

Agostino Pasquali Coluzzi
geologo

Marco Venturini
geologo

Mauro Valcarengi
geologo

STUDIO TRESIS
Geologia, Geotecnica, Ingegneria

2812 Castenedolo

COMUNE DI CASTENEDOLO
PROVINCIA DI BRESCIA

Committente:

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI
CASTENEDOLO**

Progetto:

**PIANO CIMITERIALE E AMPLIAMENTO
CIMITERO DI VIA RIMEMBRANZE**

RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi della DGR 2616/2011
e del D.M. 17 Gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

Dott. Agostino Pasquali Coluzzi

La presente Relazione è di esclusiva proprietà intellettuale dello Scrivente. Non è consentito trasmettere con qualsiasi mezzo, senza autorizzazione, la Relazione o parte di essa, salva la facoltà di utilizzarla in tutto o in parte per scopi non commerciali e non professionali, purché venga citato l'autore. La presente Relazione sarà conservata in forma originale e riservata negli archivi dello Studio a disposizione del Committente.

Data 16.10.2020	Revisione Rev.00	Gestore della commessa Dr. M. Venturini	Responsabilità professionale Dr. A. Pasquali Coluzzi
--------------------	---------------------	--	---

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - LITOLOGIA.....	5
3 - MORFOLOGIA	13
4 - IDROGEOLOGIA.....	13
5 - PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI NEL BACINO DEL FIUME PO (PGRA)	14
6 - ASPETTI SISMICI	20
7 - ANALISI DEI VINCOLI SUL TERRITORIO; FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	35
8 - CONCLUSIONI.....	37

RIFERIMENTI NORMATIVI

- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018)
- D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616: Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio
- D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129: Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia
- Legge Regionale 12 ottobre 2015, n. 33: Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001: Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica

1 - PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Castenedolo (Determinazione n. 661 del 07-10-2020), è stato eseguito uno studio per definire il modello geologico dell'area cimiteriale in via Rimembranze in comune di Castenedolo (BS) sulla quale è prevista la costruzione di un ampliamento.

L'area oggetto di studio è ubicata nel territorio comunale di Castenedolo (BS); la figura 1, tratta dal foglio D6C3 della Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10000, ne mostra l'ubicazione.

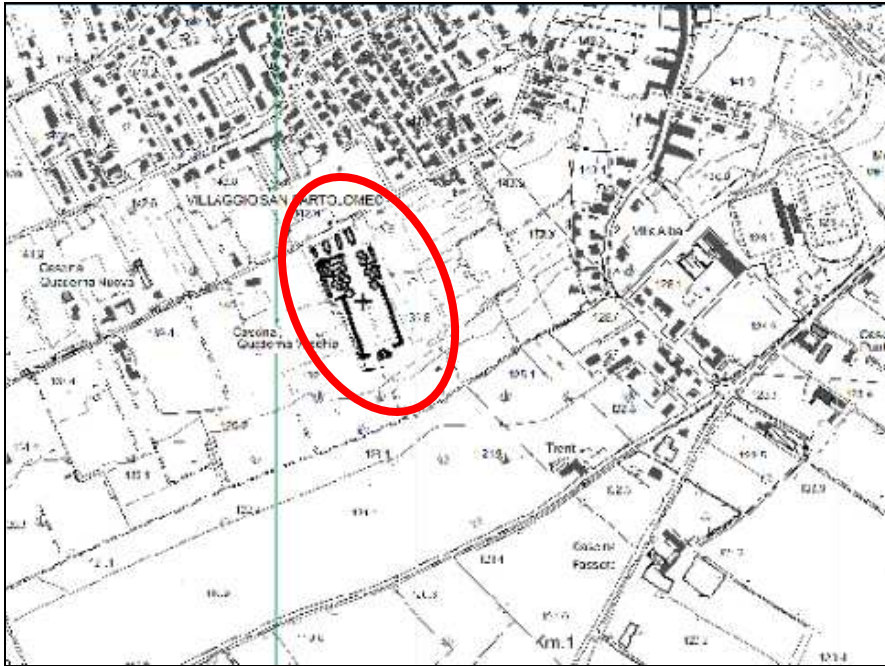


figura 1 - ubicazione dell'area interessata dal progetto (estratto Cartografia Tecnica Regionale)



figura 2 - ubicazione dell'area interessata dal progetto (ortofoto)

La presente relazione illustra i risultati dello studio, condotto ai sensi del capitolo 6 "Progettazione Geotecnica" delle Norme Tecniche per le Costruzioni, in particolare del paragrafo 6.1.2: *"Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali"*.

Nello specifico sono state eseguite le operazioni di seguito elencate.

- Raccolta di documentazione geologica di base riguardante il sito interessato dal progetto:
 - foglio 47 "Brescia" della "Carta geologica d'Italia" alla scala 1:100.000
 - Relazione Geologica Generale dello Studio Geologico Comunale, a firma del Dott. Geol. Laura Ziliani: *"Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT" ai sensi della LR 12/2005 e della DGR. n. VIII/7374 del 28.05.2008* redatto nel febbraio 2009 e s.m.i.;
- esecuzione di tre prove penetrometriche statiche CPT (Cone penetration test) e dinamiche SCPT (Standard Cone Penetration Test), denominate P1, P2, P3, spinte rispettivamente alla profondità di 7,00, 5,60 m e 13,60 m;
- esecuzione di due scavi esplorativi con prelievo di un campione di terreno per le analisi di laboratorio di identificazione e per l'esecuzione di prove di permeabilità;
- prospezione in sito consistita in n° 1 profilo di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati mediante metodologia MASW
- Definizione del modello geologico del sottosuolo indagato;
- Valutazione della fattibilità geologica del progetto.

2 - LITOLOGIA

La figura 3, tratta dal foglio 47 "Brescia", illustra le caratteristiche geologiche generali del territorio in cui si trova l'area in esame, la cui posizione è indicata dalla cerchiatura.

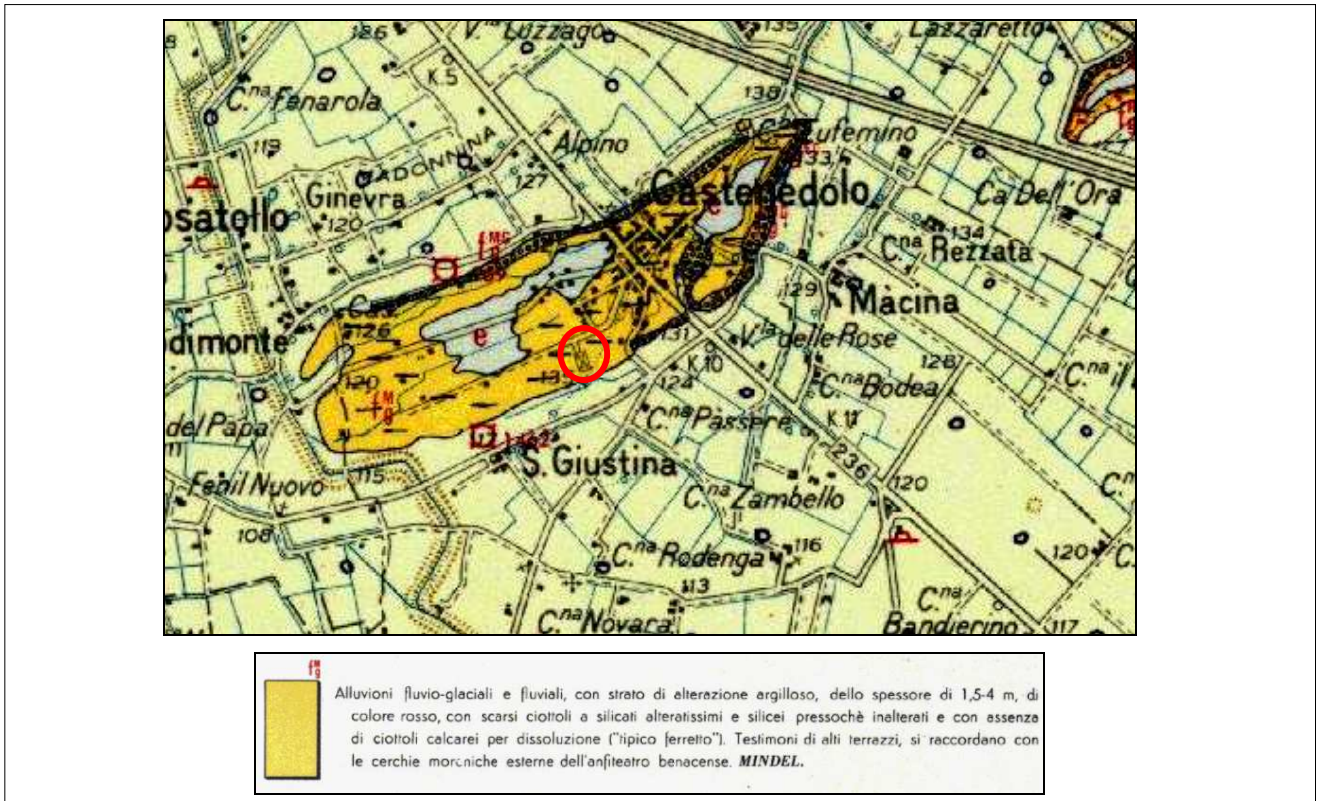
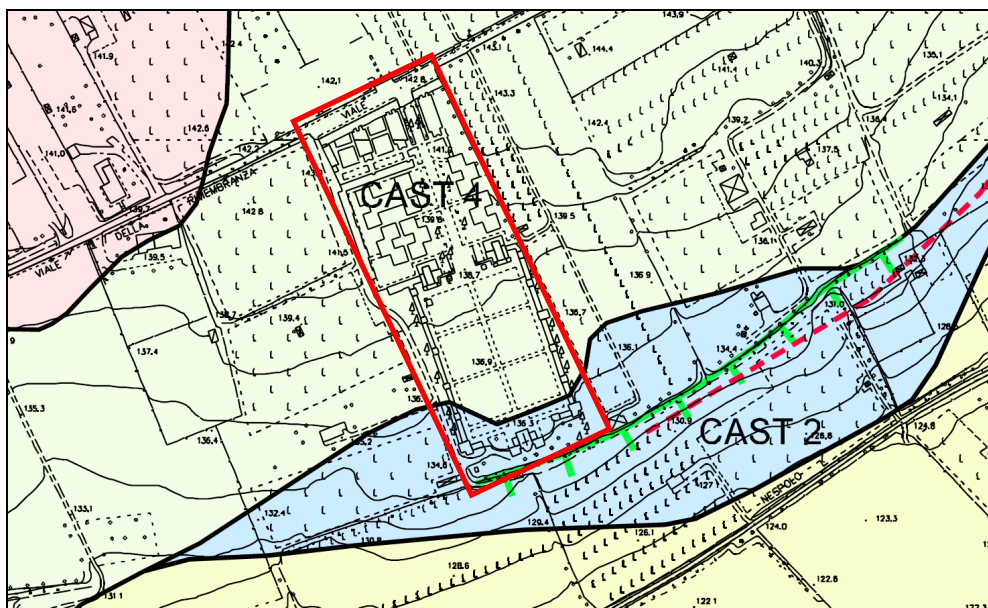


figura 3: estratto carta geologica d'Italia

Il sito si trova in un territorio caratterizzato dalla presenza di depositi fluvio-glaciali e fluviali con strato di alterazione avente spessore limitato e colore rossastro.

Lo Studio Geologico Comunale specifica che il settore di territorio in cui si trova l'area è costituito da *depositi fluvio-glaciali fortemente alterati*.



CAST 4	Ghiaie fluvioglaciali fortemente alterate (CAST 4) - Pleistocene medio.
CAST 3b	Argille fluviolacustri limose e limoso-sabbiose laminate di colore giallastro con intercalazioni arenacee (CAST 3b) Pleistocene medio.
CAST 3a	Conglomerati fluviali ("Ceppo"): ghiaie molto cementate costituite prevalentemente da ciottoli calcarei e prealpini minuti, con intercalazioni sabbiose a laminazione incrociata (CAST 3a) - Pleistocene medio.
CAST 2	Paleosuolo evoluto sulla Formazione di Castenedolo, fortemente rubefatto e argillificato (CAST 2) Pleistocene inf.

figura 4 – "Carta geologica e geomorfologica" dello Studio Geologico Comunale

Per ricostruire la stratigrafia in corrispondenza dell'area, il giorno 13/10/2020 è stata eseguita un'indagine geognostica per mezzo di due scavi, tre prove penetrometriche statiche CPT (Cone penetration test) e dinamiche SCPT (Standard Cone Penetration Test) di seguito e sugli allegati denominate P1, P2, P3, di una indagine sismica Masw.

I grafici delle prove, riportati nelle pagine seguenti, mostrano la ricostruzione stratigrafica; si riporta anche la documentazione fotografica e l'interpretazione stratigrafica relative agli scavi.

Le prove penetrometriche sono state eseguite nei punti indicati nell'immagine sottostante.

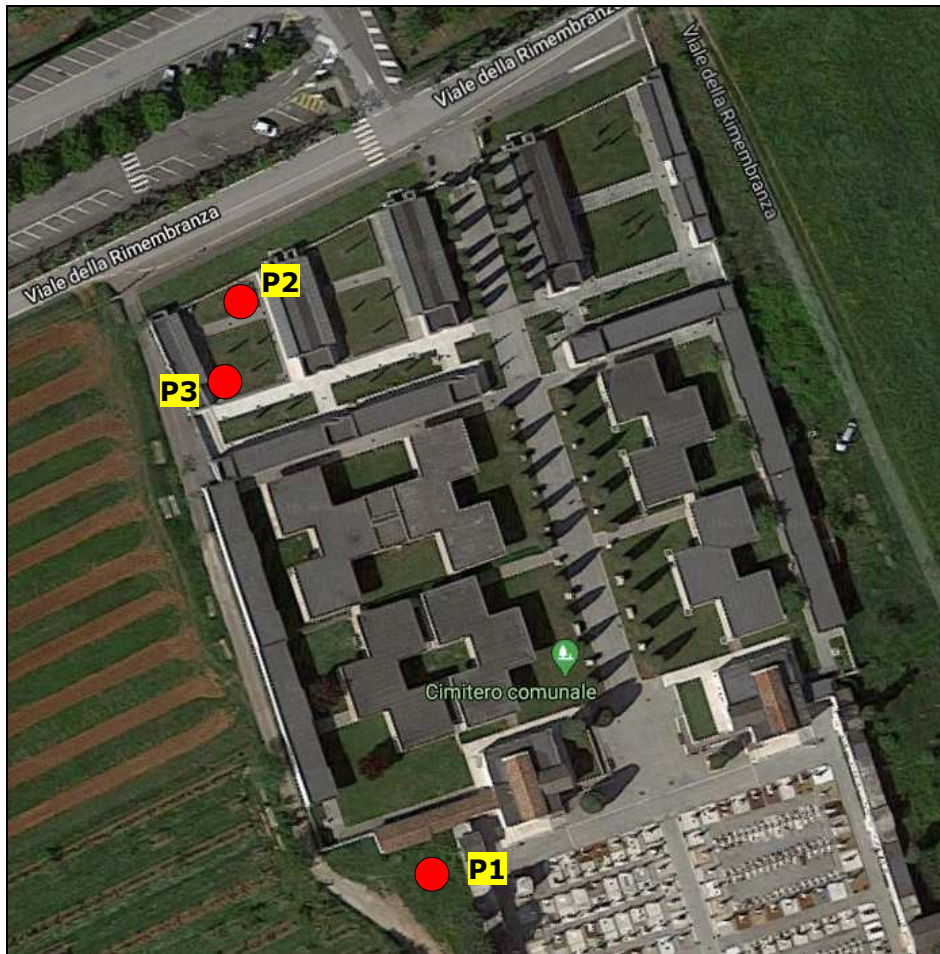


figura 5a - ubicazione delle prove penetrometriche



Fotografia 1: prova P1



Fotografia 2: prova P2



Fotografia 3: scavo

GRAFICO PROVA P1



figura 5b - ubicazione degli scavi esplorativi

GRAFICO PROVA CPT1

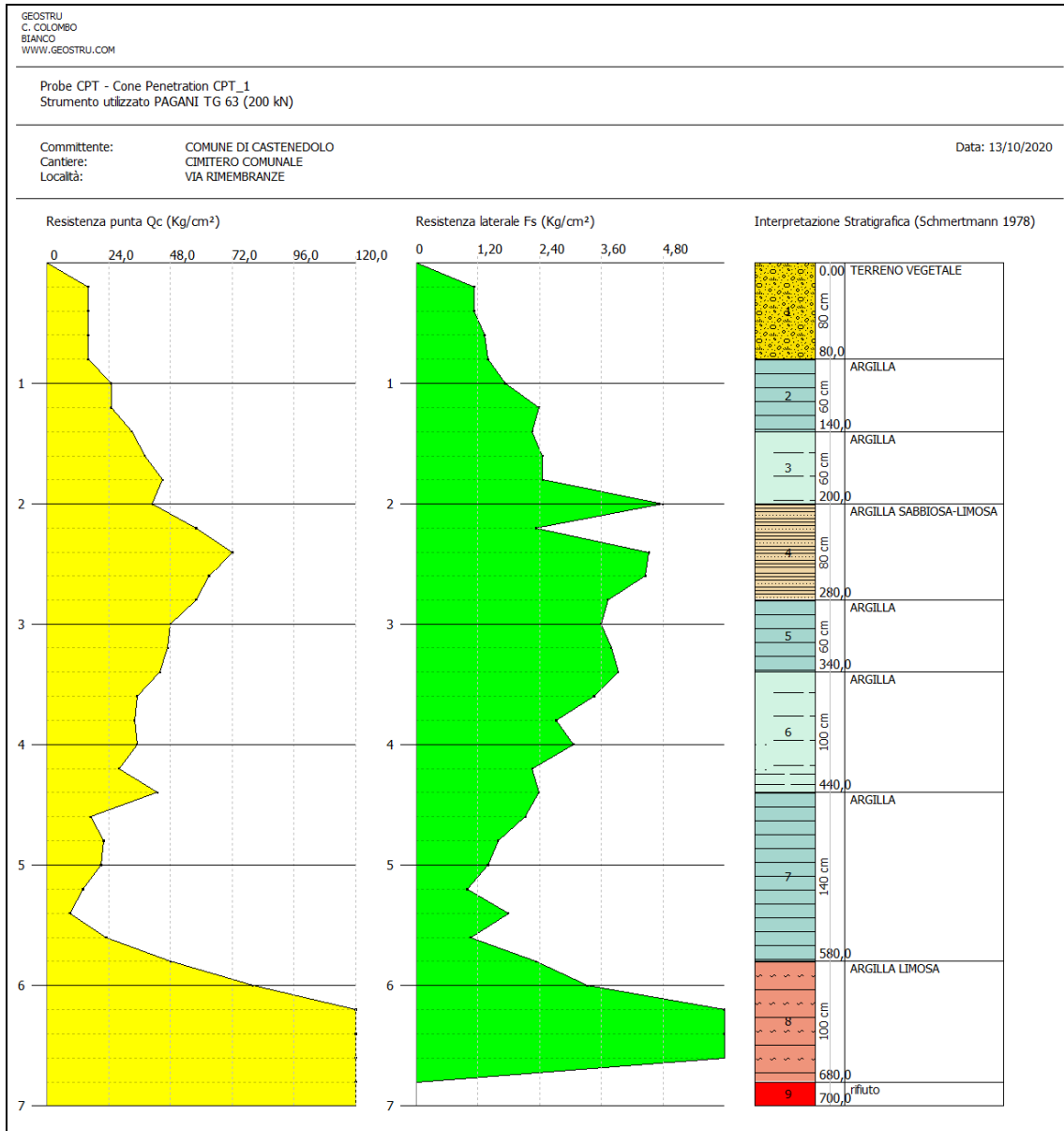


GRAFICO PROVA CPT2

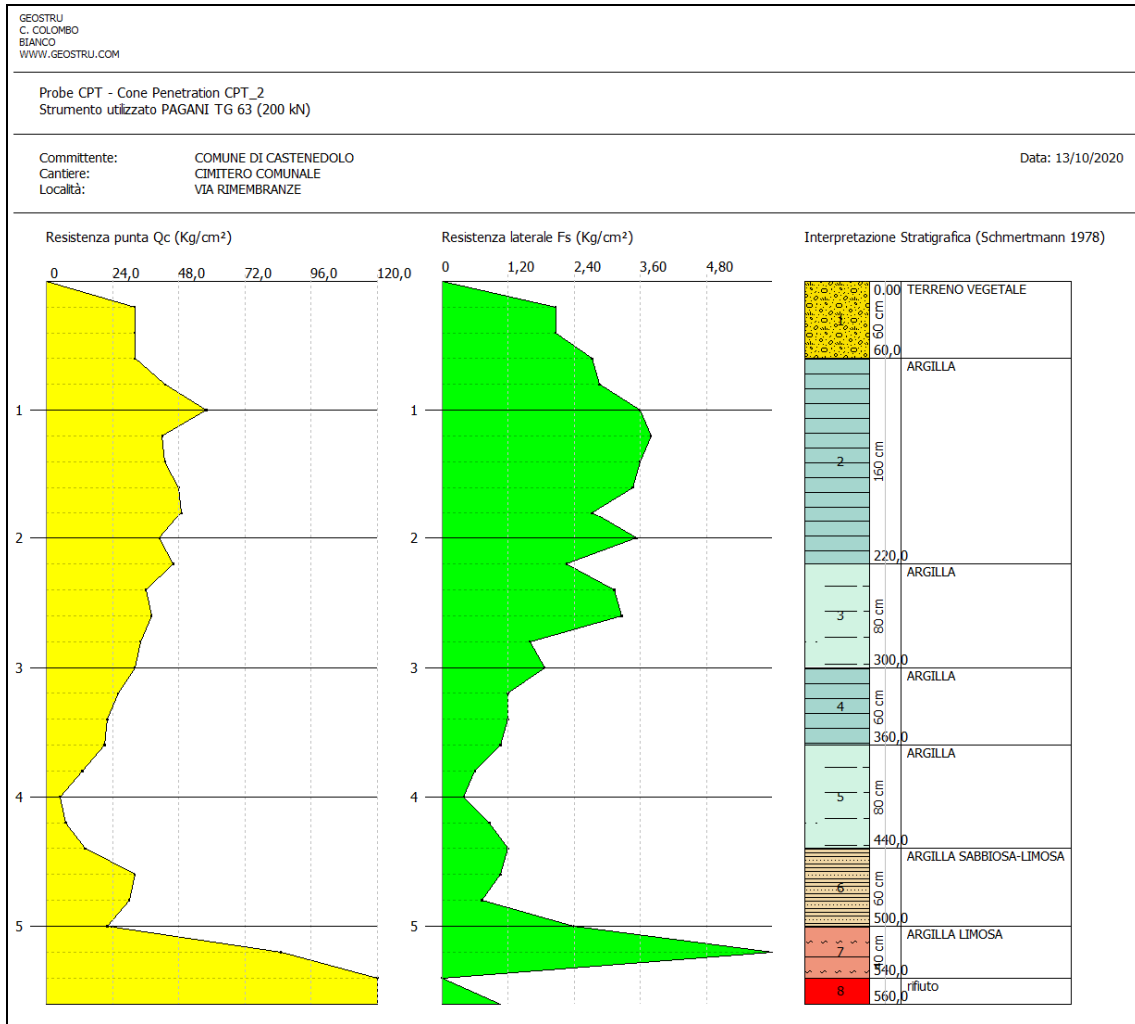
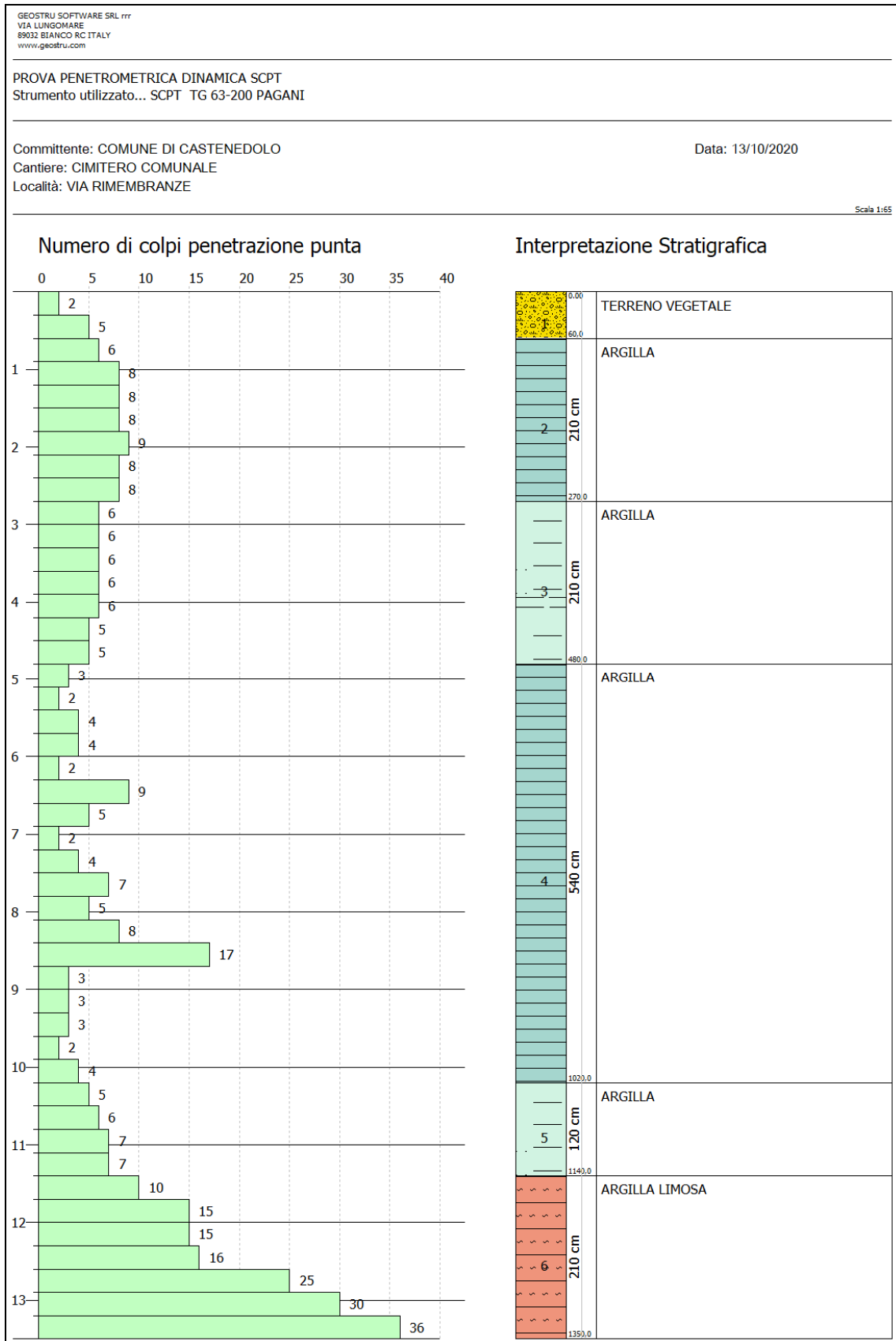


GRAFICO PROVA SCPT3



AREA NORD (prove CPT_2 E SCPT_3)

Poiché nell'area sono presenti terreni argillosi che le prove statiche CPT sono in grado di caratterizzare meglio delle prove dinamiche SCPT, il modello di seguito proposto fa riferimento soprattutto alle indicazioni fornite dalla prova CPT_2.

Strato	Spessore	Peso unità di volume (t/m ³)
terreno vegetale	da 0,00 a 0,60 metri	1,8
argilla	da 0,60 a 2,20 metri	2,1
argilla	da 2,20 a 3,00 metri	2,1
argilla	da 3,00 a 3,60 metri	2,0
argilla	da 3,60 a 4,40 metri	1,8
argilla sabbiosa-limosa	da 4,40 a 5,00 metri	2,0
argilla limosa	da 5,00 a 5,40 metri	2,3

1. AREA SUD (prova CPT_1)

Strato	Spessore	Peso unità di volume (t/m ³)
terreno vegetale	da 0,00 a 0,80 metri	1,9
argilla	da 0,80 a 1,40 metri	2,0
argilla	da 1,40 a 2,00 metri	2,1
argilla sabbiosa-limosa	da 2,00 a 2,80 metri	2,2
argilla	da 2,80 a 3,40 metri	2,1
argilla	da 3,40 a 4,40 metri	2,0
argilla	da 4,40 a 5,80 metri	1,9
argilla limosa	da 5,80 a 6,80 metri	2,3

Nei fori delle prove penetrometriche non è stata rilevata la presenza di acqua.

Si ricorda che la soggiacenza della falda freatica è relativa alle stagioni meteoriche e che può subire oscillazioni (innalzamenti o abbassamenti) sia al variare delle condizioni climatiche di breve e lungo termine sia in funzione dei cicli di irrigazione.

3 - MORFOLOGIA

L'area in esame si trova alla quota di circa 142 m s.l.m.; la categoria topografica è T1, trattandosi di una superficie pianeggiante o sub-pianeggiante con inclinazione media $i < 15^\circ$ (D.M. 17/01/2018).

La "Carta degli elementi geomorfologici e geopedologici" dello Studio Geologico Comunale non segnala fattori di rischio idrogeologico in corrispondenza dell'area in esame.

4 - IDROGEOLOGIA

La figura 6a è tratta dalla "Carta Idrogeologica e del sistema idrografico" dello Studio Geologico Comunale: nell'area in esame non è rilevata cartograficamente la presenza della falda, attraverso le linee azzurre (isopieze). Al fine di individuare eventuale presenza di acqua (di falda, di falda sospesa, di falda effimera), si prendono in considerazione i dati ricavati dall'indagine in situ e da quelli ricavabili da precedenti studi realizzati nell'area.

- o Nel corso delle prove penetrometriche non è stata rilevata la presenza di acqua, fino alla quota di massima profondità delle medesime (m 13,60).
- o La linea isopiezometrica più vicina indica una quota della falda pari a m 88,00. Essendo la quota topografica pari a 142 m, si può escludere qualsiasi interferenza delle opere con la falda.

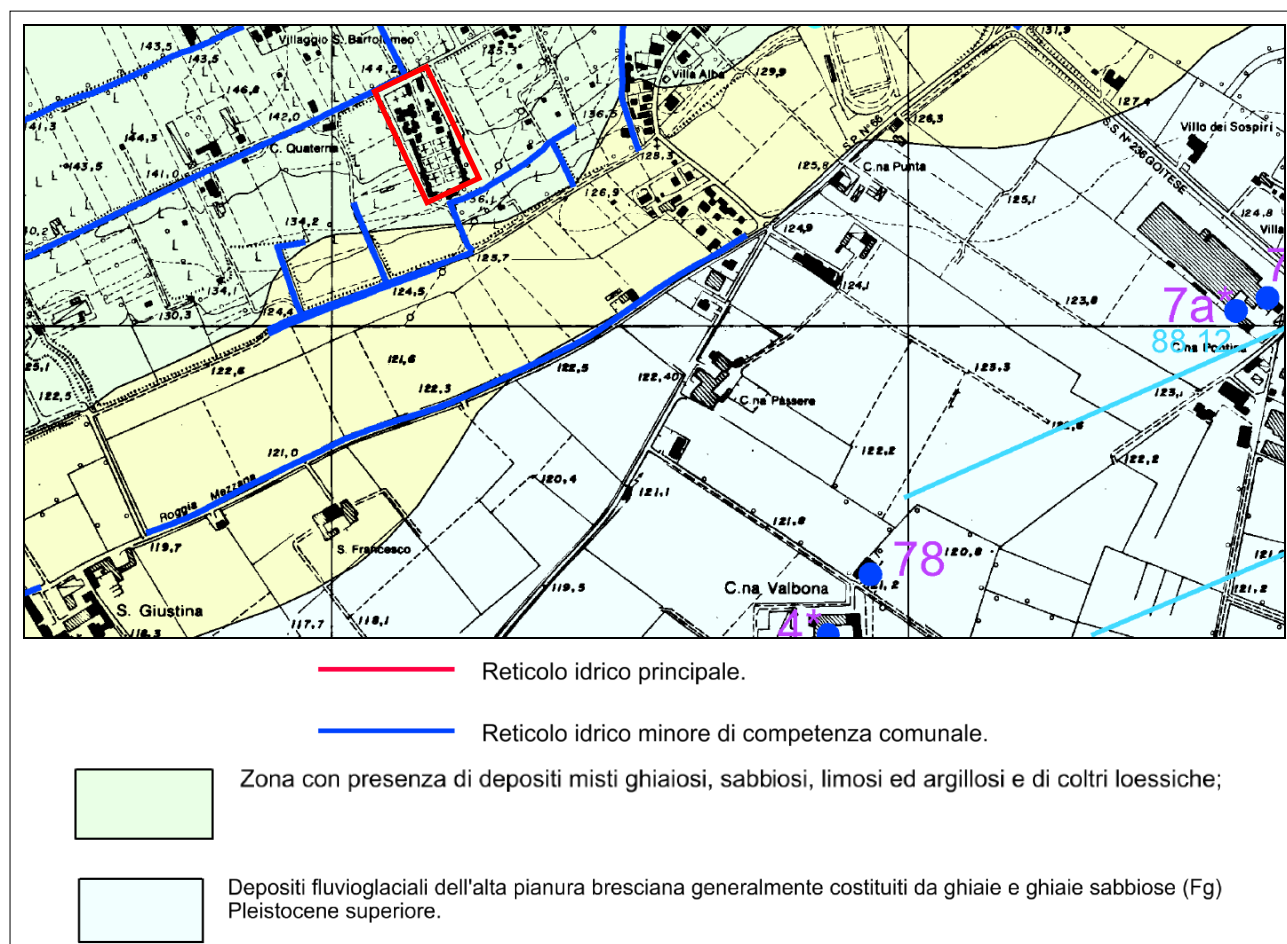


figura 6a – "Carta Idrogeologica" dello Studio Geologico Comunale

Le prove di permeabilità sono state eseguite nei punti indicati nell'immagine sottostante.

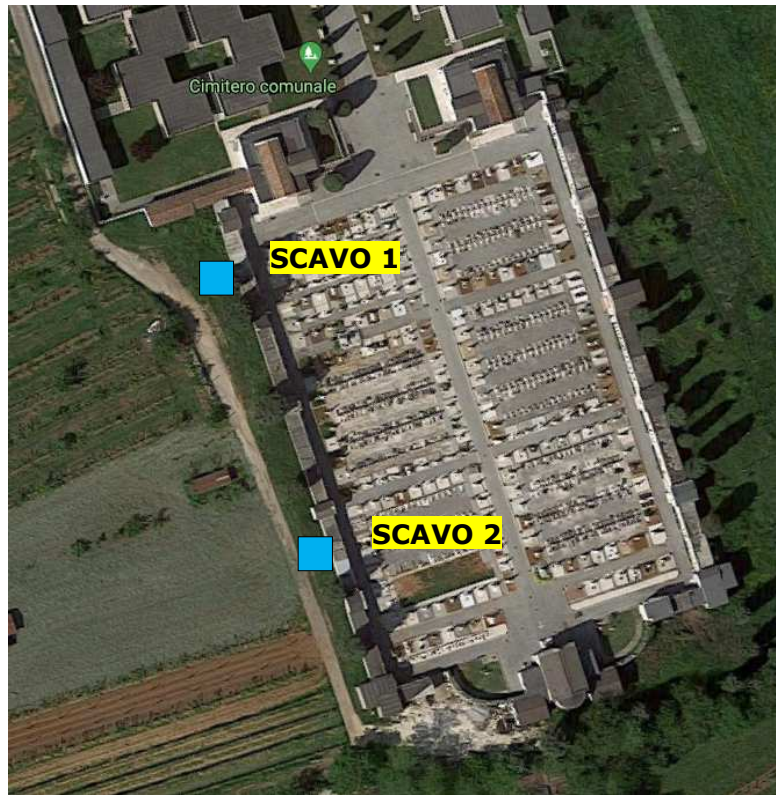


Figura 6b - ubicazione prove di permeabilità

Le prove sono state eseguite per svaso in pozzetto (prova a carico variabile).

Questa tipologia di prova consente di determinare la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello della falda freatica.

Si riporta la documentazione fotografica dei pozzetti di prova e le loro dimensioni. La quota raggiunta dallo scavo è quella massima raggiungibile dal mezzo messo a disposizione dalla committenza. Il materiale rinvenuto nello scavo è costituito da riporto in matrice mediamente fine.



figura 6c - pozzetto n. 1

Profondità: 2,00 m Larghezza: 0,80 m Lunghezza: 1,80 m



figura 6d - pozzetto n. 2

Profondità: 1,50 m Larghezza: 0,80 m Lunghezza: 1,80 m

Successivamente al riempimento dei pozzetti con circa 500 litri di acqua si è misurato l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo.

Il coefficiente di permeabilità è stato calcolato con la seguente formula:

$$K = \frac{(h_1 - h_2) / (t_2 - t_1) * (1 + (2hm/b))}{((27 * hm/b) + 3)}$$

nella quale:

b = lato del pozzetto equivalente;

hm = altezza media dell'acqua nel pozzetto durante la prova;

h_1 e h_2 = altezza dell'acqua nel pozzetto, misurate dalla base del pozzetto, all'inizio e alla fine della prova;

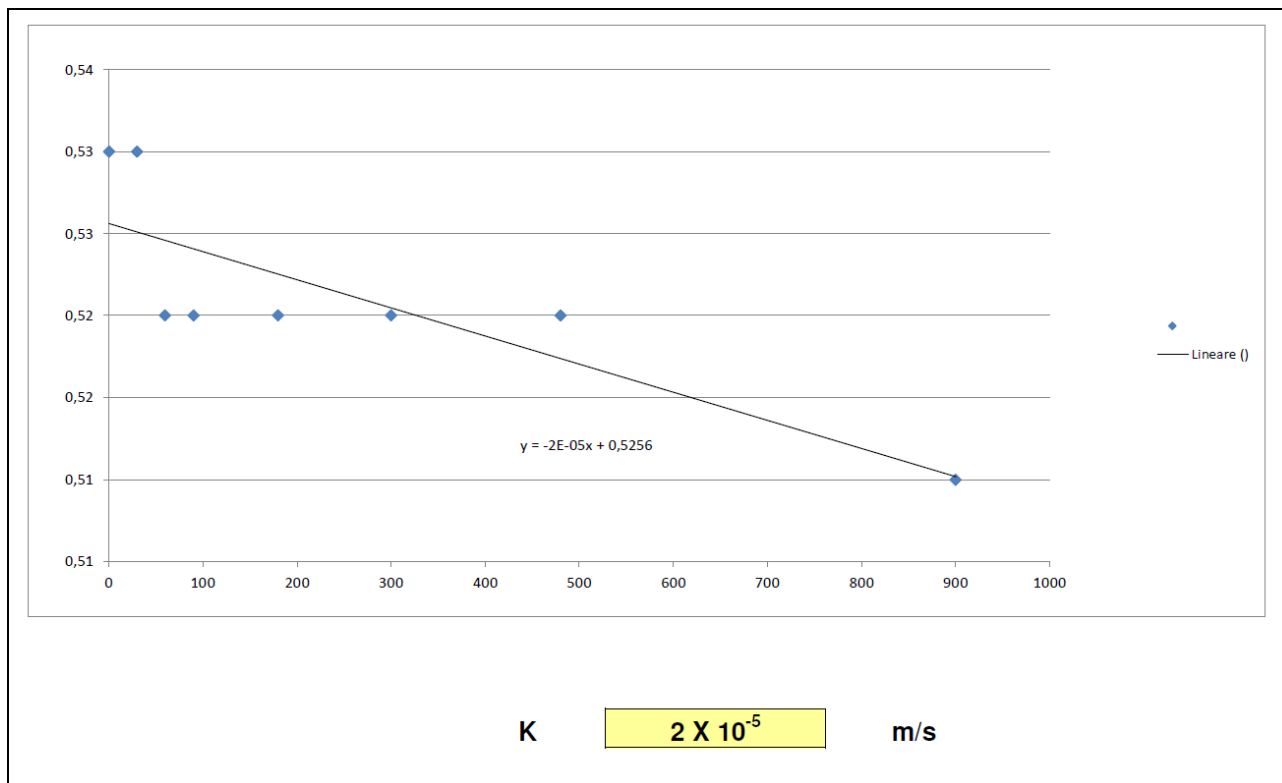
$t_2 - t_1$ = durata della prova.

Nella formula le distanze sono espresse in metri, i tempi in secondi e le portate in m^3/sec . Il valore della permeabilità è quindi espresso in m/sec .

Durante la prova P1 sono stati misurati i seguenti abbassamenti:

K DA PROVA DI SVASO IN SCAVO						
comune	CASTENEDOLO					
provincia	BRESCIA					
note						
SIGLA SCAVO	P1					
profondità trincea	2 m					
orario	tempo (sec)	delta t (sec)	L.D (m da riferimento)	lama d'acqua (m)	Abbassamento (m)	V (m/s)
13/10/2019 09:00:00	0	0	1,47	0,53	0	
13/10/2019 09:00:30	30	30	1,47	0,53	0,00	0,0E+000
13/10/2019 09:01:00	60	30	1,48	0,52	0,01	3,3E-004
13/10/2019 09:01:30	90	30	1,48	0,52	0,01	3,3E-004
13/10/2019 09:03:00	180	90	1,48	0,52	0,01	1,1E-004
13/10/2019 09:05:00	300	120	1,48	0,52	0,01	8,3E-005
13/10/2019 09:08:00	480	180	1,48	0,52	0,01	5,6E-005
13/10/2019 09:15:00	900	420	1,49	0,51	0,02	4,8E-005

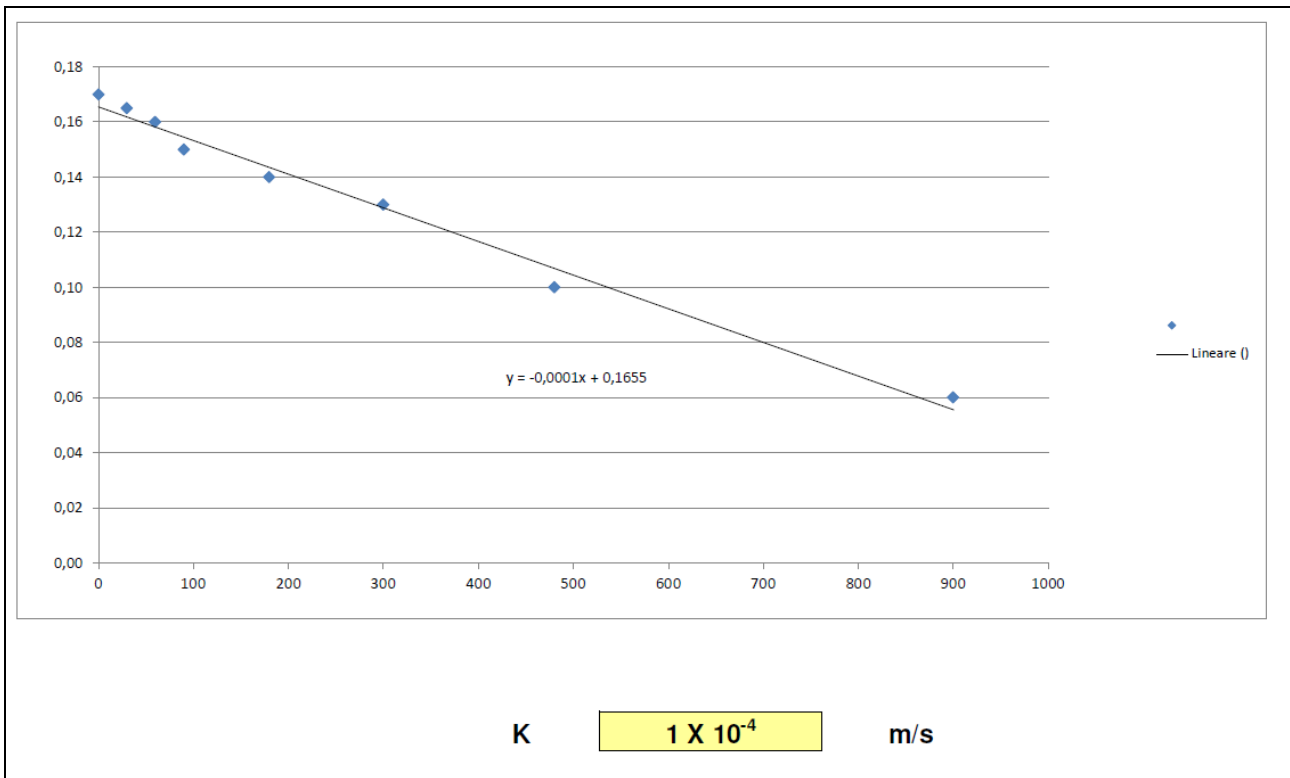
Si riporta nella pagina seguente il valore del coefficiente di permeabilità misurato nel pozzetto P1



Durante la prova P2 sono stati misurati i seguenti abbassamenti:

K DA PROVA DI SVASO IN SCAVO						
comune	CASTENEDOLO					
provincia	BRESCIA					
note						
SIGLA SCAVO	P2					
profondità trincea	1,5 m					
orario	tempo (sec)	delta t (sec)	L.D (m da riferimento)	lama d'acqua (m)	Abbassamento (m)	V (m/s)
13/10/2019 09:00:00	0	0	1,33	0,17	0	
13/10/2019 09:00:30	30	30	1,34	0,17	0,00	1,7E-004
13/10/2019 09:01:00	60	30	1,34	0,16	0,01	3,3E-004
13/10/2019 09:01:30	90	30	1,35	0,15	0,02	6,7E-004
13/10/2019 09:03:00	180	90	1,36	0,14	0,03	3,3E-004
13/10/2019 09:05:00	300	120	1,37	0,13	0,04	3,3E-004
13/10/2019 09:08:00	480	180	1,40	0,10	0,07	3,9E-004
13/10/2019 09:15:00	900	420	1,44	0,06	0,11	2,6E-004

Si riporta di seguito il valore del coefficiente di permeabilità misurato nel pozzetto P2



Come mostra la tabella di letteratura sotto riportata, **il coefficiente di permeabilità stimato corrisponde ad una classe di permeabilità BASSA PER LA PROVA P1 a 2 metri di profondità, da DISCRETA A BASSA PER LA PROVA P2 a 1,50 metri di profondità**; il valore ricavato corrisponde a valori medi di letteratura per terreni medio fini.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi	Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte			

Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

5 - PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI NEL BACINO DEL FIUME PO (PGRA)

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. La cartografia del PGRA indica che l'area in esame non si trova all'interno di zone a rischio.



figura 7 – “Carta PGRA” del Geoportale regione Lombardia

6 - ASPETTI SISMICI

Classificazione

Per quanto disposto dalla D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", il Comune di Castenedolo è classificato in zona sismica 2 (figura 8).



figura 8 - classificazione sismica

Pericolosità sismica di base del territorio comunale

Con l'emanazione del DM 14-01-2008 sono state approvate le "Norme tecniche per le costruzioni" che forniscono, nella Tabella 1 dell'allegato B alle norme, i valori di accelerazione massima orizzontale attesa su suolo rigido e pianeggiante per 9 tempi di ritorno diversi e per 10751 punti di riferimento estratti della griglia di analisi utilizzata per la redazione della mappa di pericolosità (Allegato 1b all'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006). A ciascun punto della griglia di riferimento sono assegnati i valori dei parametri necessari per la definizione dell'azione sismica da utilizzare come riferimento nelle analisi progettuali.

La pericolosità sismica di base del sito, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche, dev'essere definita secondo i principi contenuti nell'ALLEGATO A "Pericolosità Sismica" alle Norme Tecniche per le Costruzioni. Secondo questi principi l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il database dell'INGV consente di eseguire un'analisi probabilistica di pericolosità sismica secondo una griglia regolare di nodi al fine di ricavare le curve di pericolosità per le accelerazioni spettrali elastiche. La pericolosità del sito è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo A. Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una probabilità del 10% di essere superata in un periodo di 50 anni. La figura sottostante mostra che il valore massimo dell'accelerazione orizzontale attesa è compreso tra 0,150-0,175 g.

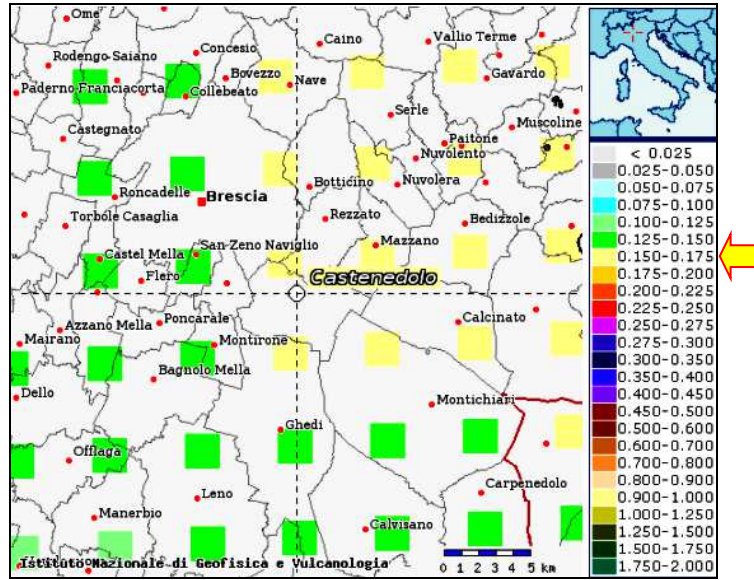


figura 9: mappa della pericolosità sismica dell'area: INGV Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia

La figura seguente, tratta dalla "Carta della Pericolosità Sismica Locale" dello Studio Geologico Comunale, indica che lo scenario sismico al quale appartiene l'area in esame è Z4d: "Zona di pianura con presenza di depositi misti ghiaiosi, sabbiosi, limosi e argillosi e di coltri loessiche".

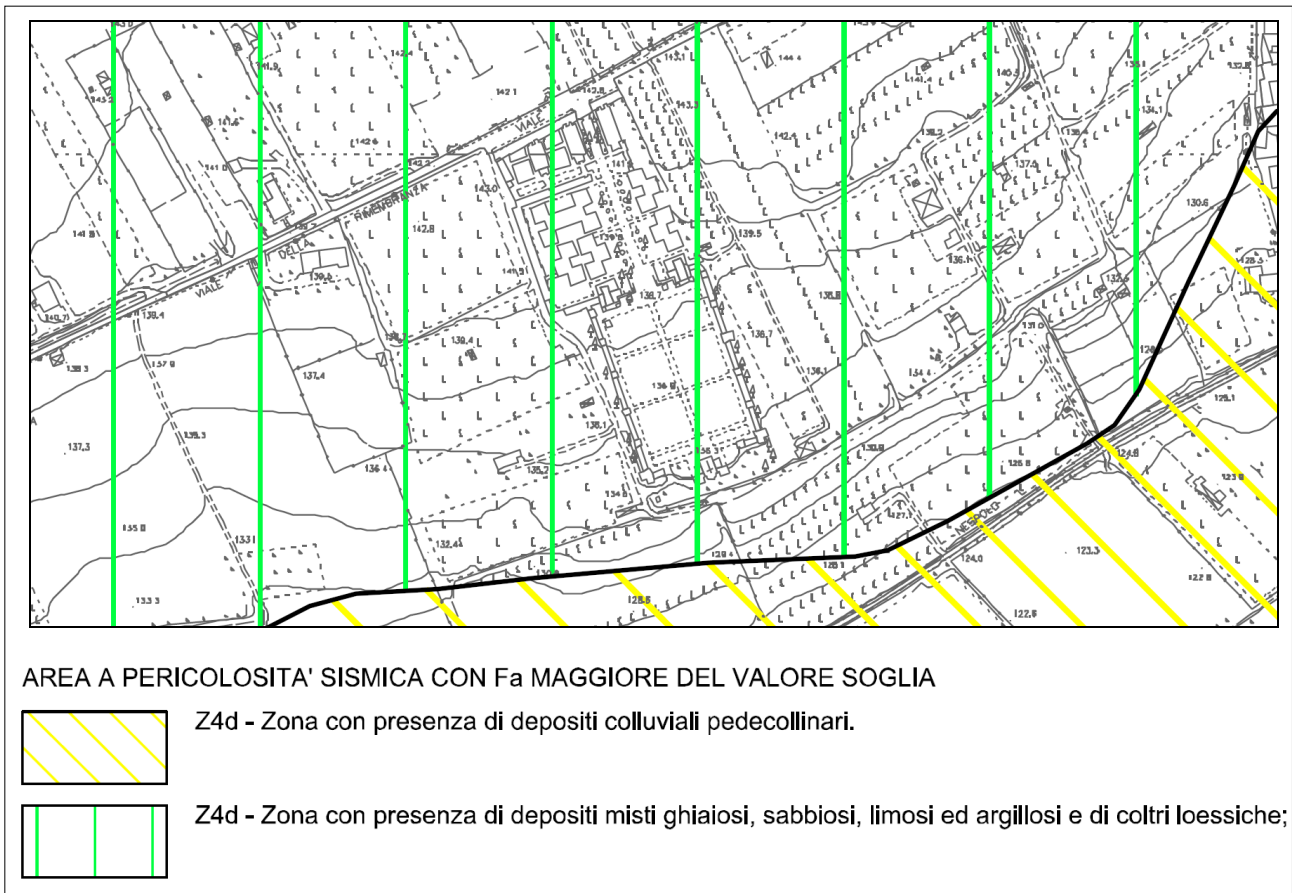


figura 10 - "carta della Pericolosità Sismica Locale" dello Studio Geologico Comunale

Per caratterizzare i terreni dal punto di vista sismico è stata eseguita una prospezione in sito consistita in n° 1 profilo di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati mediante metodologia MASW, in onde di Rayleigh e in onde di Love, e n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSr. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'andamento medio delle onde Vs in profondità ed eseguire la valutazione del parametro Vs,eq di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il D.M. 17/01/2018, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

Le immagini seguenti mostrano la posizione dello stendimento sismico e le fasi di acquisizione.

Ubicazione dell'area d'indagine



Stendimento sismico M.A.S.W.



Acquisizione del segnale sismico mediante sismografo Geometrics Modello Geode 3-1000



Acquisizione del microtremore sismico ambientale mediante tecnica H.V.S.R.

6.1 - ANALISI HVSR

6.1.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale.

La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza F_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con F_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

6.1.2 - Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

6.1.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i passaggi di seguito elencati.

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software winMASW versione Acd 7.2, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

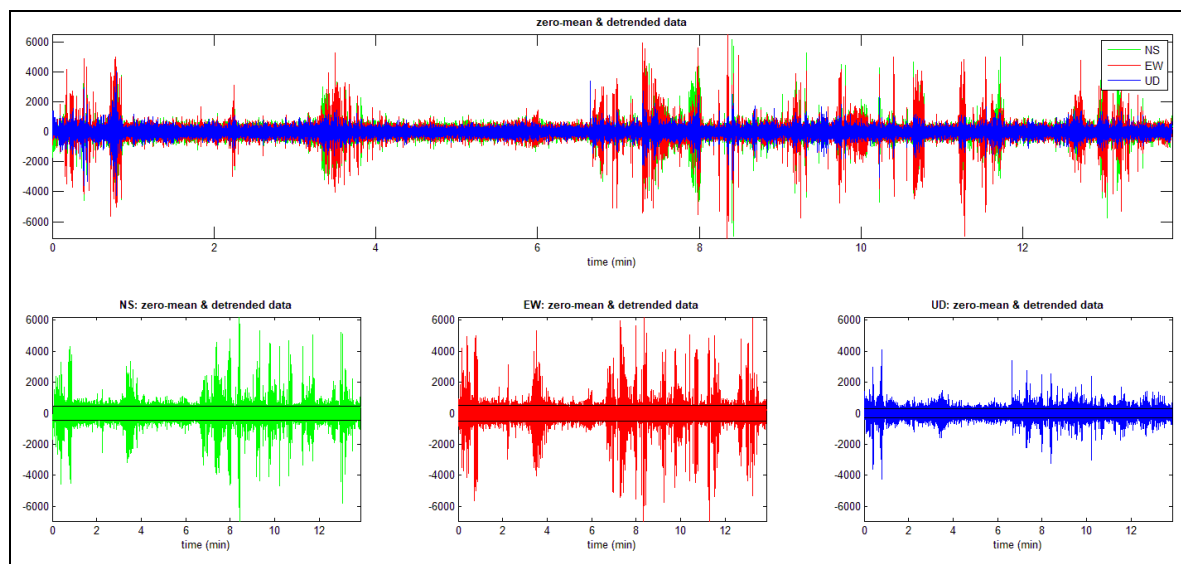


figura 11 - visualizzazione dei dati dopo della rimozione di eventi transienti.

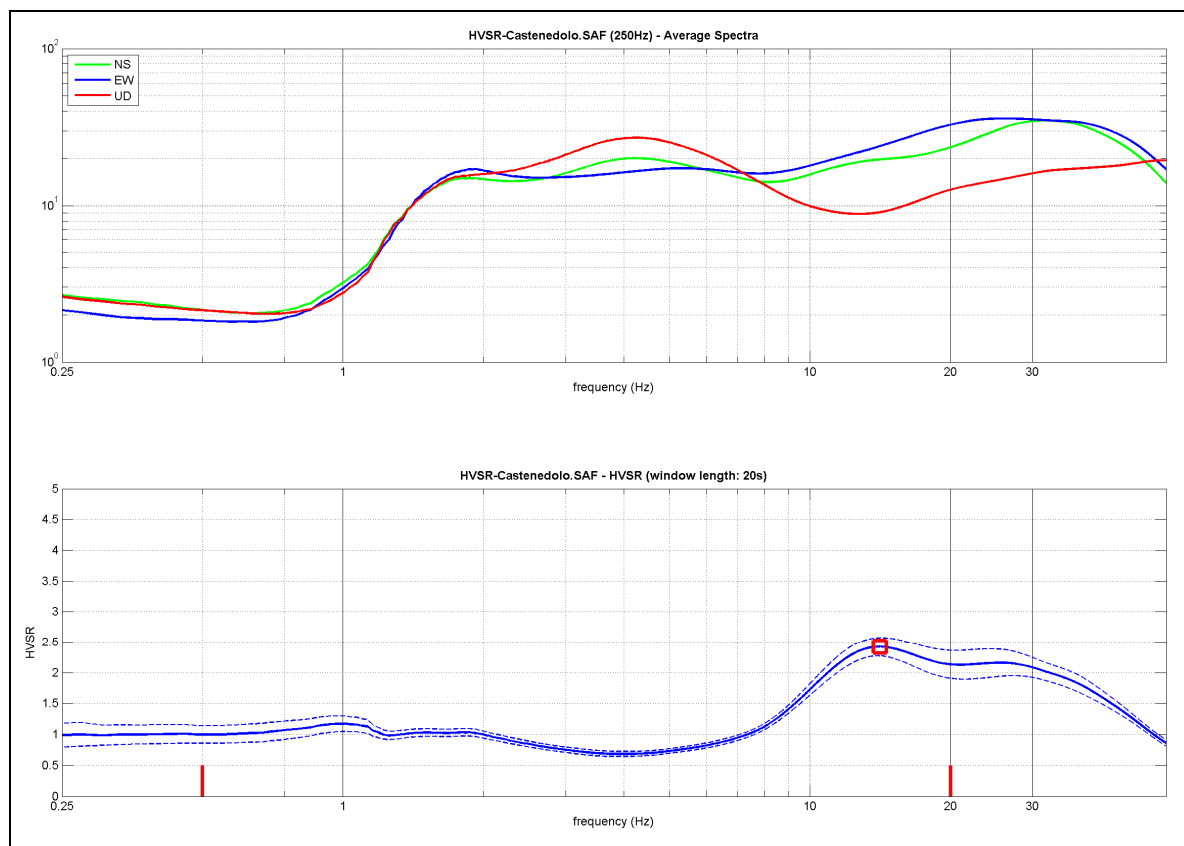


figura 12 - curva HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 14,1 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software winMASW, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $14.133 > 0.5$ (OK)
 - #2. $[nc > 200]$: $24592 > 200$ (OK)
 - #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)
-

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 3.6Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.4 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $2.408 > 0.707$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.150 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco principale a 14,1 Hz, di ampiezza pari 2,4 rispetta tutti i criteri SESAME per una curva affidabile, tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (range utile ai fini ingegneristici) è quindi risultata una possibile frequenza principale attorno a 14,1 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Il picco di risonanza principale del sito indagato, seppur non significativo secondo i criteri SESAME, e probabilmente "complicato" dal particolare assetto geologico locale, può essere ritenuto di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica superficiale, presente a circa -1,0/-2,0 m dal p.c., tra i terreni superficiali vegetali rimaneggiati e le sottostanti coltri loessiche, seppur non particolarmente addensate/consistenti, caratteristiche del territorio in cui ricade l'area d'indagine.

Il picco principale individuato dall'analisi H/V e il suo relativo tratto di curva, sono stati quindi comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR, per trarre informazioni sismostratigrafiche da integrare all'elaborazione MASW.

6.2 - INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

6.2.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta velocità di fase.

Le MASW attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio.

L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la curva di dispersione, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del dataset è ottenuta mediante il passaggio dal dominio spazio-tempo (sismogramma) al dominio velocità di fase/frequenza (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è maggiore (circa il 67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love permette di ottenere ottimi risultati in termini sismostratigrafici, anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati poco addensati compresi tra strati più competenti.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh e di Love, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , grandezza utile alla caratterizzazione sismica di un sito mediante la stima del parametro V_{s30} di sito e di conseguenza l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

6.2.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza degli stendimenti sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture di progetto. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-12-15 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 4 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (Geospace GS11D) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (Sense con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di trigger, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

6.2.3 - Analisi dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto segnale/rumore, si esegue una trasformata dal dominio spazio/tempo al dominio frequenza/velocità (Figura 13).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi modi, che possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità.

Se tale sovrapposizione avviene, come in questo caso, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione.

Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love. L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi, portando all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

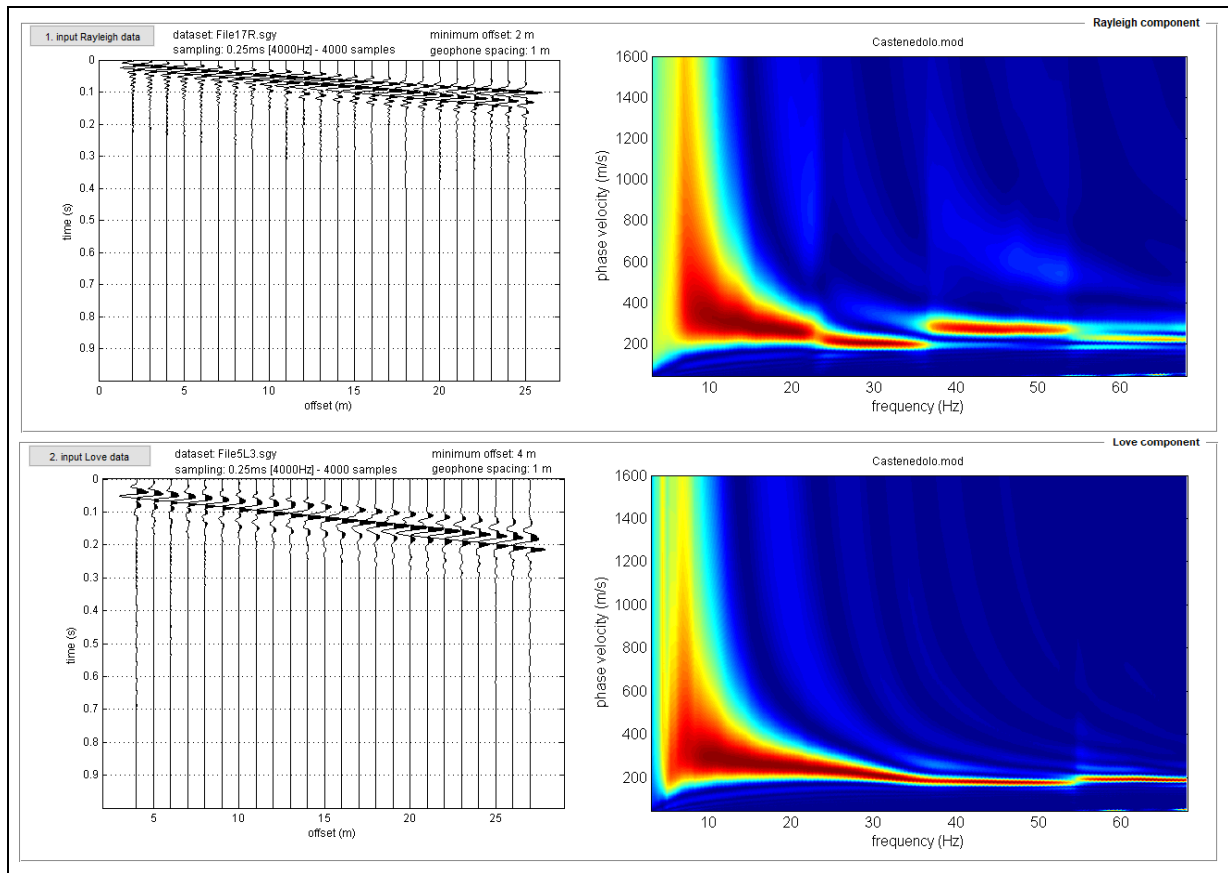


figura 13 - Sismogrammi acquisiti (sx) e relativi spettri di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh (in alto) e delle onde di Love (in basso).

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 7 - File17R.sgy	Dati relativi allo shot 1 - File5L3.sgy
Offset minimo: 2 m	Offset minimo: 4 m
Distanza intergeofonica: 1,0 m	Distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta della curva di dispersione

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna. Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (Figura 14).

Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

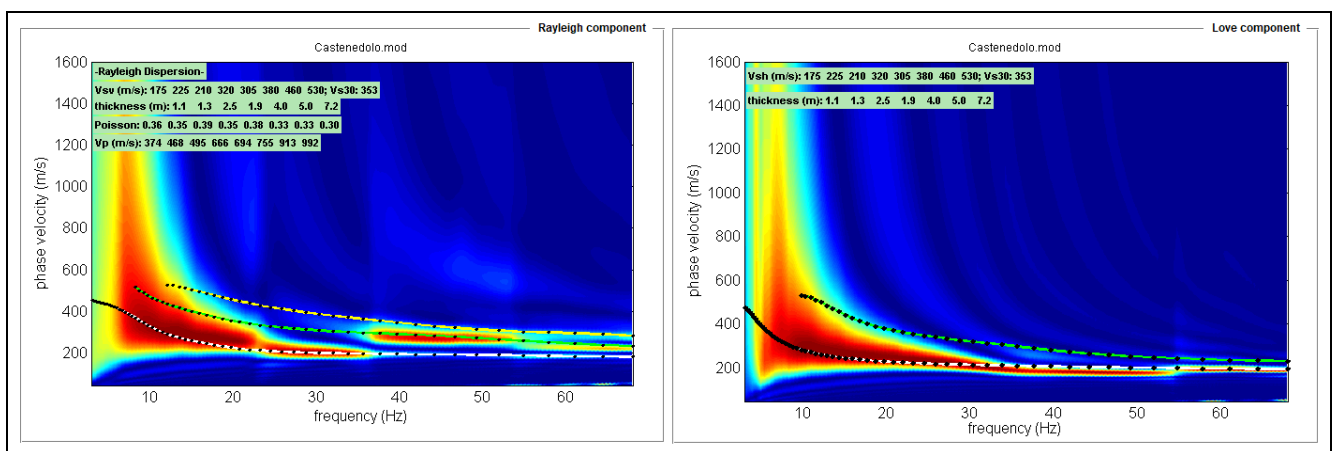


figura 14 - Risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love: modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e del primo modo superiore che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx) e congiuntamente quello delle onde di Love (dx).

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<20 Hz), e quindi nelle porzioni più profonde del modello geofisico, è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSR (Fig. 15). È stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

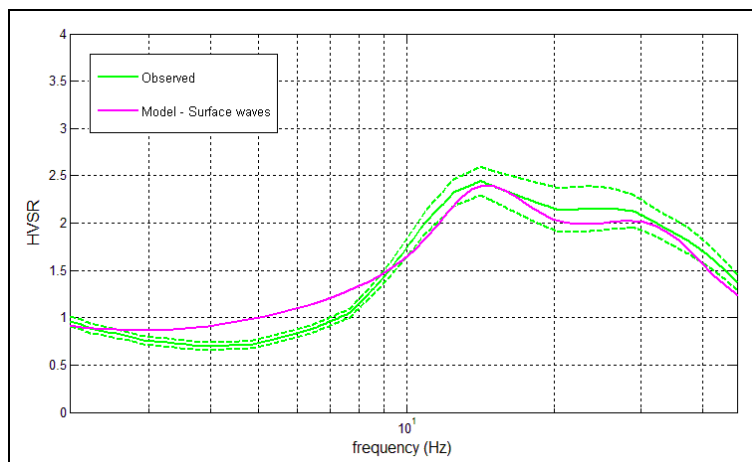


figura 15 - Confronto tra H/V sperimentale (verde) e teorico (viola), ottenuti per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

6.3 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, dei risultati ottenuti dalle prove penetrometriche eseguite contestualmente alla prospezione sismica, nel medesimo sito di progetto. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico medio, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in modo congiunto tra le Rayleigh e quelle di Love. in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSR.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via delle Rimembranze - Castenedolo (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	175	1,1	-1,1	1,82	0,36	56
2	225	1,3	-2,4	1,87	0,35	95
3	210	2,5	-4,9	1,88	0,39	83
4	320	1,9	-6,8	1,96	0,35	200
5	305	4,0	-10,8	1,97	0,38	183
6	380	5,0	-15,8	1,99	0,33	287
7	460	7,2	-23,0	2,03	0,33	430
8	530	7,0	-30,0	2,05	0,30	576

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V_{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m dal p.c.	353	C	Valore di V_{s,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata alternativamente in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto fino a -30,0 m dal p.c., utilizzato per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$ (Figura 16).

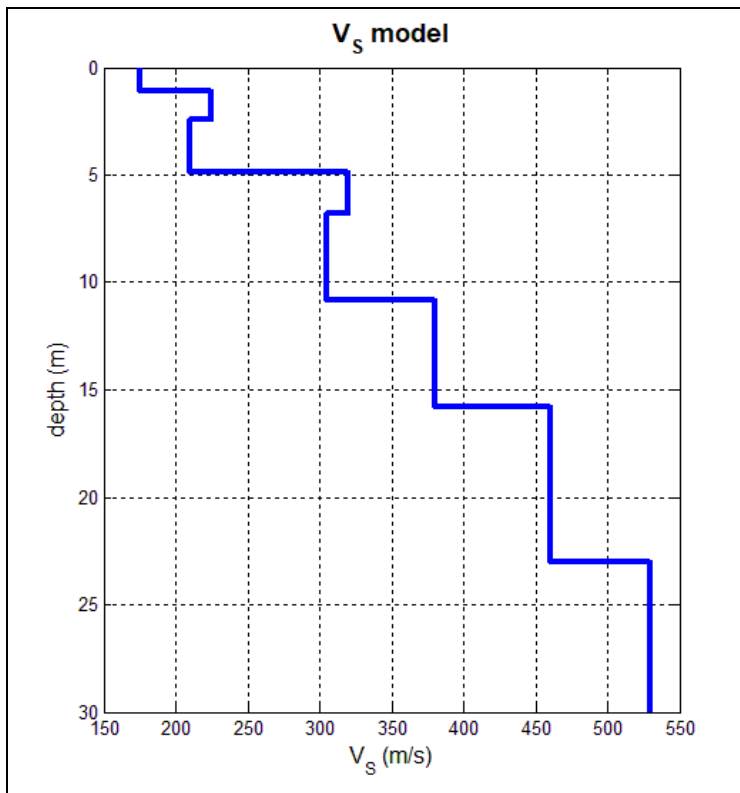


figura 16 - Profilo sismostratigrafico del modello medio ottenuto fino a -38,0 m di profondità dal p.c.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva un primo strato di terreno vegetale superficiale rimaneggiato e scarsamente addensato, per uno spessore di 1,1 m con velocità delle onde S (onde di taglio) pari a 175 m/s.

Da -1,1 m fino a -4,9 m dal p.c., in accordo con la modellazione diretta del picco principale della curva HVSR, si registrano valori di V_s compresi tra 210 e 225 m/s, caratteristici di depositi nel complesso da scarsamente a moderatamente consistenti, correlabili presumibilmente all'unità loessica, o comunque di età quaternaria, che caratterizza il territorio in cui ricade l'area in esame.

Da -4,9 m a -10,8 m dal p.c. si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 320 e 305 m/s, propri di depositi, da moderatamente consistenti a consistenti, attribuibili alla medesima unità loessica ipotizzata in superficie.

Inversioni dei valori di velocità come quella riscontrata da -6,8 a -10,8 m dal p.c., sono imputabili a locali diminuzioni dello stato di consistenza della suddetta sequenza sedimentaria.

Oltre -10,8 m dal p.c., si segnalano velocità di propagazione delle onde S medio alte (460-530 m/s), solitamente proprie dei depositi da addensati a molto addensati.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S, nei primi metri, risultano compatibili in parte con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite nel medesimo sito di progetto.

6.4 - PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo il D.M.17/01/18, tenuto conto dei risultati delle prospezioni sismiche utilizzate, e considerando cautelativamente una profondità di posa delle strutture di fondazione corrispondente al p.c. esistente alla data delle indagini, è stato stimato un valore di $V_{s,eq}$ pari a 353, con bedrock sismico posto ad una profondità di oltre -30,0 m dal p.c., di conseguenza il sito di progetto ricadrebbe in una categoria di sottosuolo "C".

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area è stata classificata, nella "Carta della pericolosità sismica locale" (Tav. 3 - Febbraio 2009) allegata alla Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. del Comune di Castenedolo, entro lo scenario di pericolosità sismica Z4 definito come "Zona con presenza di depositi misti ghiaiosi, sabbiosi, limosi ed argillosi e di coltri loessiche".

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento).

Secondo l'approfondimento di II livello comunale, il lotto di progetto ricadrebbe in un'area in cui si prevedono valori di F_a di sito superiori ai valori di F_a di soglia previsti per la categoria di sottosuolo "B". Pertanto, i parametri sismici della normativa sismica vigente non sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica $FAC > FAS$.

Tuttavia, avendo eseguito una prospezione sismica presso il sito di progetto, ottenendo una Categoria di Sottosuolo di partenza diversa da quella segnalata nello Studio Geologico comunale, è stato scelto di eseguire comunque un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (Approfondimento secondo quanto previsto nell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato a partire cautelativamente dal p.c., come definiti nel modello geofisico medio, è stata riportata nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici". Rispettando i campi di validità e soprattutto le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito, è stata eseguita una verifica dei valori dei F_a di sito rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla litologia "limoso-sabbiosa – tipo 2" di cui si riporta l'esplicazione grafica (figura 17), facendo riferimento alla curva caratteristica 2.

Si specifica che, per i limiti intrinseci della metodologia d'indagine utilizzata e della tipologia della successione stratigrafica del sito in esame, non è stato possibile raggiungere il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s), utile per il calcolo del periodo di vibrazione del sito (T). Per questo motivo, la ricostruzione dell'andamento dei valori di V_s fino al valore di 800 m/s è stata stimata sulla base del gradiente di V_s nei primi 30,0 m indagati e tenendo conto dell'andamento della curva di validità della scheda Limoso-sabbiosa – tipo 2, prescelta per l'applicazione del II Livello.

Tenendo conto dell'assenza di orizzonti, ipotizzabili rigidi, fino ad almeno 70-80 m dal p.c. (come evidenziato dalla stratigrafia di alcuni pozzi terebrati nel medesimo contesto geologico di quello di indagine), e considerando i carichi litostatici agenti oltre tali profondità, si ipotizza un bedrock sismico ad una profondità plausibile di 90,0 m dal p.c..

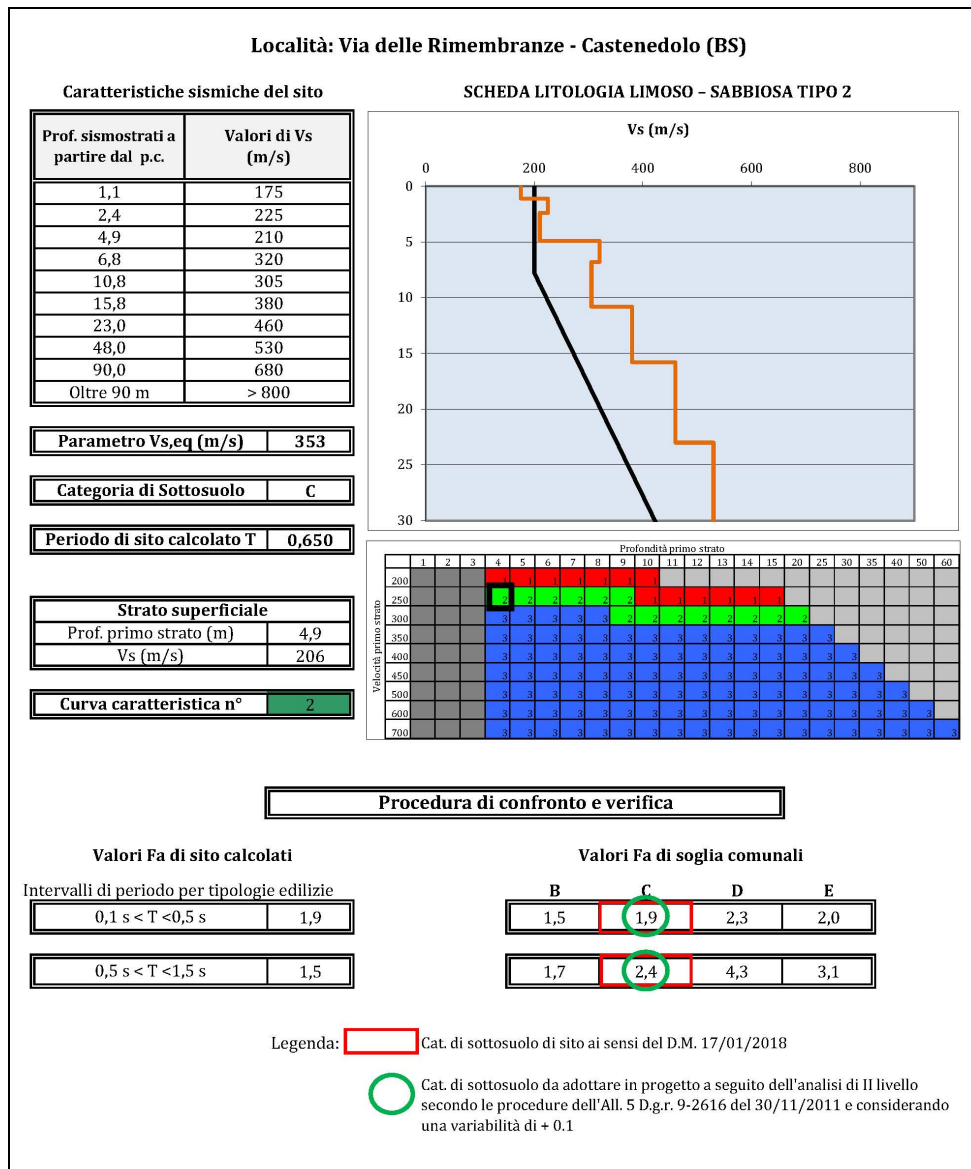


figura 17 - STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011.

I risultati ottenuti, hanno verificato che, sia per edifici con periodo T compreso tra 0,1 e 0,5 s che per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s, si ottengono valori di Fa inferiori ai valori di Fa di soglia comunale previsti ($FAC \leq FAS$), tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'All. 5 (+0,1) e per la categoria di sottosuolo "C" (definita per il sito d'interesse). Pertanto, i parametri sismici della normativa vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione, causato dalla progressiva riduzione delle tensioni efficaci nel corso di un terremoto, può verificarsi in terreni prevalentemente sabbiosi sotto falda, limitatamente ai primi 10-15 m dalla superficie; in particolare sono potenzialmente liquefacibili i depositi superficiali, sciolti e saturi, che presentano granulometria delle sabbie fini e medie con contenuto in limo variabile generalmente dallo 0 al 20% e grado di addensamento medio-basso.

La verifica a liquefazione può essere infatti omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1 g (a_{gmax});
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame è verificata la circostanza indicata al punto 2, quindi l'analisi della liquefazione può essere omessa.

7 - ANALISI DEI VINCOLI SUL TERRITORIO; FATTIBILITÀ GEOLOGICA

L'area oggetto di studio ricade all'interno di un'area sottoposta a vincoli. Come evidenziato dalla figura 10, tratta dalla "Carta dei Vincoli" dello Studio Geologico Comunale esiste un vincolo legato all'appartenenza dell'area al geosito di interesse geologico-strutturale di livello regionale – Colle di Castenedolo.

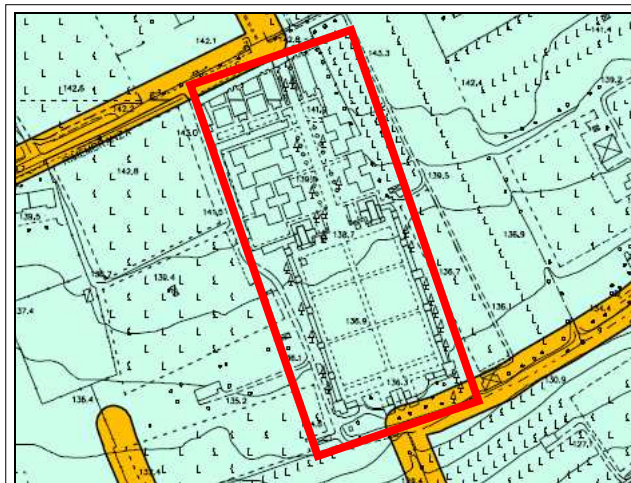


figura 18:
"Carta dei Vincoli"
dello Studio Geologico Comunale

GEOSITO (art. 22 dell'articolato di Piano del Piano Paesaggistico Regionale)

- Colle di Castenedolo
- Geosito di interesse geologico-strutturale di livello regionale (ai sensi dell'art. 22 del Piano Paesaggistico Regionale approvato con d.g.r. 16 gennaio 2008 n. 8/6447).

Come mostra la figura 19, tratta dalla "Carta della fattibilità per le azioni di piano" dello Studio Geologico Comunale, l'area interessata dal progetto ricade nella seguente classe di fattibilità:

- 3, per la quale sono previste consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

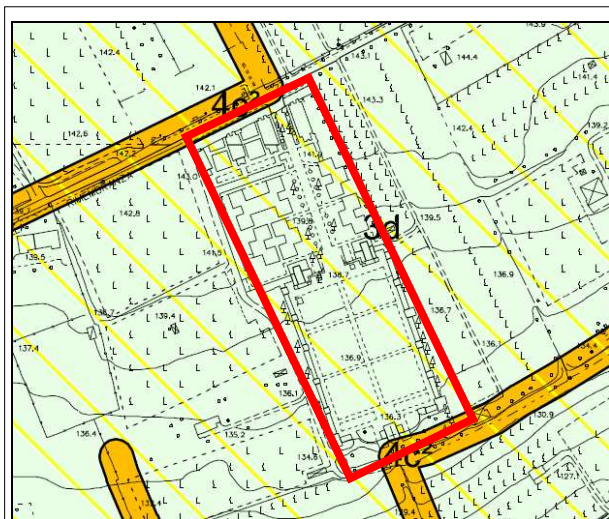


figura 19 - carta della fattibilità per
le azioni di piano

3d

3d - Colle di Castenedolo - Geosito di interesse geologico-strutturale di livello regionale (ai sensi dell'art. 22 del Piano Paesaggistico Regionale approvato con d.g.r. 16 gennaio 2008 n. 8/6447); localmente sono presenti coperture di potenza metrica di terreni fini dotati di scadenti o mediocri parametri geotecnici.

AREA A PERICOLOSITA' SISMICA CON Fa MAGGIORE DEL VALORE SOGLIA COMUNALE



Z4d - Zona con presenza di depositi colluviali pedecollinari e
Z4d - Zona con presenza di depositi misti ghiaiosi, sabbiosi, limosi ed argillosi e di coltri loessiche.

Lo Studio Geologico Comunale riporta la seguente descrizione della classe 3:

CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

All'interno delle aree definite in classe 3 andranno previsti, se necessario, interventi per la mitigazione del rischio.

Lo Studio Geologico Comunale riporta la seguente descrizione della classe 3d:

3d - Fascia di rispetto del reticolo idrico minore di competenza consortile.

Al suo interno si applica il Regolamento allegato allo studio *Individuazione del Reticolo Idraulico del Comune di Castenedolo* (Consorzio di Bonifica Medio Chiese).

"Per tutto il reticolo idrico minore artificiale è stata segnata una fascia di competenza consortile dell'ampiezza massima di mt. 10 da ciascuna sponda. Gli interventi che interessino questi corsi d'acqua e/o debbano essere realizzati nella fascia individuata, saranno soggetti alle specifiche normative consortili vigenti ed andranno sottoposti all'approvazione del Consorzio di Bonifica Medio Chiese".

8 - CONCLUSIONI

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Castenedolo (Determinazione n. 661 del 07-10-2020), è stato eseguito uno studio per definire il modello geologico dell'area cimiteriale in via Rimembranze in comune di Castenedolo (BS) sulla quale è prevista la costruzione di un ampliamento.

Lo studio ha fornito le informazioni di seguito riassunte.

litologia

Il territorio nell'intorno dell'area è caratterizzato dalla presenza di depositi prevalentemente fini argillosi fra m 0,00 e m 13,60 circa, quota massima raggiunta dalle indagini.

geomorfologia

- quota topografica: circa 142 m s.l.m.
- categoria topografica: T1, trattandosi di superficie pianeggiante con inclinazione media $i < 15^\circ$ (D.M. 17/01/2018)
- elementi di rischio idrogeologico: assenti.
- Essendo l'intervento previsto su area pianeggiante, non si prevedono modifiche significative alla morfologia dei luoghi.

idrogeologia

- soggiacenza media della falda: oltre 30 m
- vulnerabilità della falda acquifera: bassa

sismica

- zona sismica: 2
- scenario di pericolosità sismica: Z4b, suscettibile di amplificazioni litologiche
- categoria sismica di sottosuolo: C
- liquefazione dei terreni: da escludere, poiché non sono in falda

Fattibilità geologica

L'area in esame ricade nella classe 3d di fattibilità geologica, alla quale sono associate le prescrizioni illustrate nel paragrafo precedente.

Sulla base di quanto esaminato è possibile dichiarare che l'intervento in progetto è compatibile con il modello geologico e sismico del luogo, fatto salvo il rispetto della normativa vigente e delle NTA dello Studio Geologico Comunale.

Dott. Agostino Pasquali Coluzzi

