

STUDIO GEOLOGICO CALICETTI PAOLO

VIA LOMBARDIA 46, CASTELNUOVO RANGONE 41051 (MO)

CLCPLA85H14G393Q

Telefono: 3476656452

P.I. 03533010363

E-mail: paolo.calicetti@gmail.com

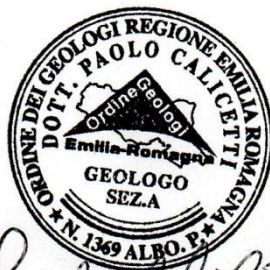
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

OGGETTO: CONSOLIDAMENTO FRONTE NORD EST DEL MURO PERIMETRALE
DEL CIMITERO DI CERREDOLO

LUOGO: via Corbella, Cerredolo Comune di Toano (RE).



Il tecnico: Calicetti Geol. Paolo



Sommario

Sommario	1
1. Introduzione	3
2. Inquadramento dell'area	3
2.1 Inquadramento geografico	3
2.2 Inquadramento geologico	6
2.3 Caratteri geomorfologici	8
3. Realizzazione del progetto	9
4. Indagini di cantiere	13
4.1 Prova penetrometrica dinamica	15
5. Modello geotecnico e litologico del terreno	16
6. Sismicità dell'area	19
7. Azione sismica di base al DM 14/01/2008	20
8. Analisi della risposta sismica locale	21
9. Indagini geofisiche	22
9.1 Acquisizione MASW	22
10. Azione sismica in superficie	23
11. Intervento proposto	24
12. Conclusioni	25
Tavola 1- Elaborazione dei dati di campagna delle prove penetrometriche	28
Tavola 2- Acquisizione Masw	32

1. Introduzione

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza al D. M. 17/01/2018 Norme tecniche per le costruzioni, pertanto il presente studio verrà suddiviso nelle seguenti sezioni: **relazione geologica** riguardante la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (par. 6.2.1 D.M 17/01/2018); **relazione geotecnica** basata sulle indagini geognostiche eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (par. 6.2.1 D.M 17/01/2018); **“risposta sismica del sito”** (ai sensi del D. M. 17/01/2018 NNTC).

Nel mese di febbraio 2020 è stato redatto il presente documento finalizzato a determinare i parametri geotecnici, sismici e le caratteristiche geomorfologiche dell'area in oggetto, per determinare le cause che hanno provocato le profonde lesioni della parte nord-est del muro perimetrale del cimitero di Cerredolo. I parametri calcolati e le considerazioni fatte a seguito delle opportune indagini, permetteranno di definire le scelte progettuali degli interventi in funzione alle caratteristiche litotecniche, idrogeologiche e delle eventuali criticità geologiche riscontrate.

2. Inquadramento dell'area

2.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto d'indagine, vedi fig. 2.1.1 è situata in via Corbella a 0,5 km a monte rispetto alla SS 486 e a c.a 1,2 km in direzione sud rispetto all'abitato di Cerredolo, nel Comune di Toano in provincia di Reggio Emilia. Il sito si trova in un contesto rurale compreso tra la borgata La Cà e la borgata Cà Marangone a c.a 370 m s.l.m., come consultabile nella seguente cartografia:

Elemento n° 235044 MASSA alla scala 1:5000 fig.2.1.2

Sezione n° 235040 MONTEFIORINO alla scala 1:10.000 fig. 2.1.3

Tavola n° 235 ne MONTEFIORINO in scala 1:25.000 fig. 2.1.4

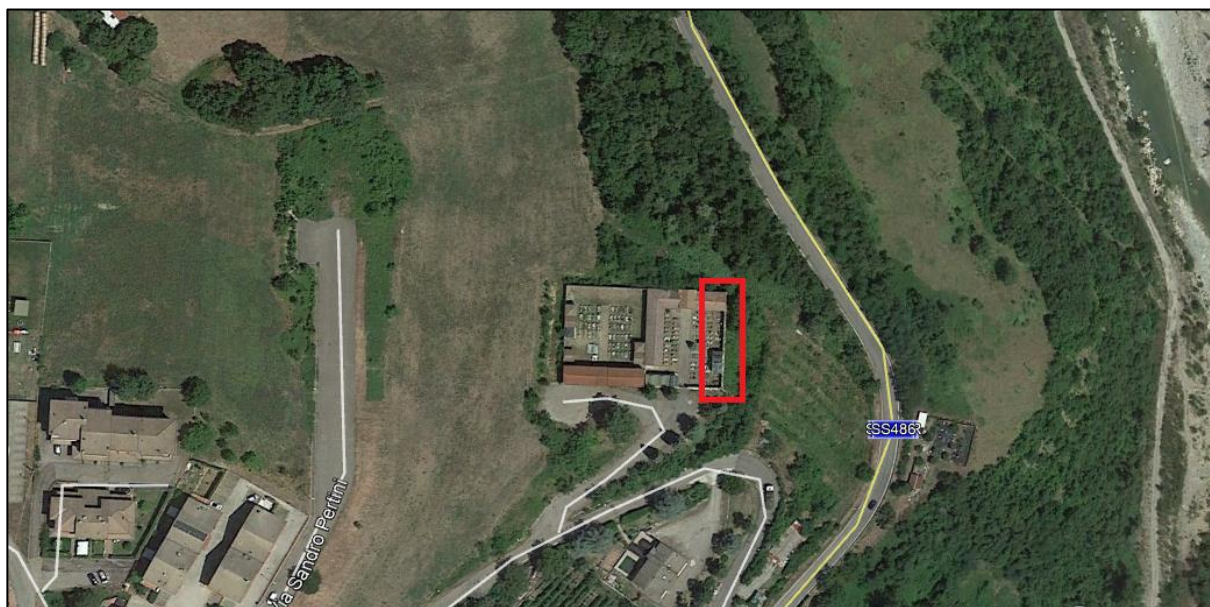


Fig. 2.1.1- Area oggetto d'indagine.

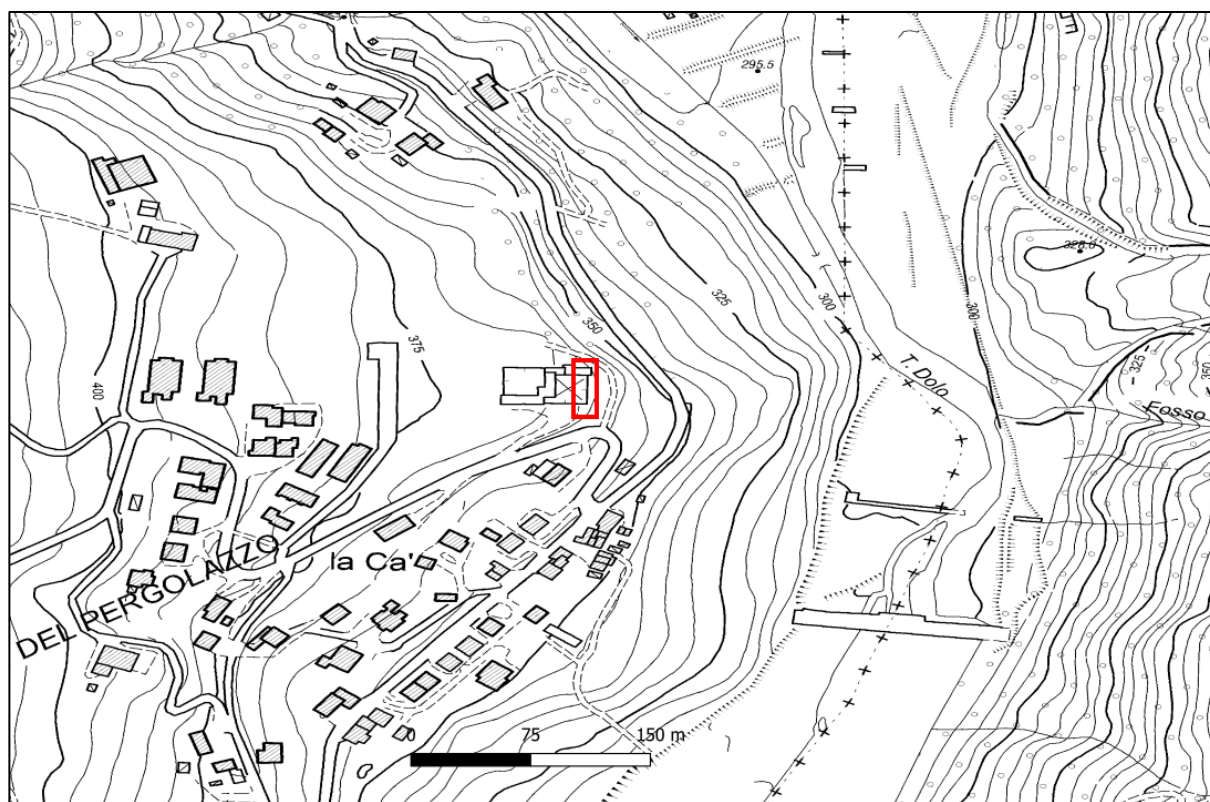


Fig. 2.1.2- Elemento n° 235044 MASSA alla scala 1:5000.

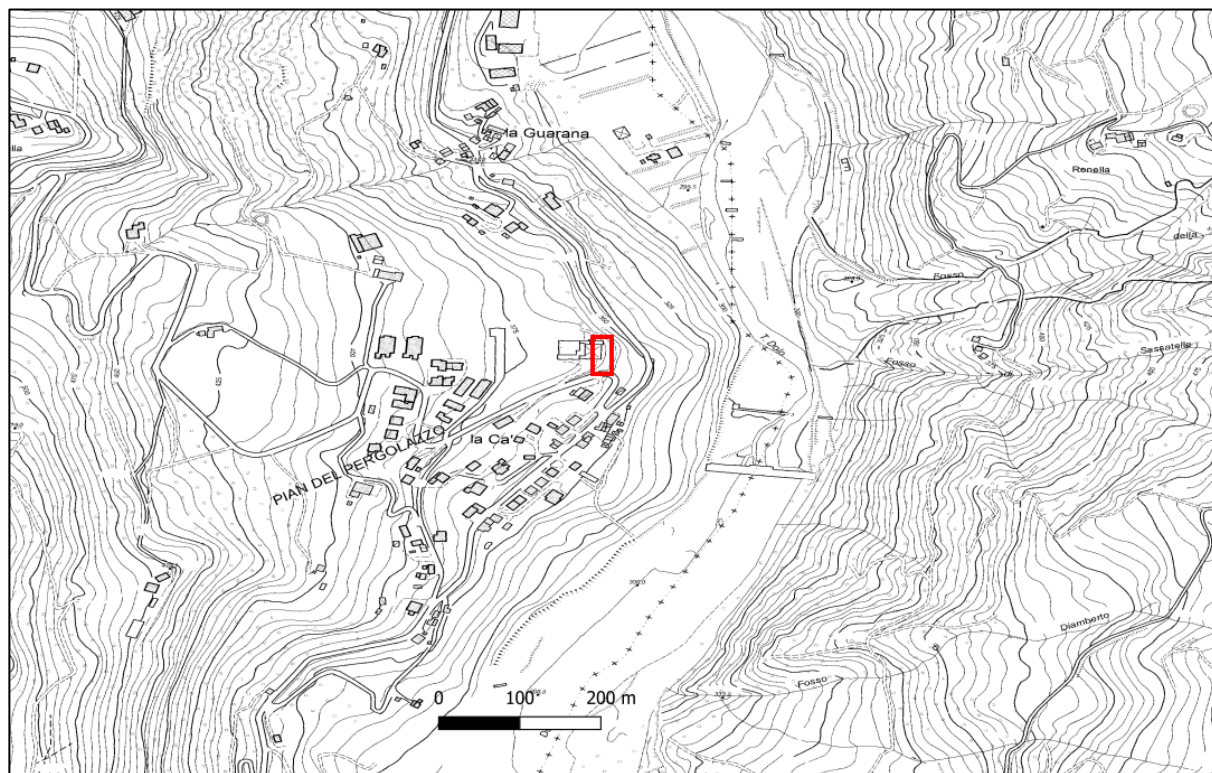


Fig. 2.1.3- Sezione n° 235040 MONTEFIORINO alla scala 1:10.000.

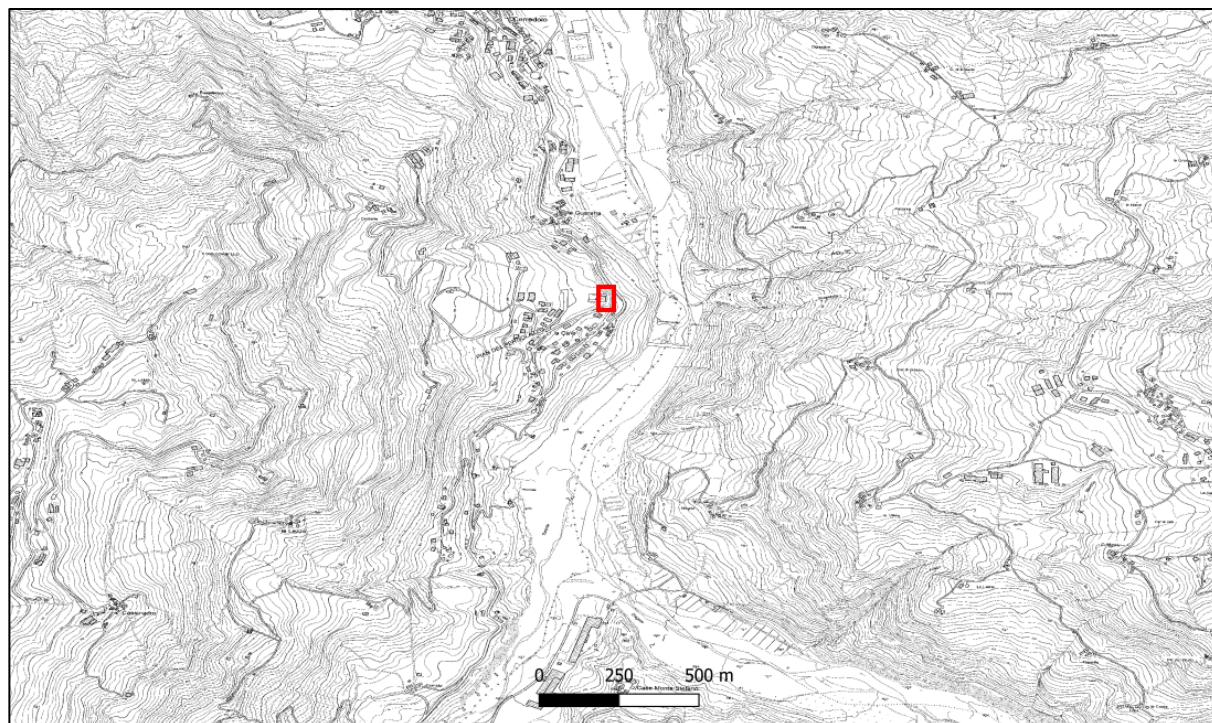


Fig. 2.1.4- Tavola n° 235 ne MONTEFIORINO in scala 1:25.000.

2.2 Inquadramento geologico

L'area di studio (vedi cap.1.2), ricade all'interno dell'appennino medio-basso settentrionale.

L'appennino settentrionale, costituito da unità tettoniche con vergenza orientale, ovvero senso di movimento da Ovest ad Est è dominato da litologie argilloso-marnose che muta poi in formazioni calcareo-dolomitiche nelle zone centrali e meridionali che impartiscono forme più aspre e maestose. Il limite occidentale della catena è legato allo sprofondamento post-orogenico recente del mar Tirreno, mentre quello orientale è sepolto dai depositi plio-quadernari delle avanfosse, per questo il margine orografico della catena viene a trovarsi anche qualche decina di km arretrato rispetto quella geologica. L'appennino è una catena a falde polifasica, sviluppatasi in un arco di tempo che va dal cretaceo fino all'attuale, in seguito alla collisione tra due blocchi continentali con il piano di subduzione rivolto verso S-W, la zolla Europa e la microplacca Adriatica inizialmente connessa alla zolla Africana. Il processo di collisione tra queste due zolle continentali è stato preceduto chiusura del paleo-oceano ligure-piemontese. La catena deriva così dalla complessa deformazione dei sedimenti depositi nei differenti domini paleogeografici. Il dominio ligure corrisponde in larga misura all'area oceanica, il dominio epiligure si imposta a partire dall'Eocene medio sulle unità liguri già tettonizzate, il dominio subligure sviluppato sulla crosta assottigliata africana adiacente alla zona oceanica e il dominio toscano-umbro appartenente alla zolla africana. Alla fine del processo deformativo, i sedimenti sono risultati traslati, sovrascorsi in modo complesso strutturati in unità ed elementi tettonici interessati da un trasporto significativo rispetto al loro originario dominio di sedimentazione, oppure in successioni stratigrafiche interessate da un minor grado di alloctonia; le principali unità e successioni affioranti nel territorio indagato sono le Unità Liguri, Unità Subliguri, Successione Epiligure, Falda Toscana. La progressiva deformazione e l'emersione della catena proseguono fino al Quaternario. Lungo il bordo appenninico padano i sedimenti plio-Quaternari risultano piegati in corrispondenza del "Lineamento Frontale Appenninico" che rappresenta il punto di raccordo fra la catena in sollevamento e quella sepolta.

Le Unità Liguri, subliguri e la successione epiligure comprendono tutte quelle unità alloctone costituite da successioni pelagiche deposte su crosta oceanica e di transizione del paleo-oceano ligure-piemontese tra il Giurassico e l'Eocene medio (liguri). L'insieme di queste unità è sovrascorso sulle unità toscane e umbro-marchigiane-romagnole da ovest verso est prevalentemente durante le fasi mioceniche. La successione epiligure si è deposta in discordanza sulle unità Liguri, Subliguri e Sestola-Vidiciatico durante la migrazione verso est terminata nel Pliocene inferiore. Lo spessore della coltre alloctona non è omogeneo ma risente dei sollevamenti dovuti all'attività delle strutture attive e recenti, in particolare di quelle profonde.

Di seguito è riportata la carta geologica del sito e sono descritte in sintesi le formazioni geologiche e le coperture quaternarie affioranti nell'intorno dell'area di studio.

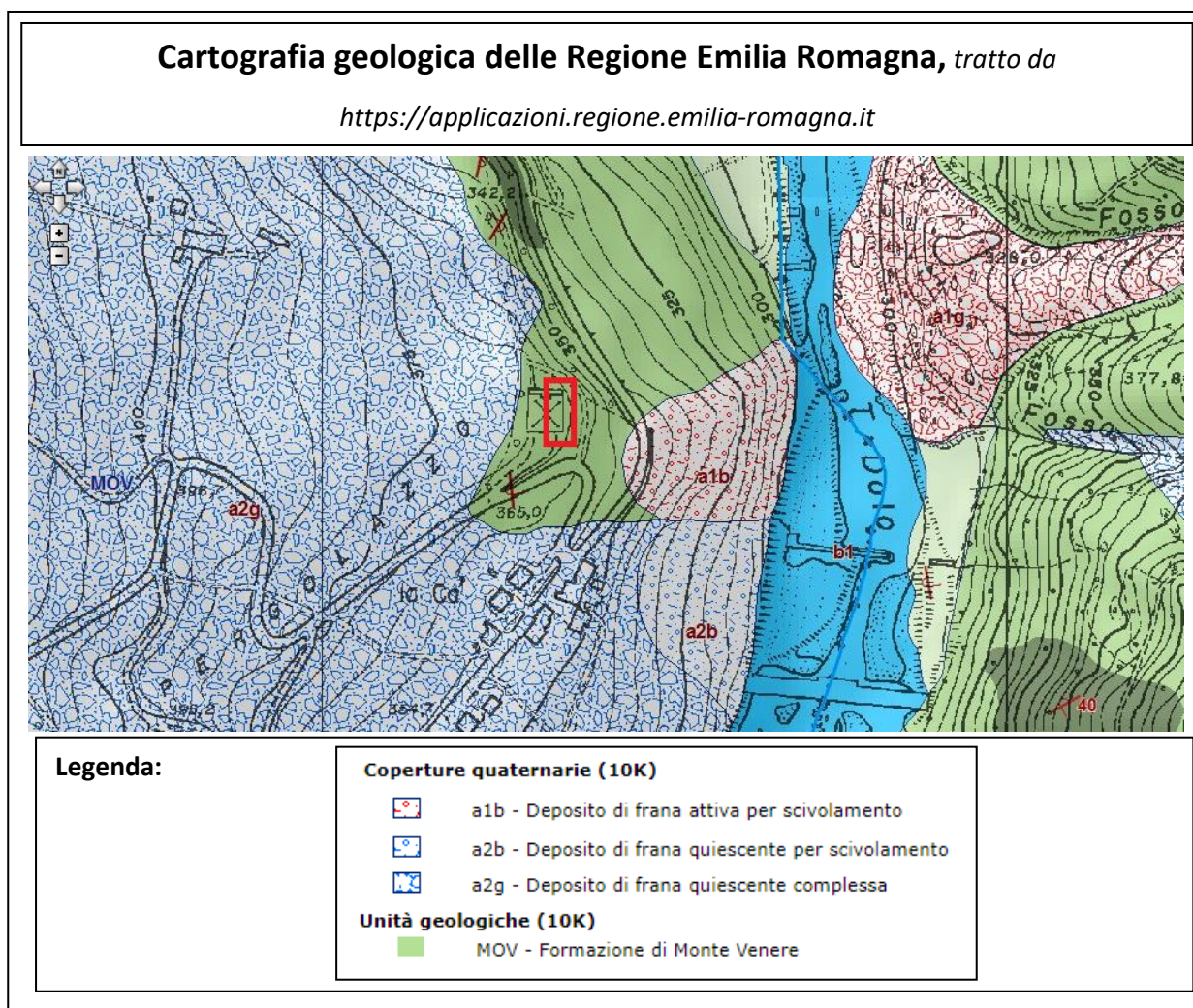


Fig. 2.2.1- Carta geologica R.E.R illustra la copertura quaternaria presente nell'area oggetto d'indagine.

Depositi quaternari continentali

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

Unità epliguri

MOV - Formazione di Monte Venere

Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi. Regolari intercalazioni di megatorbiditi calcareo-marnose in strati spessi fino a 15 m. Le areniti hanno composizione arcosica e possono avere cementazione scarsa, specie quelle a grana più grossolana. Paleocorrenti con provenienza dai quadranti meridionali. Contatto inferiore non preservato. Nella parte alta della formazione è localmente presente la litofacies del Torrente Lucola (MOVa), costituita da torbiditi siltoso-marnose in strati sottili. Torbiditi di ambiente marino profondo. Potenza fino a 600 m.

2.3 Caratteri geomorfologici

L'area oggetto d'indagine si trova a mezza costa di un versante alla sinistra idrografica del Fiume Secchia situato a 230 m in direzione est. La pendenza media del versante è 22° ma va considerato che l'area in esame è stata resa pianeggiante per realizzare il cimitero. La parte lesionata del cimitero, ovvero il muro perimetrale ad est e parte del muro a nord, si trova a ridosso di una scarpata che termina con la Strada Satale 486 situata 400 m a valle.

L'area, come riportato nel capitolo precedente è caratterizzata dalla presenza di una formazione geologica in posto con stratificazione rovescia e con inclinazione a franappoggio di 10°.

Come riportato in fig. 2.3.1, estratto dal PTCP 2010 e dalla cartografia del vincolo idrogeologico della Provincia di Reggio Emilia, l'area ricade in una zona soggetta a vincolo idrogeologico ma non ricade in zone soggette a frane attive o quiescenti. Anche dal sopralluogo effettuato dallo scrivente non sono stati individuati segni di movimenti franosi o cedimenti del terreno recenti.

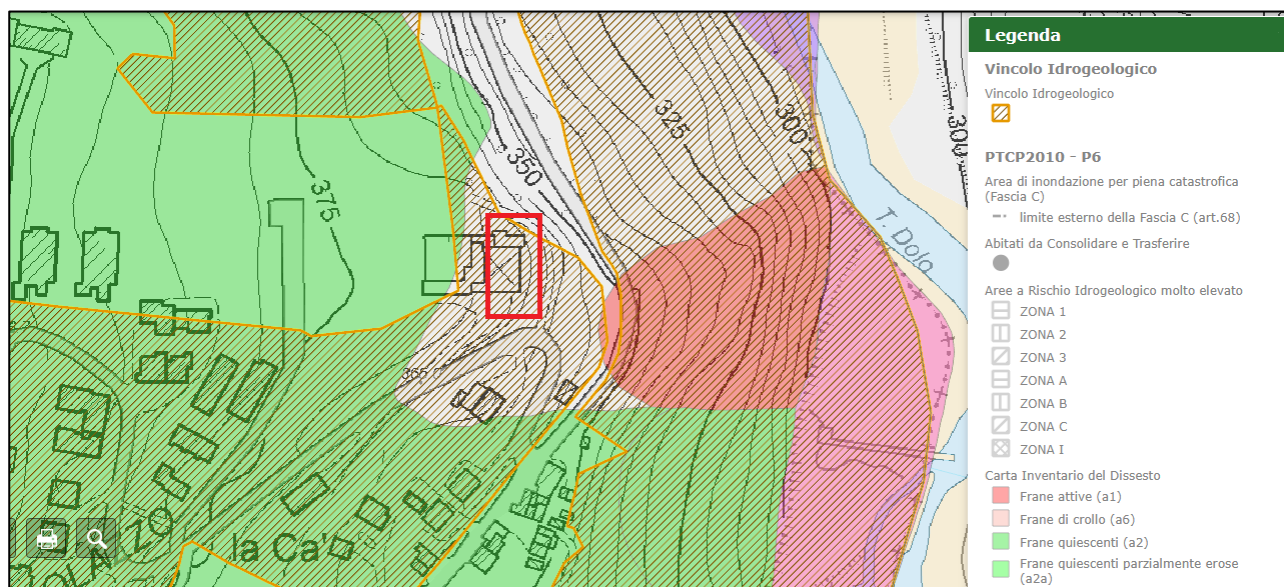


Fig. 2.3.1- La cartografia illustra l'assenza di fenomeni gravitativi in prossimità del cimitero compreso però nel perimetro soggetto a vincolo idrogeologico.

3. Realizzazione del progetto

La caratterizzazione del terreno illustrata nel presente elaborato è finalizzata alla consolidazione del muro perimetrale di est e dello spigolo nord est con relativa struttura votiva del cimitero di Cerredolo. Si tratta di manufatti in pietra che presentano profonde lesioni come riportato in Fig. 3.1, 3.2, 3.4 e 3.4. Dalle indagini effettuate si definiranno le specifiche e la tipologia degli interventi di consolidazione in relazione alle caratteristiche litotecniche del terreno. Il progetto dovrà tenere in considerazione anche un'adeguata regimentazione delle acque, in quanto attualmente le acque vengono scaricate al piede del muro stesso vedi foto a seguito allegate. La presenza di materiale di riporto alla base del muro e a ridosso della scarpata fa sì che si crei una contropendenza verso il muro stesso e pertanto le acque tendono a ristagnare alla base del manufatto.



Fig. 3.1- Lesioni del muro perimetrale spigolo nord-est.



Fig. 3.2- Lesioni struttura posta nello spigolo nord est.



Fig. 3.3- Grondaie di scarico.



Fig. 3.3- Fognoli di scarico alla base del muro.

4. Indagini di cantiere

Per la determinazione dei parametri geotecnici, geofisici e litologici del sito, sono state eseguite 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH con un penetrometro cingolato Pagani TG-63 100KN (fig. 4.1, 4,2), e un'acquisizione di sismica attiva (Fig. 4.3), in particolare:

DPSH N°1: - 5,4 m DPSH N°2: -3,6 m

N° 1 acquisizione Masw

Questa soluzione ha portato alla definizione litologica e geotecnica del terreno e quindi alla suddivisione in spessori in base alle loro caratteristiche litotecniche e al loro grado di addensamento e consistenza; è stata misurata la velocità di propagazione delle onde superficiali di taglio V_{seq} necessaria per definire la classe sismica del sito e, questo parametro, unito alle prove di tipo meccanico, contribuisce a dare informazioni sul grado d'addensamento litologico e sull'individuazione del bedrock sismico. L'ubicazione delle prove e dello stendimento sismico eseguito viene riportato in fig. 4.4. Le prove DPSH sono state distribuite in modo da poter determinare una sezione stratigrafica rappresentativa dell'area oggetto d'indagine. Nella tav. 1 in allegato sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove penetrometriche eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica, in tav. 2 viene riportata l'elaborazione dell'indagine sismica.



Fig. 4.1- DPSH n°1



Fig. 4.2- DPSH n°2



Fig. 4.3- Acquisizione MASW

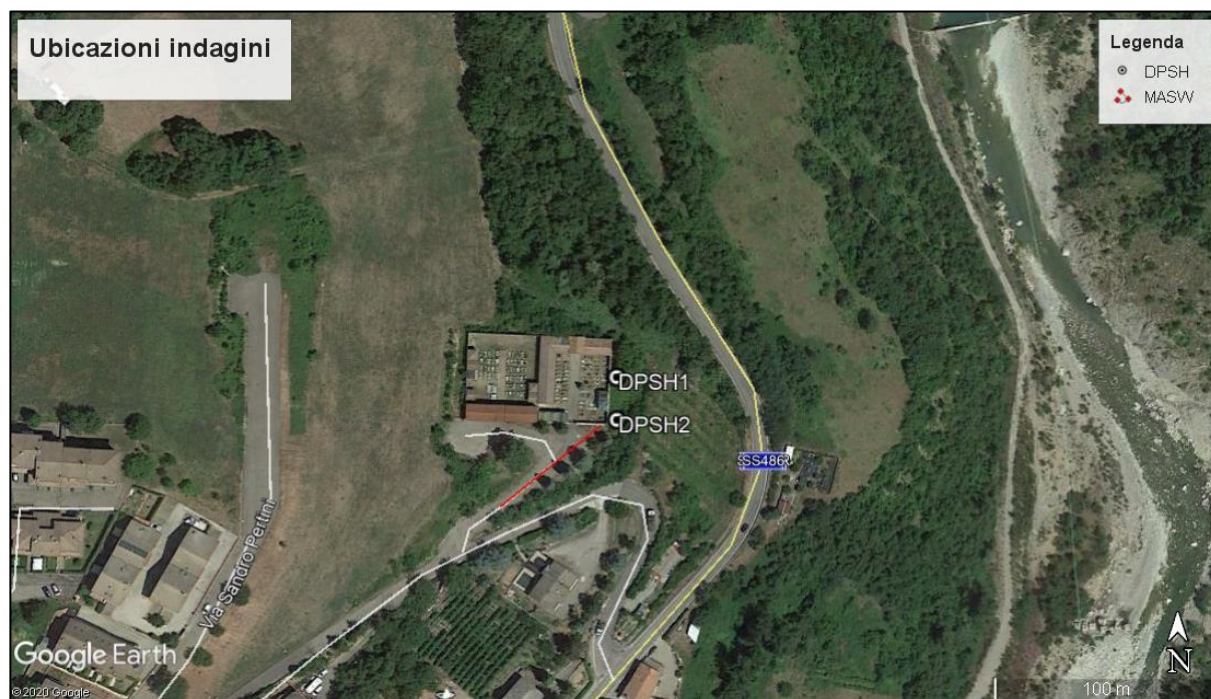


Fig. 4.4- Ubicazione delle indagini

4.1 Prova penetrometrica dinamica

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari. Questo tipo di indagine è molto diffusa ed utilizzata data la sua semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La sua elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona. L'ubicazione delle prove è stata riportata precedentemente in fig. 4.4. A seguito viene riportata la tabella con le caratteristiche dello strumento sopra citato.

Caratteristiche penetrometro	Dinamico super pesante DPSH
Peso Massa battente	63,5Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	8Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20cm ²
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,3Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	3,007
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90°

Tab. 4.1.1 Caratteristiche del penetrometro dinamico utilizzato.

5. Modello geotecnico e litologico del terreno

I risultati delle prove effettuate in campagna, com'è possibile osservare dalla tav. 1 in allegati, vengono riassunti elaborando un modello litologico e geotecnico presentato nella tabella a seguire. Dai parametri geotecnici sono infatti stati suddivisi diversi "spessori" di caratteristiche omogenee. Va considerato che le indagini sono state effettuate ad una quota di c.a 30 cm superiore rispetto al piede del muro in quanto presente uno spessore di materiale di riporto irregolare. Entrambe le indagini si sono fermate a "rifiuto" per la presenza di materiale molto consistente.

<u>Profondità da P.C (m)</u>	<u>Descrizione materiale</u>	<u>Parametri</u>	
P.C- 1,3 m	Riporto e argille debolmente limose da sciolto a poco consistenti .	RD	2,2 MPa≈ 22,4 kg/cm ²
		NSPT	3,65
		Cu	22,3 KPa≈0,22 kg/cm ²
		Cu_k	5,28 KPa≈0,05 kg/cm ²
		Ang. attrito	25°
		Ang. Attrito_k	24°
		Ang. Attrito terra/muro	20°
		C'	2,2 KPa≈ 0,02 kg/cm ²
		ME	16,7 Kg/cm ² ≈ 1640 kN/m ²
		Mod. young	21,6 Kg/cm ² ≈ 2059 kN/m ²
		γ_s	18 kN/m ³ ≈ 1835 kg/m ³
		γ_d	16 kN/m ³ ≈ 1631 kg/m ³
		Mod. Poisson	0,35
		Kh	1 kg/cm ³
		Ko	0,8 kg/cm ³
1,3-5,4 m da P.C	Argille limose e marne calcaree da mediamente consistenti a consistenti.	RD	6 MPa≈ 61,18 kg/cm ²
		Cu	73,6 KPa≈0,75 kg/cm ²
		Cu_k	-
		Ang. attrito	28°
		Ang. Attrito_k	27°
		C'	7,4 kPa ≈ 0,08 kg/cm ²
		ME	79 kg/cm ² ≈ 7747 kN/m ²
		Mod. young	86,9 kg/cm ² ≈ 8521 kN/m ²
		γ_s	22,0 kN/m ³ ≈ 2243 kg/m ³
		γ_d	20,0 kN/m ³ ≈ 2039 kg/m ³
		Mod. Poisson	0,33
		Kh	8 kg/cm ³
		Ko	5 kg/cm ³
Legenda:	γ _s , γ _d - Peso specifico saturo e drenato; RD- Resistenza dinamica; Cu, C'- coesione non drenata e drenata; ME- Modulo edometrico, Kh coefficiente Winkler verticale, Ko coefficiente di Winkler orizzontale; k valore caratteristico.		

Tab.5- Vengono riassunti i parametri geotecnici delle DPSH.

Per il calcolo del coefficiente di Winkler sono state fatte delle correlazioni tenendo in considerazione i parametri geotecnici ottenuti dalle indagini e facendo riferimento alle tabelle di Pozzati e Bowles a seguito riportate in fig. 5.2 e 5.3.

VALORI INDICATIVI DELLE LITOLOGIE PIU' RICORRENTI					
MODULO DI REAZIONE "VERTICALE" DEL TERRENO [WINKLER]		MODULO DI REAZIONE "ORIZZONTALE" DEL TERRENO [per paratie]		MODULO DI TAGLIO DEL TERRENO	
Tabella dei Moduli di Winkler secondo POZZATI		Rif.: FONDAZIONI Joseph E. BOWLES			
Natura del terreno	K [Kg/cm ³]	Natura del terreno	Ks [Kg/cm ³]	Natura del terreno	G [MPa]
torba leggera	0.6 ~ 1.2	Terreno Sabbioso:		argilla molto molle	0.7 ~ 5.3
torba pesante	1.2 ~ 1.8	Sciolti	0.49 ~ 1.63	argilla molle	1.7 ~ 8.9
terra vegetale	1.0 ~ 1.5	Mediamente	0.98 ~ 8.16	argilla media	5.8 ~ 22.7
depositi recenti	1.0 ~ 2.0	compatto	6.53 ~ 13.50	argilla dura	19.2 ~ 45.5
sabbia di mare, fina	1.5 ~ 2.0	Terreno Argilloso:		argilla sabbiosa	9.6 ~ 104.2
sabbia poco coerente	2.0 ~ 4.0	qu < 2 daN/cm ²	1.22 ~ 2.45	detrito glaciale	4.0 ~ 60.0
terra molto umida	2.0 ~ 3.5	qu < 4 daN/cm ²	2.45 ~ 4.89	detrito glaciale	60.0 ~ 288.0
terra poco umida	3.0 ~ 6.0	qu > 4 daN/cm ²	4.98 ~ 48.95	detrito glaciale molto	200.0 ~ 576.0
terra secca	5.0 ~ 10.0	Sabbia argillosa		loess	5.8 ~ 27.3
		mediamente	3.26 ~ 8.16		
argilla con sabbia	8.0 ~ 10.0	compatta		sabbia limosa	1.8 ~ 7.1
argilla grassa	10.0 ~ 12.0	Sabbia limosa	2.45 ~ 4.89	sabbia sciolta	3.6 ~ 8.9
sabbia compatta	8.0 ~ 15.0	mediamente		sabbia compatta	7.8 ~ 28.6
ghiaia con sabbia	10.0 ~ 25.0	compatta		sabbia e ghiaia in	16.7 ~ 50.0
ghiaia compatta	20.0 ~ 30.0			miscuglio sciolte	
				sabbia e ghiaia in	27.8 ~ 55.5
				miscuglio compatte	
				argilloscisto	53.6 ~ 1785.7
				limo	0.7 ~ 7.7

Fig. 5.2- Tabella di correlazione per la stima del coefficiente di Winkler.

Natura del terreno	Rp [kg/cm ²]	γ [t/m ³]	φ [°]	Cu [Kg/cm ²]	mv [cm ² /t]	σ [kg/cm ²]
Argilla limosa torbosa	2-6	1,45-1,65	-	0,05-0,30	40-70	-
Sabbia e sabbia limosa	30-100	1,80-1,90	27-28	-	3-8	-
Argilla limosa	15-35	1,70-1,90	-	0,70-1,20	10-18	-
Sabbia limosa	15-50	1,75-1,85	28-32	0,50	10-20	-
Sabbia e limo con ciottoli	40-70	1,85-1,95	30-35	1,00	4-10	-
Argilla sabbiosa ed argille limose	10-25	1,85-1,95	-	0,50-1,00	15-20	-
Sabbia fine	50-100	1,90-2,10	32-38	-	3-5	-
Argilla e marna argillosa	15-40	1,90-1,95	-	0,6-1,5	10-20	-
Conglomerato e sabbie con ciottoli	>50 - rifiuto	1,95-2,15	30-40	-	1-5	-
Calcare organogeno	rifiuto	2,10-2,20	>35	-	-	300- 1500
Gabbri e Serpentin	rifiuto	2,60-3,10	>40	-	-	1400- 2500
Bancate calcareo-mamose e calcareo-silicee	rifiuto	2,30-2,50	>45	-	-	300- 1500
Livelli argillitici	rifiuto	2,00-2,30	25-30	-	-	10-1000
Livelli argillo scistososi – argillitici	rifiuto	2,00-2,30	25-30	-	-	10-1000
Livelli argillitici	rifiuto	2,00-2,30	25-30	-	-	10-1000

Rp= Resistenza alla punta con prova CPT
 γ = Peso di volume
 φ = Angolo di attrito interno
 Cu = Coesione non drenata
 mv = Coeff. di compressibilità volumetrica

Fig. 5.3- Tabella di correlazione per la stima del coefficiente di Winkler.

6. Sismicità dell'area

Per individuare la sismicità dell'area si è tenuto conto dell'Ordinanza di Protezione Civile n. 3274 del 20 marzo 2003 del Presidente del Consiglio "Normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica e connessa classificazione sismica del territorio nazionale" e dell'Ordinanza di Protezione Civile n. 3519 del 28 aprile 2006 del Presidente del Consiglio "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

L'area in esame è ubicata nel comune di Toano che risulta essere classificato in classe di sismicità 2 come zona a media sismicità, secondo l'OPCM 3274/2003, vedi fig. 6.1. La regione Emilia-Romagna, per la valutazione della pericolosità sismica di base, ha redatto un documento in cui sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, (tabella 2 dell'Allegato A4 della DAL n. 112 del 2.5.2007), tale documento è poi stato aggiornato tramite il DGR 2193 del 21 dicembre 2015 con il quale è stata realizzata una griglia regionale di punti con i valori di A_{ref} (g), secondo la quale l'area oggetto di studio presenta un valore A_{ref} (g) = 0,160.

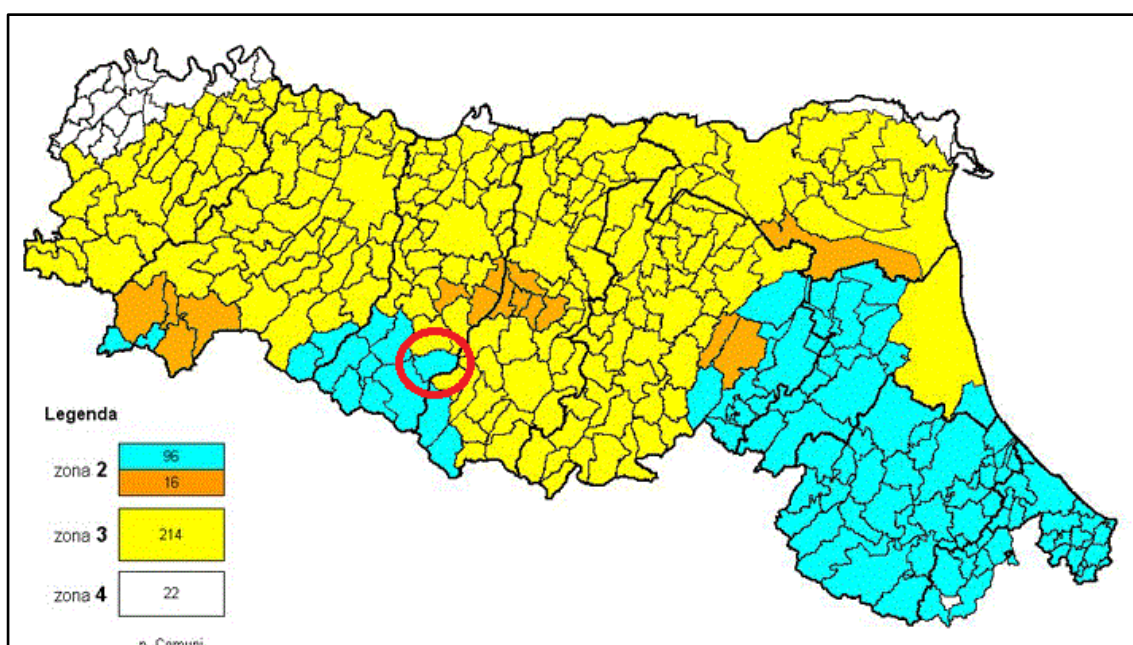


Fig. 6.1- Classe di sismicità dei comuni secondo l'OPCM 3274/2003

7. Azione sismica di base al DM 14/01/2008

Sulla base dei contenuti del D.M. 17/01/2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” per ogni costruzione deve essere riferita un’accelerazione di riferimento propria in funzione delle coordinate geografiche e della vita nominale dell’opera. In questo caso è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 475 anni (classe dell’edificio 2 e $C_u=1.0$). L’area oggetto d’indagine è identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44.393419°, Longitudine 10.622034°, e presenta un parametro per SLV pari ad a_g attesa= **0.160** g vedi fig.7.1 a seguito.

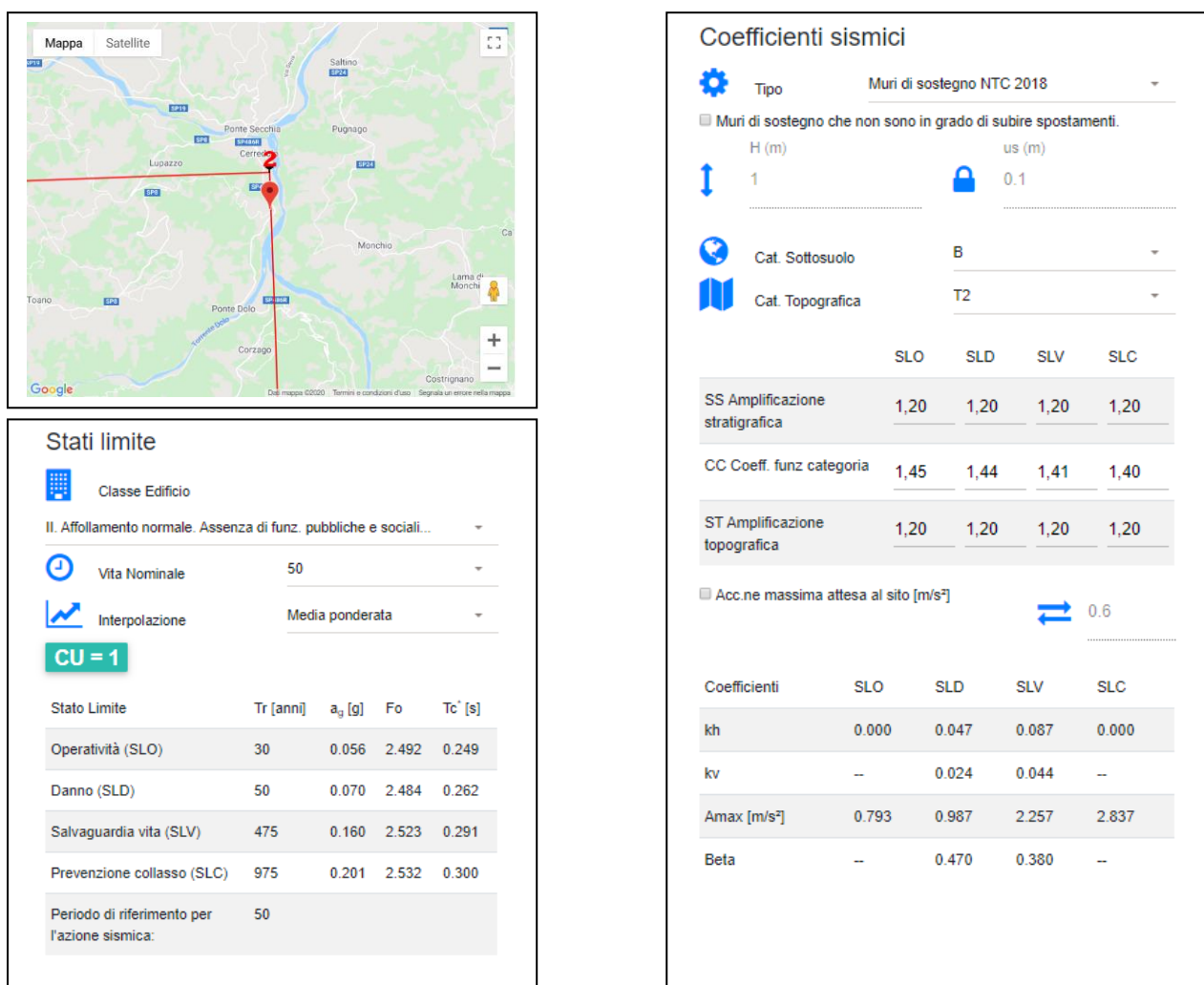


Fig.7.1-Individuazione del reticolo di riferimento per la determinazione dei parametri e coefficienti sismici.

8. Analisi della risposta sismica locale

Per l'analisi della risposta sismica locale riferita a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III NTC 18), è stata eseguita un'indagine masw che permette la misura diretta delle Vs, opportunamente tarata con l'esecuzione delle prove penetrometriche, dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e del rilevamento di dettaglio del sito.

La caratterizzazione geofisica dei terreni, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio Vs degli strati del terreno presenti nel sito di studio, fino alla profondità ritenuta utile ai fini progettuali.

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

Tab.7.1 Categorie di suolo da NTC 18 tab 3.2.II.

9. Indagini geofisiche

Come già accennato nei paragrafi precedenti, è stata eseguita un'indagine sismica di tipo masw che, opportunamente tarata con le indagini dirette permette di ottenere informazioni sulla velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno e risalire quindi alla categoria sismica del suolo.

9.1 Acquisizione MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Queste tecniche, di sismica attiva superficiale permettono di ricostruire il profilo verticale delle V_{s30} con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono.

L'elaborazione dati permette la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I risultati dell'indagine di campagna vengono riportati in tav. 3 negli allegati.

Come già accennato precedentemente è stato eseguito uno stendimento (vedi fig. 4.4), in prossimità della struttura, in particolare lo stendimento sismico è stato eseguito per ragioni di spazio nell'area a sud del cimitero, in prossimità dell'accesso dove è stato possibile effettuare uno stendimento di 48 m e sono stati identificati i seguenti livelli in base alle diverse velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{Sequivalente}$:

da p.c a – 2,0 m	$v_s \sim 200$ m/s
2,0 ÷ 4,0 m	$v_s \sim 275$ m/s
4,0 ÷ 8,35 m	$v_s \sim 508$ m/s
8,35 ÷ 9,44 m	$v_s \sim 640$ m/s
>9,44 m	$v_s \sim 795$ m/s

$$V_{Seq} = 561,82 \text{ m/s}$$

Tenendo in considerazione la velocità di propagazione media delle onde V_s , possiamo catalogare l'area di studio come un **suolo di tipo B**. Vedi allegati in Tav. 2.

10. Azione sismica in superficie

L'accelerazione spettrale massima (A_{max}) è definita dalla relazione:

$$A_{max} = S \bullet a_g$$

dove a_g è l'accelerazione precedentemente individuata e riferita al *bedrock*,

mentre il coefficiente $S = S_s \cdot S_t$. Esso comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica (S_s) e topografica (S_t).

Si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s caratteristico dell'area secondo il NTC 2018 D.M. 17/01/2018 da cui, essendo in classe B si avrà:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

(9)

(10.1)

Fo = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2,523**.

ag/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;

Ss = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico per il sito oggetto di studio, calcolato tramite relazione 10.1, risulta pari a **1.20**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico S_t dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2

T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media > 30°	1.4
-----------	---	------------

Il sito in esame, avrà come un fattore topografico S_t pari a **1.2**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico SS e del fattore topografico S_t si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale A_{max} :

$$A_{max} = S \bullet a_g = 1.44 \bullet 0.160 \text{ g} = 0,230 \text{ g}$$

11. Intervento proposto

Dalle indagini effettuate si evidenzia che oltre allo spessore di materiale scarsamente consistente dove appoggia il piede del muro, non è presente un'adeguata regimazione delle acque superficiali che tendono a ristagnare proprio al piede del muro perimetrale, in prossimità della scarpata. Oltre quindi ad un intervento di consolidazione superficiale del piede del muro esistente, a seguito viene proposto uno schema di regimazione delle acque attraverso la posa di un tubo corrugato 160 mm posto alla base del muro esistente e al di sopra della sottofondazione che verrà eseguita e coperto con 30 cm di ghiaia. La tubazione devierà le acque raccolte in un pozzetto posto nello spigolo sud est del cimitero. Da questo punto le acque saranno deviate tramite un tubo in PVC di 110 mm al sistema fognario esistente all'ingresso del cimitero.



Fig. 11.1- Schema tipo drenaggio acque superficiali

12. Conclusioni

Come indicato nel capitolo 1, la seguente relazione è finalizzata al consolidamento della parete est e dello spigolo nord del muro perimetrale del cimitero di Cerredolo Comune di Toano.

Il manufatto presenta infatti importanti crepe che ne potrebbero compromettere la stabilità.

Sono state svolte prove penetrometriche DPSH per determinare le caratteristiche litologiche e geotecniche del terreno e un'acquisizione sismica tipo masw con la quale è stato possibile definire la categoria sismica del sito. Le DPSH sono state svolte a valle del muro, una sullo spigolo sud est e la seconda a metà della parete stessa ed è stata raggiunta la profondità massima di 5,4 m definendo una sezione ritenuta rappresentativa.

Le indagini hanno messo in luce uno spessore di c.a 1,3 m di materiale di riporto e limo argilloso scarsamente consistente al di sotto del quale è presente uno spessore limo argilloso compatto e marne arenacee che hanno portato le prove a rifiuto.

Dall'indagine sismica è stato possibile classificare il suolo come di categoria B.

Non sono stati rilevati segni evidenti di dissesto come confermato dalla cartografia.

Da quanto osservato è possibile affermare che le cause dei cedimenti siano dovute alla combinazione di due fattori:

- Le fondazioni del muro ricadono proprio nel primo spessore di materiale scarsamente consistente con caratteristiche geotecniche scadenti.
- La cattiva regimentazione delle acque superficiali con il conseguente ristagno delle acque meteoriche al piede del muro con conseguente infiltrazione e ulteriore peggioramento dei parametri geotecnici del terreno di natura pelitica.

In particolare sia i fognoli che scaricano le acque dalle canaline perimetrali interne al cimitero a piano campagna, sia le gronde di scarico delle acque pluviali delle coperture dei loculi convogliano le acque al piede del muro perimetrale.

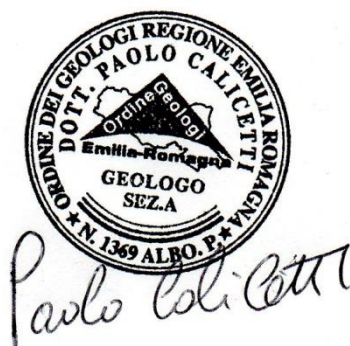
Essendo poi la cresta della scarpata leggermente rialzata rispetto al piano campagna prossimo al piede del muro, si forma una sorta d'impluvio che non permette alle acque di defluire infiltrandosi così nel primo spessore di terreno.

Gli interventi che si prescrivono sono pertanto:

- la realizzazione di una sottofondazione in CLS che raggiunga la quota di -1 m dal piede del manufatto, ovvero c.a $-1,3$ da p.c attuale lungo tutto il perimetro est e lo spigolo nord-est del cimitero.
- La realizzazione di un drenaggio delle acque superficiali tramite una tubazione in PVC in grado di raccogliere le acque di scarico meteoriche del cimitero e convogliarle nella fognatura esistente situata a sud, sulla strada d'accesso del sito, così come descritto nel cap. 11.

Montale, febbraio 2020

Paolo Geol. Calicetti



Allegati

Tavola 1- Elaborazione dei dati di campagna delle prove penetrometriche

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 16/02/2020

Profondità prova 5.40 mt

Falda non rilevata

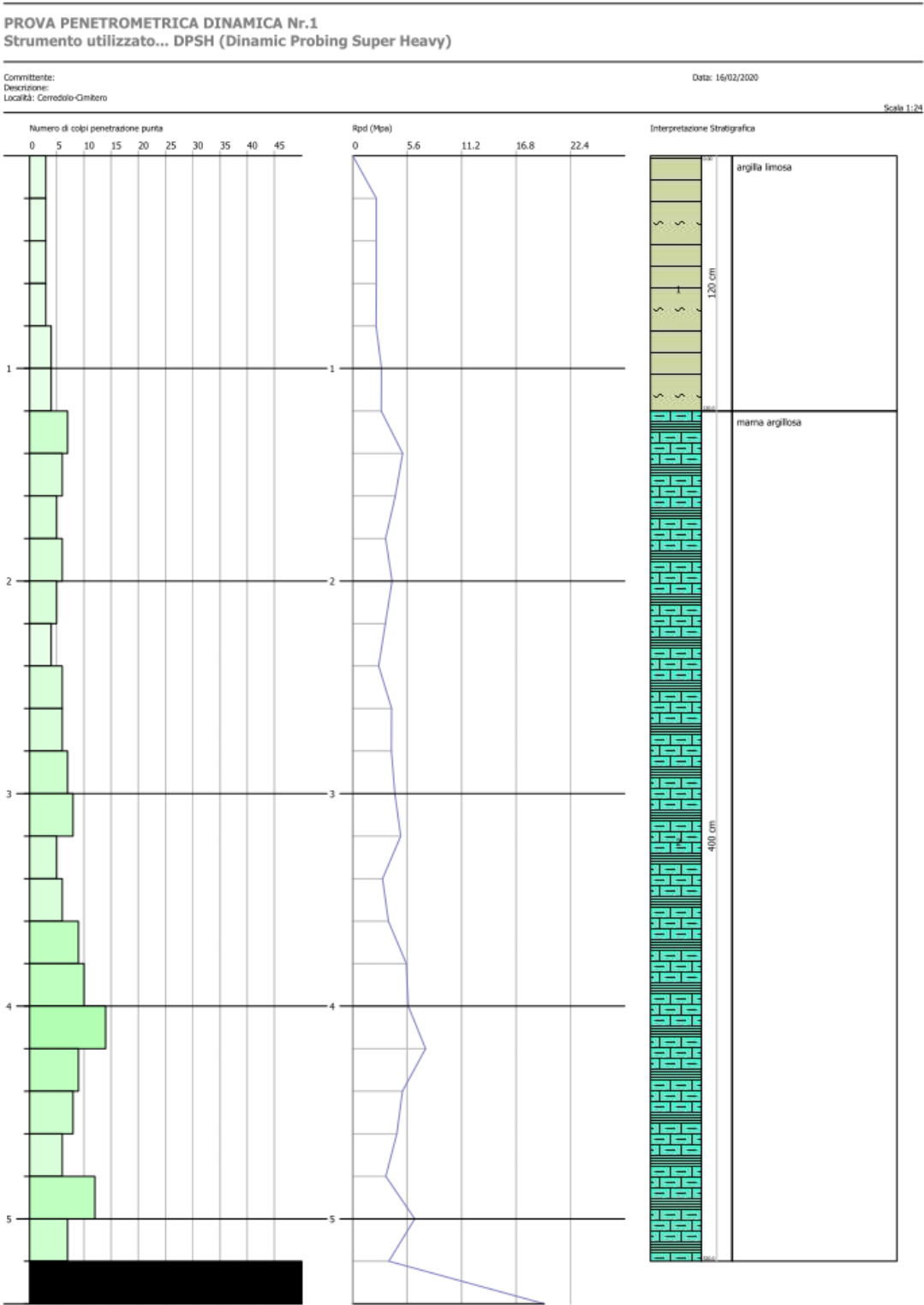
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	3	0.855	2.44	2.86	122.17	142.95
0.40	3	0.851	2.43	2.86	121.62	142.95
0.60	3	0.847	2.42	2.86	121.08	142.95
0.80	3	0.843	2.41	2.86	120.55	142.95
1.00	4	0.840	2.96	3.53	148.07	176.32
1.20	4	0.836	2.95	3.53	147.45	176.32
1.40	7	0.833	5.14	6.17	256.99	308.56
1.60	6	0.830	4.39	5.29	219.40	264.48
1.80	5	0.826	3.64	4.41	182.12	220.40
2.00	6	0.823	4.05	4.92	202.54	246.05
2.20	5	0.820	3.36	4.10	168.16	205.04
2.40	4	0.817	2.68	3.28	134.04	164.03
2.60	6	0.814	4.01	4.92	200.34	246.05
2.80	6	0.811	3.99	4.92	199.65	246.05
3.00	7	0.809	4.34	5.37	217.01	268.36
3.20	8	0.806	4.94	6.13	247.19	306.69
3.40	5	0.803	3.08	3.83	154.00	191.68
3.60	6	0.801	3.68	4.60	184.22	230.02
3.80	9	0.798	5.51	6.90	275.48	345.03
4.00	10	0.796	5.73	7.20	286.50	359.92
4.20	14	0.744	7.49	10.08	374.74	503.88
4.40	9	0.791	5.13	6.48	256.37	323.93
4.60	8	0.789	4.54	5.76	227.25	287.93
4.80	6	0.787	3.40	4.32	169.97	215.95
5.00	12	0.785	6.39	8.14	319.51	407.01
5.20	7	0.783	3.72	4.75	185.90	237.42
5.40	50	0.581	19.71	33.92	985.36	1695.86

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) argilla limosa	0.00-1.20	5.01	Coesivo Incoerente	17.26	18.44	27.1	30.69	5.19	4.91	0.34	28.99
Strato (2) marna argillosa	1.20-5.20	10.98	Coesivo Incoerente	19.52	21.48	27.1	72.67	11.16	10.77	0.33	60.62

Tav.1.1- Elaborazione dei parametri della DPSH 1.



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
 Prova eseguita in data 16/02/2020
 Profondità prova 3.60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	1	0.855	0.81	0.95	40.72	47.65
0.40	1	0.851	0.81	0.95	40.54	47.65
0.60	4	0.847	3.23	3.81	161.44	190.60
0.80	2	0.843	1.61	1.91	80.37	95.30
1.00	3	0.840	2.22	2.64	111.05	132.24
1.20	3	0.836	2.21	2.64	110.59	132.24
1.40	3	0.833	2.20	2.64	110.14	132.24
1.60	6	0.830	4.39	5.29	219.40	264.48
1.80	4	0.826	2.91	3.53	145.70	176.32
2.00	3	0.823	2.03	2.46	101.27	123.02
2.20	3	0.820	2.02	2.46	100.90	123.02
2.40	20	0.767	12.58	16.40	629.18	820.16
2.60	9	0.814	6.01	7.38	300.52	369.07
2.80	7	0.811	4.66	5.74	232.92	287.06
3.00	6	0.809	3.72	4.60	186.01	230.02
3.20	6	0.806	3.71	4.60	185.40	230.02
3.40	10	0.803	6.16	7.67	308.00	383.37
3.60	50	0.601	23.04	38.34	1151.77	1916.83

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) argilla debolmente limosa	0.00-1.40	3.65	Coesivo Incoerente	16.48	18.34	27.1	22.36	3.83	3.58	0.35	21.53
Strato (2) marna argillosa	1.40-3.40	11.13	Coesivo Incoerente	19.61	21.57	27.1	73.65	11.31	10.91	0.33	61.40

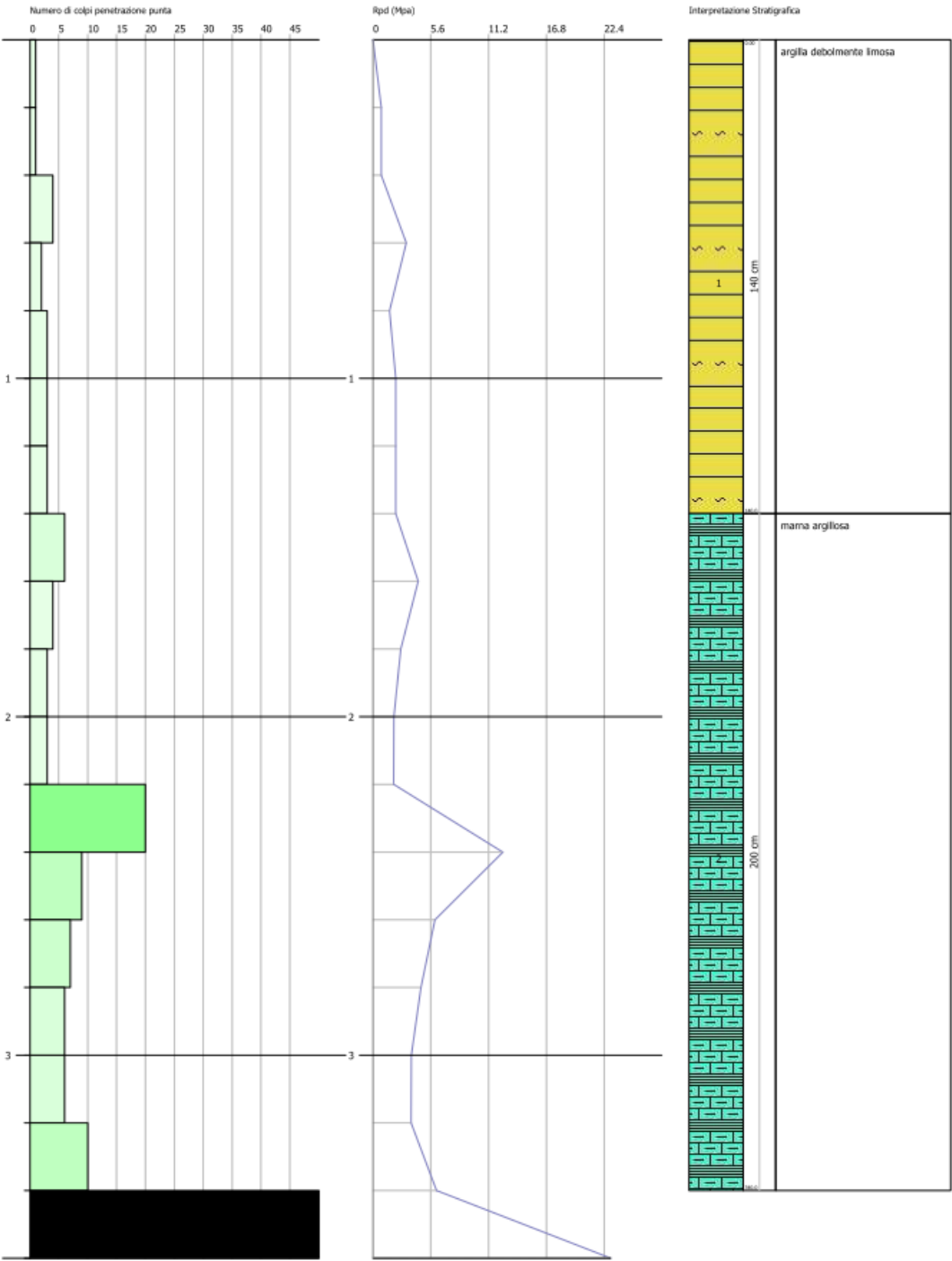
Tav.1.3- Elaborazione dei parametri della DPSH 2.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente:
Descrizione:
Località: Cerredolo-Cimitero

Data: 16/02/2020

Scala 1:16



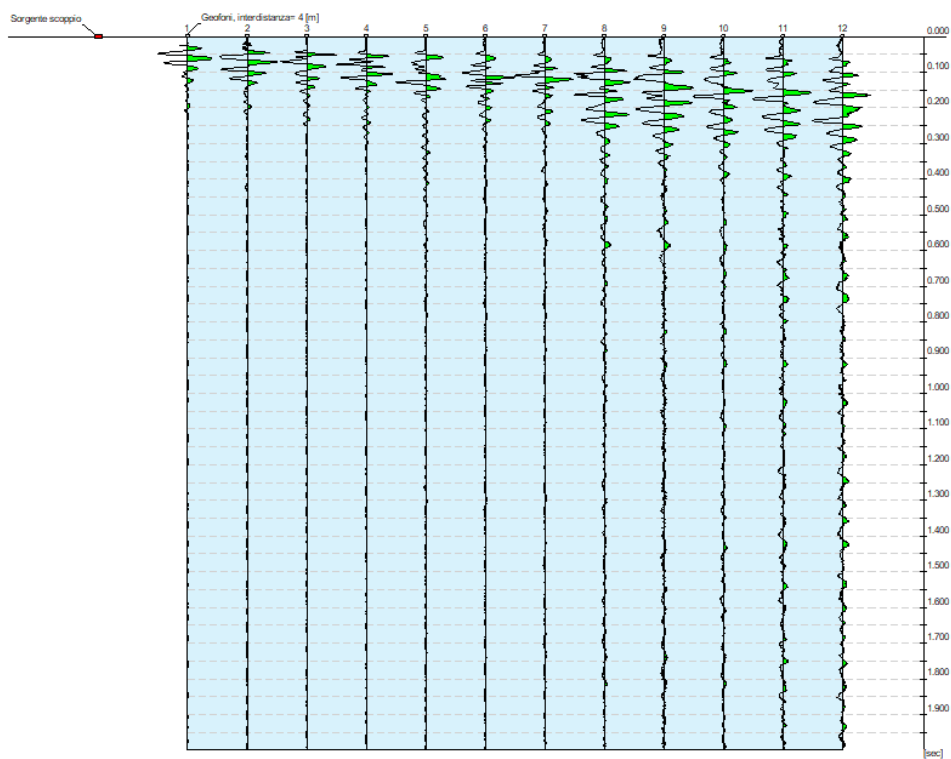
Tav. 2.4- Colonna stratigrafica DPSH 2.

Tavola 2- Acquisizione Masw

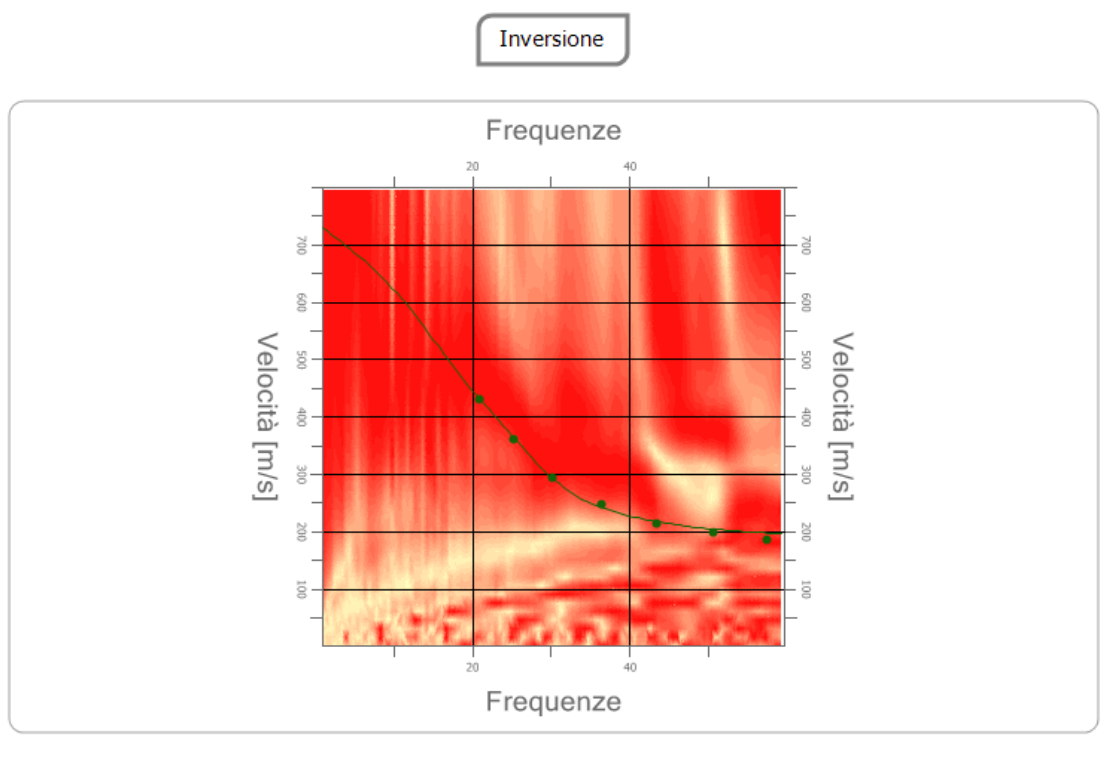
Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

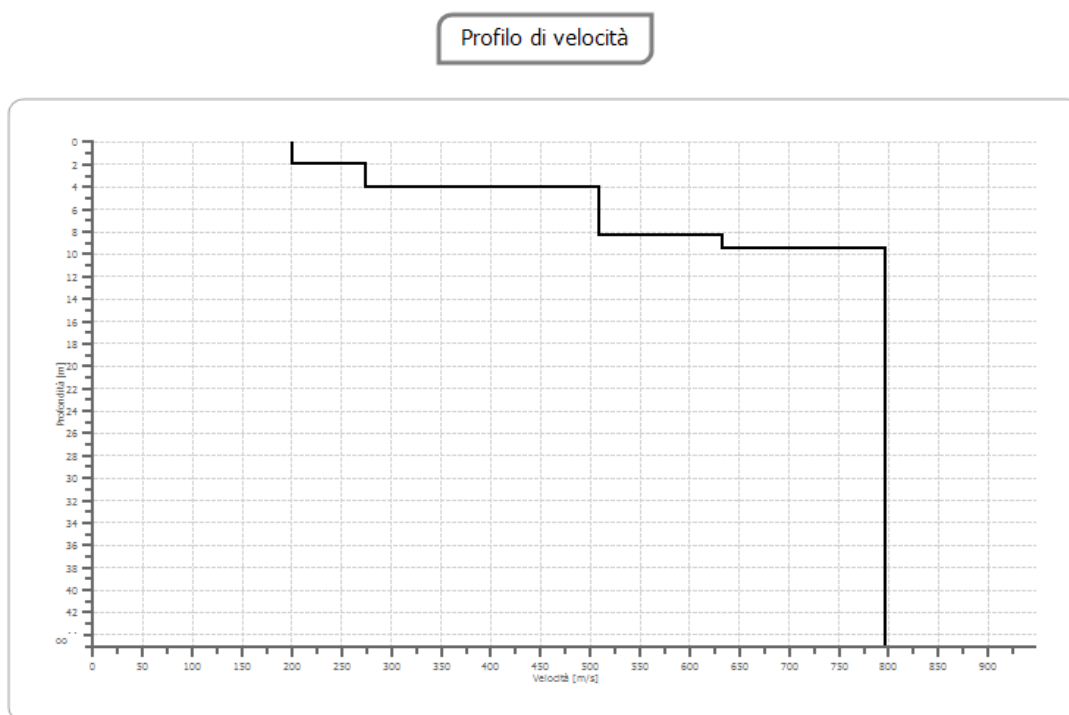
Cantiere: Cimitero
Località: Cerredolo
Responsabile: Geol. Calicetti Paolo
Data: 18/02/2020



Tav. 2.1- Acquisizione del segnale



Tav. 2.2- Inversione del segnale



Tav. 2.3- Il grafico illustra le velocità del segnale alle varie profondità

Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	561.82
Categoria del suolo	B

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