

REGIONE DEL VENETO
COMUNE DI CITTADELLA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE
DI URBANIZZAZIONE NELL'AMBITO DI UN PIANO
URBANISTICO ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

PROGETTO
Barbi arca studio progetti
Via dante Alighieri, 10-37012
Bussolengo (VR)

PROPRIETÀ
ECO-DEM S.r.l.
Strada del Chiodo, 50 - Alpo
di Villafranca – 37060 (VR)

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ
GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA
IDROGEOLOGICA E AMBIENTALE

Geologo Alberto Freddo *geologo.freddo@gmail.com*
Via Monticelli, 7-37010 Pastrengo (VR)-tel 348 280 8056

Marzo 2018



ORDINE NAZ. GEOLOGI
FREDDO dr. geol. ALBERTO
data iscr. 13.12.1983 n. rif. 5236



INDICE

I – relazione

1. PREMESSE – DESCRIZIONE DEL PROGETTO E DEL SITO DI INTERVENTO _____ pag. 3
2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO _____ pag. 4
3. CARATTERIZZAZIONE FISICO MECCANICA DEI LITOTIPI
E DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO LOCALE _____ pag. 6
4. INTENSITÀ SISMICA E FATTORI LOCALI DI AMPLIFICAZIONE _____ pag. 7
5. EFFETTI DEL SISMA SUL SEDIME DI FONDAZIONE _____ pag. 9
6. EFFETTI DELLE VIBRAZIONI SISMICHE SUI FABBRICATI _____ pag. 10
7. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA DELL'INTERVENTO _____ pag. 11
8. COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'INTERVENTO _____ pag. 12
9. COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA DELL'INTERVENTO _____ pag. 12
10. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEL SITO IN PROGETTO _____ pag. 13

ALLEGATI NEL TESTO

II – elaborati grafici in formato A3

- TAVOLA G1: COROGRAFIA SULLA CTR alla scala 1:5.000
TAVOLA G2: INQUADRAMENTO GEOLITOGICO scala 1:10.000
TAVOLA G3: INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO scala 1:10.000
TAVOLA G4: PIANO DELLE INDAGINI GEOLOGICHE planimetria scala 1:1.500
TAVOLA G5: INTERPRETAZIONE GEOLOGICA SEZIONI GEOTECNICHE scala 1:1.000 - 1:500
TAVOLA G6: INQUADRAMENTO SISMICO DEL COMUNE DI CITTADELLA
TAVOLA G7: INDAGINE GEOFISICA CON PROSPEZIONE SISMICA - SGS-1 lato nord
TAVOLA G8: INDAGINE GEOFISICA CON PROSPEZIONE SISMICA - SGS-2 lato sud
TAVOLA G9: PARAMETRI SISMICI E SPETTRI DI RISPOSTA PER SLV
TAVOLA G10: PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI DESUNTI DALLE PROVE PENETROMETRICHE
TAVOLA G11: PIANO DI CAMPIONAMENTO AMBIENTALE planimetria scala 1:1.500

III – RAPPORTI DI PROVA DEL LABORATORIO ANALISI CHIMICHE

- campione 1 - 18LA00422
campione 2 - 18LA00423
campione 3 - 18LA00424
campione 4 - 18LA00425
campione 5 - 18LA00426

RISULTATI DELLE INDAGINI STRUMENTALI IN SITO ALLEGATI ALLA RELAZIONE

- INDAGINE GEOFISICA CON METODI RE.MI. e H.V.S.R.

- SONDAGGI PENETROMETRICI CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

1. PREMESSE–DESCRIZIONE DEL PROGETTO E DEL SITO DI INTERVENTO

La presente indagine esamina gli aspetti geologici, sismici, geotecnici, idrogeologici e ambientali inerenti al progetto per la realizzazione di una nuova lottizzazione nel Quartiere Cà Correr, immediatamente a ovest della SP47, con una strada di collegamento tra il Viale dello Sport e Via Giosue Carducci.

L'area di lottizzazione di cui trattasi copre una superficie di circa 39.080 m² dei quali circa 2.550 m² saranno occupati dalla nuova strada, circa 890 m² dalle aree verdi pubbliche, e circa 370 m² da un nuovo tratto di un fosso irriguo; i rimanenti 35.270 m² andranno a costituire quattro lotti edificabili residenziali e commerciali.

La nuova strada di collegamento in progetto attraversa la lottizzazione in esame e prosegue verso est intersecando a raso la strada provinciale mediante una rotatoria, terminando con una seconda rotatoria in Via dello Sport; la porzione esterna della strada di raccordo occupa una superficie di circa 5.450 m², comprese le aree già occupate dalle superfici stradali esistenti.

Le nuove superfici impermeabili sono rappresentate da una parte ad uso pubblico, la strada di lottizzazione e la nuova strada esterna di collegamento con Via Dello Sport comprese le due nuove rotatorie, per complessivi circa 8.000 m², e dalle coperture dei futuri fabbricati residenziali e commerciali nella parte lottizzata, con una superficie massima di circa 10.581 m².

Nell'intervento di trasformazione urbanistica in progetto si dovranno adottare gli opportuni metodi di gestione e controllo delle acque meteoriche defluenti dalle nuove superfici impermeabili o semipermeabili, al fine di non incidere con effetti negativi o comunque indesiderati sul sistema idrogeologico locale, come prescritto dalle vigenti norme tecniche.

Per la realizzazione del progetto di lottizzazione è necessario procedere con modesti movimenti terra, con lo scavo del terreno per la sottofondazione stradale e per la posa dei sottoservizi; prevedendo al massimo lo spessore medio di circa 50 centimetri su tutta la superficie stradale, si computa una produzione al massimo pari a circa 5.000 m³ di terra da scavo, cui vanno aggiunti circa 1.000 m³ per lo scavo del nuovo tratto del fosso irriguo.

Dopo aver accertato la qualità ambientale dell'area oggetto di escavazioni, Una parte della terra da scavo sarà direttamente riutilizzata in cantiere per la sistemazione del terreno al contorno della strada; la rimanente parte della terra da scavo sarà utilizzata in altri progetti o accumulata temporaneamente in aree idonee.

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

L'area in esame, posta alla quota di 46,5 mslm, è ubicata nella conoide alluvionale del Fiume Brenta, alla distanza di circa 2,5 chilometri ad est dall'alveo attuale, e circa un chilometro e mezzo a monte della linea delle risorgive. L'ambiente geomorfologico è caratterizzato da una superficie deposizionale-erosiva pianeggiante, posta su un piano lievemente inclinato verso sud-est con gradiente di poco inferiore al 5‰.

Nel sito in esame e nell'immediato contorno, il sottosuolo è rappresentato dalle alluvioni fluvio-glaciali e fluviali ghiaioso sabbiose quaternarie, costituite da prevalente ghiaia con ciottoli e sabbia grossolana ben addensata, con scarsa frazione fine limoso argillosa; le caratteristiche tessiturali e strutturali del sottosuolo sono date da prevalenti clasti subsferici e arrotondati, di provenienza vulcanica e carbonatica.

Le alluvioni sabbiose e ghiaiose sono coperte in superficie da una coltre di terreno limoso argilloso di colore bruno rossastro di consistenza molle, per uno spessore di circa 2-3 metri; localmente, in presenza di canali abbandonati o avvallamenti sepolti, lo spessore della coltre arriva anche oltre la profondità di circa 5-6 metri.

Nell'area in esame i depositi alluvionali e fluvio-glaciali del Fiume Brenta sono sede di falda freatica e costituiscono un acquifero poroso indifferenziato. La direzione di deflusso dell'acquifero è verso SSE, con gradiente intorno al 2‰. Nell'area indagata il livello piezometrico in condizioni medie stagionali (estate e inverno) giace alla quota di 40,0 mslm, corrispondente alla profondità di circa 6,5 metri dal piano campagna.

L'escursione stagionale del livello freatico è di circa due metri tra il minimo in primavera, e il massimo in autunno alla fine del periodo irriguo dei campi, per cui la profondità minima del livello freatico può essere di circa 5,5 metri dal piano campagna.

Anche se in presenza di un acquifero relativamente profondo, l'area è classificata ad alta vulnerabilità intrinseca, a causa dell'elevata permeabilità dei litotipi sabbiosi e ghiaiosi, che favorisce la rapida infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo e quindi l'immissione diretta nella falda acquifera freatica. Infatti nell'immediato contorno dell'area in esame non si rileva la presenza di un vero reticolo idrografico, ad esclusione della Roggia Munara posta circa 400 metri verso est, e di alcuni modesti fossi ad uso irriguo e di scolo, per cui il principale recettore del deflusso meteorico è il corpo idrico sotterraneo costituito dall'Acquifero Freatico Indifferenziato.

Per valutare le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni interessati dal progetto, anche in funzione del futuro sfruttamento urbanistico, è stata eseguita un'indagine diretta in sito mediante quattro sondaggi con escavatore meccanico, sei sondaggi con penetrometro dinamico e due sondaggi geofisici con stendimento sismico.

I sondaggi geognostici hanno fornito informazioni sufficienti per gli scopi del progetto, data la relativa uniformità laterale e stratigrafica dei depositi alluvionali fluvio-glaciali sabbiosi e ghiaiosi del sottosuolo profondo, con l'indagine indiretta fino alla profondità di oltre 30 metri come richiesto dalle norme tecniche.

Dall'esame dei sondaggi penetrometrici e sismici si rileva un andamento stratigrafico delineato da una coltre superficiale limoso argillosa che ricopre tutta l'area in progetto con spessori compresi tra 2,5 metri sul lato ovest, fino a circa mezzo metro sul lato est. Localmente sono state individuate aree con spessori della coltre argillosa fino a 5,6 metri, con riferimento al sondaggio penetrometrico SPD-5, ma allo stato attuale delle conoscenze del sito non è possibile capire se si tratta di una semplice anomalia dovuta ad un accidente geologico circoscritto, oppure se si tratta di un canale abbandonato che interessa una fascia significativa dell'area.

Nella zona dove la coltre superficiale argillosa è meno potente, nel primo sottosuolo è presente uno strato di sabbia pulita grossolana avente spessore di circa 2 metri, con apparente aumento dello spessore procedendo verso est. Al letto della coltre argillosa e dello strato lenticolare sabbioso, alla profondità compresa tra circa 2,5 e 3,5 metri, si ha il sottosuolo profondo costituito da un deposito sabbioso ghiaioso ben addensato, con spessore variabile da circa 9-10 metri a nord e circa 5-7 metri a sud.

Al letto del banco sabbioso ghiaioso, alla profondità media di circa 10 metri, si ha il substrato sismoresistente costituito da un deposito ghiaioso ciottoloso ben addensato o anche cementato, fino alla profondità di oltre 30 metri dal piano campagna.

L'interpretazione dell'indagine geofisica con stendimento sismico di tipo Re.Mi. e H.V.S.R. è discretamente correlabile con l'interpretazione dei sondaggi penetrometrici fino alla profondità di circa 7-8 metri dal piano campagna, dove le Vs registrate hanno valori intorno a 200 m/s fino a circa 4 metri e 350 m/s da 4 a circa 10 metri; a maggiore profondità l'interpretazione è solo indicativa, tuttavia l'aumento delle caratteristiche di resistenza al taglio e di compressibilità dei terreni costituenti il sottosuolo profondo è ben rappresentato dall'aumento delle velocità sismiche registrate.

Fino alla profondità di circa 31-46 metri si registra una velocità di 460-470 m/s, corrispondente ad una ghiaia molto addensata, oppure ad una roccia sedimentaria tenera; quindi, fino alla profondità di 131-166 metri dal piano campagna si registra una velocità di 570-650 m/s, corrispondente ad una ghiaia cementata, oppure ad una roccia sedimentaria dura. Oltre la profondità di 131-166 metri dal piano campagna si registra una velocità di 800-840 m/s, corrispondente al substrato roccioso carbonatico o igneo caratterizzato da un medio grado di fratturazione.

3. CARATTERIZZAZIONE FISICO MECCANICA DEI LITOTIPI E DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO LOCALE

I diversi litotipi sono stati individuati attraverso la misura della resistenza all'avanzamento della punta nelle prove penetrometriche, confrontando i valori rilevati con gli stendimenti sismici dell'indagine geofisica, e mediante l'osservazione diretta nei sondaggi con escavatore.

Il suolo è costituito da uno strato di terreno agrario limoso argilloso bruno rossastro di scarsa consistenza (NSPT=2) con spessore di circa 30-50 centimetri [SS].

Il primo sottosuolo è costituito da un deposito alluvionale limoso argilloso con poca sabbia di colore avana scuro, potente dai due ai tre metri, e si presenta alla vista come una terra molle, poco consistente, con caratteristiche tessiturali simili a quelle del terreno agrario sovrastante [S1]; i parametri di resistenza al taglio sono dati da angolo di attrito interno di 27°, coesione non drenata di 30 kPa, peso di volume con umidità naturale di 1,80 t/m³, NSPT=4, dai quali risulta una stima indicativa della capacità portante di 100 kPa.

Nella parte orientale del sito è presente nel primo sottosuolo una lente di sabbia grossolana sciolta con spessore intorno a due metri [S2], in eteropia laterale con la coltre di argilla limosa superficiale; i parametri di resistenza al taglio della sabbia grossolana sono delineati da angolo di attrito interno di 32°, densità relativa del 46%, peso di volume con umidità naturale di 1,98 t/m³, valore di NSPT=17, dai quali risulta una stima indicativa della capacità portante di 390 kPa.

Il sottosuolo profondo è costituito da un deposito fluvioglaciale e fluviale a composizione sabbioso ghiaiosa, ben addensato, potente tra 7 e 10 metri, con il letto alla profondità di circa 10-13 metri dal piano campagna [S3]; i parametri di resistenza al taglio della sabbia ghiaiosa sono delineati da un angolo di attrito interno di 37°, una densità relativa del 71%, un peso di volume con umidità naturale di 2,1 t/m³, un valore di NSPT=37, dai quali risulta una stima indicativa della capacità portante di 710 kPa.

Il sottostante substrato resistente [S4] è costituito da un deposito fluvioglaciale ghiaioso sabbioso cementato, con il letto alla profondità di oltre 30 metri dal piano campagna, caratterizzato da parametri di resistenza al taglio crescenti con la profondità.

Allo scopo di quantificare i coefficienti di sicurezza previsti dalle norme tecniche, in previsione dell'evento sismico di progetto, dall'esame delle prove geofisiche con stendimento sismico risulta la categoria di sottosuolo B, corrispondente a terreni a grana grossa molto addensati; come condizioni topografiche si considera la categoria T1 corrispondente a una superficie pianeggiante con inclinazione media minore di 15°.

4. INTENSITÀ SISMICA E FATTORI LOCALI DI AMPLIFICAZIONE

Per gli aspetti normativi in materia di Protezione civile e calamità naturali si deve fare riferimento alla deliberazione della Giunta Regionale n° 1572 del 03 settembre 2013 che definisce una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione urbanistica, dato che gli effetti dannosi dei terremoti derivano dalla pericolosità sismica locale, accentuata dalle modalità di propagazione delle onde sismiche, funzione delle caratteristiche di resistenza al taglio del sottosuolo, delle diverse caratteristiche geomorfologiche, e delle condizioni di stabilità dell'area.

Lo studio delle problematiche sopra descritte è oggetto della microzonazione sismica, con la quale ad un primo livello si individuano le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale, e le zone soggette ad instabilità (frane, rotture della superficie per faglie, cedimenti e liquefazioni del terreno).

L'obiettivo futuro della Regione è quello di estendere a tutto il territorio regionale l'obbligo di eseguire gli studi di microzonazione sismica, ma attualmente, in una prima fase sperimentale di verifica dell'applicabilità di tali valutazioni, lo studio di microzonazione sismica è obbligatorio per i Comuni di cui all'Allegato B del citato provvedimento n°1572/2013, comprendente quelli già inseriti in zona sismica 1 e 2, oltre a quelli il cui territorio è in tutto o in parte caratterizzato da valori di accelerazione sismica massima al suolo superiori a 0,175g di cui all'O.P.C.M. 3519/2006.

Gli studi di microzonazione sismica devono essere redatti a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (P.A.T, P.I. e loro varianti). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei Comuni i cui strumenti urbanistici non contengano studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di microzonazione sismica.

Nel caso in esame si osserva che il territorio comunale di Cittadella ricade in Zona sismica 3, dove gli edifici possono essere soggetti a scuotimenti forti ma rari, essendo caratterizzato da valori di accelerazione sismica al suolo compresi tra 0,050g e 0,150g.

In realtà l'accelerazione sismica al suolo varia all'interno del territorio comunale, avvicinandosi alla fascia sismogenetica pedemontana, come evidenziato anche nel P.A.T.I. nella tavola illustrativa di pagina 72, passando dal valore minimo di 0,149g (45.606376°-11.790004°-34 mslm) di via Gaianighe, all'estremità sud, al massimo di 0,175g (45.683405°-11.799267°-64 mslm) di via Mottinello all'estremità nord-est.

In tal caso si osserva che su tutto il territorio comunale di Cittadella non si hanno mai valori di accelerazione sismica massima al suolo superiori a 0,175g e, pertanto, non è previsto l'obbligo di eseguire gli studi di microzonazione sismica per il piano urbanistico in progetto.

Si procede comunque con la valutazione dell'intensità sismica di progetto per il sito in esame, utilizzando gli schemi analitici previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si basano su un modello teorico del rischio sismico adottato dalla Protezione Civile Nazionale. Prevedendo una vita nominale di esercizio delle opere in progetto maggiore di 50 anni (opere ordinarie), e con riguardo al tipo di utilizzo definito dalla classe d'uso II (normali affollamenti), il periodo di riferimento delle azioni sismiche sulle opere in progetto è $V_R=50$ anni; in tal caso il rischio sismico è dato da una probabilità del 10% di superare il valore di picco dell'accelerazione orizzontale del suolo per la condizione di salvaguardia della vita (SLV) allo stato limite ultimo, con riferimento al tempo di ritorno $TR=475$ anni dell'evento sismico atteso.

Le valutazioni statistiche dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono state tradotte in una mappatura della pericolosità sismica teorica su tutto il territorio nazionale, e consentono di calcolare per ogni punto della superficie terrestre il valore dell'accelerazione di riferimento su suolo rigido del substrato roccioso in campo libero.

Dai calcoli suddetti risulta che nell'area di progetto l'accelerazione sismica locale (a_g) è stimata in 0,163g per la componente orizzontale, e 0,089g per la componente verticale, e il sito in esame è quindi classificabile come zona a pericolosità sismica media.

Per quantificare le tensioni agenti sulle opere durante l'evento sismico atteso, si ricava il fattore di amplificazione della risposta sismica locale, in base alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche, con riferimento allo spettro di accelerazione inelastico, tenuto conto della geometria e tipologia costruttive di normali infrastrutture ed edifici.

Il sottosuolo di fondazione è individuato con la categoria sismica di riferimento "B" (terreni a grana grossa molto addensati caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità), mentre le caratteristiche geomorfologiche sono delineate dalla categoria topografica "T1" (superficie pianeggiante); in tal caso, con riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita, il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale è $F_0=2,432$ e l'accelerazione massima attesa al sito è $a_{max}=0,196g$.

Assegnando ai futuri fabbricati il fattore di struttura $q_0=2,5$ corrispondente ad una struttura prefabbricata in CA a pilastri isostatici e caratterizzata da una bassa capacità di dissipazione energetica, con un fattore di smorzamento di almeno il 5%, si stima che lo spettro di sollecitazione sismica sull'opera in progetto durante il sisma di riferimento sarà individuato dai seguenti coefficienti di intensità sismica: $K_{hk}=0,0408$ (orizzontale), $K_{vk}=0,0204$ (verticale) e $K_{hi}=0,1653$ (totale sulla struttura), con un periodo di vibrazione del terreno compreso tra 10,5 e 12 Hz.

Una ulteriore caratterizzazione simica del sito si ottiene con l'analisi delle fasce sismogenetiche illustrate nella cartografia ufficiale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, individuate mediante la sovrapposizione delle informazioni geologiche sul territorio con l'elaborazione statistica del catalogo parametrico dei terremoti storici.

Nei pressi del sito in esame, alla distanza di circa 11 chilometri verso nord-ovest, si trova la zona sismogenetica denominata ITCS007 THIENE-CORNUDA (P.Burrato, 2015), che si estende per circa 50 km lungo la fascia pedemontana tra i Monti Lessini e il Fiume Piave, con una larghezza di circa 9 chilometri e immersione verso nord; la profondità è di circa 6,5 km verso l'Altipiano di Asiago e di circa 0,5 km verso la Pianura.

La fascia sismogenetica è costituita da una faglia inversa con orientamento di 240°...245° rispetto al Nord, piano di scivolamento inclinato 30°...40° rispetto all'orizzontale, e direzione del movimento 80°...100° sulla superficie di scorrimento; è caratterizzata da una magnitudo massima $M_w=6,6$ con una stima del tasso di scivolamento compresa tra 0,68 - 0,86 mm/anno.

Pertanto, grazie all'effetto di smorzamento con la distanza, i terremoti che possono colpire l'area di progetto sono caratterizzati dall'intensità macrosismica massima $I_s = 6,4$ corrispondente ad una magnitudo momento $M_w = 4,5$.

5. EFFETTI DEL SISMA SUL SEDIME DI FONDAZIONE

Il sisma può generare modifiche nel terreno di fondazione provocando anche una riduzione della capacità portante; ciò avviene segnatamente in terreni fini o coesivi saturi d'acqua (sabbie fini, limi e argille limose), dove lo scuotimento può indurre fenomeni di liquefazione, con la totale perdita di portanza del terreno in forma diffusa o localizzata, quando la pressione dell'acqua interstiziale uguaglia la pressione di confinamento. In terreni granulari più grossolani poco addensati sotto falda freatica, lo scuotimento sismico può provocare la densificazione del deposito, con il conseguente abbassamento e cedimento del piano campagna.

Nel caso in esame, con riferimento alle opere in progetto rappresentate da fondazioni stradali e sottoservizi, oppure da fabbricati su fondazioni dirette, si osserva che il sottosuolo dell'area, costituito dal litotipo sabbioso [S2], dal litotipo sabbioso ghiaioso [S3] e dal substrato ghiaioso cementato [S4], fino alla profondità di oltre 30 metri dal piano campagna, è caratterizzato da parametri geotecnici discretamente elevati, con un buon grado di addensamento e un valore di NSPT normalizzato maggiore di 30, ed è dotato di buona capacità portante, per cui non è soggetto al fenomeno di fluidificazione.

6. EFFETTI DELLE VIBRAZIONI SISMICHE SUI FABBRICATI

Il sisma genera vibrazioni nel terreno che si trasmettono dalle fondazioni a tutto il fabbricato. Le tipologie di vibrazione del terreno sono definite dalle caratteristiche di resistenza al taglio e dalla geometria stratigrafica dei diversi litotipi nel sottosuolo profondo e nel substrato resistente, mentre le tipologie di vibrazione di un fabbricato sono definite dalle caratteristiche costruttive, dai materiali utilizzati, dalla geometria della struttura e dalla regolarità in pianta e in elevazione dell'edificio.

Nel caso specifico del sito in esame, correlando i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza di sito, interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica nel sottosuolo profondo.

Le misure H.V.S.R. effettuate nei due punti di indagine sono risultate molto simili tra loro e indicano che la frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale, è di circa 12 Hz per l'HVSR n°1 con ampiezza $H/V \approx 2,8$, mentre per l'HVSR n°2 risulta di circa 10,5 Hz con ampiezza del picco H/V di 4.

Per le frequenze minori di 5 Hz, le due distinte registrazioni sono perfettamente sovrapponibili, indicando così una notevole omogeneità laterale dei diversi sismo-strati procedendo nei livelli più profondi.

Si ritiene importante segnalare che i rapporti H/V registrati sono particolarmente elevati e tali da ipotizzare amplificazioni del moto sismico in superficie; infatti in letteratura specializzata si considera che al di sopra del rapporto $H/V=2$ le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali sono probabilmente significative, mentre al di sotto di detto rapporto hanno scarsa incidenza.

Dato che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione strutturale dell'edificio, e la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica, con un effetto di amplificazione per risonanza, si deve porre particolare attenzione alle caratteristiche di elasticità dei fabbricati che saranno realizzati sui lotti residenziali.

Si consiglia pertanto di porre estrema attenzione nella realizzazione degli edifici ad un solo piano, che con una frequenza intorno a 7 Hz hanno un periodo di vibrazione pericolosamente vicino al periodo di vibrazione naturale del terreno.

7. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA DELL'INTERVENTO

Per il calcolo della capacità portante del terreno di fondazione si devono considerare gli stati limite delle Norme Tecniche per le Costruzioni, applicando i fattori di sicurezza parziali prescritti, comprensivi dei coefficienti amplificativi delle azioni sismiche allo stato limite ultimo, e con riferimento ai carichi strutturali di progetto.

In generale, per le opere di urbanizzazione e per i futuri edifici residenziali, nel sito in esame non si evidenziano particolari penalità costruttive nei riguardi della capacità portante del terreno di fondazione, anche per strutture con uno o due piani interrati, grazie alla discreta profondità della zona di saturazione, con la superficie freatica alla profondità minima di circa 5,5 metri dal piano campagna naturale.

Nei riguardi delle opere di pavimentazione di strade, parcheggi e piazzali, considerando cautelativamente il terreno del sottosuolo superficiale come un'argilla consistente, con bassa umidità naturale, dove la resistenza al taglio è data soprattutto dalla forza di coesione, assumono significato preminente i cedimenti di consolidazione e i cedimenti secondari, che si potranno evidenziare in uno o due decenni.

In tal caso la capacità portante del terreno è stimabile in un valore minimo pari a 90kPa ed è quindi idonea per sopportare le pressioni trasmesse dalla fondazione stradale in progetto, previo un scotico di almeno 50 centimetri, il consolidamento o la compattazione del terreno di sottofondazione, e la realizzazione di una idonea fondazione in materiale inerte e drenante.

La capacità portante del sottosuolo superficiale argilloso limoso [S1] è idonea per sopportare le pressioni trasmesse da piccole platee o dalle fondazioni dirette di fabbricati leggeri (50 kN/m²), con la quota di imposta alla profondità di almeno 0,7 metri dal piano campagna; in tal caso i cedimenti di consolidazione sono minori di 2,5 cm.

Per la realizzazione di fabbricati con carichi strutturali importanti, come edifici multipiano con grandi luci, i cedimenti di consolidazione del sottosuolo superficiale argilloso limoso [S1] possono essere eccessivi, e non facilmente compensabili con la riduzione delle pressioni di carico esercitate sul terreno, mediante l'aumento della larghezza delle aree di imposta delle fondazioni.

In tal caso è necessario portare il sedime delle fondazioni dirette alla quota del sottosuolo profondo, a circa 2 metri dal piano campagna, sullo strato lenticolare di sabbia grossolana [S2] (ove presente), dove la capacità portante del terreno è stimabile in un valore minimo pari a 400kPa ed è quindi idonea per sopportare le pressioni trasmesse dalle fondazioni, senza rischio di cedimenti di consolidazione, ma con solo i normali cedimenti immediati stimabili in un massimo di circa 2-3 centimetri.

Nel caso siano previsti piani interrati, il sedime delle normali fondazioni dirette deve essere impostato sullo strato di sabbia ghiaiosa [S3], alla quota di circa 3,6 metri dal piano campagna, dove la capacità portante del terreno è stimabile in circa 550kPa, con i normali cedimenti immediati stimabili in meno di un centimetro.

8. COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'INTERVENTO

L'area in esame si presenta con una configurazione geomorfologica perfettamente pianeggiante, con il solo rilevato stradale della strada provinciale che si eleva di circa un metro dal piano campagna, e con alcuni terrazzamenti alti 20-30 centimetri imputabili alla sistemazione agraria e alla regolazione irrigua dei campi; inoltre non sono presenti corpi idrici superficiali, ad esclusione di un fosso di irrigazione e scolo dei campi, che attraversa il sito da nord verso sud. Pertanto su tutta l'area in esame non sono possibili eventi franosi gravitativi, oppure fenomeni erosivi ad opera delle acque di ruscellamento; l'infiltrazione attraverso il terreno nello stato attuale è ampiamente sufficiente per smaltire il deflusso meteorico nel sottosuolo sabbioso e ghiaioso senza pericolo di investire le aree circostanti a valle.

9. COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA DELL'INTERVENTO

L'area di progetto è ubicata in una zona agricola nei pressi di zone residenziali a bassa densità abitativa e quindi il sito non è dotato di una rete di smaltimento delle acque bianche meteoriche. Pertanto, con l'intervento di trasformazione urbanistica in progetto si dovranno adottare gli opportuni metodi di controllo delle acque meteoriche defluenti dalle nuove superfici impermeabilizzate, al fine di non incidere con effetti negativi o comunque indesiderati sul sistema idrogeologico locale, come prescritto dalle vigenti norme tecniche.

Attualmente l'area è prevalentemente ad uso agricolo ed è coltivata a seminativo annuale dove il drenaggio superficiale del terreno avviene per la maggior parte attraverso l'infiltrazione nel sottosuolo caratterizzato da una permeabilità compresa tra 1×10^{-4} m/s delle sabbie grossolane a 5×10^{-4} m/s delle sabbie ghiaiose; solo una modesta aliquota delle acque meteoriche defluisce in superficie verso valle, mediante piccoli fossi di irrigazione e di scolo senza creare problemi di drenaggio.

Una parte minore dell'area in progetto è attualmente occupata da strade pavimentate, in corrispondenza delle future rotatorie, dalle quali significativi afflussi di acque meteoriche defluiscono nelle aree circostanti e a valle, dove sono probabilmente presenti sistemi di smaltimento parziale nel suolo o volumi di invaso temporaneo locale.

Infatti, data la conformazione geomorfologica pianeggiante, e grazie alla discreta permeabilità del sottosuolo, con la falda freatica alla profondità minima di circa 5,5 metri dal piano campagna, l'area non è soggetta a esondazioni o emergenze di acque sotterranee, e non ha mai prodotto significativi deflussi superficiali anche a seguito di piogge molto intense con tempo di ritorno maggiore di 50 anni, con riferimento all'evento meteorico del 27 agosto 1996 con 70 mm in un'ora, come illustrato nella valutazione ambientale strategica e nello studio di compatibilità idraulica del P.A.T.I.

Pertanto, come già accennato in precedenza, nell'area in progetto dovrà essere posta particolare attenzione alla qualità delle acque meteoriche immesse nel sottosuolo superficiale mediante pozzi disperdenti, a causa della elevata vulnerabilità dell'acquifero freatico, dato che si tratta di un acquifero indifferenziato nel quale le acque più profonde sono utilizzate anche a scopi idropotabili.

10. COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEL SITO IN PROGETTO

Per la realizzazione della lottizzazione in progetto si prevede la produzione di circa 6.000 metri cubi di terra sciolta da scavo, che sarà costituita per la maggior parte dal terreno agrario limoso argilloso di colore bruno rossastro e, in parte, dal sottosuolo a composizione sabbiosa e ghiaiosa.

Parte del terreno naturale escavato per la realizzazione delle infrastrutture in progetto sarà riutilizzato in cantiere per il livellamento del terreno nell'immediato contorno, mentre una parte potrà essere smaltita presso un impianto autorizzato.

Il sito in progetto è ubicato in una zona agricola in prossimità di una zona residenziale; nelle immediate vicinanze, entro il raggio di 150 metri dal lotto, non sono presenti attività industriali o artigianali (in essere o dismesse), inoltre l'area non è interessata da procedimenti di bonifica conclusi, e nemmeno ricade entro la fascia di 20 metri dal bordo stradale di strutture viarie di grande traffico (autostrade).

Dall'esame geologico del sito si osserva che il terreno superficiale è costituito da terreno agrario limoso argilloso di colore bruno rossastro per uno spessore di circa 0,5 metri, a copertura di un sottosuolo superficiale limoso argilloso e di un sottosuolo profondo sabbioso e ghiaioso.

Dall'esame diretto del sito in progetto si osserva che il terreno naturale è morfologicamente intatto, senza evidenziare significativi scavi e rinterrati, inoltre attualmente non sono rilevabili particolari strutture sepolte, ma solo le opere murarie di un fabbricato rurale, che dopo la demolizione saranno opportunamente rimosse e smaltite come rifiuto.

Per lo svolgimento dell'indagine ambientale la norma prescrive delle modalità operative di controllo proporzionate alle possibili fonti di pressione, allo scopo di rappresentare in modo adeguato le caratteristiche dei materiali prodotti dallo scavo in progetto.

Nel caso in esame, dato che le fonti di pressione ambientale presenti al contorno del sito sono caratterizzate da una bassa o nulla capacità di contaminazione areale, e visto che lo sviluppo lineare di strade e sottoservizi in progetto ammonta a circa 500 metri, dove sono previsti scavi e movimenti materie per circa 6.000m³, sarebbe sufficiente la campionatura di due o tre punti rappresentativi dei terreni da escavare.

Tuttavia, per una più corretta caratterizzazione ambientale del sito, sono stati prelevati tre campioni di terreno lungo lo sviluppo della nuova strada e due campioni di terreno in corrispondenza dei tratti di fosso da intubare o da realizzare ex novo; in questo modo i punti di campionamento sono distribuiti su tutta l'area in esame e possono così fornire un primo riferimento ambientale anche per i terreni del sottosuolo che saranno escavati per la realizzazione dei futuri fabbricati.

Dato che l'intervento in progetto prevede essenzialmente lo scavo del terreno superficiale, o comunque scavi a modesta profondità, i campioni di terreno sono stati costituiti mediante la miscelazione di più aliquote estratte in sequenza verticale entro sondaggi superficiali eseguiti a mano, dal piano campagna fino alla profondità di circa sessanta centimetri.

La campionatura è stata eseguita a cura dello Scrivente e i campioni prelevati sono stati consegnati al laboratorio accreditato di analisi chimiche VERONALAB di Villafranca Veronese per essere sottoposti ad analisi chimiche quantitative per la determinazione dei seguenti parametri di minima, secondo le metodologie operative prescritte dalla legge (criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati):

Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale,
Cromo esavalente, Mercurio, Nichel, Piombo,
Rame, Zinco, Idrocarburi pesanti con C>12.

Gli allegati referti analitici di laboratorio chimico certificano che il terreno campionato presenta concentrazioni delle sostanze ricercate con valori quasi sempre molto al di sotto della concentrazione soglia di contaminazione nel suolo, in relazione con la destinazione d'uso residenziale.

L'unico dato che desta un certo interesse è quello riguardante la concentrazione dell'Arsenico, che arriva all'80% della soglia di contaminazione, comunque senza mai superarla; tuttavia i valori riscontrati nell'area di progetto sono ancora bassi rispetto alla concentrazione media nelle argille superficiali dell'alta pianura del Brenta, visto che quest'area alluvionale riceve i deflussi di lisciviazione delle dolomie antiche e delle vulcaniti permiane della Valsugana, caratterizzate da una relativamente elevata concentrazione di Arsenico.

Le terre da scavo prodotte per la realizzazione del piano urbanistico in progetto, delle quali sono state accertate l'assenza di contaminazioni, sono dotate di caratteristiche ambientali idonee per l'utilizzo in interventi di miglioramento ambientale con rinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati, in zone residenziali o agricole, oltre che per il riuso nel cantiere stesso.

Pastrengo, Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo



**VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER**

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola

G1

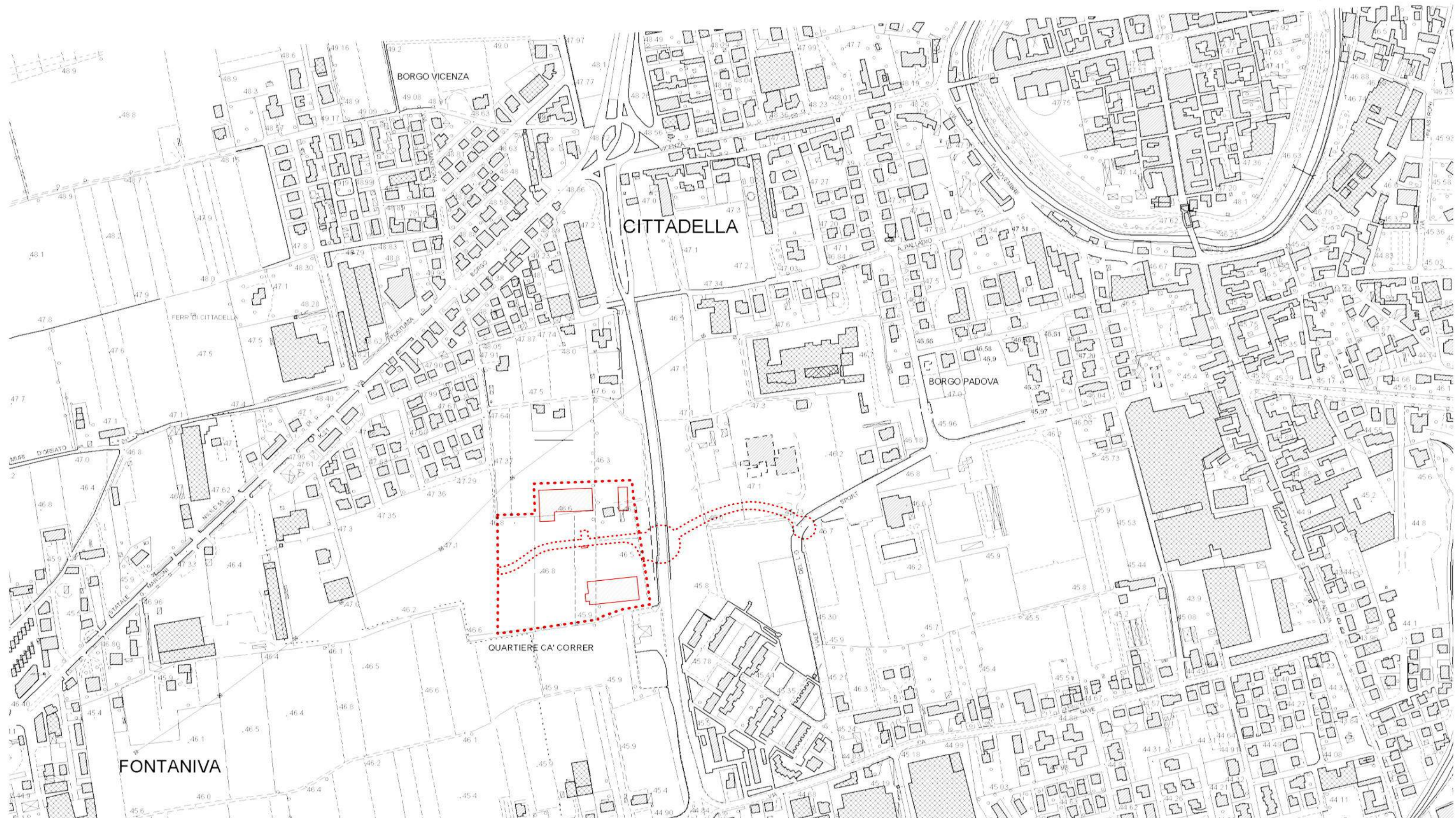
COROGRAFIA SULLA C.T.R. alla scala 1:5.000
long.11,7730° - lat.45,6428° - alt.46,5 mslm

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056



**VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER**

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola

G2

**INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO
planimetria dal PRG scala 1:10.000**


Marzo 2018


Geologo Alberto Freddo

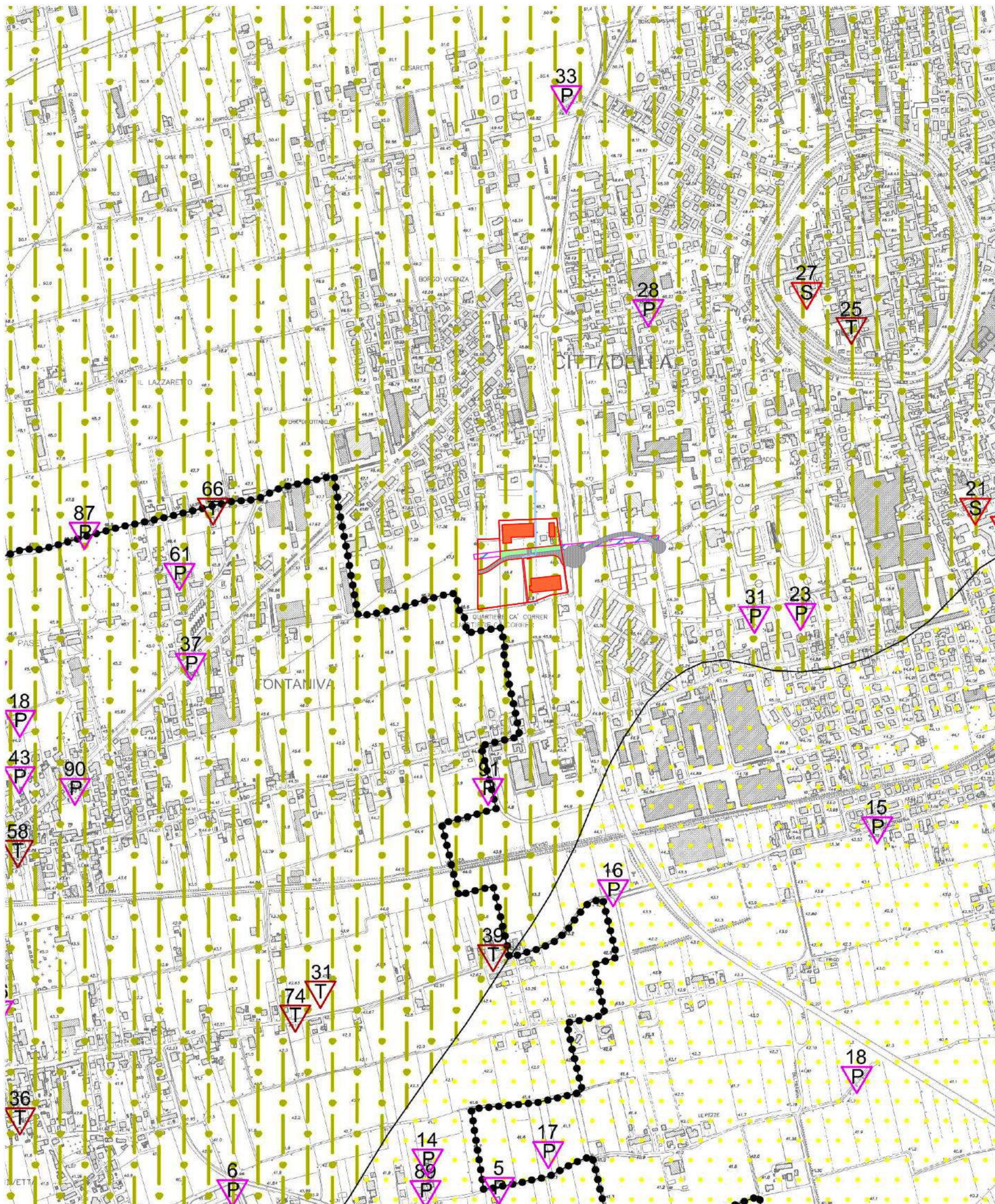
geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

LEGENDA

 ghiaie e sabbie fluviali
e fluvioglaciali antiche
localmente cementate

 sabbie e sabbie limose
fluviali e fluvioglaciali



VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola

G3

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO
planimetria dal PRG scala 1:10.000

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

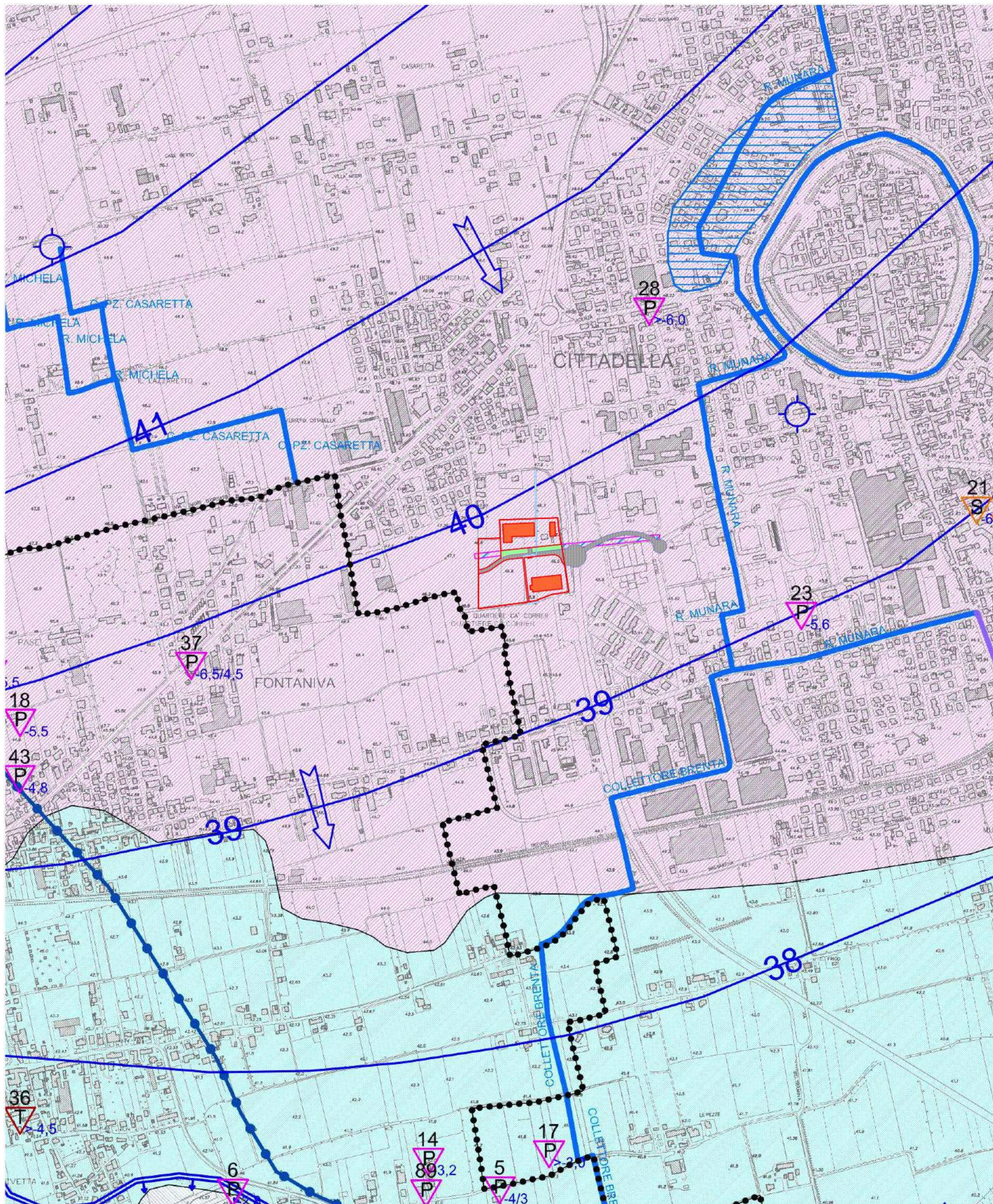
Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

LEGENDA

-  falda freatica profonda oltre 5 metri dal piano campagna
-  aree soggette a inondazioni
-  corpi idrici superficiali
-  falda freatica profonda da 3 a 5 metri dal piano campagna
-  geometria della superficie freatica media (isofreatiche)
-  limite superiore della linea delle risorgive
-  falda freatica profonda da 1,5 a 3 metri dal piano campagna
-  direzione del deflusso freatico
-  pozzi idrici

Banca Dati delle piogge massime per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore in Triveneto (mm)
Consiglio Naz. delle Ricerche Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (2017)

LOCALITÀ	ANNO	1 ORA G	M	3 ORE G	M	6 ORE G	M	12 ORE G	M	24 ORE G	M
CITTADELLA	1934	27.0	25 7	39.8	25 7	41.2	25 7	66.2	15 12	70.8	15 12
CITTADELLA	1936	31.0	31 7	43.6	31 7	43.6	31 7	43.6	31 7	55.0	27 2
CITTADELLA	1937	32.0	1 8	75.0	1 8	82.0	1 8	85.6	1 8	102.6	14 8
CITTADELLA	1938	27.6	12 6	27.6	12 6	28.0	12 6	38.2	12 6	46.8	20 12
CITTADELLA	1939	24.0	15 9	25.6	15 9	29.0	25 8	43.8	4 11	46.4	6 11
CITTADELLA	1940	35.2	13 6	38.2	13 6	43.2	13 6	58.4	1 5	69.8	1 5
CITTADELLA	1941	37.4	12 8	37.6	12 8	37.8	12 8	57.6	25 4	66.4	2 1
CITTADELLA	1942	28.2	23 9	49.2	21 9	61.2	21 9	61.6	21 9	65.4	21 9
CITTADELLA	1943	16.6	5 4	28.0	28 9	32.4	28 9	36.4	28 9	48.8	28 9
CITTADELLA	1944	12.4	11 6	28.4	11 6	44.0	18 6	60.8	18 6	77.6	5 10
CITTADELLA	1955	25.8	3 7	35.2	11 9	58.8	10 9	60.8	10 9	71.6	10 11
CITTADELLA	1956	21.8	26 9	30.0	26 9	37.0	25 9	62.0	25 9	95.4	25 9
CITTADELLA	1957	31.2	18 8	32.4	18 8	35.8	10 11	41.4	10 11	57.0	25 9
CITTADELLA	1958	40.0	7 8	44.0	7 8	44.0	7 8	44.2	7 8	65.8	11 11
CITTADELLA	1959	29.6	14 7	44.6	14 7	50.0	14 7	50.8	29 4	70.8	12 11
CITTADELLA	1960	42.2	29 6	43.4	29 6	43.8	8 7	51.0	8 7	62.4	28 6
CITTADELLA	1961	29.6	27 5	29.8	27 5	34.0	12 11	46.6	12 11	59.2	7 10
CITTADELLA	1962	46.4	25 6	62.2	25 6	66.4	25 6	66.8	25 6	66.8	25 6
CITTADELLA	1963	47.0	4 8	53.2	4 8	54.2	4 8	64.0	4 8	72.7	4 9
CITTADELLA	1965	30.6	23 8	43.4	5 7	51.2	5 7	71.0	4 7	90.0	4 7
CITTADELLA	1966	32.2	25 7	39.2	8 8	49.6	16 8	69.6	16 8	87.0	16 8
CITTADELLA	1967	14.8	16 5	24.0	17 2	40.0	17 2	58.0	16 2	68.6	16 2
CITTADELLA	1968	31.6	29 8	48.2	29 8	55.2	29 8	55.6	29 8	65.6	29 8
CITTADELLA	1969	16.6	16 8	27.2	26 8	33.8	26 8	41.4	6 5	54.6	26 8
CITTADELLA	1970	41.8	16 9	43.0	16 9	43.4	16 9	44.6	16 9	44.6	16 9
CITTADELLA	1971	15.6	15 6	15.6	15 6	25.2	16 2	39.6	16 2	58.0	16 2
CITTADELLA	1972	21.8	17 6	36.4	2 7	42.0	2 7	43.2	12 2	55.0	12 2
CITTADELLA	1973	16.8	4 7	21.4	19 4	28.0	19 4	37.2	25 9	64.6	25 9
CITTADELLA	1974	18.4	7 5	23.8	7 5	33.0	7 5	47.0	7 5	55.8	7 5
CITTADELLA	1975	14.8	25 7	31.2	5 5	43.2	5 5	60.0	5 5	74.8	5 5
CITTADELLA	1976	40.0	22 7	46.6	22 7	48.6	24 7	48.8	22 7	49.8	22 7
CITTADELLA	1977	12.4	21 6	17.8	22 6	23.0	29 3	37.0	29 3	55.0	5 1
CITTADELLA	1978	25.6	30 5	33.4	3 10	40.4	3 1	45.0	3 10	70.0	4 10
CITTADELLA	1979	50.0	22 9	58.4	22 10	69.4	22 9	76.0	22 9	83.2	22 9
CITTADELLA	1980	62.6	10 6	64.6	10 6	64.8	10 6	65.0	10 6	78.0	10 6
CITTADELLA	1981	38.4	2 5	39.2	2 5	39.8	2 5	68.2	27 10	109.6	27 10
CITTADELLA	1982	30.2	6 8	42.2	28 8	50.0	28 8	57.4	28 8	73.2	29 8
CITTADELLA	1983	35.4	2 9	41.0	2 9	55.0	2 9	55.4	2 9	55.6	2 9
CITTADELLA	1985	30.2	2 6	40.2	2 6	53.2	2 6	57.0	2 3	78.4	2 3
CITTADELLA	1986	25.2	9 9	38.4	9 9	54.5	9 9	74.8	9 9	100.2	31 1
CITTADELLA	1987	34.0	24 8	60.0	24 8	89.0	24 8	95.2	24 8	96.4	24 8
CITTADELLA	1988	26.0	5 6	46.8	5 6	51.8	5 6	70.6	5 6	84.6	5 6
CITTADELLA	1989	34.4	28 6	34.4	28 6	36.0	3 4	53.0	3 4	53.4	3 4
CITTADELLA	1991	27.0	17 6	39.0	17 6	39.0	17 6	52.4	4 10	62.4	3 5
CITTADELLA	1992	13.0	5 10	25.4	5 10	33.4	5 10	53.0	4 10	67.6	3 10
CITTADELLA	1994	22.6	28 6	30.0	20 7	42.4	20 7	57.8	16 9	58.8	16 9
CITTADELLA	1995	30.6	16 7	44.8	28 8	65.4	28 8	72.8	28 8	93.8	27 8
CITTADELLA	1996	70.0	27 8	94.2	27 8	94.2	27 8	94.2	27 8	94.2	27 8



VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola
G4

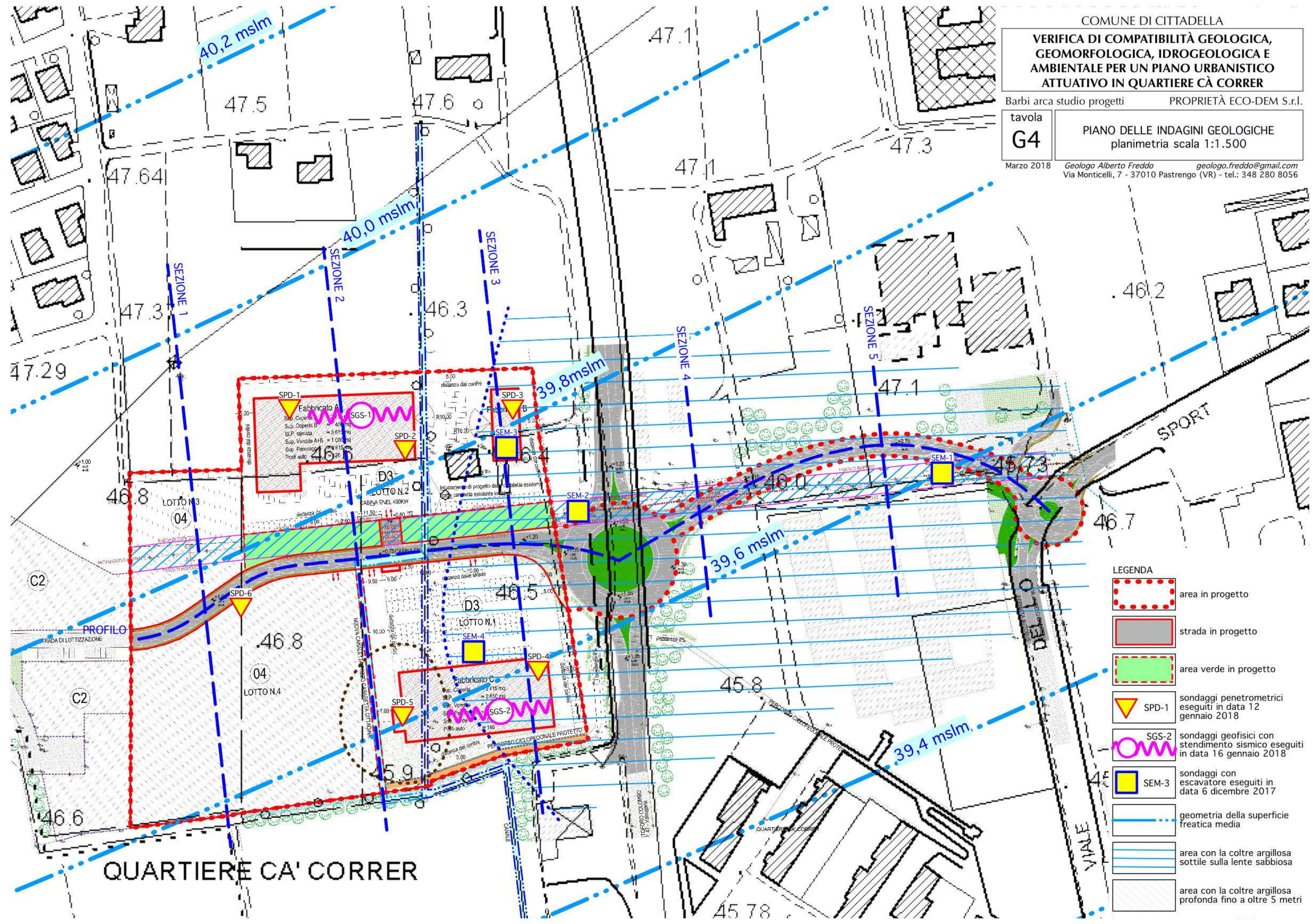
PIANO DELLE INDAGINI GEOLOGICHE
planimetria scala 1:1.500

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056



- LEGENDA
- area in progetto
 - strada in progetto
 - area verde in progetto
 - sondaggi penetrometrici eseguiti in data 12 gennaio 2018
 - sondaggi geofisici con stendimento sismico eseguiti in data 16 gennaio 2018
 - sondaggi con escavatore eseguiti in data 6 dicembre 2017
 - geometria della superficie freatica media
 - area con la coltre argillosa sottile sulla lente sabbiosa
 - area con la coltre argillosa profonda fino a oltre 5 metri

QUARTIERE CA' CORRER

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

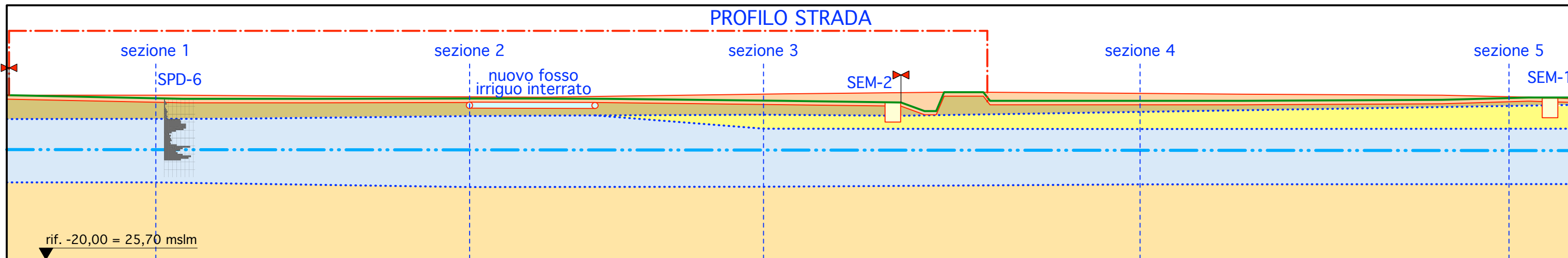
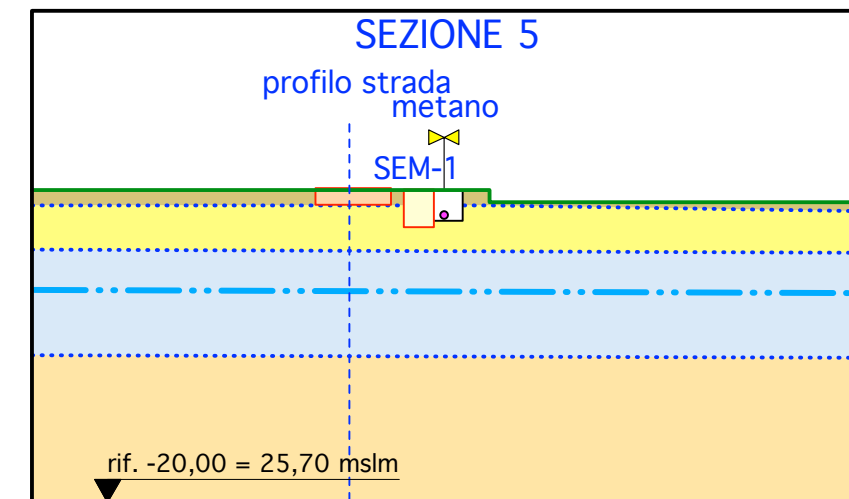
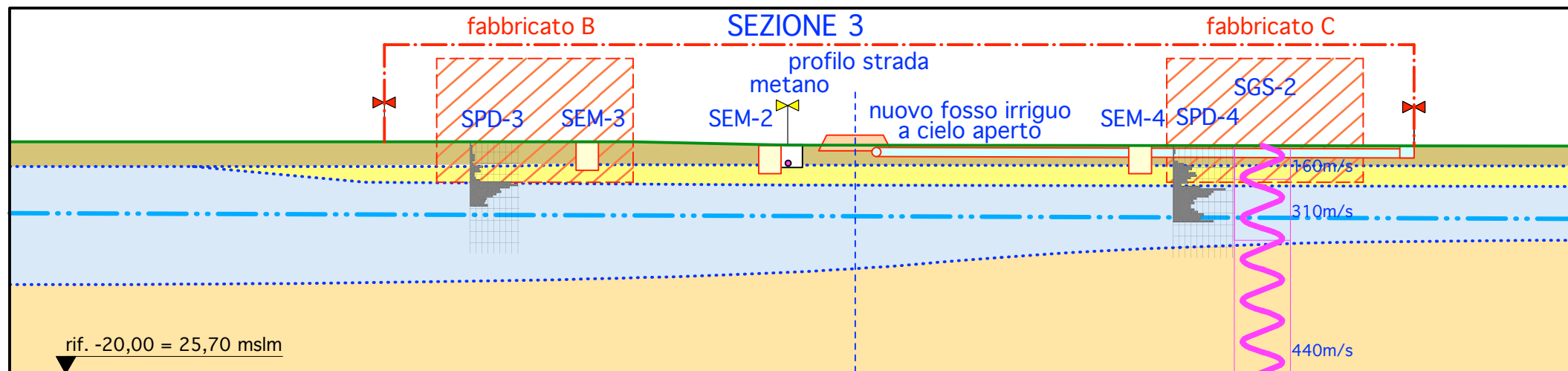
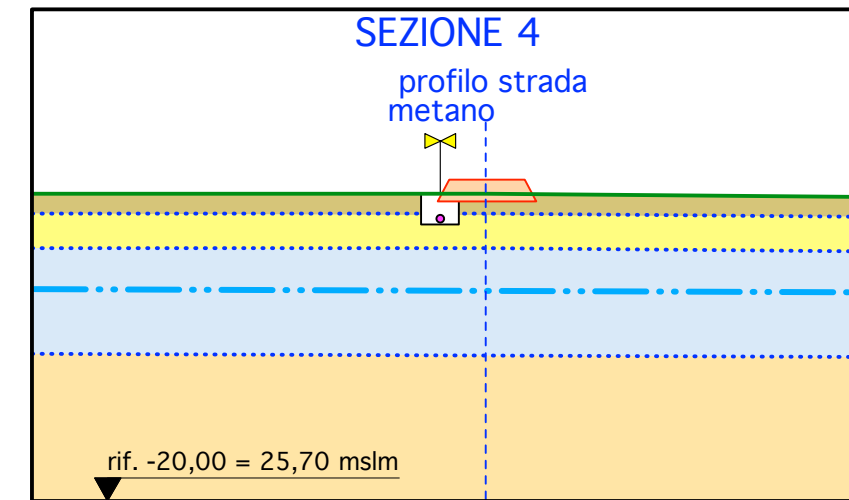
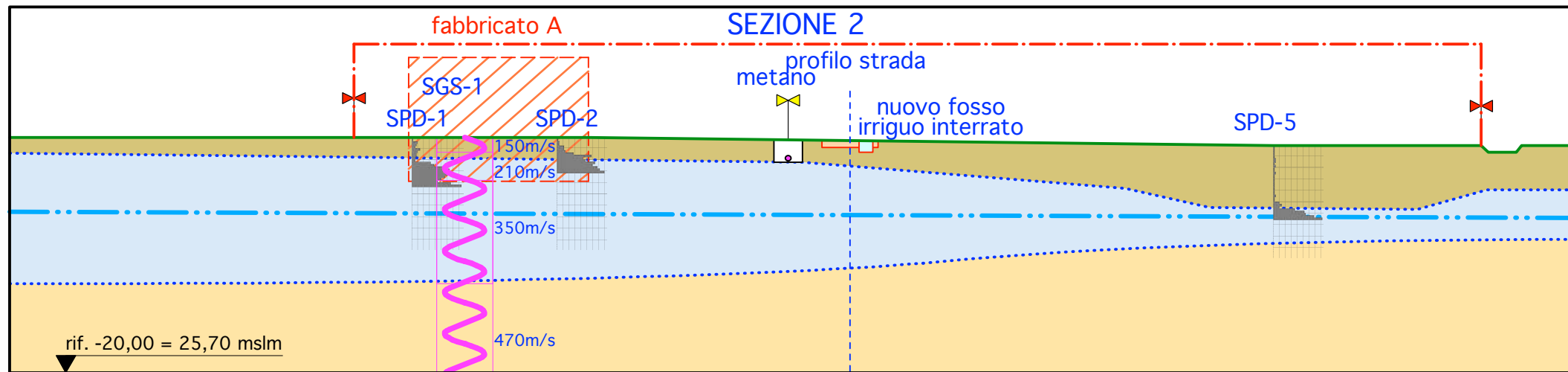
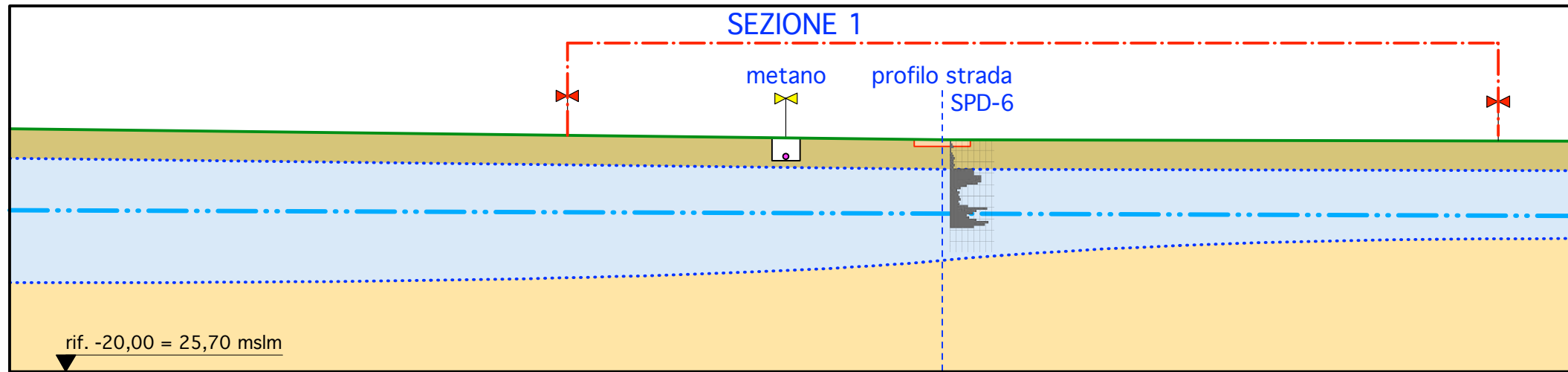
tavola
G5

INTERPRETAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
sezioni geotecniche
scala orizzontale 1:1.000 - verticale 1:500

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo
Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

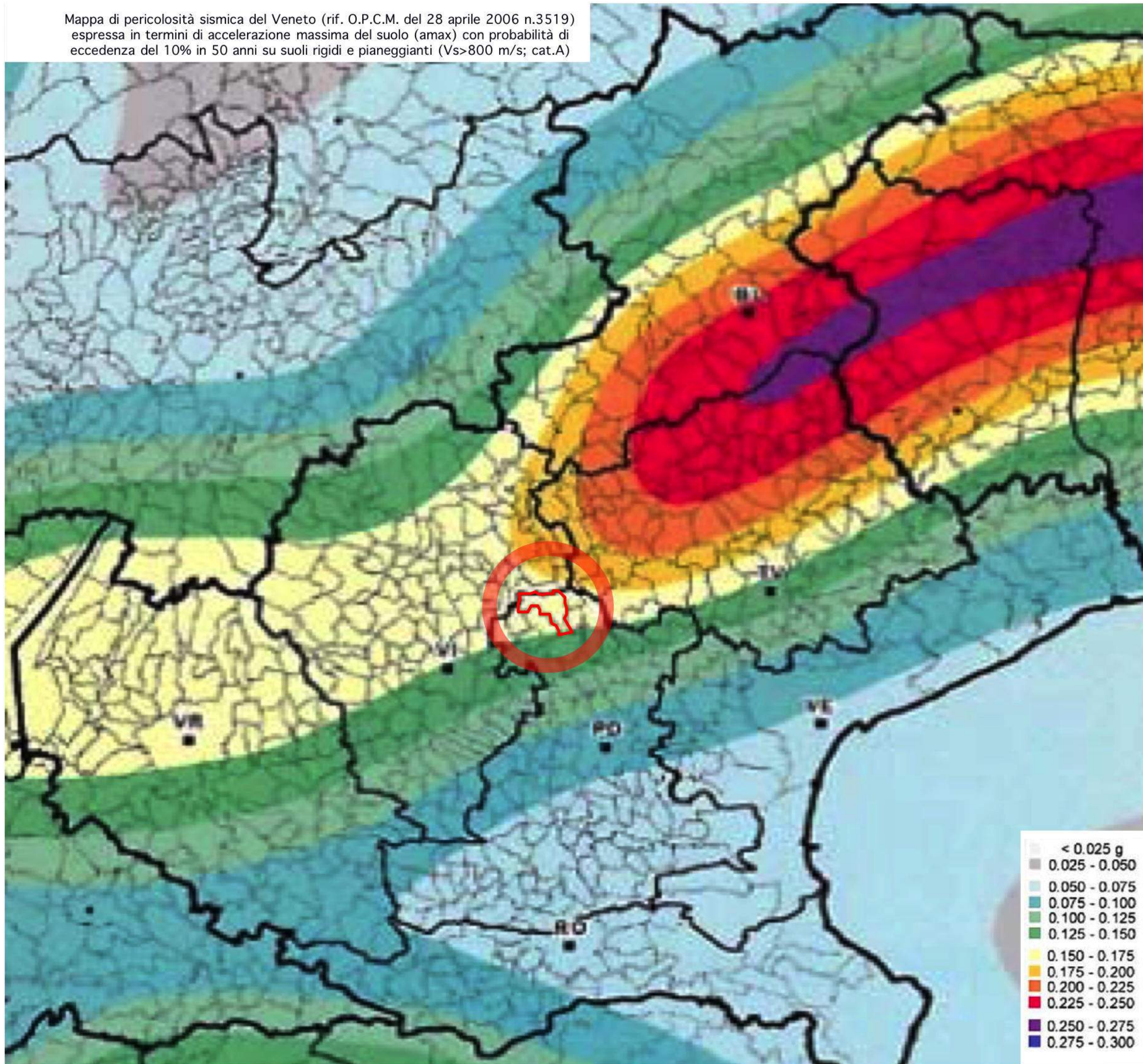
geologo.freddo@gmail.com



LEGENDA

- | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------------|
| rilevato della nuova strada | SOTTOSUOLO PROFONDO sabbia ghiaiosa addensata | sondaggi penetrometrici |
| coltre argillosa bruno rossastra | SUBSTRATO RESISTENTE ghiaia sabbiosa cementata | sondaggi geofisici |
| sabbia grossolana sciolta con ghiaia | superficie freatica media | sondaggi con escavatore |

Mappa di pericolosità sismica del Veneto (rif. O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n.3519) espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suoli rigidi e pianeggianti ($V_s > 800$ m/s; cat.A)



COMUNE DI CITTADELLA

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola

G6

INQUADRAMENTO SISMICO DEL COMUNE DI CITTADELLA

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

Mappa di pericolosità sismica del PATI di Cittadella

Espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di accelerazione del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; catA, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

Il Geologo incaricato
Dr. Roberto RFCH

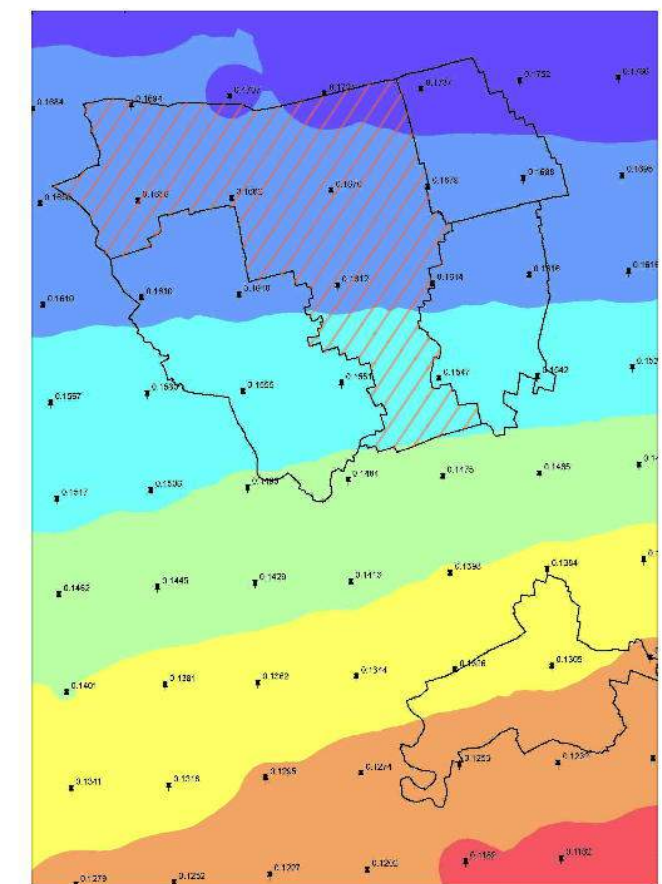
Legenda

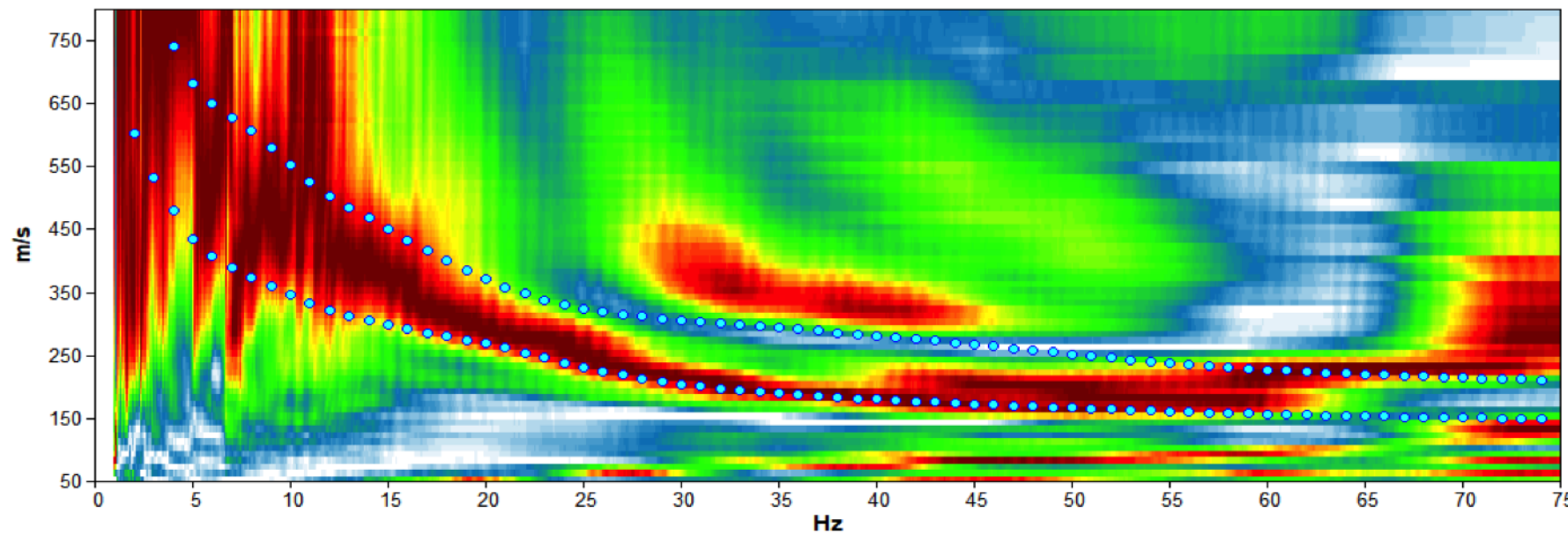
□ Contorno PATI

† Falli (su Lelli OPCM 3519/2005)

Accelerazione massima a_g

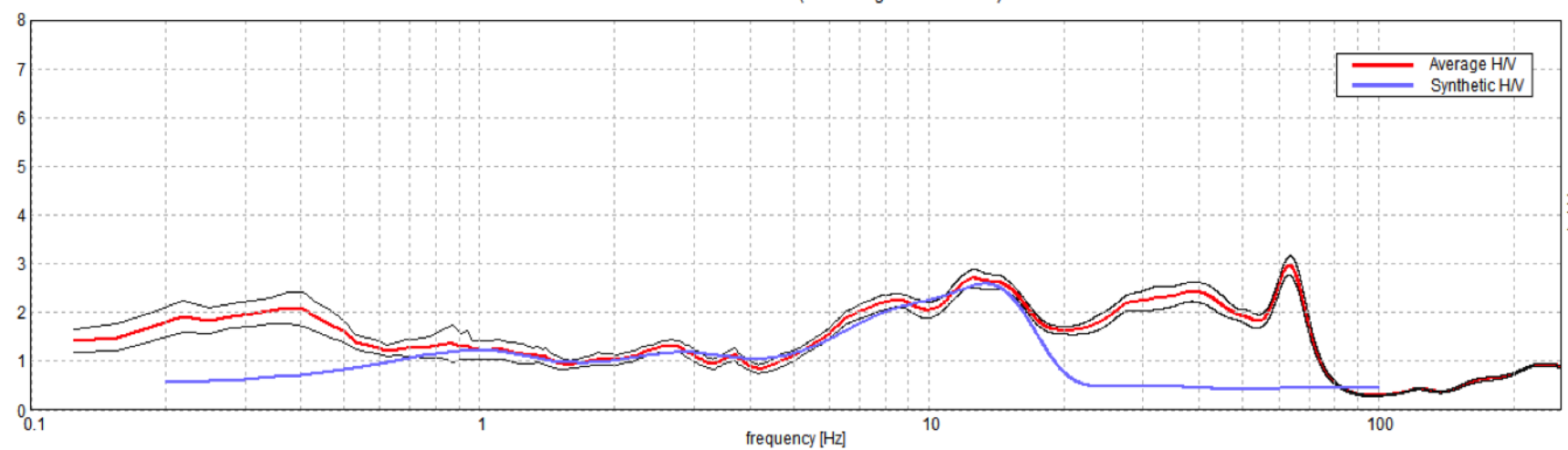
- 0.1 - 0.12
- 0.12 - 0.13
- 0.13 - 0.14
- 0.14 - 0.15
- 0.15 - 0.16
- 0.16 - 0.17
- 0.17 - 0.18



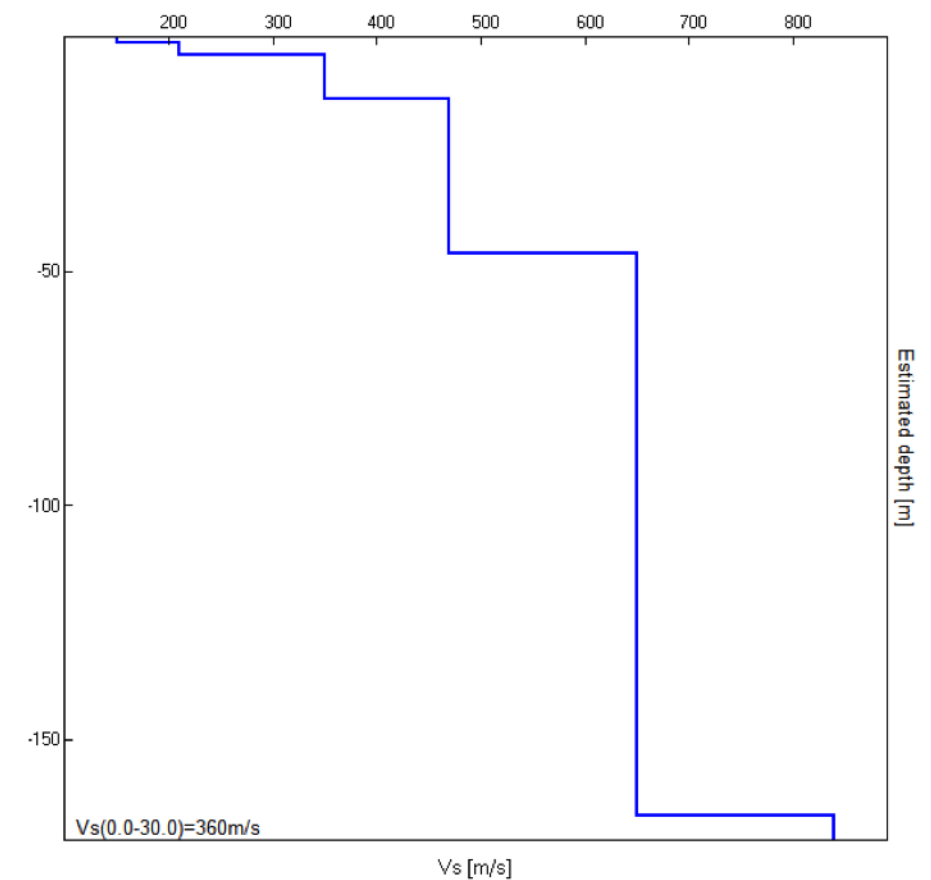


Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)

Max. H/V at 12.5 ± 3.75 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)



Profilo verticale onde S (Vs)

Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	1,3	0,0 - 1,3
II SISMOSTRATO	210	2,5	1,3 - 3,8
III SISMOSTRATO	350	9,5	3,8 - ≈13
IV SISMOSTRATO	470	33	≈13 - ≈46
V SISMOSTRATO	650	120	≈46 - ≈166
VI SISMOSTRATO	840	Semisp.	≈166 - Semisp.

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

0 m dal p.c.	360 m/ s	<i>Categoria B</i>
1 m dal p.c.	381 m/ s	<i>Categoria B</i>
2 m dal p.c.	397 m/ s	<i>Categoria B</i>
3 m dal p.c.	412 m/ s	<i>Categoria B</i>

INDAGINE GEOFISICA

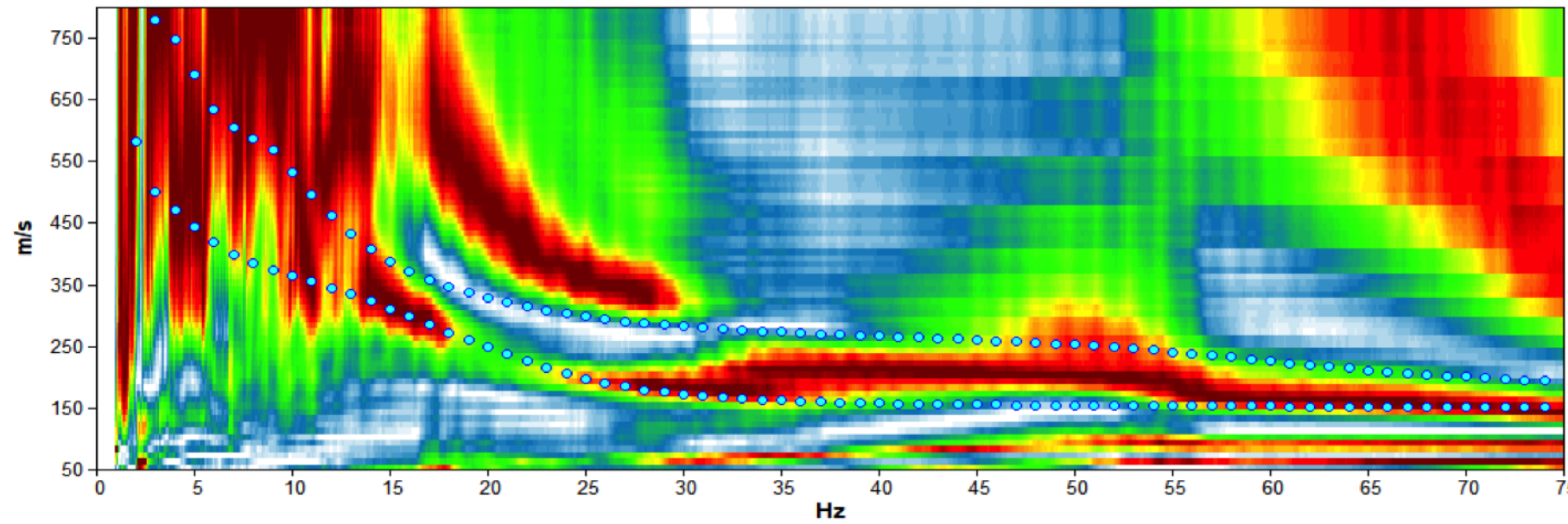
Ubi: via Galileo Galilei - Cittadella (PD)

Lat. 45,64321° N - Lon. 11,77227° E (WGS-84)

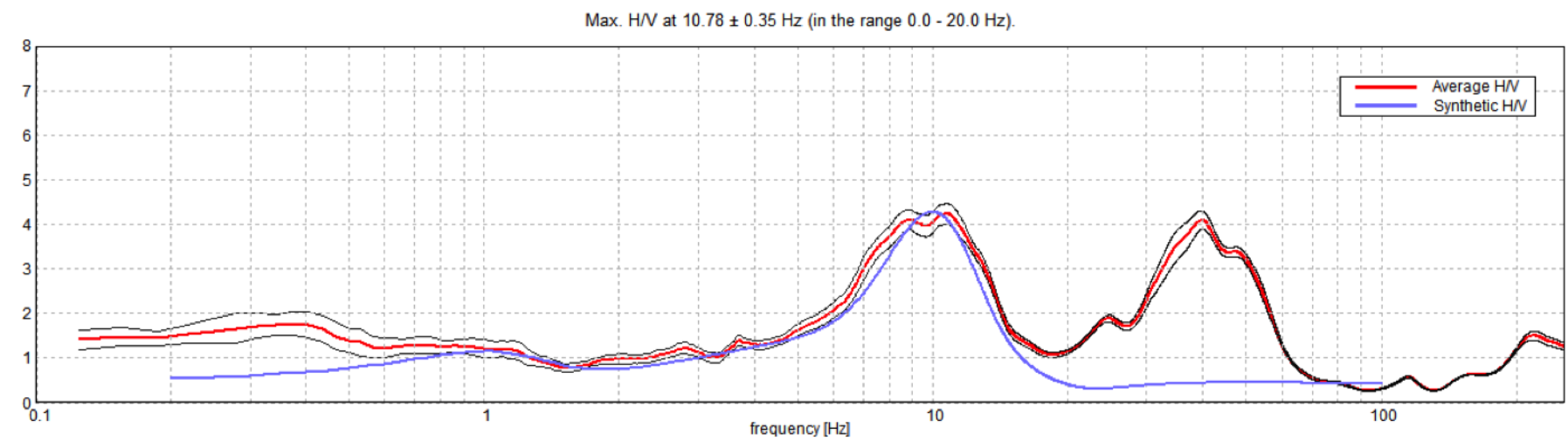
Committente: Dott. Geol. Alberto Freddo

**Indagine sismica
Re.Mi. n.1 e H.V.S.R. n.1**

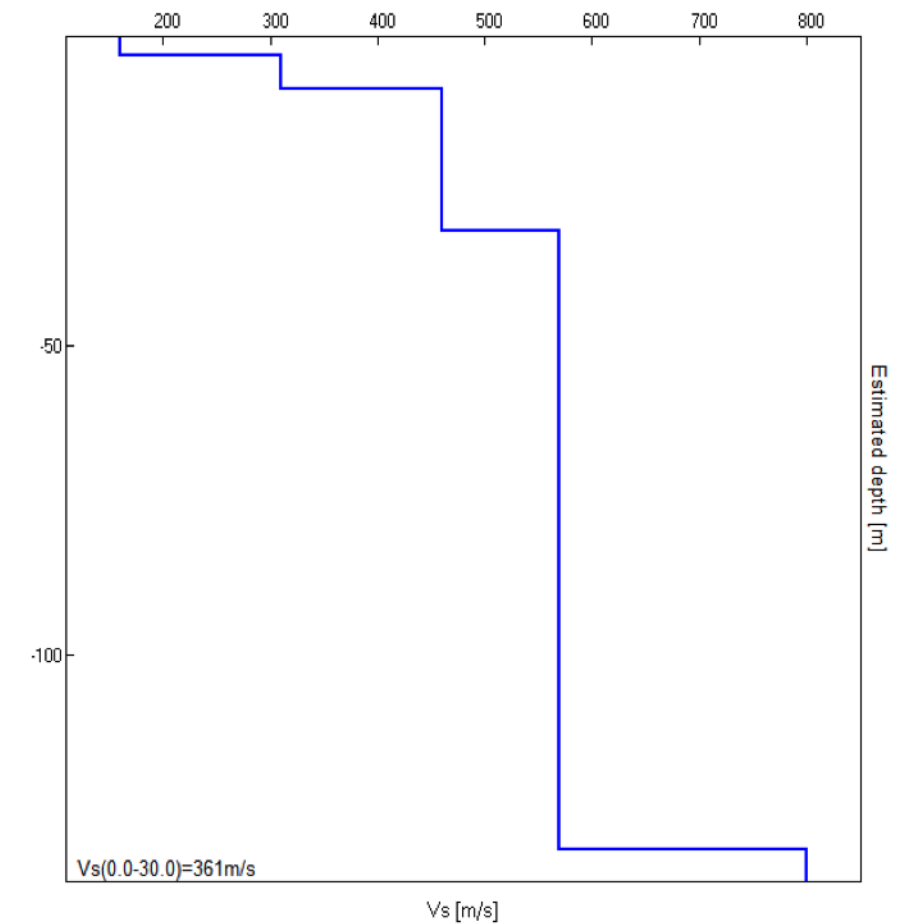
Gennaio 2018



Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)



Profilo verticale onde S (Vs)

Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	3	0,0 - 3,0
II SISMOSTRATO	310	5,4	3,0 - 8,4
III SISMOSTRATO	460	23	8,4 - ≈31
IV SISMOSTRATO	570	100	≈31 - ≈131
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈131 - Semisp.

0 m dal p.c.	361 m/ s	<i>Categoria B</i>
1 m dal p.c.	380 m/ s	<i>Categoria B</i>
2 m dal p.c.	401 m/ s	<i>Categoria B</i>
3 m dal p.c.	427 m/ s	<i>Categoria B</i>

INDAGINE GEOFISICA

Ubi: via Galileo Galilei - Cittadella (PD)

Lat. 45,64190° N - Lon. 11,77359° E (WGS-84)

Committente: Dott. Geol. Alberto Freddo

**Indagine sismica
Re.Mi. n.2 e H.V.S.R. n.2**

Gennaio 2018

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER

Barbi arca studio progetti PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola
G9

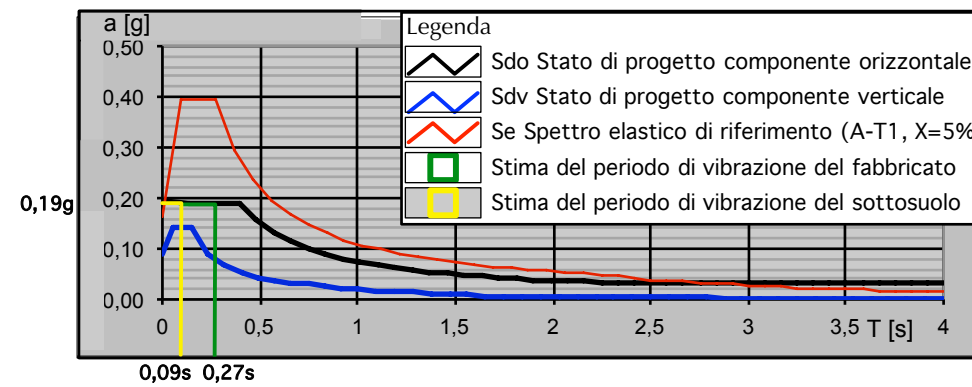
PARAMETRI SISMICI CON SPETTRI DI RISPOSTA PER STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

Marzo 2018 Geologo Alberto Freddo geologo.freddo@gmail.com
Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

Valori di a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,044	2,490	0,232
SLD	50	0,058	2,527	0,240
SLV	475	0,163	2,432	0,276
SLC	975	0,210	2,477	0,279

Spettri di risposta per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,163 g
F_o	2,432
T_C^*	0,276 s
S_S	1,200
C_C	1,423
S_T	1,000
q	2,500

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,400
T_B	0,131 s
T_C	0,393 s
T_D	2,252 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0,000	0,196
0,131	0,190
0,393	0,190
0,482	0,155
0,570	0,131
0,659	0,114
0,747	0,100
0,836	0,090
0,924	0,081
1,013	0,074
1,101	0,068
1,190	0,063
1,278	0,059
1,367	0,055
1,455	0,051
1,544	0,048
1,632	0,046
1,721	0,043
1,809	0,041
1,898	0,039
1,986	0,038
2,075	0,036
2,163	0,035
2,252	0,033
2,335	0,033
2,418	0,033
2,502	0,033
2,585	0,033
2,668	0,033
2,751	0,033
2,835	0,033
2,918	0,033
3,001	0,033
3,084	0,033
3,168	0,033
3,251	0,033
3,334	0,033
3,417	0,033
3,501	0,033
3,584	0,033
3,667	0,033
3,750	0,033
3,834	0,033
3,917	0,033
4,000	0,033

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,089 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,326
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0,000	0,089
0,050	0,144
0,150	0,144
0,235	0,092
0,320	0,068
0,405	0,053
0,490	0,044
0,575	0,038
0,660	0,033
0,745	0,029
0,830	0,026
0,915	0,024
1,000	0,022
1,094	0,018
1,188	0,015
1,281	0,013
1,375	0,011
1,469	0,010
1,563	0,009
1,656	0,008
1,750	0,007
1,844	0,006
1,938	0,006
2,031	0,005
2,125	0,005
2,219	0,004
2,313	0,004
2,406	0,004
2,500	0,003
2,594	0,003
2,688	0,003
2,781	0,003
2,875	0,003
2,969	0,002
3,063	0,002
3,156	0,002
3,250	0,002
3,344	0,002
3,438	0,002
3,531	0,002
3,625	0,002
3,719	0,002
3,813	0,001
3,906	0,001
4,000	0,001

PARAMETRI SISMICI STRUTTURALI

Ubicazione geografica del sito di impianto

longitudine (gradi decimali)	11,71222°
latitudine (gradi decimali)	45,64260°
quota altimetrica (mslm)	46,5
fascia sismogenetica	ITCS007

Pericolosità sismica di base del sito di impianto

categoria di profilo stratigrafico (S)	B
condizioni topografiche medie del sito (T)	T1
accelerazione sismica orizzontale del sito (g)	0,163
accelerazione sismica verticale del sito (g)	0,089

Movimento del terreno/struttura con il sisma

spostamento orizzontale del terreno (cm)	4,2
velocità orizzontale del terreno (cm/s)	12,1
fattore di struttura con bassa duttilità (q_0)	2,5
tensione collegamenti delle fondazioni (kN)	2,3

Coefficienti di intensità sismica sul terreno

accelerazione sismica massima attesa (g)	0,196
coefficiente di terreno orizzontale (Khk)	0,0408
coefficiente di terreno verticale (Kvk)	0,0204
coefficiente totale sulla struttura (Khi)	0,1868

Azione sismica massima di progetto

magnitudo sismica momento (MW)	6,6
distanza minima dall'ipocentro (km)	11,0
intensità macrosismica nel sito (iS)	6,4
tasso di scorrimento crostale (mm/anno)	0,68-0,86

Vibrazione caratteristica del terreno con il sisma

periodo di vibrazione del fabbricato (Hz)	10,5-12
rapporto di ampiezza spettrale (H/V)	2,8-4
periodo di vibrazione fabbricato ad un piano (Hz)	7
periodo di vibrazione due piani con interrato (Hz)	3

**VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER**

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola
G10

PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI DESUNTI
DALLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056

PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI DEL SOTTOSUOLO SUPERFICIALE E PROFONDO	DIN	profondità del letto dal p.c.	resistenza alla punta	NSPT	velocità onde di taglio	modulo di taglio dinamico	densità relativa	angolo di attrito interno	modulo di deformaz. drenato	peso di volume saturo	peso di volume secco	coesione non drenata	modulo di deformaz. drenato	peso di volume saturo	contenuto in acqua	indice dei vuoti	capacità portante (Sanglerat)	stima della permeabilità
	n°	m	Rpd(kg/cm ²)	n°	Vs(m/s)	G(kg/cm ²)	Dr (/)	∅°	E'(kg/cm ²)	Y _{sat} (t/m ³)	Y _{sec} (t/m ³)	C _u (kg/cm ²)	Ed(kg/cm ²)	Y _{sat} (t/m ³)	W(%)	e (-)	Q(kg/cm ²)	k(m/s)
sottosuolo superficiale coltre limoso argillosa bruno rossastra [S1]	1	2,20	29	6	98	50		28				0,38	36	1,85	37	1,00	1,45	
	2	1,40	30	9	102	67		29				0,56	54	1,89	34	0,92	2,16	
	3	2,20	3	3	84	30		27				0,19	18	1,78	44	1,16	0,71	
	4	1,60	8	3	79	30		27				0,19	18	1,78	44	1,19	0,75	
	5	5,60	6	2	92	22		26				0,13	12	1,75	47	1,27	0,34	
	6	2,60	22	3	87	30		27				0,19	18	1,78	44	1,19	0,71	
VALORI MEDI		2,60	16,33	4,33	90,33	38,17		27,33				0,27	26,00	1,81	41,67	1,12	1,02	
VALORI MODALI		2,15	10,00	3,75	90,25	35,00		27,25				0,31	22,50	1,80	42,25	1,14	0,91	
VALORI ADOTTATI		2,00	10	4	90	35		27				0,30	22	1,80	42	1,10	0,90	1,00E-06
sottosuolo superficiale sabbia grossolana sciolta con ghiaia [S2]	1																	
	2																	
	3	3,60	6	14	129	93	41	31	168	1,96	1,53						3,07	
	4	3,60	15	21	139	126	51	33	252	2,00	1,60						4,88	
	5																	
	6																	
VALORI MEDI		3,60	10,50	17,50	134,00	109,50	46,00	32,00	210,00	1,98	1,57						3,98	
VALORI ADOTTATI		3,60	10	17	134,00	110,00	46,00	32,00	210,00	2,00	1,60						4,00	1,00E-04
sottosuolo profondo sabbia ghiaiosa ben addensata [S3]	1	13,0	150	35	180	200	69	37	420	2,07	1,72						7,50	
	2	13,0	200	42	180	240	76	38	420	2,11	1,78						7,60	
	3	12,0	120	34	190	200	67	36	410	2,07	1,72						6,80	
	4	9,0	130	37	208	214	72	37	440	2,08	1,75						7,10	
	5	9,0	150	44	222	248	79	39	528	2,12	1,80						8,14	
	6	11,0	100	28	160	140	65	35	280	2,00	1,60						5,40	
VALORI MEDI		11,17	142	36,67	190,00	207,00	71,33	37,00	416,33	2,08	1,73						7,09	
VALORI MODALI		11,75	150	37,00	189,50	213,50	71,00	37,00	422,50	2,08	1,74						7,25	
VALORI ADOTTATI		11,6	150	37	190	210	71	37	420	2,08	1,74						7,00	5,00E-04

COMUNE DI CITTADELLA
**VERIFICA DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
AMBIENTALE PER UN PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO IN QUARTIERE CÀ CORRER**

Barbi arca studio progetti

PROPRIETÀ ECO-DEM S.r.l.

tavola

G11

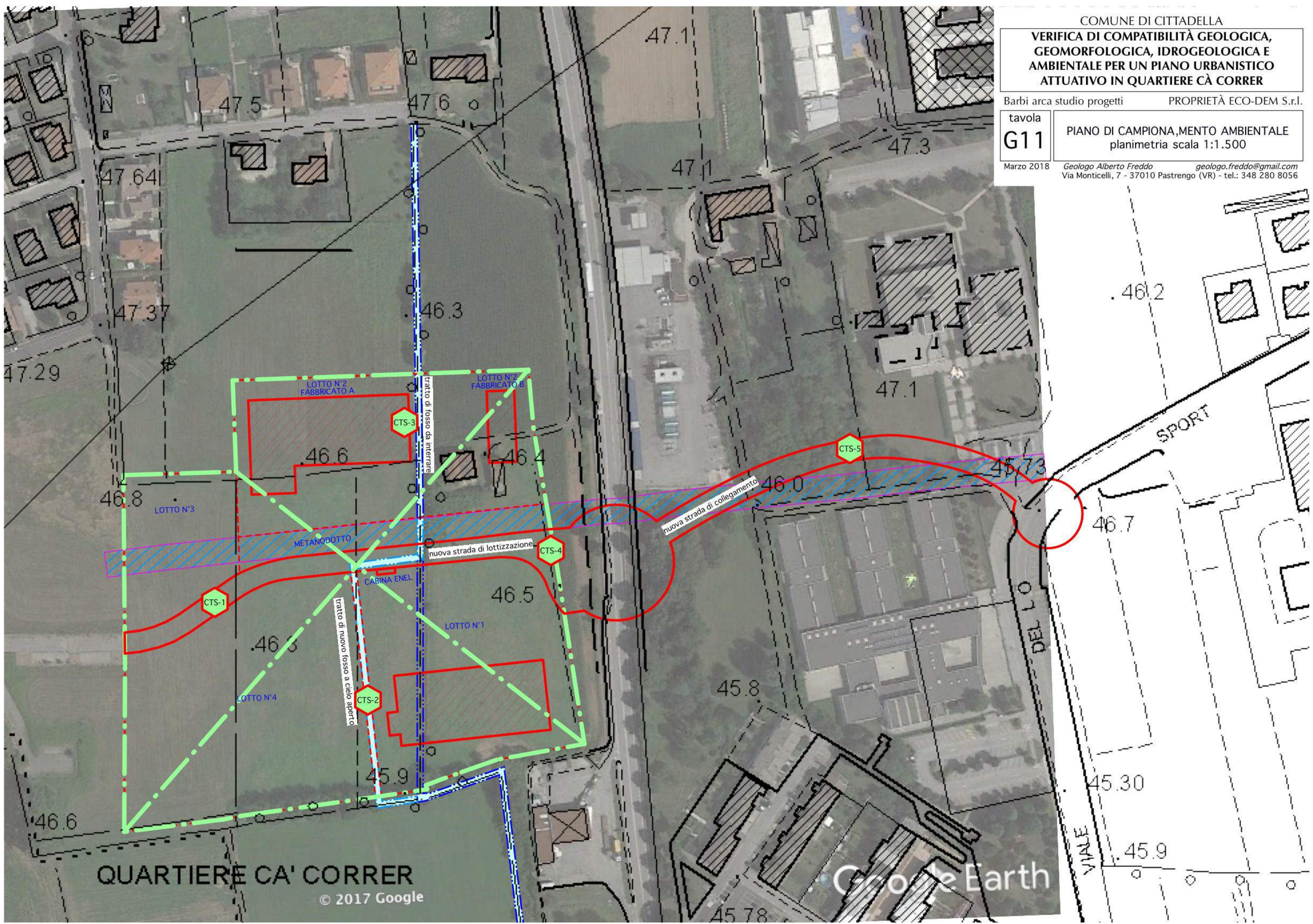
PIANO DI CAMPIONAMENTO AMBIENTALE
planimetria scala 1:1.500

Marzo 2018

Geologo Alberto Freddo

geologo.freddo@gmail.com

Via Monticelli, 7 - 37010 Pastrengo (VR) - tel.: 348 280 8056



Spett.
Geologo Alberto Freddo
 Via Monticelli, 7
 37010 PASTRENGO VR

RAPPORTO DI PROVA 18LA00422

DATI CAMPIONE

Numero ordine: 18-000203

Data di ricevimento: 07/02/2018

Data emissione RDP: 16/02/2018

Matrice: terreni

Dati identificativi: terreno superficiale limoso argilloso con sabbia profondità 0,00 - 0,60 metri. Campione n. 1. Prelievo eseguito presso Quartiere Ca' Correr, Comune di Cittadella PD - Piano Urbanistico Attuativo ditta Eco-dem s.r.l. Data prelievo: 07/02/2018

DATI CAMPIONAMENTO

Campionamento a cura di: Cliente

Note: il campionamento è stato eseguito a cura del Geologo Alberto Freddo, estensore dell'indagine geologica, idrogeologica ed ambientale

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
◦ Residuo secco 105°C	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.2 int. D.M. 25.03.02	% p/p	97.7		07/02	09/02
◦ Frazione granulometrica < 2mm	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.1 int. D.M. 25.03.02	% p/p	97.0		07/02	09/02
Composti inorganici:						
Arsenico	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	18.6	20	07/02	09/02
Cadmio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.5	2	07/02	09/02
Cobalto	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	7.3	20	07/02	09/02
Cromo totale	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	19.6	150	07/02	09/02
◦ Cromo esavalente (VI)	CNR IRSA 16 Q.64 Vol.3 1986	mg/Kg s.s.	< 0.1	2	07/02	09/02
Mercurio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.1	1	07/02	09/02
Nichel	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	13.5	120	07/02	09/02
Piombo	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	38.0	100	07/02	09/02
Rame	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	69.8	120	07/02	09/02

Segue rapporto di prova 18LA00422

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
Zinco	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	76.1	150	07/02	09/02
Idrocarburi:						
Idrocarburi C maggiore di 12	UNI EN ISO 16703:2011	mg/Kg s.s.	< 10	50	07/02	09/02

(°): prova non accreditata da ACCREDIA

(#): Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Giudizio: i parametri determinati rientrano nei limiti di riferimento riportati nella Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Note al Rapporto di Prova: analisi eseguite sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm e valori riferiti alla totalità dei materiali secchi, comprensivi dello scheletro, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V del D. Legislativo 152/2006

I risultati contenuti nel presente rapporto di prova sono riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova/e. E' vietata la riproduzione parziale del presente rapporto, salvo autorizzazione scritta della VeronaLab s.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott.ssa Valentina Caliarì



Spett.
Geologo Alberto Freddo
Via Monticelli, 7
37010 PASTRENGO VR

RAPPORTO DI PROVA 18LA00423

DATI CAMPIONE

Numero ordine: 18-000203

Data di ricevimento: 07/02/2018

Data emissione RDP: 16/02/2018

Matrice: terreni

Dati identificativi: terreno superficiale limoso argilloso con sabbia profondità 0,00 - 0,60 metri. Campione n. 2. Prelievo eseguito presso Quartiere Ca' Correr, Comune di Cittadella PD - Piano Urbanistico Attuativo ditta Eco-dem s.r.l. Data prelievo: 07/02/2018

DATI CAMPIONAMENTO

Campionamento a cura di: Cliente

Note: il campionamento è stato eseguito a cura del Geologo Alberto Freddo, estensore dell'indagine geologica, idrogeologica ed ambientale

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
◦ Residuo secco 105°C	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.2 int. D.M. 25.03.02	% p/p	96.5		07/02	09/02
◦ Frazione granulometrica < 2mm	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.1 int. D.M. 25.03.02	% p/p	92.6		07/02	09/02
Composti inorganici:						
Arsenico	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	18.9	20	07/02	09/02
Cadmio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.5	2	07/02	09/02
Cobalto	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	7.3	20	07/02	09/02
Cromo totale	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	16.8	150	07/02	09/02
◦ Cromo esavalente (VI)	CNR IRSA 16 Q.64 Vol.3 1986	mg/Kg s.s.	< 0.1	2	07/02	09/02
Mercurio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.1	1	07/02	09/02
Nichel	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	14.2	120	07/02	09/02
Piombo	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	36.9	100	07/02	09/02
Rame	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	28.2	120	07/02	09/02

Segue rapporto di prova 18LA00423

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#)</u> <u>massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
Zinco	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	70.6	150	07/02	09/02
Idrocarburi:						
Idrocarburi C maggiore di 12	UNI EN ISO 16703:2011	mg/Kg s.s.	22.3	50	07/02	09/02

(°): prova non accreditata da ACCREDIA

(#): Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Giudizio: i parametri determinati rientrano nei limiti di riferimento riportati nella Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Note al Rapporto di Prova: analisi eseguite sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm e valori riferiti alla totalità dei materiali secchi, comprensivi dello scheletro, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V del D. Legislativo 152/2006

I risultati contenuti nel presente rapporto di prova sono riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova/e. E' vietata la riproduzione parziale del presente rapporto, salvo autorizzazione scritta della VeronaLab s.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott.ssa Valentina Caliarì



Spett.
Geologo Alberto Freddo
Via Monticelli, 7
37010 PASTRENGO VR

RAPPORTO DI PROVA 18LA00424

DATI CAMPIONE

Numero ordine: 18-000203

Data di ricevimento: 07/02/2018

Data emissione RDP: 16/02/2018

Matrice: terreni

Dati identificativi: terreno superficiale limoso argilloso con sabbia profondità 0,00 - 0,60 metri. Campione n. 3. Prelievo eseguito presso Quartiere Ca' Correr, Comune di Cittadella PD - Piano Urbanistico Attuativo ditta Eco-dem s.r.l. Data prelievo: 07/02/2018

DATI CAMPIONAMENTO

Campionamento a cura di: Cliente

Note: il campionamento è stato eseguito a cura del Geologo Alberto Freddo, estensore dell'indagine geologica, idrogeologica ed ambientale

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
◦ Residuo secco 105°C	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.2 int. D.M. 25.03.02	% p/p	98.9		07/02	09/02
◦ Frazione granulometrica < 2mm	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.1 int. D.M. 25.03.02	% p/p	88.5		07/02	09/02
Composti inorganici:						
Arsenico	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	15.1	20	07/02	09/02
Cadmio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.5	2	07/02	09/02
Cobalto	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	6.1	20	07/02	09/02
Cromo totale	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	14.4	150	07/02	09/02
◦ Cromo esavalente (VI)	CNR IRSA 16 Q.64 Vol.3 1986	mg/Kg s.s.	< 0.1	2	07/02	08/02
Mercurio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.1	1	07/02	09/02
Nichel	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	11.9	120	07/02	09/02
Piombo	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	26.2	100	07/02	09/02
Rame	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	48.5	120	07/02	09/02

Segue rapporto di prova 18LA00424

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
Zinco	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	57.8	150	07/02	09/02
Idrocarburi:						
Idrocarburi C maggiore di 12	UNI EN ISO 16703:2011	mg/Kg s.s.	< 10	50	07/02	09/02

(°): prova non accreditata da ACCREDIA

(#): Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Giudizio: i parametri determinati rientrano nei limiti di riferimento riportati nella Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Note al Rapporto di Prova: analisi eseguite sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm e valori riferiti alla totalità dei materiali secchi, comprensivi dello scheletro, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V del D. Legislativo 152/2006

I risultati contenuti nel presente rapporto di prova sono riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova/e. E' vietata la riproduzione parziale del presente rapporto, salvo autorizzazione scritta della VeronaLab s.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott.ssa Valentina Caliarì




Spett.
Geologo Alberto Freddo
Via Monticelli, 7
37010 PASTRENGO VR

RAPPORTO DI PROVA 18LA00425

DATI CAMPIONE

Numero ordine: 18-000203

Data di ricevimento: 07/02/2018

Data emissione RDP: 16/02/2018

Matrice: terreni

Dati identificativi: terreno superficiale limoso argilloso con sabbia profondità 0,00 - 0,60 metri. Campione n. 4. Prelievo eseguito presso Quartiere Ca' Correr, Comune di Cittadella PD - Piano Urbanistico Attuativo ditta Eco-dem s.r.l. Data prelievo: 07/02/2018

DATI CAMPIONAMENTO

Campionamento a cura di: Cliente

Note: il campionamento è stato eseguito a cura del Geologo Alberto Freddo, estensore dell'indagine geologica, idrogeologica ed ambientale

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
◦ Residuo secco 105°C	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.2 int. D.M. 25.03.02	% p/p	98.8		07/02	09/02
◦ Frazione granulometrica < 2mm	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.1 int. D.M. 25.03.02	% p/p	98.8		07/02	09/02
Composti inorganici:						
Arsenico	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	15.8	20	07/02	09/02
Cadmio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.5	2	07/02	09/02
Cobalto	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	6.2	20	07/02	09/02
Cromo totale	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	14.9	150	07/02	09/02
◦ Cromo esavalente (VI)	CNR IRSA 16 Q.64 Vol.3 1986	mg/Kg s.s.	< 0.1	2	07/02	08/02
Mercurio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.1	1	07/02	09/02
Nichel	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	12.4	120	07/02	09/02
Piombo	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	19.1	100	07/02	09/02
Rame	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	24.0	120	07/02	09/02

Segue rapporto di prova 18LA00425

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
Zinco	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	55.4	150	07/02	09/02
Idrocarburi:						
Idrocarburi C maggiore di 12	UNI EN ISO 16703:2011	mg/Kg s.s.	< 10	50	07/02	09/02

(°): prova non accreditata da ACCREDIA

(#): Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Giudizio: i parametri determinati rientrano nei limiti di riferimento riportati nella Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Note al Rapporto di Prova: analisi eseguite sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm e valori riferiti alla totalità dei materiali secchi, comprensivi dello scheletro, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V del D. Legislativo 152/2006

I risultati contenuti nel presente rapporto di prova sono riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova/e. E' vietata la riproduzione parziale del presente rapporto, salvo autorizzazione scritta della VeronaLab s.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott.ssa Valentina Caliarì




Spett.
Geologo Alberto Freddo
Via Monticelli, 7
37010 PASTRENGO VR

RAPPORTO DI PROVA 18LA00426

DATI CAMPIONE

Numero ordine: 18-000203

Data di ricevimento: 07/02/2018

Data emissione RDP: 16/02/2018

Matrice: terreni

Dati identificativi: terreno superficiale limoso argilloso con sabbia profondità 0,00 - 0,60 metri. Campione n. 5. Prelievo eseguito presso Quartiere Ca' Correr, Comune di Cittadella PD - Piano Urbanistico Attuativo ditta Eco-dem s.r.l. Data prelievo: 07/02/2018

DATI CAMPIONAMENTO

Campionamento a cura di: Cliente

Note: il campionamento è stato eseguito a cura del Geologo Alberto Freddo, estensore dell'indagine geologica, idrogeologica ed ambientale

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
◦ Residuo secco 105°C	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.2 int. D.M. 25.03.02	% p/p	98.8		07/02	09/02
◦ Frazione granulometrica < 2mm	D.M. 13.09.99 GU 248 21/10/99 met.II.1 int. D.M. 25.03.02	% p/p	81.0		07/02	09/02
Composti inorganici:						
Arsenico	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	15.3	20	07/02	09/02
Cadmio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.5	2	07/02	09/02
Cobalto	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	6.1	20	07/02	09/02
Cromo totale	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	15.5	150	07/02	09/02
◦ Cromo esavalente (VI)	CNR IRSA 16 Q.64 Vol.3 1986	mg/Kg s.s.	< 0.1	2	07/02	08/02
Mercurio	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	< 0.1	1	07/02	09/02
Nichel	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	12.5	120	07/02	09/02
Piombo	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	27.0	100	07/02	09/02
Rame	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	28.9	120	07/02	09/02

Segue rapporto di prova 18LA00426

RISULTATI ANALITICI

<u>Prova</u>	<u>Metodo di prova</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>	<u>Limite (#) massimo</u>	<u>Inizio</u>	<u>Fine</u>
Zinco	UNI EN 16173:2012 + UNI EN 16170:2016	mg/Kg s.s.	62.7	150	07/02	09/02
Idrocarburi:						
Idrocarburi C maggiore di 12	UNI EN ISO 16703:2011	mg/Kg s.s.	< 10	50	07/02	09/02

(°): prova non accreditata da ACCREDIA

(#): Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Giudizio: i parametri determinati rientrano nei limiti di riferimento riportati nella Colonna A, Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V alla Parte Quarta del Decreto Legislativo 152/2006

Note al Rapporto di Prova: analisi eseguite sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm e valori riferiti alla totalità dei materiali secchi, comprensivi dello scheletro, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V del D. Legislativo 152/2006

I risultati contenuti nel presente rapporto di prova sono riferiti esclusivamente al campione sottoposto a prova/e. E' vietata la riproduzione parziale del presente rapporto, salvo autorizzazione scritta della VeronaLab s.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott.ssa Valentina Caliarì






REGIONE DEL VENETO

Provincia di Padova



Indagine geofisica con metodi Re.Mi. e H.V.S.R. per la caratterizzazione sismica dei terreni secondo la normativa vigente (N.T.C. - D.M. 14 gennaio 2008)

Loc. Borgo Vicenza, Via Galileo Galilei
Comune di Cittadella (VR)

Committente:
Dott. Geol. Alberto Freddo

Data: gennaio 2018





STUDIOSISMA srl
Via Biron, 102/5 - 36050 Monteviale (VI)
Tel/Fax. 0444/962532 Cell. +39 349/0567455
Mail: info@studiosisma.com
C.F. e P.IVA 03797510249

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	5
2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	7
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	8
4.	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	9
4.1	Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	9
4.2	Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - MISURA n° 1	10
4.3	Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - MISURA n° 2	11
4.4	Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)	12
4.5	Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008	13

ALLEGATO

-  Indagine sismica Re.Mi. n.1 e H.V.S.R. n.1
-  Indagine sismica Re.Mi. n.2 e H.V.S.R. n.2

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Responsabile di Progetto	Autori	Collaboratori
Matteo Collareda	Matteo Collareda	Laura Guerra

1. PREMESSE

Il giorno 16 gennaio 2018 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica all'interno di Via Galileo Galilei in Loc. Borgo Vicenza nel Comune di Cittadella (PD), su incarico del Dr. Geol. Alberto Freddo. Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono stati utilizzati i metodi di prospezione sismica **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**, due metodologie che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale. Inoltre, la tecnica di Nakamura (HVSr) permette di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, indispensabili per una corretta progettazione antisismica. In particolare, sono state effettuate:

- **n°2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppate in array lineari con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione (Vs,30) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*);
- **n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n°1 - Estratto di ortofoto*).

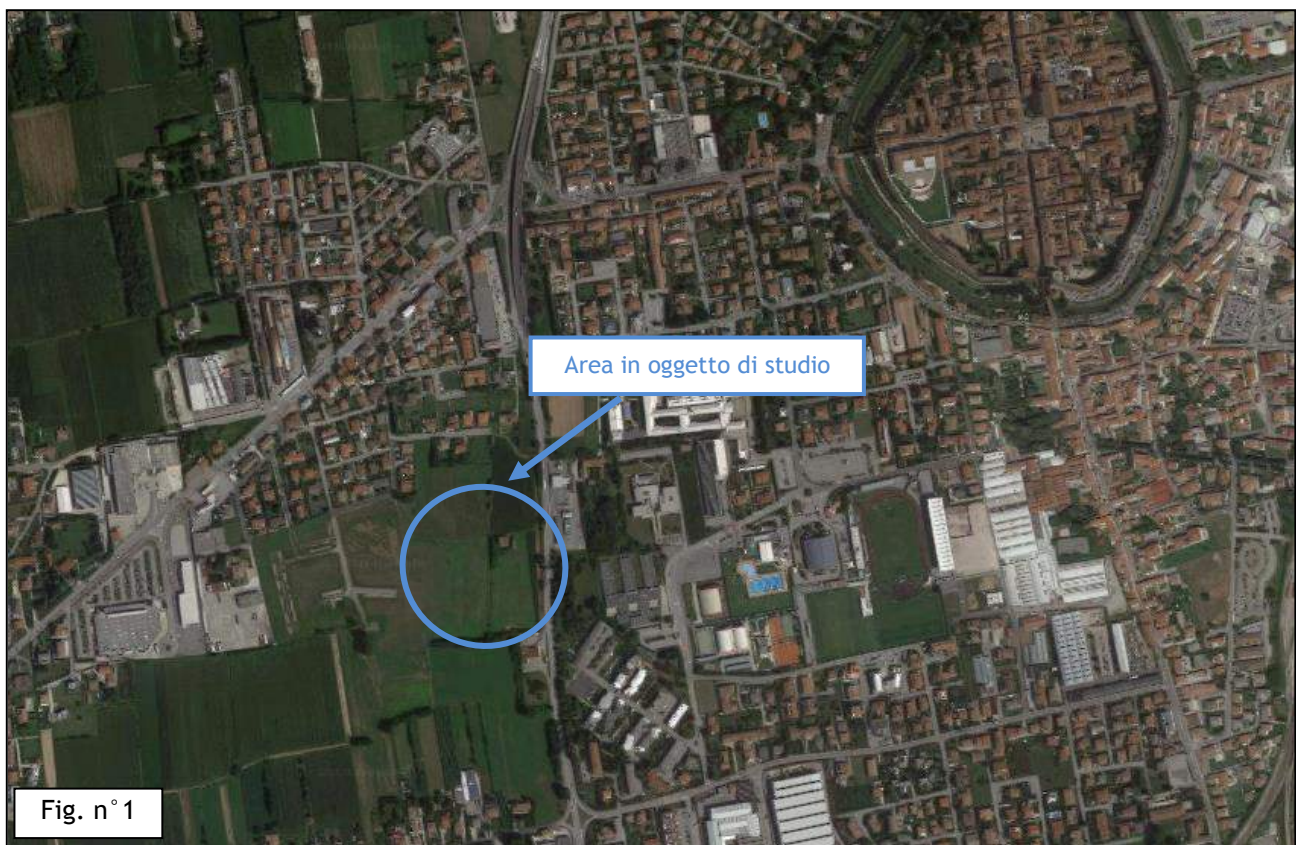


Fig. n° 1 - Estratto di ortofoto

L'ubicazione dell'area è stata ottenuta, secondo i Datum WGS 84 e ED 50, utilizzando un posizionatore GPS: le coordinate ottenute sono specificate nella tabella sottostante. Nella figura seguente (*Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Misure	Latitudine	Longitudine
N° 1	45,64321° N (WGS 84)	11,77227° E (WGS 84)
	45,644116° N (ED 50)	11,77327° E (ED 50)

N° 2	45,64190° N (WGS 84)	11,77359 E (WGS 84)
	45,642806° N (ED 50)	11,774593° E (ED 50)

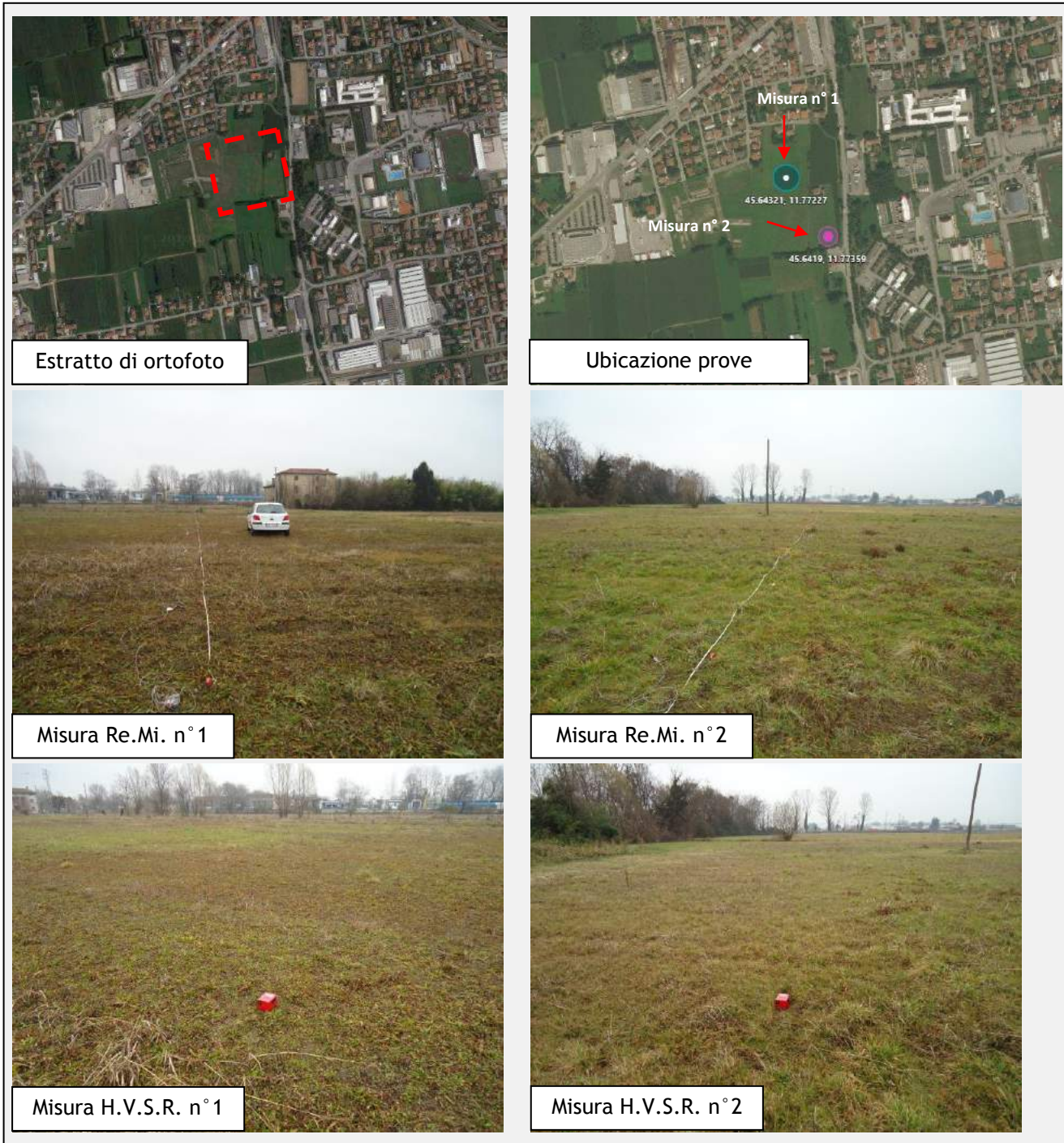


Fig. n° 2 - Ubicazione prove in sito

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.



Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.7.0 beta release 2017](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza di ogni profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

- Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);
- hi = spessore dello strato i - esimo [m];
- vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

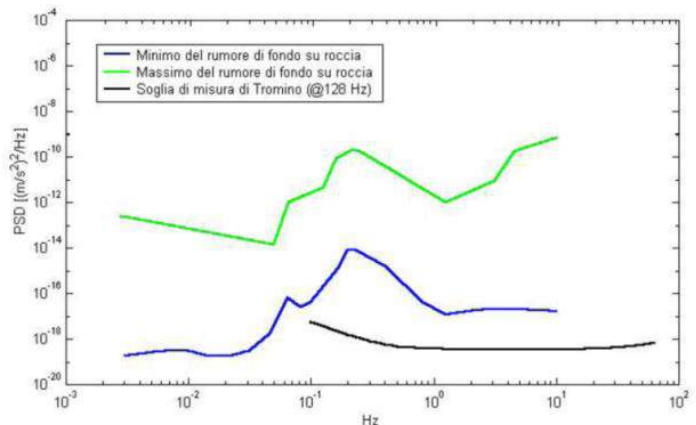
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed S.r.L modello "Tromino ENGY PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno una terna velocimetrica con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n° 193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n° 1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n° 64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n° 3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n° 3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “*doppia risonanza*”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

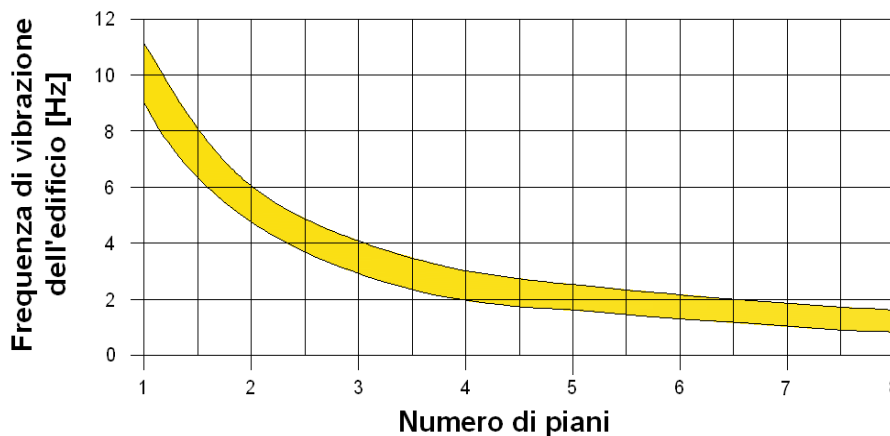


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

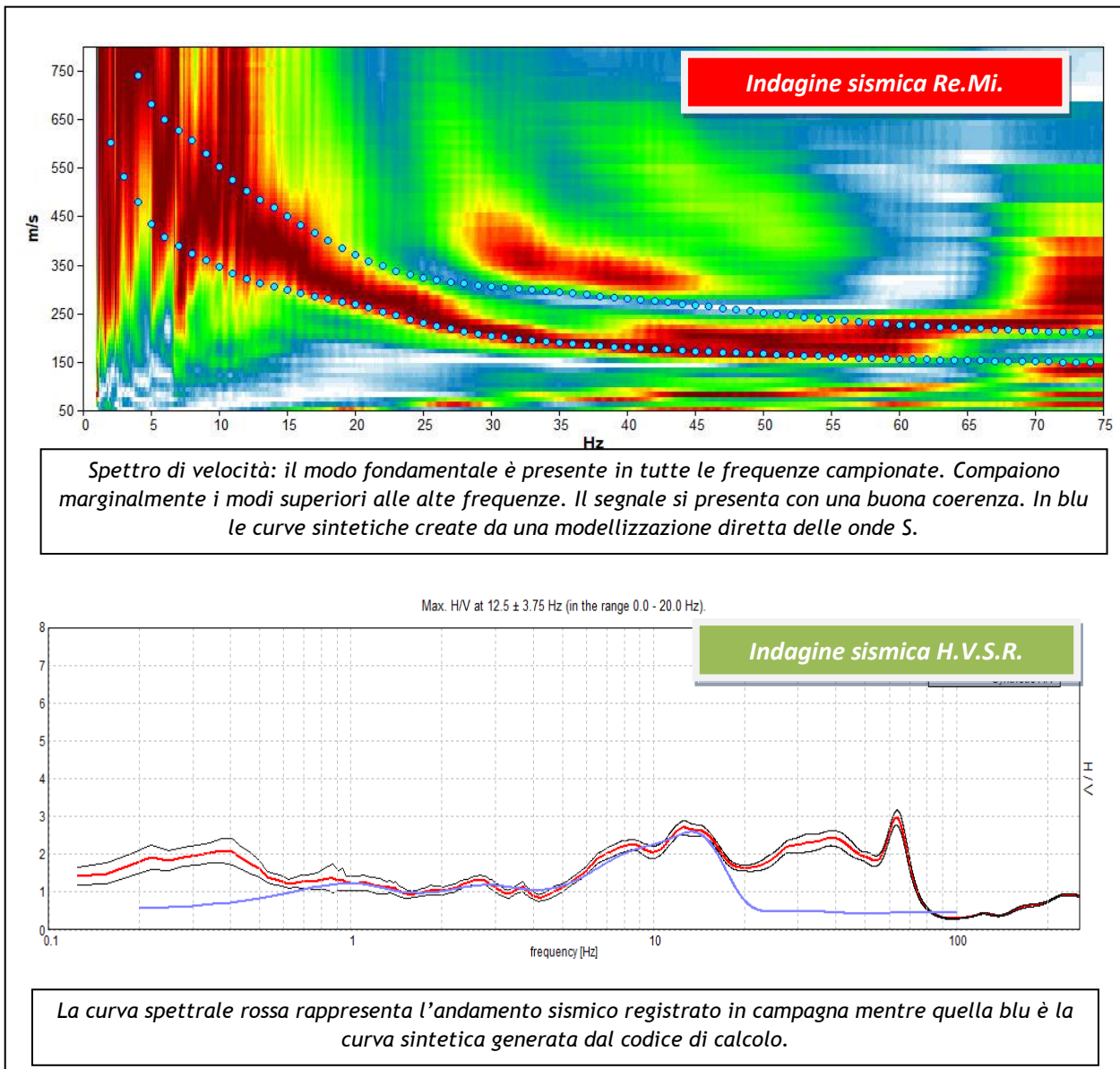
4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

L'attendibilità dei modelli sismo-stratigrafici desunti è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

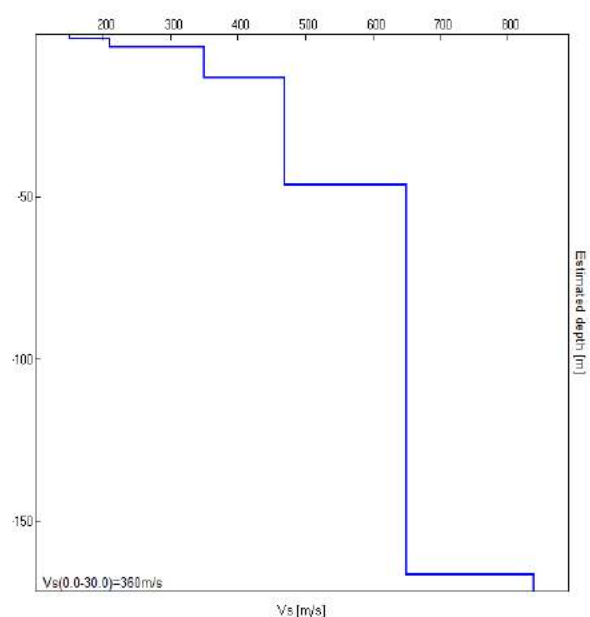
4.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - **MISURA n° 1**



La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 1,3 m dal p.c. locale caratterizzato da una Vs di circa 150 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs di circa 210 - 350 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Si riscontra un ulteriore incremento della velocità di propagazione delle onde S a circa 13 m dal p.c. locale ($V_s \approx 460$ m/s) e a circa 46 m dal p.c. locale ($V_s \approx 650$ m/s).

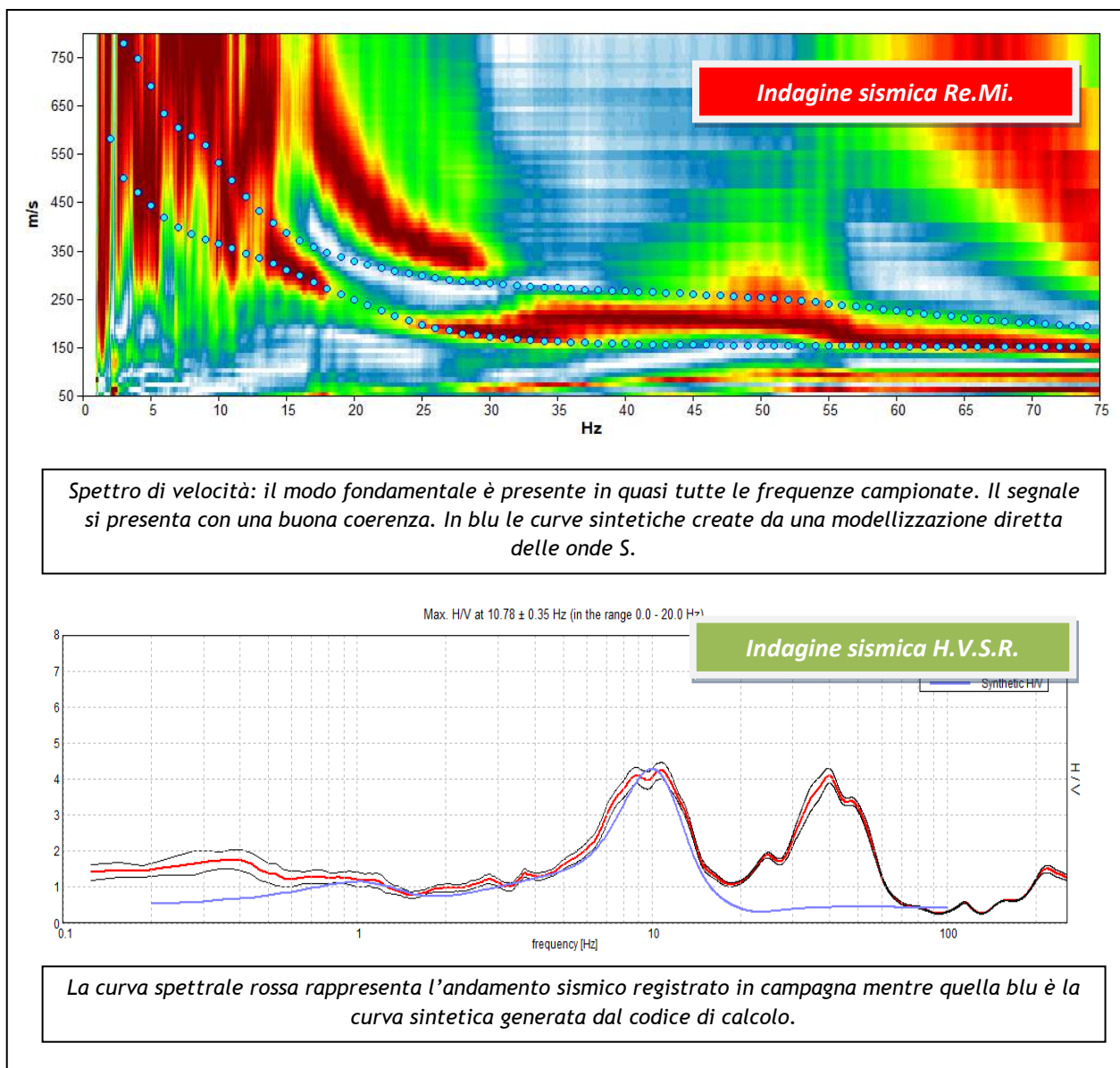
Infine, il materiale che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* ($V_s \approx 840$ m/s) è individuabile a ≈ 166 m dal p.c. locale.



Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	1,3	0,0 - 1,3
II SISMOSTRATO	210	2,5	1,3 - 3,8
III SISMOSTRATO	350	9,5	3,8 - ≈13
IV SISMOSTRATO	470	33	≈13 - ≈46
V SISMOSTRATO	650	120	≈46 - ≈166
VI SISMOSTRATO	840	Semisp.	≈166 - Semisp.

4.3 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - MISURA n° 2

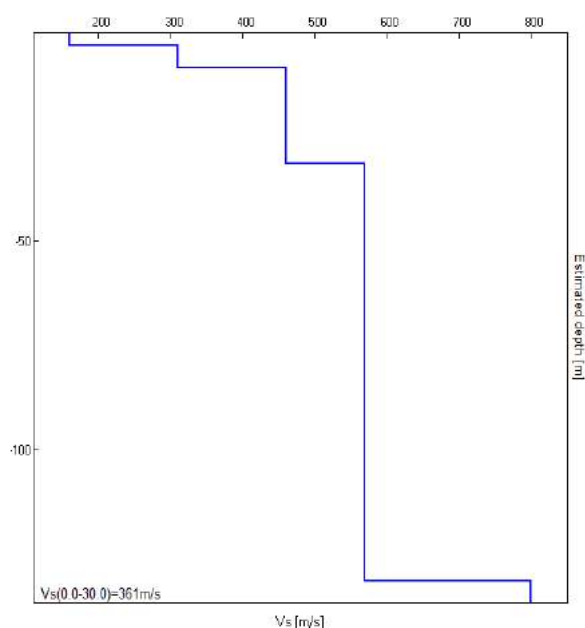


La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 3 m dal p.c. locale caratterizzato da una V_s di circa 160 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con V_s di circa 310 m/s (vedi *modello sismo - stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).

Si riscontra un ulteriore incremento della velocità di propagazione delle onde S a circa 8,4 m dal p.c. locale ($V_s \approx 460$ m/s) e a circa 31 m dal p.c. locale ($V_s \approx 570$ m/s).

Infine, il materiale che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* ($V_s \approx 800$ m/s) è individuabile a ≈ 131 m dal p.c. locale.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):



Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	3	0,0 - 3,0
II SISMOSTRATO	310	5,4	3,0 - 8,4
III SISMOSTRATO	460	23	8,4 - ≈ 31
IV SISMOSTRATO	570	100	≈ 31 - ≈ 131
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈ 131 - Semisp.

4.4 Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

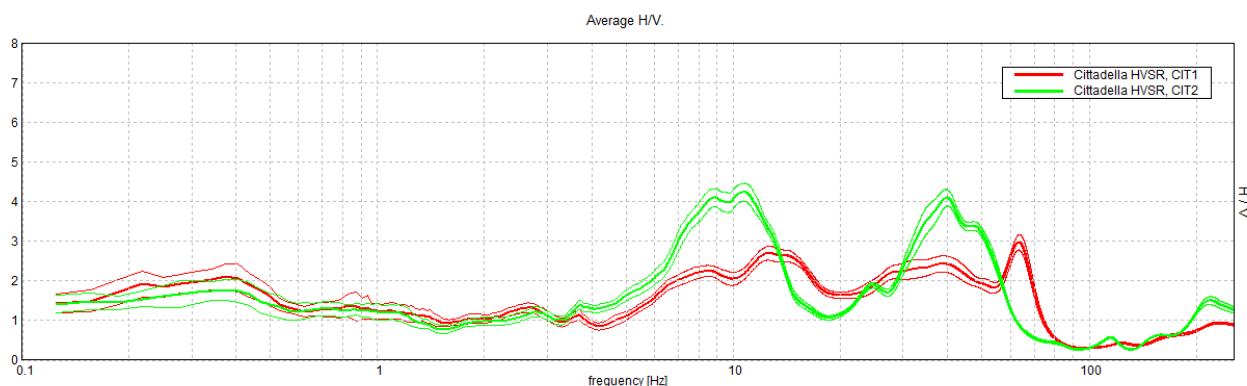
Le misura H.V.S.R. effettuate nei due siti sono state sovrapposte tra loro nell'immagine seguente (la linea rossa corrisponde alla misura n° 1; la linea verde alla misura n° 2).

Si evince che la frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale, per l'HVSR n° 1 è di circa 12 Hz con ampiezza $H/V \approx 2,8$, mentre per l'HVSR n° 2 risulta di circa 10,5 Hz con ampiezza del picco H/V di 4. Inoltre, si evidenzia che per frequenze minori di 5 Hz, le due registrazioni sono perfettamente sovrapponibili, indicando una omogeneità sismo-stratigrafica nei livelli più profondi.

Si ritiene importante segnalare che i rapporti H/V registrati sono tali da ipotizzare amplificazioni del moto sismico in superficie. Si ricorda che, in base al progetto [SESAME](#) che di fatto fornisce le linee guida per

misure sismiche HVSR, il rapporto sotto il quale non si devono considerare le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali è fissato a 2 (nel nostro caso l'ampiezza è maggiore di 4 nella misura n.2)

Si consiglia pertanto di porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno.



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

4.5 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire tali categorie, il D.M. 14/01/08 prevede, il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa di fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per eventuali fondazioni indirette, dal piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o dalla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)

E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s,30} > 800$ m/s)
----------	---

Esistono poi due categorie speciali di sottosuolo, che sono quelle denominate dalle sigle S1 e S2, per le quali le NTC08 richiedono che l'azione sismica sia definita tramite il ricorso a studi speciali. Per queste categorie di sottosuolo non è quindi possibile utilizzare l'approccio semplificato basato sul coefficiente di amplificazione stratigrafica.

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione , di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

Dall'indagine sismica effettuata è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008). A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ ipotizzando varie profondità per i due siti indagati:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$ (Misura n° 1)	$V_{s,30}$ (Misura n° 12)
0 m dal p.c.	$V_s(0 - 30) \approx 360$ m/s	$V_s(0 - 30) \approx 361$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s(1 - 31) \approx 381$ m/s	$V_s(1 - 31) \approx 380$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s(2 - 32) \approx 397$ m/s	$V_s(2 - 32) \approx 401$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s(3 - 33) \approx 412$ m/s	$V_s(3 - 33) \approx 427$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento di entrambi i siti d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata B**, così definita:

Categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di V_s ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Monteviale, gennaio 2018


STUDIOSISMA srl
 Via Biron, 102/5 - 36050 Monteviale (VI)
 Tel/Fax. 0444/962532 Cell. +39 349/0567455
 Mail: info@studiosisma.com
 C.F. e P.IVA 03797510249

ALLEGATO

✚ Indagine sismica Re.Mi. n.1 e H.V.S.R. n.1

✚ Indagine sismica Re.Mi. n.2 e H.V.S.R. n.2

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 - 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 - 30.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ [SESAME Project](#): "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DPSH

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DPSH

MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	Ms = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,0000 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
MASSA ASTE PER METRO	Ma = 6,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO

RENDIMENTO SPECIFICO x COLPOQ = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm² (prova SPT : Qspt = 7,83 kg/cm²)
 COEFF.TEORICO RENDIMENTO $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : Nspt = $\beta_t N$)

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

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

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
 e = infissione per colpo = δ / N

M = massa battente (altezza caduta H)
 P = massa totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa \approx 0,1 MPa
 1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
 1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	2,20 - 2,40	16	108,5	3
0,20 - 0,40	1	7,6	1	2,40 - 2,60	19	128,8	3
0,40 - 0,60	5	38,0	1	2,60 - 2,80	29	196,6	3
0,60 - 0,80	4	30,4	1	2,80 - 3,00	32	205,9	4
0,80 - 1,00	3	21,5	2	3,00 - 3,20	28	180,2	4
1,00 - 1,20	7	50,2	2	3,20 - 3,40	30	193,0	4
1,20 - 1,40	5	35,8	2	3,40 - 3,60	28	180,2	4
1,40 - 1,60	4	28,7	2	3,60 - 3,80	25	160,9	4
1,60 - 1,80	4	28,7	2	3,80 - 4,00	22	134,7	5
1,80 - 2,00	3	20,3	3	4,00 - 4,20	33	202,0	5
2,00 - 2,20	3	20,3	3	4,20 - 4,40	42	257,1	5

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	1,60 - 1,80	29	207,8	2
0,20 - 0,40	1	7,6	1	1,80 - 2,00	22	149,2	3
0,40 - 0,60	2	15,2	1	2,00 - 2,20	24	162,7	3
0,60 - 0,80	2	15,2	1	2,20 - 2,40	32	217,0	3
0,80 - 1,00	6	43,0	2	2,40 - 2,60	30	203,4	3
1,00 - 1,20	6	43,0	2	2,60 - 2,80	34	230,5	3
1,20 - 1,40	7	50,2	2	2,80 - 3,00	36	231,6	4
1,40 - 1,60	14	100,3	2	3,00 - 3,20	40	257,4	4

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	3,00 - 3,20	4	25,7	4
0,20 - 0,40	1	7,6	1	3,20 - 3,40	5	32,2	4
0,40 - 0,60	2	15,2	1	3,40 - 3,60	8	51,5	4
0,60 - 0,80	2	15,2	1	3,60 - 3,80	34	218,8	4
0,80 - 1,00	2	14,3	2	3,80 - 4,00	40	244,9	5
1,00 - 1,20	2	14,3	2	4,00 - 4,20	33	202,0	5
1,20 - 1,40	4	28,7	2	4,20 - 4,40	25	153,0	5
1,40 - 1,60	4	28,7	2	4,40 - 4,60	26	159,2	5
1,60 - 1,80	4	28,7	2	4,60 - 4,80	22	134,7	5
1,80 - 2,00	2	13,6	3	4,80 - 5,00	19	110,9	6
2,00 - 2,20	3	20,3	3	5,00 - 5,20	14	81,7	6
2,20 - 2,40	11	74,6	3	5,20 - 5,40	13	75,9	6
2,40 - 2,60	8	54,2	3	5,40 - 5,60	12	70,1	6
2,60 - 2,80	9	61,0	3	5,60 - 5,80	15	87,6	6
2,80 - 3,00	4	25,7	4				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 4

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	3,40 - 3,60	7	45,0	4
0,20 - 0,40	1	7,6	1	3,60 - 3,80	23	148,0	4
0,40 - 0,60	2	15,2	1	3,80 - 4,00	44	269,4	5
0,60 - 0,80	2	15,2	1	4,00 - 4,20	34	208,1	5
0,80 - 1,00	1	7,2	2	4,20 - 4,40	32	195,9	5
1,00 - 1,20	1	7,2	2	4,40 - 4,60	30	183,7	5
1,20 - 1,40	1	7,2	2	4,60 - 4,80	20	122,4	5
1,40 - 1,60	4	28,7	2	4,80 - 5,00	17	99,2	6
1,60 - 1,80	9	64,5	2	5,00 - 5,20	18	105,1	6
1,80 - 2,00	16	108,5	3	5,20 - 5,40	15	87,6	6
2,00 - 2,20	16	108,5	3	5,40 - 5,60	15	87,6	6
2,20 - 2,40	13	88,1	3	5,60 - 5,80	18	105,1	6
2,40 - 2,60	19	128,8	3	5,80 - 6,00	21	117,2	7
2,60 - 2,80	20	135,6	3	6,00 - 6,20	26	145,1	7
2,80 - 3,00	15	96,5	4	6,20 - 6,40	24	133,9	7
3,00 - 3,20	12	77,2	4	6,40 - 6,60	23	128,3	7
3,20 - 3,40	13	83,6	4	6,60 - 6,80	34	189,7	7

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 5

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	3,40 - 3,60	1	6,4	4
0,20 - 0,40	1	7,6	1	3,60 - 3,80	1	6,4	4
0,40 - 0,60	1	7,6	1	3,80 - 4,00	1	6,1	5
0,60 - 0,80	1	7,6	1	4,00 - 4,20	1	6,1	5
0,80 - 1,00	1	7,2	2	4,20 - 4,40	1	6,1	5
1,00 - 1,20	1	7,2	2	4,40 - 4,60	2	12,2	5
1,20 - 1,40	2	14,3	2	4,60 - 4,80	1	6,1	5
1,40 - 1,60	2	14,3	2	4,80 - 5,00	1	5,8	6
1,60 - 1,80	1	7,2	2	5,00 - 5,20	5	29,2	6
1,80 - 2,00	2	13,6	3	5,20 - 5,40	7	40,9	6
2,00 - 2,20	1	6,8	3	5,40 - 5,60	5	29,2	6
2,20 - 2,40	1	6,8	3	5,60 - 5,80	18	105,1	6
2,40 - 2,60	2	13,6	3	5,80 - 6,00	26	145,1	7
2,60 - 2,80	1	6,8	3	6,00 - 6,20	27	150,7	7
2,80 - 3,00	1	6,4	4	6,20 - 6,40	34	189,7	7
3,00 - 3,20	1	6,4	4	6,40 - 6,60	41	228,8	7
3,20 - 3,40	1	6,4	4				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

DIN 6

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note :

- pagina n°:

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,20	1	7,6	1	4,00 - 4,20	14	85,7	5
0,20 - 0,40	1	7,6	1	4,20 - 4,40	9	55,1	5
0,40 - 0,60	2	15,2	1	4,40 - 4,60	6	36,7	5
0,60 - 0,80	3	22,8	1	4,60 - 4,80	8	49,0	5
0,80 - 1,00	1	7,2	2	4,80 - 5,00	7	40,9	6
1,00 - 1,20	1	7,2	2	5,00 - 5,20	8	46,7	6
1,20 - 1,40	2	14,3	2	5,20 - 5,40	9	52,5	6
1,40 - 1,60	3	21,5	2	5,40 - 5,60	7	40,9	6
1,60 - 1,80	4	28,7	2	5,60 - 5,80	8	46,7	6
1,80 - 2,00	3	20,3	3	5,80 - 6,00	15	83,7	7
2,00 - 2,20	3	20,3	3	6,00 - 6,20	31	173,0	7
2,20 - 2,40	4	27,1	3	6,20 - 6,40	22	122,8	7
2,40 - 2,60	3	20,3	3	6,40 - 6,60	19	106,0	7
2,60 - 2,80	19	128,8	3	6,60 - 6,80	14	78,1	7
2,80 - 3,00	20	128,7	4	6,80 - 7,00	16	85,5	8
3,00 - 3,20	20	128,7	4	7,00 - 7,20	22	117,5	8
3,20 - 3,40	26	167,3	4	7,20 - 7,40	32	171,0	8
3,40 - 3,60	26	167,3	4	7,40 - 7,60	29	154,9	8
3,60 - 3,80	26	167,3	4	7,60 - 7,80	20	106,9	8
3,80 - 4,00	23	140,8	5				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

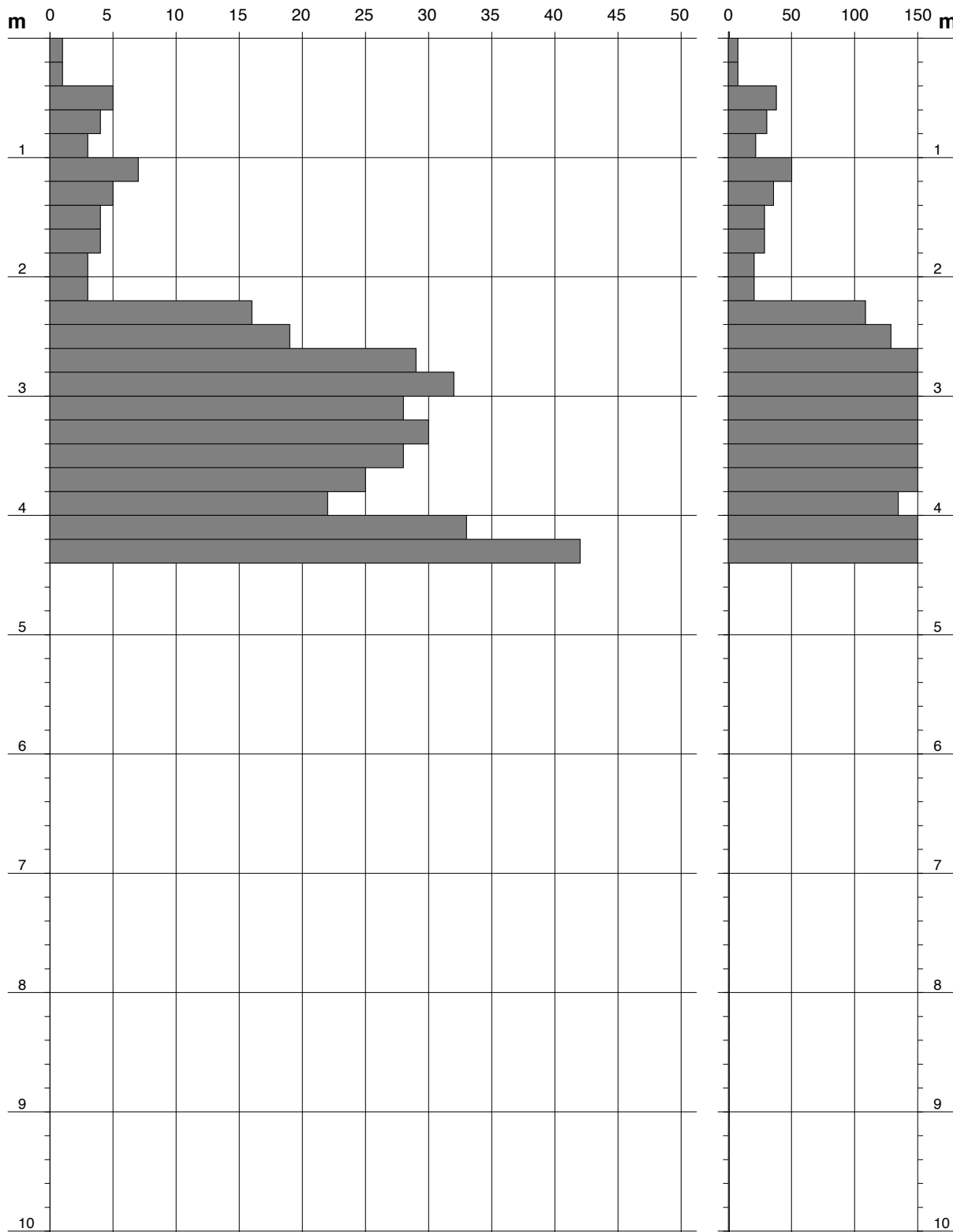
- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

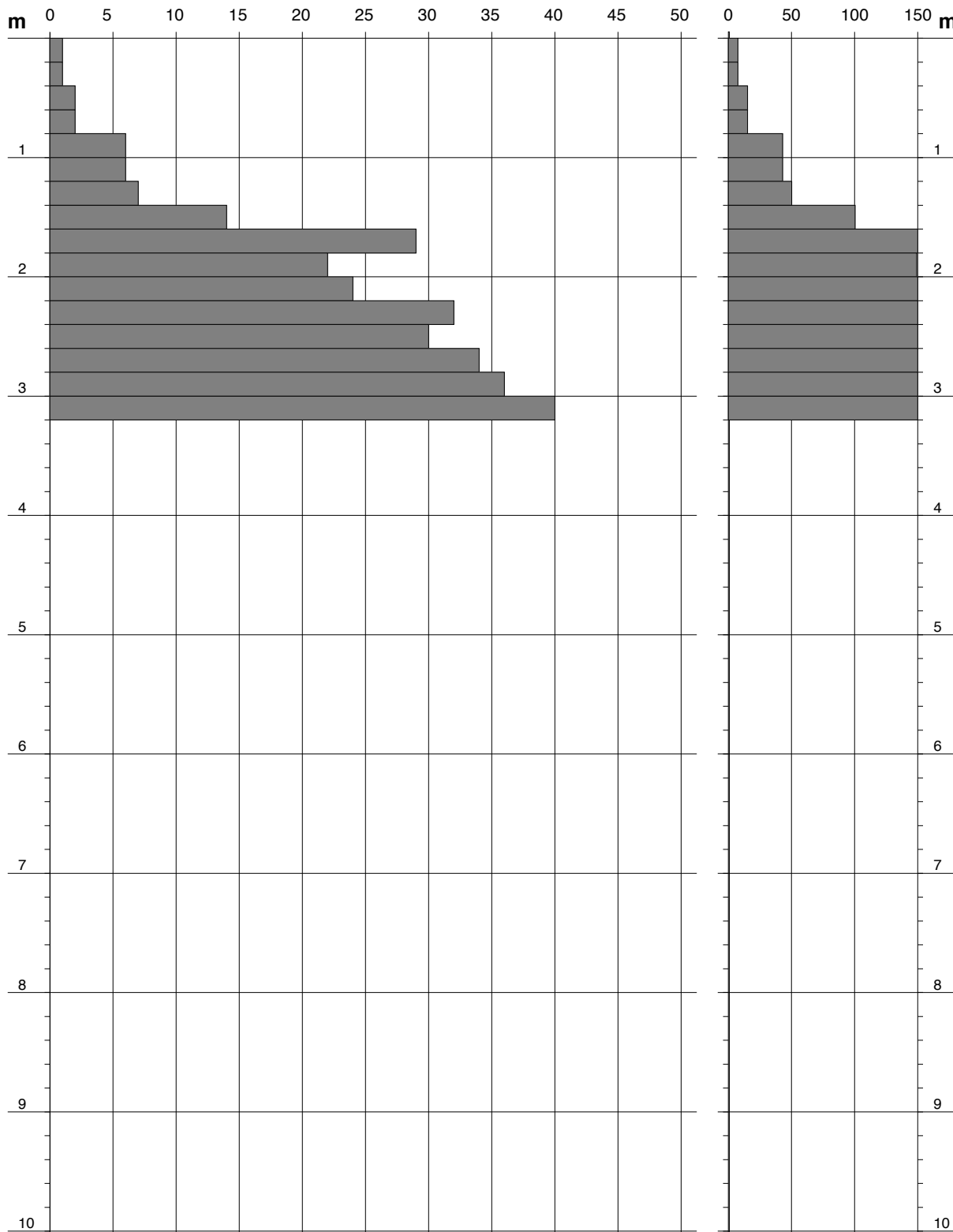
- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

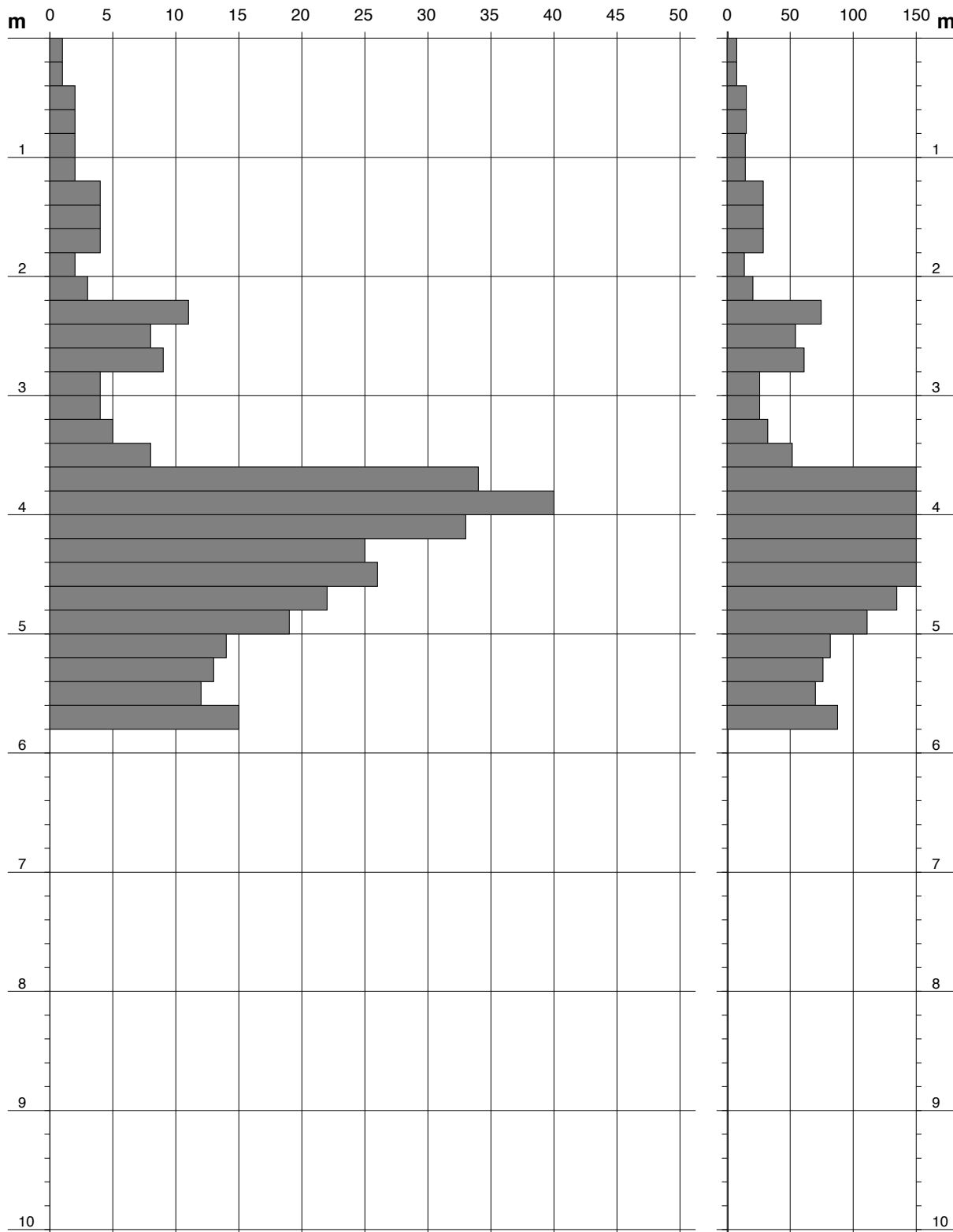
- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 4

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

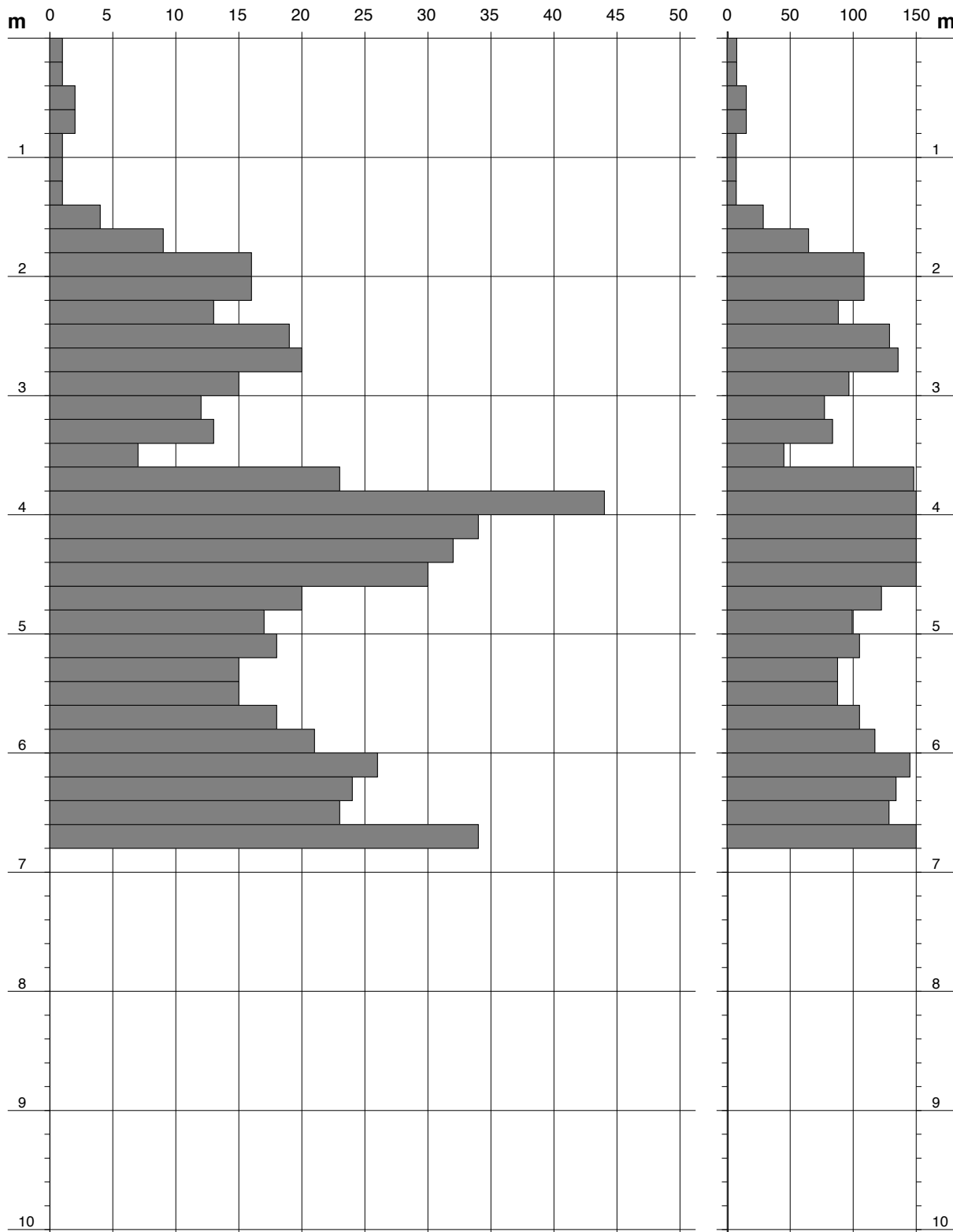
- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 5

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

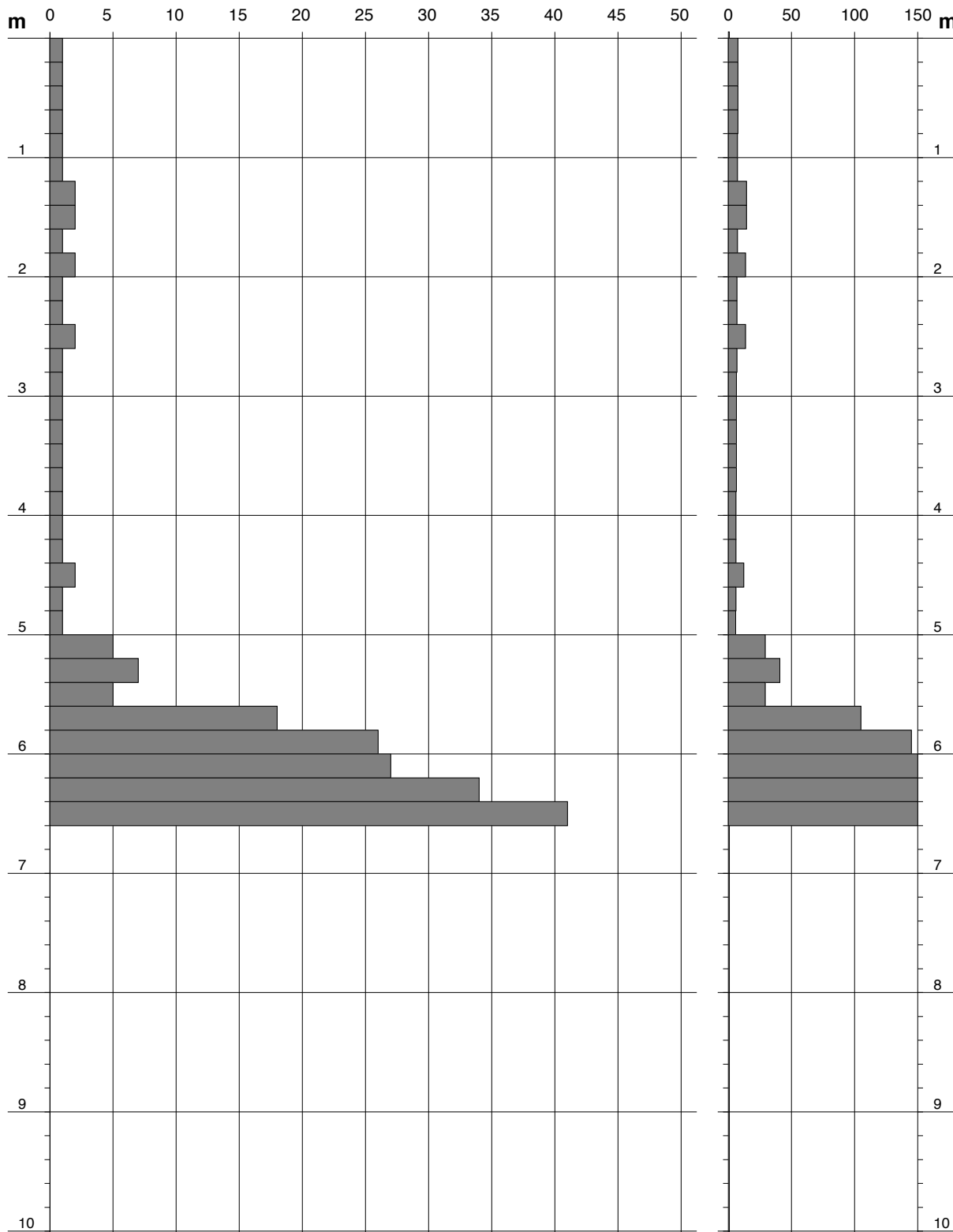
- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 6

Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

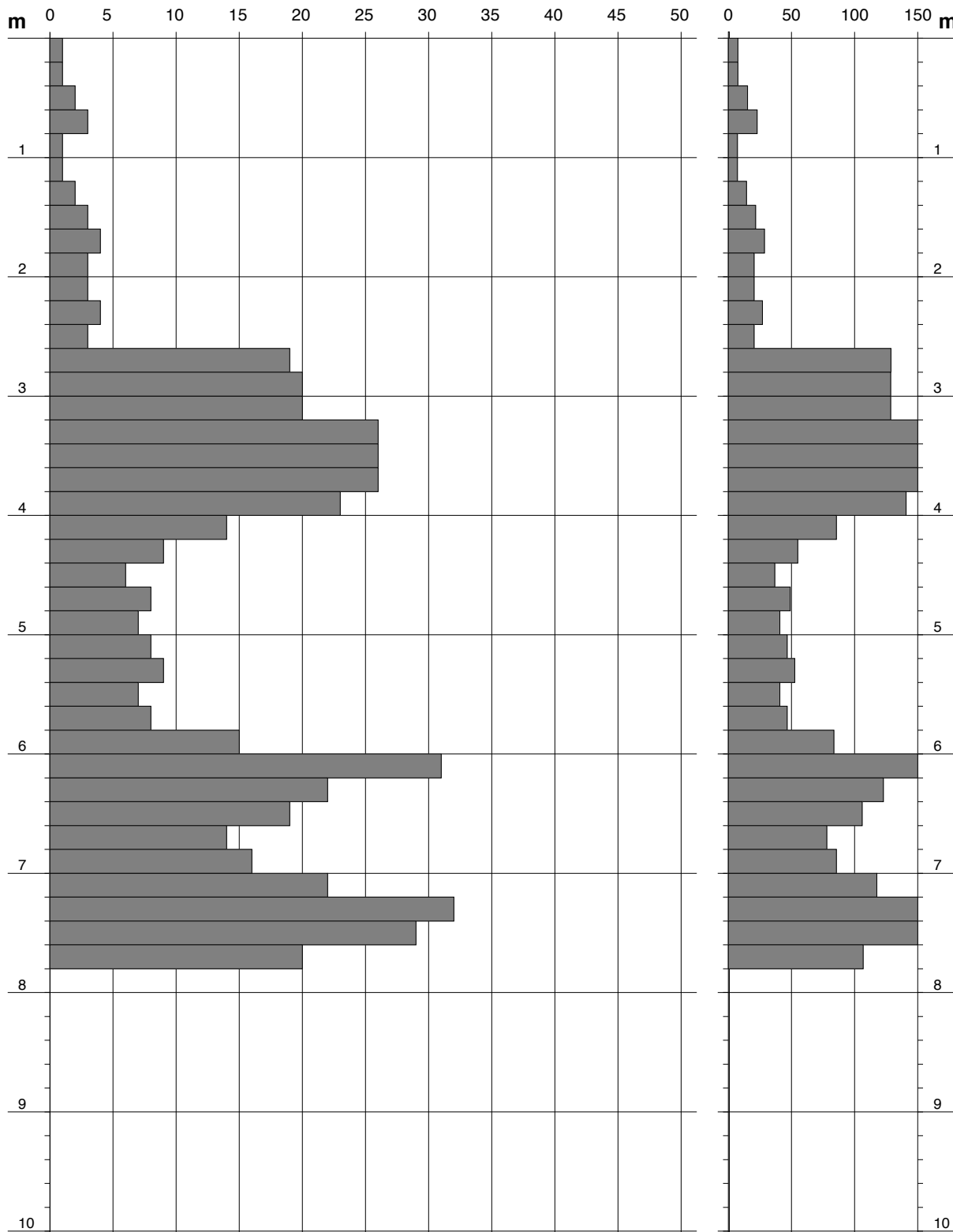
- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

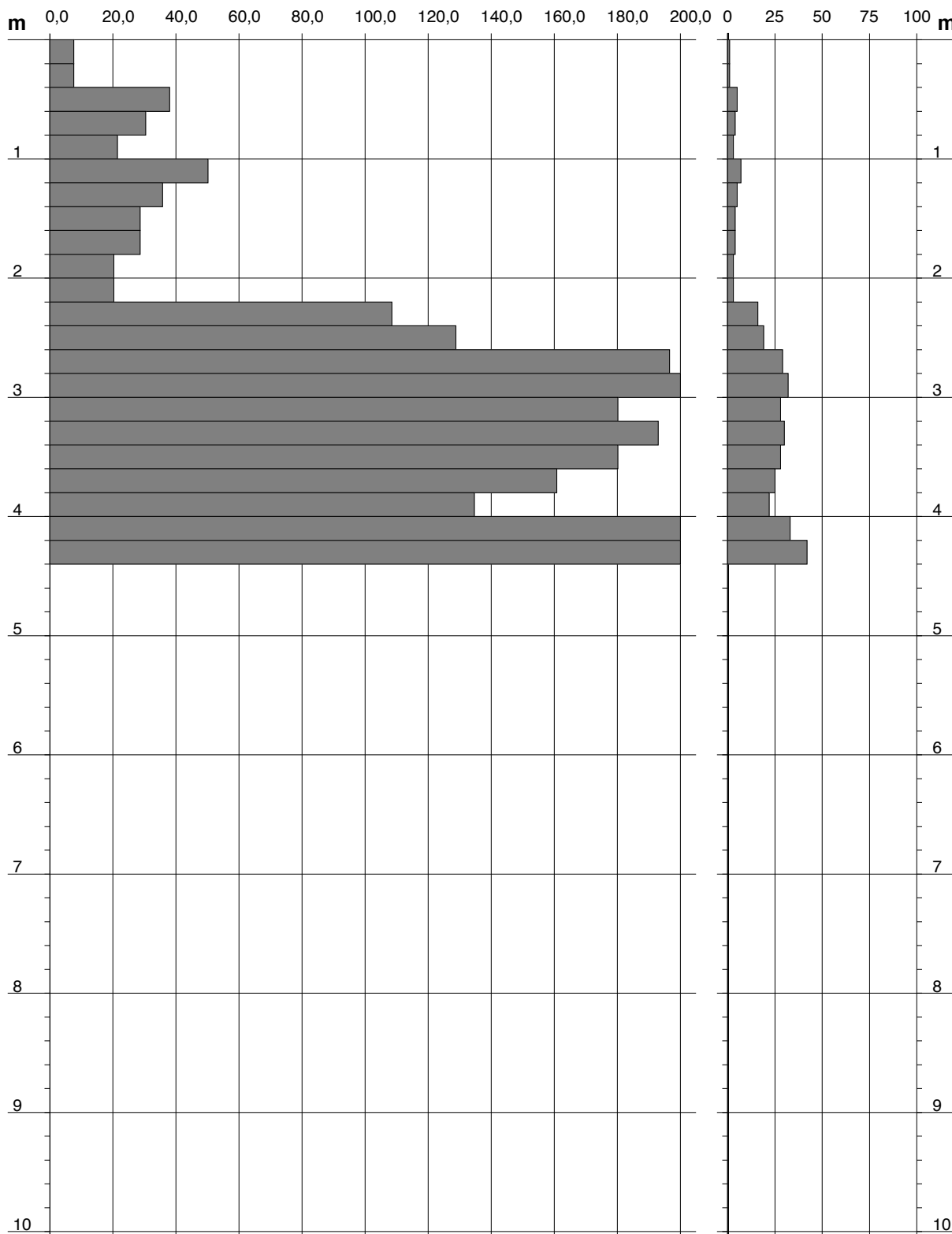
DIN 1
Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

DIN 2

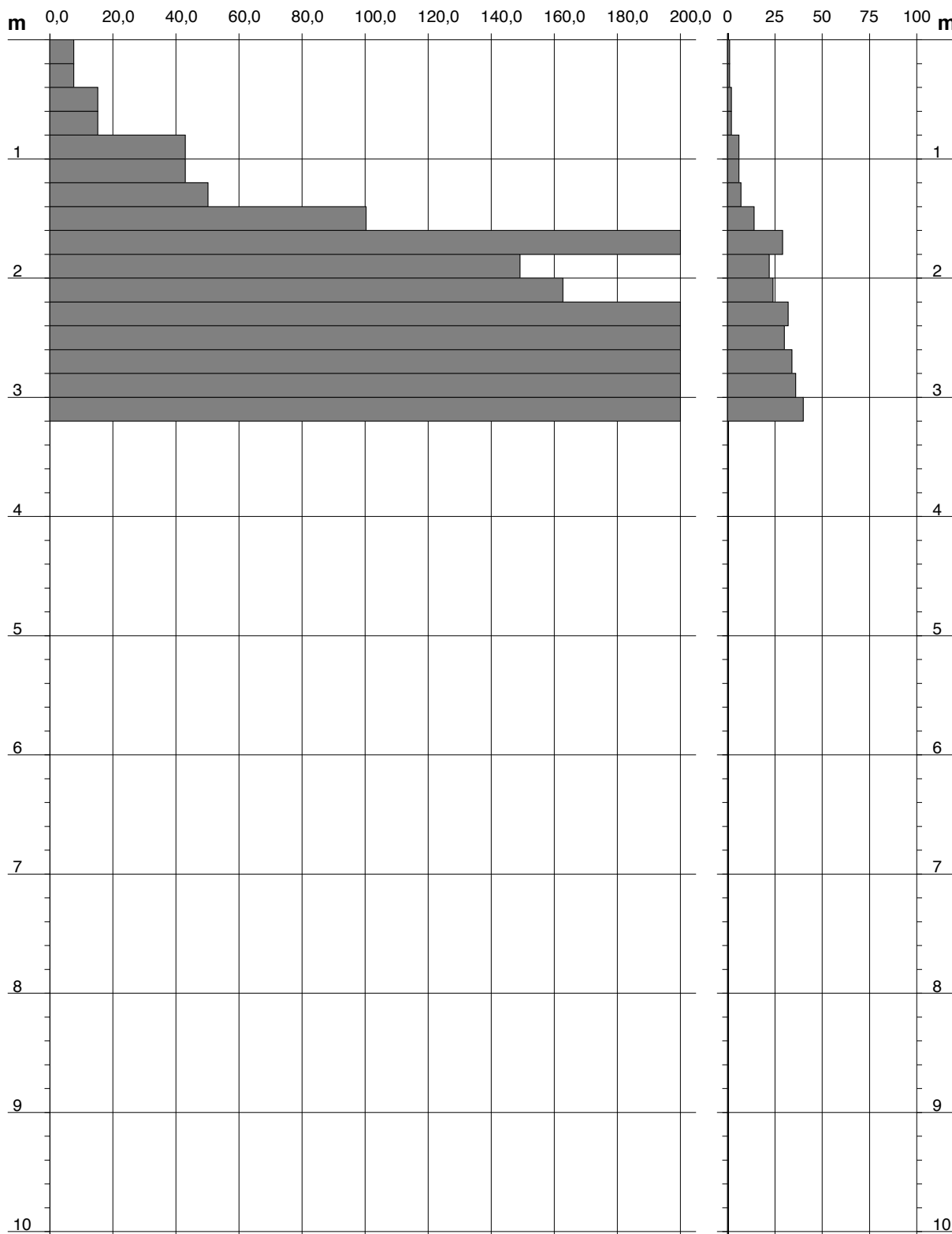
Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

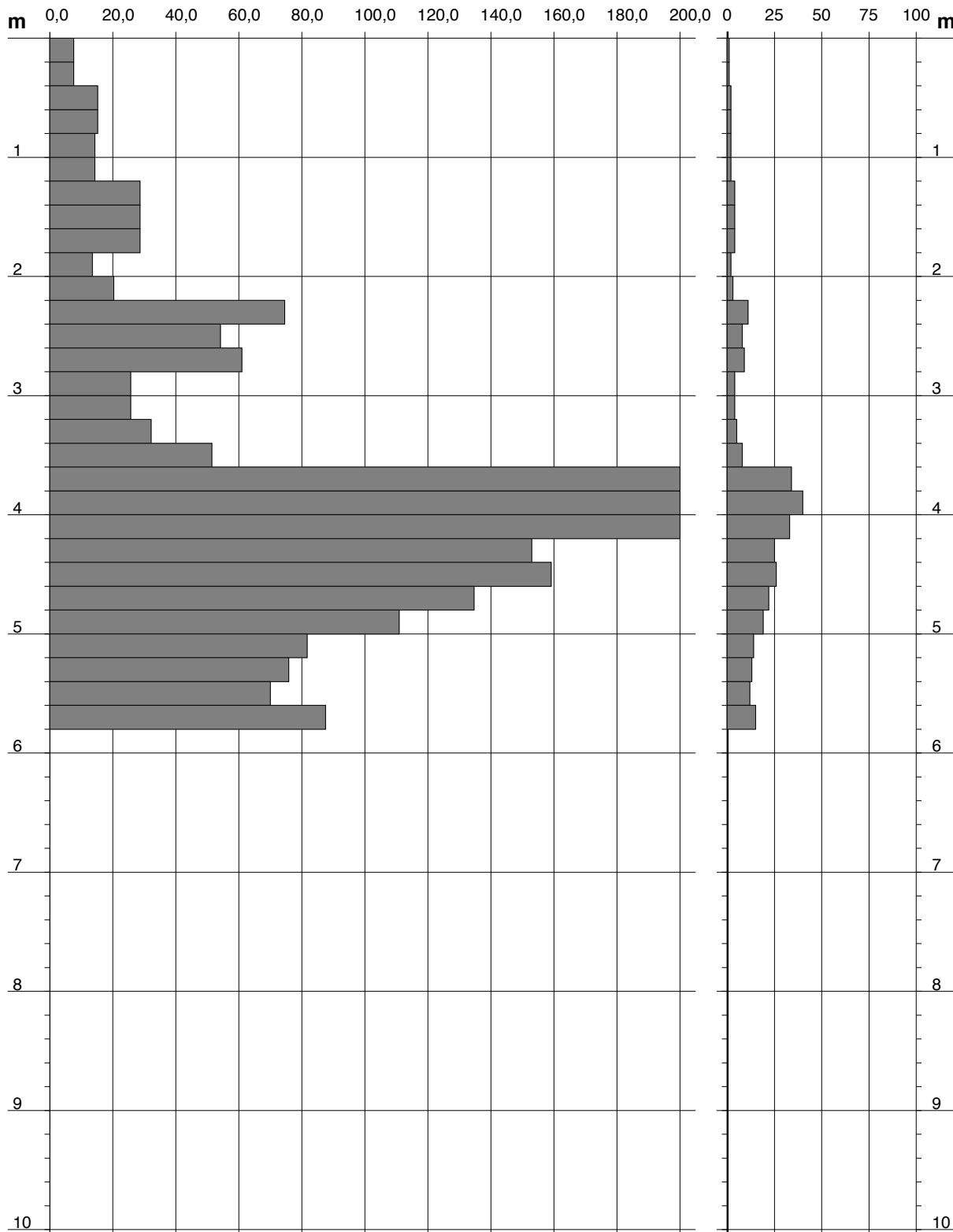
DIN 3
 Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" $N = N(20)$ n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

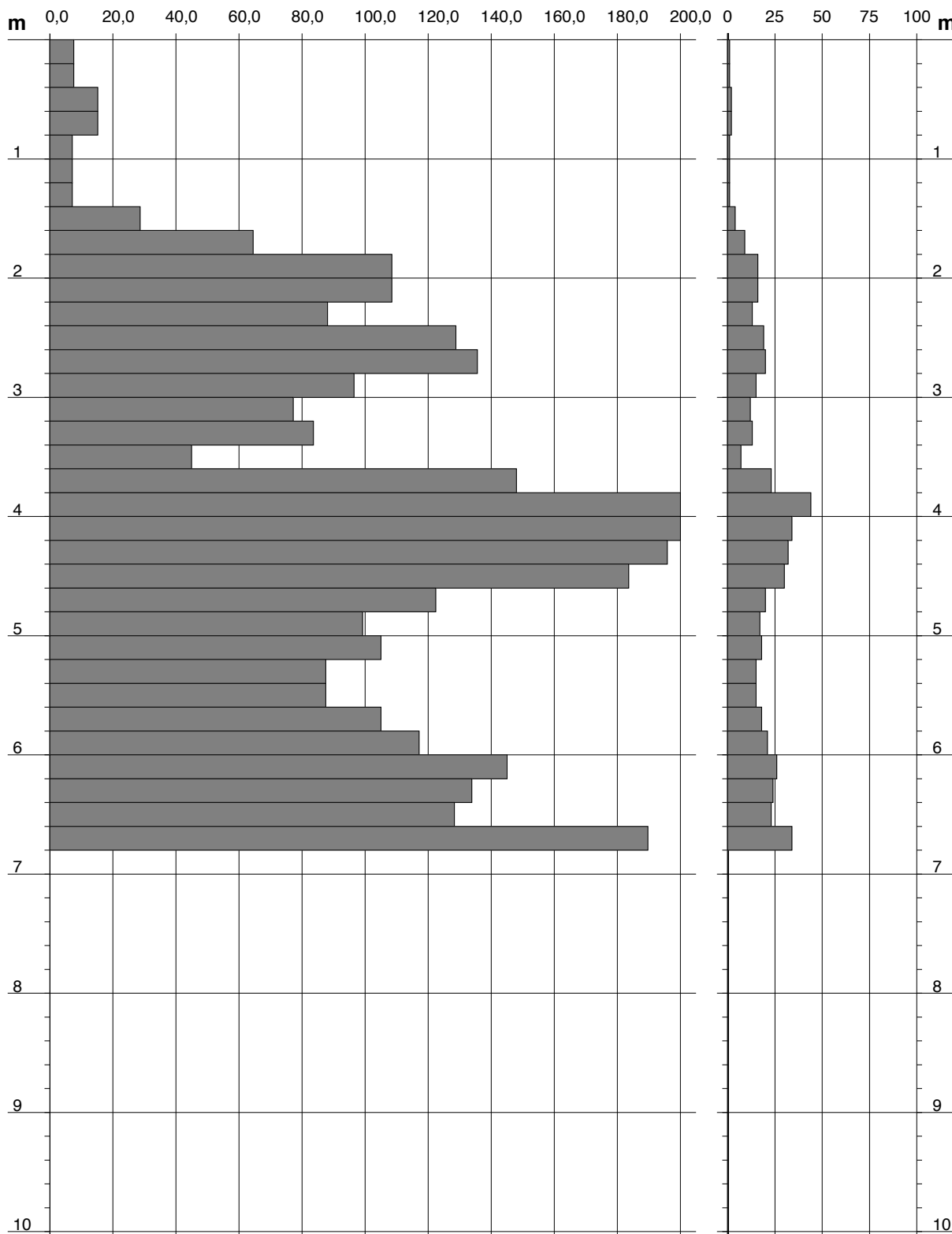
DIN 4
Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

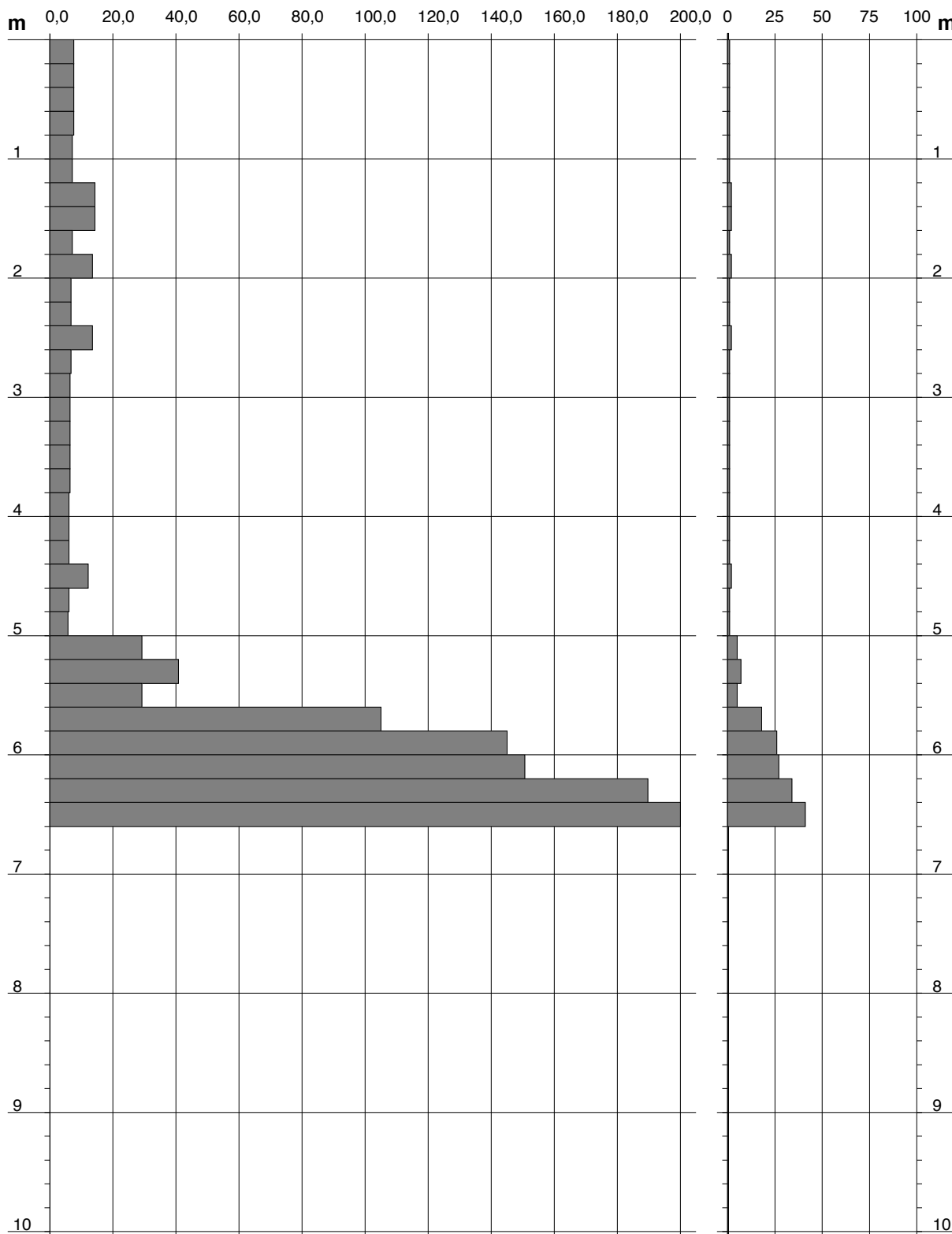
DIN 5
 Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

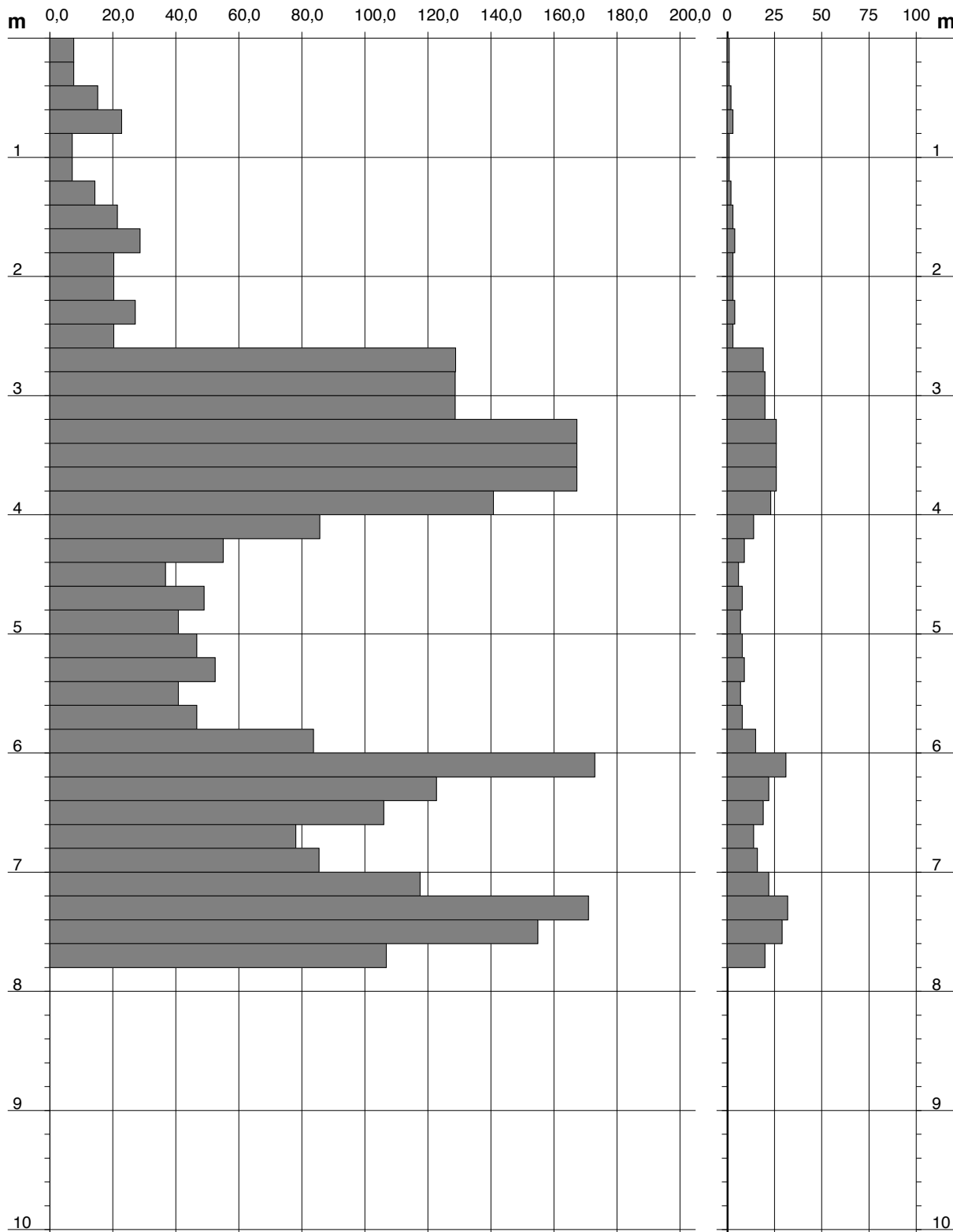
DIN 6
 Scala 1: 50

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
 - lavoro : Caratterizzazione geotecnica
 - località : Cittadella (Pd)
 - sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 1

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :
- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina n°:
- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,40	N	1,0	1	1	1,0	----	----	----	1	1,52	2
			Rpd	7,6	8	8	7,6	----	----	----			
2	0,40	2,20	N	4,2	3	7	3,6	1,3	2,9	5,5	4	1,52	6
			Rpd	30,4	20	50	25,4	9,8	20,7	40,2			
3	2,20	2,60	N	17,5	16	19	16,8	----	----	----	18	1,52	27
			Rpd	118,7	109	129	113,6	----	----	----			
4	2,60	4,00	N	27,7	22	32	24,9	3,3	24,4	31,0	28	1,52	43
			Rpd	178,8	135	206	156,7	24,2	154,5	203,0			
5	4,00	4,40	N	37,5	33	42	35,3	----	----	----	38	1,52	58
			Rpd	229,6	202	257	215,8	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE							NATURA COESIVA					Q Litologia	
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed	Ysat	W		
1	0,00	0,40	2	57	22	7	26	24	1,85	1,36	0,13	12	1,75	46,9	1,267	0,38
2	0,40	2,20	6	98	50	21	28	72	1,89	1,43	0,38	36	1,85	37,0	1,000	1,45
3	2,20	2,60	27	170	168	60	35	324	2,03	1,66	---	---	---	---	0,539	6,11
4	2,60	4,00	43	196	243	78	39	516	2,11	1,79	---	---	---	---	0,309	9,04
5	4,00	4,40	58	217	309	88	42	696	2,17	1,88	---	---	---	---	0,148	11,64

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 2

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,80	N	1,5	1	2	1,3	----	----	----	2	1,52	3
			Rpd	11,4	8	15	9,5	----	----	----			
2	0,80	1,40	N	6,3	6	7	6,2	----	----	----	6	1,52	9
			Rpd	45,4	43	50	44,2	----	----	----			
3	1,40	2,20	N	22,3	14	29	18,1	----	----	----	22	1,52	33
			Rpd	155,0	100	208	127,7	----	----	----			
4	2,20	3,20	N	34,4	30	40	32,2	----	----	----	34	1,52	52
			Rpd	228,0	203	257	215,7	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 2

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q Litologia			
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed			Ysat	W
1	0,00	0,80	3	69	30	11	27	36	1,86	1,38	0,19	18	1,78	44,2	1,194	0,76
2	0,80	1,40	9	102	67	31	29	108	1,92	1,48	0,56	54	1,89	34,0	0,918	2,16
3	1,40	2,20	33	167	197	68	36	396	2,07	1,71	---	---	---	---	---	7,65
4	2,20	3,20	52	195	283	85	41	624	2,16	1,86	---	---	---	---	---	11,27

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 3

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00	2,20	N	2,5	1	4	1,7	1,1	1,3	3,6	2	1,52	3
			Rpd	17,7	8	29	12,6	7,9	9,8	25,6			
2	2,20	2,80	N	9,3	8	11	8,7	----	----	----	9	1,52	14
			Rpd	63,3	54	75	58,8	----	----	----			
3	2,80	3,60	N	5,3	4	8	4,6	----	----	----	5	1,52	8
			Rpd	33,8	26	52	29,8	----	----	----			
4	3,60	4,80	N	30,0	22	40	26,0	6,8	23,2	36,8	30	1,52	46
			Rpd	185,4	135	245	160,1	43,0	142,5	228,4			
5	4,80	5,80	N	14,6	12	19	13,3	----	----	----	15	1,52	23
			Rpd	85,2	70	111	77,6	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 3

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE								NATURA COESIVA					Q Litologia	
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed	Ysat	W	e		
1	0,00	2,20	3	84	30	11	27	36	1,86	1,38	0,19	18	1,78	44,2	1,194	0,71	
2	2,20	2,80	14	129	93	41	31	168	1,96	1,53	0,88	84	1,95	29,5	0,795	3,07	
3	2,80	3,60	8	123	61	28	29	96	1,91	1,46	0,50	48	1,87	35,0	0,945	1,60	
4	3,60	4,80	46	208	257	81	40	552	2,13	1,82	---	---	---	---	---	9,27	
5	4,80	5,80	23	177	147	54	33	276	2,01	1,62	---	---	---	---	---	4,38	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 4

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	1,60	N	1,6	1	4	1,3	1,1	----	2,7	2	1,52	3
			Rpd	12,0	7	29	9,6	7,6	4,3	19,6			
2	1,60	3,60	N	14,0	7	20	10,5	4,1	9,9	18,1	14	1,52	21
			Rpd	93,6	45	136	69,3	28,0	65,6	121,7			
3	3,60	4,80	N	30,5	20	44	25,3	8,5	22,0	39,0	30	1,52	46
			Rpd	187,9	122	269	155,2	51,0	136,9	238,9			
4	4,80	6,80	N	21,1	15	34	18,1	5,9	15,2	27,0	21	1,52	32
			Rpd	119,9	88	190	103,7	31,2	88,7	151,0			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 4

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q Litologia				
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed			Ysat	W	e
1	0,00	1,60	3	79	30	11	27	36	1,86	1,38	0,19	18	1,78	44,2	1,194	0,75	
2	1,60	3,60	21	139	126	51	33	252	2,00	1,60	1,31	126	2,03	24,0	0,648	4,68	
3	3,60	4,80	46	208	257	81	40	552	2,13	1,82	---	---	---	---	---	9,24	
4	4,80	6,80	32	208	192	67	36	384	2,06	1,71	---	---	---	---	---	5,97	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 5

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	5,00	N	1,2	1	2	1,1	----	----	1,6	1	1,52	2
			Rpd	8,1	6	14	7,0	2,9	5,2	11,0			
2	5,00	5,60	N	5,7	5	7	5,3	----	----	----	6	1,52	9
			Rpd	33,1	29	41	31,1	----	----	----			
3	5,60	6,60	N	29,2	18	41	23,6	----	----	----	29	1,52	44
			Rpd	163,9	105	229	134,5	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 5

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE			NATURA COESIVA						Q Litologia				
						Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu			Ed	Ysat	W
1	0,00	5,00	2	92	22	7	26	24	1,85	1,36	0,13	12	1,75	46,9	1,267	0,34
2	5,00	5,60	9	138	67	31	29	108	1,92	1,48	0,56	54	1,89	34,0	0,918	1,74
3	5,60	6,60	44	222	248	79	39	528	2,12	1,80	----	----	----	----	----	8,14

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA**

DIN 6

- committente : dott. geol. Alberto Freddo
- lavoro : Caratterizzazione geotecnica
- località : Cittadella (Pd)
- sperimentatore :

- data prova : 12/01/2018
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- pagina n°:

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	2,60	N	2,4	1	4	1,7	1,1	1,3	3,5	2	1,52	3
			Rpd	16,9	7	29	12,1	7,7	9,3	24,6			
2	2,60	4,00	N	22,9	19	26	20,9	3,2	19,7	26,0	23	1,52	35
			Rpd	147,0	129	167	137,8	19,5	127,5	166,5			
3	4,00	6,00	N	9,1	6	15	7,6	3,0	6,1	12,1	9	1,52	14
			Rpd	53,8	37	86	45,3	17,2	36,6	71,0			
4	6,00	7,80	N	22,8	14	32	18,4	6,5	16,3	29,3	23	1,52	35
			Rpd	124,0	78	173	101,0	35,0	88,9	159,0			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 6

n°	H1 H2		NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q Litologia			
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed			Ysat	W
1	0,00	2,60	3	87	30	11	27	36	1,86	1,38	0,19	18	1,78	44,2	1,194	0,71
2	2,60	4,00	35	190	206	70	37	420	2,08	1,73	---	---	---	---	---	7,38
3	4,00	6,00	14	147	93	41	31	168	1,96	1,53	0,88	84	1,95	29,5	0,795	2,66
4	6,00	7,80	35	219	206	70	37	420	2,08	1,73	---	---	---	---	---	6,26

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972