



INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DEL CIMITERO COMUNALE
nel Comune di Belsito

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

CIG:

CUP:



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

| RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | | | | | | | SCALA: | | REVISIONE | | | | | | |
|-----------------------|------------|-------|-------|----------------|------|------|----------------|-----|------|---|-------------|---|-----------|------|---|---|---|--|--|
| COMMESSA | DIRETTORIO | | | | | | FILE | | | | N.A. | | n. | data | | | | | |
| | Fase | Lotto | Opera | n. progressivo | Tipo | Rev. | N. Progressivo | Bis | Rev. | | | | | | | | | | |
| C | B | E | 0 | 0 | T | S | 0 | 0 | 5 | R | T | - | 0 | 0 | 1 | - | - | | |
| | | | | | | | | | | | DATA: | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | LUGLIO 2019 | | | | | | | | |

Comune di Belsito
RUP

Ing. Carlo Consoli

Dott. Ing. Toni Cozzolino
Progettista

Geol. Angelo Gatti



Indice

| | |
|--|------|
| Premessa | » 1 |
| <u>Definizione del Modello Geologico Preliminare</u> | » 4 |
| Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico generale dell'area di studio | » 4 |
| Idrogeologia dell'area di interesse progettuale | » 6 |
| Inquadramento del territorio comunale di Belsito (CS) nell'ambito del P.A.I. | » 7 |
| <u>Definizione del Modello Geologico Definitivo</u> | » 8 |
| Indagini ai fini della pericolosità geologica | » 8 |
| Interpretazione litostratigrafia del sottosuolo | » 9 |
| Modellazione geotecnica e caratterizzazione dei litotipi | » 9 |
| <u>Pericolosità sismica di base</u> | » 11 |
| Note esplicative sul rischio sismico | » 11 |
| Pericolosità sismica di sito | » 23 |
| Risposta sismica nei confronti della liquefazione | » 25 |
| Interventi di prevenzione con opere idraulico-forestali | » 27 |
| Considerazioni e raccomandazioni conclusive | » 27 |

Allegati:

- All. 1: Stralcio Carta Geologica della Calabria
- All. 2: Stralcio Carta Corografica
- All. 3: Stralcio Carta P.A.I.
- All. 4: Indagini sismiche
- All. 5: Prova Penetrometrica Dinamica DL30
- All. 7: Rapporto dei coefficienti sismici del sito di interesse
- All. 7: Stralcio Carta Ubicazione delle Indagini Geognostiche



Premessa

Nella presente relazione verranno esposti i risultati di un'indagine geologica correlata con la pericolosità sismica di base eseguita su incarico dell'Amministrazione Comunale di Belsito al fine di definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche del sito sul quale si intende intervenire nell'ambito del progetto: *"Interventi di riqualificazione del Cimitero Comunale"* nel Comune di Belsito (CS).

La presente relazione geologica è redatta dallo scrivente, Geol. Angelo Gatti, regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Calabria con il numero di riferimento 976, ai sensi della normativa vigente, in particolare:

1. *D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche sulle Costruzioni";*
2. *D.M. 11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
3. *D.P.R. 380/2001 parte II capo II "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";*
4. *D.P.R. 380/2001 parte II capo IV "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";*
5. *D.P.R. 5/10/2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n°163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE";*
6. *Legge regionale 28/12/2015, n. 37. "Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica";*
7. *Regolamento Reg. 10/08/2017 n. 80 "Regolamento di attuazione procedure L.R. n.35/2009";*
8. *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) con riferimento alle NORME DI ATTUAZIONE E DELLE MISURE DI SALVAGUARDIA approvate dal C.R. Calabria con delibera n. 115 del 28/12/2001 (aggiornate dal C.T. il 15/07/2002) e alle linee guida licenziate dal comitato tecnico - seduta del 15.07.2002 e approvate dal comitato istituzionale - seduta del 31.07.2002.*

Gli interventi che si andranno a realizzare, così come si evince dalla relazione tecnica allegata al progetto, sono schematizzabili come segue:

- *Ricognizione ed eventuale adeguamento delle aree destinate alle inumazioni;*
- *Ricognizione, adeguamento e ampliamento, anche mediante esecuzione ex-novo, dell'ossario comunale e degli ossari per privati;*
- *Ricognizione, estumulazioni programmate, sanificazione e ripristino corpi di fabbrica per nuove tumulazioni ed aree limitrofe;*
- *Demolizione e ricostruzione di alcuni corpi di fabbrica;*
- *lottizzazione e sistemazione area cimiteriale per cappelle gentilizie e loculi privati;*
- *Esecuzione Cappelle gentilizie e loculi su richiesta;*
- *Ripristino Aree a verde ed opere di urbanizzazione primaria;*

L'intervento è da ritenersi di improrogabile esecuzione alla luce della esaurita disponibilità di opere funerarie, quali loculi e cappelle.

Lo studio è stato programmato per definire la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito e di un suo congruo intorno, attraverso la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici e strutturali, nonché attraverso lo schema idrogeologico di massima, i lineamenti geomorfologici e la

loro tendenza evolutiva, ed infine attraverso la definizione del grado di alterazione dei terreni e più in generale della pericolosità geologica e sismica del territorio, tale da valutare l'idoneità degli interventi progettuali. In accordo con le finalità evidenziate, ai fini della valutazione dell'azione sismica di progetto imposta dalle nuove *NTC2018*, è stata valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante uno studio specifico sulla risposta sismica locale diretto ad individuare le aree a maggiore pericolosità sismica del sito attraverso la determinazione del parametro V_{seq} compreso *tra il piano d'imposta delle fondazioni delle opere previste ed il substrato rigido di riferimento (bedrock)*, permettendo di definire la categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato previsto dalle *NTC 2018*.

In funzione dell'opera progettuale prevista e della complessità del contesto geologico, sono state programmate specifiche indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione del modello geologico del sito realisticamente coerente con la storia geologica locale. Esso è stato sviluppato in modo da costituire un utile elemento di riferimento per il progettista per meglio inquadrare i problemi geotecnici. Le indagini geognostiche, i cui risultati sono esaustivamente esposti e spiegati nella presente relazione, sono state programmate in funzione del tipo di intervento e riguardano un volume significativo ovvero la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente dalla realizzazione dell'intervento progettuale tale da consentire la definizione della pericolosità geologica.

Considerata la complessità dello studio poiché coinvolge diversi aspetti della geologia, della geotecnica e della pericolosità sismica, l'approccio alla definizione della modellazione geologica è stata virtualmente suddivisa in due fasi:

1 **prima fase:** definizione del modello geologico preliminare determinato sulla base di dati bibliografici, studi pregressi e rilievi di superficie;

2 **seconda fase:** determinazione del modello geologico definitivo, realisticamente ancorato alla realtà fisica del sito progettuale e coerentemente legato alla storia geologica locale.

La ricostruzione è stata eseguita integrando gli elementi utilizzati per la definizione del modello geologico preliminare con i dati sperimentali in sito, conseguiti dalla campagna di indagini geognostiche e utilizzate per le elaborazioni analitiche e grafiche. I molteplici e specifici rilievi geologici e geomorfologici di superficie, estesi ad una ragionevole fascia attorno al sito progettuale, integrati dal confronto con l'analisi cartografica e bibliografica specialistica più aggiornata, hanno consentito di acquisire un'adeguata conoscenza preliminare del territorio, sufficiente per razionalizzare con più puntualità scelte e metodi per ulteriori approfondimenti.

A tal fine è stato predisposto, nell'area in esame, un programma di indagini geognostiche di ampiezza commisurata al contesto delle opere previste in progetto, costituito da:

- *esame della cartografia ufficiale, unitamente a ricerche bibliografiche atte al reperimento di notizie (storiche, morfologiche, tettoniche, sismiche, idrologiche, idrogeologiche, ecc.) e dati tecnici riguardanti l'area in oggetto;*
- *caratterizzazione geologica ed esame delle condizioni geomorfologiche con il rilievo diretto di superficie esteso anche alle aree limitrofe per acquisire i dati necessari alla valutazione delle*

caratteristiche morfologiche, idrologiche, climatiche ed ambientali più evidenti, relative al territorio in oggetto;

- *esecuzione di n.3 Prove Penetrometriche Dinamiche Continue DL30;*
- *esecuzione di n.1 prospezione sismica a rifrazione con metodologia MASW;*
- *esecuzione di n.1 prospezione sismica a rifrazione ad onde longitudinali (onde P);*
- *esecuzione indagine sismica Georadar (GPR);*

I risultati integrali delle indagini succitate sono riportati negli allegati di riferimento alla presente relazione.

I risultati acquisiti hanno portato alla definizione delle caratteristiche geologiche, sismiche, stratigrafiche, morfostrutturali e idrogeologiche, e pertanto a verificare l'idoneità e la coerenza del sito agli interventi di progetto, sia sotto l'aspetto prettamente geotecnico, sia alla verifica delle azioni sismiche di progetto.

L'area investigata è stata altresì studiata in relazione al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), che ha valore di piano sovraordinato, e prevale quindi sullo strumento urbanistico.

Il modello geologico rilevato, gli studi e le analisi effettuate hanno consentito di definire:

- ✓ **Il quadro geologico/geomorfologico: l'inquadramento geologico, con riferimento alla bibliografia geologica esistente, alla cartografia acquisita e alle indagini stratigrafiche svolte, consente di definire i caratteri litostratigrafici, l'origine e la natura dei litotipi, lo stato di alterazione e di aggregazione, i caratteri strutturali generali, la descrizione dei lineamenti geomorfologici della zona in generale e infine la descrizione delle forme naturali ed antropiche e degli elementi morfo-strutturali significativi ai fini geomorfologici e sismici.**
- ✓ **Il quadro geotecnico: il modello geologico/tecnico di riferimento ha altresì consentito di determinare gli spessori e le caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti al di sotto del piano di posa delle fondazioni, di valutare l'effetto della presenza di falde idriche sotterranee che potrebbero influenzare la stabilità dell'area e dei futuri manufatti e infine di valutare gli eventuali processi morfologici ed le azioni di dissesto potenziali o in atto nell'area in studio ed in quella circostante.**
- ✓ **Il quadro sismico di riferimento: la definizione del quadro sismico locale, specificatamente riferita al suolo di fondazione è connessa alla misura delle onde di taglio ($V_{s_{eq}}$) secondo il *D.M.17/01/2018*: azione sismica per il sito esaminato.**

Il presente studio è finalizzato principalmente all'accertamento della fattibilità geomorfologica e geotecnica dell'intervento edificatorio in oggetto ed alla definizione delle principali caratteristiche geotecniche del sito, al fine di fornire indicazioni utili al tecnico incaricato della progettazione.

Il tutto in ossequio alle vigenti normative di legge in materia di costruzioni in zona sismica (*L. n° 64 del 02.02.1974; D.M. 11.03.1988, ecc.*). I dati raccolti sono stati successivamente analizzati, e quindi utilizzati per la stesura della presente relazione.

Va sottolineato che le ipotesi e le prescrizioni contenute nella relazione dovranno essere puntualmente verificate in corso d'opera. Qualora, dal confronto tra i dati forniti e quelli provenienti dalle osservazioni dirette eseguite durante la fase esecutiva relativa alla realizzazione della struttura, venissero rilevate variazioni sostanziali, nel pieno rispetto del *D.M. 11.03.1988*, le opere dovranno essere adeguate alle situazioni riscontrate.

✚ ACQUISIZIONE DEGLI ELEMENTI PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE

Inquadramento geologico-strutturale e geomorfologico generale del Territorio

La ricerca bibliografica costituisce il primo passo per un corretto approccio metodologico su cui fondare tutti gli elementi programmatici per gli studi successivi. Pertanto, è stata condotta un'indagine conoscitiva sia attraverso l'osservazione diretta all'interno del sito progettuale che ha permesso di conseguire tutti gli elementi geologici, strutturali, geomorfologici e climatico-evolutivi, necessari per la definizione del modello geologico preliminare, sia a livello di studi pregressi.

Per l'inquadramento geologico-strutturale dell'area, sono state consultate le principali pubblicazioni scientifiche disponibili, indicate di seguito con maggiore dettaglio.

Il Comune di *Belsito* è situato nella parte meridionale della *Provincia di Cosenza*, sul versante interno della *Catena Costiera*, in sinistra orografica del *Torrente Jassa* nella valle del *Fiume Savuto*. L'abitato situato su un leggero declivio, ha un andamento plano-altimetrico vario, ed il clima è influenzato da un'escursione altimetrica oscillante tra i 300 ed i 1000 metri slm, con inverni rigidi ed estati calde ma temperate dalla frescura delle zone collinari e montane.

L'intero territorio belsitese è caratterizzato da una morfologia variegata e irregolare, con un'alternanza ininterrotta di dirupi accidentati e avvallamenti, strapiombi rocciosi e canali profondi, dolci declivi e panoramici terrazzamenti che rendono discontinuo il paesaggio agrario.

Da un punto di vista di posizionamento morfologico, il sito indagato e gli ambiti contermini non presentano particolari problemi rispetto alle loro condizioni geostatiche, le quali possono essere ritenute soddisfacenti visto che il sito non presenta fenomeni erosivi particolari tali da creare sensibili modificazioni o squilibri nel tempo, né sono stati notati elementi riferibili a dissesti in atto, almeno relativamente all'area interessata dagli interventi in progetto

L'area oggetto di studio ricade nel *Foglio 236 I S.O. "Rogliano"* della Carta Geologica della Calabria, è ubicata nel Cimitero Comunale, e si sviluppa nell'ambito del territorio comunale di Belsito (CS). Topograficamente l'area può essere identificata nel *Foglio 236 della Carta d'Italia I S.O. sez. B* denominata "*Rogliano*".

Gli stralci delle succitate carte sono riportati negli allegati di riferimento alla presente relazione.

La morfologia generale della Calabria è controllata principalmente dalla tettonica, per cui è strettamente legata a processi erosivi, sia di tipo areale che lineare, condizionati nel loro evolversi oltre che dalle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, anche dall'assetto geo-strutturale; si possono quindi riconoscere tipi di paesaggio che si differenziano in base al tipo di rocce affioranti.

La storia tettonico-evolutiva di quest'area è connessa all'evoluzione geologico-strutturale dell'Arco Calabro-Peloritano. L'assetto litologico del territorio esaminato si inserisce nel quadro geologico dell'Appennino Calabrese, ritenuto una porzione di Catena Alpina Cretaceo-Paleogenica ed Europa-vergente sovrascorsa, nel Miocene Inferiore, sulla Catena Appenninico Magrebide, di età Neogenica ed Africa-vergente. L'Arco Calabro-Peloritano è infatti composto da una serie di falde di ricoprimento di tipo alpino formate da un basamento cristallino del pre-Triassico con, in alcuni casi, una copertura meso-cenozoica che non trova riscontro nell'edificio Appennino-Magrebide.

La Catena Alpina, caratterizzata da falde cristalline, nell'area costituisce il substrato metamorfico, composto da gneiss granitoidi paleozoici massivi, localmente molto fratturati.

Sul substrato metamorfico, in discordanza stratigrafica poggiano i depositi del Calabriano, in zona costituiti da conglomerati da bruno a bruno-rossastri con ciottoli ben arrotondati di natura prevalentemente cristallina, immersi in una matrice sabbiosa grossolana e intervallati da livelli sabbiosi semi-consistenti. In corrispondenza del reticolo idrografico si rilevano depositi recenti di origine alluvionale, costituiti da sabbie fini ciottolose.

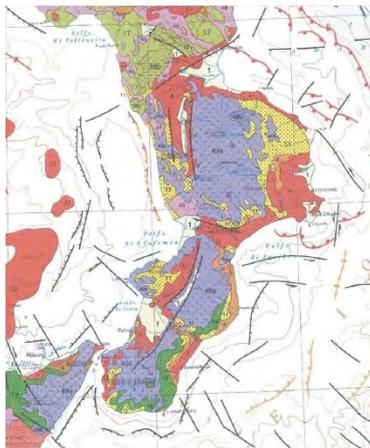


Figura 1: Schema geologico della Calabria

Il territorio esaminato presenta le caratteristiche forme degli altipiani montani, alquanto corrugato, con un fitto reticolo idrografico caratterizzato da corsi d'acqua a prevalente regime torrentizio con alvei caratterizzati da sponde molto incise e con pendenze accentuate che contribuiscono ad originare diffusi fenomeni di disordine idraulico e di dissesto idrogeologico, variamente incisi da una serie di impluvi e fossi collettori, il cui andamento perpendicolare alle incisioni principale è tendenzialmente parallelo, determinando nell'insieme un reticolo idrografico di tipo subdentritico. Le forme del paesaggio ambientale prevalente, presenti all'interno del territorio comunale, possono essere così distinte:

- *attività antropica;*
- *azioni geostrutturali;*
- *azioni legate alla gravità ;*
- *azione erosiva delle acque dilavanti;*
- *azione erosiva delle acque fluviali.*

Dai rilevamenti geologici di superficie eseguiti nell'area, è stato possibile delinearne la storia geologica, attraverso i caratteri litologici, stratigrafici e strutturali e sulla base degli aspetti geomorfologici osservati.

Le osservazioni geologiche compiute in questa area sono state effettuate sia tenendo conto della bibliografia specialistica più recente, sia attraverso una serie di verifiche e rilevamenti effettuati direttamente nell'area di interesse progettuale, con particolare attenzione ai litotipi che caratterizzano il sito sede dell'intervento.

Il substrato roccioso, di origine metamorfica, quasi sempre affiorante nelle aree pedemontane e montane, è costituito da:

sbq - complesso igneo-metamorfico, rappresentato da para-gneiss e scisti biotitici;

I litotipi che affiorano a larga scala nel territorio studiato, sono rappresentati dal basso verso l'alto:

1. *Sbg: complesso igneo-metamorfico di para-gneiss e scisti biotitici*
2. *MC₂₋₃: calcari e calcareniti bianco giallastri o rosati;*

3. $MC^{ls}_{2,3}$: conglomerati poligenici;
4. PC^l_3 : conglomerati da bruno a bruno rossastri;
5. a: prodotti di dilavamento, talora misti a materiale alluvionale;

Dalla prospezione sismica a rifrazione con metodologia MASW eseguita nell'area di interesse progettuale si evince che fino alla profondità di 3.5 m si registrano velocità delle onde di taglio (V_s) inferiori ai 340 m/sec, riferibili alle calcareniti alterate e molto fratturate. Da -3.5 m e fino a una profondità di 13.4 m, le velocità delle onde S variano tra 426 e 450 m/sec, e sono riferibili alla Formazione calcarenitica miocenica fratturata. Sotto i 13.4 m e fino alla profondità di 28.9 m, le velocità delle onde di taglio (V_s) sono comprese tra 664 e 783 m/sec, e sono riferibili alle metamorfite da molto fratturate a fratturate. A partire dai 28.9 m di profondità si riscontrano valori di V_s superiori ai 1100 m/sec, che sembrano indicare una diminuzione relativa del grado di fratturazione all'interno dell'ammasso litoide metamorfico. Ciò viene determinato anche dalla prospezione sismica a rifrazione ad onde longitudinali (onde P), da cui s'individua un orizzonte sismico superficiale, dove si registrano velocità delle onde longitudinali (V_p) inferiori ai 500 m/sec, riferibili al terreno di riporto/copertura. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano tra 500 e 1300 m/sec, e possono essere associate alle calcareniti alterate e molto fratturate.

Analizzando le determinazioni restituite dall'analisi geofisica GPR_Georadar si osservano numerose anomalie dovute ad elementi sepolti di dimensioni varie. Queste sono state raggruppate in tre gruppi in funzione della loro profondità. Quelle più superficiali, comprese tra 0.10 m e 0.40 m, con ogni probabilità sono riconducibili a sottoservizi (tubazioni irrigue e cavi), soprattutto quelle di elevata continuità laterale, o a piccoli elementi litoidi immersi nella matrice di terreno sabbioso-limoso (anomalie singole). Si riconoscono poi delle anomalie più profonde, comprese tra 0.4 e 0.7 m dal piano di scansione; alcune di esse, soprattutto sul lato sud-occidentale dell'area Nord, potrebbero essere ancora dovute a tubazioni, vista la loro buona continuità laterale (trasversale all'aiuola), ma rimane l'incertezza su una possibile attribuzione ad elementi ossei (scheletri). Sempre sull'aiuola settentrionale si rinvencono anomalie simili sul lato nord-orientale, per le quali si consiglia di effettuare degli scavi di ispezione. Sempre su questo intervallo di profondità, si rinvencono tre anomalie nell'aiuola meridionale. Una di queste è molto intensa (vedi radargramma della linea 19), con dimensioni di circa 1.8 m x 0.7 m, molto probabilmente dovuta ad una sepoltura. Per tutti gli elaborati grafici dell'analisi succitata si rimanda all'allegato di riferimento alla presente relazione.

Idrogeologia dell'area di interesse progettuale

Dal punto di vista idrologico ed idrogeologico l'area non appare complessa, come si evince dalle indagini effettuate, e da studi precedenti svolti nell'area di studio.

Il principale fattore di condizionamento del deflusso idrico superficiale e sotterraneo di una qualsiasi porzione del territorio è la permeabilità dei terreni, da cui dipende il rapporto tra infiltrazione e ruscellamento superficiale degli afflussi meteorici. Nell'area oggetto di studio vista la natura dei terreni affioranti la permeabilità complessiva risulta da moderata ad elevata, come si evince dalla Carta Geologica riportata in allegato.

L'idrografia superficiale del territorio in studio è caratterizzata principalmente dalla presenza di corsi d'acqua a carattere torrentizio, con i massimi valori di portata che vengono registrati nel periodo invernale con un consistente aumento del trasporto solido. L'alimentazione è quindi legata, in prevalenza, alle acque di precipitazione che fluiscono attraverso dei reticoli idrografici di ordine inferiore, disposti ortogonalmente rispetto alle valli principali. La rete idrografica locale principale è caratterizzata dalla presenza del Torrente Jassa, mentre la rete idrografica secondaria che attraversa il territorio comunale è rappresentata da una serie di piccole valli e da un insieme di fossi e impluvi, molti dei quali di origine erosiva, che modificando spesso la morfologia, condizionano in modo determinante la stabilità dei versanti ad essi prospicienti. Le incisioni morfologiche che solcano trasversalmente l'area costituiscono le vie principali di drenaggio delle acque superficiali dell'intero versante; considerata l'esiguità dei loro bacini di alimentazione, esse hanno un regime di portata marcatamente torrentizio, strettamente connesso con l'andamento delle precipitazioni, con tempi di corrivazione e periodi di smaltimento dei deflussi estremamente brevi e lunghi periodi caratterizzati da assenza totale di portata idrica.

I dati pluviometrici storici indicano la possibilità nel medio e lungo periodo di eventi meteorici di notevole intensità, nell'eventualità dei quali sono da prevedersi la riattivazione diffusa di fenomeni erosivi e di dissesti franosi attualmente quiescenti, l'innescò di nuovi dissesti, la possibilità di approfondimento dell'alveo dei Torrenti succitati con conseguente richiamo gravitativo delle aree sovrastanti. Poichè la circolazione idrica è relativamente superficiale, la piezometrica si adatta alla morfologia esterna. Ciò provoca l'emergenza delle acque in modo molto diffuso, con recapito preferenziale nei fondovalle, dove la stessa piezometrica viene incisa dalla superficie topografica, e in corrispondenza dei tagli stradali. In queste condizioni di circolazione idrica è evidente che le sorgenti debbano essere tante e di piccola entità, e si possono rinvenire numerose nei dintorni dell'area di studio.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, nell'area oggetto di studio, dalle indagini effettuate non è stata riscontrata la presenza della falda. Da studi e misurazioni precedenti svolte in ambiti contermini si può ipotizzare una profondità della falda non inferiore ai 15 m.

Si può quindi concludere affermando che le opere in progetto dovranno essere in ogni caso protette dal ruscellamento superficiale e dalle infiltrazioni di acque meteoriche, per cui le stesse dovranno essere regimate e smaltite, mediante opportune canalizzazioni superficiali, lontano dal sito di interesse progettuale e recapitate in maniera corretta fino al punto di massima depressione dell'area.

Inquadramento del territorio comunale di Belsito (CS) nell'ambito del P.A.I.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta uno strumento conoscitivo, normativo e di pianificazione. Esso persegue l'obiettivo di garantire adeguati livelli di sicurezza rispetto all'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana, all'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione, e all'assetto della costa, relativo alla dinamica della linea di riva e al pericolo dell'erosione costiera.

Analizzando la Cartografia Tematica si evince che il territorio comunale è interessato da alcuni fenomeni gravitativi attivi e quiescenti che potrebbero evolvere in movimenti franosi di vario genere ed entità e da aree sottoposte a vincoli che però così come si vede nelle figure a seguire non interessano direttamente il sito di interesse progettuale.



Figure 4 e 5: Inquadramento area di studio in ambito PAI

Lo stralcio della Cartografia è altresì riportato negli allegati di riferimento della presente relazione.

✚ DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DEFINITIVO

Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica ai fini della pericolosità geologica

Secondo quanto disposto dalla nuova normativa vigente il modello geologico del sito deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, sismici, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Le indagini finalizzate alla ricostruzione del modello geologico, sono state programmate in funzione del tipo di opera previsto in progetto e della complessità del contesto geologico del sito di studio. Esso è stato sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista al fine di inquadrare i problemi geotecnici. L'elaborazione e le analisi delle indagini eseguite nonché la sintesi degli elementi acquisiti, costituiscono l'oggetto del presente paragrafo, in cui insieme alla ricostruzione della modellazione geologica definitiva, si evidenziano alcuni utili elementi aggiuntivi per il progettista riguardanti la modellazione sismica e geotecnica, evidenziando le correlazioni effettuate per la determinazione dei parametri sismici, e dei parametri geotecnici. Tutti i dati menzionati, hanno consentito di pervenire alla caratterizzazione e modellazione sismica e geotecnica del sottosuolo necessaria alla progettazione. Si è pervenuti così alla determinazione del modello geologico ovvero ad uno "schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico".

La ricostruzione del modello geologico definitivo è stata definita attraverso l'elaborazione dei risultati di una campagna d'indagini geognostiche consistente in una *prospezione sismica a rifrazione con tipologia MASW*, una *prospezione sismica a rifrazione ad onde longitudinali*, un'*indagine sismica Georadar (GPR)* e *tre prove penetrometriche dinamiche continue DL30* al fine di determinare i parametri sismici e geotecnici del sito di interesse da fornire al tecnico incaricato della progettazione.

L'esecuzione delle indagini è stata condotta nel rispetto delle raccomandazioni indicate dalle norme A.G.I. (*Associazione Geotecnica Italiana, 1977*), comunemente riconosciute come termini di riferimento per la programmazione e la regolare esecuzione degli aspetti operativi relativi alle indagini geotecniche. L'analisi dei dati acquisiti ha consentito di definire la successione litostratigrafica e i rapporti geometrici tra i vari litotipi presenti nel sottosuolo, nonché la loro caratterizzazione dal punto di vista geotecnico e i parametri elastici e dinamici più significativi per una stima della risposta sismica locale.

Le interpretazioni ed i risultati delle indagini succitate sono riportati negli allegati di riferimento.

Interpretazione Litostratigrafica del sottosuolo e definizione del Modello Geologico Definitivo

Lo studio geologico è stato realizzato per precisare l'origine e la natura dei terreni e delle rocce, il loro assetto stratigrafico e tettonico-strutturale, i caratteri e i fenomeni geomorfologici e la loro prevedibile evoluzione nel tempo, lo schema della circolazione idrica nel sottosuolo. Le tecniche di studio, i rilievi e le indagini sono stati commisurati all'estensione dell'area, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si è operato così come previsto dalla vigente normativa. Le indicazioni acquisite con l'elaborazione del modello geologico preliminare, integrate con tutti gli elementi dedotti dalle indagini geognostiche effettuate, hanno definito coerentemente il modello geologico definitivo.

Ai fini della classificazione dei terreni dal punto di vista sismico, è stato eseguito in base ai dati disponibili, il calcolo della $V_{s_{equivalente}}$, i cui valori consentono una classificazione prevalente del sottosuolo dell'area di studio nella categoria B ($V_{s_{equivalente}}=535 \text{ m/sec}$) secondo la normativa vigente, chiarendo però che, a causa della notevole eterogeneità dei terreni, sono possibili scostamenti locali dalle condizioni medie in senso peggiorativo. Le indicazioni desunte dalle indagini geognostiche e dal rilevamento degli affioramenti presenti nell'area di studio e nelle zone ad essa limitrofe hanno portato alla definizione dei litotipi locali che ne costituiscono il sottosuolo, e che saranno descritti nel paragrafo a seguire.

Modellazione geotecnica e caratterizzazione dei litotipi

Sulla base dell'inquadramento geomorfologico attuale, sono state programmate le indagini geognostiche evidenziate in precedenza utilizzate sia per la modellazione geologico-tecnica sia per la modellazione sismica. La scelta delle tipologie di indagini e misure è stato determinato dall'entità dell'area studiata e dalla disponibilità di informazioni acquisite da studi pregressi nonché dalla complessità delle condizioni geomorfologiche e logistiche del sito in esame inteso anche come accessibilità nei punti di maggior interesse.

Tutti gli elementi raccolti hanno permesso la definizione di modello geotecnico del sottosuolo tenendo conto della complessità della situazione stratigrafica e geotecnica, della presenza di discontinuità, dell'evidenza di movimenti pregressi, ecc. come previsto dalla normativa vigente.

La scelta e la valutazione dei dati e dei valori stimati, è avvenuta comparandoli, integrandoli reciprocamente e mediandoli tra loro.

Lo scopo finale è stato quello di operare in condizioni di sicurezza per cui è stato necessario considerare valori volutamente cautelativi, riferiti ai termini litologici che dalle stime sono risultati quelli meno resistenti. La sintesi dei *parametri geotecnici* del sito di progetto, desunta dall'interpretazione dei risultati delle tre prove penetrometriche dinamiche continue DL30 correlata con l'indagine geofisica eseguita e con la bibliografia specialistica più aggiornata è riportata nelle tabelle a seguire;

Prova n. 1

| LIVELLI | Profondità (m) | Angolo d'attrito $\varphi(^{\circ})$ | Peso unità volume γ (T/m^3) | Peso unità volume saturo γ_{sat} (T/m^3) | Densità Relativa (%) | Classificazione A.G.I. |
|------------------|-----------------------|--|---|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Livello 1 | 0 – 0.50 | 26,79 | 1.57 | 1.89 | 28,99 | Poco Addensato |
| Livello 2 | 0.50 – 1.50 | 37,21 | 2.22 | 2.50 | 75,69 | Addensato |

Prova n. 2

| LIVELLI | Profondità (m) | Angolo d'attrito $\varphi(^{\circ})$ | Peso unità volume γ (T/m^3) | Peso unità volume saturo γ_{sat} (T/m^3) | Densità Relativa (%) | Classificazione A.G.I. |
|------------------|-----------------------|--|---|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Livello 1 | 0 – 0.50 | 27,07 | 1.59 | 1.89 | 30,51 | Poco Addensato |
| Livello 2 | 0.50 – 1.40 | 37,20 | 2.25 | 2.50 | 80,29 | Molto Addensato |

Prova n. 3

| LIVELLI | Profondità (m) | Angolo d'attrito $\varphi(^{\circ})$ | Peso unità volume γ (T/m^3) | Peso unità volume saturo γ_{sat} (T/m^3) | Densità Relativa (%) | Classificazione A.G.I. |
|------------------|-----------------------|--|---|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Livello 1 | 0 – 0.60 | 27,02 | 1.59 | 1.90 | 30,64 | Poco Addensato |
| Livello 2 | 0.60 – 1.60 | 37,10 | 2.22 | 2.50 | 74,88 | Addensato |

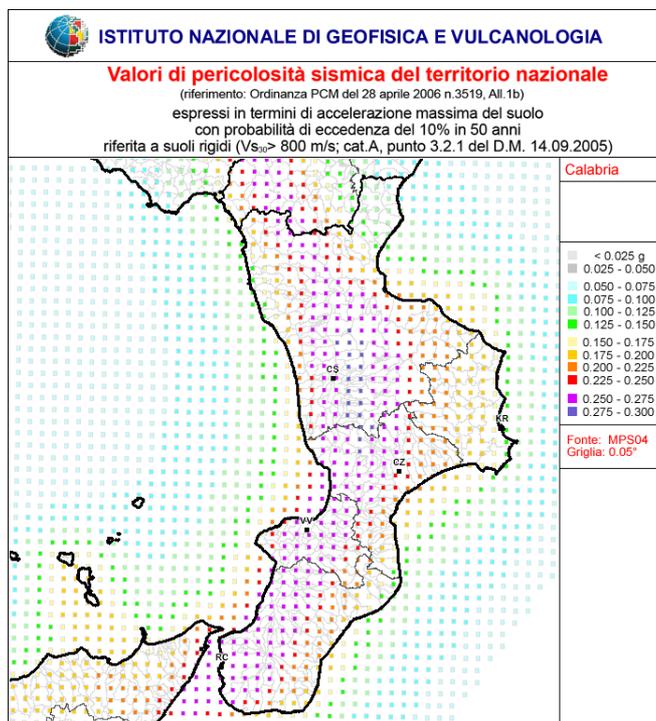
I risultati completi delle prove succitate sono riportati integralmente nell'allegato di riferimento alla presente relazione.

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Note esplicative sul rischio sismico in Calabria

Il Comune di Belsito (CS), così come tutti gli altri comuni della Provincia e la maggiorparte dei comuni calabresi, è considerato ad elevato rischio sismico, con indice di rischio superiore al valore medio nazionale. La recente riclassificazione sismica del territorio nazionale, effettuata ai sensi dell'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 ha classificato l'intero territorio nazionale in quattro zone indicate con i numeri da 1 (a maggior rischio) e 4 (a minor rischio). I 409 comuni calabresi ricadono tutti nella zona 1 o 2, precisamente 261 ricadono nella zona 1, e ben 148 nella zona 2. In particolare Belsito ricade in zona 1.

Allo stato attuale delle conoscenze, il terremoto è un fenomeno non prevedibile e generalmente di breve durata che può avere effetti devastanti, come la storia anche recente ci ricorda. L'impossibilità di prevedere i terremoti determina, ancor più che per gli altri rischi, la necessità di un'accurata ed estesa opera di prevenzione, consistente in un controllo continuo del livello di sicurezza sismica delle strutture ed in piani di emergenza per gestire in maniera rapida ed efficiente i soccorsi alle popolazioni colpite. La Calabria è una tra le Regioni italiane a maggior rischio sismico. Come si evince dalla classificazione dell'intero territorio nazionale da parte del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, la Calabria è l'unica Regione Italiana ad essere interamente compresa nelle zone 1 e 2.



Per quanto riguarda il rischio sismico, si fa riferimento alla tabella riportata nelle Linee Guida, approvate nella seduta del Consiglio Regionale del 10 Novembre 2006. In essa, il problema della pericolosità sismica locale da affrontare a livello di pianificazione comunale, è legata all'individuazione di quelle condizioni locali, cui possono associarsi modificazioni dello scuotimento, con relative amplificazioni del moto del suolo e, quindi, con incremento della pericolosità sismica di base.

Nel territorio studiato, le aree in cui tali effetti possono manifestarsi sono le seguenti:

- nelle aree interessate da fenomenologie geomorfologiche significative, in modo particolare nelle aree in frana cartografate PAI (con rischio elevato o molto elevato) e, in quelle cartografate PSA che possono generare uguale rischio ;
- nelle aree che raggiungono valori elevati di acclività;
- nelle aree interessate dalle coltri di copertura a scarse caratteristiche meccaniche, presenti un pò ovunque;
- nelle aree dove sono presenti scarpate con $H > 10$ m;
- nelle aree pedemontane con falde di detrito;
- nelle aree di fondovalle con materiali alluvionali incoerenti;
- nelle aree con brusca variazione litologica e litotipi aventi caratteristiche meccaniche molto diverse;
- nelle aree alluvionali, con presenza (negli strati superficiali), di depositi sabbiosi sciolti monogranulari, in falda acquifera superficiale che, possono dare luogo a liquefazione dei terreni;
- zone a cavallo di faglie attive;



Figura1. Carta delle faglie attive della Calabria

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input e dei parametri di riferimento. Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- *in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;*
- *una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;*
- *a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.*

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel DM 17 gennaio 2018-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

VR = periodo di riferimento

VN = vita nominale

CU = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale VN, secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.1 – Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni

| TIPI DI COSTRUZIONI | | Valori minimi di VN (anni) |
|---------------------|--|----------------------------|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie | 10 |
| 2 | Costruzioni con livelli di prestazioni | 50 |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100 |

Nel caso specifico VN = 50 anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. CU = 0.7;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. CU = 1.0;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. CU = 1.5;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. CU = 2.0;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II a cui è associato il coefficiente d'uso CU = 1.

Ricavati i valori di VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:

$$VR = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento PVR (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/TR$ (TR = periodo di ritorno).

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

| | | |
|---|------------|------------------|
| Stato limite di esercizio: operatività | SLO | PVR = 81% |
| Stato limite di esercizio: danno | SLD | PVR = 63% |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita | SLV | PVR = 10% |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | PVR = 5% |

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è VR = 50 anni, il tempo di ritorno TR sarà:

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

| | | |
|---|------------|-----------------|
| Stato limite di esercizio: operatività | SLO | TR = 30 |
| Stato limite di esercizio: danno | SLD | TR = 50 |
| Stati limite ultimo: salvaguardia della vita | SLV | TR = 475 |
| Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso | SLC | TR = 975 |

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (ag) ed il corrispondente spettro di

risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A:

ag = accelerazione orizzontale massima;

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

ag, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

Fo e TC* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 4.1- Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

| ID | LON | LAT | TR = 30 | | | TR = 50 | | | TR = 72 | | | TR = 101 | | |
|-------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | | | ag | Fo | T*c | ag | Fo | T*c | ag | Fo | T*c | ag | Fo | T*c |
| 13111 | 6.5448 | 45.1340 | 0.263 | 2.500 | 0.180 | 0.340 | 2.510 | 0.210 | 0.394 | 2.550 | 0.220 | 0.469 | 2.490 | 0.240 |
| 13333 | 6.5506 | 45.0850 | 0.264 | 2.490 | 0.180 | 0.341 | 2.510 | 0.210 | 0.395 | 2.550 | 0.220 | 0.469 | 2.490 | 0.240 |
| 13555 | 6.5564 | 45.0350 | 0.264 | 2.500 | 0.180 | 0.340 | 2.510 | 0.200 | 0.393 | 2.550 | 0.220 | 0.466 | 2.500 | 0.240 |
| 13777 | 6.5621 | 44.9850 | 0.263 | 2.500 | 0.180 | 0.338 | 2.520 | 0.200 | 0.391 | 2.550 | 0.220 | 0.462 | 2.510 | 0.240 |
| 12890 | 6.6096 | 45.1880 | 0.284 | 2.460 | 0.190 | 0.364 | 2.510 | 0.210 | 0.431 | 2.500 | 0.220 | 0.509 | 2.480 | 0.240 |
| 13112 | 6.6153 | 45.1390 | 0.286 | 2.460 | 0.190 | 0.366 | 2.510 | 0.210 | 0.433 | 2.500 | 0.220 | 0.511 | 2.480 | 0.240 |
| 13334 | 6.6210 | 45.0890 | 0.288 | 2.460 | 0.190 | 0.367 | 2.510 | 0.210 | 0.434 | 2.500 | 0.220 | 0.511 | 2.490 | 0.240 |
| 13556 | 6.6268 | 45.0390 | 0.288 | 2.460 | 0.190 | 0.367 | 2.510 | 0.210 | 0.433 | 2.510 | 0.220 | 0.510 | 2.490 | 0.240 |
| 13778 | 6.6325 | 44.9890 | 0.288 | 2.460 | 0.190 | 0.366 | 2.520 | 0.210 | 0.430 | 2.510 | 0.220 | 0.507 | 2.500 | 0.240 |
| 14000 | 6.6383 | 44.9390 | 0.286 | 2.470 | 0.190 | 0.363 | 2.520 | 0.210 | 0.426 | 2.520 | 0.220 | 0.502 | 2.500 | 0.240 |
| 14222 | 6.6439 | 44.8890 | 0.284 | 2.470 | 0.190 | 0.360 | 2.530 | 0.210 | 0.421 | 2.530 | 0.220 | 0.497 | 2.500 | 0.240 |
| 12891 | 6.6803 | 45.1920 | 0.306 | 2.430 | 0.200 | 0.389 | 2.500 | 0.210 | 0.467 | 2.470 | 0.230 | 0.544 | 2.490 | 0.230 |
| 10228 | 6.6826 | 45.7940 | 0.283 | 2.420 | 0.200 | 0.364 | 2.460 | 0.220 | 0.430 | 2.460 | 0.240 | 0.505 | 2.440 | 0.250 |
| 13113 | 6.6860 | 45.1430 | 0.309 | 2.430 | 0.200 | 0.391 | 2.510 | 0.210 | 0.470 | 2.470 | 0.230 | 0.546 | 2.490 | 0.230 |
| 10450 | 6.6885 | 45.7450 | 0.278 | 2.440 | 0.200 | 0.356 | 2.480 | 0.220 | 0.415 | 2.500 | 0.230 | 0.485 | 2.470 | 0.250 |
| 13335 | 6.6915 | 45.0930 | 0.310 | 2.430 | 0.200 | 0.392 | 2.510 | 0.210 | 0.470 | 2.480 | 0.230 | 0.546 | 2.500 | 0.230 |
| 10672 | 6.6942 | 45.6950 | 0.275 | 2.450 | 0.200 | 0.351 | 2.490 | 0.210 | 0.406 | 2.520 | 0.230 | 0.475 | 2.490 | 0.250 |
| 13557 | 6.6973 | 45.0430 | 0.311 | 2.440 | 0.200 | 0.392 | 2.520 | 0.210 | 0.469 | 2.480 | 0.230 | 0.545 | 2.500 | 0.230 |
| 13779 | 6.7029 | 44.9930 | 0.310 | 2.440 | 0.200 | 0.391 | 2.520 | 0.210 | 0.467 | 2.480 | 0.230 | 0.543 | 2.500 | 0.230 |

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{TR_2}{TR_1}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC*) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre p1, 2 è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno TR1, 2.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

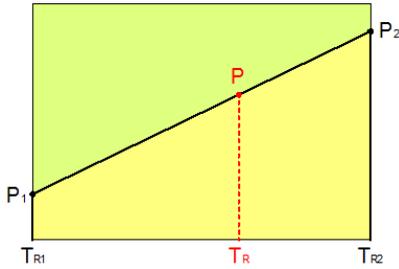


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità Sismica.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2

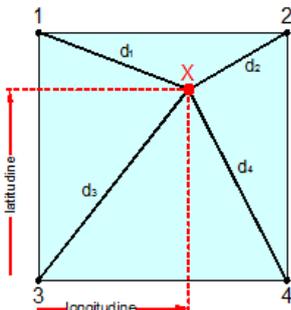


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

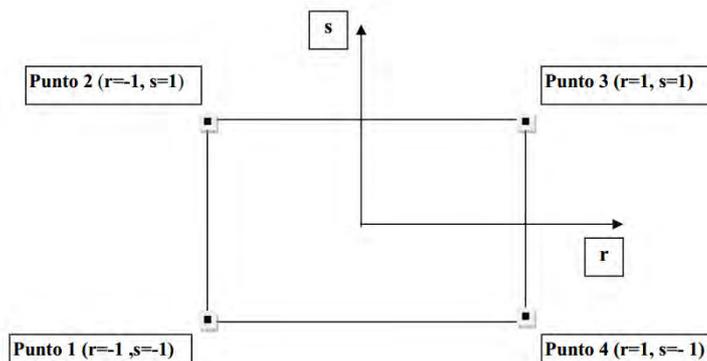


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri ag , F_0 , T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

- β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;**
- g accelerazione di gravità.**

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

| | Categoria di sottosuolo | |
|------------------------|-------------------------|-------------|
| | A | B, C, D, E |
| | β_s | β_s |
| $0.2 < ag(g) \leq 0.4$ | 0.30 | 0.28 |
| $0.1 < ag(g) \leq 0.2$ | 0.27 | 0.24 |
| $ag(g) \leq 0.1$ | 0.20 | 0.20 |

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di **FO (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale)** e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto ag/g . **ST (effetto di amplificazione topografica)**, varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: ST = 1.0; T2: ST = 1.20; T3: ST = 1.20; T4: ST = 1.40.

Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_h = k_h \cdot W \text{ ed } F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

$$\beta_s = 0.47 \text{ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).}$$

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
 g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_s e di amplificazione topografica S_T .
 a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (5.8)$$

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

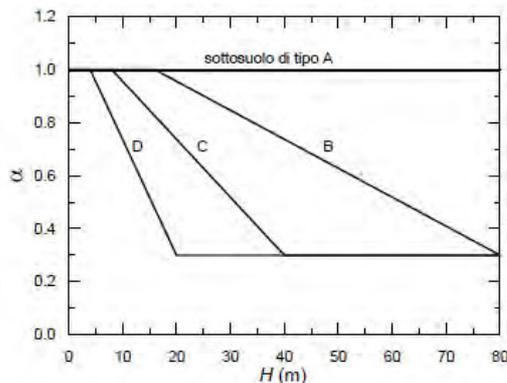


Figura 5.1 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha = 1$.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per $u_s = 0$ si ha $\beta = 1$; $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ deve assumersi $k_h = 0.2 \cdot a_{max}/g$

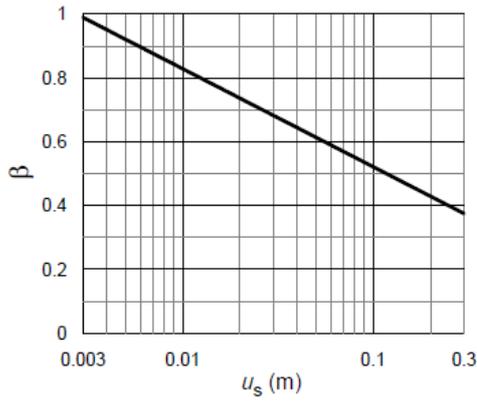


Figura 5.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

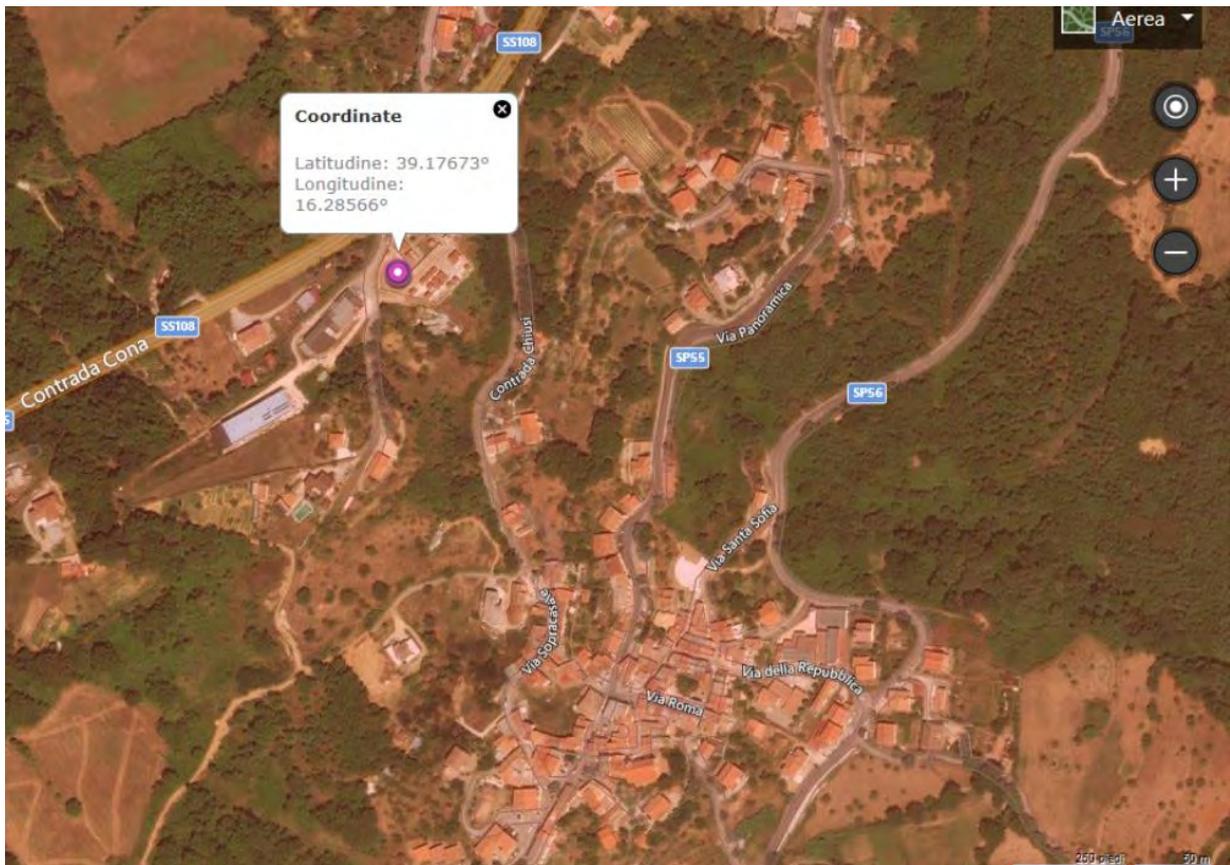
L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

dove:

S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;
 a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Data: 16/07/2019





PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (Cu): 1
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 39,1767311 [°]
 Longitudine (WGS84): 16,2856598 [°]
 Latitudine (ED50): 39,1777496 [°]
 Longitudine (ED50): 16,2864666 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

| Punto | ID | Latitudine (ED50) [°] | Longitudine (ED50) [°] | Distanza [m] |
|-------|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | 40336 | 39,200200 | 16,261460 | 3298,01 |
| 2 | 40337 | 39,198570 | 16,325840 | 4107,96 |
| 3 | 40559 | 39,148590 | 16,323710 | 4563,21 |
| 4 | 40558 | 39,150230 | 16,259360 | 3850,27 |

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO | 30 | 0,071 | 2,290 | 0,281 |
| SLD | 50 | 0,094 | 2,273 | 0,308 |
| | 72 | 0,113 | 2,298 | 0,320 |
| | 101 | 0,134 | 2,328 | 0,326 |
| | 140 | 0,157 | 2,355 | 0,334 |
| | 201 | 0,186 | 2,374 | 0,345 |
| SLV | 475 | 0,271 | 2,431 | 0,373 |
| SLC | 975 | 0,363 | 2,460 | 0,414 |
| | 2475 | 0,512 | 2,521 | 0,447 |

Punto 2

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| SLO | 30 | 0,073 | 2,291 | 0,281 |
| SLD | 50 | 0,096 | 2,276 | 0,307 |
| | 72 | 0,115 | 2,304 | 0,319 |
| | 101 | 0,137 | 2,335 | 0,325 |
| | 140 | 0,160 | 2,357 | 0,334 |
| | 201 | 0,190 | 2,377 | 0,346 |
| SLV | 475 | 0,276 | 2,437 | 0,374 |
| SLC | 975 | 0,368 | 2,468 | 0,416 |
| | 2475 | 0,516 | 2,530 | 0,450 |

Punto 3

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| SLO | 30 | 0,072 | 2,292 | 0,281 |
| SLD | 50 | 0,096 | 2,282 | 0,300 |
| | 72 | 0,115 | 2,304 | 0,318 |
| | 101 | 0,136 | 2,334 | 0,325 |
| | 140 | 0,160 | 2,356 | 0,334 |
| | 201 | 0,189 | 2,377 | 0,346 |
| SLV | 475 | 0,275 | 2,436 | 0,374 |
| SLC | 975 | 0,367 | 2,466 | 0,416 |
| | 2475 | 0,515 | 2,529 | 0,449 |

Punto 4

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| SLO | 30 | 0,070 | 2,292 | 0,282 |
| SLD | 50 | 0,093 | 2,274 | 0,308 |
| | 72 | 0,112 | 2,298 | 0,320 |
| | 101 | 0,133 | 2,327 | 0,326 |
| | 140 | 0,156 | 2,355 | 0,334 |
| | 201 | 0,185 | 2,374 | 0,345 |
| SLV | 475 | 0,270 | 2,431 | 0,373 |
| SLC | 975 | 0,361 | 2,459 | 0,414 |
| | 2475 | 0,510 | 2,520 | 0,446 |

Punto d'indagine

| Stato limite | Tr [anni] | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| SLO | 30 | 0,071 | 2,291 | 0,281 |
| SLD | 50 | 0,094 | 2,276 | 0,306 |
| SLV | 475 | 0,273 | 2,434 | 0,373 |
| SLC | 975 | 0,365 | 2,463 | 0,415 |

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : **5 %**
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: **1,000**

Categoria sottosuolo: B

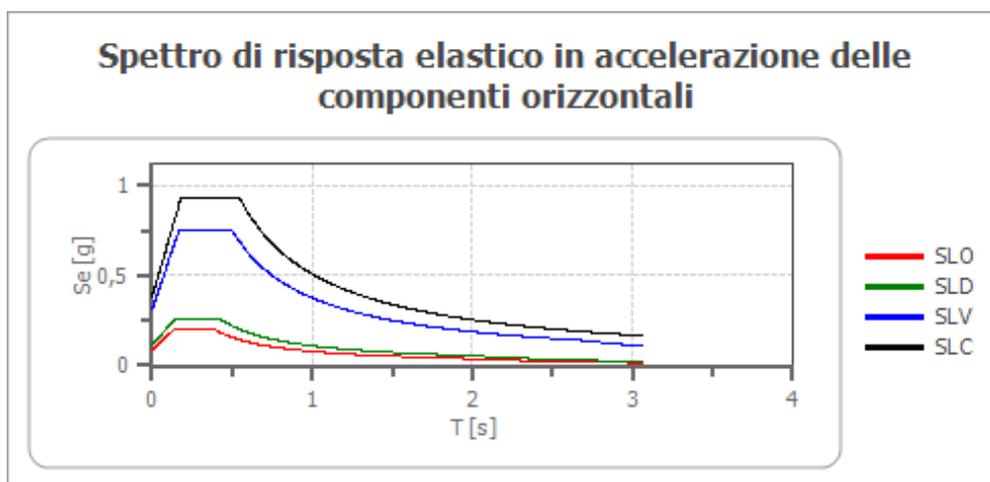
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh | 0,017 | 0,023 | 0,086 | 0,106 |
| kv | 0,009 | 0,011 | 0,043 | 0,053 |
| amax [m/s ²] | 0,840 | 1,112 | 3,024 | 3,718 |
| Beta | 0,200 | 0,200 | 0,280 | 0,280 |

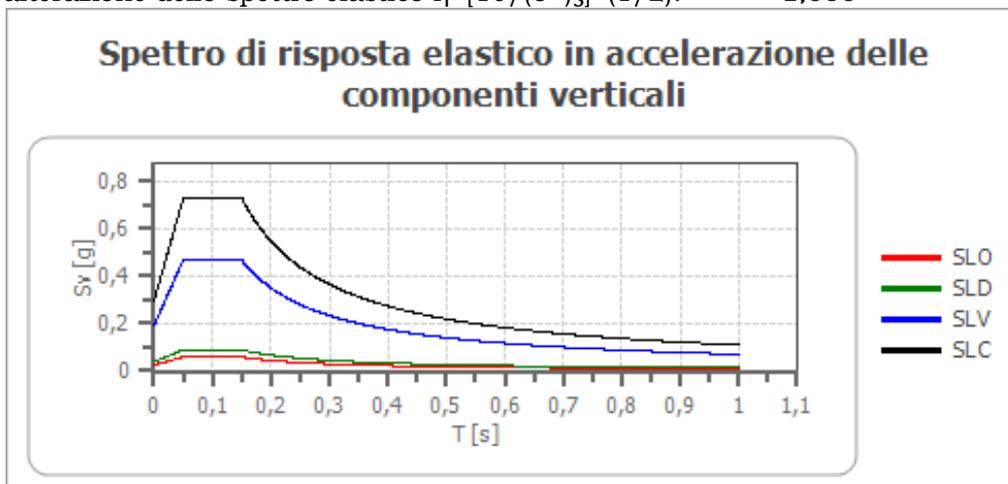
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



| | cu | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | η [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Se(0) [g] | Se(TB) [g] |
|-----|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| SLO | 1,0 | 0,071 | 2,291 | 0,281 | 1,200 | 1,420 | 1,000 | 1,200 | 1,000 | 0,133 | 0,399 | 1,886 | 0,086 | 0,196 |
| SLD | 1,0 | 0,094 | 2,276 | 0,306 | 1,200 | 1,390 | 1,000 | 1,200 | 1,000 | 0,142 | 0,425 | 1,978 | 0,113 | 0,258 |
| SLV | 1,0 | 0,273 | 2,434 | 0,373 | 1,130 | 1,340 | 1,000 | 1,130 | 1,000 | 0,167 | 0,500 | 2,692 | 0,308 | 0,750 |
| SLC | 1,0 | 0,365 | 2,463 | 0,415 | 1,040 | 1,310 | 1,000 | 1,040 | 1,000 | 0,181 | 0,544 | 3,058 | 0,379 | 0,934 |

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : **5 %**
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: **1,000**



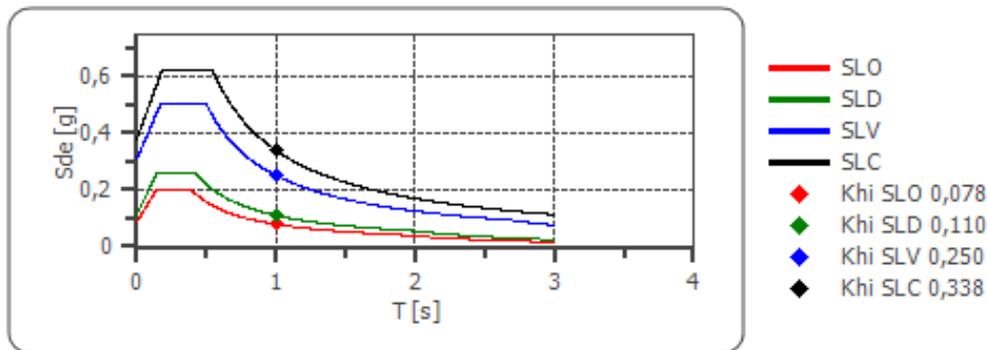
| | cu | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | η [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Se(0) [g] | Se(TB) [g] |
|-----|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| SLO | 1,0 | 0,071 | 2,291 | 0,281 | 1 | 1,420 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,026 | 0,059 |
| SLD | 1,0 | 0,094 | 2,276 | 0,306 | 1 | 1,390 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,039 | 0,089 |
| SLV | 1,0 | 0,273 | 2,434 | 0,373 | 1 | 1,340 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,192 | 0,468 |
| SLC | 1,0 | 0,365 | 2,463 | 0,415 | 1 | 1,310 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,297 | 0,732 |

Spettro di progetto

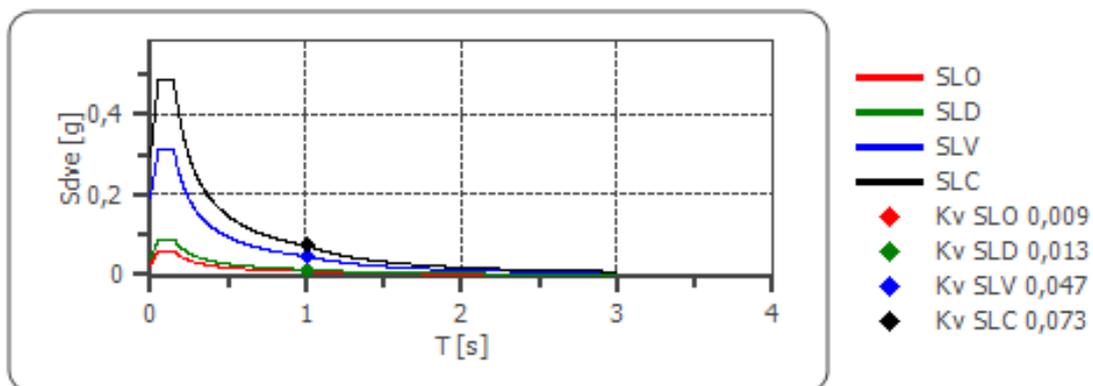
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50
 Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50
 Periodo fondamentale T: 1,00 [s]

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| khi = Sde(T) Orizzontale [g] | 0,078 | 0,110 | 0,250 | 0,338 |
| kv = Sdve(T) Verticale [g] | 0,009 | 0,013 | 0,047 | 0,073 |

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



| | cu | ag [g] | F0 [-] | Tc* [s] | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | S [-] | q [-] | TB [s] | TC [s] | TD [s] | Sd(0) [g] | Sd(TB) [g] |
|-----------------|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| SLO orizzontale | 1,0 | 0,071 | 2,291 | 0,281 | 1,200 | 1,420 | 1,000 | 1,200 | 1,000 | 0,133 | 0,399 | 1,886 | 0,086 | 0,196 |
| SLO verticale | 1,0 | 0,071 | 2,291 | 0,281 | 1,200 | 1,420 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,026 | 0,059 |
| SLD orizzontale | 1,0 | 0,094 | 2,276 | 0,306 | 1,200 | 1,390 | 1,000 | 1,200 | 1,000 | 0,142 | 0,425 | 1,978 | 0,113 | 0,258 |
| SLD verticale | 1,0 | 0,094 | 2,276 | 0,306 | 1,200 | 1,390 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,039 | 0,089 |
| SLV orizzontale | 1,0 | 0,273 | 2,434 | 0,373 | 1,130 | 1,340 | 1,000 | 1,130 | 1,500 | 0,167 | 0,500 | 2,692 | 0,308 | 0,500 |
| SLV verticale | 1,0 | 0,273 | 2,434 | 0,373 | 1,130 | 1,340 | 1,000 | 1,000 | 1,500 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,192 | 0,312 |
| SLC orizzontale | 1,0 | 0,365 | 2,463 | 0,415 | 1,040 | 1,310 | 1,000 | 1,040 | 1,500 | 0,181 | 0,544 | 3,058 | 0,379 | 0,622 |
| SLC verticale | 1,0 | 0,365 | 2,463 | 0,415 | 1,040 | 1,310 | 1,000 | 1,000 | 1,500 | 0,050 | 0,150 | 1,000 | 0,297 | 0,488 |

Risposta sismica e stabilità del sito nei confronti della liquefazione

Il sito presso il quale sarà ubicato il manufatto da realizzare deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti.

Durante un sisma vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche dall'ipocentro verso la superficie.

Nei depositi naturali la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce.

Per tutta la durata del treno d'onde sismico, ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso e ampiezza. Se le sollecitazioni sono sufficientemente intense e prolungate, possono produrre un numero di cicli tale da far sì che, in un terreno saturo in falda, si generi un incremento di pressione interstiziale tale da uguagliare la pressione litostatica; in tali condizioni si può generare il fenomeno della liquefazione, cioè della perdita pressoché totale di resistenza al taglio da parte del terreno.

Maggiore è la durata di un terremoto, e quindi del numero di cicli applicati al terreno, più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per raggiungere tale condizione.

I depositi con più alto potenziale di liquefazione sono generalmente costituiti da terreni granulari fini, sciolti o poco addensati, in condizioni sature, di solito appartenenti a depositi sedimentari molto recenti di ambiente fluviale, deltaico, o marino; nei depositi più antichi si sviluppano infatti nel corso del tempo legami intergranulari e cementazioni che rendono la struttura del terreno più stabile.

Altri caratteri diagnostici importanti per la liquefacibilità di un terreno sono il coefficiente di uniformità e la percentuale di argilla e ghiaia; è generalmente accettato che depositi naturali con percentuali di ghiaia maggiori del 50 % e percentuali di argilla maggiori del 20% non siano suscettibili di liquefazione.

L'annullamento pressoché totale della resistenza al taglio, significa che il terreno assume un comportamento meccanico simile ad un fluido viscoso; se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb, si ha: $t = c + (P_t - U) \operatorname{tg}\varphi$

$$\begin{array}{lll} c = \text{coesione del terreno} & P_t = \text{pressione litostatica totale} & U = \text{pressione interstiziale} \\ \varphi = \text{angolo di resistenza al taglio del terreno} & & \end{array}$$

E' evidente che la grandezza t si può annullare solo nel caso in cui si verifichino le due condizioni:

- a) $c = 0$
- b) $(P_t - U) = 0$.

Queste due condizioni si possono verificare simultaneamente solo nei terreni granulari, mentre in quelli coesivi il parametro c rimane sempre superiore a zero, il che spiega perché nei terreni con una significativa frazione argillosa o limosa plastica la liquefazione non possa aver luogo.

Riassumendo, si possono ritenere a maggior rischio di liquefazione quei terreni che presentano le seguenti caratteristiche:

- *granulometria: sabbie da fini a medie (D_{50} circa = 0,1 mm), con contenuto in limo variabile dallo 0 al 25%, basso coefficiente di uniformità ($U_c < 5$) ed elementi arrotondati o sub arrotondati;*
- *bassa densità relativa;*
- *condizioni di saturazione al di sotto del livello di falda (con profondità del livello di falda molto superficiale, di solito inferiore a 5 m dal p.c.);*
- *profondità relativamente basse dal piano campagna (fino a 15,0 – 20,0 m).*

Quando nessuna delle condizioni evidenziate dalla normativa risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti di sabbie sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. La verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio.

Le indagini geognostiche, infatti, sono state programmate ed eseguite per ottenere la quantizzazione dei cosiddetti effetti di sito che, in caso di sisma, per le loro caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geotecniche possono dar luogo ad effetti cosismici.

Esclusione della verifica a liquefazione

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

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.*

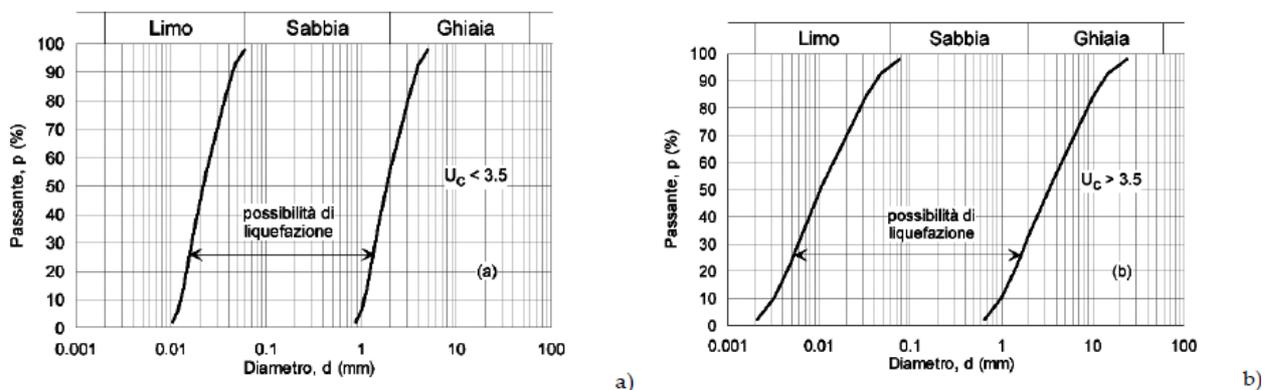


Fig. Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2-3-4.

Quando nessuna delle condizioni evidenziate dalla normativa risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti di sabbie sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Per quanto riguarda il sito oggetto di studio non si è proceduto ad effettuare una verifica a liquefazione in quanto nell'area non è stata riscontrata la presenza della falda, condizione necessaria perché la liquefazione possa avere luogo, ed altresì ci troviamo in presenza di terreni la cui natura calcarenitica non subisce detto fenomeno.

Interventi di prevenzione con opere idraulico-forestali

Gli interventi di riqualificazione urbana nonché di mitigazione e di prevenzione, sono necessari per fare fronte all'eventuale insorgenza di elementi morfoevolutivi dannosi.

Gli interventi consigliati alla protezione dell'area di studio, dovranno essere programmati attraverso due obiettivi principali tra loro connessi:

- *ridurre drasticamente le possibili infiltrazioni profonde che avvengono nel sito;*
- *rallentare i cicli di saturazione e desaturazione della copertura più superficiale;*

In prima analisi bisognerà pianificare tutte quelle opere finalizzate all'intercettazione, alla raccolta e allontanamento delle acque di ruscellamento superficiale. Nel valutare le cause primarie e secondarie portatrici di processi erosivi intensi, rimane invariabilmente fermo il principio che l'acqua abbia un ruolo di primaria e assoluta importanza, soprattutto quella d'infiltrazione.

Il proposito prioritario resta quindi legato anche ad un incremento di stabilità del sito, attraverso un programma idraulico che mira alla regimazione di tutte le acque di deflusso superficiale, disciplinandole in modo razionale. Le acque raccolte, adeguatamente incanalate, andranno drenate nel collettore di deflusso urbano. Per una corretta gestione delle opere strutturali, idrauliche, forestali ed ambientali, particolare importanza riveste la programmazione di una manutenzione periodica e puntuale, volta al mantenimento dell'efficienza delle opere stesse.

Nell'esecuzione degli interventi di manutenzione, si dovrà ricercare, per quanto possibile, di sostituire o integrare i manufatti tradizionali con quelli che rispondono ai criteri per i quali sono stati realizzati, garantendo anche la minimizzazione dell'impatto attraverso opportuni interventi di mitigazione da valutare caso per caso. Interventi di parziale ricostruzione o ampliamento dei manufatti dovranno essere sempre realizzati adottando, per le nuove superfici a vista, materiali analoghi a quelli preesistenti, e in ogni caso compatibili con il sistema ecologico locale.

Considerazioni e raccomandazioni conclusive

Il presente studio geologico è stato redatto ai fini dell'accertamento di compatibilità delle condizioni geomorfologiche del territorio con gli interventi progettuali previsti, attenendosi a quanto disposto dalla normativa nazionale e regionale vigente (N.T.C 2018; D.M. 14.09.2005; linee guida della Legge Urbanistica della Regione Calabria n° 19 del 16/4/2002; P.A.I. Regione Calabria).

Lo studio si è basato su rilevamenti di superficie e sull'acquisizione di tutti i dati bibliografici disponibili per la definizione del modello geologico-tecnico preliminare, in base al quale sono state programmate ed eseguite le successive indagini geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geognostiche di dettaglio, che hanno consentito di operare un'analisi interpretativa sufficientemente esaustiva per una corretta definizione del modello geologico definitivo.

La modellazione geologica è stata pertanto desunta dalla valutazione complessiva di tutti gli elementi scaturiti dalle indagini ed elaborazioni eseguite, che vengono riassunte di seguito, rimandando per ogni altro dettaglio ai capitoli precedenti della presente relazione.

Le indagini geologiche e geomorfologiche superficiali, accuratamente eseguite in tutta l'area investigata, ulteriormente integrate dal confronto con i dati bibliografici e con il confronto dei risultati della campagna d'indagine eseguita hanno portato ad un'analisi interpretativa approfondita, che ha consentito di acquisire un quadro sufficientemente chiaro sul grado di equilibrio geostatico posseduto dall'area di studio.

Il presente studio è mirato principalmente all'accertamento della fattibilità geomorfologica dell'intervento in progetto, ed alla definizione delle principali caratteristiche geotecniche del sito, al fine di fornire indicazioni utili al tecnico incaricato della progettazione.

Sulla base di quanto esposto si può concludere affermando che l'intervento in progetto può ritenersi compatibile con le condizioni geomorfologiche del territorio, con l'osservanza di alcune prescrizioni evidenziate di seguito:

- ❖ provvedere alla realizzazione di un idoneo sistema di canalizzazione, drenaggio e regimazione delle acque meteoriche. Per prevenire l'insorgere di fenomeni geomorfologici peggiorativi, si consiglia di intervenire razionalmente sulla stabilità del sito sia con opere strutturali, sia con opere idraulico-forestali per intercettare le acque di scorrimento superficiali. Esse dovranno essere disciplinate razionalmente, verso un unico collettore adeguatamente dimensionato, tale da espellere le acque dal sito progettuale, attraverso una canalizzazione appropriata verso la massima depressione dell'area. Allontanare il più velocemente possibile le acque meteoriche diventa preminente per un risanamento idrogeologico durevole, evitando così l'erosione superficiale e profonda che inciderebbero sulla morfologia sull'equilibrio dell'area;
- ❖ i fabbricati realizzati nelle zone immediatamente limitrofe sono attualmente privi di segni tangibili che possono indicare fenomeni di mobilità di qualunque grado ed entità; ciò nonostante, la massima tensione indotta, ed eventuali variazioni dei carichi non dovranno eccedere rispetto ai valori calcolati;

In fine si ricorda che:

- ✚ dai risultati di una campagna d'indagini geognostiche eseguita nell'area di studio e consistente in una prospezione sismica a rifrazione con metodologia MASW, una prospezione sismica a rifrazione ad onde longitudinali, un'analisi geofisica GPR (Georadar) e tre prove penetrometriche dinamiche continue DL30 si sono determinati i parametri sismici e geotecnici di riferimento che sono esplicitati esaurientemente nei paragrafi di pertinenza e negli allegati di riferimento alla presente relazione;
- ✚ dalle indagini effettuate non è stata riscontrata la presenza della falda;
- ✚ dalle indagini eseguite è stato riscontrato un valore di $V_{s\text{equivalente}}=535$ m/sec, per cui il sottosuolo può essere classificato di categoria B;

In considerazione all'assetto morfostrutturale e alla sismicità dell'area fermo restando le condizioni prima evidenziate, si può concludere che gli interventi strutturali da realizzare, previsti

in progetto, sono compatibili, con le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno studiato, e pertanto dal punto di vista geologico-tecnico si esprime parere favorevole.

La realizzazione degli interventi in progetto dovrà avvenire in rispetto del D.M. 11.03.88 della L.R. 7/98 e di tutte le leggi vigenti in materia antisismica non menzionate espressamente. Il D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce...", sottolinea che le indagini in fase di progetto, per quanto possano essere estese ed approfondite, non sono generalmente sufficienti a definire nei dettagli le reali situazioni geologiche e geotecniche, e che quindi l'ipotesi progettuale va costantemente affinata in corso d'opera; quindi, in linea con le previsioni legislative, il sottoscritto, su segnalazione del Committente o del Direttore dei Lavori, si riserva la possibilità di compiere ulteriori e definitive indagini in fase di esecuzione dei lavori qualora dovessero insorgere nuovi elementi attualmente non rilevabili.

Si ricorda altresì di proteggere il cantiere mediante recinzione robuste e durature, munite di opportune tabelle segnaletiche ricordanti il divieto di accesso e i segnali di pericolo, e con gli interventi e gli accorgimenti necessari al fine di preservare l'incolumità degli operai e dei cittadini, secondo la vigente normativa in materia di sicurezza.

Si esclude qualsivoglia responsabilità per tutti gli interventi strutturali non contemplati dagli elaborati progettuali, o che presentano palese difformità ed eventuali contrasti con le disposizioni di legge vigenti.

Malito (CS), Luglio 2019

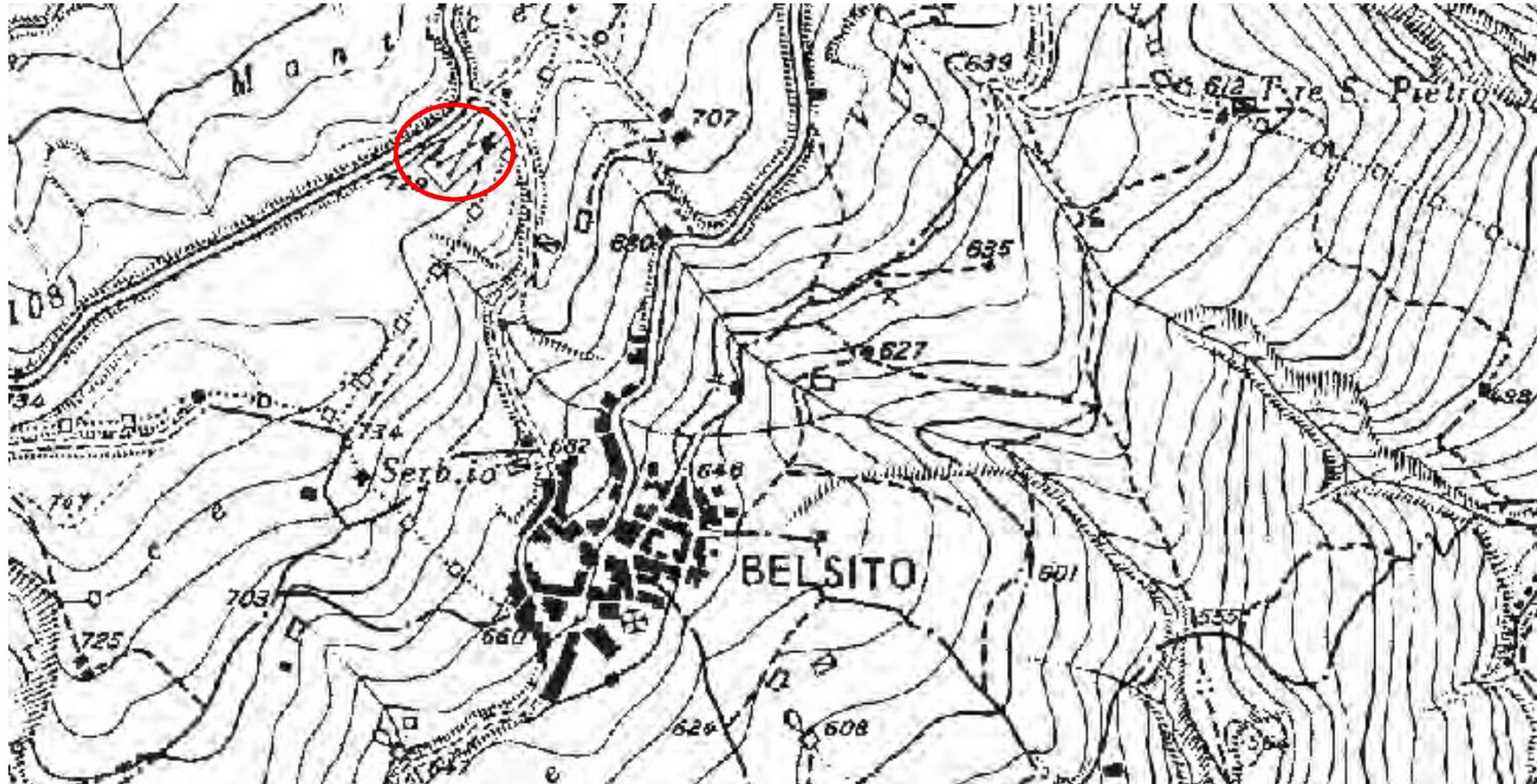
Il Geologo
Dot. Angelo Gatti



The stamp is circular with the text "CONSIGLIO REGIONALE DEI GEOLOGI REGIONE CALABRIA" around the perimeter. In the center, it reads "DOTT. GEOLOGO ANGELO GATTI ALBO N° 976". There is a signature in blue ink over the stamp.

allegato n. 2

**Stralcio Carta Corografica
Foglio 236 della Carta d'Italia - I S.O. Sez B - "Rogliano"**

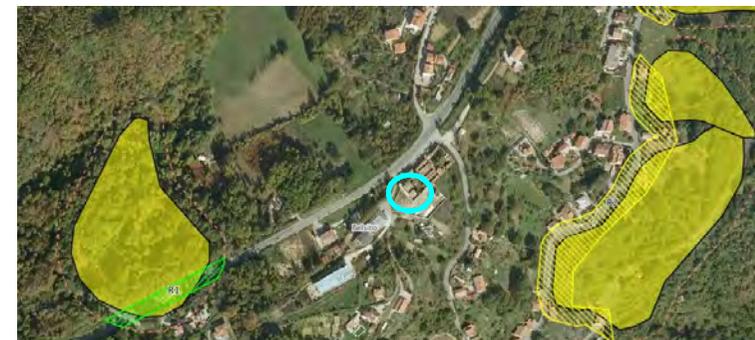


○ *area di studio*

allegato n. 3

**Stralcio Cartografia Tematica Regione Calabria
Comune di Belsito (CS)**

<http://forestazione.regione.calabria.it/webgis/>.



 Area in studio

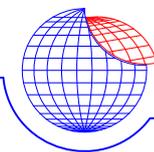
INDAGINI GEFISICHE

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON METODOLOGIA MASW

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI

INDAGINE SISMICA G.P.R. (GEORADAR)

Eseguite da GEOFISICA Misure nell'area di interesse progettuale.



**GEOFISICA
MISURE S.n.c.**

PROSPEZIONI E MONITORAGGI GEOFISICI SU TERRENI E MANUFATTI
87075 Trebisacce (CS); Viale della Libertà, 132;
Fax 0981 57110; E-mail: info@geofisicamisure.it
C.F. e P. IVA 02253910786; N. REA 0153033



COMUNE DI BELSITO

Provincia di Cosenza

**LAVORI DI AMPLIAMENTO E RIUTILIZZO AREE
DEL CIMITERO COMUNALE**

INDAGINI GEOFISICHE



COMMITTENTE: Comune di Belsito (CS)

I tecnici responsabili

Dr. Giuseppe Mainieri

Dr. Giuseppe Ferraro

PREMESSA

Nell'ambito dei *Lavori di ampliamento e riutilizzo aree del Cimitero Comunale di BELSITO (CS)*, CIG: **Z402853F18**, l'**Amministrazione Comunale di BELSITO** ha incaricato la *Geofisica Misure S.n.c.* di eseguire una campagna d'indagini geofisiche di superficie, finalizzata alla definizione delle principali caratteristiche elastiche dinamiche dei litotipi presenti nell'area in esame. Per tale è stata realizzata una prospezione sismica a rifrazione ad onde P e una prospezione sismica di superficie con metodologia MASW (*Multichannel Analysis Of Surface Waves*).

Il contesto geolitologico dell'area in esame vede la presenza di depositi calcarenitici miocenici a vario grado di alterazione/fratturazione, poggianti su un substrato di natura metamorfica. E' presente uno strato di riporto/copertura di spessore variabile.

CARATTERISTICHE DELLE APPARECCHIATURE

La digitalizzazione dei segnali sismici è stata realizzata mediante l'utilizzo di un sismografo modulare *Geometrics Geode* a $24 \times 2 = 48$ canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche principali:

- *Range dinamico: 144 dB di sistema.*
- *Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.*
- *Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.*
- *Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.*
- *Impedenza: 20 Kohm.*
- *Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.*
- *Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.*
- *Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.*
- *Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.*
- *Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.*

Per il rilievo della velocità del moto del suolo in superficie sono stati utilizzati geofoni con frequenza di oscillazione di 10 Hz (Onde P) e di 4.5 Hz (MASW).

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI (P)

Tecnica di rilevamento

Le differenze elastiche dovute alle frequenti variazioni litologiche, determinano variazioni di velocità delle onde sismiche con gradienti spesso molto elevati, sia in senso verticale che laterale. La prospezione sismica è stata realizzata a 20 canali d'acquisizione, adottando una spaziatura intergeofonica di 1.0 m. E' stato effettuato un congruo numero di punti di energizzazione (shots), per la cui precisa ubicazione si rimanda al modello di velocità allegato. Per meglio apprezzare le variazioni laterali di velocità è stata eseguita un'elaborazione tomografica tramite un processo d'*inversione* dei dati (WET).

Processo di elaborazione

I dati acquisiti dall'elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi d'arrivo degli impulsi sismici longitudinali (onde di compressione) ai vari geofoni dello stendimento. Il metodo d'interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico, che ha consentito di evidenziare, in maniera migliore, eventuali variazioni laterali di velocità. Per l'elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software *RAYFRACT*, adatto per il *processing* di dati di profili sismici a rifrazione con *elevate* coperture, che consente di gestire reali contesti geologici. E' stata utilizzata la tecnica d'inversione tomografica *WET* (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie dell'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'*eikonal equation*, che esprime la propagazione dell'onda in un mezzo isotropo. Quindi, poiché utilizza le soluzioni di detta equazione, è considerata una tecnica ad alta frequenza, rapida ed efficiente.

Per la rappresentazione della propagazione dell'onda la *WET* utilizza il concetto di "*volume di Fresnel*", definito come l'insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per al più mezzo periodo. Attraverso calcoli iterativi viene aggiornato il modello di velocità e vengono ripetuti gli *step* definiti, fino al raggiungimento della convergenza.

Il software determina, tramite l'algoritmo per l'inversione tomografica *WET*, quella che è la soluzione ottimale. La bontà del modello dipende dalla geometria dello stendimento, dalle distribuzioni di velocità nel sottosuolo, dal numero e dalla posizione dei punti di energizzazione (shots).

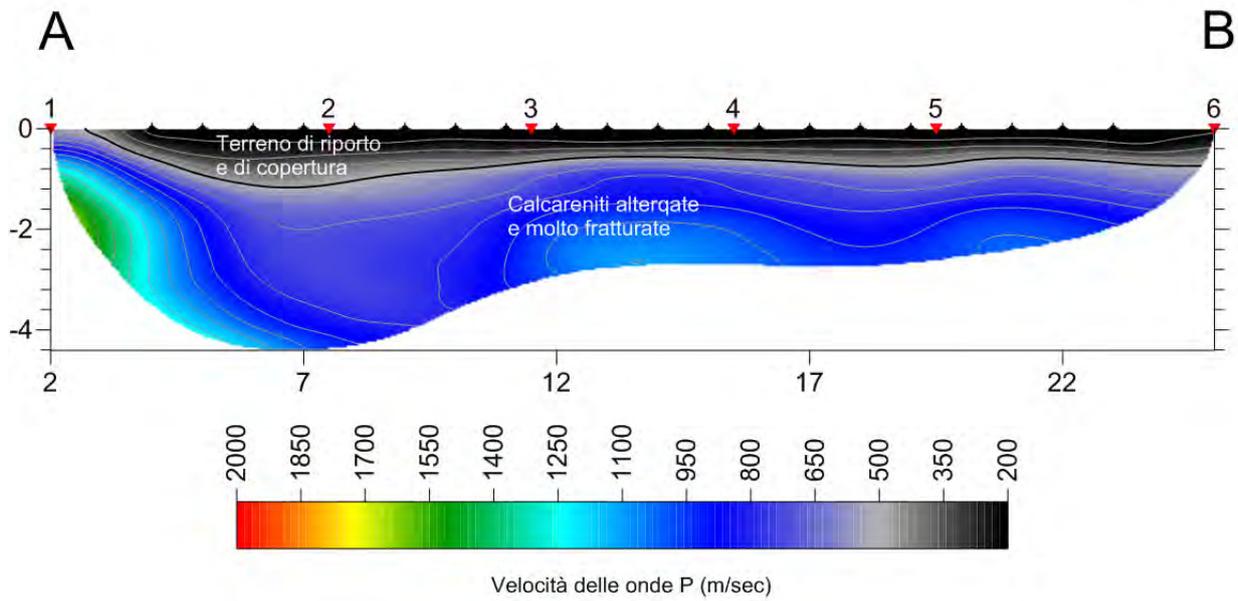
I risultati dell'elaborazione sono presentati in forma grafica nei seguenti elaborati:

- **Modello di velocità:** rappresenta il risultato ottimale ottenuto; le velocità sono rappresentate in scale cromatiche comprese tra il minimo ed il massimo valore determinato.
- **Percorso dei raggi sismici:** consente di verificare il percorso dei raggi sismici e, conseguentemente, la copertura raggiunta. Anche in questo caso la rappresentazione è ottenuta utilizzando una scala cromatica.
- **Diagramma delle dromocrone:** visualizza le dromocrone misurate in campagna con quelle calcolate (*cross*).

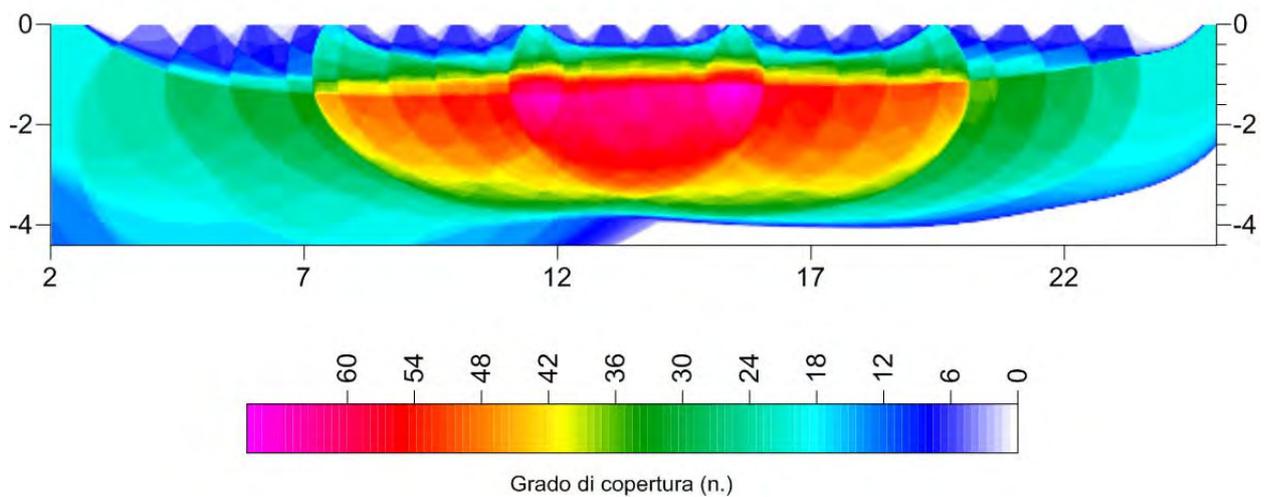
Interpretazione

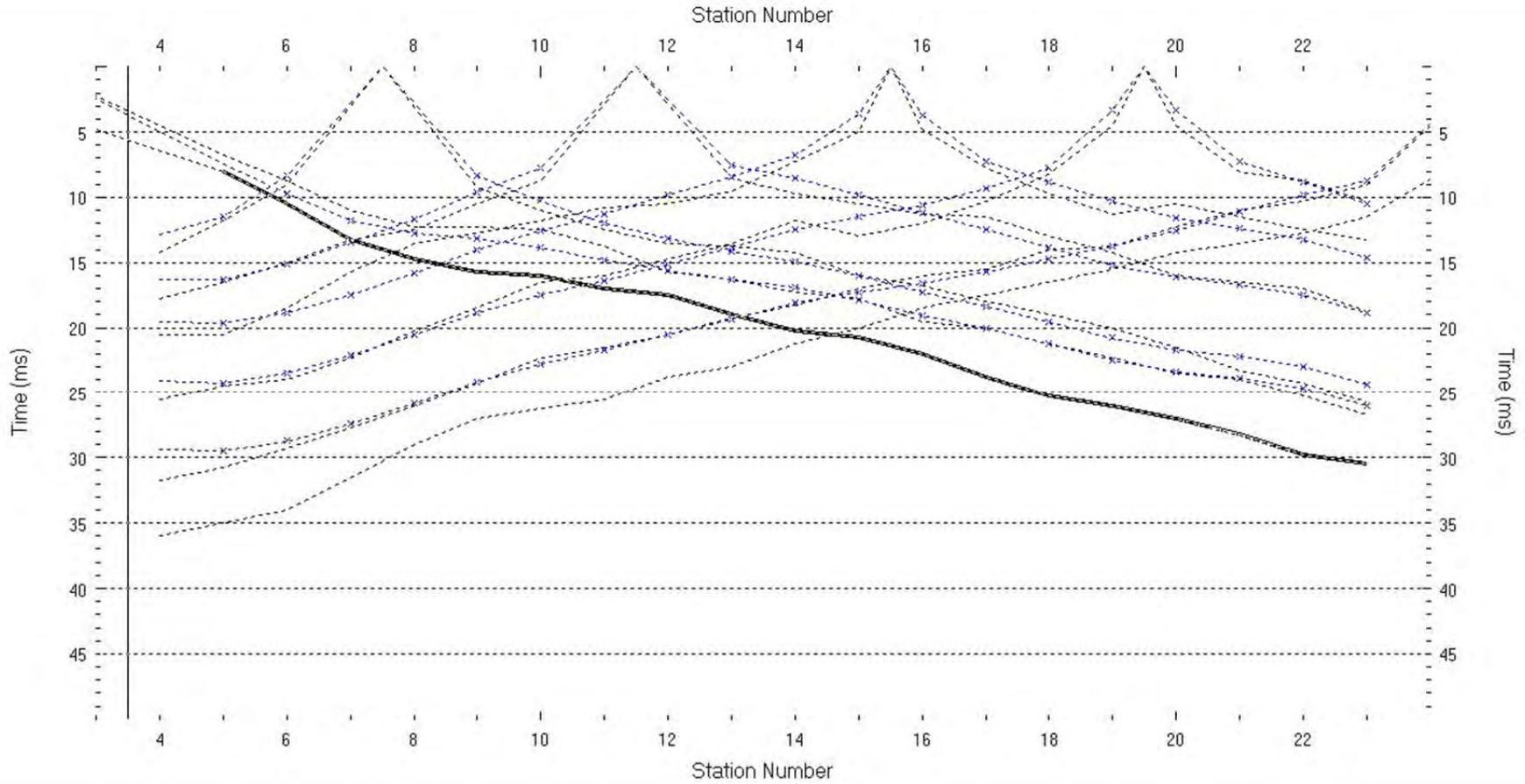
S'individua un orizzonte sismico superficiale, dove si registrano velocità delle onde longitudinali (V_p) inferiori ai 500 m/sec, riferibili al terreno di riporto/copertura. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano tra 500 e 1300 m/sec, e possono essere associate alle calcareniti alterate e molto fratturate.

MODELLO DI VELOCITA'



PERCORSO DEI RAGGI SISMICI





Dromocrono

MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

La prospezione sismica è stata realizzata a 20 canali d'acquisizione, adottando una spaziatura tra i geofoni di 1 m. E' stata eseguita un'elaborazione su un sismogramma ottenuto da un punto di energizzazione posto a 2 m dal primo geofono. La tecnica si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* (R), nota in letteratura come *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Il sismogramma è stato oggetto di *filtraggio* per l'eliminazione delle alte frequenze e "*depurato*" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi d'ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie.

Successivamente si è passati alla rappresentazione delle tracce sismiche su un diagramma che mette in relazione le frequenze con le velocità di fase. Su di esso s'individuano, come zone di massima ampiezza, gli allineamenti attribuibili alle onde di *Rayleigh*, da cui si ottiene la variazione delle velocità di queste ultime con il variare della loro frequenza, o lunghezza d'onda. Essendo la profondità di propagazione di questo tipo di onde dipendente dalla frequenza, sarà possibile correlare le velocità alle varie frequenze con le profondità. Quest'ultimo passo, successivo alla definizione della curva di dispersione, si ottiene mediante un processo d'inversione, che porta al risultato finale, costituito da un profilo verticale delle velocità delle onde trasversali (V_s), posto al centro della stesa di geofoni.

Le velocità di fase delle onde di *Rayleigh* (V_r), in un mezzo omogeneo, sono legate a quelle di volume dalla seguente relazione:

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16 V_s^2 / V_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16 V_s^6 / V_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

In un mezzo non omogeneo le velocità delle onde di volume (V_p e V_s) variano con la profondità. Le velocità di fase delle onde di *Rayleigh* mostrano velocità differenti per differenti valori di frequenza e sono fortemente legate ai valori delle velocità delle onde trasversali. Ciò consente di passare da modelli frequenza/velocità di fase delle onde di *Rayleigh* a modelli monodimensionali V_s /profondità.

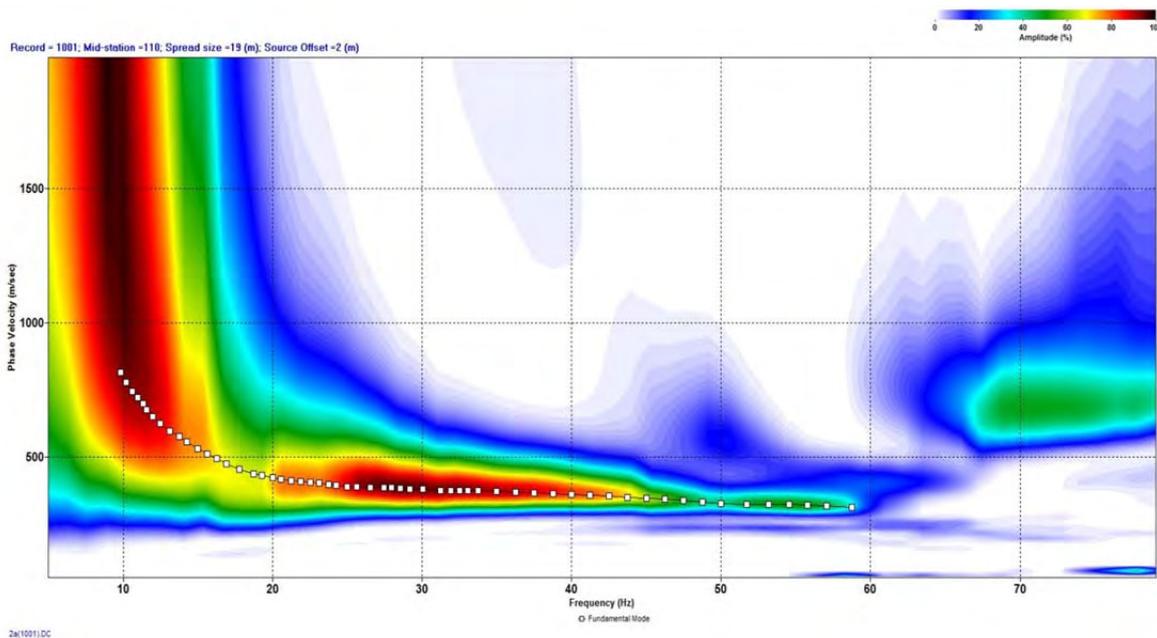
Gli elaborati forniti contengono:

- *la curva di dispersione della velocità di fase delle onde R in relazione alla frequenza;*
- *il profilo delle Vs al centro dello stendimento fino alla massima profondità di indagine;*
- *la tabella dei valori di Vs per orizzonti omogenei di velocità;*
- *la velocità equivalente delle onde di taglio (V_{seq}).*

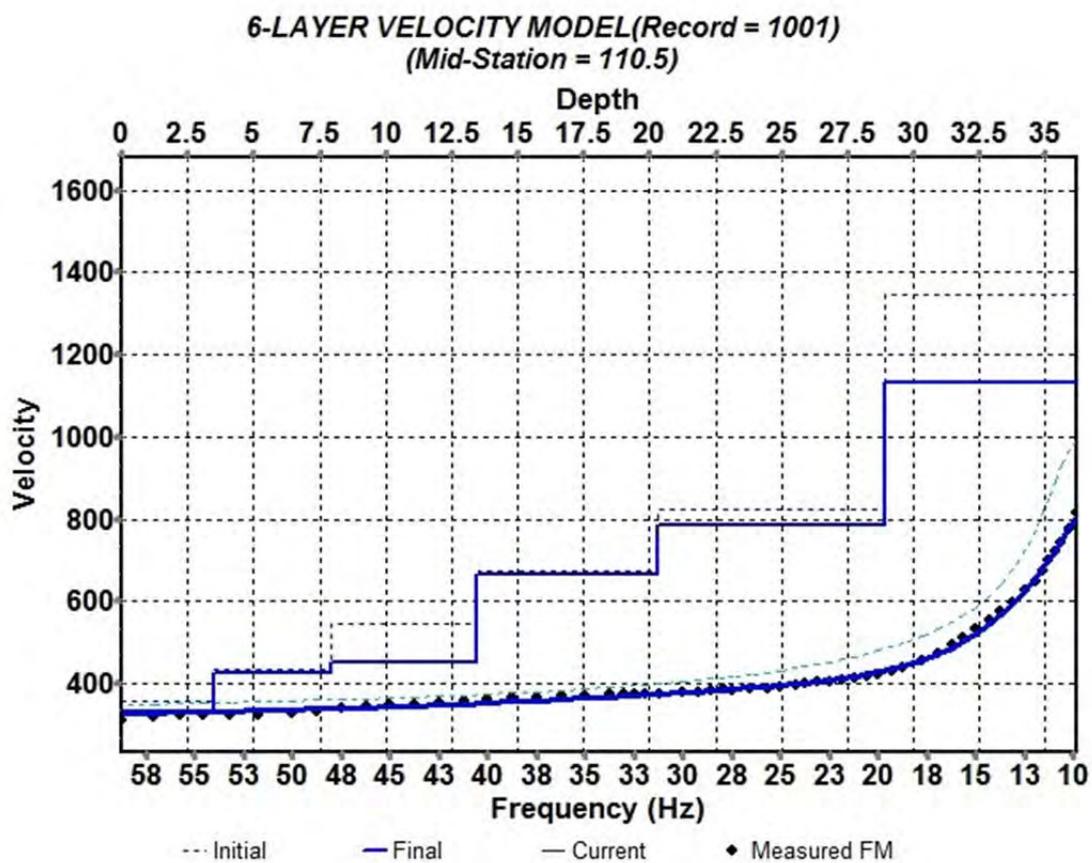
Interpretazione

Fino alla profondità di 3.5 m si registrano velocità delle onde di taglio (Vs) inferiori ai 340 m/sec, riferibili alle calcareniti alterate e molto fratturate. Da -3.5 m e fino a una profondità di 13.4 m, le velocità delle onde S variano tra 426 e 450 m/sec, e sono riferibili alla *Formazione* calcarenitica miocenica fratturata. Sotto i 13.4 m e fino alla profondità di 28.9 m, le velocità delle onde di taglio (Vs) sono comprese tra 664 e 783 m/sec, e sono riferibili alle metamorfite da molto fratturate a fratturate. A partire dai 28.9 m di profondità si riscontrano valori di Vs superiori ai 1100 m/sec, che sembrano indicare una diminuzione relativa del grado di fratturazione all'interno dell'ammasso litoide metamorfico..

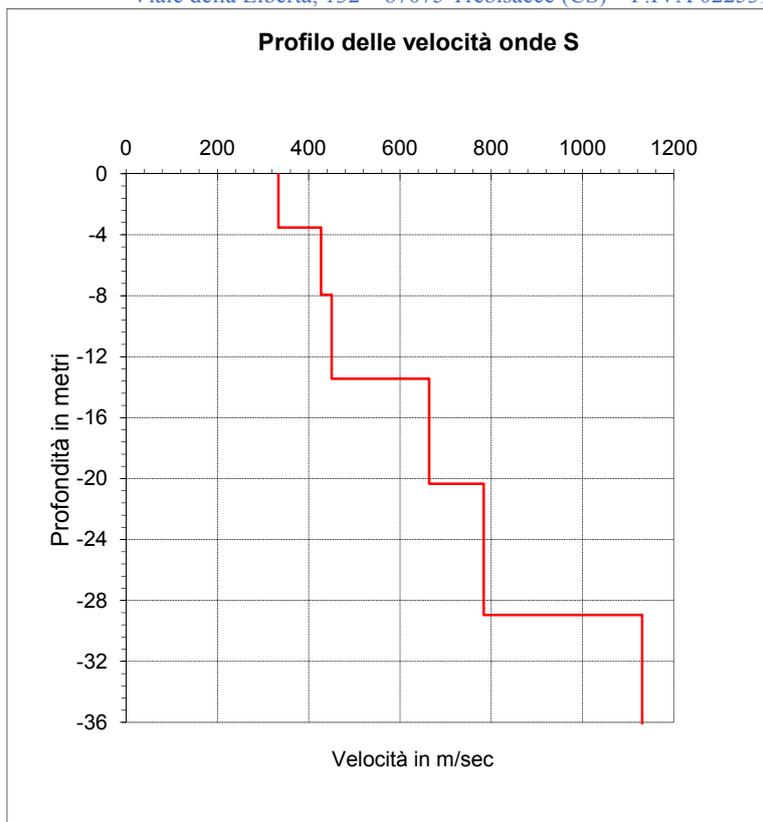
MASW



Curva di dispersione



Curve di inversione



| Colonna 1 | Colonna 2 | Colonna 3 | Colonna 4* |
|--|---|--|---|
| <i>Profondità dal p.c. al centro dello stendimento (metri)</i> | <i>Spessore al centro dello stendimento con suddivisione in sismostrati (metri)</i> | <i>Velocità delle onde S (m/sec)</i> | <i>Velocità delle onde S (m/sec) per ciascun sismostrato definito nella colonna 2</i> |
| -3.527 | 3.527 | 333.573 | 333 |
| -7.936 | 9.920 | 426.939 | 438 |
| -13.447 | | 450.341 | |
| -20.335 | 15.498 | 663.993 | 723 |
| -28.945 | | 783.283 | |
| -36.181 | 7.236 (Substrato sismico) | 1130.369 | 1130 (Substrato sismico) |

* $V_{S,eq} = 535$ m/sec (velocità equivalente delle onde di taglio)

(Quota di riferimento -0.50 m dal p.c.)

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

MODULI ELASTICI DINAMICI

I moduli elastici dinamici sono stati calcolati partendo dai valori medi delle velocità delle onde trasversali (V_s) definite nel profilo MASW e delle velocità delle onde longitudinali (V_p) determinate nel modello tomografico (I° e II° sismostrato). I valori dei pesi di volume (γ) sono indicativi.

Tabella dei moduli elastici dinamici medi

| | <i>Terreno di riporto e di copertura</i> | <i>Calcareniti alterate e molto fratturate</i> | <i>Calcareniti molto fratturate</i> | <i>Metamorfiti da molto fratturate a fratturate</i> | <i>Metamorfiti fratturate</i> |
|--|--|--|-------------------------------------|---|-------------------------------|
| Coefficiente di Poisson μ | 0.346 | 0.354 | 0.345 | 0.303 | 0.296 |
| Velocità onde longitudinali V_p (m/sec) | 350 | 700 | 900 | 1360 | 2100 |
| Velocità onde trasversali V_s (m/sec) | 170 | 333 | 438 | 723 | 1130 |
| Peso di volume γ (g/cm ³) | 1.75 | 2.00 | 2.05 | 2.20 | 2.35 |
| Modulo di Young E_{din} (Mpa) | 138.7 | 612.1 | 1078.3 | 3055.0 | 7929.9 |
| Modulo di Rigidità G (Mpa) | 51.6 | 226.1 | 400.9 | 1172.3 | 3058.8 |

Risposta sismica:

Categoria di sottosuolo: **B**;

Categoria Topografica: **T₁**;

Coordinate Geografiche (WGS84): **N 39,176680° - E 16,285601°**.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1. Prospezione sismica a rifrazione ad onde P

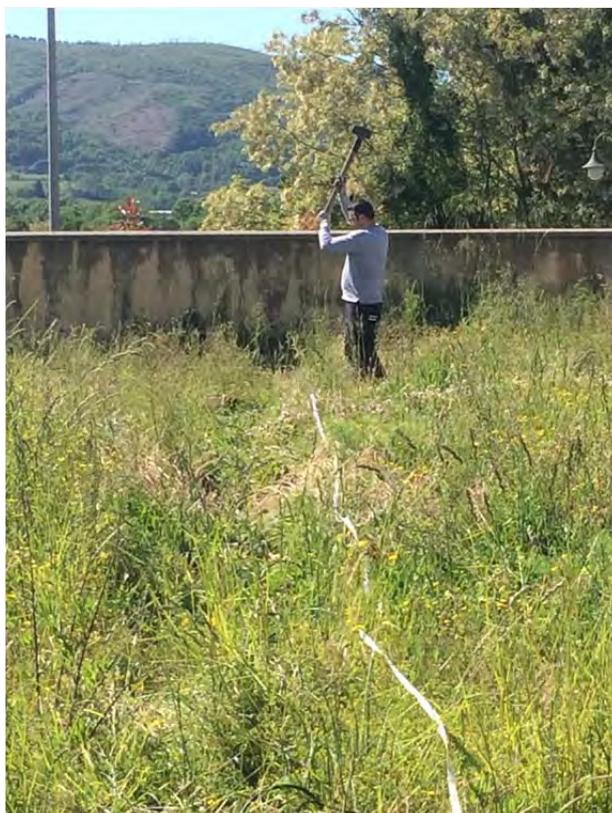
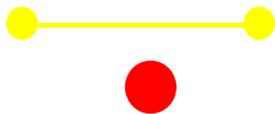


Foto 2. Prospezione sismica con metodologia MASW. Punto di energizzazione a +4 m

UBICAZIONE INDAGINI IN SITO

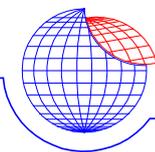


LEGENDA



Prospezione sismica a rifrazione ad onde P

Profilo verticale delle onde di taglio ($V_{s_{eq}}$)



**GEOFISICA
MISURE S.n.c.**

PROSPEZIONI E MONITORAGGI GEOFISICI SU TERRENI E MANUFATTI
87075 Trebisacce (CS); Viale della Libertà, 132;
tel./fax 0981 57110-489444 E-mail: info@geofisicamisure.it
Par. IVA 02253910786; N. REA 0153033



COMUNE DI BELSITO

Provincia di Cosenza

**LAVORI DI AMPLIAMENTO E RIUTILIZZO AREE
DEL CIMITERO COMUNALE**

INDAGINI GEORADAR



COMMITTENTE: Comune di Belsito (CS)

I tecnici responsabili

Dr. Giuseppe Mainieri Dr. Giuseppe Ferraro

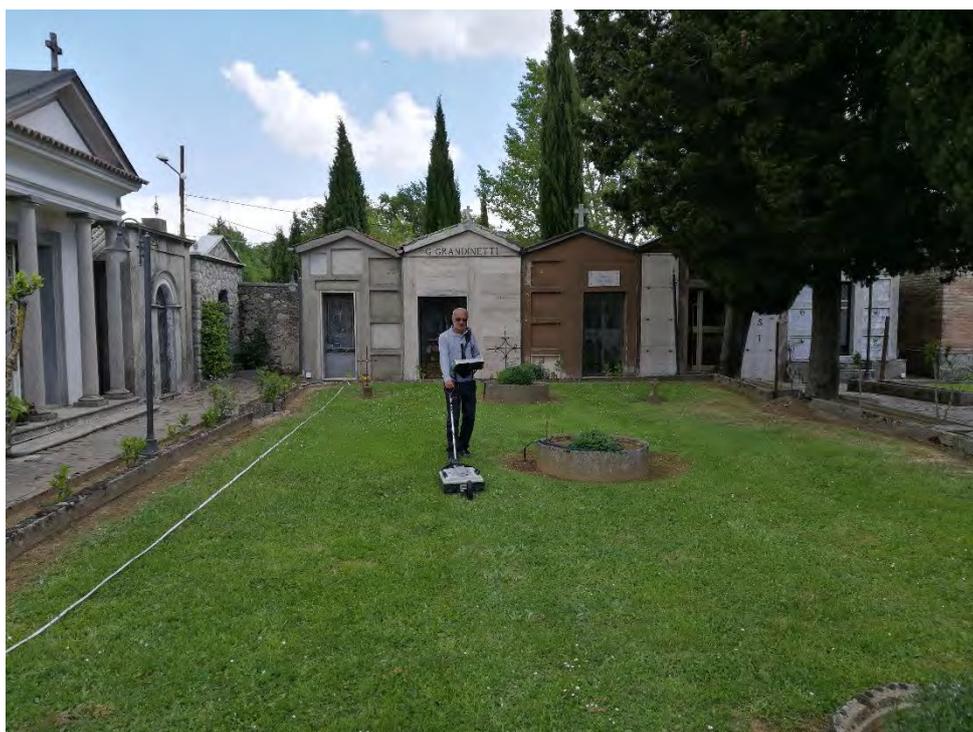
PREMESSA

Al fine di verificare la presenza di eventuali sepolture in due aree attualmente adibite ad aiuole, ricadenti all'interno del cimitero comunale di Belsito (CS), l'amministrazione comunale di Belsito (CS), nell'ambito dei *lavori di ampliamento e riutilizzo aree – Cimitero Comunale* (Det. 37 del 08/05/2019), ci ha incaricato di eseguire delle indagini mediante metodologie indirette di tipo geofisico, al fine di verificare l'eventuale presenza di elementi sepolti. La metodologia utilizzata per l'esecuzione delle indagini è il metodo elettromagnetico impulsivo, noto come *Georadar* o *GPR* (Ground Penetrating Radar). Sono state realizzate delle linee di scansione con antenna di apposita frequenza, secondo una adeguata geometria a griglia, in maniera da ottenere dati con continuità spaziale in entrambe le aree di interesse. Il contesto geolitologico delle aree investigate vede la presenza di un substrato costituito da calcari da teneri a compatti, di età miocenica, su cui poggiano, presumibilmente, coltri di alterazione ed antropiche di varia origine. Le due aree investigate sono tra loto latistanti, separate da un vialetto pedonale



Le due aiuole, bordate da cordoli, oggetto delle indagini GPR

Lo scopo delle prospezioni georadar è stato l'individuazione di eventuali elementi sepolti, che potrebbero essere indizio della presenza di sepolture, sia per inumazione mediante bara, che per la presenza di elementi scheletrici. In generale le indagini sono servite a investigare il sottosuolo, e le strutture in esso presenti, nei primi 1.4-1.6 m circa di profondità rispetto all'attuale piano di campagna. Le scansioni elettromagnetiche sono state realizzate mediante un'antenna georadar centrata sulla frequenza di 450 Mhz, realizzando linee di rilievo sia longitudinali rispetto al lato lungo delle aiuole, tra loro distanziate di 0.5 m (vedi *Carta di Ubicazione delle Linee di scansione*). Tale geometria ha consentito sia l'analisi bidimensionale del segnale elettromagnetico (B-Scan), sia, il loro assemblaggio in geometria 3D con analisi tridimensionale dei dati (C-Scan).



Fase di scansione nell'aiuola di Nord-Ovest

Metodo Georadar

Il metodo georadar (GPR) si basa sulla proprietà dei terreni di trasmettere onde elettromagnetiche ad alta frequenza e misura il tempo di andata e ritorno di tali onde quando esse vengono riflesse da una superficie di discontinuità elettromagnetica. Lo strumento invia, mediante un'antenna, un impulso multifrequenza nel suolo da indagare. Quando le onde elettromagnetiche incontrano sul loro cammino una discontinuità fisica che comporti una diversa velocità di propagazione, parte dell'energia incidente

viene riflessa, o diffratta se si tratta di un oggetto di piccole dimensioni, e ritorna all'antenna, generando un impulso di forma simile a quello trasmesso, anche se distorto in frequenza e fase. La banda di frequenze utilizzate può variare tra 50 e oltre 3000 Mhz; la scelta entro tale intervallo di possibilità dipende dal dettaglio che si vuole ottenere e dalla profondità da indagare, poiché la frequenza è direttamente proporzionale al potere risolutivo ed inversamente proporzionale alla profondità di indagine. Il risultato finale di una scansione radar è costituito da una serie di segnali nel dominio del tempo, che definiscono la successione degli orizzonti attraversati e la loro posizione verticale, dipendente dalle velocità di propagazione delle onde nei materiali attraversati.

Considerate le finalità dell'indagine ed il contesto in cui si è operato, si è utilizzata un'antenna centrata sulla frequenza di 450 Mhz, tale da avere un buon grado risolutivo e mantenere una profondità di investigazione di circa 1.5 metri. Il segnale, per quanto interessato dall'assorbimento dovuto alla presenza di una matrice conduttiva, è risultato di discreta qualità.

Nelle acquisizioni è stato utilizzato un Georadar marca *Mala Geoscience* modello *Ground Explorer (HDR)*, avente le seguenti caratteristiche:

- tecnologia: *MALA Semi-real-time*;
- velocità di scansione: *fino a 160 MHz*;
- SNR: *>101 dB*.
- Finestra di acquisizione: *300 nanosecondi*.
- Output Data Format: *>16-bit*
- Numeri campioni per scan: *> 770, time window 300 nsec*.
- Larghezza di banda: *>120%, frazionaria, -10dB*;
- Posizionamento: *mediante encoder e DGPS interno*.

Il processo d'elaborazione ha avuto come risultato la ricostruzione di modelli bi-dimensionali (Radargrammi), che hanno consentito d'individuare le anomalie associabili a corpi anomali, definendone la profondità. Al fine di poter migliorare il segnale acquisito, i radargrammi sono stati processati secondo la seguente sequenza:

- *Correzione T0 e Background Removal*;
- *Analisi di velocità*;
- *Migrazione*.

In particolare la *correzione T0* ha permesso d'individuare con esattezza l'inizio della penetrazione nel terreno del segnale radar, *l'analisi di velocità* ha consentito di definire la velocità di propagazione delle onde radar nel terreno al fine di calcolare con esattezza la profondità delle riflessioni/diffrazioni, mentre con la *migrazione* si sono eliminate le iperboli di riflessione/diffrazione, riducendo le anomalie lineari trasversali alle direzioni di scansione, ad elementi puntuali e avvicinando le “forme” di riflessione radar alle geometrie reali degli elementi riflettenti.

Per la migliore percezione spaziale dei dati elettromagnetici, i radargrammi sono stati accorpati anche in un volume 3D. In questo caso i dati sono stati visualizzati come ampiezze, in scala cromatica, su piani orizzontali (slice) posti a varie profondità dal piano di campagna.

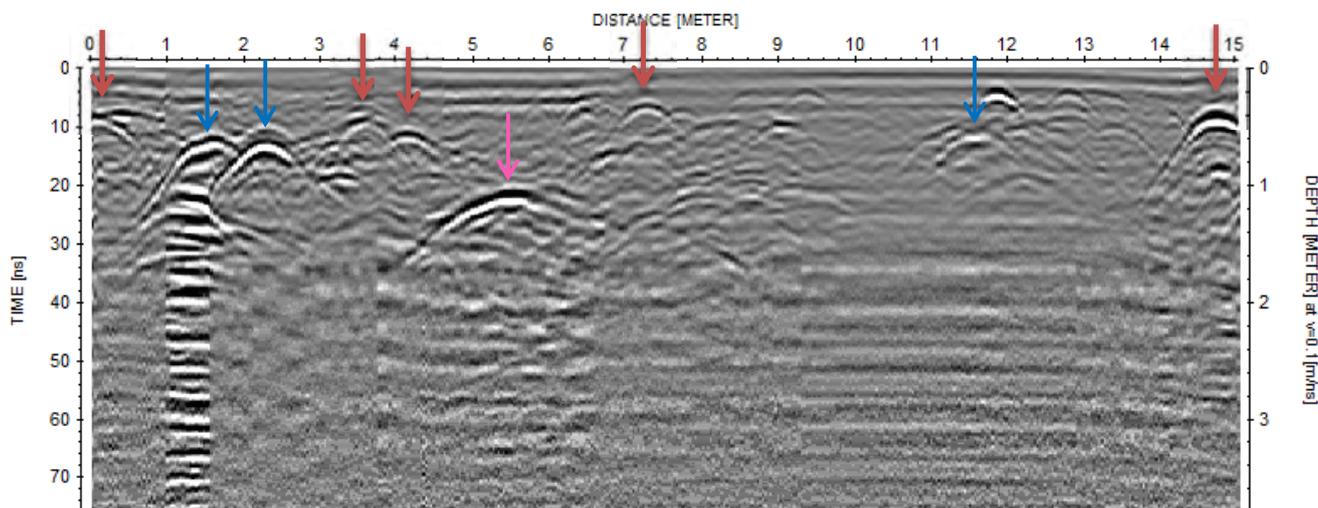


Fase di scansione nell'aiuola di Sud-Oves

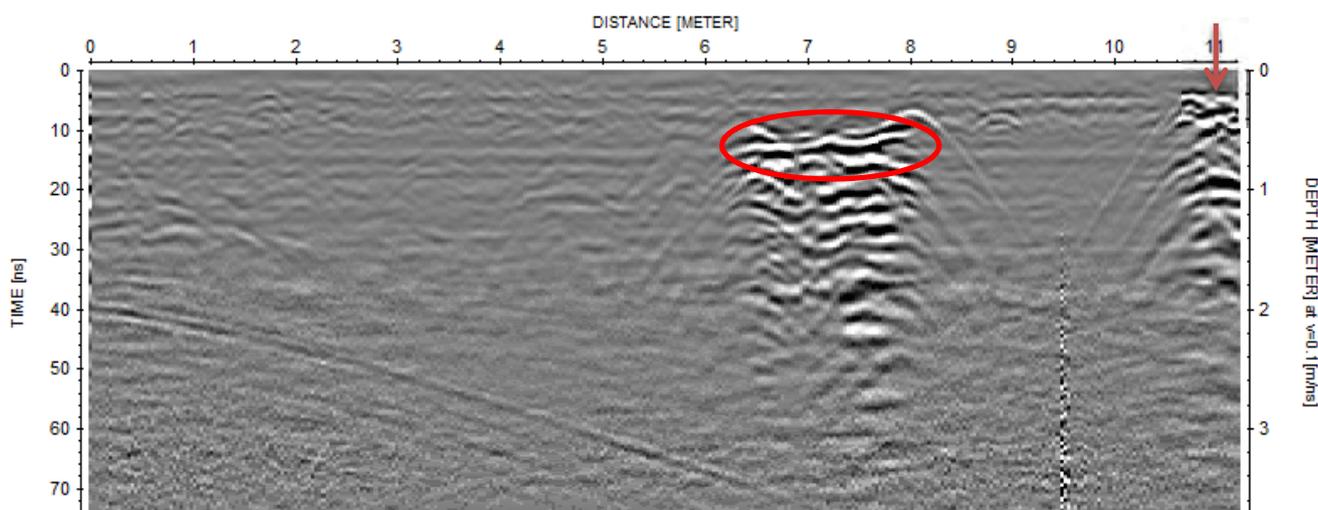
Interpretazione

In generale si osservano numerose anomalie dovute ad elementi sepolti di dimensioni varie. Queste sono state raggruppate in tre gruppi in funzione della loro profondità. Quelle più superficiali, comprese tra 0.10 m e 0.40 m, con ogni probabilità sono riconducibili a sottoservizi (tubazioni irrigue e cavi), soprattutto quelle di elevata continuità laterale, o a piccoli elementi litoidi immersi nella matrice di terreno sabbioso-limoso (anomalie singole). Si riconoscono poi delle anomalie più profonde, comprese tra 0.4 e 0.7 m dal piano di scansione; alcune di esse, soprattutto sul lato sud-occidentale dell'area Nord,

potrebbero essere ancora dovute a tubazioni, vista la loro buona continuità laterale (trasversale all'aiuola), ma rimane l'incertezza su una possibile attribuzione ad elementi ossei (scheletri). Sempre sull'aiuola settentrionale si rinvencono anomalie simili sul lato nord-orientale, per le quali si consiglia di effettuare degli scavi di ispezione. Sempre su questo intervallo di profondità, si rinvencono tre anomalie nell'aiuola meridionale. Una di queste è molto intensa (vedi radargramma della linea 19), con dimensioni di circa 1.8 m x 0.7 m, molto probabilmente dovuta ad una sepoltura.



Radargramma linea 02. Si notano numerose anomalie da elementi sepolti; quelle superficiali sono indicate in marrone, in blu di media profondità e in magenta per quelle profonde.

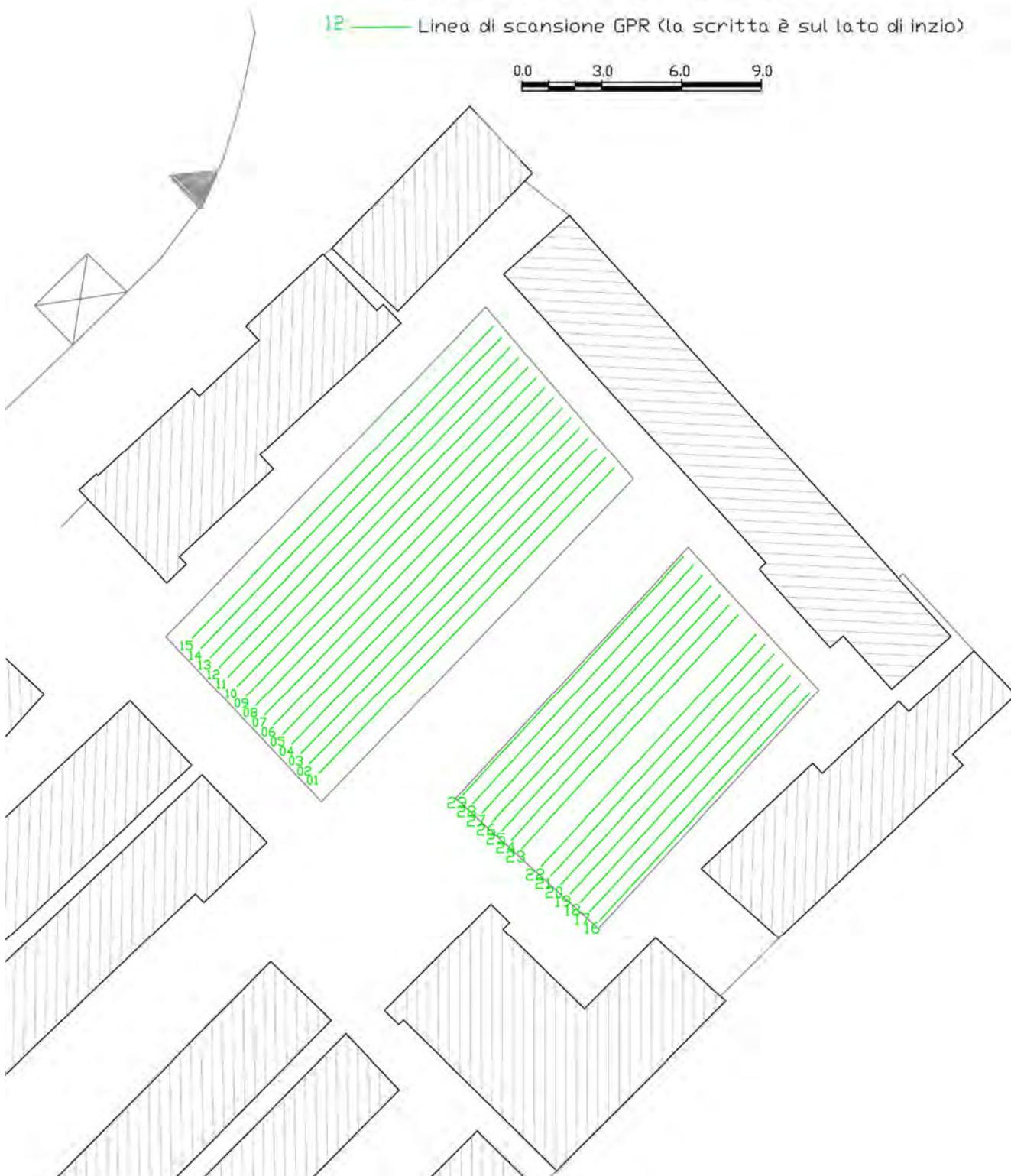


Radargramma linea 19. Si nota una intensa anomalia tra 6.2 e 8 m di progressiva, alla profondità di 0.5-0.6 m; probabilmente dovuta ad una sepoltura.

UBICAZIONE DELLE LINEE DI SCANSIONE

12 — Linea di scansione GPR (la scritta è sul lato di inizio)

0.0 3.0 6.0 9.0



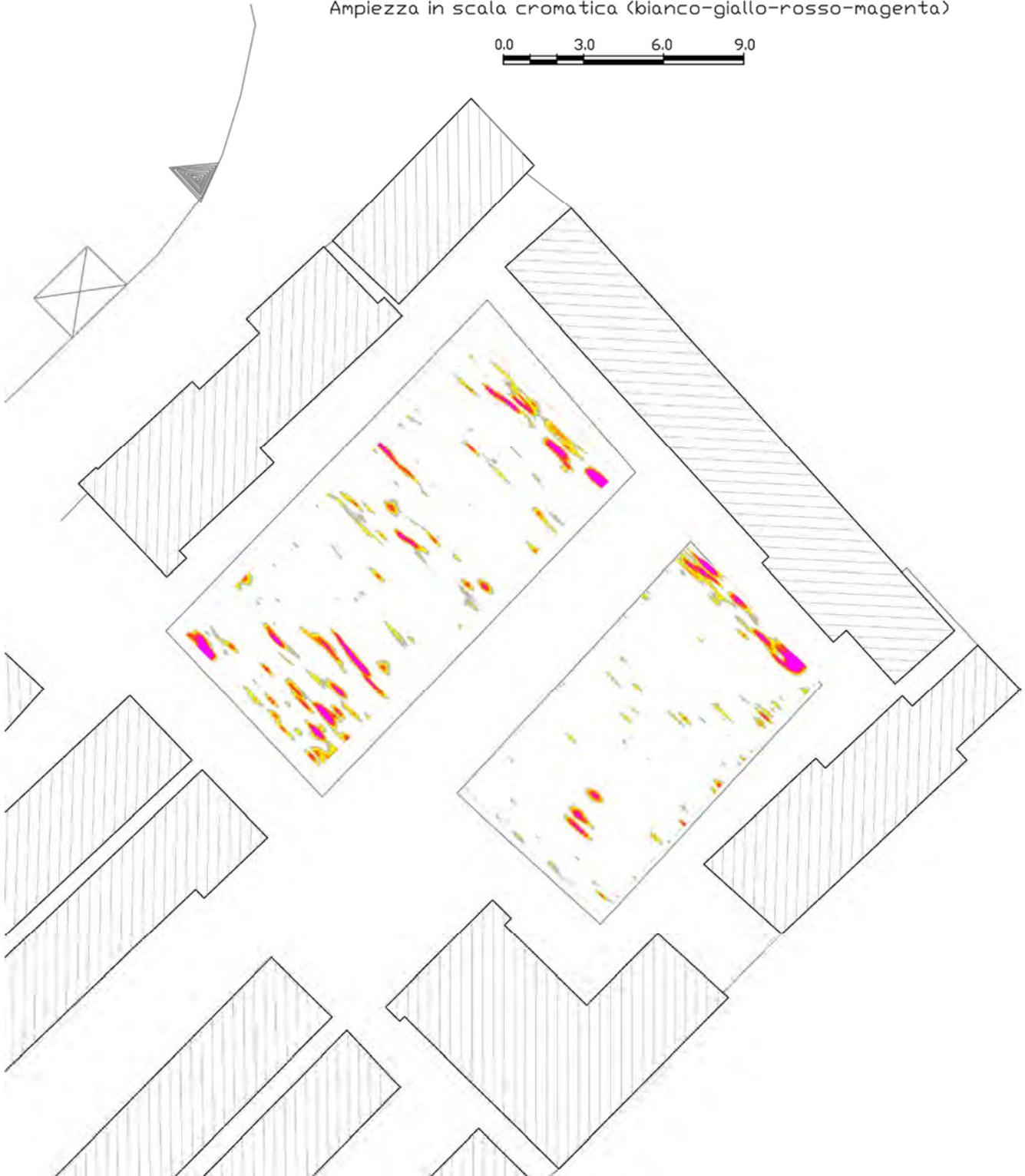
MAPPA DELLE ANOMALIE ELETTROMAGNETICHE DA RADARGRAMMI 2D



Viale della Libertà, 132 – 87075 Trebisacce (CS) – P.Iva 02253910786

MAPPA DELLA RISPOSTA ELETTROMAGNETICA A 0.40-0.50 m DI PROFONDITA'

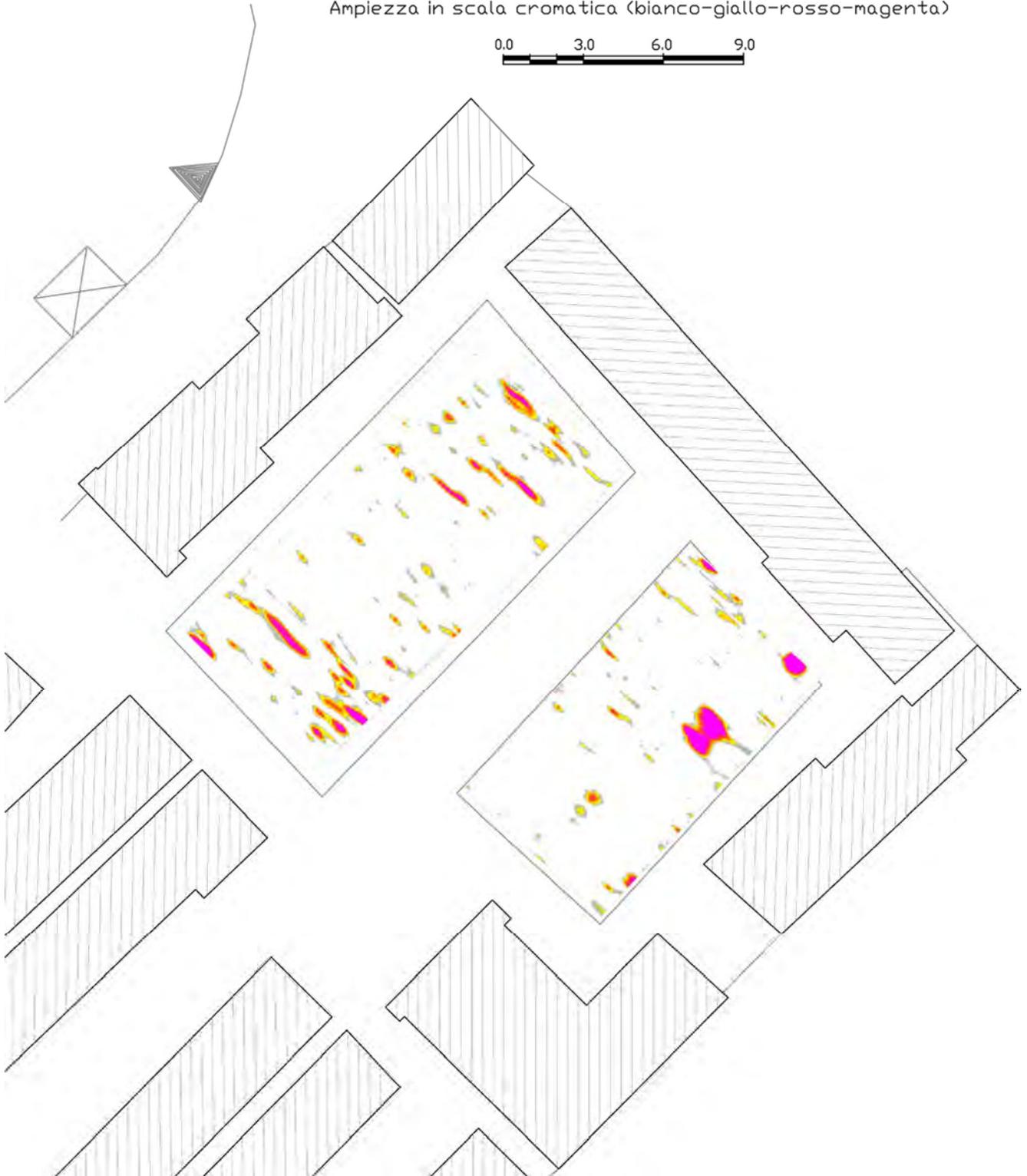
Ampiezza in scala cromatica (bianco-giallo-rosso-magenta)



Viale della Libertà, 132 – 87075 Trebisacce (CS) – P.Iva 02253910786

MAPPA DELLA RISPOSTA ELETTROMAGNETICA A 0.50-0.70 m DI PROFONDITA'

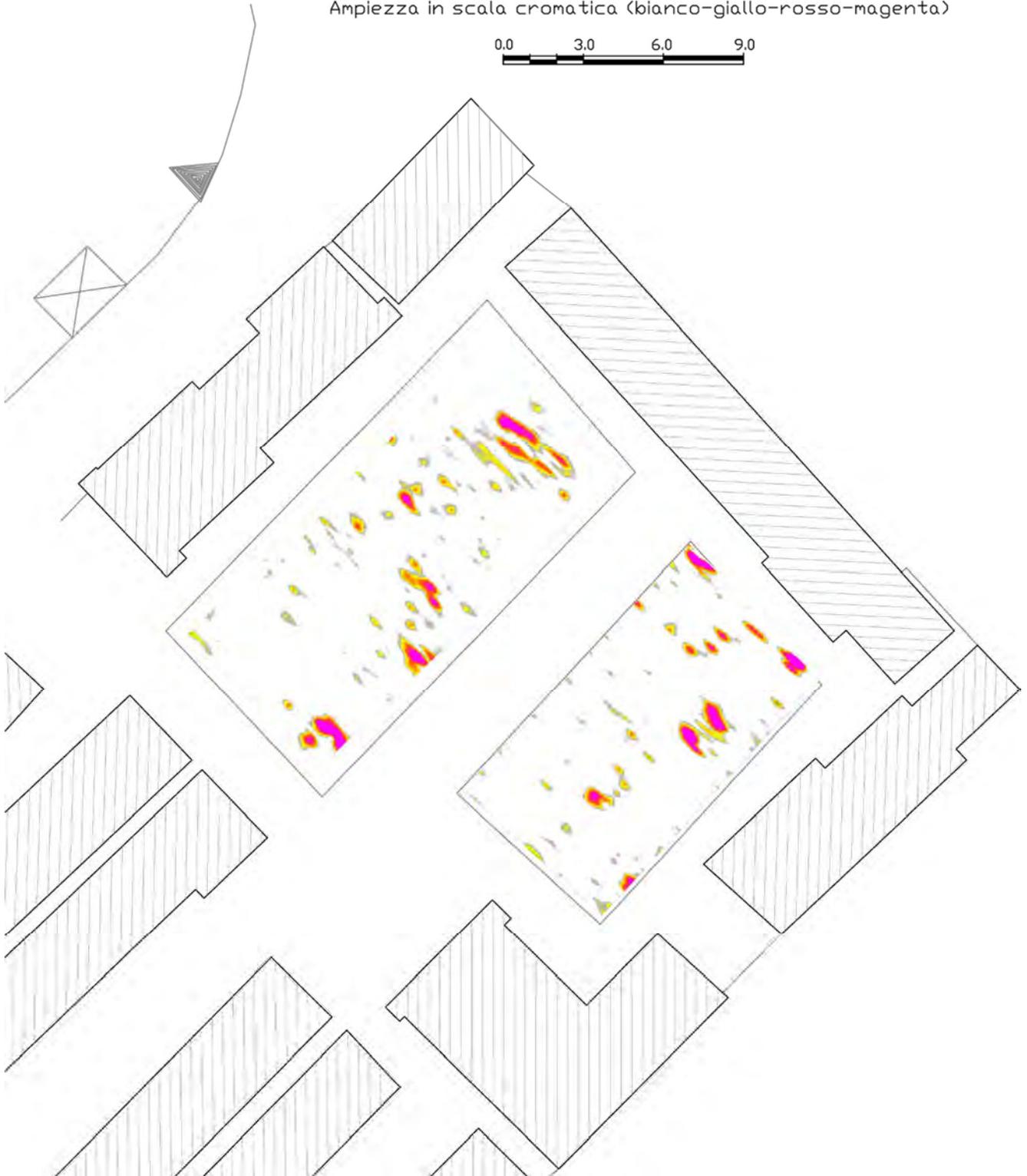
Ampiezza in scala cromatica (bianco-giallo-rosso-magenta)



Viale della Libertà, 132 – 87075 Trebisacce (CS) – P.Iva 02253910786

MAPPA DELLA RISPOSTA ELETTROMAGNETICA A 0.90-1.10 m DI PROFONDITA'

Ampiezza in scala cromatica (bianco-giallo-rosso-magenta)



Viale della Libertà, 132 – 87075 Trebisacce (CS) – P.Iva 02253910786

MAPPA DEGLI ELEMENTI SEPOLTI

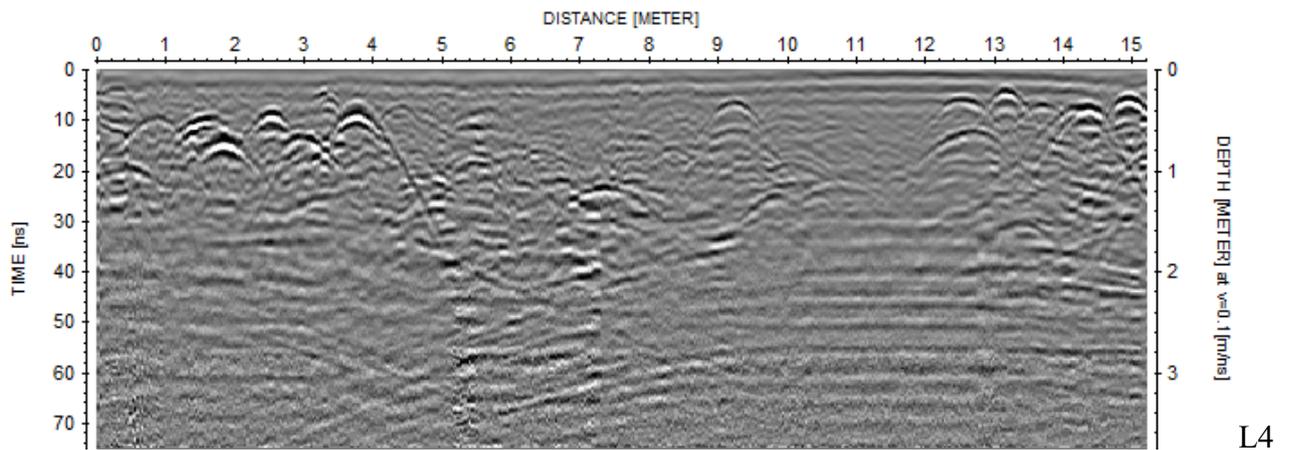
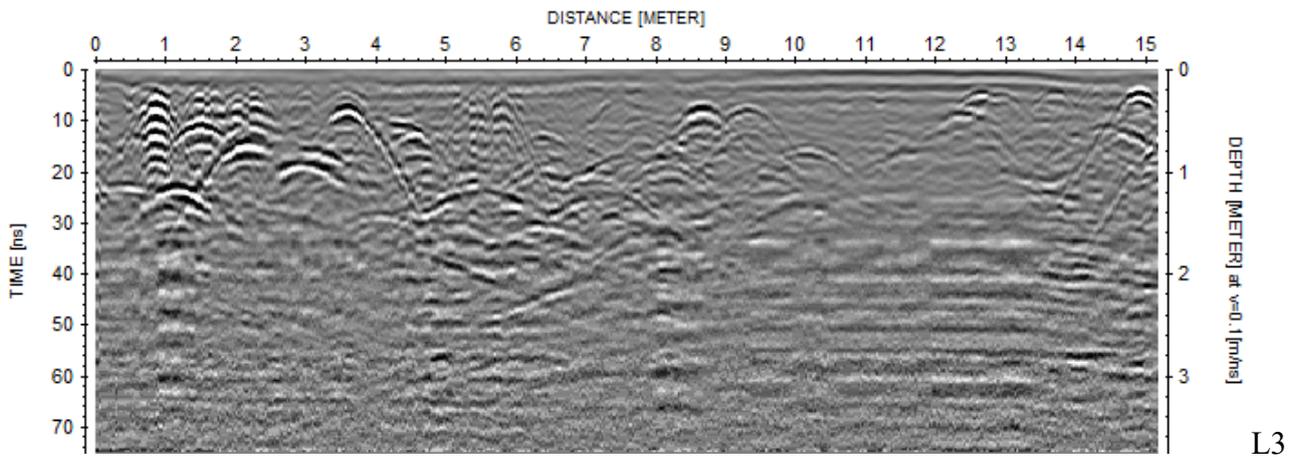
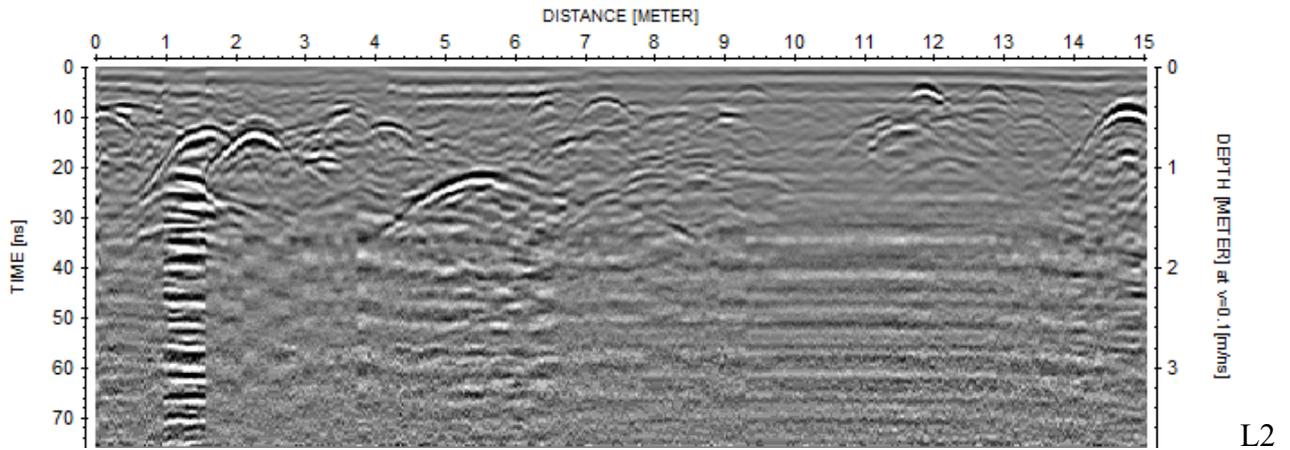
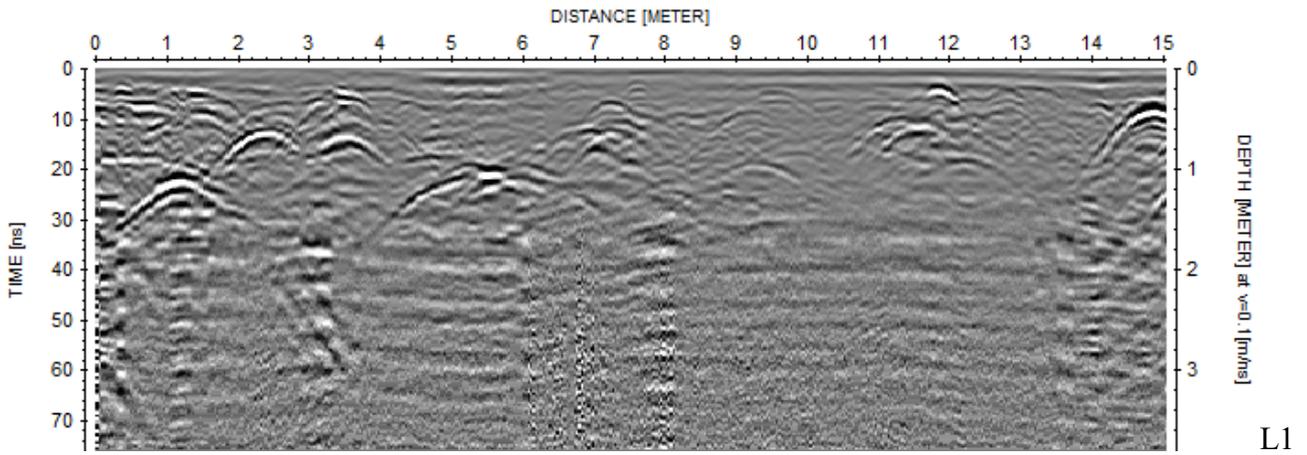


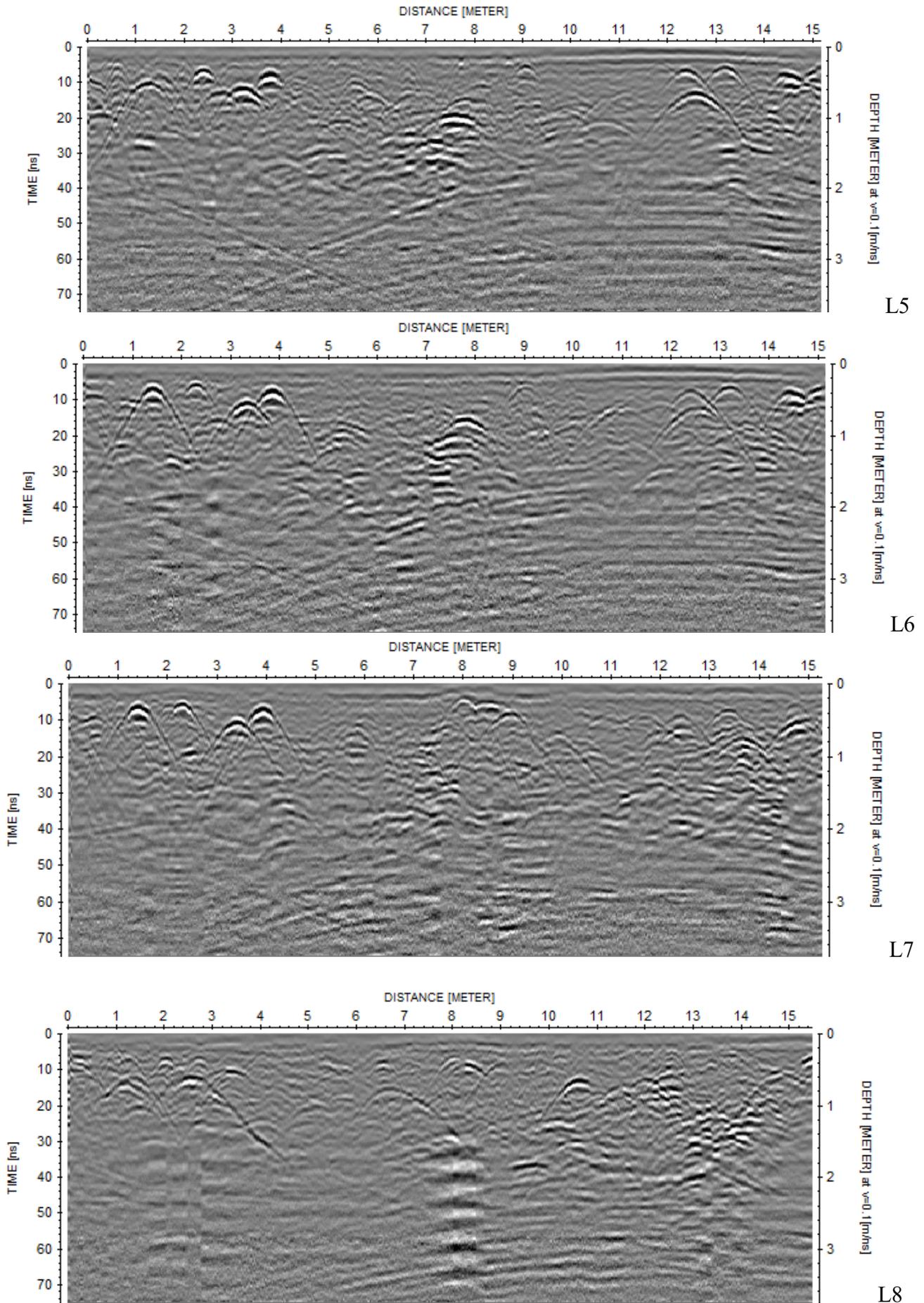
-  Elemento sepolto superficiale (da 0.25 a 0.40 m di profondità)
-  Elemento sepolto di media profondità (da 0.50 a 0.70 m)
-  Elemento sepolto profonda (da 0.80 a 1.20 m di profondità)

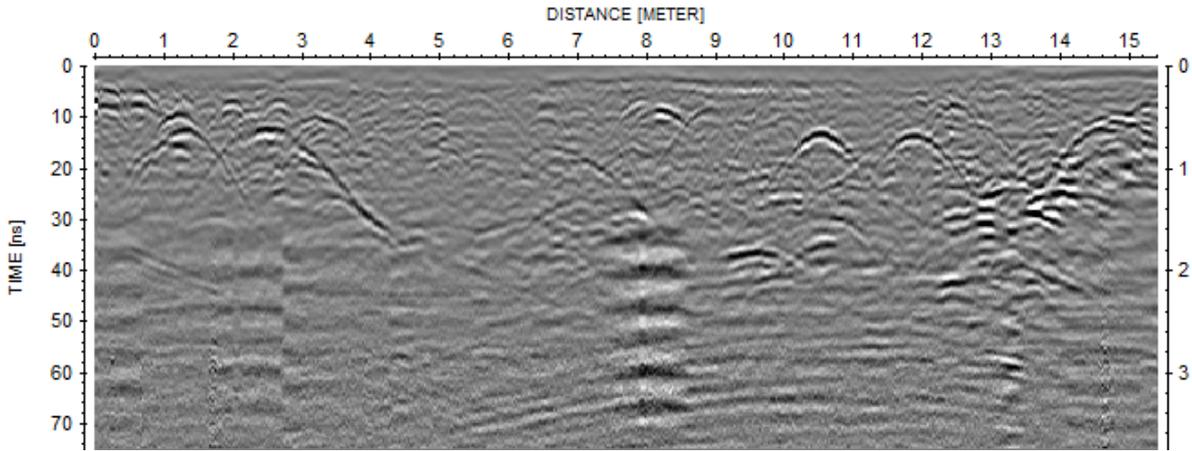


RADARGRAMMI

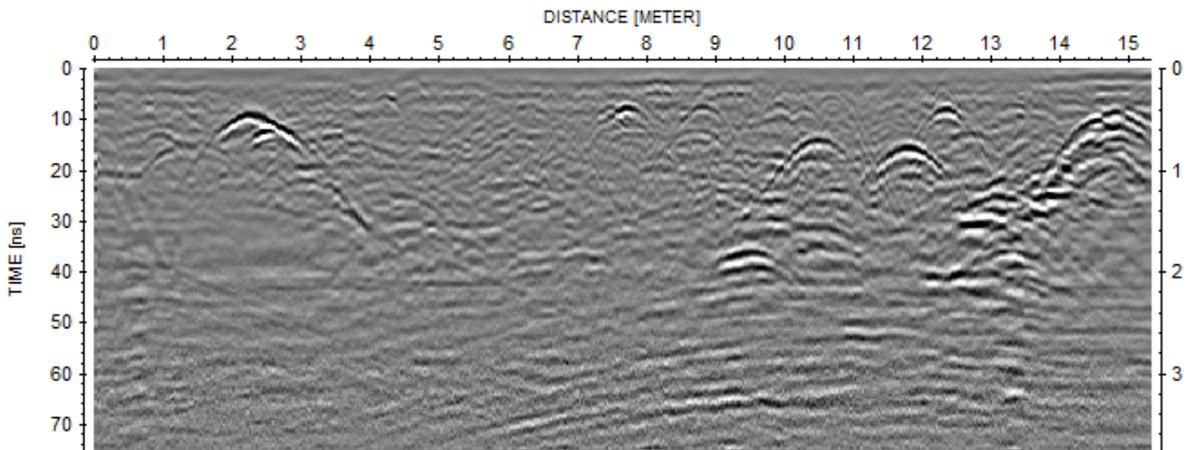
(Non migrati)



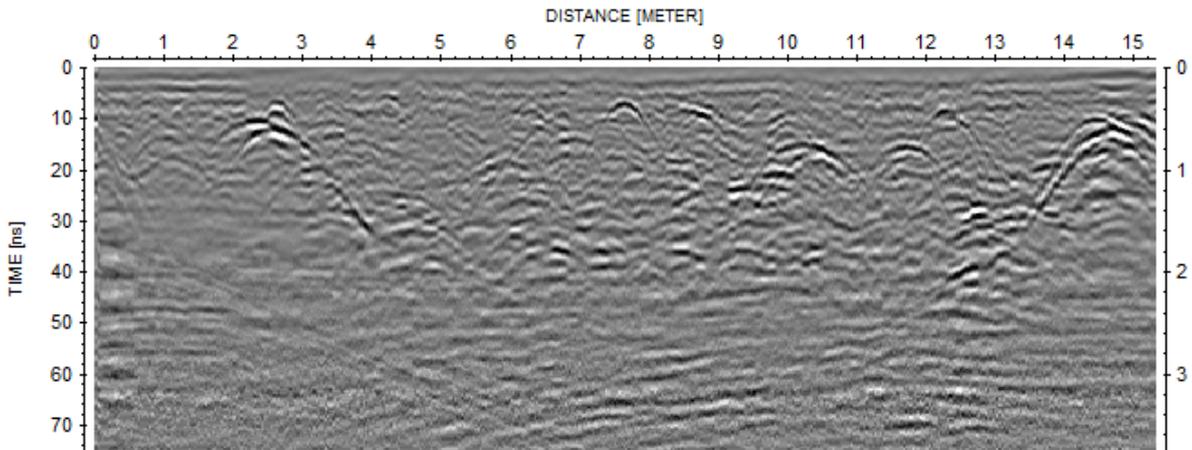




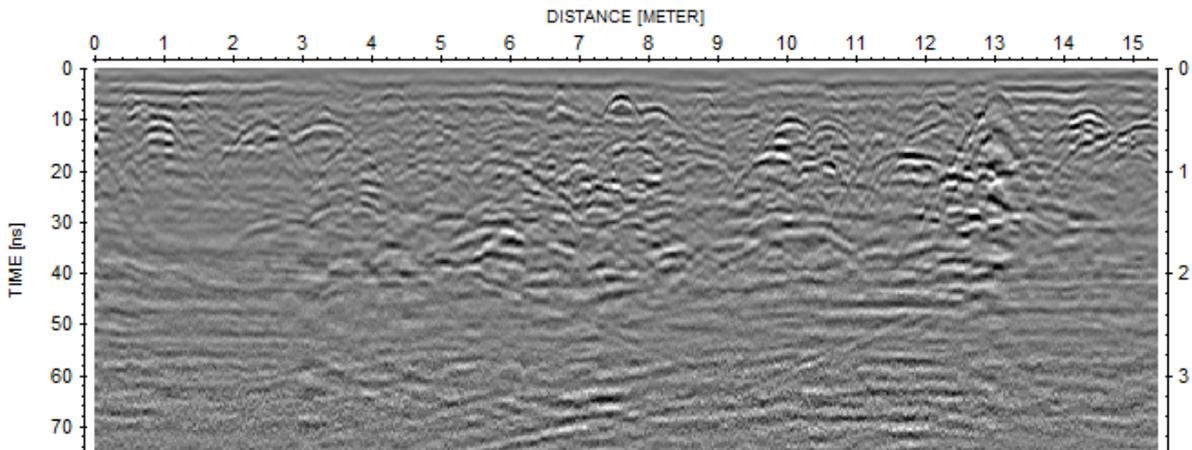
L9



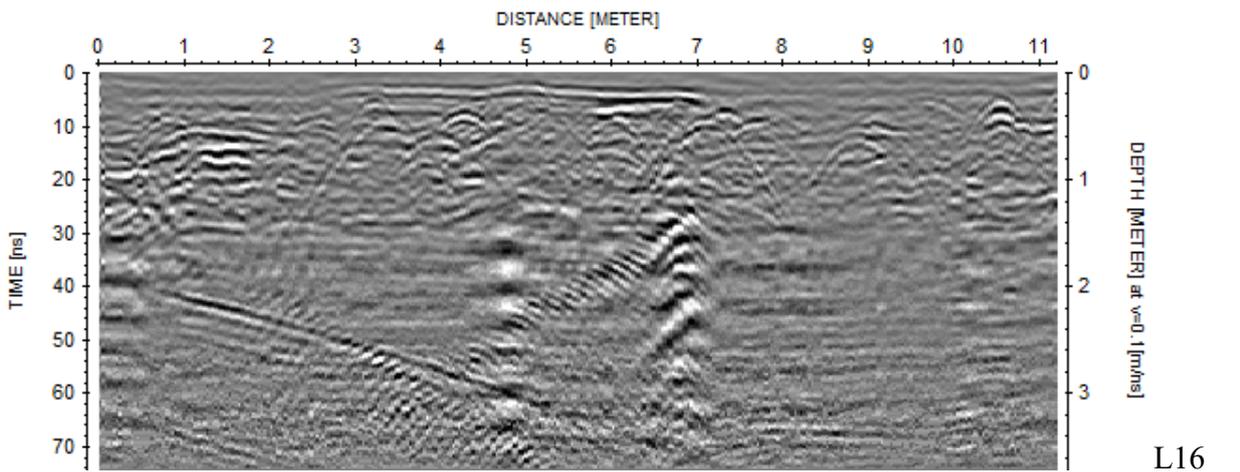
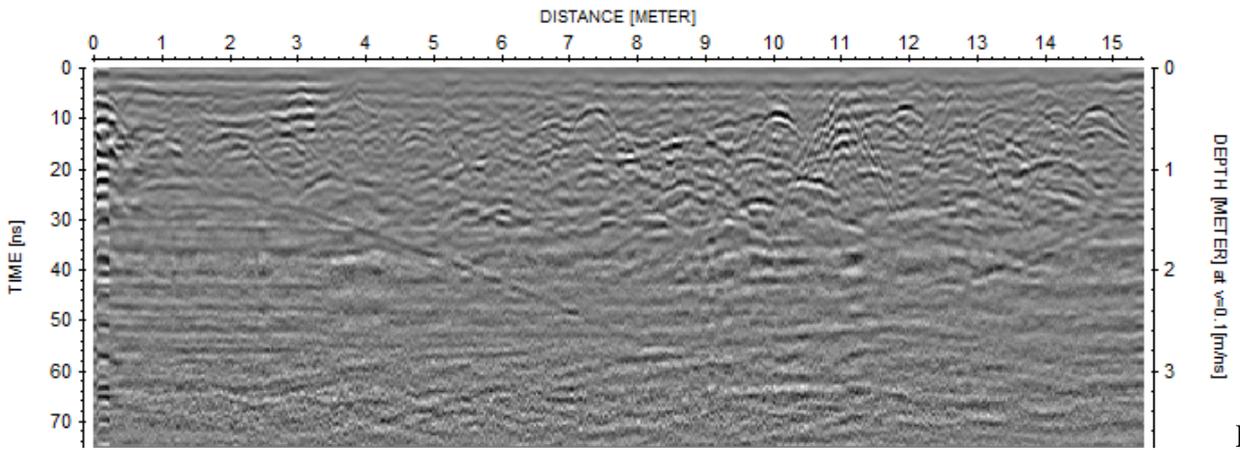
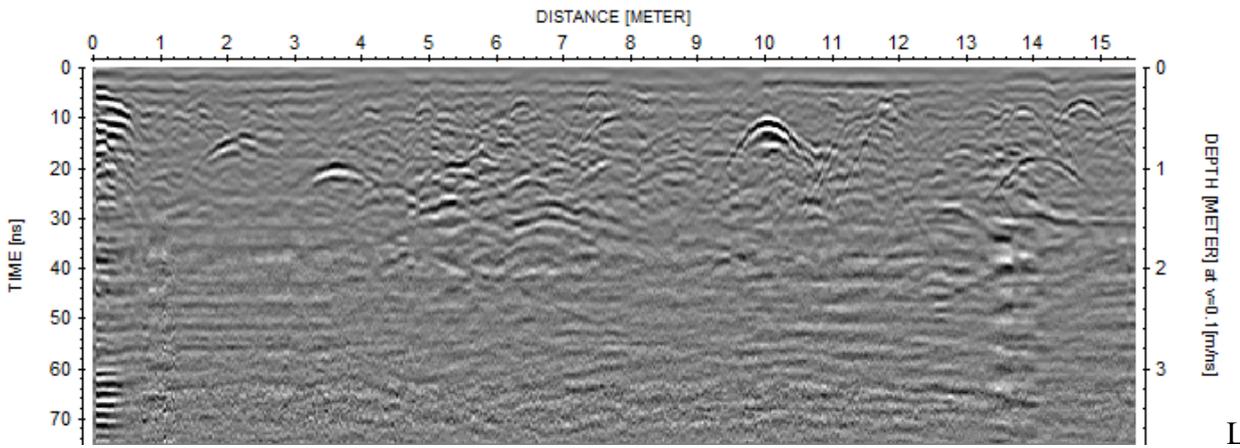
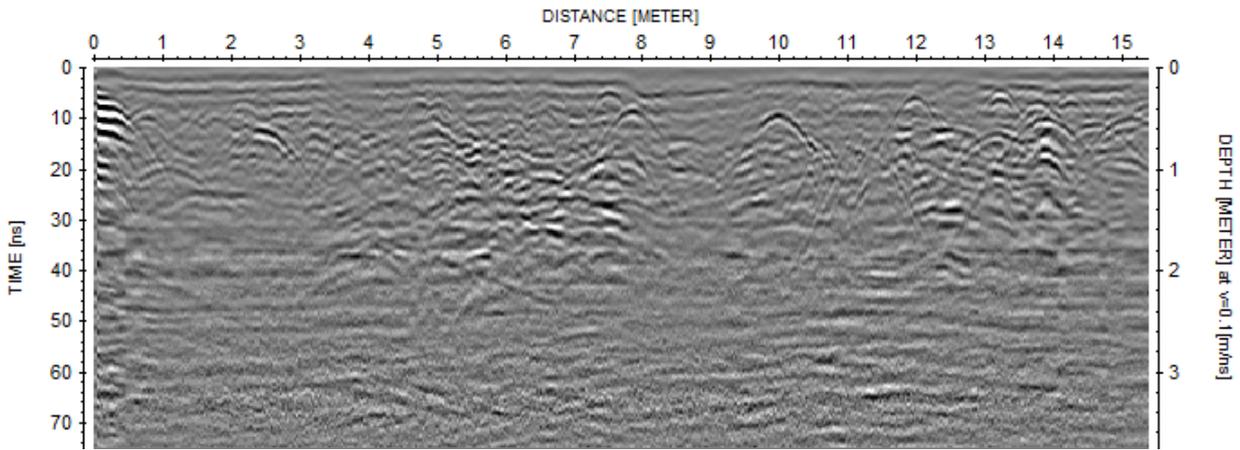
L10

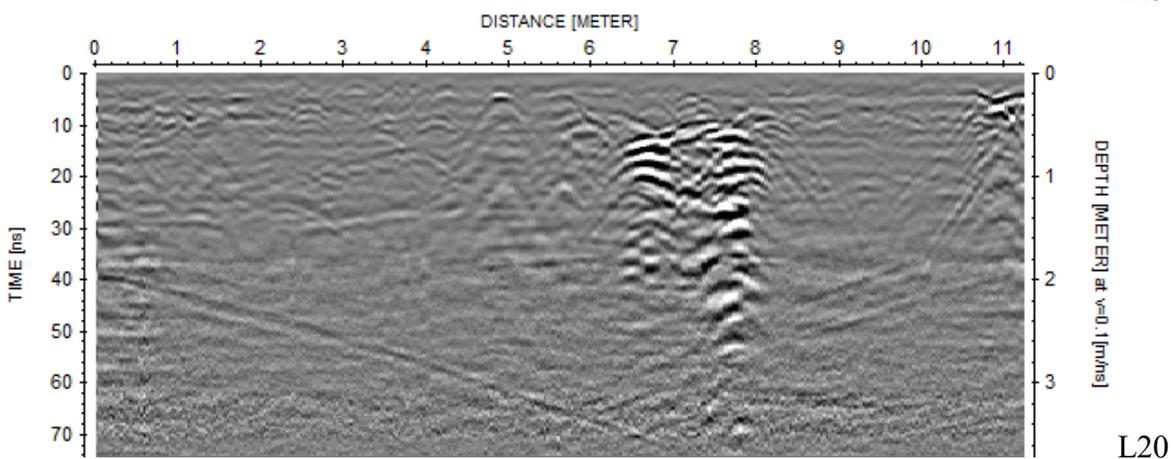
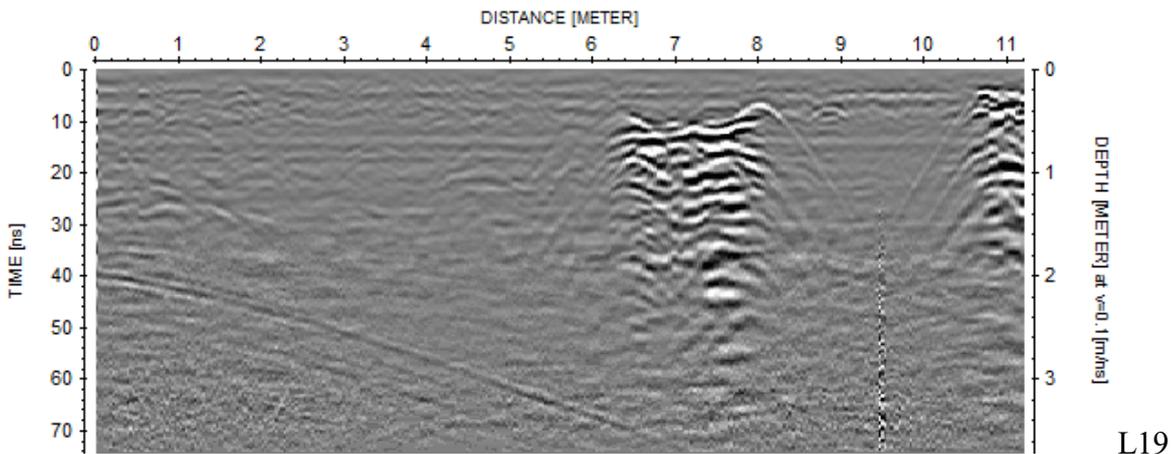
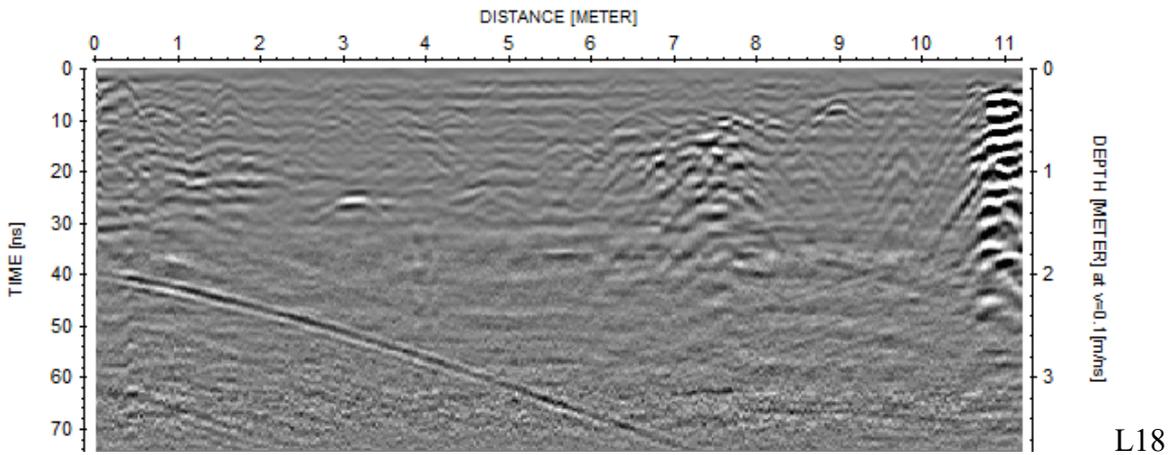
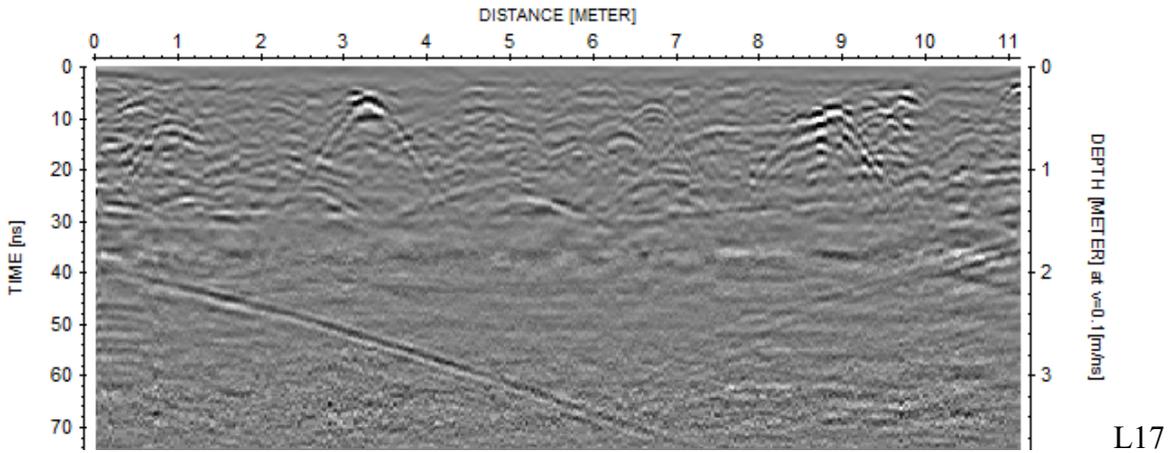


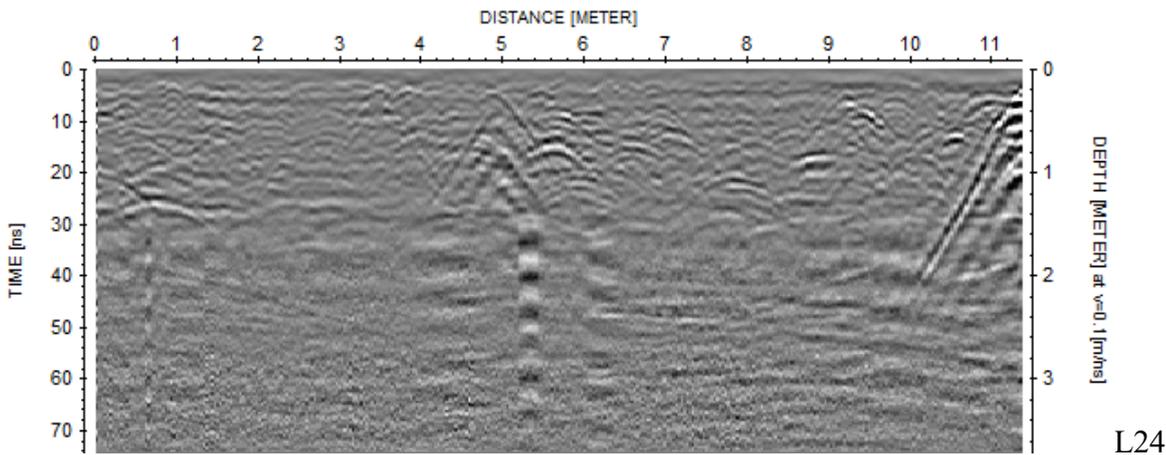
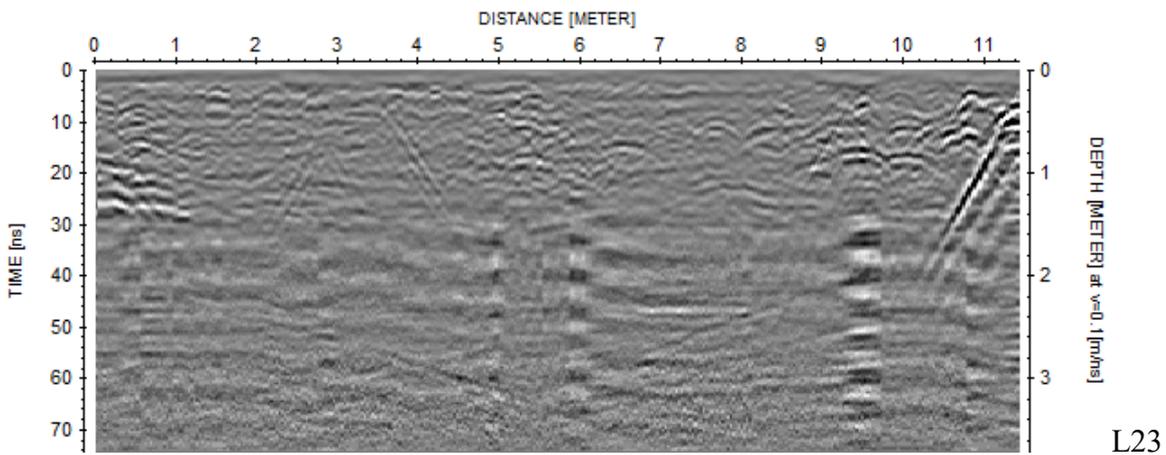
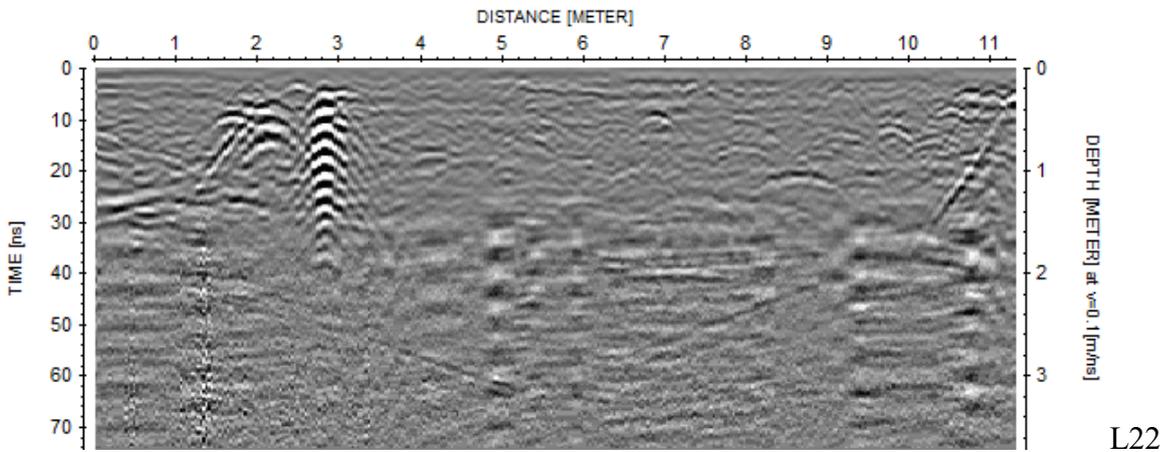
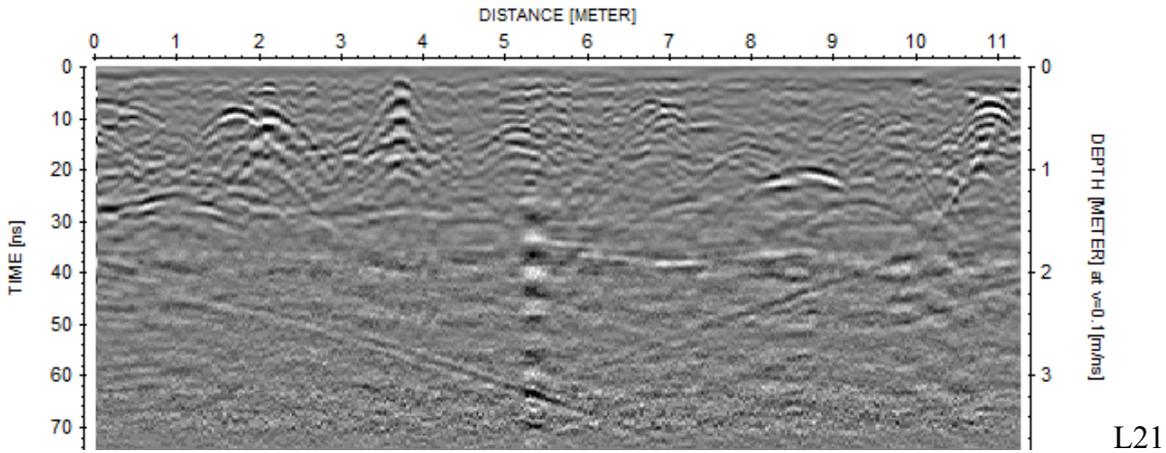
L11

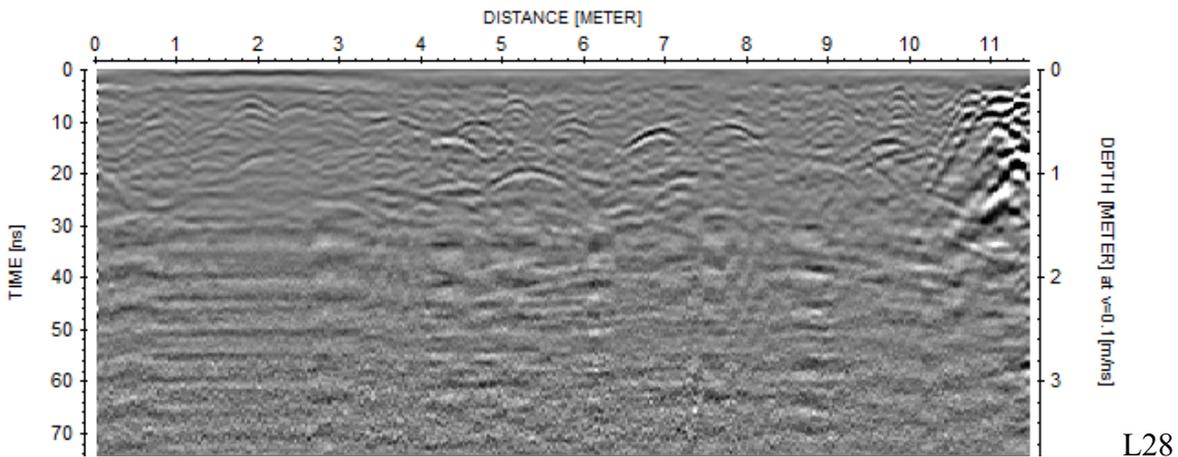
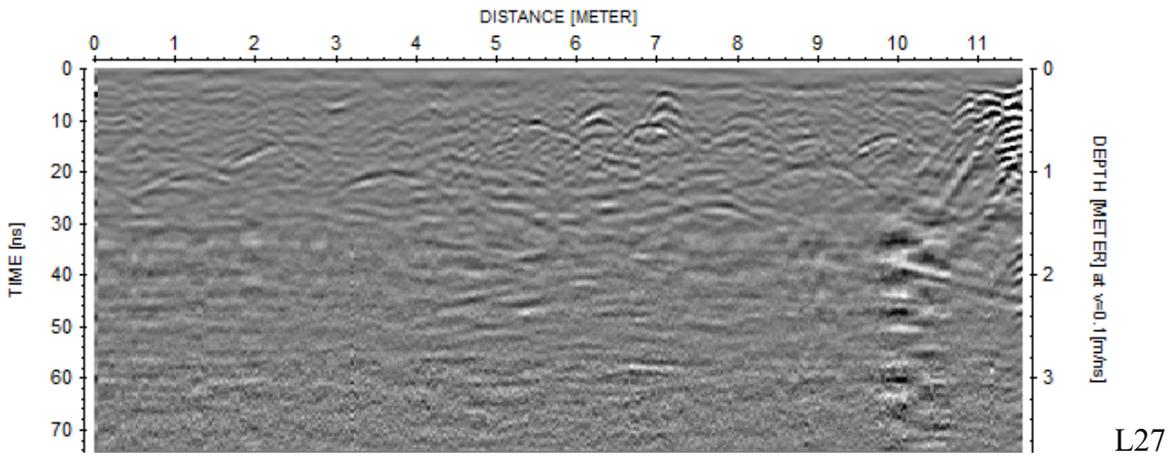
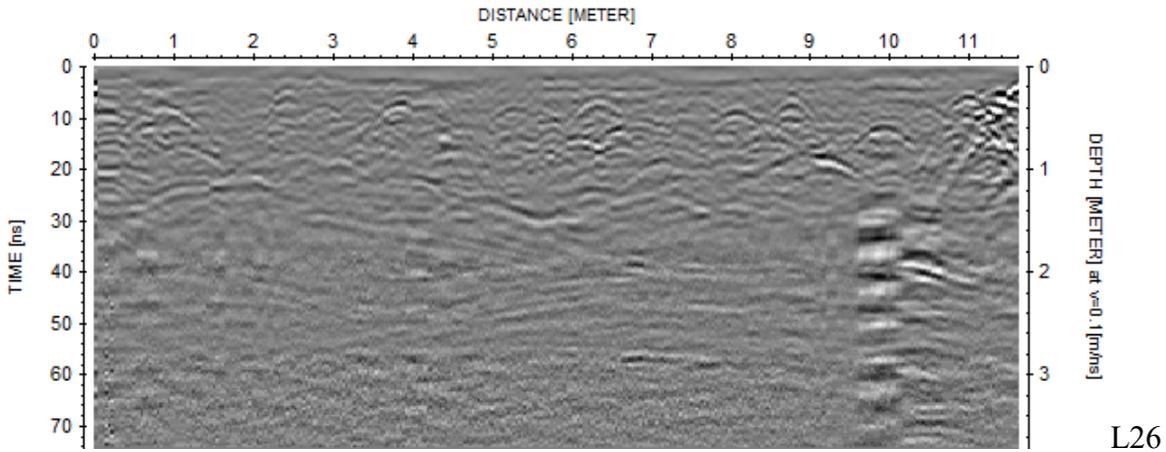
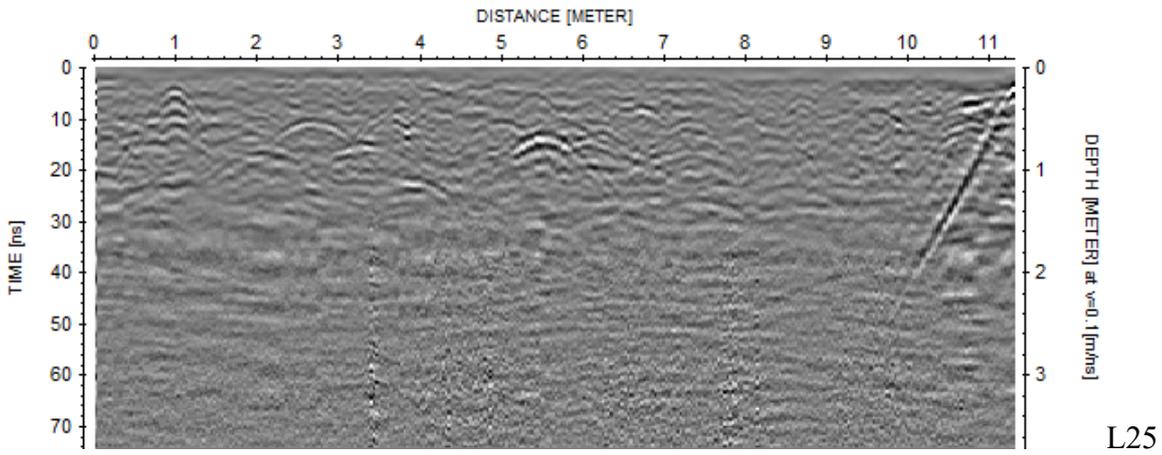


L12









PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE DL30

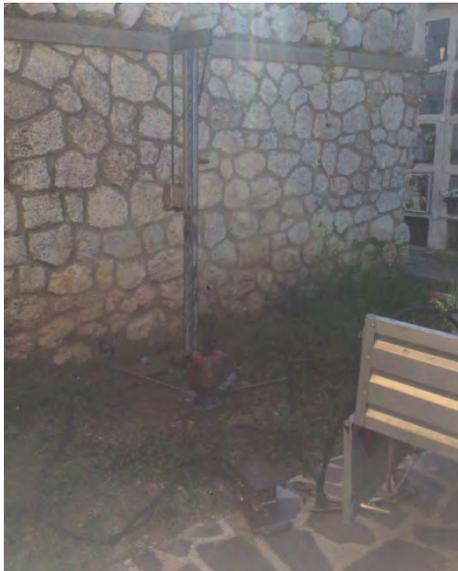
Strumento utilizzato:
Penetrometro Dinamico Medio
30Kg - Tecnotest.

Committente: Amministrazione Comunale di Belsito (CS)
Cantiere: Interventi di riqualificazione del cimitero comunale
Località: Comune di Belsito (CS)

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE DL30

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

| | |
|--|--------------------------|
| Rif. Norme | DIN 4094 |
| Peso Massa battente | 30 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0,20 m |
| Peso sistema di battuta | 21 Kg |
| Diametro punta conica | 35,68 mm |
| Area di base punta | 10 cm² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso aste a metro | 2,9 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0,80 m |
| Avanzamento punta | 0,10 m |
| Numero colpi per punta | N(10) |
| Coeff. Correlazione | 0,761 |
| Rivestimento/fanghi | Si |
| Angolo di apertura punta | 60 ° |



P1



P2



P3

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

STRUMENTO UTILIZZATO

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

Correlazione con N_{spt}

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

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandese

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

- R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);
- e = infissione media per colpo (δ/ N);
- M = peso massa battente (altezza caduta H);
- P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

Media

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

Media minima

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

Massimo

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

Minimo

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

Scarto quadratico medio

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

Media deviata

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

Media + s

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

Media - s

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

Distribuzione normale R.C.

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

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

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

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

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

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_γ)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA n.1**Strumento utilizzato: DPM (DL030 10) (Medium)****Prova eseguita in data: 31/05/2019****Profondità prova: 1,50 m****Falda non rilevata****Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Nr. Colpi Rivestimento | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|----------------|-----------|------------------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,10 | 3 | 0 | 0,857 | 8,58 | 10,02 | 0,43 | 0,50 |
| 0,20 | 3 | 0 | 0,855 | 8,56 | 10,02 | 0,43 | 0,50 |
| 0,30 | 4 | 0 | 0,853 | 11,39 | 13,36 | 0,57 | 0,67 |
| 0,40 | 10 | 0 | 0,851 | 28,41 | 33,40 | 1,42 | 1,67 |
| 0,50 | 18 | 0 | 0,799 | 48,02 | 60,11 | 2,40 | 3,01 |
| 0,60 | 24 | 0 | 0,747 | 59,87 | 80,15 | 2,99 | 4,01 |
| 0,70 | 39 | 0 | 0,645 | 84,03 | 130,24 | 4,20 | 6,51 |
| 0,80 | 44 | 0 | 0,643 | 94,53 | 146,94 | 4,73 | 7,35 |
| 0,90 | 49 | 0 | 0,642 | 99,62 | 155,28 | 4,98 | 7,76 |
| 1,00 | 62 | 0 | 0,640 | 125,70 | 196,48 | 6,28 | 9,82 |
| 1,10 | 67 | 0 | 0,638 | 135,46 | 212,32 | 6,77 | 10,62 |
| 1,20 | 74 | 0 | 0,636 | 149,21 | 234,51 | 7,46 | 11,73 |
| 1,30 | 74 | 0 | 0,635 | 148,81 | 234,51 | 7,44 | 11,73 |
| 1,40 | 79 | 0 | 0,633 | 158,44 | 250,35 | 7,92 | 12,52 |
| 1,50 | 84 | 0 | 0,631 | 168,02 | 266,20 | 8,40 | 13,31 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA n.1**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Densità relativa (%) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Gibbs & Holtz (1957) | 28,99 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Gibbs & Holtz (1957) | 75,69 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Meyerhof (1965) | 26,79 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Meyerhof (1965) | 37,21 |

Modulo di Young

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Bowles (1982) | 35,34 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Bowles (1982) | 301,80 |

Modulo Edometrico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Menzenbach e Malcev | 223,18 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Menzenbach e Malcev | 1734,14 |

Classificazione AGI

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Classificazione A.G.I. 1977 | ADDENSATO |

Peso unità di volume

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma (t/m ³) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Meyerhof ed altri | 1,57 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Meyerhof ed altri | 2,22 |

Peso unità di volume saturo

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma Saturo (t/m ³) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,89 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 2,50 |

Modulo di Poisson

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | (A.G.I.) | 0,34 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | (A.G.I.) | 0,26 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | G (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Ohsaki & Iwasaki | 448,42 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Ohsaki & Iwasaki | 2146,29 |

Velocità onde di taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocità onde di taglio (m/s) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Ohta e Goto (1978) | 100,72 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Ohta e Goto (1978) | 205,22 |

Modulo di reazione Ko

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Ko |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Navfac 1971-1982 | 1,17 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Navfac 1971-1982 | 7,56 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------|
| [1] - Strato | 5,78 | 0,50 | 5,78 | Robertson (1983) | 17,34 |
| [2] - Strato | 45,36 | 1,50 | 45,36 | Robertson (1983) | 136,08 |

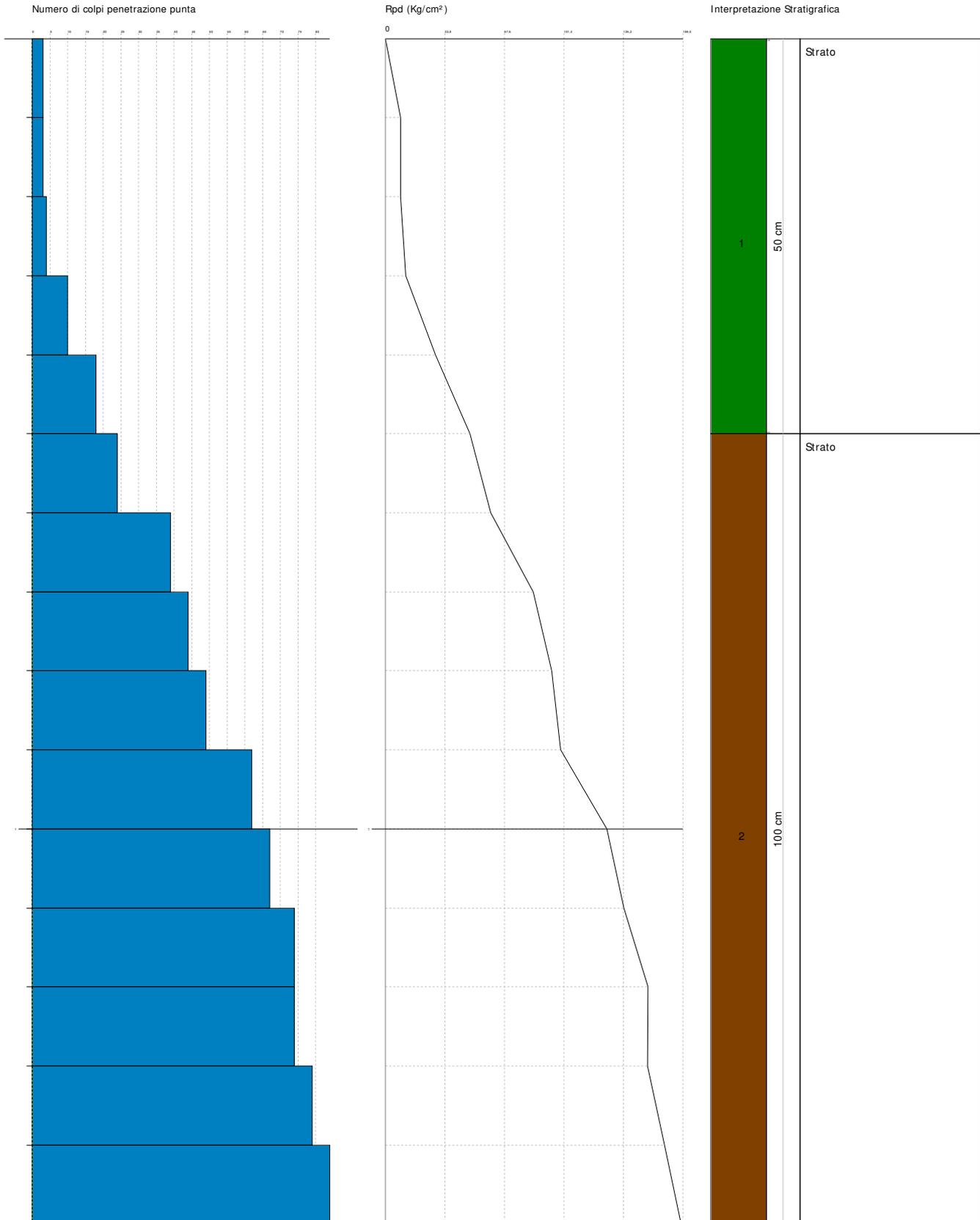
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n.1

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Amministrazione Comunale di Belsito (CS)
Cantiere: Interventi di riqualificazione del cimitero comunale
Località: Comune di Belsito (CS)

Data: 31/05/2019

Scala 1:7



PROVA n.2**Strumento utilizzato: DPM (DL030 10) (Medium)****Prova eseguita in data: 31/05/2019****Profondità prova: 1,40 m****Falda non rilevata****Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Nr. Colpi Rivestimento | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|----------------|-----------|------------------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,10 | 3 | 0 | 0,857 | 8,58 | 10,02 | 0,43 | 0,50 |
| 0,20 | 8 | 0 | 0,855 | 22,83 | 26,72 | 1,14 | 1,34 |
| 0,30 | 9 | 0 | 0,853 | 25,63 | 30,06 | 1,28 | 1,50 |
| 0,40 | 6 | 0 | 0,851 | 17,05 | 20,04 | 0,85 | 1,00 |
| 0,50 | 15 | 0 | 0,799 | 40,02 | 50,09 | 2,00 | 2,50 |
| 0,60 | 38 | 0 | 0,697 | 88,45 | 126,90 | 4,42 | 6,35 |
| 0,70 | 47 | 0 | 0,645 | 101,26 | 156,96 | 5,06 | 7,85 |
| 0,80 | 56 | 0 | 0,643 | 120,31 | 187,01 | 6,02 | 9,35 |
| 0,90 | 77 | 0 | 0,642 | 156,54 | 244,01 | 7,83 | 12,20 |
| 1,00 | 74 | 0 | 0,640 | 150,03 | 234,51 | 7,50 | 11,73 |
| 1,10 | 79 | 0 | 0,638 | 159,72 | 250,35 | 7,99 | 12,52 |
| 1,20 | 78 | 0 | 0,636 | 157,27 | 247,18 | 7,86 | 12,36 |
| 1,30 | 82 | 0 | 0,635 | 164,89 | 259,86 | 8,24 | 12,99 |
| 1,40 | 87 | 0 | 0,633 | 174,48 | 275,70 | 8,72 | 13,79 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA n.2**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Densità relativa (%) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Gibbs & Holtz (1957) | 30,51 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Gibbs & Holtz (1957) | 80,29 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Meyerhof (1965) | 27,02 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Meyerhof (1965) | 37,10 |

Modulo di Young

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Bowles (1982) | 36,72 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Bowles (1982) | 336,30 |

Modulo Edometrico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Menzenbach e Malcev | 240,66 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Menzenbach e Malcev | 1990,34 |

Classificazione AGI

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Classificazione A.G.I. 1977 | MOLTO ADDENSATO |

Peso unità di volume

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma (t/m ³) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Meyerhof ed altri | 1,59 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Meyerhof ed altri | 2,25 |

Peso unità di volume saturo

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma Saturo (t/m ³) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,89 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 2,50 |

Modulo di Poisson

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | (A.G.I.) | 0,34 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | (A.G.I.) | 0,25 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | G (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Ohsaki & Iwasaki | 475,29 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Ohsaki & Iwasaki | 2390,16 |

Velocità onde di taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocità onde di taglio (m/s) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Ohta e Goto (1978) | 102,06 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Ohta e Goto (1978) | 208,24 |

Modulo di reazione Ko

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Ko |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Navfac 1971-1982 | 1,27 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Navfac 1971-1982 | 8,51 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|--------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------|
| [1] - Strato | 6,24 | 0,50 | 6,24 | Robertson (1983) | 18,72 |
| [2] - Strato | 52,26 | 1,40 | 52,26 | Robertson (1983) | 156,78 |

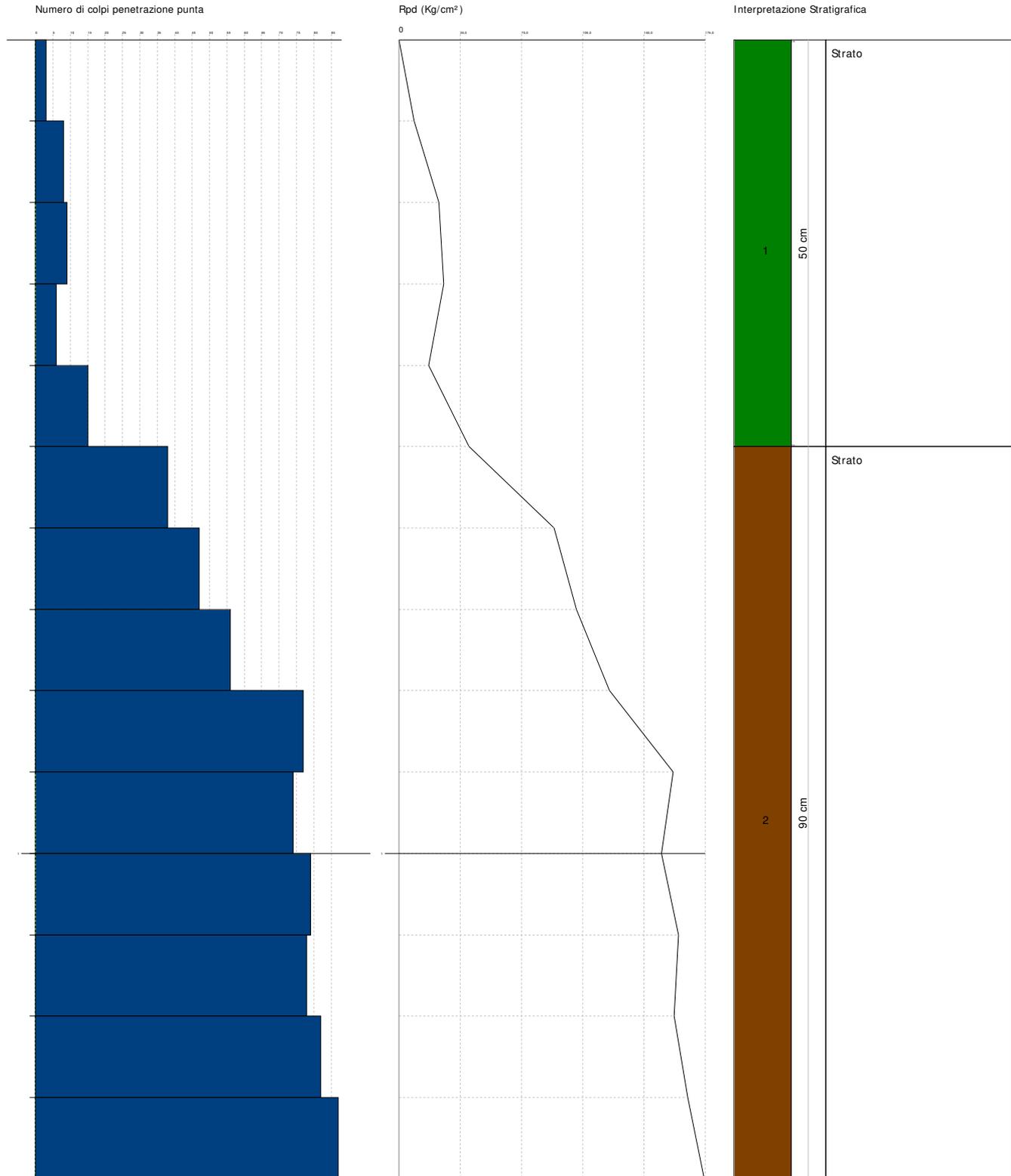
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n.2

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Amministrazione Comunale di Belsito (CS)
Cantiere: Interventi di riqualificazione del cimitero comunale
Località: Comune di Belsito (CS)

Data: 31/05/2019

Scala 1:7



PROVA n.3**Strumento utilizzato: DPM (DL030 10) (Medium)****Prova eseguita in data: 31/05/2019****Profondità prova: 1,60 m****Falda non rilevata****Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio**

| Profondità (m) | Nr. Colpi | Nr. Colpi Rivestimento | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|----------------|-----------|------------------------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,10 | 3 | 0 | 0,857 | 8,58 | 10,02 | 0,43 | 0,50 |
| 0,20 | 4 | 0 | 0,855 | 11,42 | 13,36 | 0,57 | 0,67 |
| 0,30 | 3 | 0 | 0,853 | 8,54 | 10,02 | 0,43 | 0,50 |
| 0,40 | 7 | 0 | 0,851 | 19,89 | 23,38 | 0,99 | 1,17 |
| 0,50 | 14 | 0 | 0,799 | 37,35 | 46,75 | 1,87 | 2,34 |
| 0,60 | 19 | 0 | 0,797 | 50,57 | 63,45 | 2,53 | 3,17 |
| 0,70 | 24 | 0 | 0,745 | 59,72 | 80,15 | 2,99 | 4,01 |
| 0,80 | 39 | 0 | 0,643 | 83,79 | 130,24 | 4,19 | 6,51 |
| 0,90 | 44 | 0 | 0,642 | 89,45 | 139,44 | 4,47 | 6,97 |
| 1,00 | 49 | 0 | 0,640 | 99,34 | 155,28 | 4,97 | 7,76 |
| 1,10 | 57 | 0 | 0,638 | 115,24 | 180,63 | 5,76 | 9,03 |
| 1,20 | 64 | 0 | 0,636 | 129,05 | 202,82 | 6,45 | 10,14 |
| 1,30 | 73 | 0 | 0,635 | 146,80 | 231,34 | 7,34 | 11,57 |
| 1,40 | 77 | 0 | 0,633 | 154,43 | 244,01 | 7,72 | 12,20 |
| 1,50 | 79 | 0 | 0,631 | 158,02 | 250,35 | 7,90 | 12,52 |
| 1,60 | 84 | 0 | 0,630 | 167,59 | 266,20 | 8,38 | 13,31 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA n.3**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Densità relativa (%) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Gibbs & Holtz (1957) | 30,64 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Gibbs & Holtz (1957) | 74,88 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Meyerhof (1965) | 27,07 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Meyerhof (1965) | 37,20 |

Modulo di Young

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm ²) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Bowles (1982) | 37,02 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Bowles (1982) | 299,50 |

Modulo Edometrico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Menzenbach e Malcev | 244,46 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Menzenbach e Malcev | 1710,66 |

Classificazione AGI

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Classificazione A.G.I. 1977 | ADDENSATO |

Peso unità di volume

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma (t/m ³) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Meyerhof ed altri | 1,59 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Meyerhof ed altri | 2,22 |

Peso unità di volume saturo

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Gamma Saturo (t/m ³) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,90 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 2,50 |

Modulo di Poisson

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | (A.G.I.) | 0,34 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | (A.G.I.) | 0,26 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | G (Kg/cm ²) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Ohsaki & Iwasaki | 481,07 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Ohsaki & Iwasaki | 2129,73 |

Velocità onde di taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocità onde di taglio (m/s) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Ohta e Goto (1978) | 106,01 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Ohta e Goto (1978) | 208,66 |

Modulo di reazione Ko

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Ko |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|------------------|------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Navfac 1971-1982 | 1,30 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Navfac 1971-1982 | 7,50 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|--------------|------|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------|
| [1] - Strato | 6,34 | 0,60 | 6,34 | Robertson (1983) | 19,02 |
| [2] - Strato | 44,9 | 1,60 | 44,9 | Robertson (1983) | 134,70 |

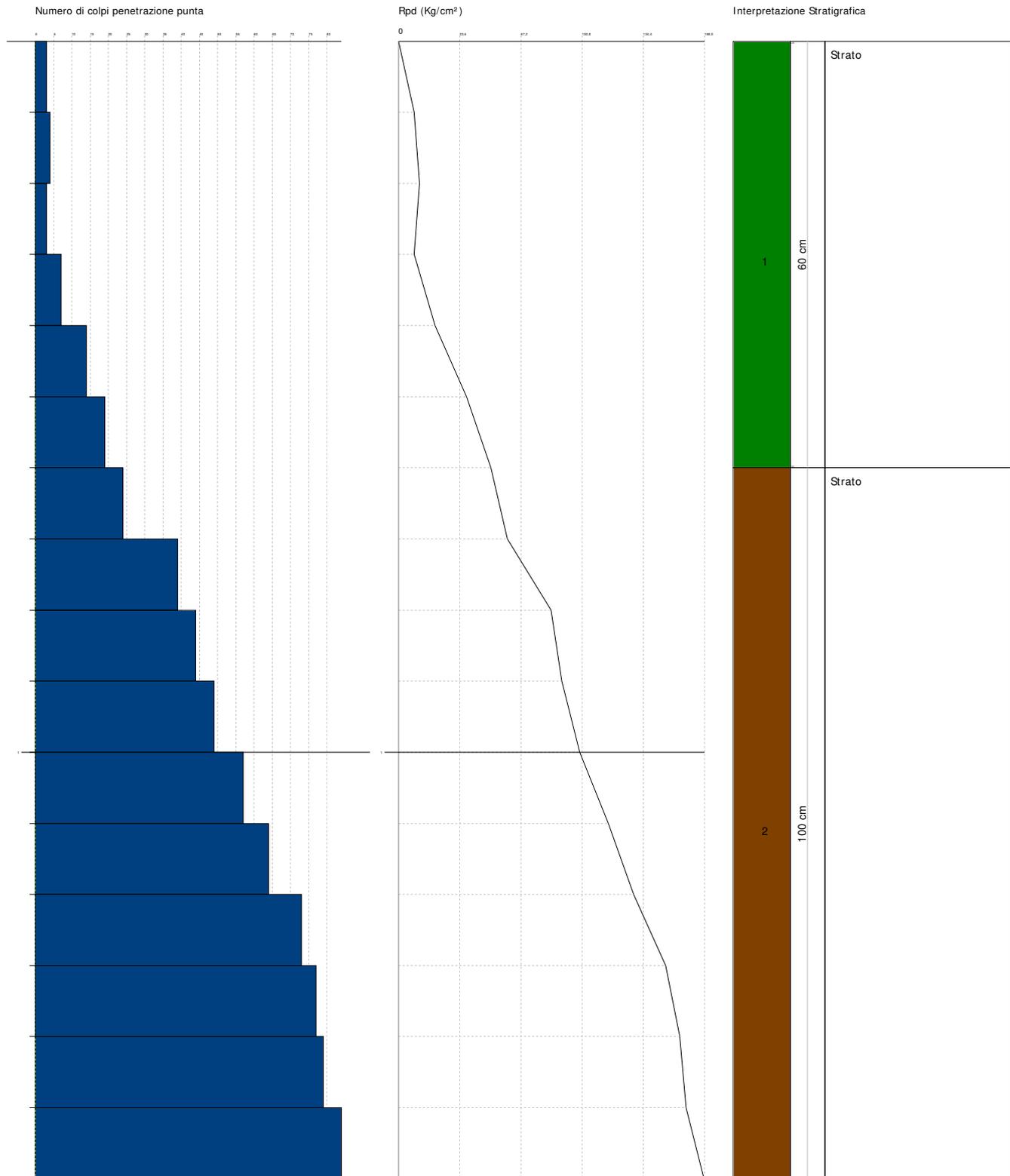
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n.3

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Amministrazione Comunale di Belsito (CS)
Cantiere: Interventi di riqualificazione cimitero comunale
Località: Comune di Belsito (CS)

Data: 31/05/2019

Scala 1:8



RAPPORTO DEI COEFFICIENTI SISMICI
DEL SITO DI INTERESSE PROGETTUALE

GeostruPS_report_Comune di Bel sito (CS)

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muro rigido: 0

Sito in esame.

Coordinate WGS84
 Latitudine: 39.176730
 Longitudine: 16.285660
 Coordinate ED50
 Latitudine: 39,177749
 Longitudine: 16,286466

Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

| Sito | ID | Lat | Lon | Distanza |
|--------|-------|---------|---------|----------|
| Sito 1 | 40336 | 39,2002 | 16,2615 | 3297,979 |
| Sito 2 | 40337 | 39,1986 | 16,3258 | 4107,972 |
| Sito 3 | 40559 | 39,1486 | 16,3237 | 4563,245 |
| Sito 4 | 40558 | 39,1502 | 16,2594 | 3850,275 |

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,071 g
 Fo: 2,291
 Tc*: 0,281 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,094 g
 Fo: 2,276
 Tc*: 0,306 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,273 g
 Fo: 2,434
 Tc*: 0,373 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,365 g
 Fo: 2,463
 Tc*: 0,415 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii e fondazioni
 SLO:

Ss: 1,200
 Cc: 1,420
 St: 1,000
 Kh: 0,017
 Kv: 0,009
 Amax: 0,840
 Beta: 0,200

GeostruPS_report_Comune di Bel sito (CS)

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,000
Kh: 0,023
Kv: 0,011
Amax: 1,112
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,130
Cc: 1,340
St: 1,000
Kh: 0,086
Kv: 0,043
Amax: 3,024
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,040
Cc: 1,310
St: 1,000
Kh: 0,106
Kv: 0,053
Amax: 3,718
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in WGS84 ed ED50
Gestr u

Allegato n. 7

Ubicazione Indagini Geognostiche



● Profilo verticale delle onde di taglio (Vseq) - MASW

● Prove penetrometriche dinamiche continue DI30

— Prospezione sismica a rifrazione ad onde P

○ Indagini Georadar