



Regione Abruzzo

Provincia di L'Aquila

Comune di Sante Marie



Oggetto:

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5.

Dott. Geologo
Luca Rubeis

Committente:
**Darmacem Di De Luca
Domenico & C. S.n.c.**

Indirizzo:
**Via Delle Mimose, 24,
67069, Tagliacozzo
(AQ)**



RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA

| | | |
|--|---|---|
| LUOGO: Sant'Anatolia di Borgorose (RI) | DATA DI EMISSIONE: 5/08/2016 | CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA I |
| | | COORDINATE WGS84 33N: Lat: 42.097025 Lon: 13.212715 |
| TIMBRO E FIRMA: | FIRMA DIGITALE: | |
| <u>Questo documento è proprietà di Rubeis Luca. A termine di legge si riserva la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza l'autorizzazione scritta.</u> |  | Dott. Geol. Luca Rubeis Via Equicola Comunale, 75 - 02021 Sant'Anatolia, Borgorose (RI) Tel. 349 77 41 239 e-mail: rubeis.luca@gmail.com P.e.c.: luca.rubeis@pec.geologilazio.it P.I.: 01143070579 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

1 PREMESSA E PIANO D'INDAGINE

Facendo seguito all'incarico conferitomi dalla **DARMACEM di De Luca Domenico & C. S.n.c.**, con la presente relazione si riferisce sui risultati delle indagini geognostiche e geotecniche espletate in corrispondenza dei terreni situati all'interno del territorio comunale di Sante Marie (AQ).

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti speciali non pericolosi prodotti da terzi e provenienti da attività di costruzione e demolizione attraverso operazioni di messa in riserva R13 e successivo trattamento R5 mediante l'utilizzo di impianto frantumatore.

La superficie complessiva del sito, al Foglio 43, Particella 1352, 1353, è pari a circa 2665 m².

All'interno di tale progetto, "nell'area di accettazione", è prevista la realizzazione di una pesa per il materiale in entrata ed in uscita.



Figura 1: Stato di fatto e planimetria dell'impianto in progetto.

Scopo di quest'elaborato, è stato quello di supportare la progettazione dell'opera in questione, fornendo la successione stratigrafica locale e le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione preventivamente non noti poiché su tale sito non risultano essere state effettuate in precedenza alcun tipo di indagini geologiche, stratigrafiche e geotecniche.

Lo studio geologico è stato eseguito conformemente alle vigenti normative sulle costruzioni in zona sismica (O.P.C.M. n.3274/03; O.P.C.M. n.3519/06; D.M. Infrastrutture 14.01.2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni;) ed ha tenuto in dovuta considerazione i seguenti elementi:

- ***il comune di Sante Marie è un territorio ad elevata pericolosità sismica (classificato in zona sismica 1).***

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Le indagini pianificate ed eseguite sul sottosuolo del sito di progetto, sono state mirate ad acquisire tutti gli elementi necessari ad una corretta caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione.

Pertanto le indagini pianificate e realizzate sono state le seguenti:

- *n.1 prove penetrometriche superpesanti DPSH (Dinamic Probing Super Heavy; DPSH) terebrata sino al rifiuto strumentale;*
- *n.1 prove sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves; MASW 1) per la determinazione del parametro $V_{s,30}$;*
- *n.1 misura di rumore ambientale per la determinazione della frequenza fondamentale di sito (HVSr).*

Tutte le succitate prove ed indagini sono state ubicate all'interno e nell'immediato intorno del sito nel quale è prevista la realizzazione dell'opera come è possibile verificare nell'allegata planimetria ubicativa delle indagini.

Si è inoltre provveduto a verificare tramite il "GeoPortaleNazionale" <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/> che l'area di progetto non ricadesse all'interno di Aree a Rischio così come perimetrare dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel Sottobacino del Fiume Imele, e che su tale area non insistesse il Vincolo Idrogeologico.

<http://geoportale.regione.abruzzo.it/Cartanet/>

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

In questo capitolo viene illustrata l'ubicazione geografica del sito di intervento in riferimento alla cartografia ed alla toponomastica ufficiale desunta dalle planimetrie a disposizione.

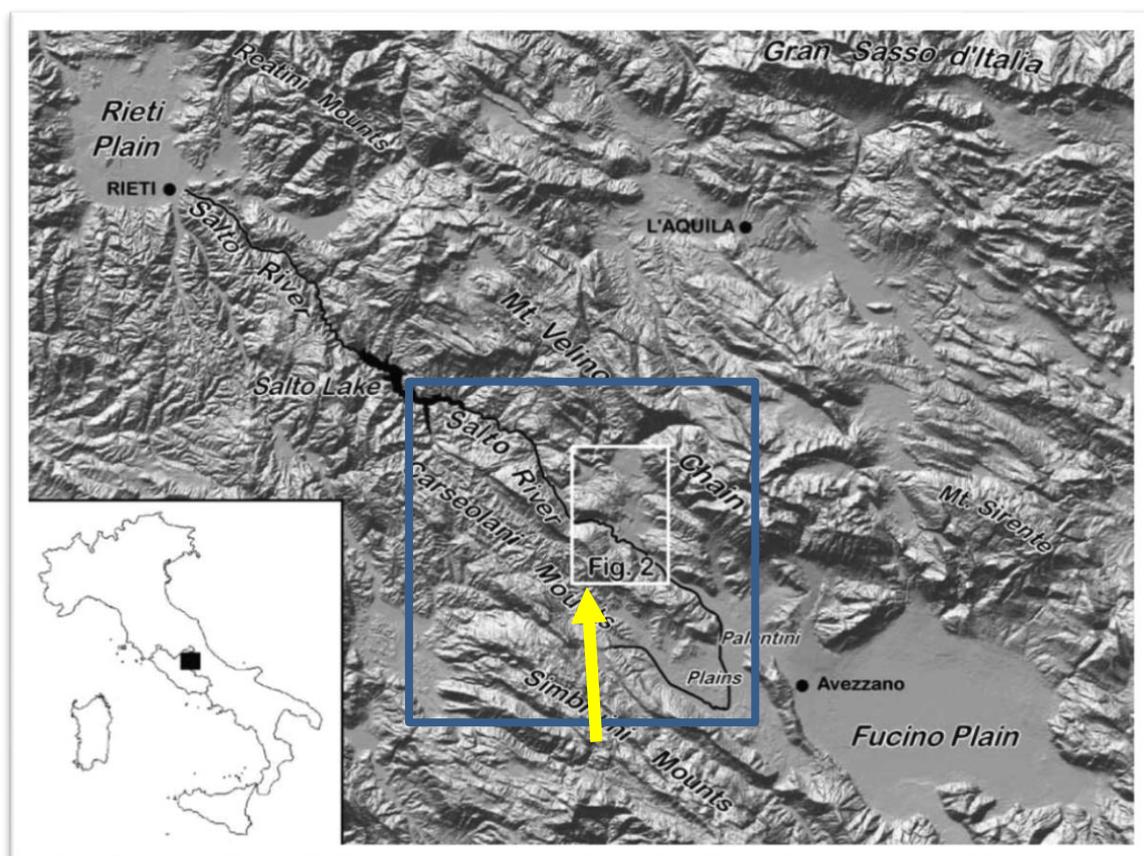


Figura. 2 Modello ombreggiato del settore appenninico compreso fra la Piana del Fucino e la Piana di Rieti ed ubicazione dell'area in studio

Riferimenti cartografici ed ubicazione geografica

Il territorio comunale di Sante Marie, confina con i comuni di Carsoli, Tagliacozzo, Magliano dei Marsi, con la provincia di Rieti e conseguentemente con il Lazio. È quasi completamente circondato da rilievi dell'Appennino centrale: monte Bove (1340 metri slm), monte Sant'Angelo (1100 m. slm) e monte Faito (1485 m. slm), appartenenti alla catena dei monti Carseolani.

L'area in esame, posta ad una quota di circa **760 m s.l.m.** circa 300 metri a N-E rispetto l'abitato di Sante Marie, nella zona definita come "Area Produttiva" dal P.R.G. comunale vigente.

Il sito è identificabile nella seguente Cartografia Ufficiale dello Stato e della Regione Abruzzo:

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

- Coordinate WGS84 33N geografiche : Lat: 42.097025 Lon: 13.212715
- Coordinate ED50: Lat: 42.098005 Lon: 13.213628
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 Foglio 367111
- Ortofoto in scala 1:5000 Foglio 367111
- Carta Topografica in scala 1:25000 367 EST.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 foglio 367110
- Al Catasto, Foglio 43 Particella 1352, 1353

Per una migliore collocazione dell'Area interessata dall'intervento si è fatto uso della CTR Regione Abruzzo in Scala 1:5000 Foglio 367111 sovrapposta ad ortofoto 1:5000 foglio 367111. La sovrapposizione, è stata realizzata in ambiente GIS (*Geografic Information Sistem*). Si riporta uno stralcio di seguito.

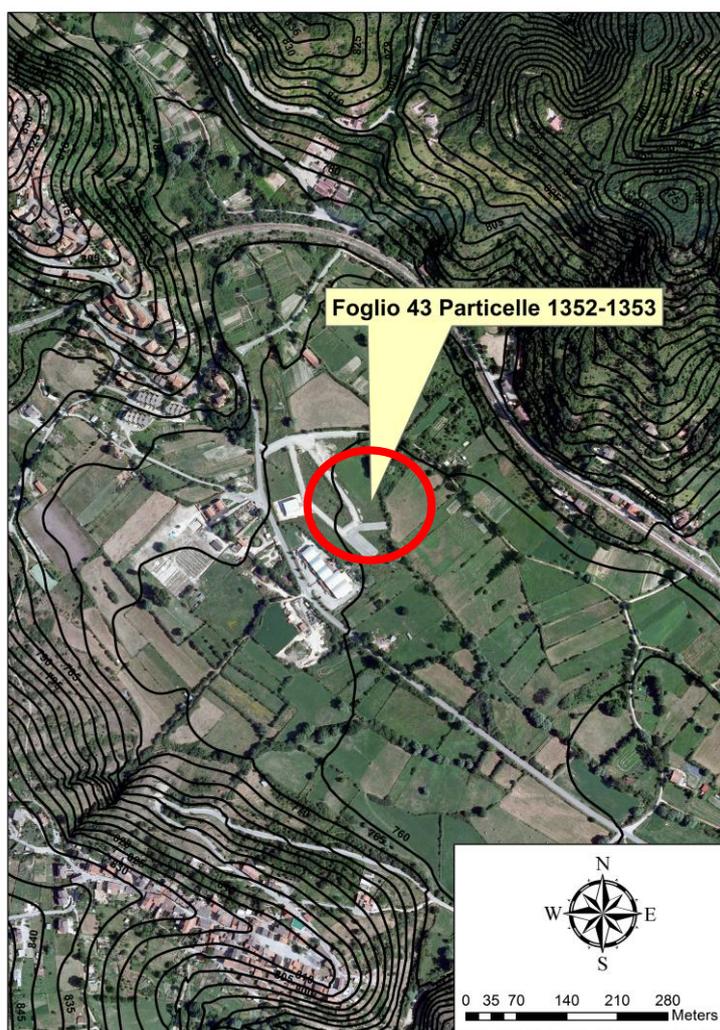


Figura 3: Stralcio non in scala della CTR Regione Abruzzo in Scala 1:5000 Foglio 367111 shp.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Per entrare maggiormente nel dettaglio dei litotipi affioranti nel settore d'indagine, si riporta uno stralcio della cartografia esistente: "Carta Geologica d'Italia in Scala 1:50000, Foglio 367 Tagliacozzo Progetto CARG.

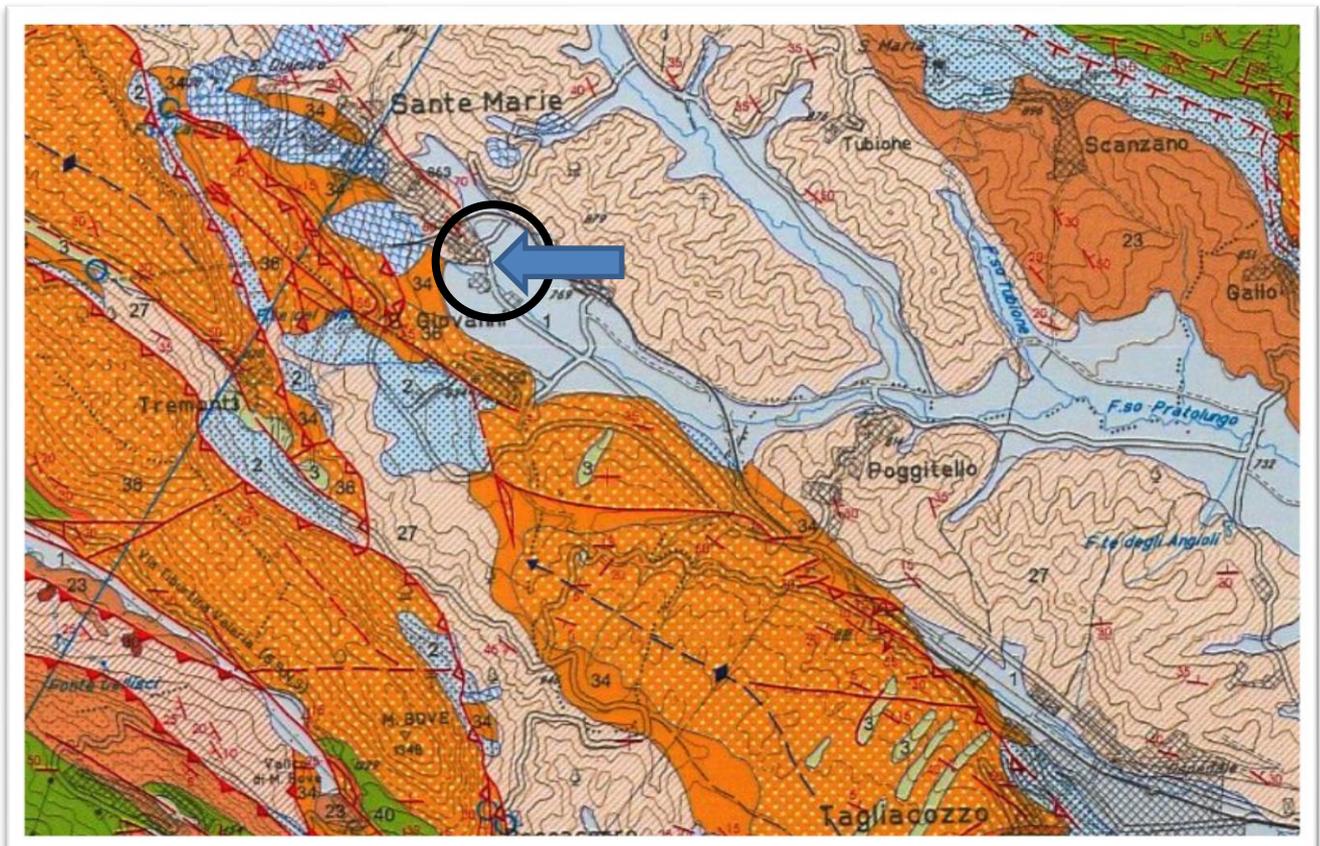


Figura 6: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in Scala 1:50000 Foglio 367 Tagliacozzo. Progetto CARG

L'abitato di Sante Marie, è ubicato nella porzione centrale del Foglio. Nello specifico il sito di progetto, come si evince dalla cartografia esistente, è posto su di una lingua di materiale definito nella cartografia in esame, "*Depositi alluvionali siltoso sabbiosi ciottolosi attuali e recenti*" (Olocene). Tale formazione, vede almeno nella parte più superficiale, la porzione a prevalente componente sabbiosa del Flysch (marnoso arenacea), la quale è presente a quote superiori e che come è auspicabile, ha subito rimaneggiamento. Tale formazione Flyschoidale, la troviamo in affioramento al di sotto dell'abitato di Sante Marie ed in tutto il settore a N-E di esso lungo l'allineamento NW-SE che rappresenta l'avanfossa messiniana la quale è riempita da sedimenti silicoclasti (***Formazione marnoso-arenacea del Liri Tagliacozzo***).



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Tale formazione è individuata sulla cartografia al 50.000 con il numero 27 è definita *“associazione arenaceo pelitica costituita da torbiditi prevalentemente arenacee, in strati molto spessi e massicci, con rare intercalazioni pelitiche”* (Messiniano).

Un'altra formazione che caratterizza l'area di studio, sono le (***Marne ad Orbulina***) che come esplicitato in precedenza, rappresentano il primo approfondimento marino dovuto all'avanzamento dei Trusth, questa formazione che affiora nel settore a Sud e S-W rispetto l'abitato, è costituita da alternanze di argille e marne con livelli di arenarie fini, questa formazione, non supera i 30 metri di spessore.

I rilievi nel settore a Sud del paese di Sante Marie, rappresentati dalla dorsale dei monti Carseolani, sono costituiti essenzialmente dalla formazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni individuati nella cartografia CARG con il numero 36 e riferiti all' intervallo (Langhiano Serravalliano).

Il rilevamento di campagna, che ha portato alla definizione dell'assetto geologico strutturale dell'area, ha messo in evidenza come in una porzione abbastanza ristretta di territorio, così come si evince dallo stralcio riportato in precedenza, siano presenti tutti i termini della successione stratigrafica tipica della piattaforma Laziale-Abruzzese.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

L'area fa parte del Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel Sottobacino del Fiume Imele.

Nonostante le litologie affioranti nell'immediato intorno dell'area d'indagine, **il sito non risulta compreso nella aree censite nella cartografia del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) ne per quanto riguarda la Pericolosità Idrogeologica tantomeno per ciò che concerne il Rischio** così come si evince dalla cartografia riportata in seguito tratta dal servizio del GeoPortaleNazionale all'indirizzo <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è lo **strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo** mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI è uno strumento dinamico, in continua evoluzione, che prevede un aggiornamento continuo delle problematiche e delle soluzioni, è un piano territoriale, che la legge pone in una posizione sovraordinata nei confronti degli strumenti di pianificazione di settore, ponendosi come vincolo anche rispetto alla pianificazione urbanistica.

A seguito di tale disamina, l'area d'interesse, può essere definita stabile dal punto di vista geomorfologico in quanto non sono presenti fenomeni di instabilità gravitativa.



Figura 8: stralcio cartografico dell'area in esame, e tratto da **GeoPortaleNazionale** all'indirizzo <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>. I cerchi indicano la collocazione del sito.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Il sito d'indagine non è sottoposto al Vincolo Idrogeologico.



Figura 7: Dettaglio della porzione del territorio comunale, sottoposta al vincolo idrogeologico.

<http://geoportale.regione.abruzzo.it/Cartanet/viewer>

Le forme attuali, che caratterizzano l'area in esame, sono legate ad un'ampia gamma di fattori morfogenetici; oltre alle forme tettoniche e strutturali, quelle che più caratterizzano il paesaggio sono di versante dovute alla gravità e quelle dovute alle acque correnti superficiali. Le forme glaciali e crionivali caratterizzano i rilievi circostanti.

Per quanto riguarda le forme carsiche, epigee ed ipogee, di diversa forma ed estensione, queste caratterizzano diffusamente il paesaggio dei rilievi carbonatici, sia a S che a SW dell'abitato di Sante Marie. Le forme epigee sono costituite da doline, depressioni tettono-carsiche e sinkhole

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

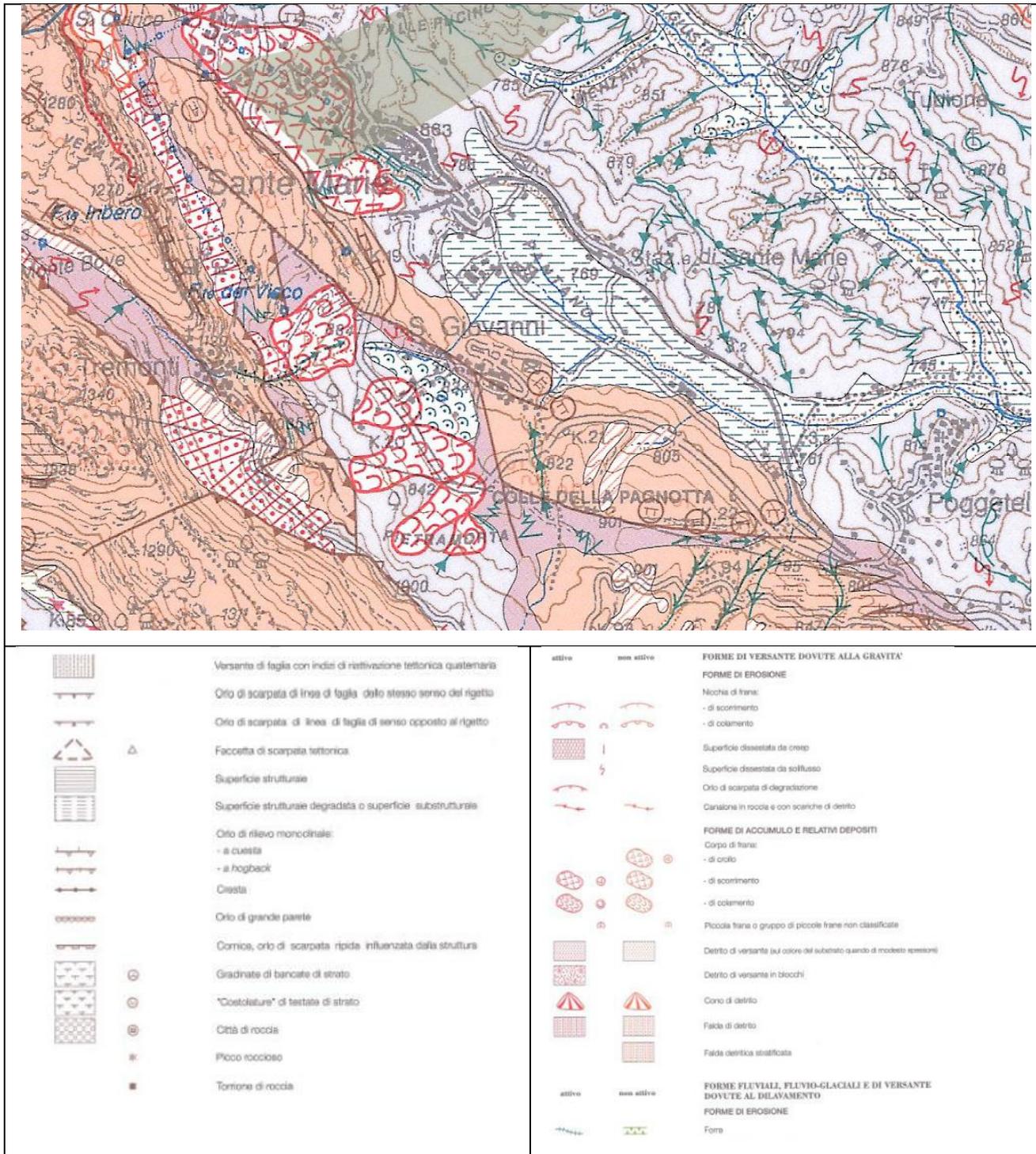


Figura 9: Stralcio della Carta Geomorfologica in scala 1:50000 Foglio 367 Tagliacozzo.

Le forme di versante dovute alla gravità sono riferibili a falde e coni di detrito, oltre che a fenomeni franosi di diversa tipologia e dimensione. I primi coprono vaste aree alla base dei

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

acque piovane che vanno ad alimentare l'acquifero sotterraneo. Tale unità idrogeologica è quindi sede di un acquifero libero di importanza regionale che alimenta sorgenti di discreta produttività idrica poste al bordo della dorsale montuosa. La falda basale dell'Unità dei Monti Carsolani, posta a discrete profondità, alimenta le sorgenti situate ai margini del Fucino (7 m³/sec) e le sorgenti Carpello-Posta Fibreno (9 m³/sec), in provincia di Frosinone, ad indicare un drenaggio della falda in direzione Est e Sud-Est. Del sistema in esame fanno parte anche altre sorgenti di minore potenzialità idrica, ubicate ad est dell'Inghiottitoio di Luppia e nella valle Impuni situata nel versante opposto della dorsale carbonatica di Guardia d'Orlando (P. Bono e G. Capello, 1993). I terreni impermeabili sono qui rappresentati dalle formazioni terrigene del Miocene superiore che affiorano al bordo della dorsale carbonatica dei Monti Carsolani. Come sopra evidenziato, la rapida saturazione dei suddetti litotipi determina la costituzione di una rete idrografica piuttosto sviluppata, di tipo dendritico. Inoltre, tali termini litologici essendo piuttosto erodibili determinano l'accumulo di discreti volumi di sedimenti nella rete idrografica e carsica.

Nello specifico il nostro sito ricade all'interno del **COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI** i quali presentano una potenzialità acquifera da bassa a medio alta e sono costituiti in genere da Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture eluviali e colluviali (OLOCENE). Spessore variabile da pochi metri ad oltre un centinaio di metri.

Dove il complesso è costituito dai depositi alluvionali dei corsi d'acqua perenni presenta gli spessori maggiori (da una decina ad oltre un centinaio di metri) e contiene falde multistrato di importanza regionale. I depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori, con spessori variabili da pochi metri ad alcune decine di metri, possono essere sede di falde locali di limitata estensione.

Altri complessi presenti nell'area sono:

COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI - potenzialità acquifera medio alta

Detriti di falda e di pendio, depositi morenici, di conoide e di frana e terre rosse (PLEISTOCENE-OLOCENE) con spessori variabili fino ad alcune decine di metri.

Dove poggia su un substrato più permeabile non contiene falde significative, ma contribuisce alla ricarica delle falde del substrato, dove è sostenuto da un substrato meno permeabile ospita falde sospese che alimentano sorgenti diffuse a regime generalmente stagionale.

Le grandi conoidi possono contenere falde perenni alimentate da infiltrazione zenitale e, localmente, da apporti provenienti dagli acquiferi con cui sono in continuità idraulica.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

COMPLESSO DEI FLYSCH MARNOSO-ARGILLOSI - potenzialità acquifera bassissima

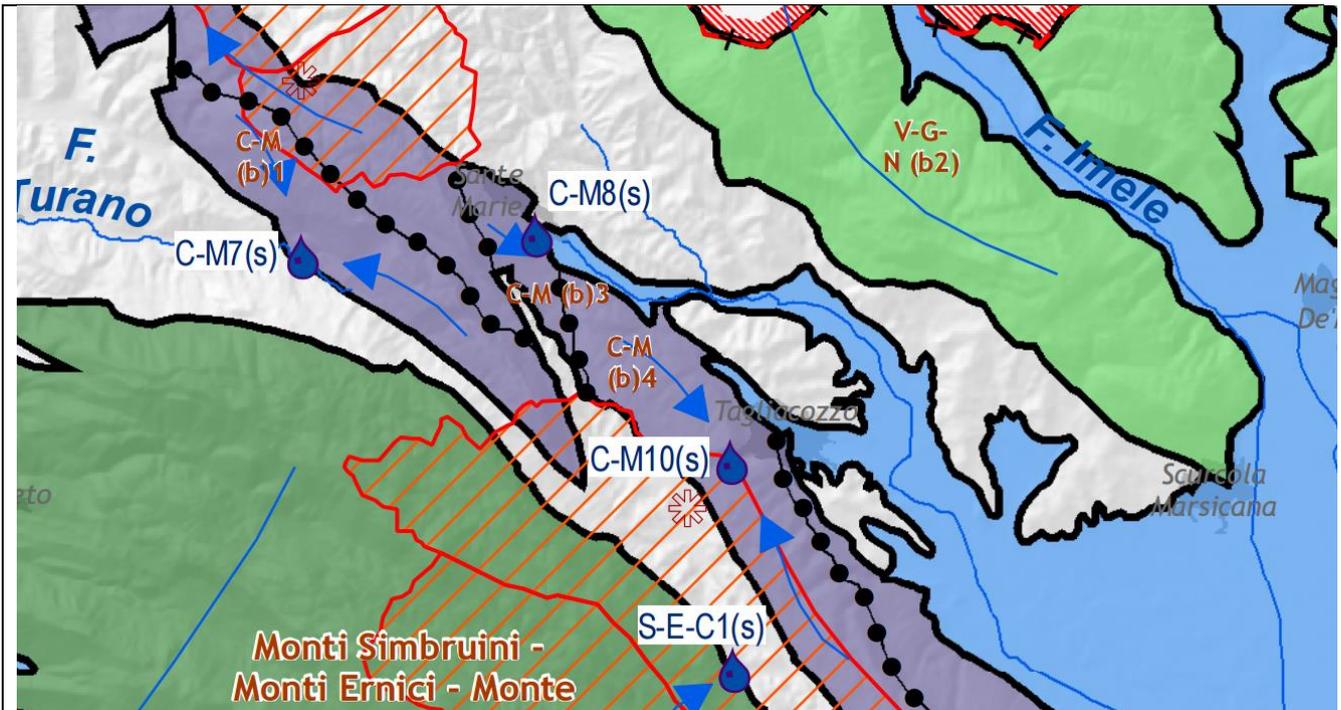
Successioni generalmente caotiche di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi (CRETACICO SUP. – OLIGOCENE) affioranti prevalentemente nei Monti della Tolfa e nella Valle Latina. Spessori variabili fino ad oltre 1000 m. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa.

COMPLESSO DEI CALCARI DI PIATTAFORMA - *potenzialità acquifera altissima*

Calcari detritici, micritici, con intercalazioni dolomitiche; calcari organogeni e brecce calcaree della successione laziale abruzzese (*LIAS MEDIO - CRETACICO SUP.*). Spessori variabili da qualche centinaio a 1500 m. E' sede di articolati ed imponenti acquiferi che alimentano le maggiori sorgenti della regione. Le diverse fasi tettoniche hanno determinato un assetto idrogeologico regionale complesso che condiziona lo schema di circolazione idrica sotterranea fra le principali unità idrogeologiche.

Nei dintorni del sito sono presenti sorgenti con portate ridotte circa 1,5 l/s

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353



| LEGENDA | |
|---|--|
| | Limiti regionali |
| | Limite regionale - Regione Abruzzo |
| | Limiti provinciali |
| | Località |
| | Reticolo fluviale |
| | Laghi |
| Corpo idrico sotterraneo principale significativo in successioni carbonatiche | |
| <i>Litologia prevalente</i> | |
| | Calcari |
| | Calcari, calcari dolomitici e dolomie |
| | Calcari e calcari mamosi |
| | Calcari mamosi, marne e calcari con selce |
| | Calcari e calcari selciferi |
| | Calcari, calcari con selce e calcari mamosi |
| Corpo idrico sotterraneo principale significativo in successioni fluvio-lacustri | |
| | Corpi idrico sotterraneo secondario significativo |
| | Corpo idrico sotterraneo di interesse |
| | Corpo idrico sotterraneo di interesse in successioni calcareo-mamoso-argillose |
| | Corpo idrico sotterraneo di interesse in successioni fluvio-lacustri |

| Limiti idrogeologici | |
|----------------------|--|
| | Limiti di tamponamento (tratteggiati se presunti e/o sepolti): sono nulli o trascurabili gli interscambi idrici con i corpi idrici sotterranei adiacenti |
| | Limiti di alimentazione: esiste un deflusso principale delle acque della falda idrica sotterranea nel verso indicato dalle frecce |
| | Spartiacque sotterranei "chiusi": sono nulli o trascurabili gli interscambi idrici con corpi idrici sotterranei secondari adiacenti |
| | Spartiacque sotterranei "aperti": esistono interscambi idrici con corpi idrici sotterranei secondari adiacenti nel verso indicato dalle frecce |
| | Direzioni principali del deflusso della falda idrica sotterranea |
| | Corso d'acqua alimentato dalla falda idrica sotterranea proveniente dalla sinistra orografica |
| | Corso d'acqua alimentato dalla falda idrica sotterranea proveniente da sinistra e destra orografica |
| | Principali sorgenti |
| | Principali conche endemiche |
| | Principali inghiottiti |

Figura 12: stralcio della carta idrogeologica della Regione Abruzzo.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

(Lavecchia et al., 2006)

Queste strutture hanno dato luogo a terremoti, come i sismi distruttivi, avvenuti in epoca storica, del 1349, 1461, 1703, 1706 e 1915. (Figura 1.5)

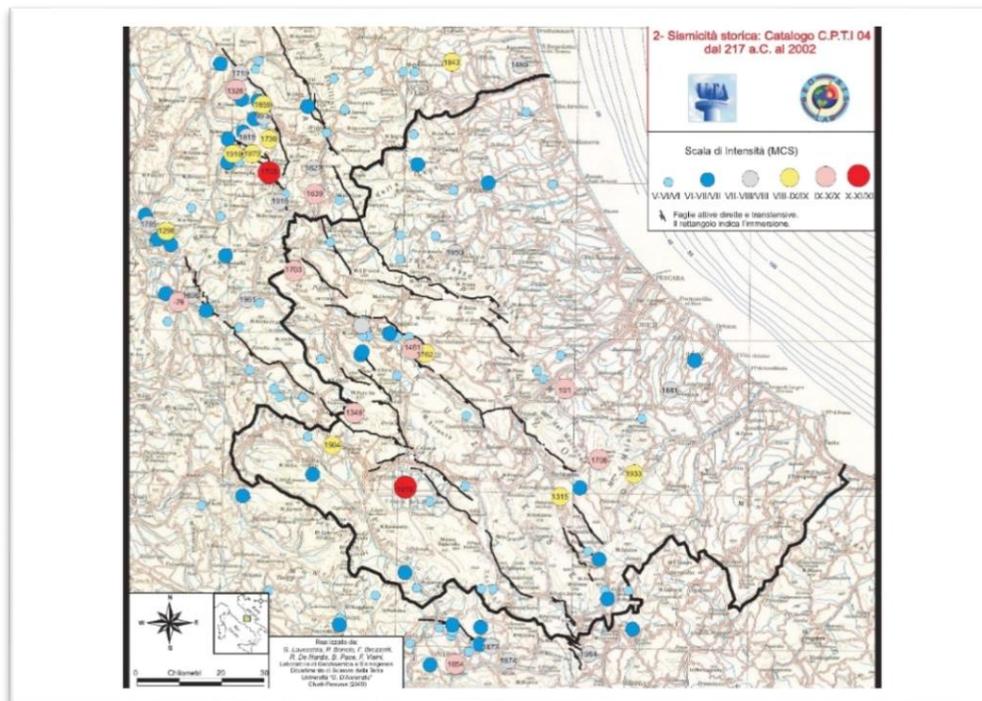


Figura 14: Carta dei principali eventi sismici avvenuti nella Regione Abruzzo (Lavecchia et al., 2006)

Senza dimenticare l'evento aquilano del 6 aprile 2009 (intensità epicentrale IO= IX-X MCS, magnitudo momento $M_w = 6.3$) il quale come quelli sopra menzionati, è avvenuto all'interno della ZS 923 della Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti et al. 2004), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04 (GdL MPS, 2004).

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

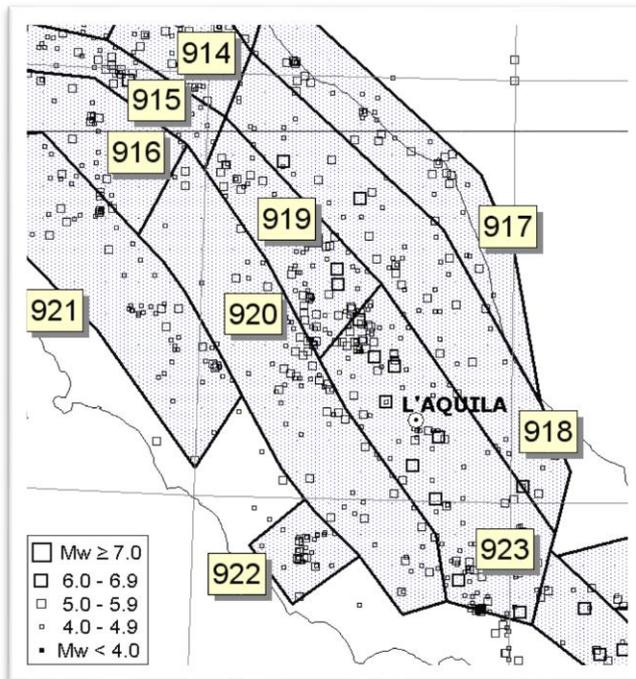
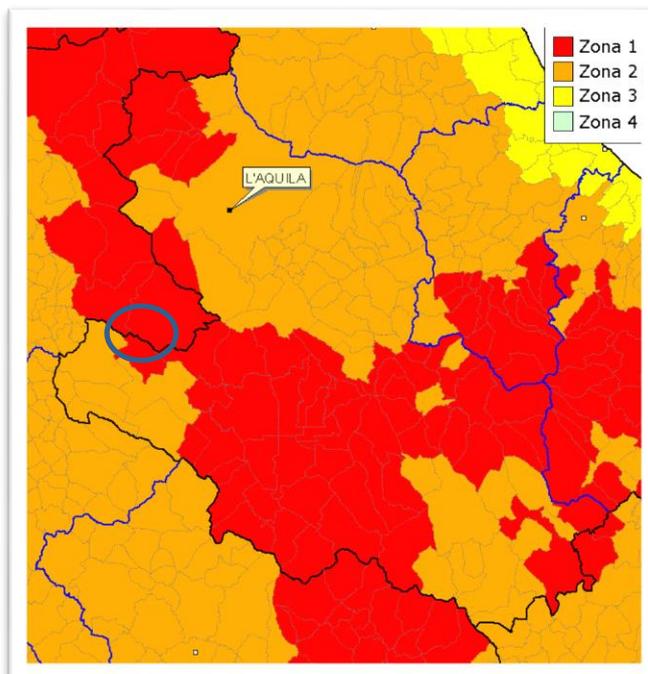


Figura15: Zone sorgenti dell'Appennino centrale (Meletti et al., 2008)

Il nostro sito è racchiuso nella zona Sismogenetica ZS920 Val di Chiana Ciociaria.

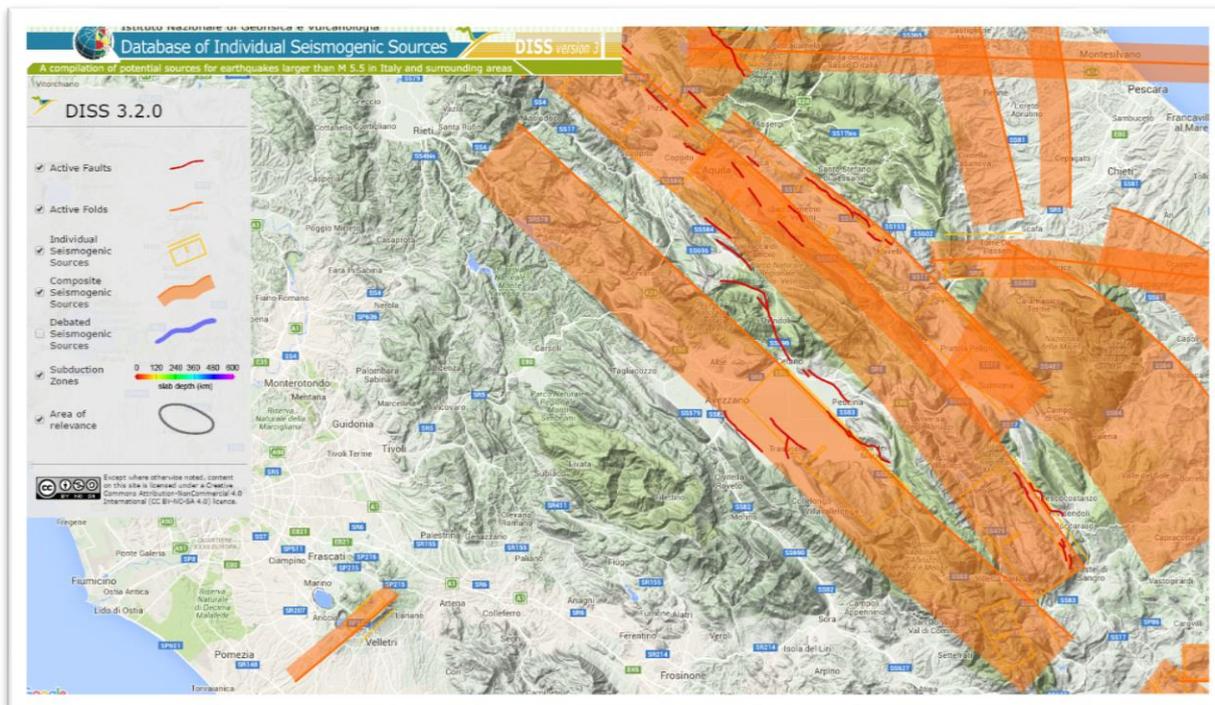
Attualmente il territorio della Comune di Sante Marie in base a quanto stabilito dall'Ordinanza PCM 3274/2003, è classificato in **Zona Sismica 1** e cioè quella a più elevato rischio sismico.



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Figura 16: Zone sismiche aggiornate dall’OPCM 3274/2003 e recepite dalle Regioni.

Per una più adeguata caratterizzazione macrosismica dell’area di progetto, si è provveduto alla consultazione del **Catalogo DISS** (Database per l’individuazione delle sorgenti sismogenetiche del quale si riporta uno stralcio:



| ID | NAME | REFERENCES |
|----|---------------------------------|--|
| 1 | Piano Pezza | Pantosti et al. [1996]. |
| 2 | Campo Porcaro | Pantosti et al. [1996] |
| 3 | Monte Cefalone | Pantosti et al. [1996], Salvi & Nardi [1995] |
| 4 | Monte Ocre | Salvi & Nardi [1995] |
| 5 | Luco | Galadini & Galli [1999] |
| 6 | Trasacco 1 | Galadini & Galli [1999] |
| 7 | Trasacco 2 | Galadini & Galli [1999] |
| 8 | Marsicana Highway 1 | Galadini & Galli [1999] |
| 9 | Marsicana Highway 2 | Galadini & Galli [1999] |
| 10 | San Benedetto-Gioia dei Marsi 1 | Galadini & Galli [1999] |
| 11 | San Benedetto-Gioia dei Marsi 2 | Galadini & Galli [1999] |
| 12 | San Benedetto-Gioia dei Marsi 3 | Galadini & Galli [1999] |

Figura 17: Immagine tratta dal Catalogo DISS (Database per l’individuazione delle sorgenti sismogenetiche). Il cerchio nero indica l’areale di studio <http://diss.rm.ingv.it/diss/>

Da tale analisi, emerge come il nostro sito ricada a ridosso del Box Sismogenetico dato dalla sorgente sismogenetica composta **“Lago del Salto - Ovindoli – Barrea”**. La massima Magnitudo associata a questa sorgente, e paria a **6.7**.

5.1 Inquadramento sismotettonico

Un quadro generale della sismicità dell’area può essere visualizzato tramite uno stralcio della **“Carta della Sismicità in Italia”** (Castello et Alii INGV 2004) di seguito riportato, ottenuta localizzando gli epicentri di 45.000 terremoti avvenuti in Italia tra il 1981 ed il 2002 ed evidenziando i singoli eventi sismici in funzione della magnitudo e della profondità epicentrale.

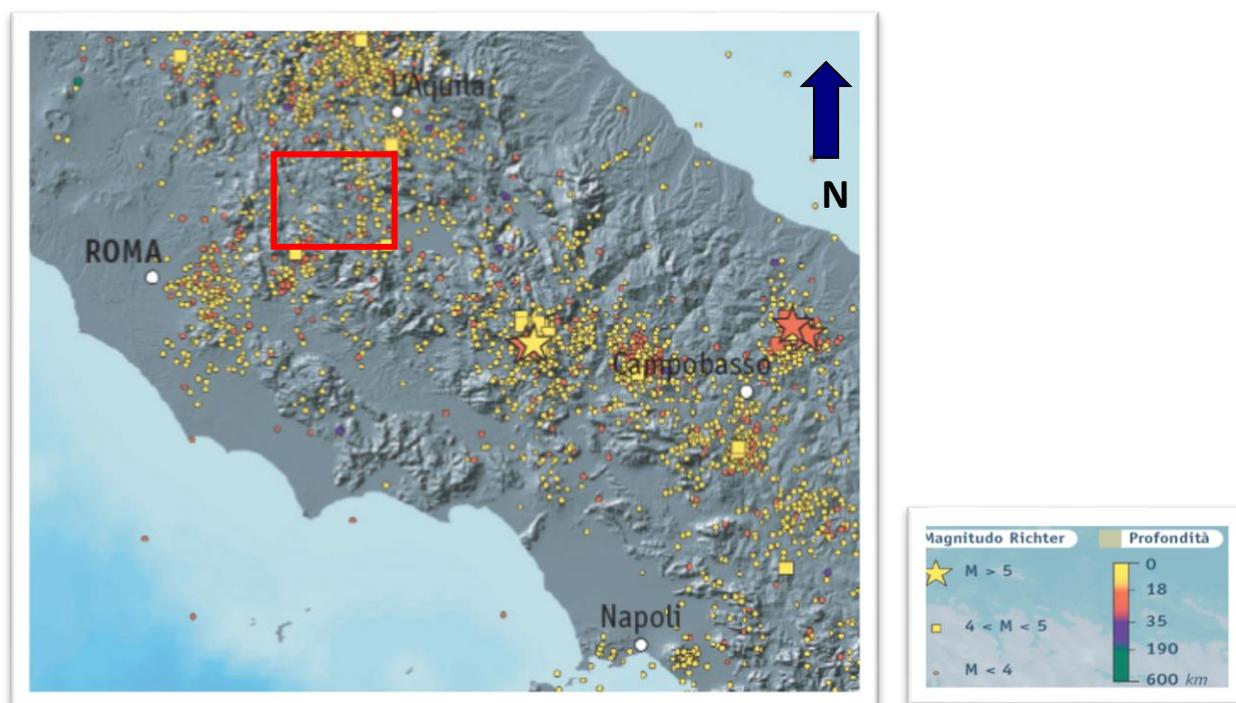


Figura 18: “Carta della Sismicità in Italia” (Castello et al., INGV 2004)

Già da un primo sguardo è ben visibile come l’area di studio, evidenziata dal rettangolo rosso in figura, sia caratterizzata da una notevole sismicità definita da un gran numero di terremoti, generalmente a profondità inferiori a 18 km e con magnitudo medie pari a 4-5 nella scala Richter.

Oggi nel settore di Appennino centro-meridionale in esame è presente un sistema di faglie normali segmentate, di lunghezza pari a circa 800 km, che hanno prodotto terremoti crostali con magnitudo comprese tra $M=5.5$ e $M=7$.

Una visione esaustiva dei lineamenti tettonici sismogenetici dell’Appennino centrale è data dallo stralcio della **“Carta delle faglie attive dell’Appennino centrale”** (Galadini et al., 2000) e la relativa tabella descrittiva; in particolare per l’area del Comune di Avezzano, particolare rilievo è assunto

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Dalla “Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia centrale” (CNR-GNDT, 2000) è noto che la faglia del Fucino a cinematica normale ha una struttura di superficie con direzione grossomodo appenninica di lunghezza superiore a 20 km; tale lineamento è responsabile del terremoto di Avezzano del 1915 a seguito del quale si sono avute numerose manifestazioni di fagliazione superficiale. Lo spostamento cosismico medio associato all’evento del 1915 è stimato pari a 60 cm, mentre la profondità dello strato sismogenetico è ritenuta pari a 8-10 km. La massima magnitudo attesa per questa struttura è pari a 7.

A proposito delle faglie reputate attive che insistono all’interno del territorio comunale di Sante Marie, si è provveduto alla consultazione del catalogo “on-line” **ITHACA**, tramite il portale del Servizio Geologico d’Italia, GeoMapView-2 (<http://sgi1.isprambiente.it/GMV2/index.html>).



Figura: 20 Carta delle Faglie attive e capaci data base ITHACA. Sismicità Storica (Con il cerchio rosso è evidenziata l’area di indagine)



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

5.2 Sismicità Storica

L'analisi della pericolosità sismica storica del Comune di Sante Marie è stata eseguita utilizzando le informazioni macrosismiche messe a disposizione della comunità scientifica a seguito del Progetto S1 dell'INGV, vale a dire il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani **CPTI11** (Gruppo di lavoro CPTI, 2004) ed il **BDMI11** che rappresenta un database di osservazioni macrosismiche di terremoti nell'area italiana al di sopra della soglia del danno. In particolare, è stata adottata una procedura che analizza la sismicità locale con un approccio "di sito". Come noto, tale approccio tende a ricostruire le storie sismiche locali analizzando le distribuzioni areali dei risentimenti generati dai terremoti noti per il territorio nazionale e presenti, nei Cataloghi Sismici. In questa relazione, l'obiettivo è stato quello di valutare le massime intensità sismiche risentite nel Comune di Sante Marie. Più in dettaglio si riporta di seguito la tabella ed il grafico della storia sismica di Sante Marie.

**Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non
 pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con
 operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43,
 Particella 1352, 1353**

Numero di eventi: 18

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | | | |
|---------|---------------------------------|-----------------------------|------|-----|------------|--|
| I [MCS] | Data | Ax | Np | Io | Mw | |
| 7 | 1904 02 24 15:53 | Marsica | 56 | 8-9 | 5.58 ±0.17 | |
| 8 | 1915 01 13 06:52 | Avezzano | 1041 | 11 | 7.00 ±0.09 | |
| 5 | 1933 09 26 03:33 | Maiella | 326 | 9 | 5.95 ±0.09 | |
| 4 | 1961 04 12 00:44 | Alto Aniene | 44 | 6-7 | 4.61 ±0.22 | |
| 4-5 | 1984 05 07 17:49 | Appennino abruzzese | 912 | 8 | 5.89 ±0.09 | |
| NF | 1987 07 03 10:21 | PORTO SAN GIORGIO | 359 | | 5.09 ±0.09 | |
| 2 | 1994 08 07 06:31 | Aquilano | 103 | 5-6 | 4.37 ±0.15 | |
| 3 | 1997 09 26 00:33 | Appennino umbro-marchigiano | 760 | | 5.70 ±0.09 | |
| 3 | 1997 09 26 09:40 | Appennino umbro-marchigiano | 869 | 8-9 | 6.01 ±0.09 | |
| 3 | 1997 10 03 08:55 | Appennino umbro-marchigiano | 490 | | 5.25 ±0.09 | |
| 4 | 1997 10 14 15:23 | Appennino umbro-marchigiano | 786 | 7-8 | 5.65 ±0.09 | |
| NF | 1998 05 12 21:46 | Appennino abruzzese | 48 | 5 | 4.06 ±0.18 | |
| 3 | 1998 08 15 05:18 | MONTI REATINI | 233 | 5-6 | 4.45 ±0.09 | |
| 3-4 | 2000 03 11 10:35 | Alto Aniene | 211 | 6 | 4.29 ±0.09 | |
| NF | 2000 05 22 15:48 | APPENNINO CENTRALE | 48 | 5-6 | 3.66 ±0.22 | |
| NF | 2000 05 28 09:29 | Monti Tiburtini | 58 | 5 | 3.91 ±0.19 | |
| NF | 2000 06 27 07:32 | Monti Tiburtini | 138 | 6 | 4.28 ±0.09 | |
| NF | 2005 12 15 13:28 | Valle del Topino | 361 | 5-6 | 4.66 ±0.09 | |

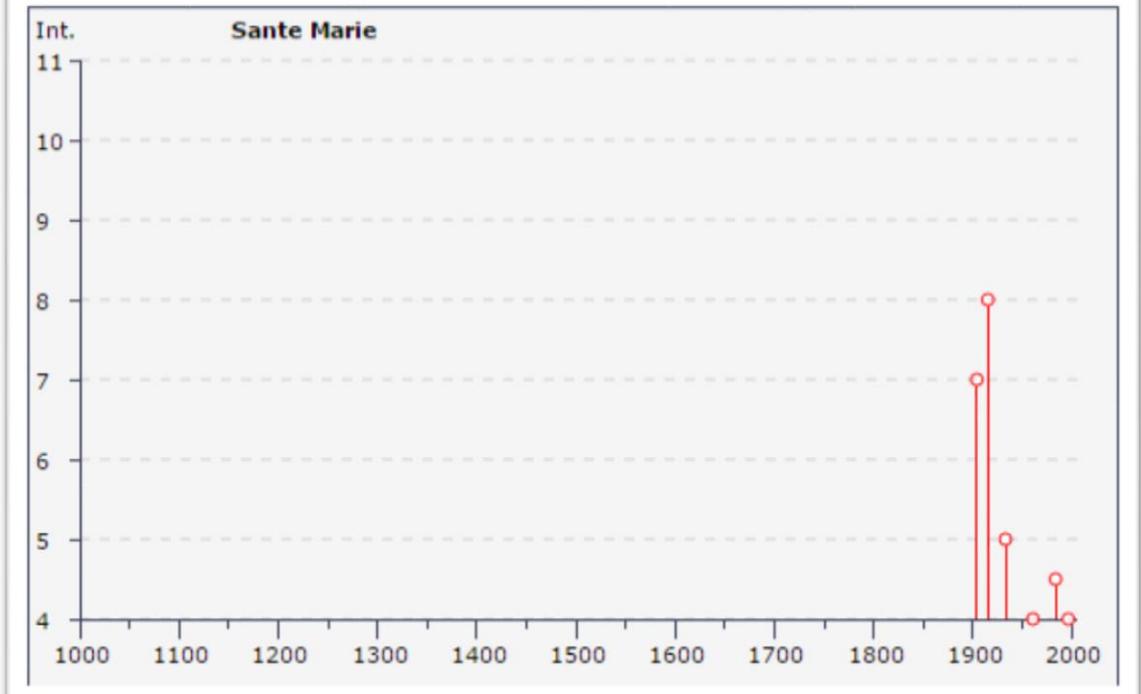


Tabella 1: Estratto dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dal DBMI11

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

A tale analisi di sismicità storica va infine aggiunta la crisi sismica del 2009 (agosto-ottobre) con *Main-Shock* registrato alle ore 3:32 del 06/04/2009 e per il quale nel territorio di Sante Marie si è avuto un risentimento pari lo 5°.

Di seguito si riportano i dati tratti dal *Catalogo Macrosismico CPTI 11* relativi rispettivamente agli eventi sismici di Avezzano 1915, Valle del Salto 1957 e L'Aquila 2009.

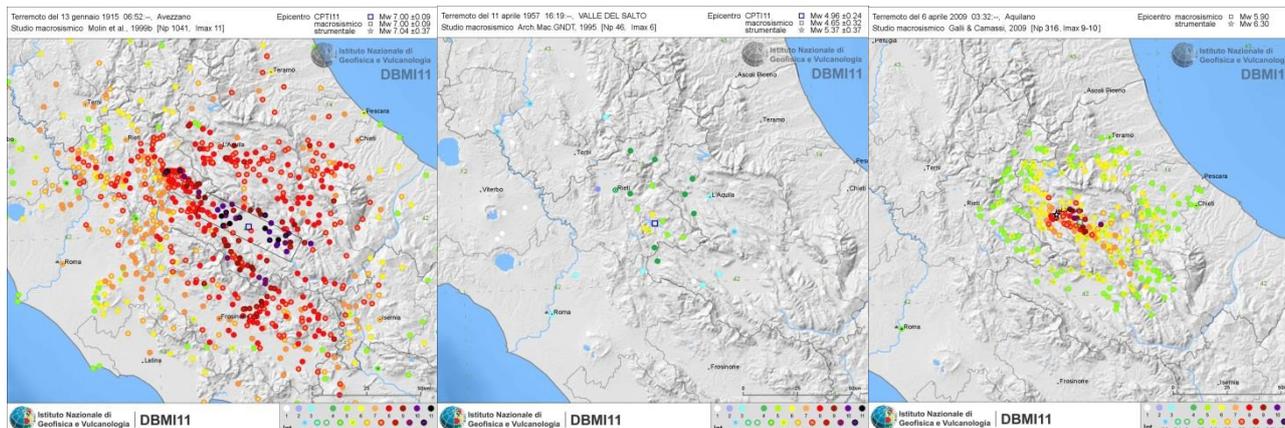


Figura 21: Estratto dal catalogo macrosismico CPTI 11

Si tiene a precisare che i dati di danneggiamento esistenti in letteratura per il comune di Sante Marie indicano che buona parte del territorio comunale, è soggetto a fenomeni di amplificazione locale del moto sismico al suolo. Lo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sante Marie, ad oggi non risulta ancora pubblicato.

6 INDAGINI IN SITU

Come riportato in premessa, le indagini, sono state pianificate e realizzate nel rispetto della normativa vigente e sono consistite nella realizzazione di:

- **n.1 prove penetrometriche superpesanti DPSH (Dynamic Probing Super Heavy; DPSH1) terebrate sino al rifiuto strumentale;**
- **n.1 prove sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves; Stendimento 1) per la determinazione del parametro $V_{s,30}$ e disposte perpendicolarmente tra loro;**
- **n. 1 misura di rumore ambientale per la determinazione della frequenza fondamentale di sito HVSR**

La scelta dell'ubicazione delle indagini, è stata effettuata tenendo conto della geologia del sito e dell'idea progettuale. Le indagini sono state realizzate, così come riportate nella seguente cartografia ubicativa.

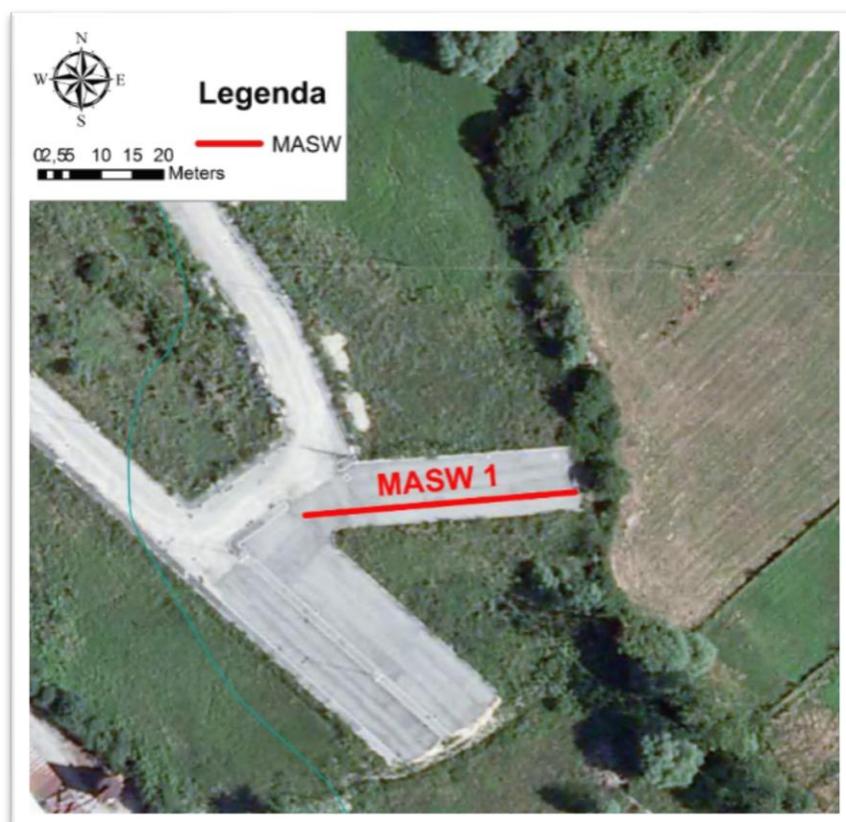
7 ROVE SISMICHE DI TIPO MASW (Multichannel Analysis Of Surface Waves)

PROSPEZIONI SISMICHE ATTIVE TIPO M.A.S.W. (MULTI CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Dati generali ed inquadramento

| | |
|--------------------|--|
| Committente | DARMACEM |
| Cantiere | <u>Realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione...</u> |
| Località | SANTE MARIE (AQ) |
| Operatore prova | DOTT. GEOL. LUCA RUBEIS |
| Responsabile prova | DOTT. GEOL. LUCA RUBEIS |
| Zona | AREA PRODUTTIVA SANTE MARIE (AQ) |
| Data della prova | 21/06/2016 |
| LatitudineED50 | 42.098005 |
| LongitudineED50 | 13.213628 |

UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Il metodo Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica d'indagine non invasiva, che individua il profilo di V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante delle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. (V.Roma 2004)

Il metodo MASW attivo consente la classificazione sismica dei suoli, poichè fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 metri di profondità.

Caratterizzazione sismica dei terreni definita nella Normativa (D.M. 14.01.08)

La velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali V_{s30} è uno dei parametri più importanti nell'ambito della valutazione dell'amplificazione del moto del suolo dovuto ad un sisma, essendo ampiamente dimostrato che gli effetti di un terremoto sono legati al contrasto di impedenza sismica tra i diversi mezzi attraversati, ovvero al prodotto tra la velocità di taglio delle onde sismiche ed il peso di volume dello strato attraversato. Notevole interesse al parametro V_s è stato inoltre fornito dalla normativa sismica (D.M. 14.01.2008) che definisce l'azione sismica di progetto per diverse categorie di suolo di fondazione sulla base del parametro V_{s30} , ovvero della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 metri di profondità:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N h_i/V_i}$$

dove V_i e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i -esimo.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

| Categoria | DESCRIZIONE GEOTECNICA |
|-----------|--|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i> |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i> |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i> |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i> |
| E | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i> |

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

Tabella 2: categorie di suolo di fondazione.

$V_{s,30}$ = velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio = $30 / \sum_{i=1}^n (h_i / V_{s,i})$

$Cu_{,30}$ = coesione non drenata equivalente (per terreni a grana fina) = $(\sum_{i=1}^k (h_i)) / (\sum_{i=1}^k (h_i / Cu_{,i}))$

$N_{spt,30}$ = numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (SPT, Standard Penetration Test) = $(\sum_{i=1}^M (h_i)) / (\sum_{i=1}^M (h_i / N_{spt,i}))$

h_i = spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$NSPT_i$ = numero di colpi NSPT nell'i-esimo strato;

$cu_{,i}$ = resistenza non drenata nell'i-esimo strato;

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

M = numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;

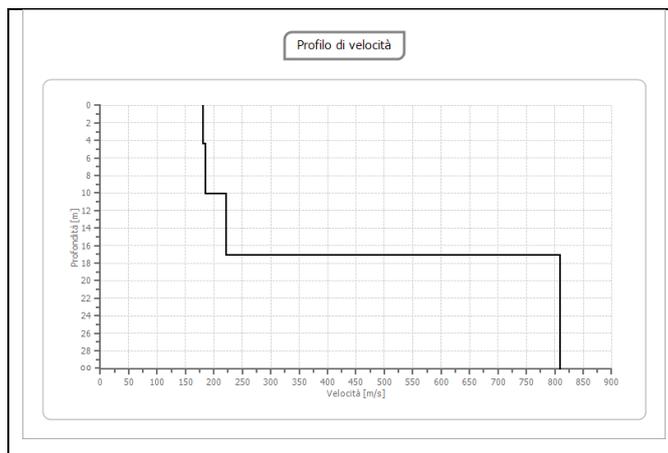
K = numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353



MASW1

Report fotografico relativo all'esecuzione dell'indagine MASW



Così come previsto dalla normativa vigente, è stata realizzata un'indagine di tipo MASW. Sono stati utilizzati 12 canali disposti ad una interdistanza di 3 m tra loro.

Per lo stendimento denominato nelle cartografie ubicative **MASW**, sono state effettuate 2 energizzazioni:

- **n 1: offset (distanza sorgente primo geofono) 4metri;**



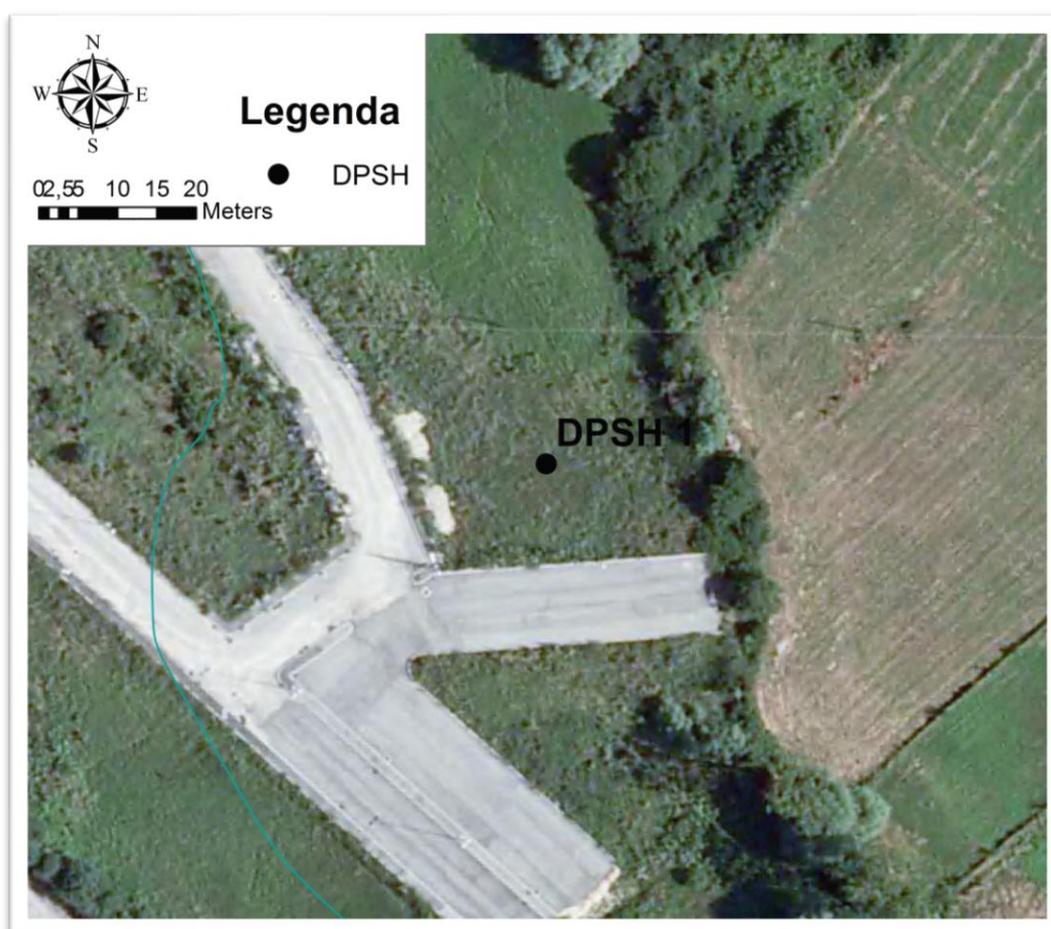
Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

La velocità delle onde sismiche nei primi 30m ($V_{s,30}$) al di sotto dell' sito è risultata pari a 292.00 m/s per lo stendimento denominato MASW 1 La relativa **categoria di suolo di fondazione** così **come riportato nella tabella precedente, è E. Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).**

Per maggiori dettagli, si rimanda agli allegati.

8 PROVE PENETROMETRICHE DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere verticalmente nel terreno una punta conica metallica (di caratteristiche standardizzate) posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste, mediante battitura facendo cadere da un'altezza pari a 75 cm un maglio di peso pari a 63,5 kg in accordo con lo standard dell'International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza standard pari a 20cm, ottenendo la resistenza del terreno come funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi (N_{20}) per una data penetrazione.



Come già accennato in premessa, al fine di ottenere ulteriori indicazioni sulle principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione, è stata effettuata **una prova penetrometrica superpesante (DPSH)**. La prova penetrometrica dinamica superpesante è stata

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

realizzata con penetrometro dinamico superpesante della casa "GeoDeepDrill" con le seguenti caratteristiche:



| | | |
|--|-------------------|---|
|  | modello | DPH63M DPH63T DPH63SM |
| | tipo | DINAMICO SUPER PESANTE AGI - UNI |
| | massa battente | 63,0 kg - ø: 208 mm x H: 265 mm |
| | altezza caduta | >75 cm (Evo. IV) 463 Joule |
| | avanzamento | acquisizione ogni 10 / 20 cm |
| | punta | ø 50,00 mm - angolo 90° - A 20,00 cm ² |
| | asta | acciaio 1000x32 mm M22 tacca 20,00 cm |
| | rivestimento | 42x1000 mm acciaio c40 |
| | frequenza colpi | 20-30 colpi per minuto |
| | stabilizzatori | a cilindro oleo. 15,00 cm |
| | centralina | Briggs & Stratton 3,5 HP 3 lit/min 5litres |
| | sottocarro | Khoeler 7/10 HP 8 lit/min 20lit. acc.elettrica |
| | carburante | benzina serbatoio da 4,20L |
| | olio idraulico | ~20,00L OSO 40 (visc. 40° 41) |
| | dimensioni | 195x75x123cm colonna reclinata |
| | peso | ~680Kg su semovente base |
| | parti rimovibili | 3 (colonna, massa, serbatoio) |
| | tipi di suolo | argilla, limo, sabbia, ghiaia |
| | max profondità | >20m argilla, limo, sabbia |
| | campionatore | fustella pvc ø 40x350mm 60x350mm |
| | kit sondaggi | 3 (codea ø50x1000) + 3 (asta ø25x1000) |
| | kit prova statica | non previsto |

Tabella 3: Caratteristiche meccaniche del penetrometro Superpesante GeoDeepDrill.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353



L'interpretazione dei dati penetrometrici fornisce utili informazioni relative alla verticale stratigrafica attraversata servendosi dei dati di geologia di base e dei rilievi di superficie.

Per questo tipo di penetrometro DPSH i risultati diretti della prova (N_{20} - colpi alla punta) vengono correlati a quelli di N_{SPT} secondo la seguente formula (Cestari, 2005):

$$N_{SPT} (60\%) = C N_{20} (60\%)$$

dove:

$C = 1.5 \div 2.0$ nei terreni con ghiaie

$C = 2.0 \div 2.8$ nelle sabbie

$C = 2.8 \div 4.0$ nelle argille \pm limose.

In seguito si riporta l'elaborazione grafica della prova DPSH:

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

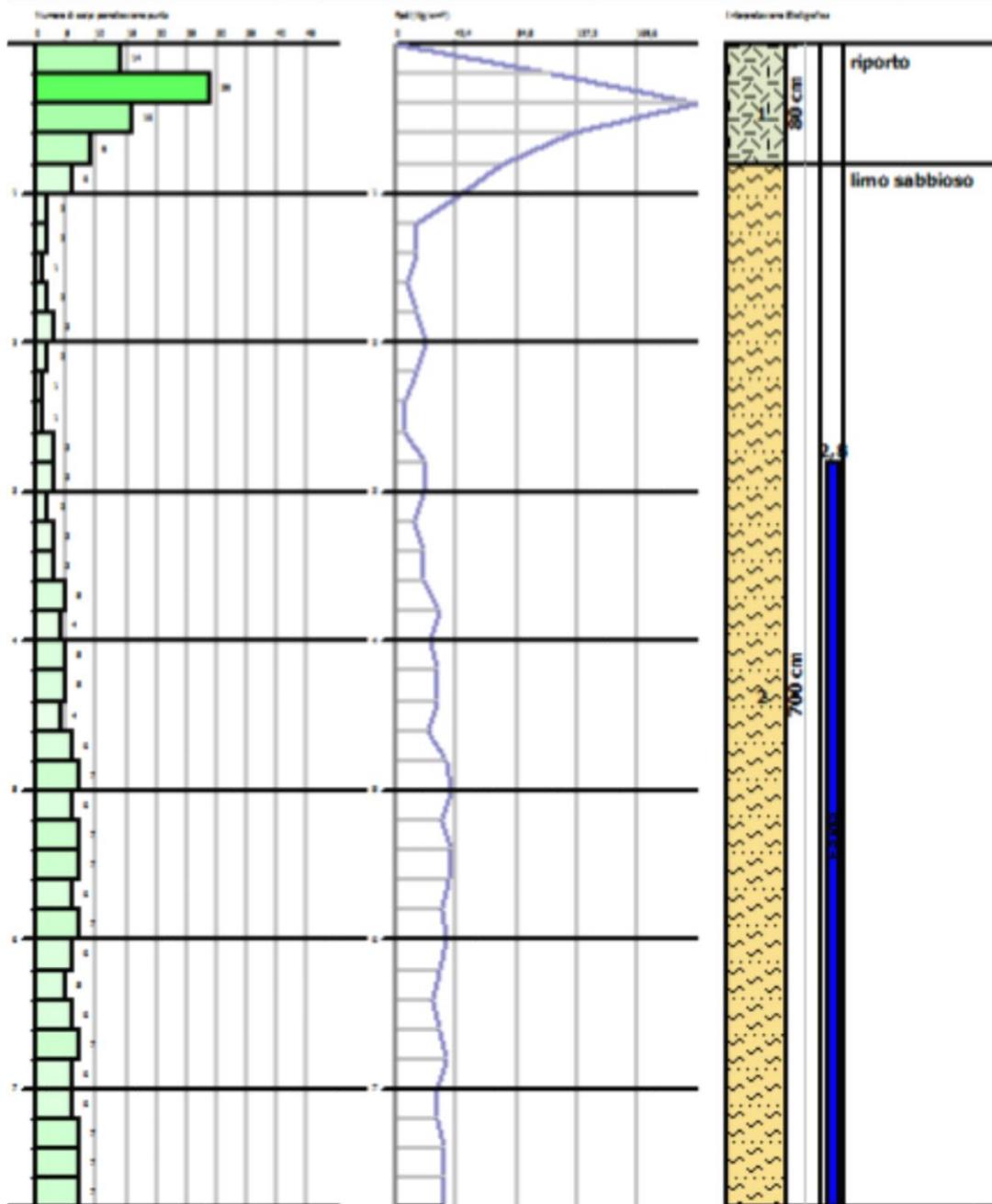
GEOSTAF
 VIA EQUICOLA COMUNALE
 02021 SANT'ANATOLIA DI BORGOROSE (RI)
 rubeis.luca@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1 Dott. Geol. Rubeis Luca Geostaff
 Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente: ENELMACOM
 Cantiera: RECUPERO INERTI
 Località: SANTE MARIE

Date: 06/08/2016

Scala 1:10



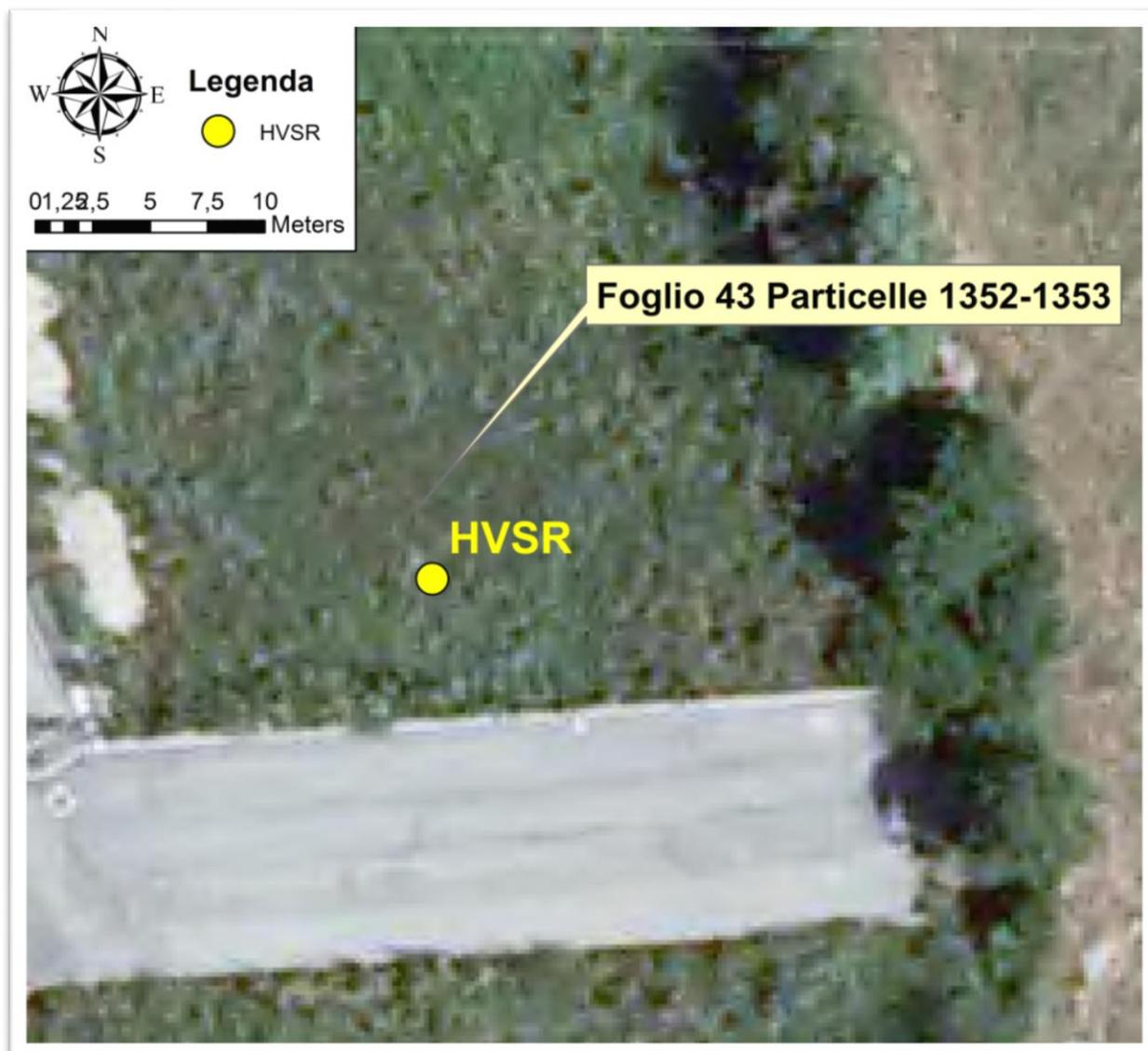


Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Il risultato ricavato dalla verticale realizzata, prova penetrometrica D.P.S.H., mette in evidenza come il terreno di sedime, sia caratterizzato nei primi 0.8 metri, da un litotipo (terreno di riporto costituito da ghiaia e ghiaietto calcareo) dalle ottime caratteristiche geotecniche. La verticale denominata D.P.S.H. è stata realizzata ad una quota di 760 m circa s.l.m. ed è protratta fino alla profondità di 7,8 m dal P.C.. **Dalla quota di circa 2.8 m dal P.C., è stata rilevata la presenza di acqua.** Il litotipo attraversato da 0,8 metri a 7,8 metri dal piano campagna identificabile come limo sabbioso con all'interno sporadici clasti calcarei, presenta scadenti caratteristiche meccaniche, come si riporta nella tabella **"Parametri riassuntivi a pag.50"**

Al fine di favorire una visione complessiva dei risultati ottenuti, si rimanda agli elaborati allegati per i dettagli.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353



La misura di rumore ambientale è stata effettuata con una stazione della **SARA s.r.l.** modello GEOBOX con sensori a 4.5Hz. La registrazione ha avuto una durata di 20 minuti (come specificato in seguito) ed i dati acquisiti sono stati analizzati con la tecnica dei rapporti spettrali HVSr mediante l'ausilio del software "GeoExplorer della Sara electronics instruments (PG)".

10 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Conformemente a quanto emanato nel **D.M. 14/01/2008** si forniscono di seguito, per diversi tempi di ritorno, i valori di **ag, Fo, Tc***, nonché gli spettri di risposta elastici tarati sul terremoto di progetto calcolato in funzione della posizione geografica del sito in oggetto.

I grafici e le tabelle di seguito riportati sono stati ottenuti con l'ausilio del **software Geostru PS** della Geostru software.

Il primo passo, è stato quello dell'individuazione della pericolosità di sito, per fare ciò è stata effettuata una ricerca per coordinate, inserite nel sistema di riferimento ED50



Sito in esame: Sante Marie (AQ)

latitudine: 42.097025

longitudine: 13.212715

Le azioni sismiche, per ciascuna costruzione, vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando il valore della Vita Nominale V_N che nel nostro caso è di 50 anni per un coefficiente d'uso C_u che per una struttura in oggetto, ricadente in classe d'uso I è di 0.7.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Il risultato, è un periodo di riferimento di 35 anni.

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: **E**
 Categoria topografica: **T1**
 Periodo di riferimento: **35 anni**
 Coefficiente cu: **0.7**

Si riportano i valori dei parametri di a_g , F_0 , T_c^* , per i periodi di ritorno T_R , associati a ciascuno Stato Limite.

| STATO LIMITE | Probabilità di superamento | T_R (anni) | a_g (g) | F_0 (-) | T_c^* (s) |
|--------------|----------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO | 81 | 30 | 0.064 | 2.470 | 0.273 |
| SLD | 63 | 35 | 0.068 | 2.467 | 0.277 |
| SLV | 10 | 332 | 0.171 | 2.392 | 0.331 |
| SLC | 5 | 682 | 0.219 | 2.413 | 0.348 |

Tabella 4: Valori dei parametri azione T_R , a_g , F_0 e T_c^* per i diversi stati limite

Si riportano in seguito i valori dei diversi **Coefficienti Sismici** per i diversi Stati Limite.

| Coefficienti sismici | SLO | SLD | SLV | SLC |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| SS | 1.600 | 1.600 | 1.550 | 1.420 |
| CC | 1.930 | 1.920 | 1.790 | 1.760 |
| St | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Kh | 0.020 | 0.022 | 0.064 | 0.087 |
| Kv | 0.010 | 0.011 | 0.032 | 0.044 |
| Amax | 0.996 | 1.064 | 2.601 | 3.054 |
| Beta | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.280 |

Tabella 5: valori dei diversi Coefficienti Sismici per i diversi Stati Limite.

Una volta definiti il terremoto di progetto atteso ed i parametri di scuotimento relativi a suoli rigidi è possibile tenere in considerazione (pur se in prima approssimazione) gli effetti amplificativi di sito e topografici utilizzando le categorie di suolo di fondazione.

Le prove sismiche realizzate (MASW; vedi allegato) hanno definito un valore di $V_{s,30}$ pari a

292.00 m/s ed insieme alle ricostruzioni stratigrafiche effettuate permettono di attribuire il sottosuolo di fondazione dell'opera in oggetto alla **categoria E**; in relazione alla topografia del sito, trovandosi l'opera in zona che presenta una media-bassa acclività, essa rientra nella **categoria topografica T1**.

| Suolo di fondazione | VS 30 (m/sec) | Nspt - Cu (Colpi- KPa) |
|---|---------------|-------------------------------------|
| A Formazioni litoidi o suoli rigidi | > 800 | |
| B Sabbie o ghiaie addensate, argille molto consistenti | 360 - 800 | Nspt > 50 Cu > 250 kPa |
| C Sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille mediamente consistenti | 180 - 360 | 15 < Nspt < 50 70 < Cu < 250 kPa |
| D Terreni granulari sciolti, terreni coesivi da poco a mediamente consistenti | < 180 | Nspt < 15 Cu < 70 kPa |
| E Strati superficiali alluvionali (5-20 m) su substrato rigido | < 360 | |
| S1 Terreni costituiti o che includono uno strato di argilla > 10 m, PI > 40 | < 100 | Cu < 20 kPa |
| S2 Terreni soggetti a liquefazione, argille sensibili, terreni non classificati in precedenza | | |

Tabella 6: Classificazione sismica dei terreni di fondazione.

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|--|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

Tabella 7: Categorie topografiche

11 STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Analizzando e confrontando i dati relativamente alle indagini svolte, ed integrando questi con i dati relativi al rilievo geologico di campagna, è stato possibile anche se in maniera approssimativa causa la tipologia delle indagini, ricostruire il modello geologico tecnico della porzione di sottosuolo che sarà interessata dall'opera. I valori dei parametri geotecnici così come riportati nella tabella che segue, hanno messo in evidenza come lungo la verticale indagata, vi sia la presenza di un primo strato dello spessore di 0.80 m, questo livello geotecnicamente omogeneo, è rappresentato da depositi di riporto grossolani. Al di sotto del riporto, le caratteristiche geotecniche e quindi i parametri, mostrano un netto peggioramento riscontrabile dalla diminuzione del numero di colpi necessario all'infissione delle aste per tratti da 20 cm.

Risulta importante sottolineare come a seguito dell'esecuzione della prova penetrometrica, e stata eseguita una misura freaticometrica che ha messo in luce la presenza di una falda sospesa tipica di queste litologie. La presenza di tale superficie libera, si attesta a una quota di circa 2.8 m dal P.C..

I dati riportati in seguito, sono stati ricavati dalle prove DPSH in quanto per mancanza di fondi, non è stato possibile realizzare un sondaggio geognostico e prelevare campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

Parametri medi caratteristici

| <u>Litologi</u> a | <u>prof.</u> <u>Strato</u> (m) | <u>Nspt</u> | <u>Cu</u> (Kg/cm ²) | <u>Ed</u> (Kg/cm ²) | <u>Young</u> (Kg/cm ²) | <u>Gamm</u> <u>a</u> (t/m ³) | <u>Gamm</u> <u>a sat</u> (t/m ³) | <u>DR</u> % | <u>Φ</u> ° | <u>Poiss</u> <u>on</u> | <u>Modulo</u> <u>di taglio</u> <u>G</u> (Kg/cm ²) | <u>Press.</u> <u>Media</u> <u>ammissib</u> <u>ile sullo</u> <u>strato</u> (Kg/cm ²) |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--|----------------|---------------|---------------------------|--|--|
| Strato 1 | 27 | 4.14 | 0 | 83 | 216 | 2 | 2.1 | 60 | 38.2 | 0.3 | 1443 | 8 |
| Strato 2 | 6.8 | 30.8 | 0 | 41 | 54 | 1.62 | 1.9 | 25 | 26.7 | 0.34 | 397 | 1.2 |

Tabella 8: riassuntiva dei parametri geotecnici desunti dall'indagine realizzata DPSH.

La caratterizzazione avvenuta al di sotto della porzione investigata dalle prove DPSH, è stata effettuata in primo luogo tenendo conto di quella che è la geologia dell'area ed a seguito di un attenta valutazione dei valori di Vs₃₀ ricavati dall'esecuzione delle indagini MASW. La velocità



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

delle onde sismiche nei primi 30m ($V_{s,30}$) è risultata pari a 292.00 m/s per lo stendimento denominato MASW, questo valore del parametro V_{s30} messo in relazione alla profondità dello strato con V_s maggiori di 800 m/s permette di attribuire al sito, la relativa **categoria di suolo di fondazione che nel caso specifico è E.** *“Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).”*

Il valore di frequenza ricavato dalla misura di rumore HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), ha messo in evidenza come vi sia un contrasto d'impedenza sismica individuabile alla profondità di circa 40-50 m dal P.C.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli allegati.

Nell'esecuzione dell'opera, dovrà per forza di cose essere presa in considerazione la presenza della falda a circa 2.80 m dal P.C.

12 STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione dei terreni è un effetto cosismico o sismoindotto ovvero un effetto secondario causato da un forte terremoto ($M_w > 5,5$) che porta ad una repentina e totale perdita di resistenza di depositi sabbiosi sciolti e sotto falda.

Durante un terremoto, infatti, la propagazione delle onde di taglio causa la contrazione delle sabbie sciolte che produce un incremento delle pressioni dell'acqua e poiché lo scuotimento avviene velocemente il terreno è soggetto ad un carico non drenato. Tale incremento delle pressioni neutre genera un flusso dell'acqua verso l'alto fino alla superficie che porta la sabbia in una condizione di liquefazione in cui gli sforzi efficaci sono nulli e le singole particelle di terreno sono prive di ogni confinamento come se galleggiassero nell'acqua (Day, 2002; Ishihara, 1985). Il terreno quindi si comporta come un fluido viscoso ed in superficie il fenomeno può manifestarsi con la comparsa di vulcanelli di sabbia, di crateri e fuoriuscite di acqua e sabbia, come si vedrà meglio nel seguito.

Valutazione del Rischio di Liquefazione

Per valutare la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione ciclica (ovvero quando e dove può verificarsi un fenomeno di liquefazione; Santucci de Magistris, 2005 e Madiari 2013) è quindi necessario valutare:

- 1) le caratteristiche dell'evento sismico atteso che rappresenta il **fattore scatenante** del fenomeno ed influiscono sull'incremento delle pressioni interstiziali;
- 2) le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno che costituiscono i **fattori predisponenti** al verificarsi del fenomeno ed influiscono sullo sforzo efficace iniziale agente in sito (σ_v').

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni e quindi la sua suscettibilità a liquefarsi è legata:

- al grado di addensamento;
- alla granulometria e forma dei granuli;
- all'età geologica;
- alla profondità della superficie di falda (prossima alla piano campagna);

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

- alle condizioni di drenaggio;
- all'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche ed alla loro durata.

Si ritiene che possano avvenire fenomeni di liquefazione quando sono verificate simultaneamente le seguenti condizioni:

Condizioni del terreno:

- **Profondità dello strato liquefacibile < 15-20 m dal p.c.;**
- **Profondità della falda < 15 m dal p.c.;**
- **Densità relativa $D_r < 60\%$;**
- **Diametro medio espresso in termini di D_{50} ovvero il 50% della composizione granulometrica del terreno deve avere dimensioni comprese tra 0.02 mm e 2.0 mm;**
- **Frazione fine (particelle con diametro inferiore a 0.005 mm) inferiore al 15% della composizione granulometrica del terreno**

Condizioni sismiche:

- **Magnitudo momento $M_w > 5.5$**
- **Accelerazioni massime attese al p.c. $a_{gmax} > 0.15$ g;**
- **Durata del moto sismico > 15-20 sec**

In linea con quanto sopra riportato, secondo la normativa attualmente vigente (NTC 2008) nonché secondo gli "Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008 - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti condizioni:

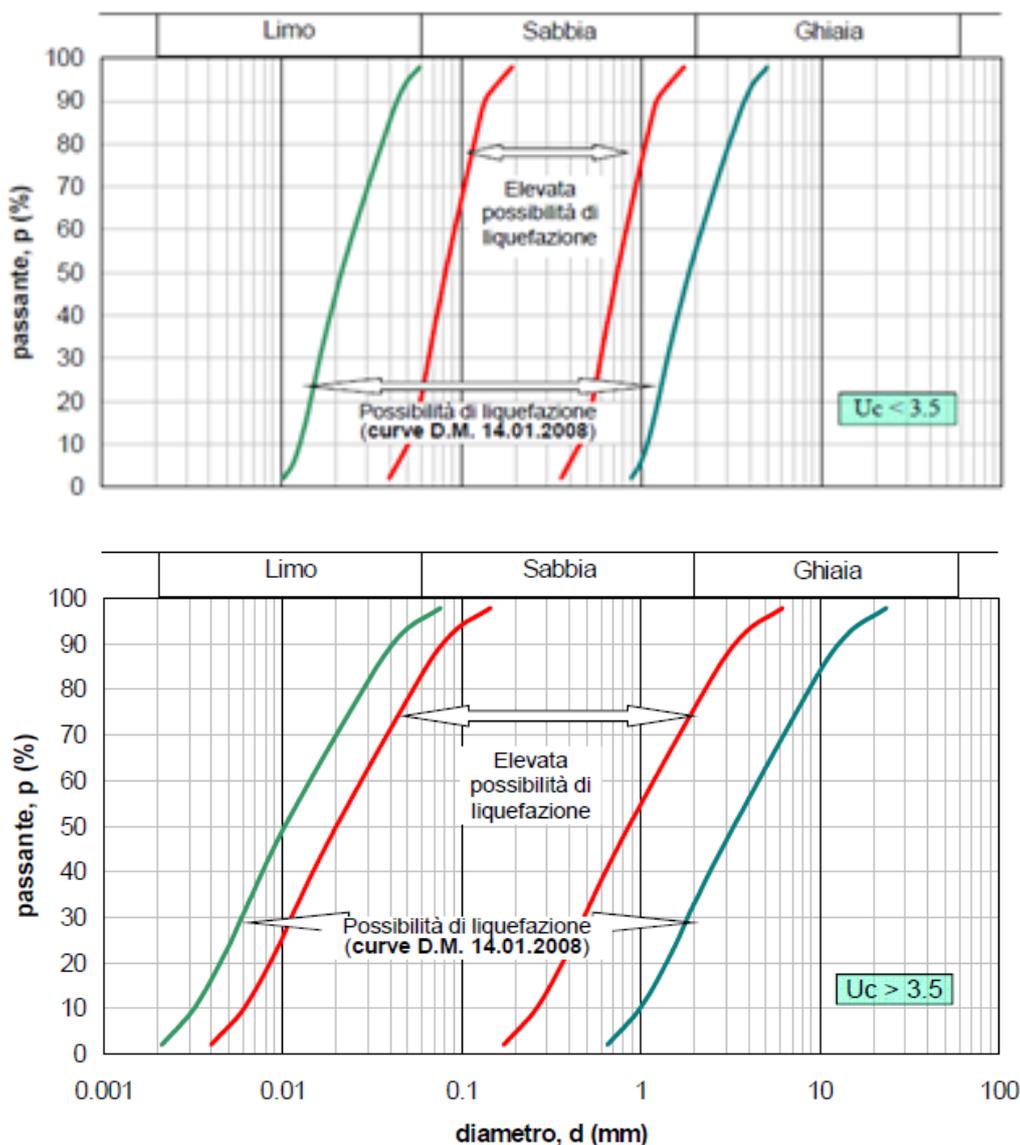
1. **Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;**
2. **Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;**
3. **Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;**
4. **Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180kPa$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione**

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dai fusi granulometrici della figura 5.11 (a) del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2008 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e in figura 5.11 (b) del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2008 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$. dove il coefficiente di uniformità (UC) è espresso come:

$$U_c = D_{60}/D_{10}$$



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Figura 25: Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (da NTC.08).

Pertanto di fondamentale importanza risulta la valutazione delle condizioni sismiche in termini di magnitudo massima attesa (M_{wmax}) per un determinato sito e di accelerazione massima (a_{gmax}) attesa a piano campagna.

Per quanto riguarda la definizione della magnitudo M_{wmax} si fa riferimento ai valori forniti dalla zonazione sismogenetica nazionale ZS9 (*Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di lavoro per la redazione della mappa della pericolosità sismica – O.PCM n.3274 e OPCM 3519.*)(Meletti Valensise 2004)

Se il sito di interesse ricade all'interno di una delle 36 zone sismogenetiche si assume come magnitudo massima attesa M_{wmax} il valore della zona di appartenenza. Se il sito non ricade in alcuna zona sismogenetica, si determinano le minime distanze del sito dalle zone circostanti (R_i) e si verifica per ciascuna di esse se la magnitudo della zona sismogenetica considerata $M_{wmax(i)}$ è inferiore o superiore alla magnitudo calcolata dalla relazione:

$$M_{s(i)} = 1 + 3 \log(R_i)$$

Se $M_{s(i)} < M_{wmax(i)}$ si assume per la verifica il valore di $M_{wmax(i)}$ più alto fra quelli delle zone sismogenetiche circostanti.

Se $M_{s(i)} > M_{wmax(i)}$ si determina M_{wmax} con il metodo della disaggregazione. (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/> mappe interattive di pericolosità).

Per quanto riguarda invece la definizione dell'accelerazione massima attesa, (a_{gmax}), questa deve essere valutata dopo aver definito i parametri necessari alla caratterizzazione sismica del sito di progetto:

1. Coordinate del sito in ED50 che individuano i valori di a_g di base in funzione della sismicità del sito;
2. Strategia di progettazione in termini di:



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

- Periodo di riferimento della costruzione Vr che si ricava moltiplicando la vita nominale (Vn) per il Coefficiente d'uso (Cu; quest'ultimo derivante dalla classe d'uso della costruzione stessa);
- Stato limite di progetto in funzione delle prestazioni della costruzione in termini di probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}; si dividono in 1) stati limite di esercizio: Stato limite di operatività – SLO – e Stato limite di Danno – SLD; 2) stati limite ultimi: Stato limite di salvaguardia della Vita – SLV – e Stato Limite di Collasso – SLC –. Ad ogni stato limite corrispondono differenti valori ag in funzione dei differenti periodi di ritorno Tr.

3. Caratteristiche del sito in termini di categoria di sottosuolo e categoria topografica: il valore dell'ag di base viene moltiplicato per il coefficiente stratigrafico (S_s) e topografico (S_t) per tenere in considerazione secondo l'approccio semplificato l'amplificazione del moto sismico dovuta agli effetti stratigrafici e topografici ed espressa come:

$$ag_{max} = ag * Ss * St$$

dove:

ag = accelerazione sismica orizzontale su sito rigido (al Bedrock o accelerazione di base del sito), ricavabile dall'appendice B del D.M. 14/01/2008 in funzione delle coordinate geografiche del sito;

ag_{max} = accelerazione sismica orizzontale al piano campagna;

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

St = coefficiente di amplificazione topografico

La definizione dell'accelerazione di base del sito (ag), mediante definizione del reticolo di nodi sismici e mediante le caratteristiche della costruzione e le scelte progettuali sopra esposte, può essere effettuata mediante svariati programmi di libero accesso. Al tal fine, nel caso di questo lavoro, è stato utilizzato il software **GeoStru PS**

Il sito d'indagine, non risulta suscettibile di liquefazione in quanto le litologie ipotizzate e ricavate, presenti nella ricostruzione stratigrafica, risultano avere un contenuto in argilla

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

porzione inferiore a 0,02 mm maggiore del 15%, inoltre la presenza di livelli decimetrici ghiaioso limosi porta lo scrivente ad omettere la verifica a liquefazione.

13 CONCLUSIONI

Lo studio geologico-tecnico sui terreni di fondazione interessati dalla progettazione dell'opera in oggetto, al foglio 43 Particella 1352-1353, ha permesso di ricostruire la successione stratigrafica, la natura litotecnica e le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione dell'opera, mediante la realizzazione di mirate indagini di sito (Prove Penetrometriche Dinamiche e prove sismiche di superficie) corroborate dalle conoscenze pregresse sulla geologia dell'area in possesso dello scrivente e dai rilevamenti di campagna eseguiti nell'area comunale.

Il complesso dei risultati ottenuti fornisce al progettista incaricato i dati sul terreno di fondazione che consentono di valutare le interazioni terreno-struttura nel rispetto delle vigenti norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

PRESCRIZIONI: vista l'elevata permeabilità dei litotipi presenti al di sotto del sito d'interesse, nonché la presenza della falda freatica posta a circa 2,8 metri dal P.C., si consiglia di realizzare un massetto impermeabilizzato in modo tale da salvaguardare la risorsa idrica sotterrenanea.

Si rimane a disposizione della committenza per eventuali ulteriori chiarimenti.

Sant'Anatolia di Borgorose (RI)

GEO-STAFF

Dott. Geologo RUBEIS LUCA

14 ALLEGATI

1. Elaborati prove MASW
2. Elaborati prove DPSH
3. Elaborati prova HVSR
4. Carta Tecnica Regionale CTR scala 1:5000
5. Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
6. Carta topografica in scala 1:25000

1 Elaborati prove MASW:

Strumento utilizzato: DoReMi della Sara Electronics s.r.l.

Il sismografo è alimentato da un pack di batterie ricaricabili poste all'interno dell'unità di interfaccia.

Gli elementi fondamentali della strumentazione sono:

- Un'interfaccia DoReMi master dotata di batterie incorporate;
- Un alimentatore per ricaricare le batterie dell'interfaccia;
- Un adattatore RS232-USB;
- Due terminatori della catena strumentale;
- N° 12 digitalizzatori o canali sismografici DoReMi piu' uno starter con geofoni a 4,5 hz;
- Una mazza battente da 10 kg con piastra di alluminio per l'energizzazione.

L'interfaccia, anche detta unità di testa, presiede all'alimentazione dello strumento, alla corretta comunicazione con il personal computer e soprattutto all'erogazione precisa del segnale di start proveniente dalla fonte di energizzazione

SISMOGRAFO DOREMI

Caratteristiche tecniche

| | |
|---|---|
| <i>Architettura</i> | |
| Classe strumentale: | sismografo multicanale per geofisica |
| Topologia: | rete differenziale RS485 half-duplex multipoint |
| Lunghezza massima della rete: | 1200 metri senza ripetitori (virtualmente illimitata con ripetitori) |
| Numero massimo di canali per tratta: | 255 |
| Dimensioni dell'elemento (escluso il cavo): | 80x55x18 mm |
| Peso: | 250 g (un elemento con lunghezza cavo 5 metri) |
| Cavo: | 4 conduttori, 2 coppie ritorte, robotico resistente a torsioni, flessio-torsioni, abrasioni ed agenti chimici |
| <i>Campionamento</i> | |
| Memoria: | 64 kByte (>30000 campioni) |
| Frequenze in Hz: | 200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000, 8000,10000,20000 |
| pari ad intervalli in ms di: | 5, 3,33, 2,5, 2, 1,25, 1, 0,5, 0,33, 0,25, 0,125, 0,1, 0,05 |
| Esempi di utilizzo della memoria: | ReMi: 500Hz, t-max 60 secondi MASW: 4000Hz, t-max 7,5 secondi Riflessione: 20000Hz, t-max 1,5 secondi |
| <i>Dinamica del sistema</i> | |
| Risoluzione con guadagno 10x: | 7.600 µV |
| Risoluzione con guadagno 1000x: | 0.076 µV |
| Dinamica di base: | 96dB (16 bit) |
| Dinamica massima del preamplificatore: | 80dB |
| Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz: | >90dB |
| Full range a 10x: | 0.5V p-p |
| Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS: | 0.0000002V p-p |
| Dinamica totale teorica: | 155dB |
| Dinamica totale senza postprocessing: | > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento) |
| Dinamica totale in postprocessing: | >140dB |
| <i>Alimentazione</i> | |
| Tensione di alimentazione: | 10-15VdC |
| Consumo: | |
| Unità di testa: | 20mA |
| Per Canale: | 40mA |
| Consumo totale 12 canali: | 510mA |
| <i>Convertitore A/D</i> | |
| Tipologia: | SAR |
| Risoluzione: | 16 bit |
| Dinamica: | 96 dB |
| <i>Prampificatore</i> | |
| Tipologia: | ultra-low noise con ingresso differenziale |
| Filtri: | 3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli |
| Guadagni: | da 10x a 8000x |
| Reiezione di modo comune: | >80dB |
| Diafonia (crosstalk): | non applicabile (elementi singoli a trasmissione digitale) |
| Impedenza d'ingresso: | >100kΩ |

Software di elaborazione dati: Easy MASW (Geostru)

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

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – "R"

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

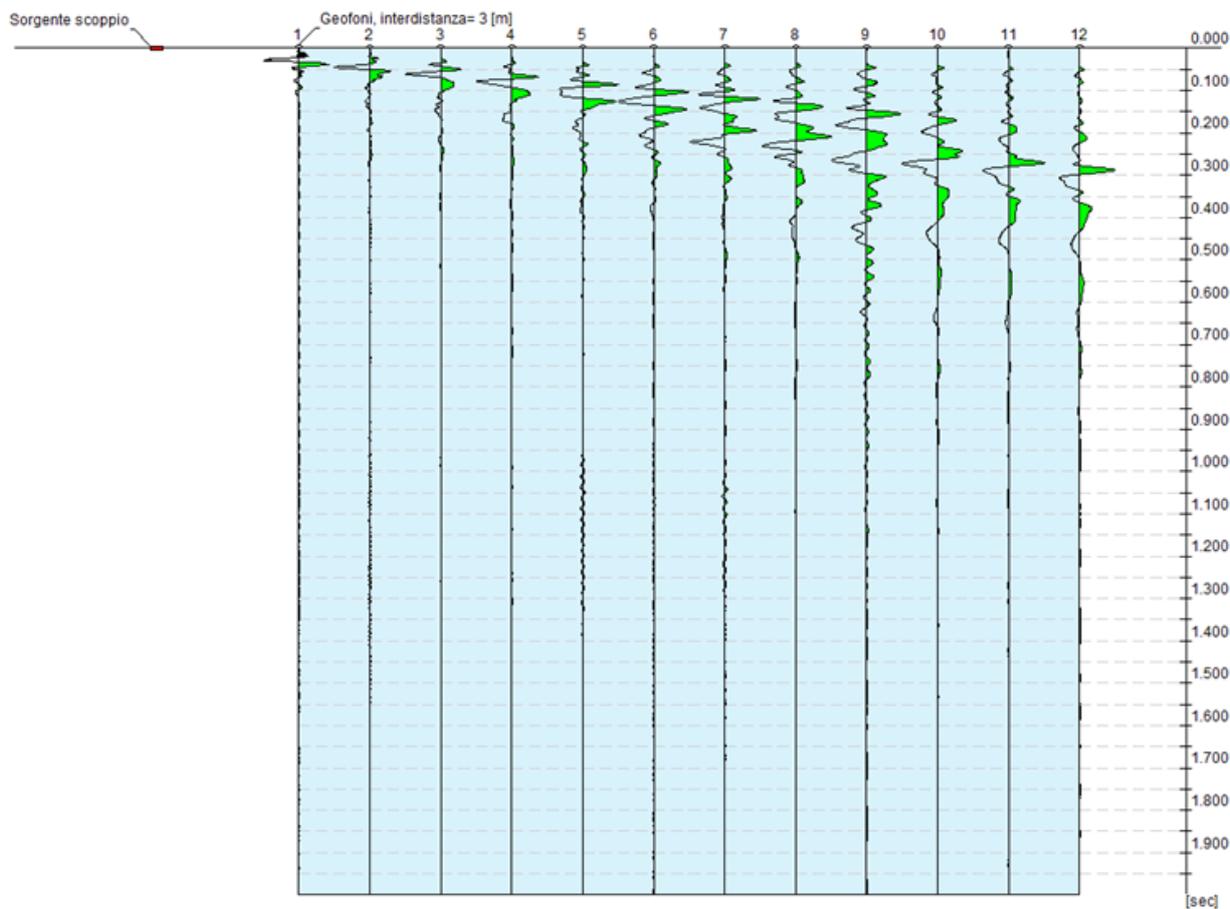
Analisi del segnale con tecnica MASW

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

MASW 1

Tracce

| | |
|---------------------------------|--------|
| N. tracce | 12 |
| Durata acquisizione [msec] | 2000.0 |
| Interdistanza geofoni [m] | 3.0 |
| Periodo di campionamento [msec] | 1.00 |

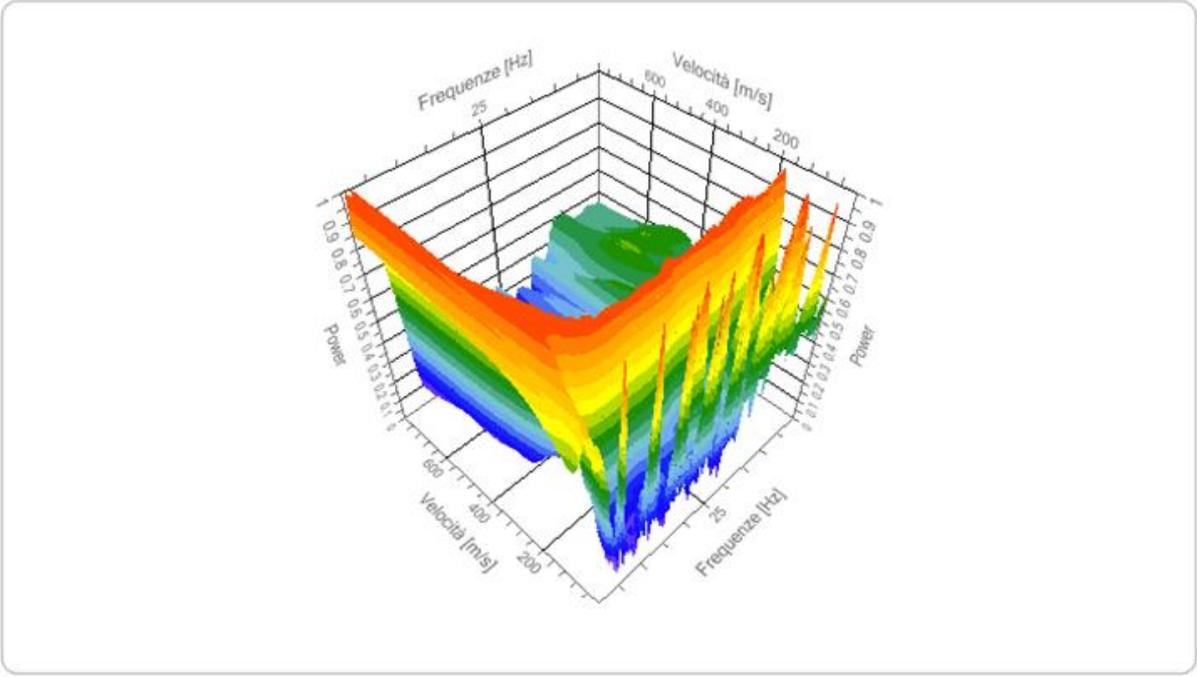


Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Analisi spettrale

| | |
|--|-----|
| Frequenza minima di elaborazione [Hz] | 1 |
| Frequenza massima di elaborazione [Hz] | 50 |
| Velocità minima di elaborazione [m/sec] | 1 |
| Velocità massima di elaborazione [m/sec] | 800 |
| Intervallo velocità [m/sec] | 1 |

Spettro Velocità di fase - Frequenze

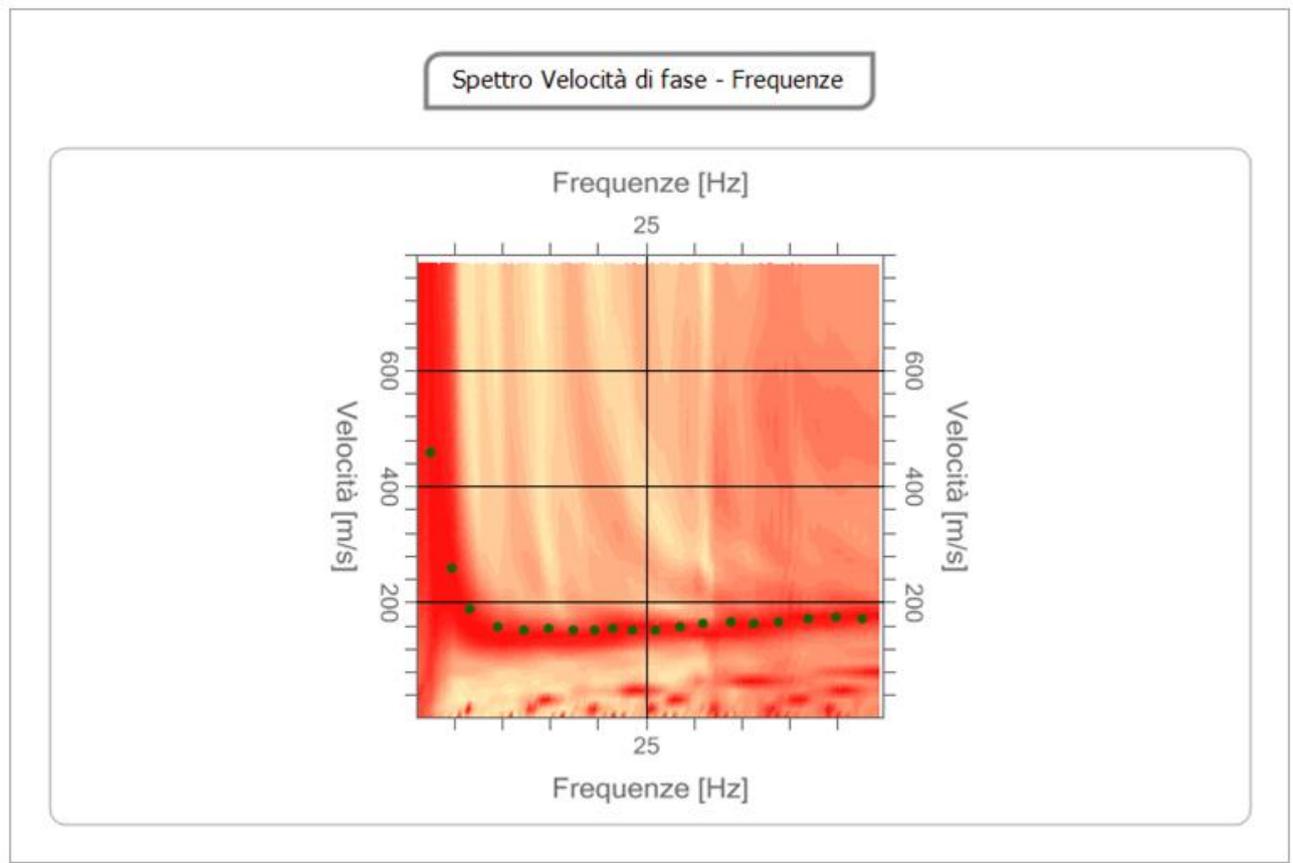


Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Curva di dispersione

| n. | Frequenza [Hz] | Velocità [m/sec] |
|----|-------------------|---------------------|
| 1 | 2.5 | 457.6 |
| 2 | 4.7 | 259.3 |
| 3 | 6.7 | 187.2 |
| 4 | 9.5 | 157.2 |
| 5 | 12.2 | 151.2 |
| 6 | 14.8 | 154.2 |
| 7 | 17.4 | 151.2 |
| 8 | 19.6 | 151.2 |
| 9 | 21.6 | 154.2 |
| 10 | 23.7 | 151.2 |
| 11 | 26.0 | 152.5 |
| 12 | 28.6 | 157.2 |
| 13 | 31.0 | 163.2 |
| 14 | 34.0 | 166.2 |
| 15 | 36.4 | 163.2 |
| 16 | 39.0 | 166.2 |
| 17 | 41.9 | 172.2 |
| 18 | 44.9 | 175.2 |
| 19 | 47.6 | 172.2 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353



Inversione

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|------------|------------|
| 1 | 4.41 | 4.41 | 1800.0 | 0.35 | 294.8 | 180.5 |
| 2 | 10.09 | 5.68 | 1900.0 | 0.3 | 301.5 | 184.7 |
| 3 | 17.09 | 7.00 | 2000.0 | 0.3 | 361.9 | 221.6 |
| 4 | oo | oo | 2200.0 | 0.25 | 1320.9 | 808.9 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

2 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: DARMACEM
 Cantiere: RECUPERO INERTI
 Località: SANTE MARIE

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Rif. Norme | DIN 4094 |
| Peso Massa battente | 63,5 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0,75 m |
| Peso sistema di battuta | 8 Kg |
| Diametro punta conica | 50,46 mm |
| Area di base punta | 20 cm ² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso aste a metro | 6,3 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0,80 m |
| Avanzamento punta | 0,20 m |
| Numero colpi per punta | N(20) |
| Coeff. Correlazione | 1,504 |
| Rivestimento/fanghi | No |
| Angolo di apertura punta | 90 ° |

DPSH





Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere 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 |



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

| | | | |
|--------------------------------|------|-------------|----|
| Super pesante (Super Heavy) | DPSH | $M \geq 60$ | 25 |
|--------------------------------|------|-------------|----|

Penetrometri in uso in Italia

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

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

Correlazione con N_{spt}

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

$$NSPT = \beta_i \cdot N$$

Dove:

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

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.



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

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

Calcolo di (N₁)₆₀

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

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma_{v0}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

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

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

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

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

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

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 σ_{Nspt} 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:

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

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 m ed immersione $d = 1$ m.

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

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

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 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

- 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). C_u (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, (C_u-N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (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)



Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

- 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 -Mo (Eed) (Kg/cm^2)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Qc/Nspt=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($Nspt < 30$) medie e molli ($Nspt < 4$) e argille sabbiose ($Nspt = 6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- 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.

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

PROVA DPSH 1

Strumento utilizzato DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
 Prova eseguita in data 01/08/2016
 Profondità prova 7,80 mt
 Quota 760,00 mt
 Falda rilevata -2.8 mt
 DOTT. GEOL. RUBEIS LUCA

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondità (m) | Nr. Colpi | 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) |
|----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0,20 | 14 | 0,805 | 109,47 | 136,05 | 5,47 | 6,80 |
| 0,40 | 29 | 0,751 | 211,58 | 281,82 | 10,58 | 14,09 |
| 0,60 | 16 | 0,797 | 123,92 | 155,49 | 6,20 | 7,77 |
| 0,80 | 9 | 0,843 | 73,76 | 87,46 | 3,69 | 4,37 |
| 1,00 | 6 | 0,840 | 45,30 | 53,94 | 2,26 | 2,70 |
| 1,20 | 2 | 0,836 | 15,04 | 17,98 | 0,75 | 0,90 |
| 1,40 | 2 | 0,833 | 14,97 | 17,98 | 0,75 | 0,90 |
| 1,60 | 1 | 0,830 | 7,46 | 8,99 | 0,37 | 0,45 |
| 1,80 | 2 | 0,826 | 14,86 | 17,98 | 0,74 | 0,90 |
| 2,00 | 3 | 0,823 | 20,65 | 25,09 | 1,03 | 1,25 |
| 2,20 | 2 | 0,820 | 13,72 | 16,73 | 0,69 | 0,84 |
| 2,40 | 1 | 0,817 | 6,83 | 8,36 | 0,34 | 0,42 |
| 2,60 | 1 | 0,814 | 6,81 | 8,36 | 0,34 | 0,42 |
| 2,80 | 3 | 0,811 | 20,36 | 25,09 | 1,02 | 1,25 |
| 3,00 | 3 | 0,809 | 18,97 | 23,46 | 0,95 | 1,17 |
| 3,20 | 2 | 0,806 | 12,60 | 15,64 | 0,63 | 0,78 |
| 3,40 | 3 | 0,803 | 18,84 | 23,46 | 0,94 | 1,17 |
| 3,60 | 3 | 0,801 | 18,78 | 23,46 | 0,94 | 1,17 |
| 3,80 | 5 | 0,798 | 31,21 | 39,09 | 1,56 | 1,95 |
| 4,00 | 4 | 0,796 | 23,37 | 29,36 | 1,17 | 1,47 |
| 4,20 | 5 | 0,794 | 29,13 | 36,70 | 1,46 | 1,84 |
| 4,40 | 5 | 0,791 | 29,05 | 36,70 | 1,45 | 1,84 |
| 4,60 | 4 | 0,789 | 23,17 | 29,36 | 1,16 | 1,47 |
| 4,80 | 6 | 0,787 | 34,67 | 44,04 | 1,73 | 2,20 |
| 5,00 | 7 | 0,785 | 38,01 | 48,42 | 1,90 | 2,42 |
| 5,20 | 6 | 0,783 | 32,50 | 41,50 | 1,62 | 2,08 |
| 5,40 | 7 | 0,781 | 37,82 | 48,42 | 1,89 | 2,42 |
| 5,60 | 7 | 0,779 | 37,73 | 48,42 | 1,89 | 2,42 |
| 5,80 | 6 | 0,777 | 32,26 | 41,50 | 1,61 | 2,08 |
| 6,00 | 7 | 0,775 | 35,50 | 45,78 | 1,78 | 2,29 |
| 6,20 | 6 | 0,774 | 30,36 | 39,24 | 1,52 | 1,96 |
| 6,40 | 5 | 0,772 | 25,25 | 32,70 | 1,26 | 1,64 |
| 6,60 | 6 | 0,770 | 30,23 | 39,24 | 1,51 | 1,96 |
| 6,80 | 7 | 0,769 | 35,19 | 45,78 | 1,76 | 2,29 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

| | | | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|------|------|
| 7,00 | 6 | 0,767 | 28,55 | 37,21 | 1,43 | 1,86 |
| 7,20 | 6 | 0,766 | 28,49 | 37,21 | 1,42 | 1,86 |
| 7,40 | 7 | 0,764 | 33,18 | 43,42 | 1,66 | 2,17 |
| 7,60 | 7 | 0,763 | 33,11 | 43,42 | 1,66 | 2,17 |
| 7,80 | 7 | 0,761 | 33,05 | 43,42 | 1,65 | 2,17 |

| Prof. Strato (m) | NPDM | Rd (Kg/cm ²) | Tipo | Clay Fraction (%) | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Tension e efficace (Kg/cm ²) | Coeff. di correlaz. con Nspt | Nspt | Descrizione |
|------------------|------|--------------------------|------------|-------------------|--|---|--|------------------------------|-------|---------------|
| 0,8 | 18 | 174,92 | Incoerente | 0 | 2,1 | 2,02 | 0,08 | 1,5 | 27,07 | riporto |
| 7,8 | 4,57 | 32,5 | Incoerente | 0 | 1,62 | 1,9 | 0,63 | 1,5 | 6,87 | limo sabbioso |

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Densità relativa (%) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|---------------|----------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Skempton 1986 | 60,38 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Skempton 1986 | 25,65 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Owasaki & Iwasaki | 38,27 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Owasaki & Iwasaki | 26,72 |

Modulo di Young

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm ²) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Schmertmann (1978) (Sabbie) | 216,56 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Schmertmann (1978) (Sabbie) | 54,96 |

Modulo Edometrico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | 83,07 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | 41,58 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

Classificazione AGI

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Classificazione A.G.I | MODERATAMENTE ADDENSATO |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |

Peso unità di volume

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unità di Volume (t/m ³) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------|--|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Meyerhof ed altri | 2,10 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Meyerhof ed altri | 1,62 |

Peso unità di volume saturo

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unità Volume Saturo (t/m ³) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 2,02 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Terzaghi-Peck 1948-1967 | 1,90 |

Modulo di Poisson

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | (A.G.I.) | 0,3 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | (A.G.I.) | 0,34 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | G (Kg/cm ²) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Ohsaki (Sabbie pulite) | 1443,62 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Ohsaki (Sabbie pulite) | 397,79 |

Velocità onde di taglio

| Descrizione | Nspt | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocità onde di taglio (m/s) |
|--------------------------|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Strato (1) riporto | 27,07 | 0,00-0,80 | 27,07 | Ohta & Goto (1978) Limi | 101,42 |
| Strato (2) limo sabbioso | 6,87 | 0,80-7,80 | 6,87 | Ohta & Goto (1978) Limi | 126,52 |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

3 REPORT HVSR

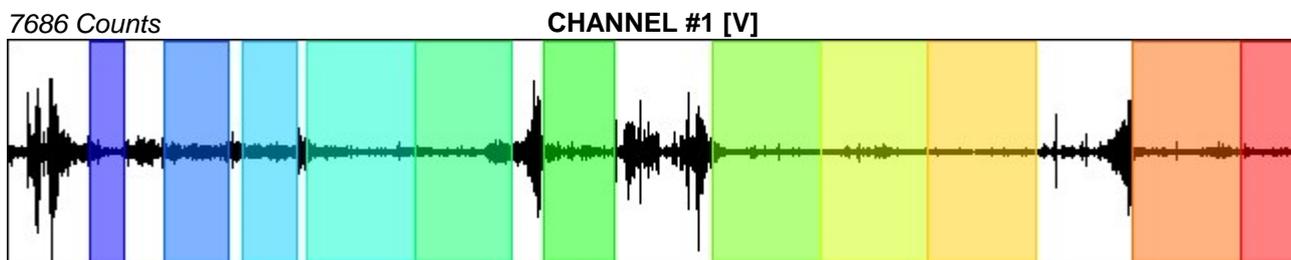
PLACE INFORMATION

| | |
|---------------------------|---|
| <i>Place ID:</i> | CASTELMENARDO |
| <i>Address:</i> | CASTELMENARDO BORGOROSE RIETI |
| <i>Latitude:</i> | 42.21094591 |
| <i>Longitude:</i> | 13.22116613 |
| <i>Coordinate system:</i> | WGS84 |
| <i>Elevation:</i> | 802 m s.l.m. |
| <i>Weather:</i> | ASSENTE |
| <i>Notes:</i> | <p>Le condizioni a contorno che hanno caratterizzato la misura, sono state:</p> <p>VENTO ASSENTE; CIELO SERENO; BUON ACCOPPIAMENTO STRUMENTO TERRENO; ORIENTAZIONE VERSO NORD; SORGENTE DI RUMORE DISCONTINUA NELLE VICINANZE DATA DA ASSE STRADALE ORIENTATO CIRCA NORD-SUD.</p> |

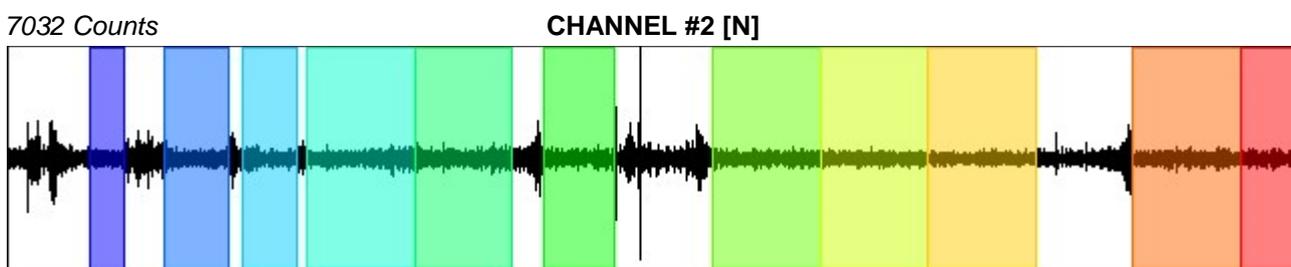


SIGNAL AND WINDOWING

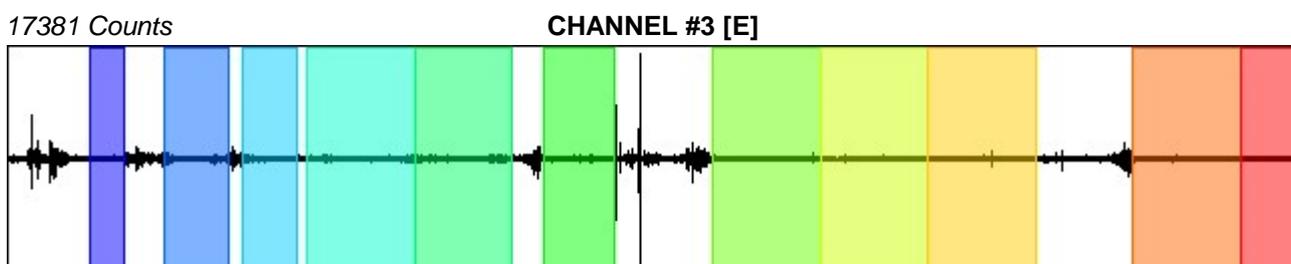
| | |
|--------------------------------|---------------------|
| <i>Sampling frequency:</i> | 300 Hz |
| <i>Recording start time:</i> | 2016/08/06 19:59:59 |
| <i>Recording length:</i> | 20 min |
| <i>Windows count:</i> | 11 |
| <i>Average windows length:</i> | 77.44 |
| <i>Signal coverage:</i> | 70.98% |



-11530 Counts

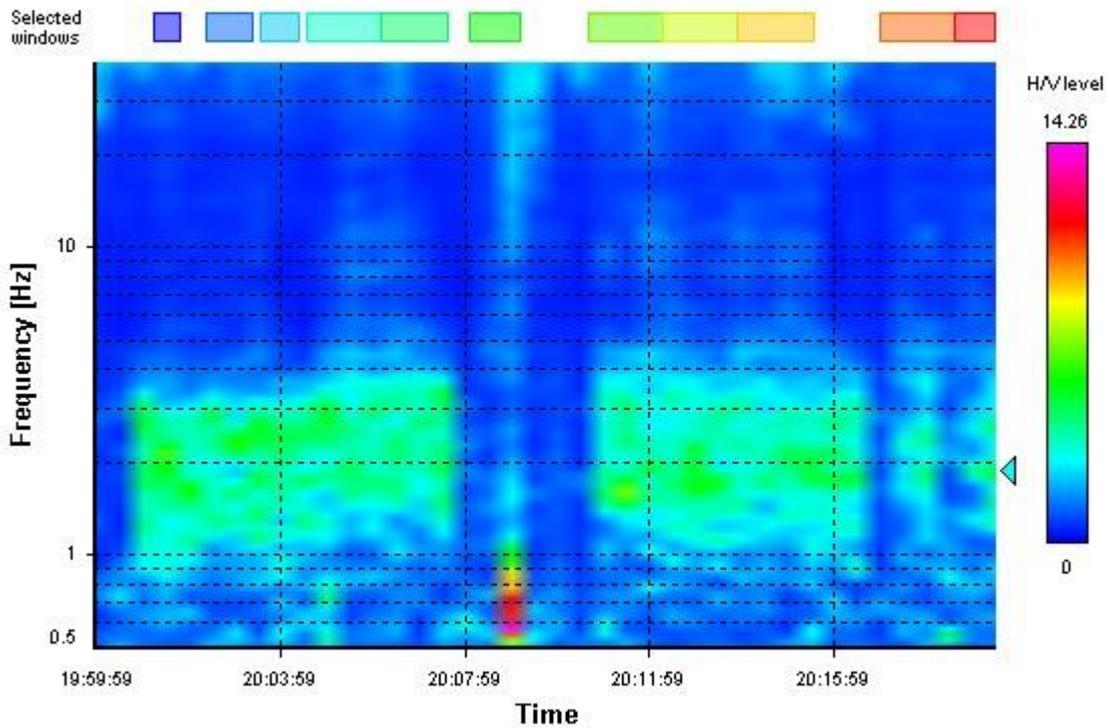


-6440 Counts

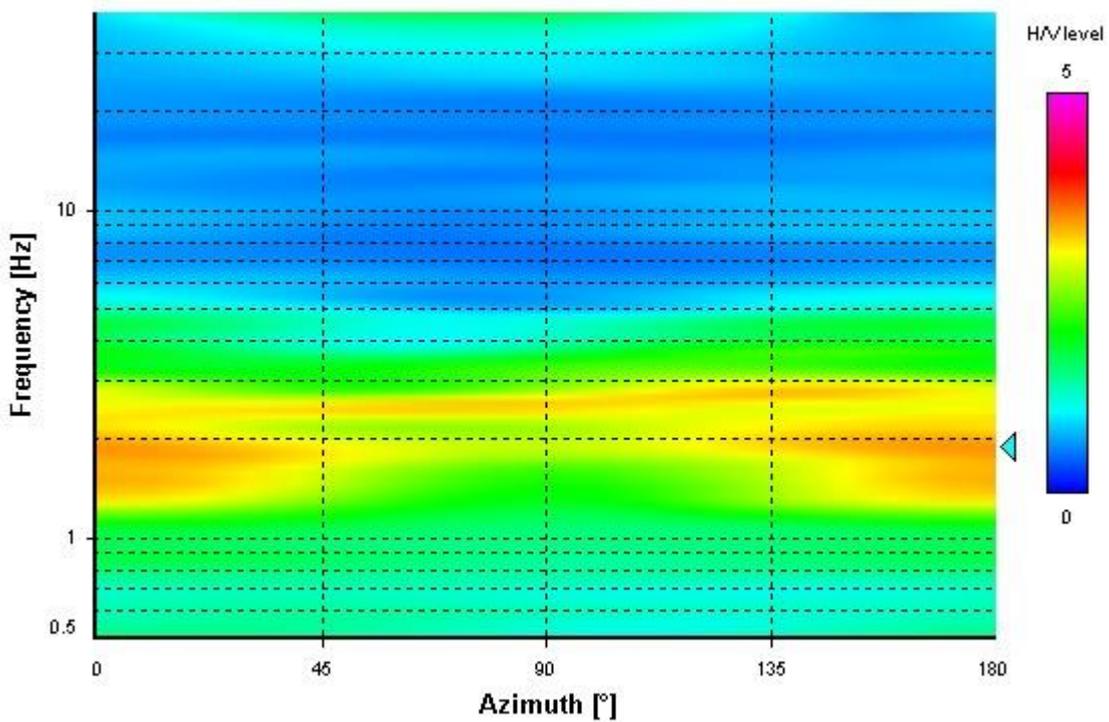


-18326 Counts

HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



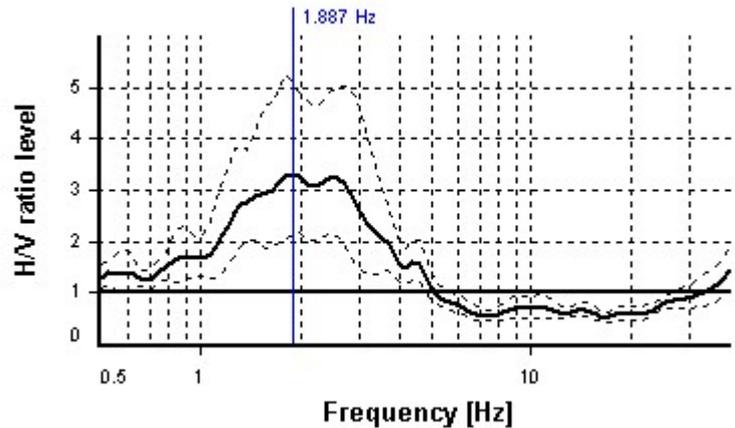
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.887 Hz

A_0 amplitude = 3.305

Average $f_0 = 1.948 \pm 0.369$



| HVSR curve reliability criteria | | |
|---|---|-----------|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 11 valid windows (length > 5.3 s) out of 11 | OK |
| $n_c(f_0) > 200$ | 1606.93 > 200 | OK |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ | Exceeded 0 times in 31 | OK |
| HVSR peak clarity criteria | | |
| $\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ | 0.81363 Hz | OK |
| $\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | 4.00366 Hz | OK |
| $A_0 > 2$ | 3.31 > 2 | OK |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | 4.53% <= 5% | OK |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.36939 >= 0.18865 | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 1.54337 < 1.78 | OK |
| Overall criteria fulfillment | | OK |

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

DICHIARAZIONE DI CONFORMITA' e CERTIFICATO DI CONTROLLO QUALITA'

SARA electronic instruments s.r.l.
Via Mercuri 4 - 06129 PERUGIA - ITALY
 Codice Fiscale e Partita IVA Nr. IT00380320549
 N.Reg.RAEE: IT08020000001128
 Telefono +39 075 5051014 - Fax +39 075 5006315
 email: info@sara.pg.it URL: www.sara.pg.it

dichiara che lo strumento modello: Geobox nr. di serie: 1459



è stato progettato, prodotto e/o testato risultando conforme alle seguenti norme armonizzate: EN-61326-1, EN-61326-2-1, EN-61000-3-2, EN-61000-3-3, EN-61000-4-2, EN-61000-4-3, EN-61000-4-4, EN-61000-4-5, EN-61000-4-6, EN-61000-4-8, EN-61000-4-11.



è soggetto alla direttiva RAEE e quindi va smaltito opportunamente. Richiedere maggiori informazioni al produttore, se necessario. Conformità ROHS: non risulta richiesta per la classe di strumento cui appartiene (apparecchiature scientifiche).



prima della consegna è stato sottoposto a tutti i test funzionali richiesti nello specifico ed è risultato conforme agli standard applicabili.

Si raccomanda un controllo e/o calibrazione periodica ogni 2 anni dalla data di rilascio del presente documento.

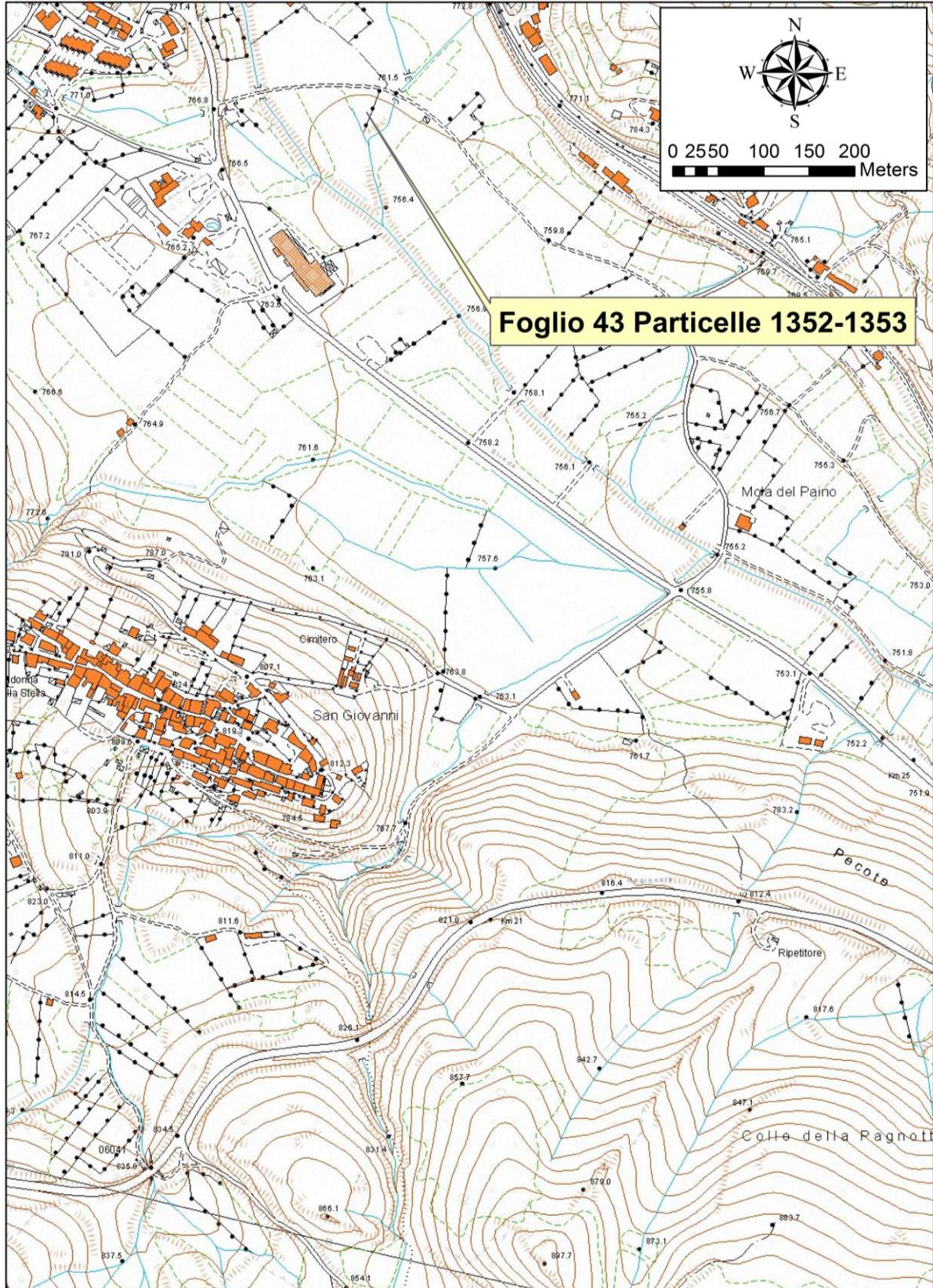


Il direttore tecnico: Mauro Mariotti

 Data di rilascio: 29/02/2016

Progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti non pericolosi provenienti da attività di demolizione e costruzione con operazioni di messa in riserva R13 e recupero R5 identificato al Foglio 43, Particella 1352, 1353

4 CTR 1:5000



6 CTR 1:25000

