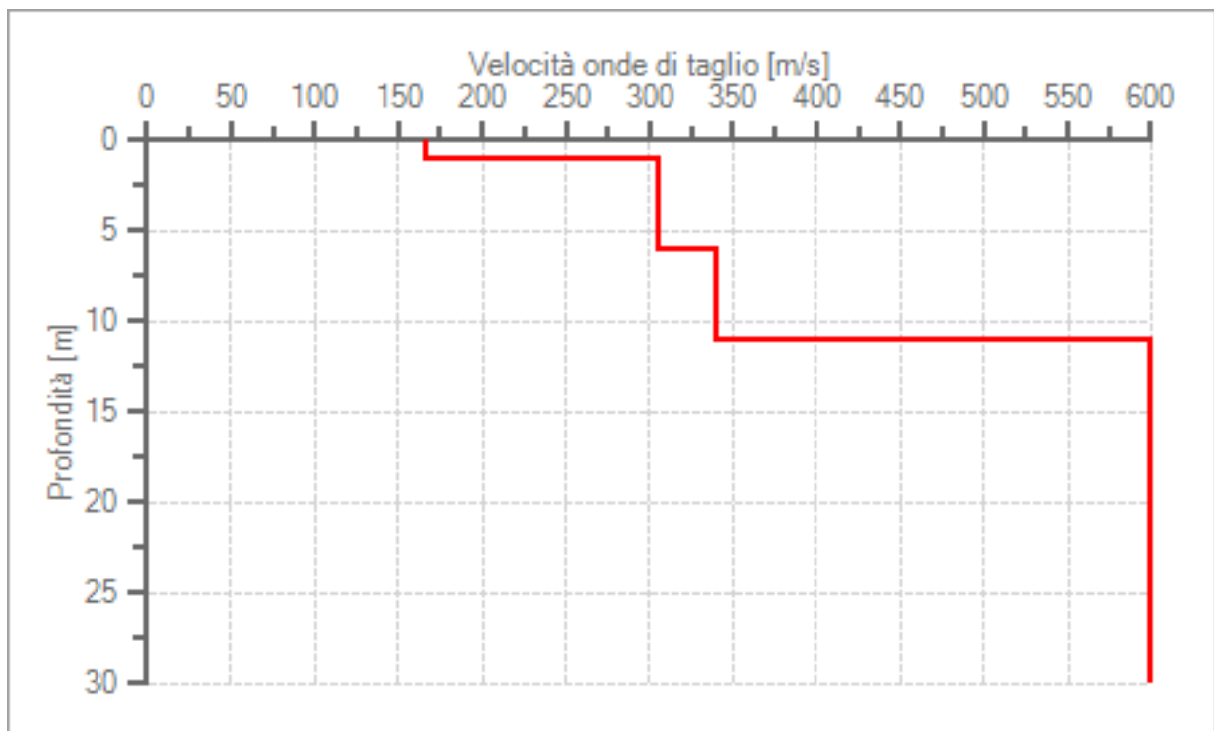
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4
Frequenza del picco dell'ellitticità: 6.50 Hz
Valore di disadattamento: 0.11
Valore Vseq: 435.86 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18.3	0.38	166
2	1	5	18.6	0.38	304
3	6	5	19.1	0.37	340
4	11	19	19.6	0.36	600



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

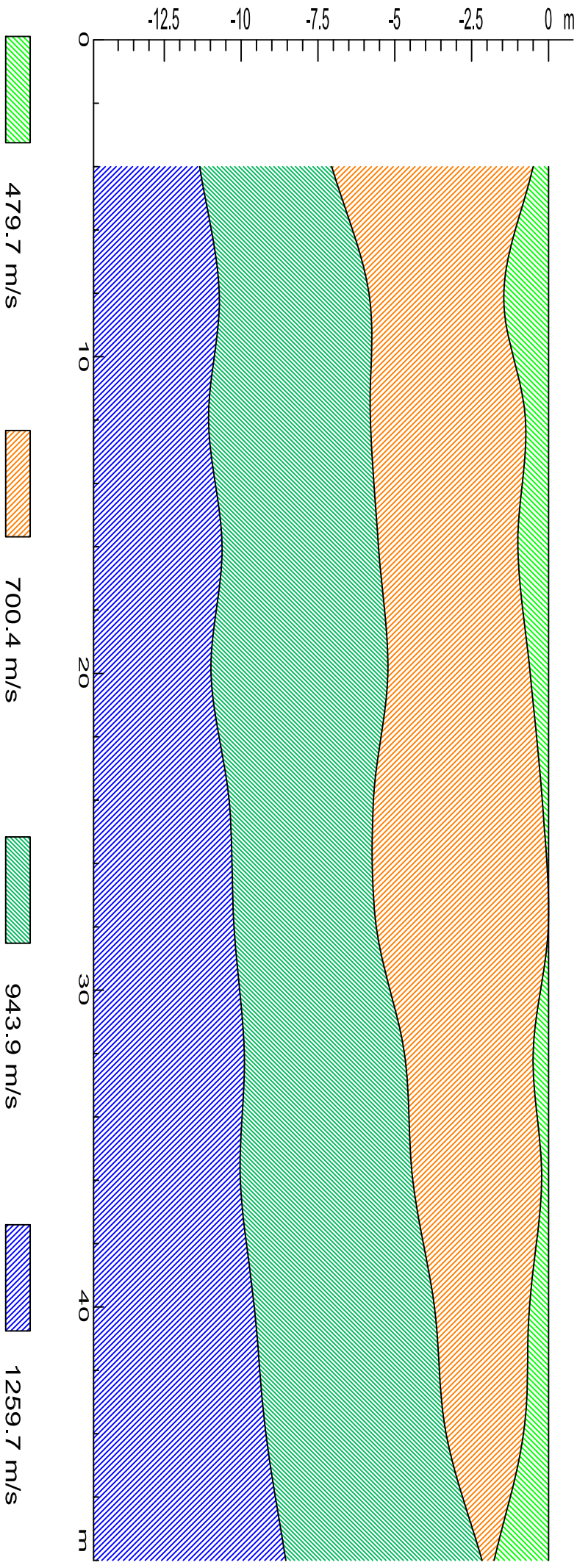


Ubicazione linea sismica MASW



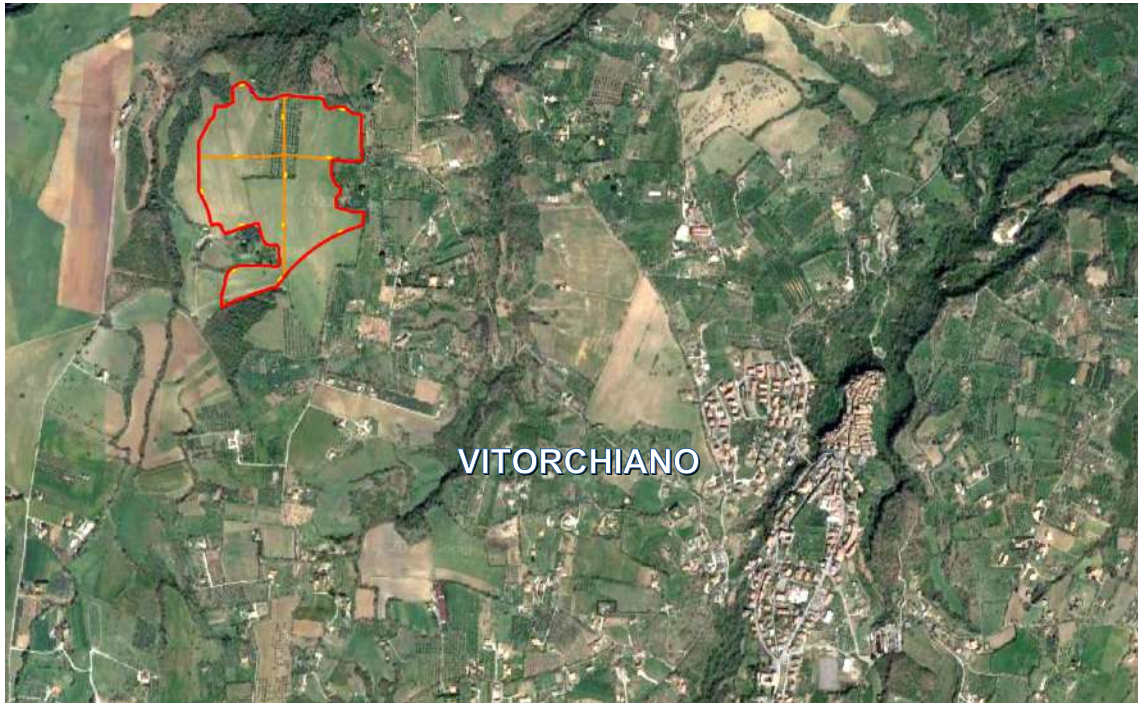
Ubicazione prova HVSR

SEZIONE VERTICALE



COMUNE DI VITORCHIANO

- Provincia di Viterbo -



Indagine Geotecnica

Località: PANTANO

Cliente: CCEN VITERBO S.R.L.

PROVE PENETROMETRICHE DPSH

Ottobre 2023

1. PREMESSA

Codesta società ha eseguito la presente indagine geotecnica mediante penetrometro dinamico super pesante della ditta *Geo Deep Drill*, per la caratterizzazione meccanica di terreni interessati dall'installazione di un impianto fotovoltaico da realizzare nel Comune di Vitorchiano (VT) in località Pantano.

I dati acquisiti sono stati successivamente elaborati mediante programma tecnico professionale basato sul foglio di calcolo *Calc* della *suite* libera LibreOffice.

2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA

La Prova Penetrometrica Dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica mediante l'uso di una massa battente, misurando per tratti consecutivi δ il numero di colpi N necessari.

Tali indagini 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.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona. Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$	25

Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA): massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha= 60^\circ-90^\circ$), diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot e \cdot (M + P)} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{A \cdot \delta \cdot (M + P)}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ / N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \quad \text{con} \quad CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{vo}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao-Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C _s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C _d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C _r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983), Meyerhof (1956), Desai (1968), Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa. In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{Spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{Spt,k} = N_{Spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{Spt}})$$

dove $\sigma_{N_{Spt}}$ è la deviazione standard di N_{Spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente uguale a 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche dei terreni

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15) \quad (N_{spt} \text{ è il valore medio nello strato})$$

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso unità di volume

- Terzaghi-Peck (1948-1967)
- Meyerhof ed altri.

Peso unità di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)
- Meyerhof ed altri.

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1974) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq).
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con % di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello (1971) - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1975).
- Schmertmann (1978) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %).
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION. Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY. Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

- Owasaki & Iwasaki (1959) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Wolff (1989) - Correlazione valida per sabbie da fini a grossolane.
- Hatanaka & Uchida (1996) - Correlazione valida per sabbie fini o limose ma utilizzabile per tutte le litologie in generale.

Coesione non drenata

- Terzaghi-Peck (1948-1967) - Correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Hara ed altri (1971).
- Sanglerat (1948) - Valido per argille da siltose a plastiche fino a limoso sabbiose.
- Schmertmann (1978) - Valori massimi medi di C_u , quest'ultimi validi per argille e limi argillosi con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) - Coesione non drenata C_u (Kg/cm²), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - Per argille di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982) - Correlazione valida per suoli poco coerenti e plastici e per argille di media-alta plasticità.
- Begemann (1974).
- Stroud (1974).
- De Beer (1983).

Modulo Elastico di Young

- Schmertmann (1978) - Correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach (1961) - Correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) - Correlazione valida per sabbie, sabbie e ghiaie e sabbie SC.
- Webb (1970) - Valori validi per sabbie sature e con fine plastico.
- Bowles (1982) - Correlazione valida per sabbie argillose, sabbie limose e limi sabbiosi, sabbie medie, sabbie ghiaiose e ghiaie.
- Burland & Burbidge (1985)
- Tornaghi ed altri (1988) - Valori adatti a terreni sabbiosi fino a ghiaiosi.
- Stroud (1989) - Correlazioni per terreni argillosi o sabbiosi fino a ghiaiosi.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) - Elaborazione desunta da esperienze in Grecia valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia.
- Buismann-Sanglerat (1974), correlazioni valide per sabbie, sabbie argillose, argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).
- Farrent (1963) - Correlazione valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaie.
- Menzenbach e Malcev - Valori validi per sabbie fini, medie fino a ghiaiose.
- Stroud e Butler (1975) - Valori per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) - Correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974) (Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o) - Valido per litotipi argillosi e limoso-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) - Correlazione valida per qualunque pressione efficace; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Skempton (1986) - Elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Meyerhof (1957).

- Schultze & Menzenbach (1961) - Metodo valido per sabbie fini e ghiaiose, per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Bazara (1967) - Valori per sabbie e ghiaie.
- Yoshida e Kokusho (1988) - Valido per tutti i tipi di terreni granulari.
- Cubrinowski-Ischiara (1988) - Correlazione usata per sabbie fini e medie fino a ghiaietto.

Modulo di taglio

- Ohsaki & Iwasaki - Elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite, nonché per limi plastici e argille.
- Otha & Goto (1978) - Valori validi per tutti i terreni granulari.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.
- Crespellani & Vannucchi - Correlazione per le sabbie in generale.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (CPT)

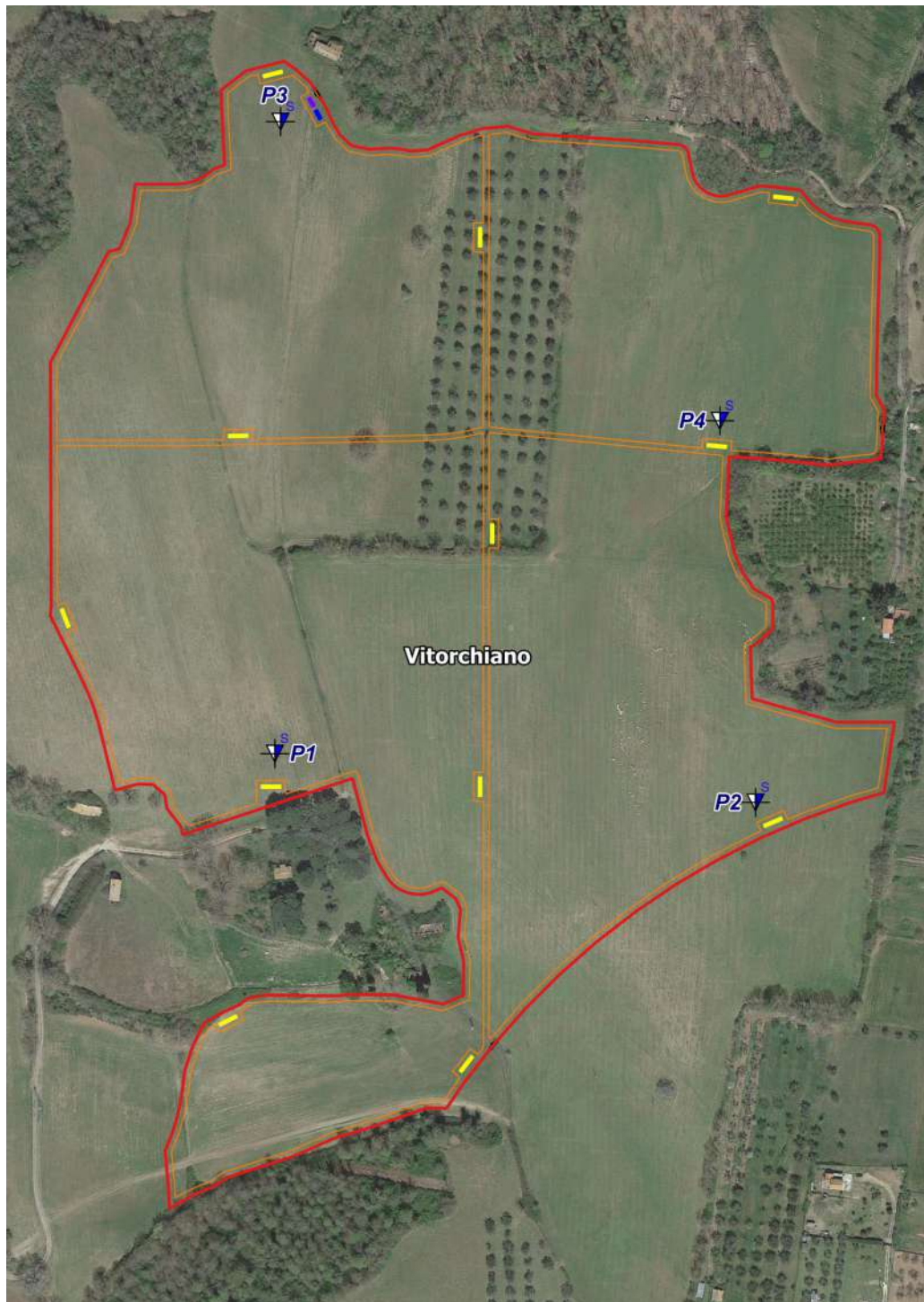
- Robertson (1983) - Correlazioni valide per tutti i tipi di terreno.

Resistenza a Compressione (qu)

2.1 RISULTATI PENETROMETRICHE

Ubicazione Prove (WGS 84 / UTM zone 33N)

Cantiere	Vitorchiano (VT)
Località	Pantano
Data	27/09/2023
Coordinate	P1 (265704, 4706492); P2 (266014, 4706460) P3 (265708, 4706900); P4 (265991, 4706707)



Documentazione Fotografica P1





Documentazione Fotografica P2





Documentazione Fotografica P3





Documentazione Fotografica P4





Ottobre 2023

Exploro di MORGANTI
Snc e PASQUALINI
Via Alcide De Gasperi, 116 - Pagliare del Tronto
63078 SPINETOLI (AP) - P. Iva: 01713740445

DI SEGUITO LE ELABORAZIONI GEOTECNICHE E LE STRATIGRAFIE

Aste	Metri	COLPI	Nspt	Nspt'	Rpd
1	0,2	5	7,52	7,52	48,59
1	0,4	15	22,57	22,57	145,77
1	0,6	23	34,60	34,60	223,51
1	0,8	21	31,59	31,59	204,07
1	1,0	18	27,08	27,08	174,92
2	1,2	18	27,08	27,08	161,82
2	1,4	14	21,06	21,06	125,86
2	1,6	15	22,57	22,57	134,85
2	1,8	11	16,55	16,55	98,89
2	2,0	8	12,04	12,04	71,92
3	2,2	10	15,04	15,04	83,63
3	2,4	15	22,57	22,57	125,45
3	2,6	9	13,54	13,54	75,27
3	2,8	4	6,02	6,02	33,45
3	3,0	5	7,52	7,52	41,82
4	3,2	9	13,54	13,54	70,37
4	3,4	5	7,52	7,52	39,09
4	3,6	5	7,52	7,52	39,09
4	3,8	4	6,02	6,02	31,27
4	4,0	6	9,03	9,03	46,91
5	4,2	6	9,03	9,03	44,04
5	4,4	7	10,53	10,53	51,38
5	4,6	8	12,04	12,04	58,72
5	4,8	6	9,03	9,03	44,04
5	5,0	3	4,51	4,51	22,02
6	5,2	7	10,53	10,53	48,42
6	5,4	6	9,03	9,03	41,50
6	5,6	6	9,03	9,03	41,50
6	5,8	5	7,52	7,52	34,59
6	6,0	4	6,02	6,02	27,67

PROVA N°	1
----------	---

DATI INDAGINE	
comune	VITORCHIANO (VT)
località	PANTANO
cliente	CCEN VITERBO SRL
data	27/09/2023

DATI STRUMENTO		
peso massa	63,50	kg
peso asta	6,30	kg
lungh. asta	1,00	m
cambio asta	1,00	m
peso sistema	8,00	kg
volata	0,75	m
passo	0,20	m
area punta	20	cm ²
angolo punta	90	°
βt	1,504	

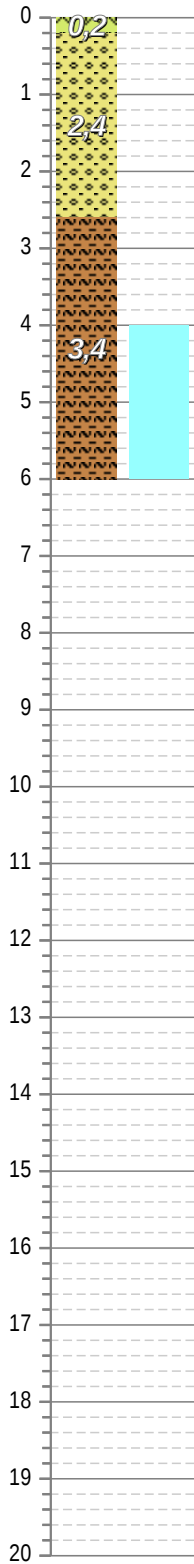
DATI STRATIGRAFICI		
metri	da	a
falda	4,0	6,0
strato 1	0,0	0,2
strato 2	0,2	2,6
strato 3	2,6	6,0

Stratigrafia - PROVA N° 1

Colpi (N)

Rpd [kg/cm²]

SCALA 1:100



- LIMI ARGILLOSI SABBIOSI
- SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI
- TERRENO VEGETALE
- falda

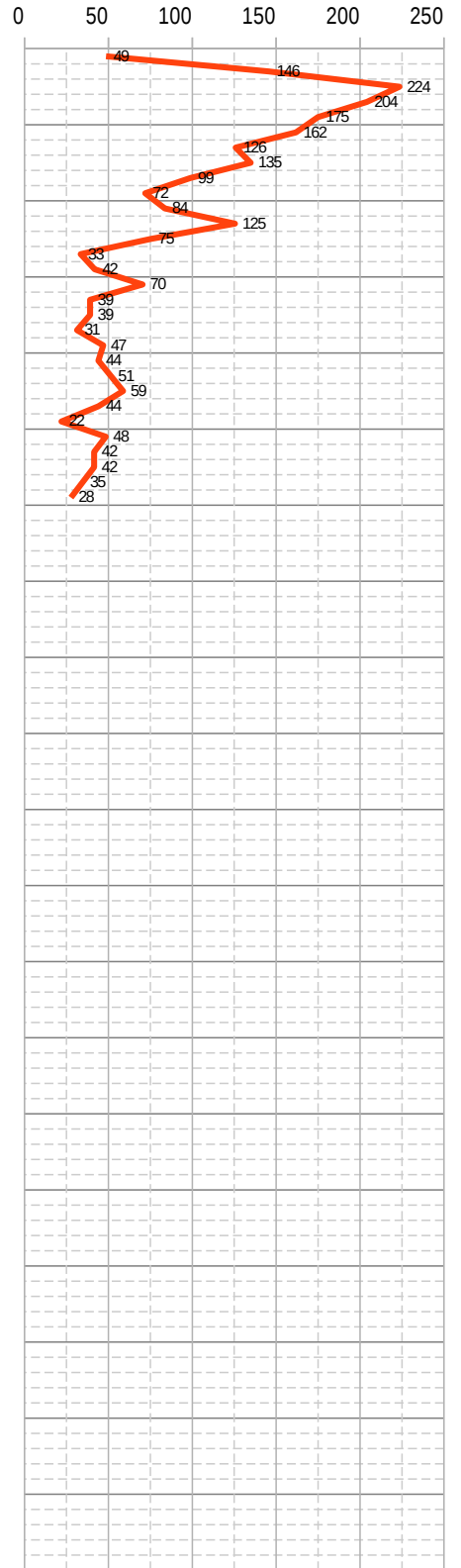
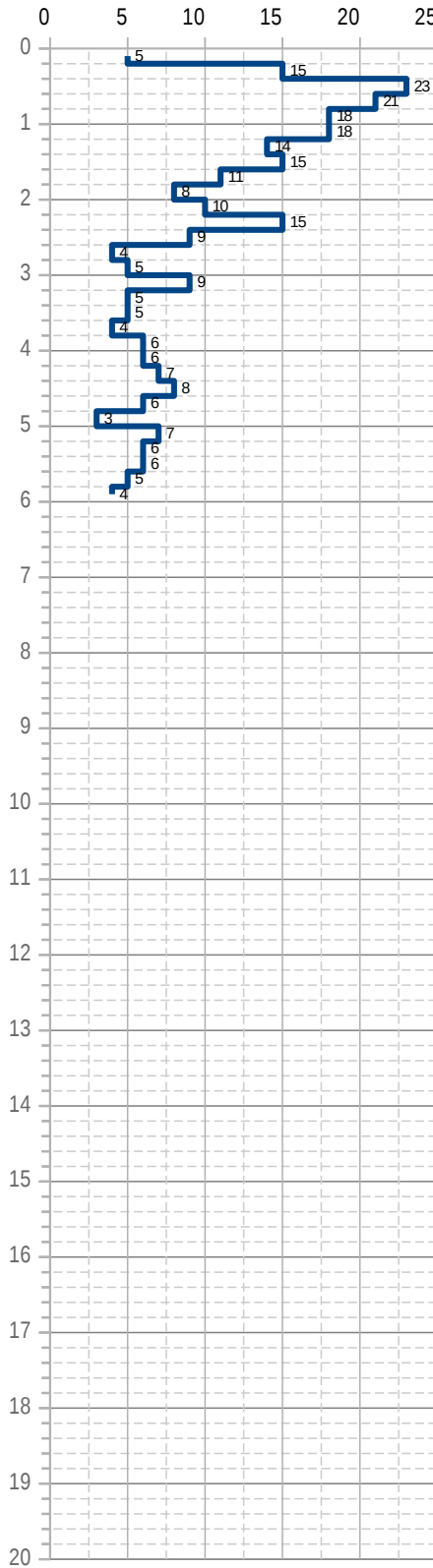


Tabelle - PROVA N° 1	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT) Località: PANTANO Cliente: CCEN VITERBO SRL Data indagine: 27/09/2023	TERRENO VEGETALE	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	-	-
profondità	0,2	2,6	6,0		
spessore	0,2	2,4	3,4		
Nspt medio	7,52	22,19	8,50		
Condizioni e tipologia					
in falda	NO	NO	IN PARTE		
Nspt medio'	7,52	22,19	8,50		
Rpd [kg/cm ²]	48,59	135,50	42,11		
σ'v ₀ [t/m ²]	0,16	2,38	6,95		
incoerente	SI	SI	NO		
coesivo	NO	NO	SI		
stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	MODERATAM. ADDENSATO	CONSISTENTE		
Peso unità di volume [t/m³]					
autore ^	<i>Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri</i>				
autore v	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>		
peso secco	1,58	1,72	1,58		
peso saturo	1,93	1,99	1,93		
Angolo di attrito [°]					
autore	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>		
terreno	sabbie fini e limi	sabbie fini e limi	sabbie fini e limi		
valore	25,6	33,2	26,3		
Coesione non drenata [kg/cm²]					
autore	#N/D	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>		
terreno	#N/D	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>		
valore	#N/D	#N/D	0,38		
Modulo Elastico (Young) [kg/cm²]					
autore	<i>Burland & Burbidge (1985)</i>	<i>Schultze- Menzenbach</i>	<i>Schultze- Menzenbach</i>		
terreno	Burland & Burbidge (1985)	sabbie medie	limi siltoso sabbiosi		
valore	25,57	138,85	61,27		
Modulo Edometrico [kg/cm²]					
autore	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>		
terreno	argille sabbiose	sabbie argillose	sabbie argillose		
valore	37,61	177,52	67,96		
Densità relativa [%]					
autore	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Skempton (1986)</i>		
terreno	sabbie da fini a grosse	sabbie da fini a grosse	sabbie da fini a grosse		
valore	48,48	83,18	51,36		
Modulo di taglio [kg/cm²]					
autore	<i>Crespellani & Vannucchi</i>	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>		
terreno	sabbie in generale	sabbie pulite	limi plastici e argille		
valore	272,4	1197,6	742,8		
Resistenza punta CPT [kg/cm²]					
autore	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>		
terreno	limi e limi sabbiosi	sabbie e ghiaie	argille limose o sabb.(max)		
valore	15,04	88,76	16,14		
Resistenza compressione [kg/cm²]					
qu	0,921	2,716	1,040		

Aste	Metri	COLPI	Nspt	Nspt'	Rpd
1	0,2	3	4,51	4,51	29,15
1	0,4	6	9,03	9,03	58,31
1	0,6	9	13,54	13,54	87,46
1	0,8	10	15,04	15,04	97,18
1	1,0	7	10,53	10,53	68,02
2	1,2	7	10,53	10,53	62,93
2	1,4	7	10,53	10,53	62,93
2	1,6	5	7,52	7,52	44,95
2	1,8	5	7,52	7,52	44,95
2	2,0	6	9,03	9,03	53,94
3	2,2	6	9,03	9,03	50,18
3	2,4	5	7,52	7,52	41,82
3	2,6	6	9,03	9,03	50,18
3	2,8	9	13,54	13,54	75,27
3	3,0	8	12,04	12,04	66,91
4	3,2	8	12,04	12,04	62,55
4	3,4	7	10,53	10,53	54,73
4	3,6	9	13,54	13,54	70,37
4	3,8	11	16,55	16,55	86,00
4	4,0	8	12,04	12,04	62,55
5	4,2	7	10,53	10,53	51,38
5	4,4	9	13,54	13,54	66,06
5	4,6	13	19,56	17,28	95,42
5	4,8	5	7,52	7,52	36,70
5	5,0	4	6,02	6,02	29,36
6	5,2	4	6,02	6,02	27,67
6	5,4	4	6,02	6,02	27,67
6	5,6	4	6,02	6,02	27,67
6	5,8	7	10,53	10,53	48,42
6	6,0	10	15,04	15,02	69,17

PROVA N°	2
----------	---

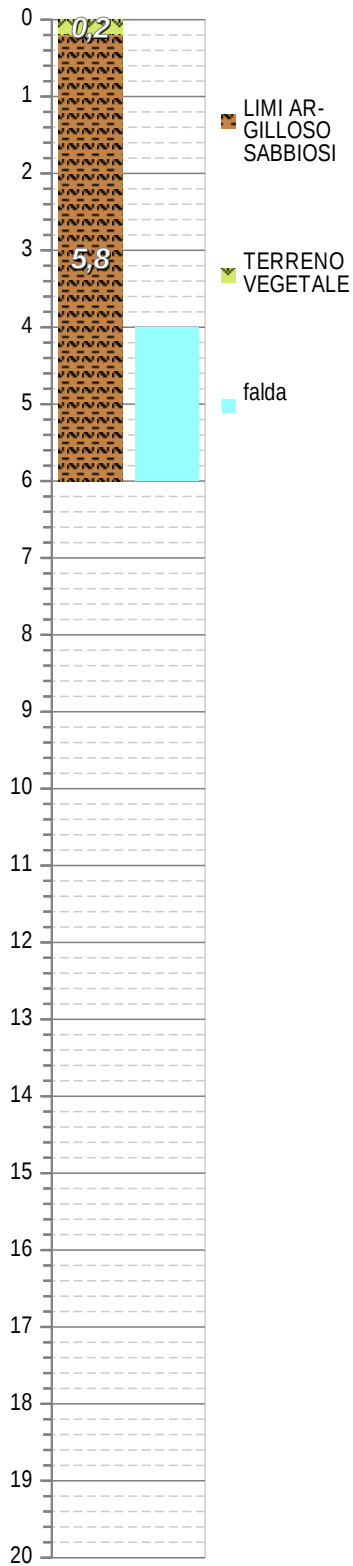
DATI INDAGINE	
comune	VITORCHIANO (VT)
località	PANTANO
cliente	CCEN VITERBO SRL
data	27/09/2023

DATI STRUMENTO		
peso massa	63,50	kg
peso asta	6,30	kg
lungh. asta	1,00	m
cambio asta	1,00	m
peso sistema	8,00	kg
volata	0,75	m
passo	0,20	m
area punta	20	cm ²
angolo punta	90	°
βt	1,504	

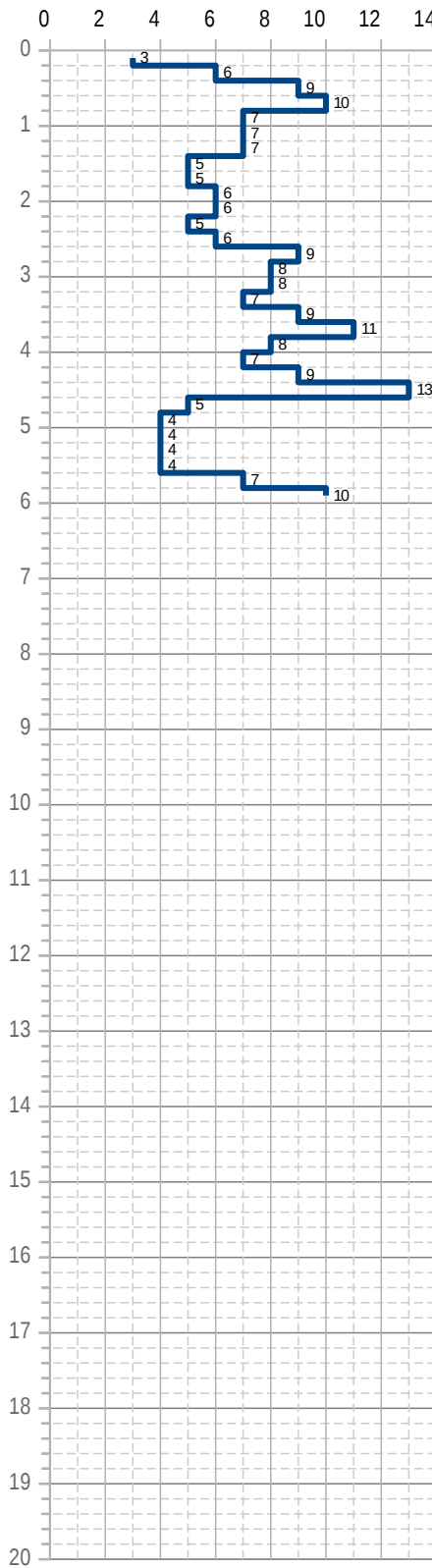
DATI STRATIGRAFICI		
metri	da	a
falda	4,0	6,0
strato 1	0,0	0,2
strato 2	0,2	6,0
strato 3	6,0	

Stratigrafia - PROVA N° 2

SCALA 1:100



Colpi (N)



Rpd [kg/cm²]

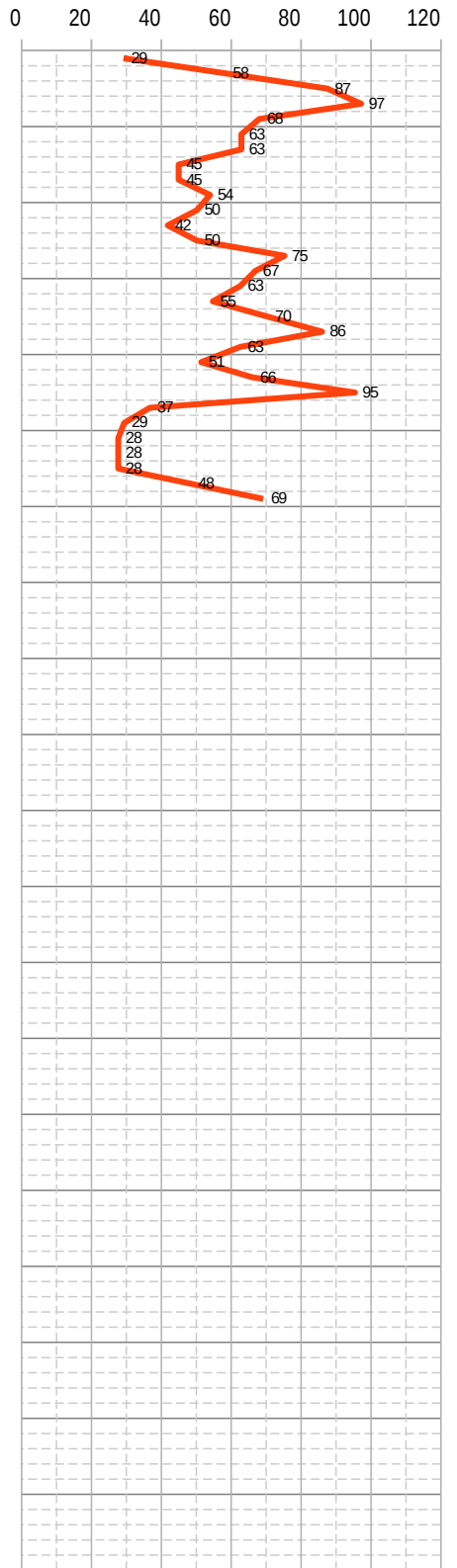


Tabelle - PROVA N° 2	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT) Località: PANTANO Cliente: CCEN VITERBO SRL Data indagine: 27/09/2023	TERRENO VEGETALE	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	-	-	-
profondità	0,2	6,0			
spessore	0,2	5,8			
Nspt medio	4,51	10,69			
Condizioni e tipologia					
in falda	NO	IN PARTE			
Nspt medio'	4,51	10,61			
Rpd [kg/cm ²]	29,15	57,96			
σ'v ₀ [t/m ²]	0,15	4,97			
incoerente	SI	NO			
coesivo	NO	SI			
stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	CONSISTENTE			
Peso unità di volume [t/m³]					
autore ^	<i>Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri</i>				
autore v	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>			
peso secco	1,55	1,61			
peso saturo	1,88	1,93			
Angolo di attrito [°]					
autore	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>			
terreno	sabbie fini e limi	sabbie fini e limi			
valore	23,2	27,6			
Coesione non drenata [kg/cm²]					
autore	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>			
terreno	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>			
valore	#N/D	0,48			
Modulo Elastico (Young) [kg/cm²]					
autore	<i>Burland & Burbidge (1985)</i>	<i>Schultze- Menzenbach</i>			
terreno	Burland & Burbidge (1985)	limi siltoso sabbiosi			
valore	15,34	73,52			
Modulo Edometrico [kg/cm²]					
autore	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>			
terreno	argille sabbiose	sabbie argillose			
valore	22,57	84,86			
Densità relativa [%]					
autore	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Skempton (1986)</i>			
terreno	sabbie da fini a grosse	sabbie da fini a grosse			
valore	37,55	57,45			
Modulo di taglio [kg/cm²]					
autore	<i>Crespellani & Vannucchi</i>	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>			
terreno	sabbie in generale	limi plastici e argille			
valore	199,4	888,4			
Resistenza punta CPT [kg/cm²]					
autore	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>			
terreno	limi e limi sabbiosi	argille limose o sabb.(max)			
valore	9,03	20,15			
Resistenza compressione [kg/cm²]					
qu	0,552	1,298			

Aste	Metri	COLPI	Nspt	Nspt'	Rpd
1	0,2	4	6,02	6,02	38,87
1	0,4	3	4,51	4,51	29,15
1	0,6	6	9,03	9,03	58,31
1	0,8	4	6,02	6,02	38,87
1	1,0	5	7,52	7,52	48,59
2	1,2	7	10,53	10,53	62,93
2	1,4	6	9,03	9,03	53,94
2	1,6	6	9,03	9,03	53,94
2	1,8	5	7,52	7,52	44,95
2	2,0	6	9,03	9,03	53,94
3	2,2	6	9,03	9,03	50,18
3	2,4	8	12,04	12,04	66,91
3	2,6	8	12,04	12,04	66,91
3	2,8	7	10,53	10,53	58,54
3	3,0	8	12,04	12,04	66,91
4	3,2	10	15,04	15,04	78,18
4	3,4	10	15,04	15,04	78,18
4	3,6	11	16,55	16,55	86,00
4	3,8	12	18,05	18,05	93,82
4	4,0	12	18,05	16,53	93,82
5	4,2	15	22,57	18,78	110,10
5	4,4	18	27,08	21,04	132,12
5	4,6	13	19,56	17,28	95,42
5	4,8	23	34,60	34,60	168,83
5	5,0	29	43,63	43,63	212,87
6	5,2	28	42,12	42,12	193,68

PROVA N° 3

DATI INDAGINE

comune VITORCHIANO (VT)
 località PANTANO
 cliente CCEN VITERBO SRL
 data 27/09/2023

DATI STRUMENTO

peso massa 63,50 kg
 peso asta 6,30 kg
 lungh. asta 1,00 m
 cambio asta 1,00 m
 peso sistema 8,00 kg
 volata 0,75 m
 passo 0,20 m
 area punta 20 cm²
 angolo punta 90 °
 βt 1,504

DATI STRATIGRAFICI

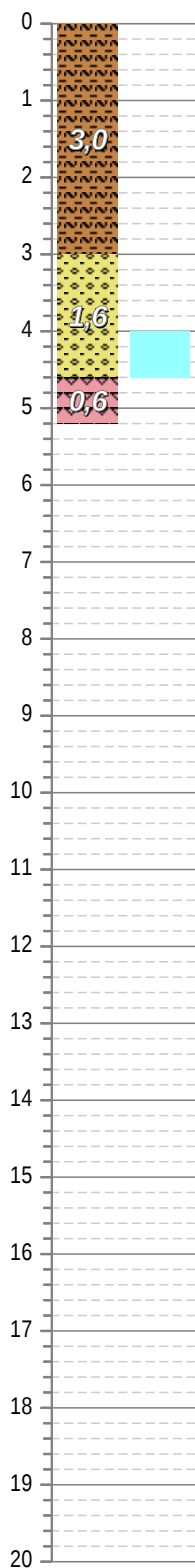
metri	da	a
falda	4,0	4,6
strato 1	0,0	3,0
strato 2	3,0	4,6
strato 3	4,6	5,2

Stratigrafia - PROVA N° 3

Colpi (N)

Rpd [kg/cm²]

SCALA 1:100



- TUFI
- SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI
- LIMI ARGILLO-SABBIOSI
- falda

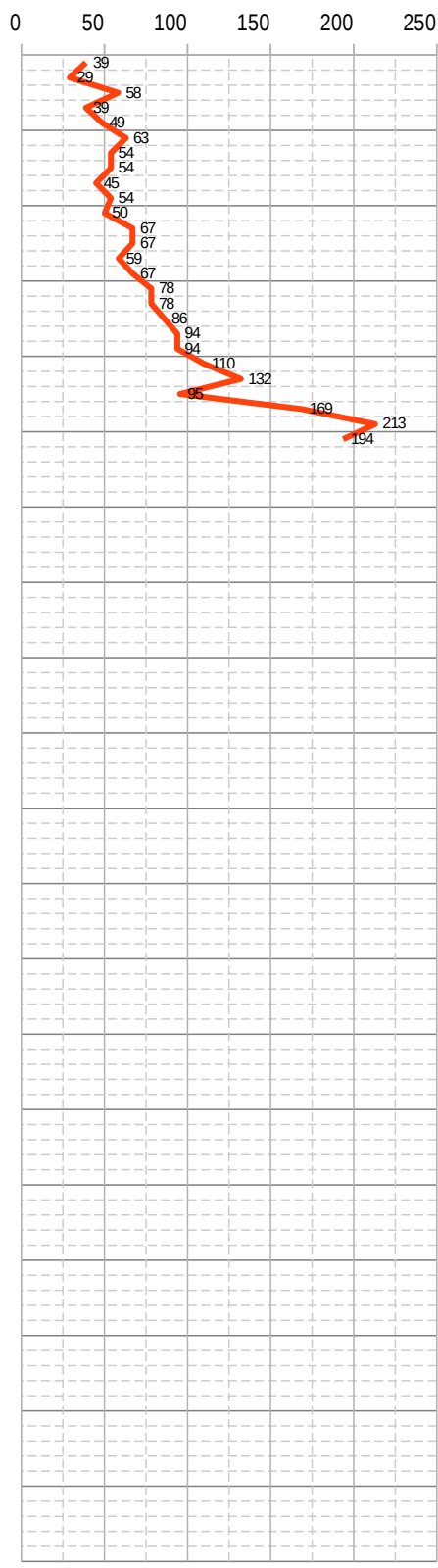
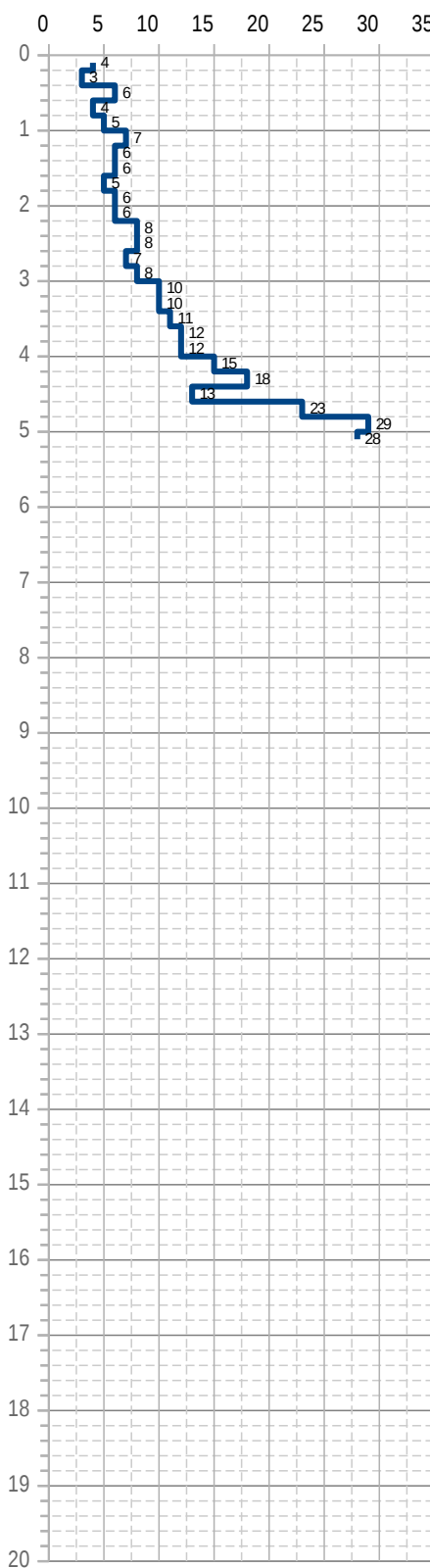


Tabelle - PROVA N° 3	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT) Località: PANTANO Cliente: CCEN VITERBO SRL Data indagine: 27/09/2023	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	TUFI	-	-
profondità	3,0	4,6	5,2		
spessore	3,0	1,6	0,6		
Nspt medio	8,93	18,99	40,12		
Condizioni e tipologia					
in falda	NO	IN PARTE	NO		
Nspt medio'	8,93	17,29	40,12		
Rpd [kg/cm ²]	52,86	95,96	191,79		
σ'v ₀ [t/m ²]	2,38	6,11	7,59		
incoerente	NO	SI	NO		
coesivo	SI	NO	SI		
stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	CONSISTENTE	MODERATAM. ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE		
Peso unità di volume [t/m³]					
autore ^	<i>Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri</i>				
autore v	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>		
peso secco	1,59	1,67	1,90		
peso saturo	1,93	1,96	2,10		
Angolo di attrito [°]					
autore	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>		
terreno	sabbie fini e limi	sabbie fini e limi	sabbie medie e ghiaiose		
valore	26,6	31,1	39,0		
Coesione non drenata [kg/cm²]					
autore	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>	<i>Stroud (1974)</i>		
terreno	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>	<i>Stroud (1974)</i>		
valore	#N/D	0,85	1,80		
Modulo Elastico (Young) [kg/cm²]					
autore	<i>Schultze- Menzenbach</i>	<i>Schultze- Menzenbach</i>	<i>D'Apollonia ed altri (1970)</i>		
terreno	limi siltoso sabbiosi	sabbie medie	sabbie e ghiaie		
valore	63,77	116,80	328,40		
Modulo Edometrico [kg/cm²]					
autore	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Vesic (1970)</i>		
terreno	sabbie argillose	sabbie argillose	valori minimi		
valore	71,41	138,32	361,05		
Densità relativa [%]					
autore	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Yoshida e Kokusho (1988)</i>		
terreno	sabbie da fini a grosse	sabbie da fini a grosse	tutti i terreni granulari		
valore	52,76	73,30	81,26		
Modulo di taglio [kg/cm²]					
autore	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>	<i>Robertson e Campanella</i>		
terreno	limi plastici e argille	sabbie pulite	sabbie		
valore	772,0	947,2	1192,7		
Resistenza punta CPT [kg/cm²]					
autore	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>		
terreno	argille limose o sabb.(max)	sabbie e ghiaie	sabbie e ghiaie		
valore	16,96	69,16	160,47		
Resistenza compressione [kg/cm²]					
qu	1,093	2,116	4,910		

Aste	Metri	COLPI	Nspt	Nspt'	Rpd
1	0,2	5	7,52	7,52	48,59
1	0,4	18	27,08	27,08	174,92
1	0,6	27	40,62	40,62	262,38
1	0,8	28	42,12	42,12	272,10
1	1,0	18	27,08	27,08	174,92
2	1,2	25	37,61	37,61	224,75
2	1,4	27	40,62	40,62	242,73
2	1,6	28	42,12	42,12	251,72
2	1,8	25	37,61	37,61	224,75
2	2,0	19	28,58	28,58	170,81
3	2,2	21	31,59	31,59	175,63
3	2,4	18	27,08	27,08	150,54
3	2,6	18	27,08	27,08	150,54
3	2,8	27	40,62	40,62	225,81
3	3,0	25	37,61	37,61	209,08

PROVA N° 4

DATI INDAGINE

comune VITORCHIANO (VT)
 località PANTANO
 cliente CCEN VITERBO SRL
 data 27/09/2023

DATI STRUMENTO

peso massa 63,50 kg
 peso asta 6,30 kg
 lungh. asta 1,00 m
 cambio asta 1,00 m
 peso sistema 8,00 kg
 volata 0,75 m
 passo 0,20 m
 area punta 20 cm²
 angolo punta 90 °
 βt 1,504

DATI STRATIGRAFICI

metri	da	a
falda	assente	
strato 1	0,0	0,2
strato 2	0,2	3,0

Stratigrafia - PROVA N° 4

Colpi (N)

Rpd [kg/cm²]

SCALA 1:100

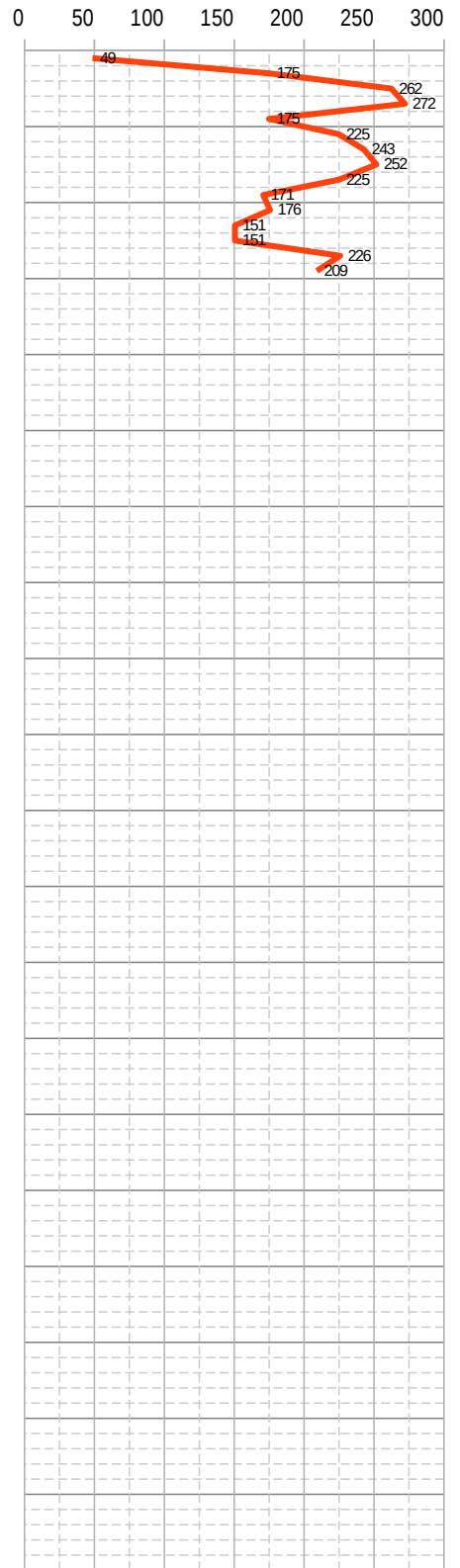
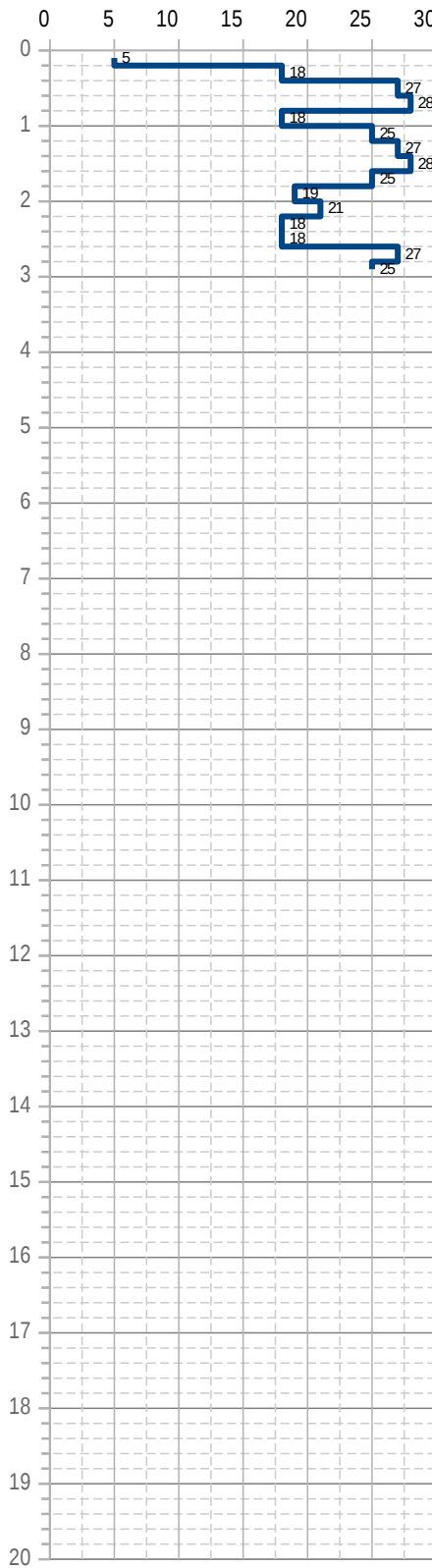
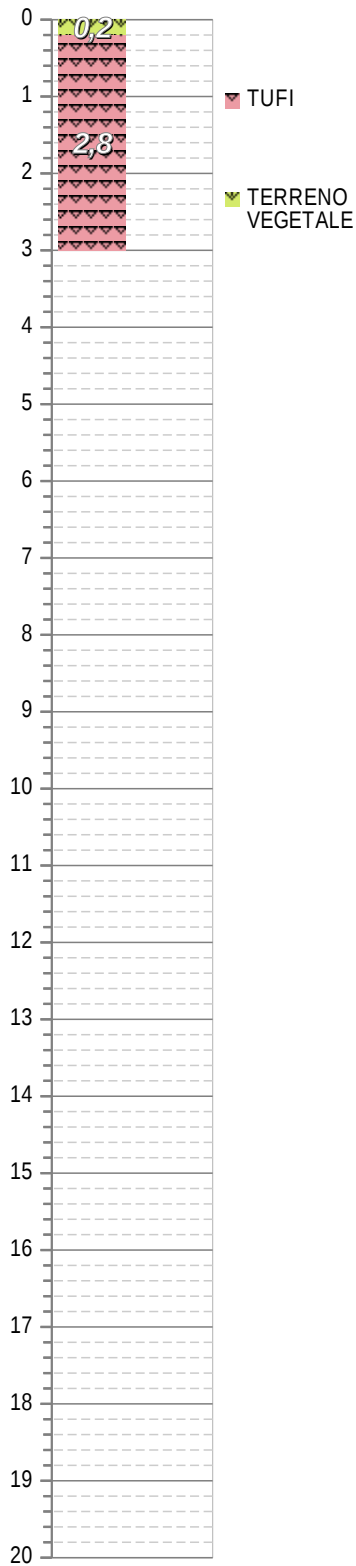
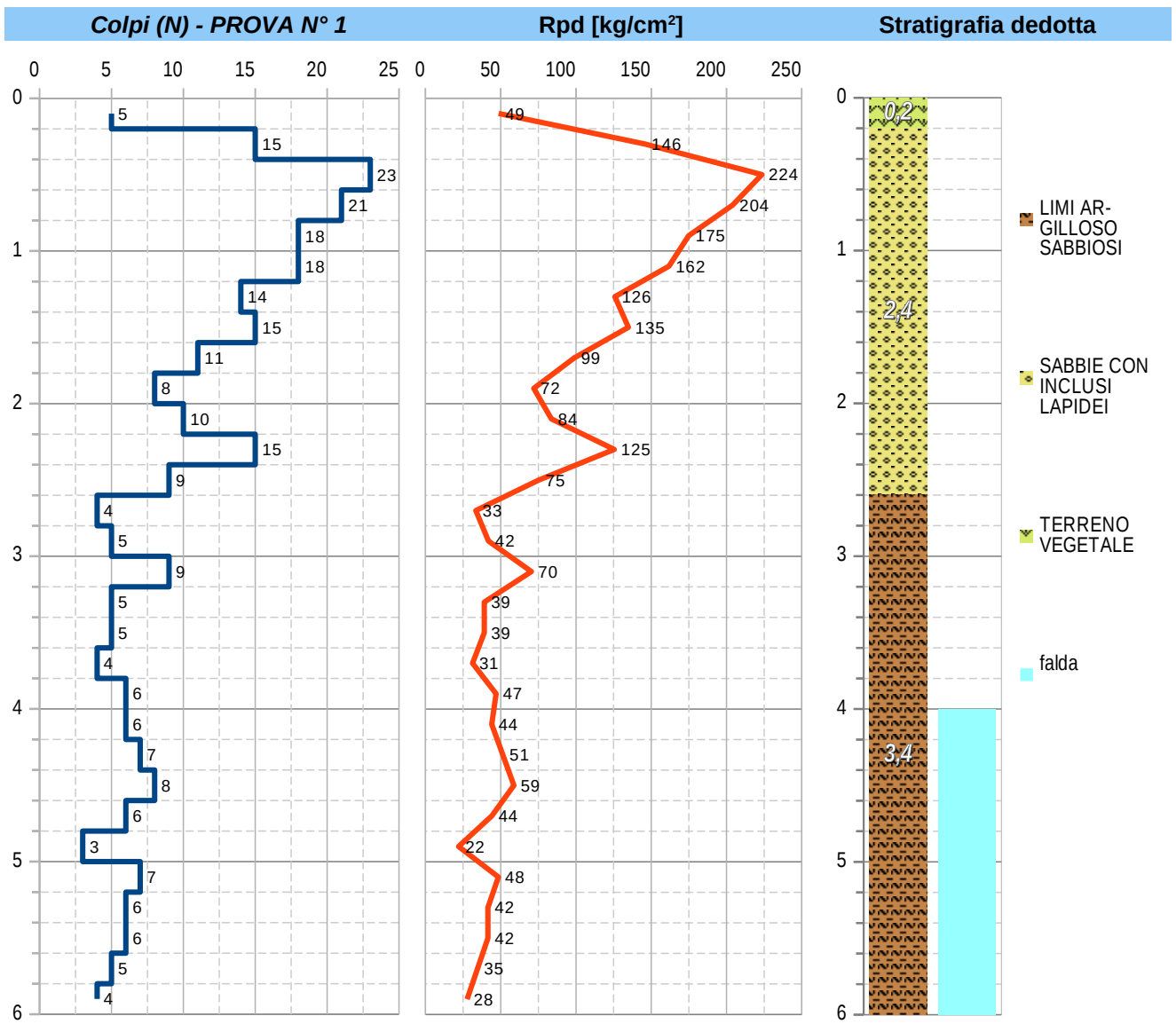
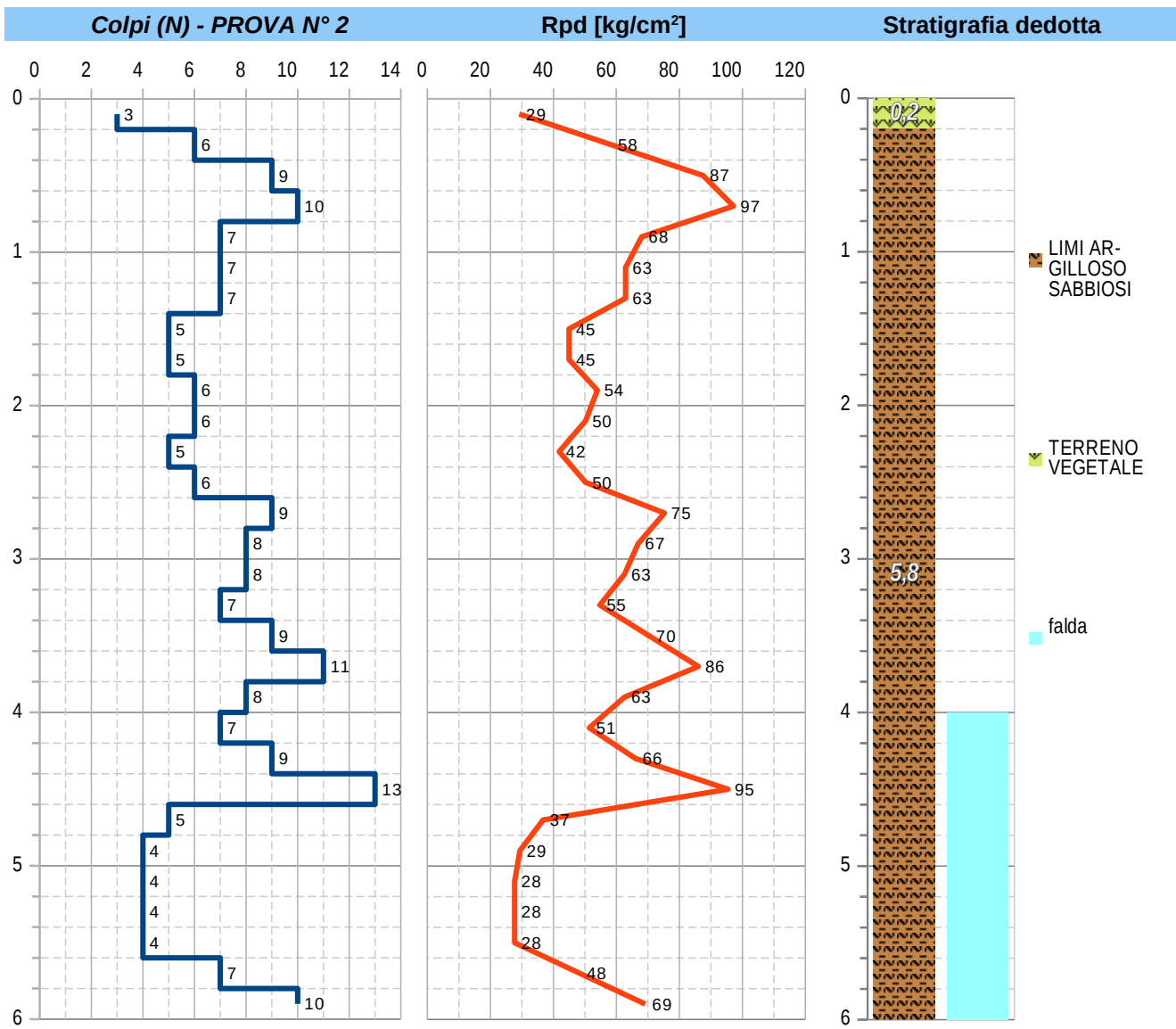


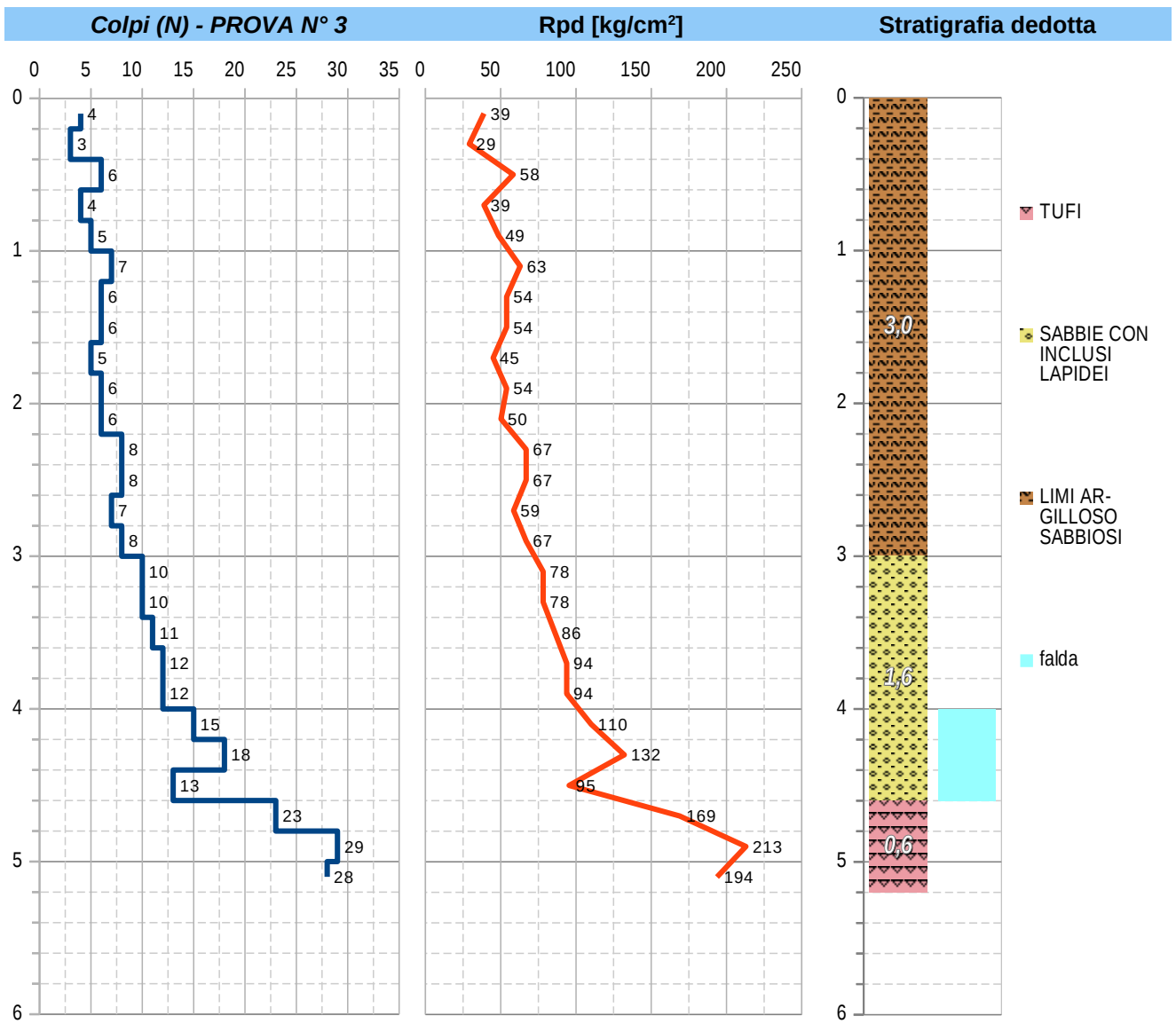
Tabella - PROVA N° 4	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT) Località: PANTANO Cliente: CCEN VITERBO SRL Data indagine: 27/09/2023	TERRENO VEGETALE	TUFI	-	-	-
profondità	0,2	3,0			
spessore	0,2	2,8			
Nspt medio	7,52	34,82			
Condizioni e tipologia					
in falda	NO	NO			
Nspt medio'	7,52	34,82			
Rpd [kg/cm ²]	48,59	207,90			
σ'_{v0} [t/m ²]	0,16	2,90			
incoerente	SI	NO			
coesivo	NO	SI			
stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE			
Peso unità di volume [t/m³]					
autore [^]	<i>Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri</i>				
autore _v	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>			
peso secco	1,58	1,85			
peso saturo	1,93	2,08			
Angolo di attrito [°]					
autore	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>			
terreno	sabbie fini e limi	sabbie medie e ghiaiose			
valore	25,6	37,4			
Coesione non drenata [kg/cm²]					
autore	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>			
terreno	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>			
valore	#N/D	1,56			
Modulo Elastico (Young) [kg/cm²]					
autore	<i>Schultze- Menzenbach</i>	<i>D'Apollonia ed altri (1970)</i>			
terreno	limi siltoso sabbiosi	sabbie e ghiaie			
valore	55,63	287,53			
Modulo Edometrico [kg/cm²]					
autore	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Vesic (1970)</i>			
terreno	argille sabbiose	valori minimi			
valore	37,61	313,34			
Densità relativa [%]					
autore	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Yoshida e Kokusho (1988)</i>			
terreno	sabbie da fini a grosse	tutti i terreni granulari			
valore	48,48	85,43			
Modulo di taglio [kg/cm²]					
autore	<i>Crespellani & Vannucchi</i>	<i>Robertson e Campanella</i>			
terreno	sabbie in generale	sabbie			
valore	272,4	1093,8			
Resistenza punta CPT [kg/cm²]					
autore	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>			
terreno	limi e limi sabbiosi	sabbie e ghiaie			
valore	15,04	139,26			
Resistenza compressione [kg/cm²]					
qu	0,921	4,261			



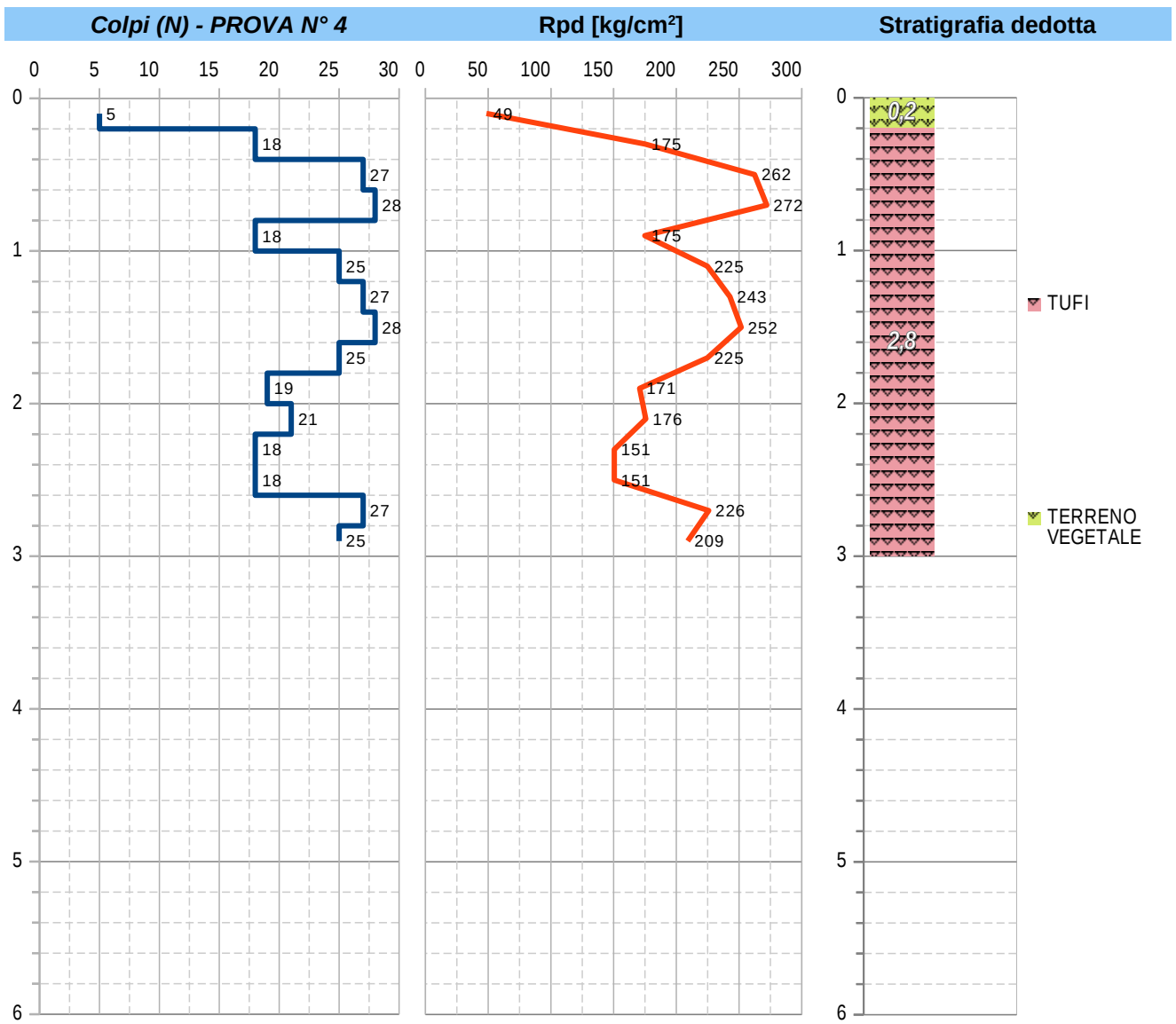
Parametri - PROVA N° 1	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT)					
Località: PANTANO					
Cliente: CCEN VITERBO SRL					
Data indagine: 27/09/2023					
	TERRENO VEGETALE	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	-	-
profondità [m]	0,2	2,6	6,0		
spessore [m]	0,2	2,4	3,4		
Nspt medio	7,52	22,19	8,50		
in falda	NO	NO	IN PARTE		
Nspt medio'	7,52	22,19	8,50		
Rpd [kg/cm²]	48,59	135,50	42,11		
incoerente	SI	SI	NO		
coesivo	NO	NO	SI		
Stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	MODERATAM. ADDENSATO	CONSISTENTE		
Peso di volume [t/m³]	1,58	1,72	1,58		
secco ^ saturo v	1,93	1,99	1,93		
Angolo di attrito [°]	25,6	33,2	26,3		
Coesione Cu [kg/cm²]	#N/D	#N/D	0,38		
Mod. Elastico [kg/cm²]	25,57	138,85	61,27		
Mod. Edometrico [kg/cm²]	37,61	177,52	67,96		
Densità relativa [%]	48,48	83,18	51,36		
Mod. di taglio [kg/cm²]	272,4	1197,6	742,8		
Res. punta CPT [kg/cm²]	15,04	88,76	16,14		
Res. compr. qu [kg/cm²]	0,921	2,716	1,040		



Parametri - PROVA N° 2	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT)					
Località: PANTANO					
Cliente: CCEN VITERBO SRL					
Data indagine: 27/09/2023					
	TERRENO VEGETALE	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	-	-	-
profondità [m]	0,2	6,0			
spessore [m]	0,2	5,8			
Nspt medio	4,51	10,69			
in falda	NO	IN PARTE			
Nspt medio'	4,51	10,61			
Rpd [kg/cm²]	29,15	57,96			
incoerente	SI	NO			
coesivo	NO	SI			
Stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	CONSISTENTE			
Peso di volume [t/m³]	1,55	1,61			
secco ^ saturo v	1,88	1,93			
Angolo di attrito [°]	23,2	27,6			
Coesione Cu [kg/cm²]	#N/D	0,48			
Mod. Elastico [kg/cm²]	15,34	73,52			
Mod. Edometrico [kg/cm²]	22,57	84,86			
Densità relativa [%]	37,55	57,45			
Mod. di taglio [kg/cm²]	199,4	888,4			
Res. punta CPT [kg/cm²]	9,03	20,15			
Res. compr. qu [kg/cm²]	0,552	1,298			



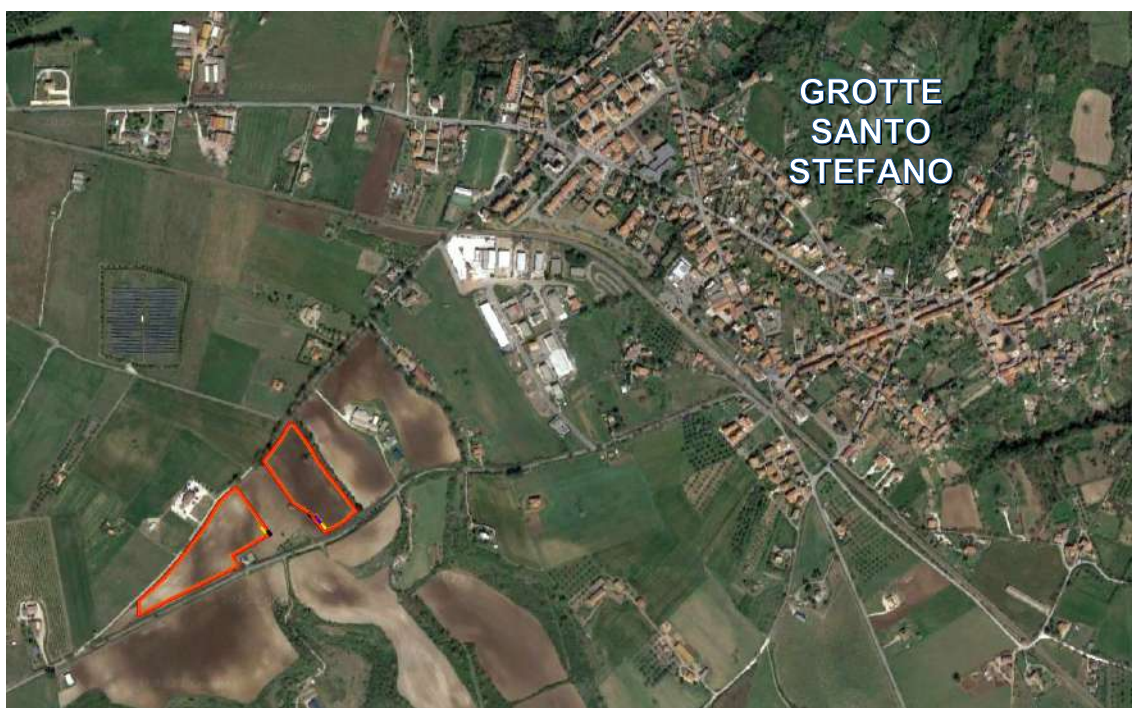
Parametri - PROVA N° 3	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT)					
Località: PANTANO					
Cliente: CCEN VITERBO SRL					
Data indagine: 27/09/2023					
	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	TUFI	-	-
profondità [m]	3,0	4,6	5,2		
spessore [m]	3,0	1,6	0,6		
Nspt medio	8,93	18,99	40,12		
in falda	NO	IN PARTE	NO		
Nspt medio'	8,93	17,29	40,12		
Rpd [kg/cm ²]	52,86	95,96	191,79		
incoerente	NO	SI	NO		
coesivo	SI	NO	SI		
Stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	CONSISTENTE	MODERATAM. ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE		
Peso di volume [t/m ³]	1,59	1,67	1,90		
secco ^ saturo v	1,93	1,96	2,10		
Angolo di attrito [°]	26,6	31,1	39,0		
Coesione Cu [kg/cm ²]	#N/D	0,85	1,80		
Mod. Elastico [kg/cm ²]	63,77	116,80	328,40		
Mod. Edometrico [kg/cm ²]	71,41	138,32	361,05		
Densità relativa [%]	52,76	73,30	81,26		
Mod. di taglio [kg/cm ²]	772,0	947,2	1192,7		
Res. punta CPT [kg/cm ²]	16,96	69,16	160,47		
Res. compr. qu [kg/cm ²]	1,093	2,116	4,910		



Parametri - PROVA N° 4	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITORCHIANO (VT)					
Località: PANTANO					
Cliente: CCEN VITERBO SRL					
Data indagine: 27/09/2023					
	TERRENO VEGETALE	TUFI	-	-	-
profondità [m]	0,2	3,0			
spessore [m]	0,2	2,8			
Nspt medio	7,52	34,82			
in falda	NO	NO			
Nspt medio'	7,52	34,82			
Rpd [kg/cm²]	48,59	207,90			
incoerente	SI	NO			
coesivo	NO	SI			
Stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	POCO ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE			
Peso di volume [t/m³]	1,58	1,85			
secco ^ saturo v	1,93	2,08			
Angolo di attrito [°]	25,6	37,4			
Coesione Cu [kg/cm²]	#N/D	1,56			
Mod. Elastico [kg/cm²]	55,63	287,53			
Mod. Edometrico [kg/cm²]	37,61	313,34			
Densità relativa [%]	48,48	85,43			
Mod. di taglio [kg/cm²]	272,4	1093,8			
Res. punta CPT [kg/cm²]	15,04	139,26			
Res. compr. qu [kg/cm²]	0,921	4,261			

COMUNE DI VITERBO

- Provincia di Viterbo -



Indagine Geotecnica

Località: FRAZ. GROTTI SANTO STEFANO
Cliente: CCEN VITERBO S.R.L.

PROVA PENETROMETRICA DPSH

Ottobre 2023

Exploro Snc di MORGANTI
e PASQUALINI
Via Alcide De Gasperi, 116 - Pagliare del Tronto
63078 SPINETOLI (AP) - P. Iva: 01713740445

1. PREMESSA

Codesta società ha eseguito la presente indagine geotecnica mediante penetrometro dinamico super pesante della ditta *Geo Deep Drill*, per la caratterizzazione meccanica di terreni interessati dall'installazione di un impianto fotovoltaico da realizzare nel Comune di Viterbo (VT) in località Grotte Santo Stefano.

I dati acquisiti sono stati successivamente elaborati mediante programma tecnico professionale basato sul foglio di calcolo *Calc* della *suite* libera LibreOffice.

2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA

La Prova Penetrometrica Dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica mediante l'uso di una massa battente, misurando per tratti consecutivi δ il numero di colpi N necessari.

Tali indagini 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.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona. Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$	25

Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA): massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha= 60^\circ-90^\circ$), diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot e \cdot (M + P)} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{A \cdot \delta \cdot (M + P)}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ / N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \quad \text{con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{vo}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao-Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983), Meyerhof (1956), Desai (1968), Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa. In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{Spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{Spt,k} = N_{Spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{Spt}})$$

dove $\sigma_{N_{Spt}}$ è la deviazione standard di N_{Spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente uguale a 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche dei terreni

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15) \quad (N_{spt} \text{ è il valore medio nello strato})$$

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso unità di volume

- Terzaghi-Peck (1948-1967)
- Meyerhof ed altri.

Peso unità di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)
- Meyerhof ed altri.

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1974) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq).
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con % di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello (1971) - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1975).
- Schmertmann (1978) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %).
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION. Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY. Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

- Owasaki & Iwasaki (1959) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Wolff (1989) - Correlazione valida per sabbie da fini a grossolane.
- Hatanaka & Uchida (1996) - Correlazione valida per sabbie fini o limose ma utilizzabile per tutte le litologie in generale.

Coesione non drenata

- Terzaghi-Peck (1948-1967) - Correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Hara ed altri (1971).
- Sanglerat (1948) - Valido per argille da siltose a plastiche fino a limoso sabbiose.
- Schmertmann (1978) - Valori massimi medi di C_u , quest'ultimi validi per argille e limi argillosi con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) - Coesione non drenata C_u (Kg/cm²), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - Per argille di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982) - Correlazione valida per suoli poco coerenti e plastici e per argille di media-alta plasticità.
- Begemann (1974).
- Stroud (1974).
- De Beer (1983).

Modulo Elastico di Young

- Schmertmann (1978) - Correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach (1961) - Correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) - Correlazione valida per sabbie, sabbie e ghiaie e sabbie SC.
- Webb (1970) - Valori validi per sabbie sature e con fine plastico.
- Bowles (1982) - Correlazione valida per sabbie argillose, sabbie limose e limi sabbiosi, sabbie medie, sabbie ghiaiose e ghiaie.
- Burland & Burbidge (1985)
- Tornaghi ed altri (1988) - Valori adatti a terreni sabbiosi fino a ghiaiosi.
- Stroud (1989) - Correlazioni per terreni argillosi o sabbiosi fino a ghiaiosi.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) - Elaborazione desunta da esperienze in Grecia valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia.
- Buismann-Sanglerat (1974), correlazioni valide per sabbie, sabbie argillose, argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).
- Farrent (1963) - Correlazione valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaie.
- Menzenbach e Malcev - Valori validi per sabbie fini, medie fino a ghiaiose.
- Stroud e Butler (1975) - Valori per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) - Correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974) (Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o) - Valido per litotipi argillosi e limoso-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) - Correlazione valida per qualunque pressione efficace; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Skempton (1986) - Elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Meyerhof (1957).

- Schultze & Menzenbach (1961) - Metodo valido per sabbie fini e ghiaiose, per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC; per le ghiaie il valore viene sovrastimato, per i limi invece sottostimato.
- Bazara (1967) - Valori per sabbie e ghiaie.
- Yoshida e Kokusho (1988) - Valido per tutti i tipi di terreni granulari.
- Cubrinowski-Ischiara (1988) - Correlazione usata per sabbie fini e medie fino a ghiaietto.

Modulo di taglio

- Ohsaki & Iwasaki - Elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite, nonché per limi plastici e argille.
- Otha & Goto (1978) - Valori validi per tutti i terreni granulari.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.
- Crespellani & Vannucchi - Correlazione per le sabbie in generale.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (CPT)

- Robertson (1983) - Correlazioni valide per tutti i tipi di terreno.

Resistenza a Compressione (qu)

2.1 RISULTATI PENETROMETRICA

Ubicazione Prova (WGS 84 / UTM zone 33N)

Cantiere	Viterbo (VT)
Località	Grotte Santo Stefano
Data	27/09/2023
Coordinate	P1 (266644, 4710443)



Documentazione Fotografica





Ottobre 2023

Exploro Snc di MORGANTI
e PASQUALINI
Via Alcide De Gasperi, 116 - Pagliare del Tronto
63078 SPINETOLI (AP) - P. Iva: 01713740445

DI SEGUITO L'ELABORAZIONE GEOTECNICA E LA STRATIGRAFIA

Aste	Metri	COLPI	Nspt	Nspt'	Rpd
1	0,2	2	3,01	3,01	19,44
1	0,4	3	4,51	4,51	29,15
1	0,6	6	9,03	9,03	58,31
1	0,8	11	16,55	16,55	106,90
1	1,0	14	21,06	21,06	136,05
2	1,2	13	19,56	19,56	116,87
2	1,4	4	6,02	6,02	35,96
2	1,6	8	12,04	12,04	71,92
2	1,8	15	22,57	22,57	134,85
2	2,0	15	22,57	22,57	134,85
3	2,2	11	16,55	16,55	92,00
3	2,4	10	15,04	15,04	83,63
3	2,6	14	21,06	21,06	117,09
3	2,8	23	34,60	34,60	192,36
3	3,0	8	12,04	12,04	66,91
4	3,2	8	12,04	12,04	62,55
4	3,4	14	21,06	21,06	109,46
4	3,6	28	42,12	42,12	218,92
4	3,8	31	46,64	46,64	242,37
4	4,0	33	49,64	49,64	258,01

PROVA N°	1
----------	---

DATI INDAGINE

comune	VITERBO (VT)
località	Grotte Santo Stefano
cliente	CCEN VITERBO SRL
data	27/09/2023

DATI STRUMENTO

peso massa	63,50	kg
peso asta	6,30	kg
lungh. asta	1,00	m
cambio asta	1,00	m
peso sistema	8,00	kg
volata	0,75	m
passo	0,20	m
area punta	20	cm ²
angolo punta	90	°
βt	1,504	

DATI STRATIGRAFICI

metri	da	a
falda	assente	
strato 1	0,0	0,4
strato 2	0,4	3,4
strato 3	3,4	4,0

Stratigrafia - PROVA N° 1

Colpi (N)

Rpd [kg/cm²]

SCALA 1:100

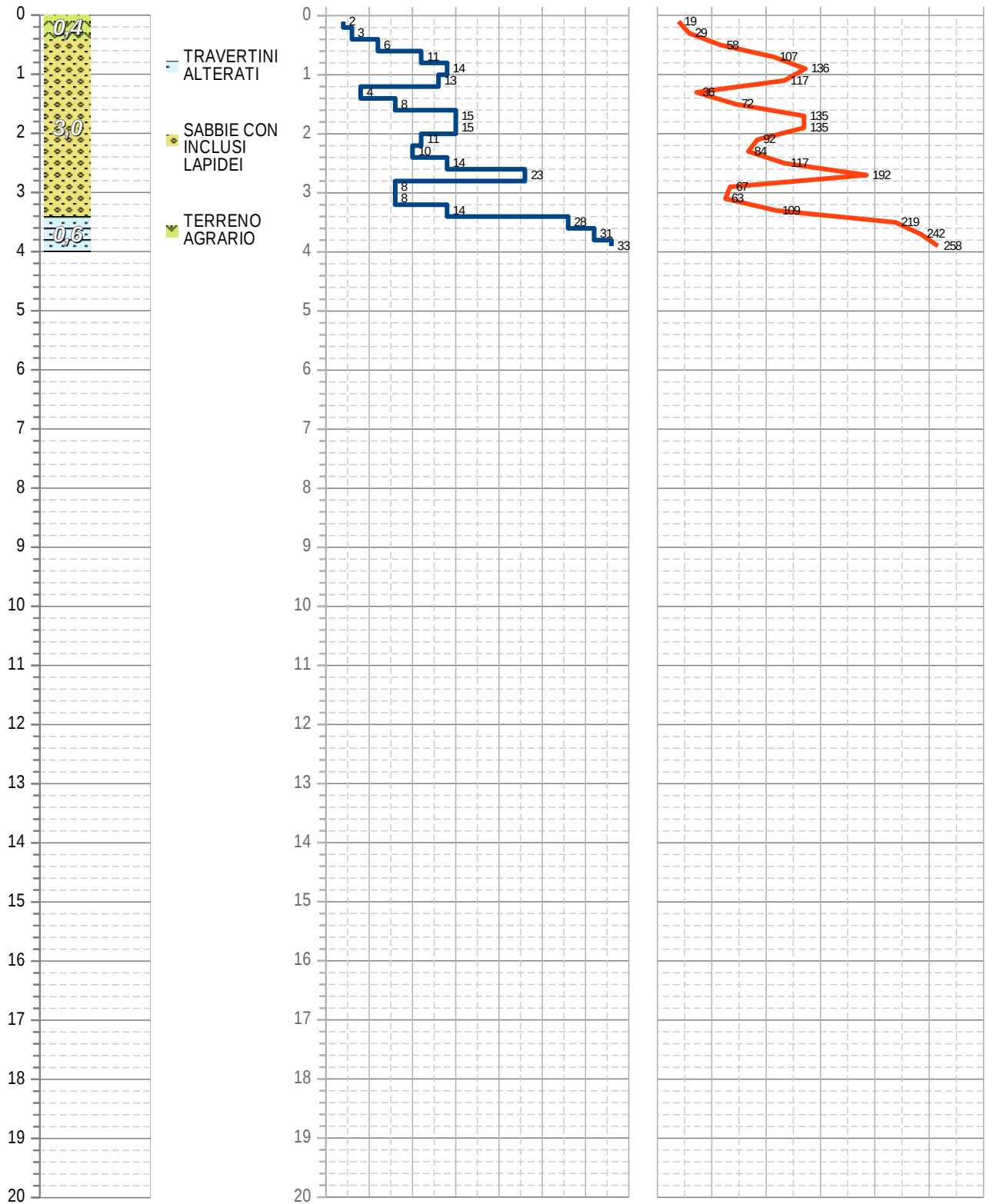
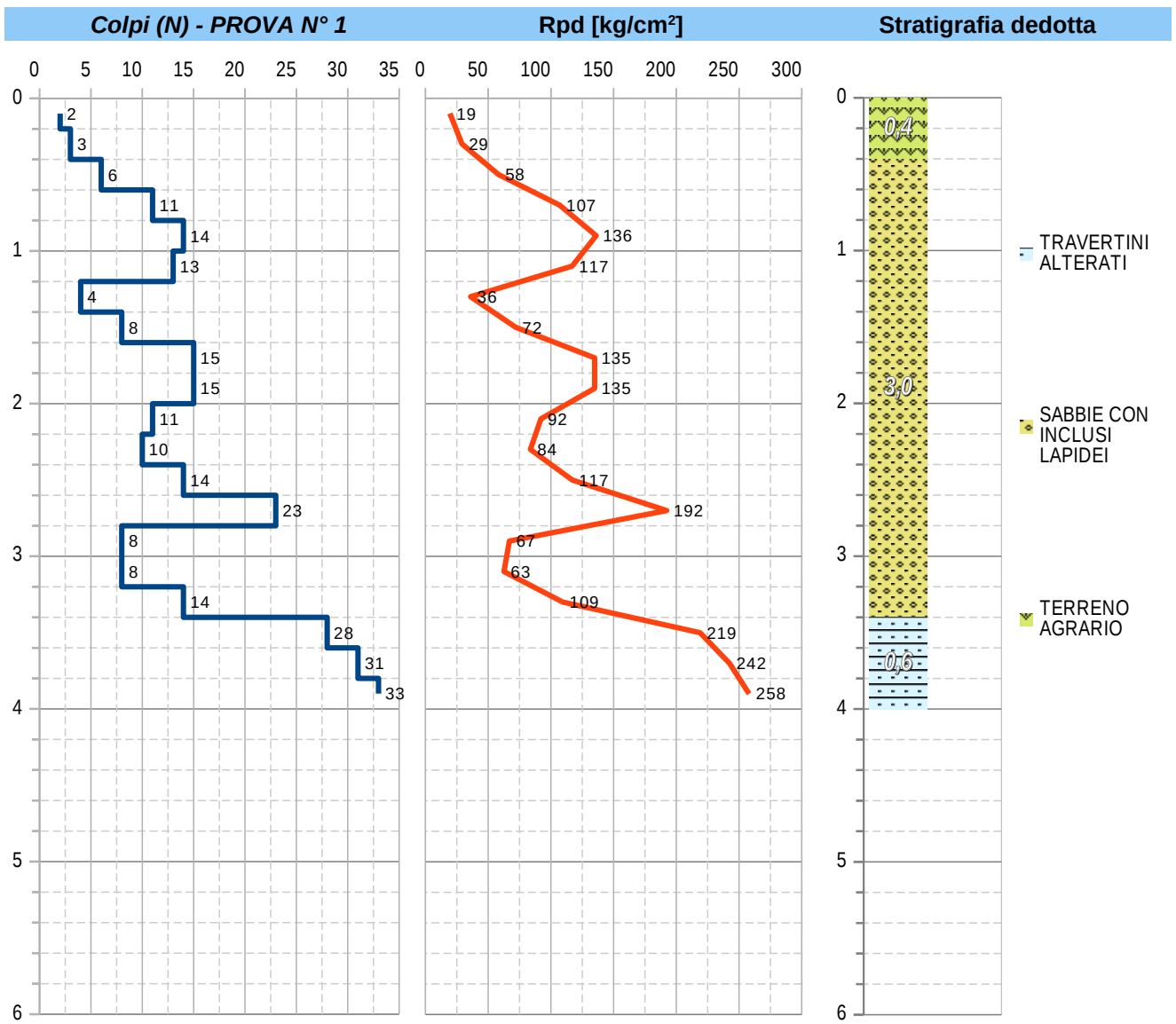


Tabelle - PROVA N° 1	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITERBO (VT) Località: Grotte Santo Stefano Cliente: CCEN VITERBO SRL Data indagine: 27/09/2023	TERRENO AGRARIO	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	TRAVERTINI ALTERATI	-	-
profondità	0,4	3,4	4,0		
spessore	0,4	3,0	0,6		
Nspt medio	3,76	17,45	46,13		
Condizioni e tipologia					
in falda	NO	NO	NO		
Nspt medio'	3,76	17,45	46,13		
Rpd [kg/cm ²]	24,29	101,31	239,77		
σ'v ₀ [t/m ²]	0,31	3,13	6,23		
incoerente	SI	SI	NO		
coesivo	NO	NO	SI		
stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	SCIOLTO	MODERATAM. ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE		
Peso unità di volume [t/m³]					
autore ^	<i>Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri Meyerhof ed altri</i>				
autore v	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>	<i>Terzaghi-Peck (1967)</i>		
peso secco	1,54	1,67	1,96		
peso saturo	1,88	1,96	2,13		
Angolo di attrito [°]					
autore	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>	<i>Shioi-Fukui (1982)</i>		
terreno	sabbie fini e limi	sabbie fini e limi	sabbie medie e ghiaiose		
valore	22,5	31,2	40,8		
Coesione non drenata [kg/cm²]					
autore	#N/D	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>		
terreno	#N/D	#N/D	<i>Stroud (1974)</i>		
valore	#N/D	#N/D	2,07		
Modulo Elastico (Young) [kg/cm²]					
autore	<i>Burland & Burbidge (1985)</i>	<i>Schultze- Menzenbach</i>	<i>D'Apollonia ed altri (1970)</i>		
terreno	Burland & Burbidge (1985)	sabbie medie	sabbie e ghiaie		
valore	9,03	117,53	374,80		
Modulo Edometrico [kg/cm²]					
autore	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Buismann- Sanglerat (1974)</i>	<i>Vesic (1970)</i>		
terreno	sabbie	sabbie argillose	valori minimi		
valore	22,57	139,61	415,21		
Densità relativa [%]					
autore	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Skempton (1986)</i>	<i>Yoshida e Kokusho (1988)</i>		
terreno	limi e sabbie	sabbie da fini a grosse	tutti i terreni granulari		
valore	17,45	73,74	88,73		
Modulo di taglio [kg/cm²]					
autore	<i>Crespellani & Vannucchi</i>	<i>Owasaki & Iwasaki (1959)</i>	<i>Robertson e Campanella</i>		
terreno	sabbie in generale	sabbie pulite	sabbie		
valore	178,4	955,5	1299,1		
Resistenza punta CPT [kg/cm²]					
autore	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>	<i>Robertson (1983)</i>		
terreno	limi e limi sabbiosi	sabbie e ghiaie	sabbie e ghiaie		
valore	7,52	69,80	184,54		
Resistenza compressione [kg/cm²]					
qu	0,460	2,136	5,647		



Parametri - PROVA N° 1	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
Comune: VITERBO (VT)					
Località: Grotte Santo Stefano					
Cliente: CCEN VITERBO SRL					
Data indagine: 27/09/2023					
	TERRENO AGRARIO	SABBIE CON INCLUSI LAPIDEI	TRAVERTINI ALTERATI	-	-
profondità [m]	0,4	3,4	4,0		
spessore [m]	0,4	3,0	0,6		
Nspt medio	3,76	17,45	46,13		
in falda	NO	NO	NO		
Nspt medio'	3,76	17,45	46,13		
Rpd [kg/cm²]	24,29	101,31	239,77		
incoerente	SI	SI	NO		
coesivo	NO	NO	SI		
Stato di consistenza (class. A.G.I. 1977)	SCIOLTO	MODERATAM. ADDENSATO	ESTREMAM. CONSISTENTE		
Peso di volume [t/m³]	1,54	1,67	1,96		
secco ^ saturo v	1,88	1,96	2,13		
Angolo di attrito [°]	22,5	31,2	40,8		
Coesione Cu [kg/cm²]	#N/D	#N/D	2,07		
Mod. Elastico [kg/cm²]	9,03	117,53	374,80		
Mod. Edometrico [kg/cm²]	22,57	139,61	415,21		
Densità relativa [%]	17,45	73,74	88,73		
Mod. di taglio [kg/cm²]	178,4	955,5	1299,1		
Res. punta CPT [kg/cm²]	7,52	69,80	184,54		
Res. compr. qu [kg/cm²]	0,460	2,136	5,647		