

**Regione Abruzzo  
Provincia di L'Aquila  
Comune di Aielli**



**Oggetto:**

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

Dott. Geologo

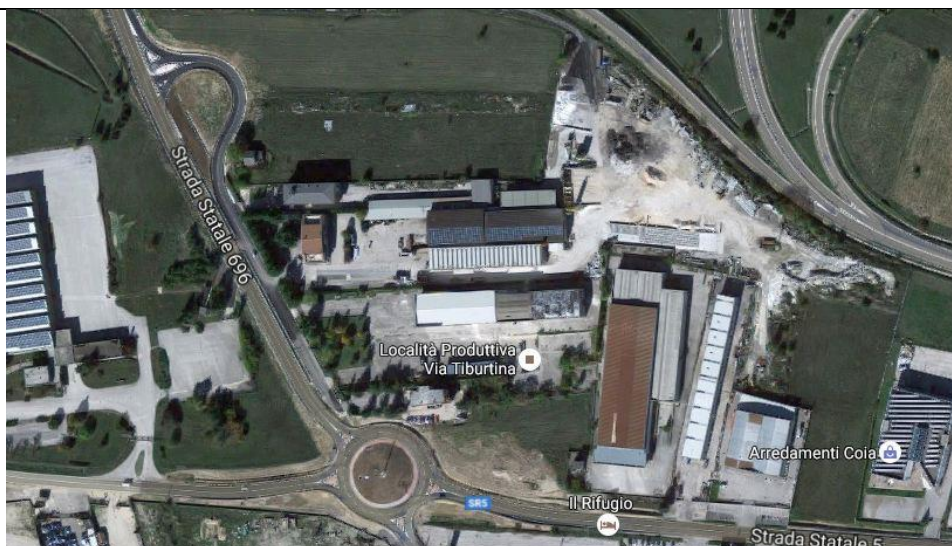
**Luca Rubeis**

Committente:

**EKOREC di Mascitti A.  
e Mascitti P. s.n.c.**

Indirizzo:

**Via Fontegrande, 23  
67043 - Celano (AQ)**



## RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA E SISMICA

**LUOGO:  
Sant'Anatolia di Borgorose  
(RI)**

**DATA DI EMISSIONE:  
23/09/2016**

**CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA  
I**

**COORDINATE WGS84 33N:  
Lon: 13.559192      Lat: 42.05955**

**TIMBRO E FIRMA:**

**FIRMA DIGITALE:**

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.



**Dott. Geol. Luca Rubeis  
Via Equicola Comunale, 75 - 02021  
Sant'Anatolia, Borgorose (RI)  
Tel. 349 77 41 239  
e-mail: [rubeis.luca@gmail.com](mailto:rubeis.luca@gmail.com)  
P.e.c.: [luca.rubeis@pec.geologilazio.it](mailto:luca.rubeis@pec.geologilazio.it)  
P.I.: 01143070579**

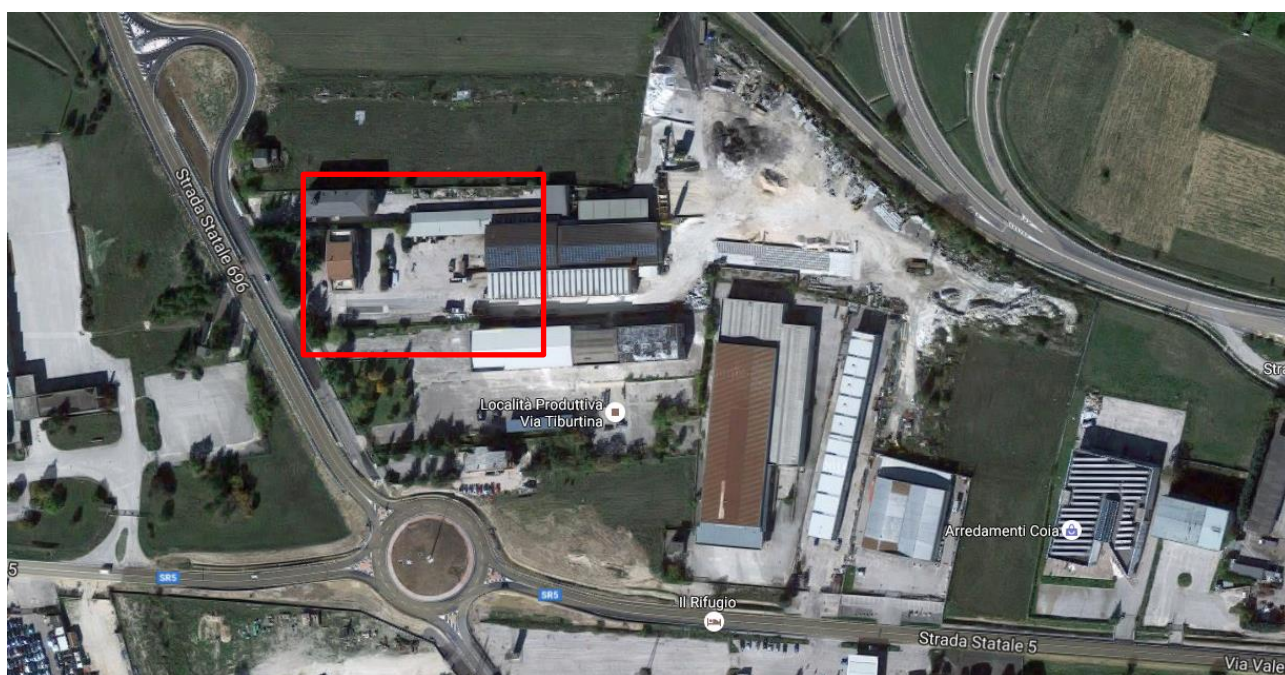
## **INDICE**

<b>1</b>	<b><u>Premessa e piano di indagine</u></b>	<b>Pag. 3</b>
<b>2</b>	<b><u>Descrizione dell'intervento</u></b>	<b>Pag. 5</b>
<b>3</b>	<b><u>Inquadramento geografico</u></b>	<b>Pag. 6</b>
<b>4</b>	<b><u>Assetto Geologico e Geomorfologico</u></b>	<b>Pag. 8</b>
	<b><u>4.1 Inquadramento geomorfologico e geologico di dettaglio</u></b>	<b>Pag.12</b>
	<b><u>4.2 PAI Piano d'assetto idrogeologico</u></b>	<b>Pag.16</b>
<b>5</b>	<b><u>Assetto Idrogeologico</u></b>	<b>Pag. 18</b>
<b>6</b>	<b><u>Sismicità e pericolosità sismica</u></b>	<b>Pag. 23</b>
	<b><u>6.1 inquadramento sismotettonico</u></b>	<b>Pag.28</b>
	<b><u>6.2 Sismicità storica</u></b>	<b>Pag.30</b>
<b>7</b>	<b><u>Indagini in Situ</u></b>	<b>Pag. 34</b>
	<b><u>7.1 Prove sismiche di tipo MASW</u></b>	<b>Pag.35</b>
	<b><u>7.2 Prove Penetrometriche DPSH</u></b>	<b>Pag.40</b>
	<b><u>7.3 Misura di rumore ambientale prova HVSR</u></b>	<b>Pag.44</b>
	<b><u>7.4 Prove di permeabilità</u></b>	<b>Pag.49</b>
<b>8</b>	<b><u>Azioni sismiche di progetto</u></b>	<b>Pag. 53</b>
<b>9</b>	<b><u>Stratigrafia del sottosuolo e Caratterizzazione geotecnica</u></b>	<b>Pag. 56</b>
<b>10</b>	<b><u>Conclusioni</u></b>	<b>Pag. 57</b>
<b>11</b>	<b><u>Allegati:</u></b>	<b>Pag. 58</b>

## **1 PREMESSA E PIANO D'INDAGINE**

Facendo seguito all'incarico conferitomi dalla società EKOREC di Mascitti A. e Mascitti P. 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 Aielli (AQ).

Il progetto, prevede la **realizzazione e gestione di un impianto di recupero rifiuti derivanti dallo spazzamento stradale, dalla pulizia delle caditoie e della eliminazione della sabbia. Il sito è identificato catastalmente al Foglio 20, Particella 183.**



**Figura 1:** Ubicazione del lotto relativo all'opera 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 Aielli è un territorio ad elevata pericolosità sismica (classificato in zona sismica 1).***

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.2 prove penetrometriche superpesanti DPSH (Dinamic Probing Super Heavy; DPSH) terebrate 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).*
- *N.1 prova di permeabilità in foro.*

Tutte le succitate prove ed indagini sono state ubicate all'interno 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 perimetrate dall'Autorità di Bacino del Liri Garigliano Volturno nel Bacino idrografico del Fiume Giovenco e che su tale area non insistesse il Vincolo Idrogeologico.

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

## **2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO**

Attualmente all'interno del sito produttivo oggetto di intervento vengono gestite attività della ditta Lino Mascitti e Figli s.r.l. destinate alla produzione di manufatti in cls. Il progetto oggetto di autorizzazione consiste nella riconversione strutturale e funzionale di una porzione di sito esistente al fine di eseguire attività di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi. Nello specifico la ditta intende realizzare un impianto di recupero di rifiuti provenienti principalmente da:

- spazzamento stradale;
- pulizia delle caditoie e della eliminazione delle sabbie dei depuratori;
- processi di trattamento chimico e fisico di minerali non metalliferi;

L'attività di recupero consisterà nel sottoporre tali rifiuti ad un processo di lavaggio al fine di rimuovere i contaminanti (che vengono trasferiti alle particelle d'acqua) e rendere questi materiali idonei ad essere utilizzati come aggregati cementizi e bituminosi, in conformità con gli impieghi previsti dalla legislazione vigente. Le operazioni di recupero previste così come identificate dall'allegato C, Parte IV del D. Lgs. 152/2006 s.m.i., saranno le seguenti:

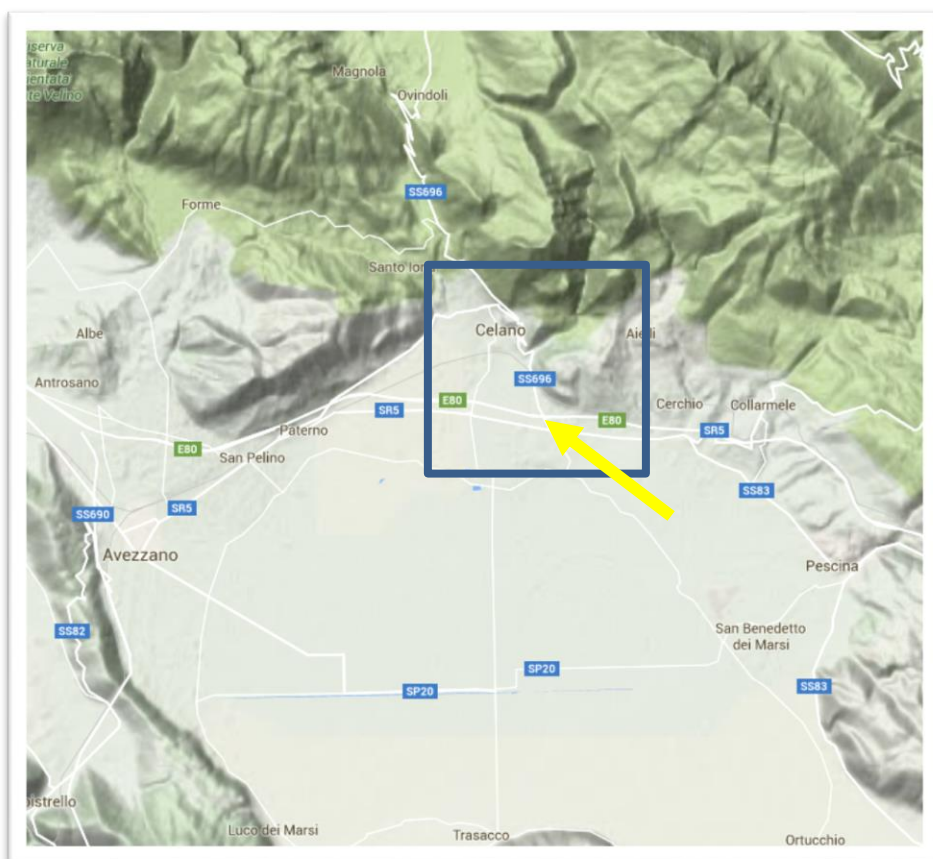
- R13 – messa in riserva dei rifiuti per sottoporli ad una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti);
- R12 – scambio di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate da R1 a R11;
- R5 – riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche.

Le opere civili e impiantistiche previste saranno le seguenti:

- installazione dell'impianto di trattamento all'interno di fabbricato esistente;
- adeguamento dell'impianto elettrico;
- adeguamento delle aree esterne attrezzate per lo stoccaggio dei rifiuti;
- adeguamento della rete di raccolta delle acque di piazzale e realizzazione dell'impianto di prima pioggia.

### 3 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

#### 2.1 Riferimenti cartografici ed ubicazione geografica

Il comune di Aielli, nel cui territorio ricade il sito in studio, è posto a N-E del Lago del Fucino, un grande bacino intramontano dell'Appennino Centrale con un'estensione di circa 900 Km<sup>2</sup>. La piana, è circondata da rilievi carbonatici come il Gruppo del Velino-Sirente del quale fa parte anche il Monte La Serra a N-W ed i rilievi della Marsica Orientale.

Topograficamente la zona in esame è posta ad una quota di circa **695 m s.l.m.** in una porzione di territorio caratterizzata da una superficie sub-pianeggiante, posta ai piedi del versante calcareo di M. Serra di Celano, sulla fascia di raccordo tra questa e la piana del Fucino, da cui dista qualche centinaio di metri.

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

- Coordinate WGS84 33N Lat:42.060528 Lon: 13.559192
- Coordinate ED50 Lat. 42.060528 Lon. 13.560097
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 Foglio 368112
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 foglio 368110
- Carta topografica in scala 1:25000 Foglio 368 sezione II Celano
- Al Catasto, Foglio 20 Particella 183

Per una migliore collocazione Geografica dell'Area interessata dall'intervento si è fatto uso della Nuova CTR Regione Lazio in Scala 1:5000 Foglio 368112 sovrapposta ad una immagine satellitare. La sovrapposizione, è stata realizzata in ambiente GIS. Si riporta uno stralcio di seguito.



**Figura 3:** Stralcio non in scala della Nuova CTR Regione Lazio in Scala 1:5000 Foglio 368112 shp.

#### **4 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

L'area in esame ricade all'interno della Carta Geologica d'Italia in Scala 1:50000 Foglio 368 Avezzano, (*progetto CARG*) in quello che era il Dominio di Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese.

In quest'area, a partire dal Lias, Giurassico inf., i movimenti estensionali legati al rift Tetideo, determinarono la fratturazione della Piattaforma Carbonatica che fino ad allora aveva compreso quello che in seguito diventò dominio Umbro-Marchigiano, tramite l'allineamento tettonico noto come Linea Olevano – Antrodoco – (Posta -Ancona-Anzio).

Una delle caratteristiche peculiari delle successioni di piattaforma Laziale-Abruzzese è che nella maggior parte dei casi si ha l'assenza di sedimenti del Paleogene che corrisponde ad uno "iatus" deposizionale di circa 40 milioni di anni. (Note illustrative del F°367 Tagliacozzo S.G.I.). Di norma infatti i calcari miocenici poggiano in perfetta "paraconcordanza con marcata stilolizzazione" su termini del Cretacico sup. (*Brandano, 2002*).

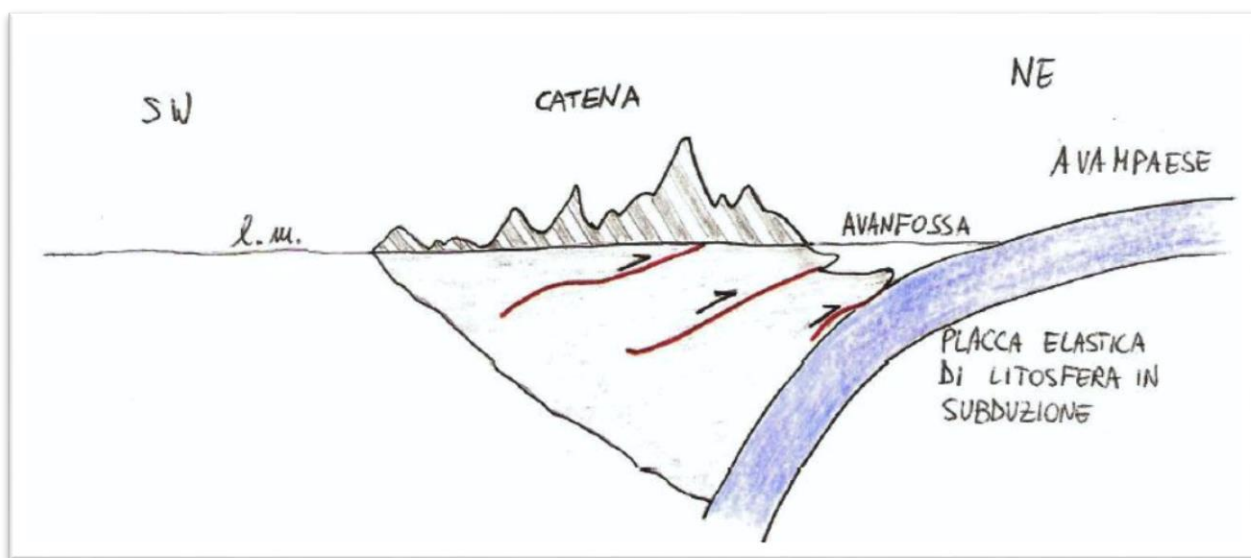
Le differenze tra piattaforma e bacino che caratterizzano il periodo Giurassico–Miocene in quest'area tendono ad esaurirsi nel Miocene medio con la deposizione dei Calcari a Briozoi e Litotamni (*Langhiano p.p. – Serravalliano*), questi infatti chiudono le sequenze deposizionali pre-terrigene sia nella piattaforma che nel bacino, anche se con facies diverse (*Formazione di Guadagnolo*), testimoniando l'instaurarsi di una rampa omoclinale progradante verso W.

L'annegamento della piattaforma avviene al top del Miocene medio con l'inizio della sedimentazione emipelagica delle Marne a Orbulina (*Serravalliano p.p. – Messiniano inf.*). Questi sedimenti emipelagici, sono costituiti prevalentemente da marne e da marne argillose a foraminiferi planctonici, e drappeggiano la successione carbonatica della piattaforma miocenica laziale-abruzzese.

Il passaggio litologico Calcarei a Briozoi e Litotamni - Marne a Orbulina è ben identificabile per la presenza di un *Hard-Ground* conseguente all'iniziale flessione dell'avampaese dovuta all'avanzamento della catena, infatti a partire dal Messiniano, quest'area viene pienamente coinvolta nella fase compressiva Appenninica con la formazione di sistemi a pieghe e sovrascorrimenti a prevalente direzione NW-SE e generale direzione di trasporto verso NE.

Nel regime tettonico compressivo la deformazione procede, con una determinata vergenza conseguente alla regionale distribuzione degli sforzi. In tale ottica si sviluppa ed evolve un sistema

orogenico (sistema catena-avanfossa-avanpaese) costituito da una fascia deformata (catena), da un bacino sedimentario caratterizzato da un'elevata subsidenza, ubicato a ridosso della porzione frontale della catena (avanfossa) e, al di là di questo bacino, da una zona crostale non ancora interessata da deformazione (avanpaese). Così come riportato nella figura che segue.



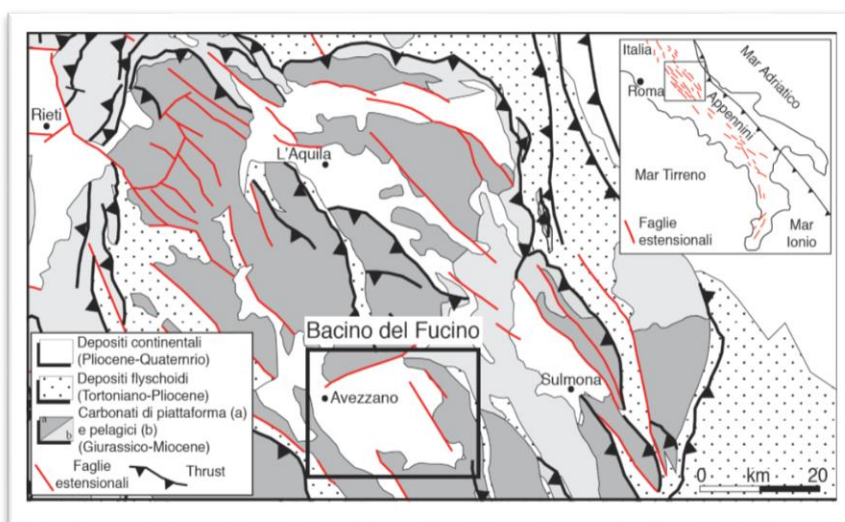
**Figura 4:** Schema el sistema Catena-Avanfossa-Avanpaese tratto da Guida Geologica Regionale Lazio.

Nell'avanfossa, ubicata tra la catena e l'avanpaese, si depongono ingenti spessori di sedimenti torbiditici silicoclastici, derivanti dallo smantellamento del nucleo metamorfico della dorsale alpina. I depositi torbiditici dell'Appennino, mostrano una migrazione nel tempo verso il settore orientale della penisola.

In pratica quello che si è osservato è l'età progressivamente più giovane dei depositi di avanfossa progredendo dai settori più occidentali verso quelli più orientali (*Note illustrative CARG Foglio 359 L'Aquila*).

Successivamente, il tutto è stato complicato dall'instaurarsi di un regime estensionale dovuto all'apertura del Bacino di retroarco Tirrenico. Infatti, dal Pliocene inferiore fino ad oggi, la catena appenninica ha subito un sollevamento fino a raggiungere condizioni subaeree, che hanno favorito il processo di erosione del substrato roccioso (rocce carbonatiche e flyschoidi) (*Galadini et al., 2003*). Il sollevamento è avvenuto contemporaneamente allo sviluppo di faglie estensionali, le quali hanno iniziato a disarticolare e smembrare il substrato roccioso. L'attività delle faglie estensionali ha generato numerose depressioni di origine tettonica (piane di Rieti, Sulmona, L'Aquila, Isernia, Sora ecc.), tra cui la piana del Fucino. Queste depressioni si sono formate in

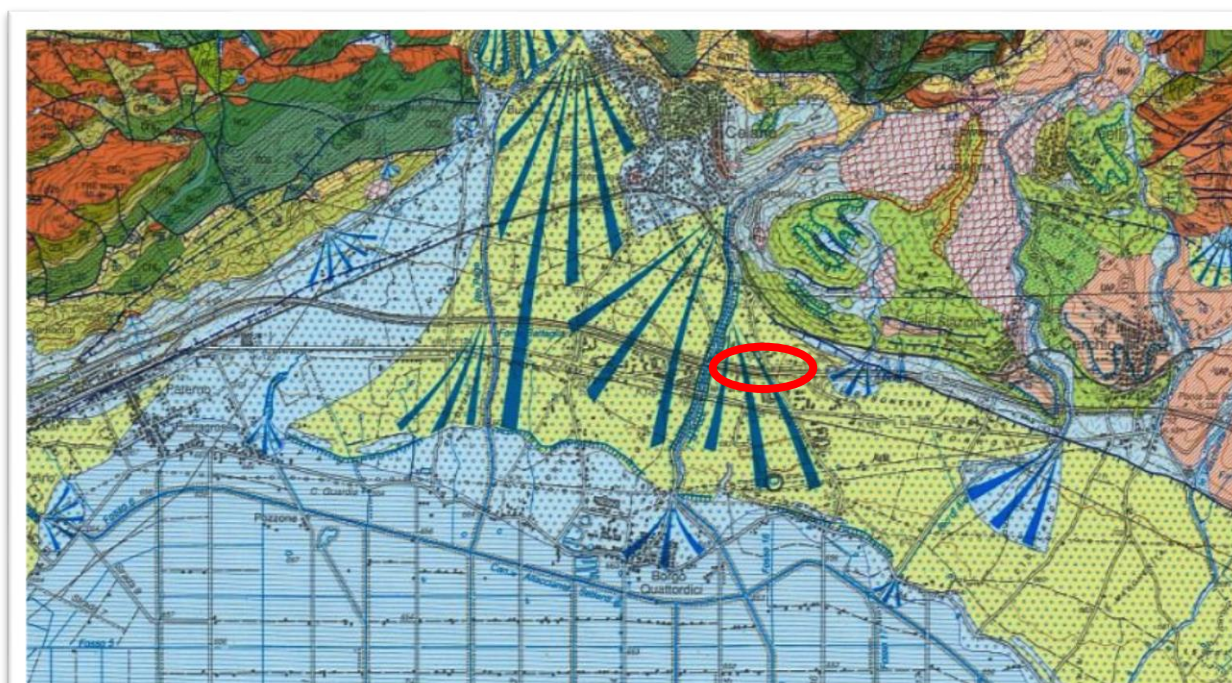
corrispondenza delle porzioni di substrato che venivano progressivamente ribassate dal movimento delle faglie. In questo modo i sedimenti provenienti dall'erosione del substrato roccioso affiorante andavano a riempire le depressioni tettoniche. La deposizione di tali sedimenti avveniva principalmente in ambiente palustre e/o lacustre o lungo i versanti dei rilievi carbonatici. Questo processo, tuttora attivo, è il responsabile della sismicità storica e recente di tutta l'area abruzzese (Galli *et al.*, 2008).



**Figura 5:** Inquadramento geologico dell'Appennino centrale, con evidenziate le maggiori depressioni di origine tettonica (piane di Rieti, Sulmona, L'Aquila, del Fucino) e le faglie estensionali più importanti.

Le strutture compressive della catena, sono dunque dislocate dalle deformazioni distensive. Queste come detto hanno agito a partire dal Pliocene superiore, almeno nei settori occidentali, e sono perdurate per tutto il Quaternario.

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 368 Avezzano Progetto CARG.



**Figura 6:** stralcio della Carta Geologica in scala 1: 50000 progetto CARG Foglio 368 Avezzano.

### **Olo**

*Depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso sabbiosi. Depositi palustri argilloso limosi. Depositi detritici di versante. Giacciono in discordanza angolare sui depositi più antichi. OLOCENE –ATTUALE*

### **AVM Sintema di Valle Majelama**

*Depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso sabbiosi e sabbioso siltosi. Depositi detritici di versante. Giacciono in discordanza sul sintema più antico. PLEISTOCENE Sup.*

### **AP Supersintema di Aielli Pescara**

*Depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso sabbiosi anche poco elaborati alternati a depositi detritici di versante anche molto grossolani. Si intercalano a depositi lacustri sabbioso siltosi anche a composizione prevalentemente carbonatica ed a depositi palustri siltosi-argillosi giacciono in discordanza angolare con il substrato PLIOCENE PLEISTOCENE*

### **CBZ3 Calcareniti a briozoi e Litotamni**

*Calcareniti biancastre e grige a briozoi e frammenti di litotamni con intercalazioni di calcareniti fini saccaroidi bianche; calcareniti fini grigio giallastre a briozoi con intercalazioni di calcruditi a briozoi e pectinidi LANGHIANO-SERRAVALLIANO*

### **CFR1 Calcareniti a Macroforaminiferi**

*Calcareniti nocciola alternate a micriti a planctonici ed a calcareniti ricche in nummuliti ed alveoline . Passano verso il basso a calcareniti bianche massive o mal stratificate con ricca fauna a coralli CENOMANIANO – CAMPANIANO*

### **CTNd Calcari cristallini**

*Calcari bioclastici bianchi a frammenti di rudiste talora laminati o parzialmente ricristallizzati in strati da spessi a molto spessi CENOMANIANO p.p. MASTRICHTIANO*

**Il sito è posto a contatto tra i depositi Olocenici ed i depositi del Super Sintema di Valle Majelama.**

## **4.1 Inquadramento geomorfologico e geologico di dettaglio**

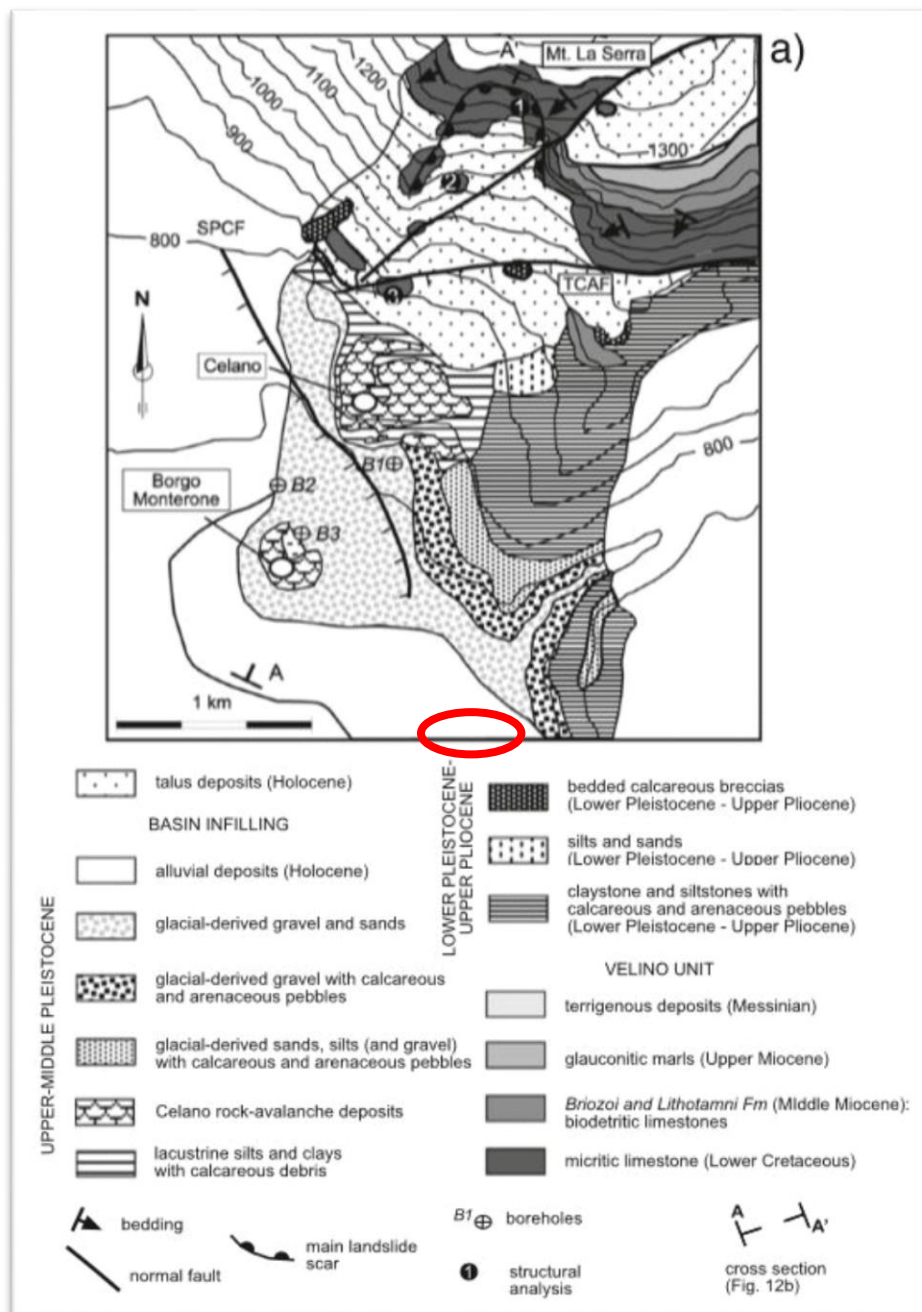
I sedimenti continentali dell'area sono rappresentati da brecce, sedimenti lacustri, fluvio-lacustri e fluvio-glaciali; essi costituiscono complessi dalla stratigrafia abbastanza ben definita e chiaramente incassati l'uno nell'altro.

Quelli più antichi (Pliocene), affioranti nella zona compresa tra Pescina, Aielli, Celano e alla base dei versanti dei Tre Monti, sono sedimenti di facies prevalentemente lacustre costituiti da alternanze di limi e sabbie che passano, verso l'alto, a ghiaie sabbiose; ammassi di grandi dimensioni di brecce calcaree appaiono intercalate nella parte superiore dei sedimenti suddetti.

I depositi successivi (Pleistocene Inferiore) che caratterizzano il sito d'intervento, sono costituiti da ghiaie con intercalazioni sabbiose, di origine in gran parte fluviale: essi affiorano per lo più nella zona a sud-est di Celano. Tali sedimenti sono stati depositi dai corsi d'acqua provenienti principalmente dall'asta fluviale del T. la Foce e dal Rio Pago, nonché dalle numerose incisioni del M. Serra direttamente drenanti verso il bacino del Fucino. La presenza del lago stesso ha comportato l'instaurarsi di vari cicli sedimentari legati all'alternanza delle diverse fasi di stazionamento della superficie lacustre, con episodi di basso stazionamento, in cui sono prevalsi fenomeni erosivi, e fasi di ingressione, che hanno permesso la deposizione di vari strati più o meno potenti di ghiaie, sabbie, limi, argille e conglomerato ciottoloso. I depositi quaternari sono di origine sedimentaria, del tipo limosoargilloso e sabbioso, probabilmente interposti a grandi livelli ghiaioso-sabbiosi di origine fluvio-lacustre. I depositi si trovano in eteropia di facies con le facies

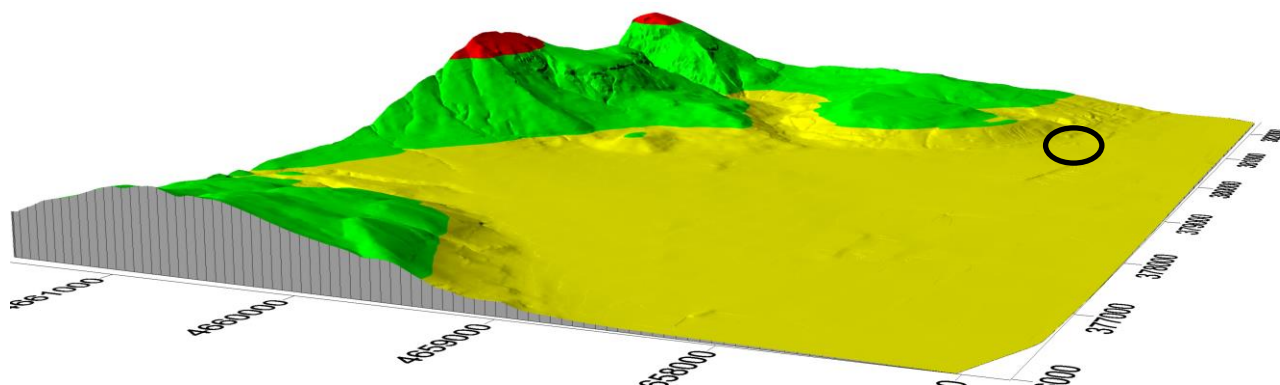
pelitiche di origine lacustre proprie della Piana del Fucino. Al tetto della successione è presente un modesto orizzonte detritico di natura colluviale, coperto da terreno vegetale rimaneggiato.

La base della successione è rappresentata dai depositi della formazione calcari Cretacici propri della Successione Laziale-Abruzzese.



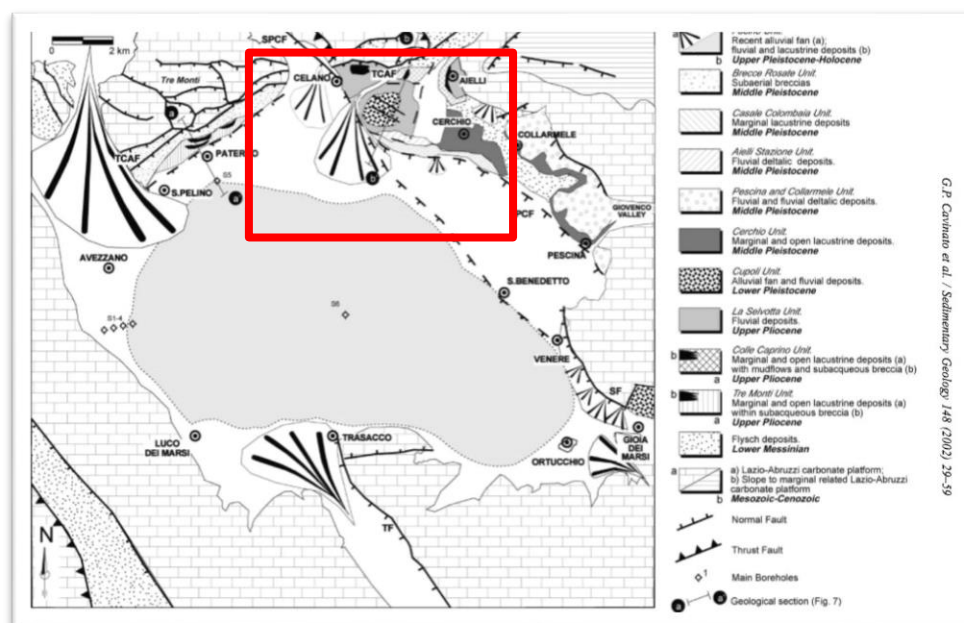
**Figura 7:** schema geologico strutturale da (Bianchifasani et alii 2008)

Morfologicamente la zona circostante il sito in esame presenta i tipici elementi delle zone intramontane con pendii acclivi e piane alluvionali.



**Figura 8:** DEM Digital Elevation Model della porzione di territorio nell'intorno di Celano (AQ).

Sulla superficie degradante verso il Fucino è incassata ed in continuità laterale, la conoide del Rio S. Potito, con depositi di natura limo sabbiosa e ghiaiosa rinvenibili nell'area oggetto d'indagine. L'assetto geomorfologico dell'area è caratterizzato dalla presenza di una conoide alluvionale che si sviluppa ai piedi dell'abitato di Celano ed occupa una superficie di circa 11 km<sup>2</sup> con la parte più distale affiorante in prossimità della Strada Circonfucense. Questa forma di accumulo è in realtà il risultato della interdigitazione e della sovrapposizione di almeno due grandi coni di deiezione con ampie curvature, generati in passato dagli attuali torrenti Rio S. Potito, proveniente da Ovindoli, e Rio La Foce, proveniente dalle Gole di Celano.



**Figura 9:** schema geologico strutturale della Piana del Fucino *Cavinato et al., 2002*.

L'area su cui sorgerà l'opera in progetto, è impostata su una superficie sub-pianeggiante, posta ai piedi del versante calcareo di M. Serra di Celano, sulla fascia di raccordo tra il colle di Celano e la

I livelli conglomeratici hanno spessore che varia da pochi cm a 1.5 metri, a questi si rovano intercalati strati sabbioso limosi di spessore che varia dai 20 cm fino ad 1 metro. Tali depositi fluvioglaciali, provengono da paleocorrenti che provenivano dal settore a N-E dell'area (Gole di Celano) e si immettevano nel bacino lacustre del Fucino.

La regimazione idrica ad opera dei canali di raccolta e delle opere di urbanizzazione primaria, riduce notevolmente la possibilità di fenomeni di alluvionamento, debris flow o tracimazione delle acque.

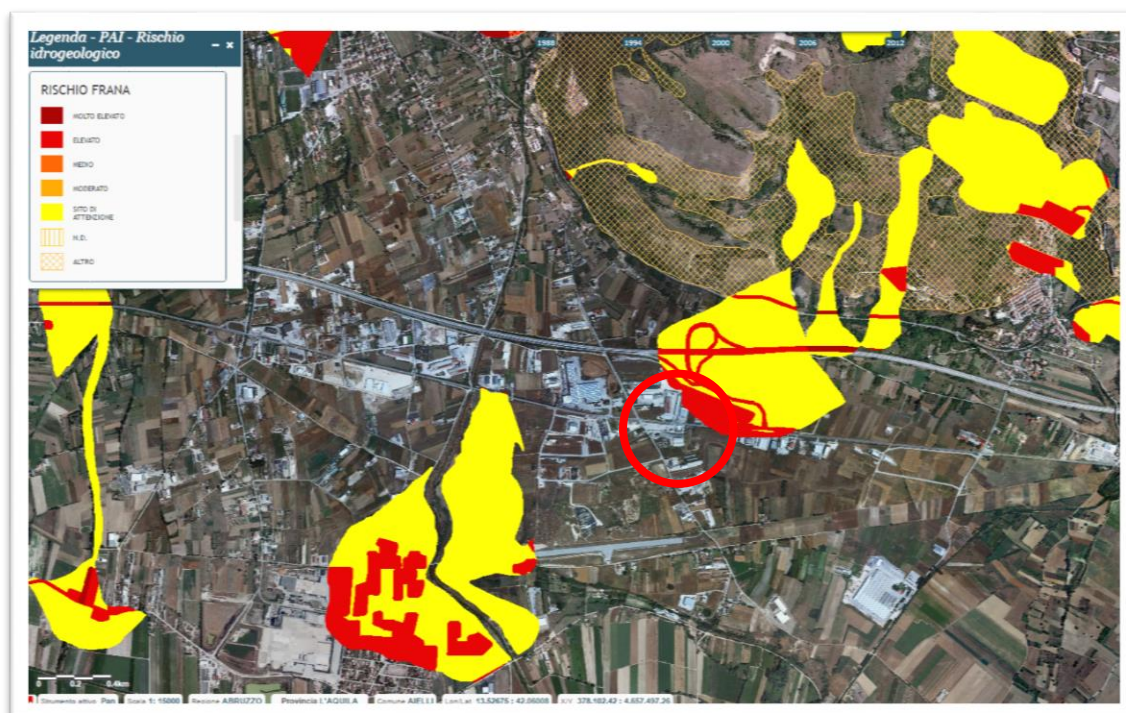
## 4.2 PAI (Piano di Assetto Idrogeologico)

L'area fa parte del Autorità di Bacino del Liri Garigliano Volturno nel bacino idrografico del Fiume Giovenco. Il sito non risulta compreso nelle 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.

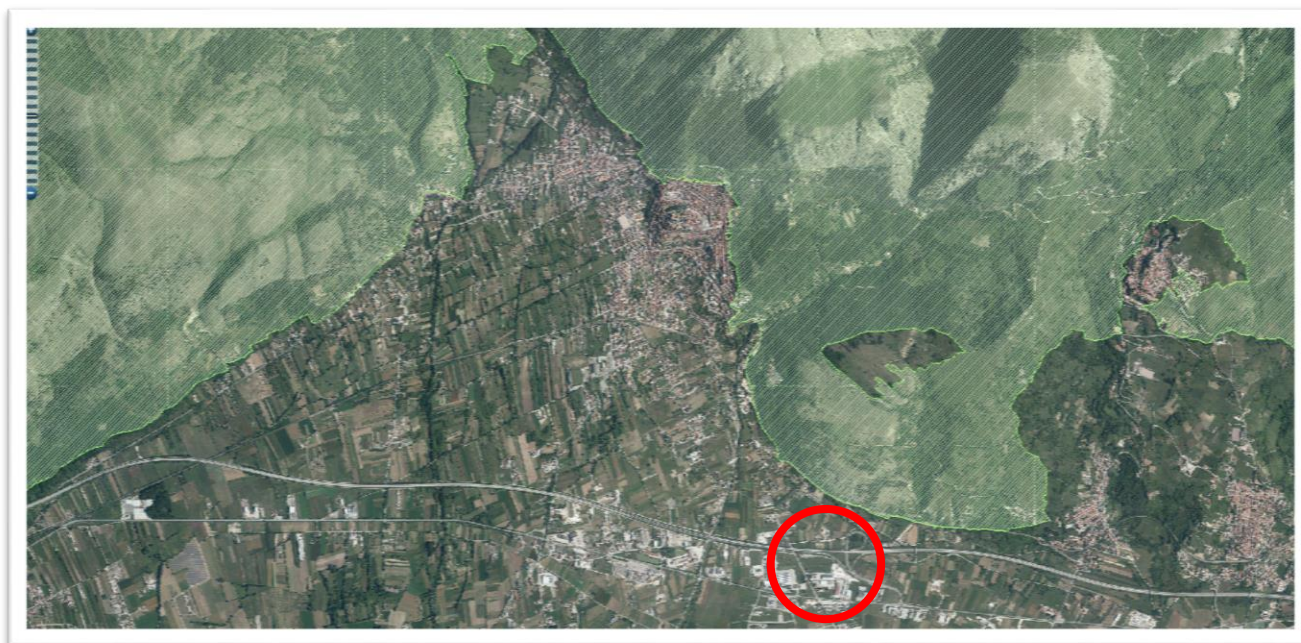
A seguito di tale disamina, l'area d'interesse, può essere definita stabile dal punto di vista geomorfologico in quanto non sono presenti fenomeni di instabilità gravitativa.



**Figura 10:** stralcio cartografico dell'area in esame, estratto da **GeoPortaleNazionale** all'indirizzo  
<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>. I cerchi indicano la collocazione del sito.

Una porzione del sito risulta essere inserito all'interno di una zona a rischio frana potenzialmente alto della Carta degli Scenari di Rischio – Rischio Frane (autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno), tuttavia tale zona non sarà interessata da alcun intervento in progetto.

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



**Figura 11:** Dettaglio della porzione del territorio comunale, sottoposta al vincolo idrogeologico.

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

## **5 ASSETTO IDROGEOLOGICO**

Il corso principale nella piana del Fucino, il fiume Giovenco, si inserisce all'interno del bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Vulturno. La superficie complessiva del bacino idrografico Liri-Garigliano e Vulturno è di 4.984 km<sup>2</sup> con una lunghezza dell'asta principale di 164 km (Celico, 1983). La conca del Fucino è un bacino di tipo endoreico (senza nessuno sbocco per i fiumi che vi convergono all'interno) morfologicamente e geograficamente separato dal bacino del Liri. Tuttavia, le opere di bonifica hanno permesso il collegamento del reticolo idrografico del Fucino con il bacino del Liri-Garigliano e Vulturno tramite un canale sotterraneo. La rete idrografica del bacino del Fucino è molto articolata ed è composta da numerosi canali (denominati Fossi), scavati durante le opere di bonifica, i quali convergono verso il fiume Giovenco che è in collegamento diretto con il Fiume Liri (Celico, 1983).

Vista la variabilità litologica delle rocce affioranti e del substrato al di sotto della piana del Fucino sono stati distinti diversi acquiferi con diversi valori di permeabilità e conduttività idraulica. Le dorsali carbonatiche che circondano la piana del Fucino sono caratterizzate da acquiferi ad alta potenzialità idrica e da un'elevata circolazione idrica sotterranea grazie all'elevata permeabilità per fratturazione e carsismo che caratterizza le rocce calcaree. Questa circolazione sotterranea trova sbocco in diverse sorgenti per soglia di permeabilità sovrapposta, grazie al contatto dei sedimenti argilloso-siltosi a bassa permeabilità della piana del Fucino con i calcari fratturati molto permeabili. Per questa ragione le sorgenti sono allineate lungo i margini della Piana del Fucino (Celico, 1983). In particolare si ritrovano sorgenti:

- 1) a Nord, dai massicci del Monte Velino e del Monte Sirente;
- 2) a Est, dai massicci del Monte Sirente e del Monte Pianecchia-Fontecchia;
- 3) a Sud, dai Monti Carseolani e da Monte Cornacchia;
- 4) a Ovest, dai massicci dei Monti Carseolani e del Monte Velino.

La situazione è più complessa per l'acquifero sotterraneo nella piana del Fucino. L'acquifero sotterraneo è costituito principalmente da depositi fluvio-lacustri (Pliocene-Olocene) con elevata variabilità di litotipi. In particolare, depositi fluviali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi sono presenti verso i bordi della Piana a ridosso dei rilievi carbonatici, mentre depositi lacustri essenzialmente argilloso-limosi-sabbiosi sono presenti nel settore centrale e sono caratterizzati da uno spessore di circa 1000 metri (Giraudi, 1988; Cavinato et al., 2002). Il limite inferiore è dei

depositi fluvio-lacustri è marcato dal contatto con il complesso arenaceo-argilloso dei depositi flyschoidi (Cavinato et al., 2002). I depositi affioranti nella Piana sono costituiti prevalentemente da limi e sabbie (Zarlenga, 1987), a bassa permeabilità. Verso il centro della piana si passa a litotipi prevalentemente argillosi, con permeabilità quasi nulla, mentre verso la base delle dorsali calcaree si passa verso litotipi più ghiaiosi (Bosi et al., 1995). Alla base delle dorsali carbonatiche sono presenti numerose conoidi ghiaiose (Cardarelli et al., 2003) con valori di conducibilità idraulica che variano tra 1 m/s e 5 m/s.

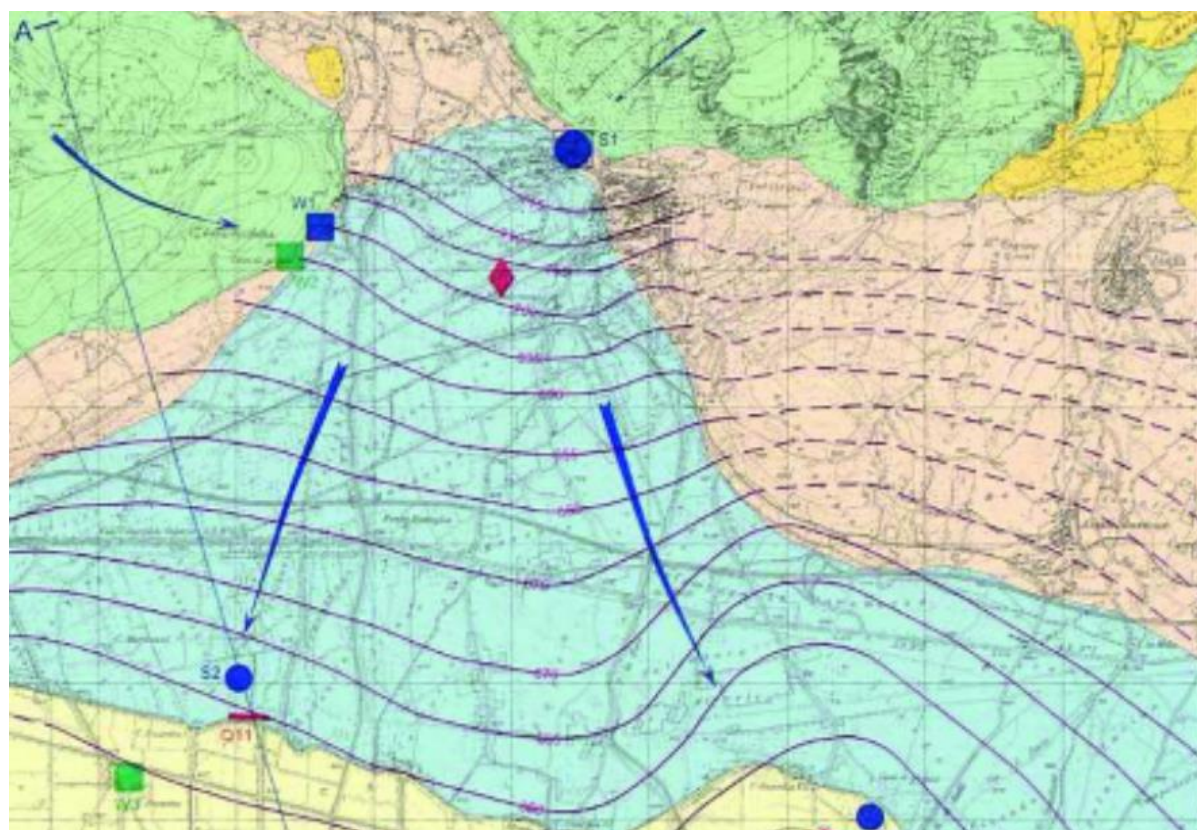
A causa della elevata eterogeneità geologica e giaciturale che caratterizza i vari litotipi (con lenti più o meno estese e tra loro interdigitate a depositi con differente grado di permeabilità) che costituiscono l'acquifero sotterraneo nella piana del Fucino, la circolazione idrica sotterranea si esplica secondo "falde sovrapposte" caratteristica di un acquifero multifalda poroso (Fig. 6; Celico, 1988). Dall'assetto stratigrafico appena descritto ne consegue che, in poche centinaia di metri, vi possono essere variazioni orizzontali e verticali di permeabilità di parecchi ordini di grandezza, cosicché la struttura dei corpi alluvionali è molto complessa a scala locale (con interdigitazioni di corpi lenticolari a diversa permeabilità). Tuttavia, alla scala regionale del bacino del Fucino, le unità idrogeologiche hanno una geometria pressoché tabulare (Celico, 1988).



L'elevata permeabilità per fratturazione dei calcari del Monte La Serra permette un'ottima infiltrazione delle acque piovane limitando il ruscellamento e lo scorrimento superficiale delle acque meteoriche e favorendo una circolazione idrica sotterranea nell'acquifero carbonatico fratturato. L'infiltrazione delle acque meteoriche è permessa anche all'elevata permeabilità dei depositi Plio-Quaternari che caratterizzano la base del versante sud-orientale del Monte La Serra. I sedimenti plio-quaternari continentali, che hanno riempito le depressioni determinate dall'attività tettonica recente oppure che costituiscono i depositi alluvionali dei corsi d'acqua. In questo caso, la permeabilità relativa dei sedimenti alluvionali quaternari può influenzare l'idrodinamica sotterranea, permettendo scambi idrici sotterranei tra acquiferi carbonatici e falde multistrato dei depositi quaternari, che in genere ricevono apporti idrici sotterranei dai rilievi montuosi.

Questi importanti acquiferi vengono generalmente drenati alla base da alcune sorgenti, caratterizzate da portate elevate (spesso maggiori di 1 m<sup>3</sup>/s), regime di portata abbastanza stabile e assenza di caratteri morfologici carsici in prossimità delle emergenze. Il gruppo sorgivo più importante, localizzato al margine delle strutture carbonatiche, che vengono alimentati in prevalenza dal sistema idrogeologico del Sirente, sono Fontana Grande-S.Francesco. Spesso però, sorgenti di portata limitata si osservano ai margini dei rilievi carbonatici o nelle zone pianeggianti interne ai massicci, o ancora nelle piane alluvionali stesse.

In particolare, nell'area di studio si verifica un drenaggio dai rilievi carbonatici alle spalle di Celano verso la piana del Fucino. L'andamento generale delle direzioni di flusso idrico è convergente verso la Piana del Fucino (dai massicci carbonatici in direzione della piana. Localmente il flusso idrico è influenzato da emungimenti tramite pozzi, apporti dalle sorgenti, variazioni di conducibilità idraulica ed interazione con il complesso sistema di canali di bonifica. Nell'area del paese si osserva un andamento radiale divergente delle isopieze, con centro localizzato nella sorgente Fonte Grande posta immediatamente a monte dell'area dell'edificio.



- S1 Sorgenti parzialmente captate ad uso potabile
- W3 Campi pozzi ad uso potabile
- W2 Campi pozzi ad uso irriguo
- Sito in studio
- ◆ Stazioni meteorologiche
- 650 --- Curve isopiezometriche
- Direttrici flusso idrico sotterraneo

- **Complesso dei depositi detritico-alluvionali recenti:** Depositi alluvionali fluvio-lacustri, conoidi di deiezione, detrito di versante scarsamente cementato, depositi detritico-colluviali e terre rosse (Pleistocene sup. - Olocene). Permeabilità generalmente medio-alta e variabile per porosità. Acquifero secondario ospitante falde di limitata estensione e spesso costituisce zona di raccordo e travaso sotterraneo tra l'acquifero carbonatico e il fondovalle lacustre. Localmente l'infiltrazione può essere elevata.
- **Complesso dei depositi detritico-alluvionali antichi:** Successione eterometrica di depositi fluvio-lacustri, brecce di versante anche ben cementate e depositi caotici (settore settentrionale) con blocchi di grandi dimensioni (Pliocene sup. - Pleistocene sup.). Permeabilità generalmente medio-bassa. Costituisce un acquitard che può contenere falde di limitata estensione. L'infiltrazione efficace, limitata, è concentrata nelle frazioni a granulometria grossolana.
- **Complesso dei depositi arenaceo-marnosi:** Depositi terrigeni sinorogenici, caratterizzati da arenarie in banchi alternate a sequenze marnoso-argillose in strati (Miocene sup.). Permeabilità per porosità e fratturazione, estremamente bassa, che aumenta in corrispondenza delle zone fratturate dove possono ospitare falde locali. Poco affiorante, l'infiltrazione efficace può considerarsi trascurabile.
- **Complesso dei depositi carbonatici:** Calcari e calcari dolomitici di ambiente di piattaforma e transizione (Lias sup. - Miocene med.). Permeabilità elevatissima per fratturazione e carsismo; è l'acquifero principale con fenomeni di travaso verso acquiferi e acquitard detritico-alluvionali. Infiltrazione efficace tra gli 800 e i 900 mm/anno.

**Figura 13:** Stralcio idrogeologico del sito in esame, modificata dalla Carta Idrogeologica del Fucino (Petitta M. et al., 2005).

Le notevoli variazioni sono funzione dei complessi rapporti tra litotipi impermeabili che costituiscono la zona di raccordo tra rilievi e piana, ovvero tra i conoidi alluvionali riferibili all'attività dei torrenti S. Potito e di Rio La Foce ed il corpo detritico posto alla base del versante.

G. Bianchi Fasani et al. / Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28 (2008) 978–985

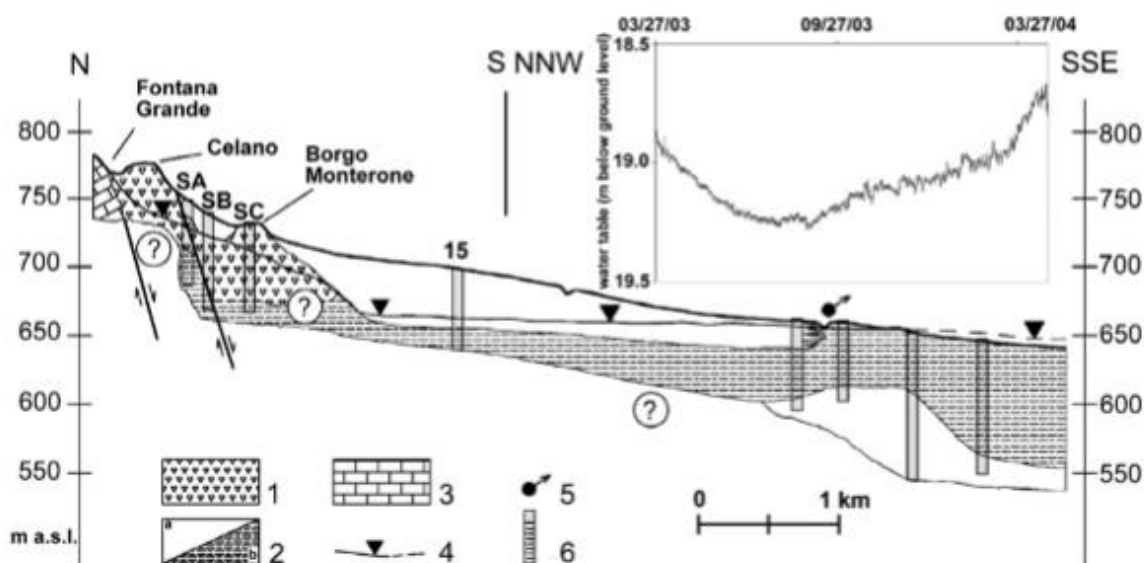


Figura 14: da Dynamics and Earthquake Engineering 28 (2008)978-985

La particolare conformazione dei depositi può far sì che localmente si possano trovare, a varia profondità, orizzonti acquiferi modesti, sostenuti dalle lenti limo-argillose intercluse nei sedimenti detritici. Il sito in esame è impostato, come detto, essenzialmente sui sedimenti di tipo detritico facenti parte della falda pedemontana del Monte Serra, è caratterizzati dal punto di vista litologico da un complesso sedimentario formato da sabbie e ghiaie limose, con frammenti e blocchi calcarei di dimensioni anche metriche, che giacciono sui depositi carbonatici mesozoici di paleo frana provenienti dal Monte Serra. Questi costituiscono tutto il corpo rilevato rispetto alle alluvioni recenti su cui è impostato il sito d'indagine.

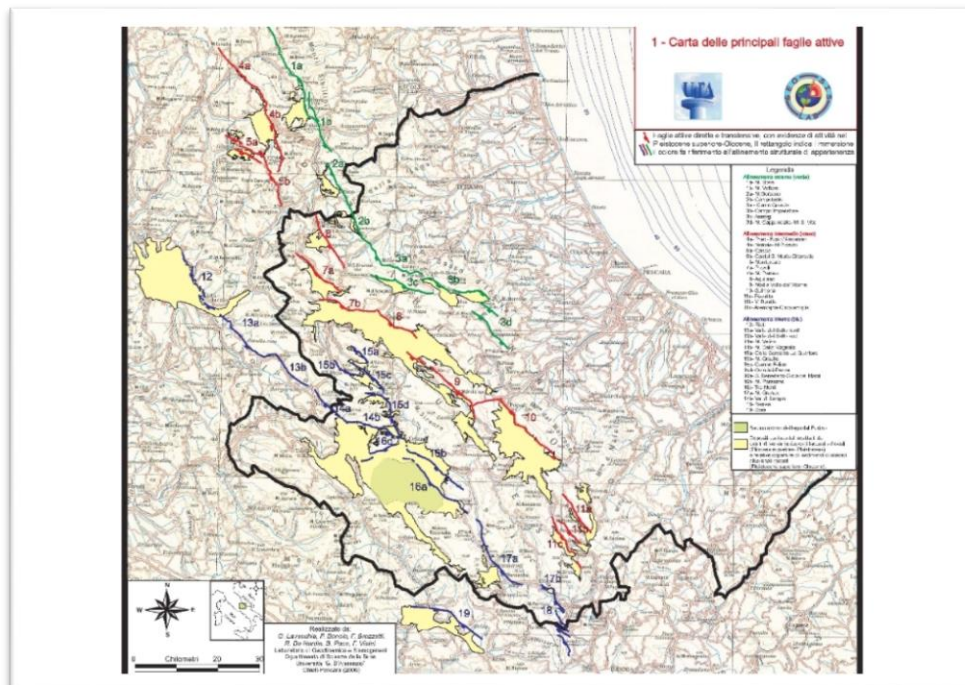
## **6 SISMICITÀ E PERICOLOSITÀ SISMICA**

Nel territorio abruzzese l'attività sismica più forte è concentrata in prevalenza lungo la catena appenninica, in particolare ad W del Gran Sasso e della Maiella, mentre lungo la fascia pedemontana e costiera si osserva una sismicità più modesta.

La massima intensità macrosismica osservata in Abruzzo è pari all'XI grado della Scala MCS. I terremoti dell'area appenninica abruzzese sono associabili a faglie quaternarie, normali o trasversive, osservabili in superficie, ben definibili in termini di lunghezza, giacitura e cinematica e spesso caratterizzate da attività riferibile al Pleistocene sup - Olocene, talvolta con evidenze dirette di dislocazione cosismica superficiale in occasione di forti terremoti (*Lavecchia et alii, 2006*).

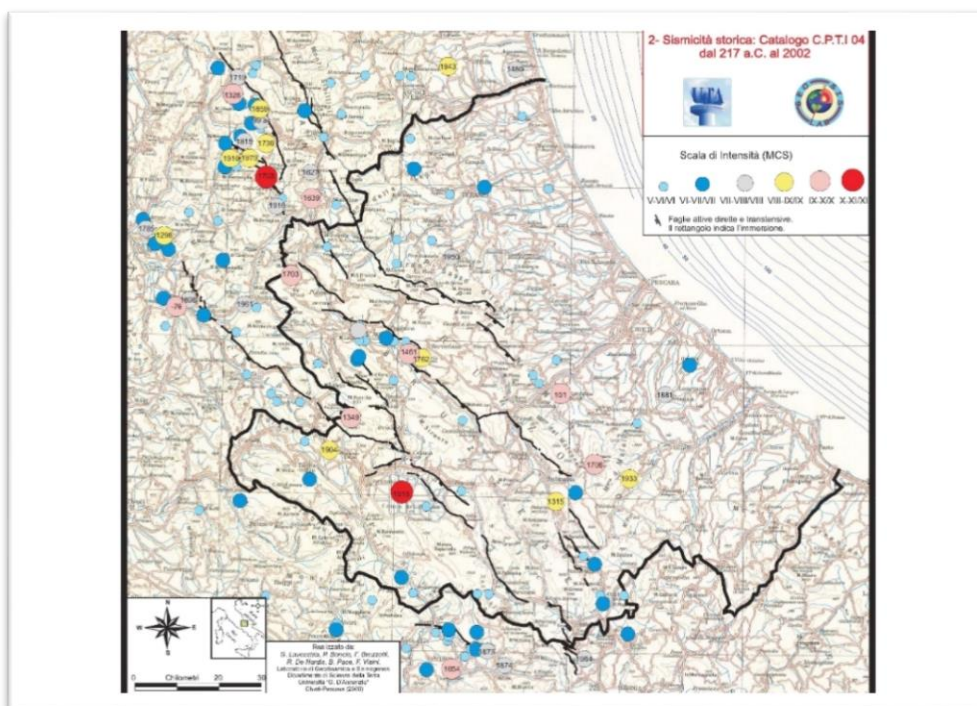
Le strutture riportate nella figura che segue, che possono influenzare maggiormente la sismicità dell'area di studio, sono le seguenti:

*Alta valle dell’Aterno: (comprende i segmenti del Monte Pettino e di Camarda/Paganica, che si sono attivati durante l’evento del 6 aprile 2009), Campo Felice – Piani di Pezza-Ovindoli, Conca di Rieti, Valle del Salto M. Velino, Montereale, Media Valle dell’Aterno, Gran Sasso, Campo Imperatore, Assergi - M. Cappucciata - M. S. Vito, Monti della Laga, Fucino.*



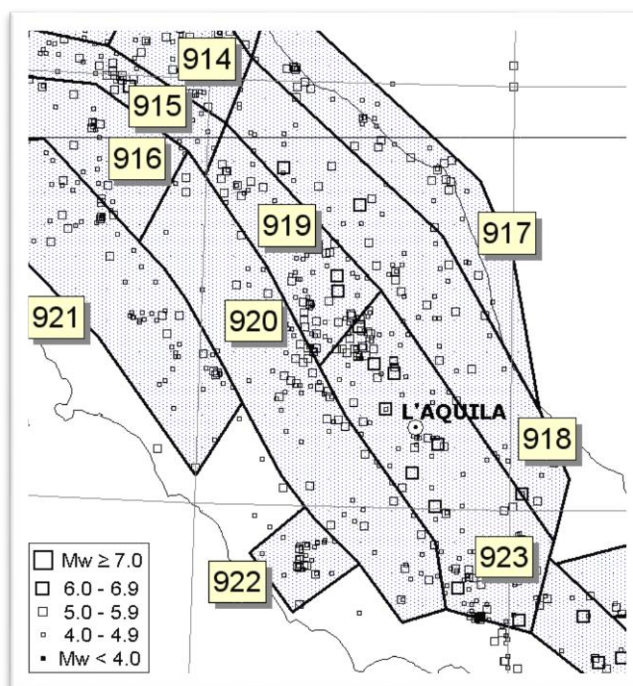
**Figura 15:** Carta delle principali faglie attive della regione Abruzzo (Lavecchia et al., 2006)

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



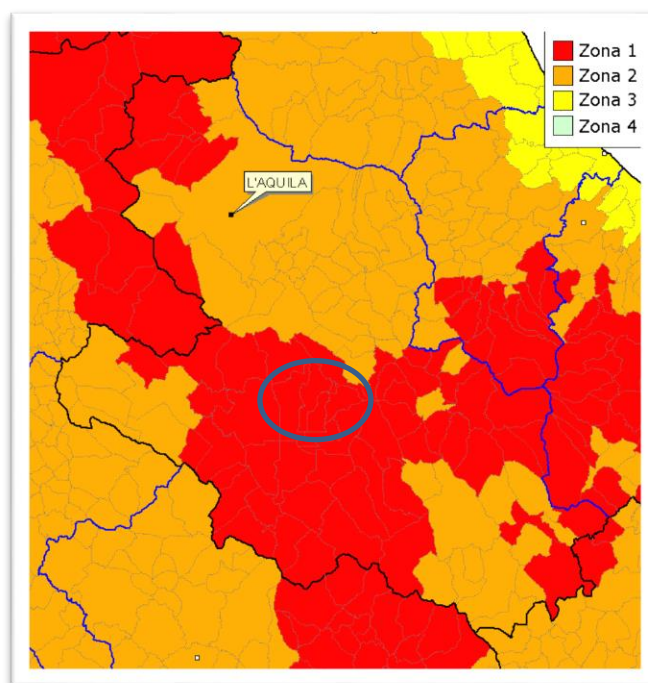
**Figura 16:** Carta dei principali eventi sismici avvenuti nella Regione Abruzzo (Lavecchia et al., 2006)

Senza dimenticare l'evento aquilano del 6 aprile 2009 (intensità epicentrale  $I_0 = IX-X$  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).



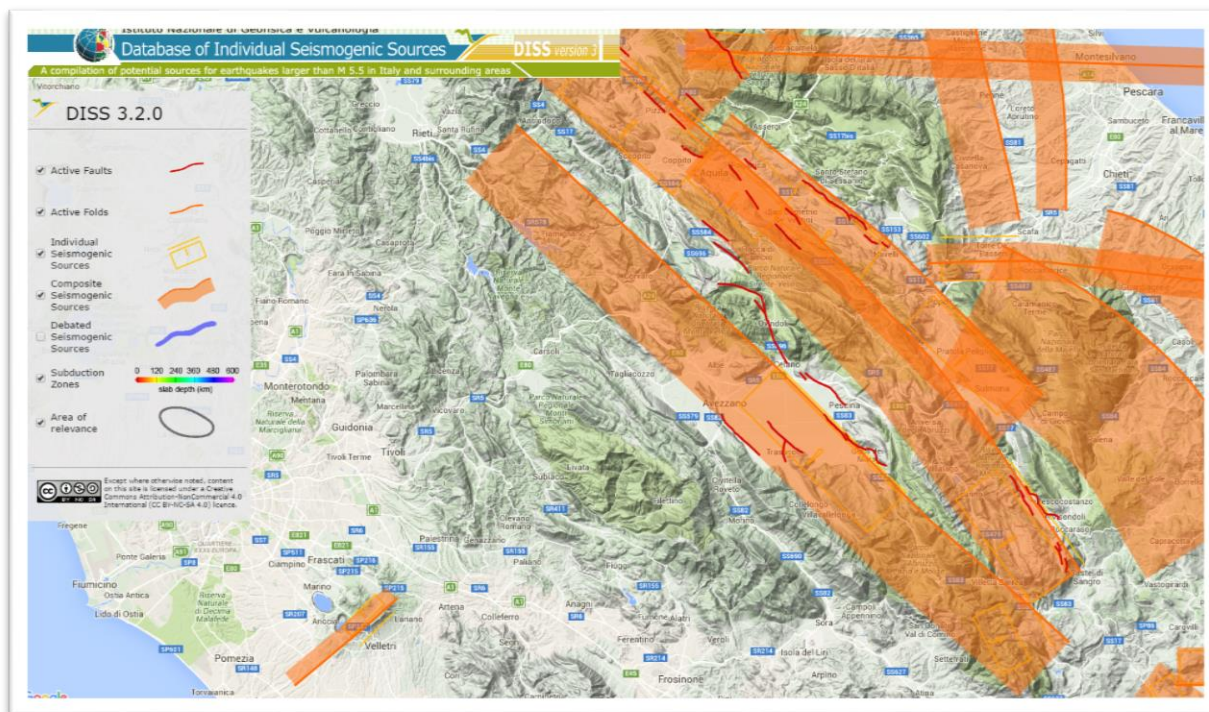
**Figura17:** Zone sorgenti dell'Appennino centrale (Meletti et al., 2008)

Il nostro sito è racchiuso nella zona Sismogenetica ZS920 Val di Chiana Ciociaria. Attualmente il territorio della Comune di Aielli in base a quanto stabilito dall'Ordinanza PCM 3274/2003, è classificato in **Zona Sismica 1** e cioè quella a più elevato rischio sismico.



**Figura 18:** 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:



#### ACTIVE FAULTS

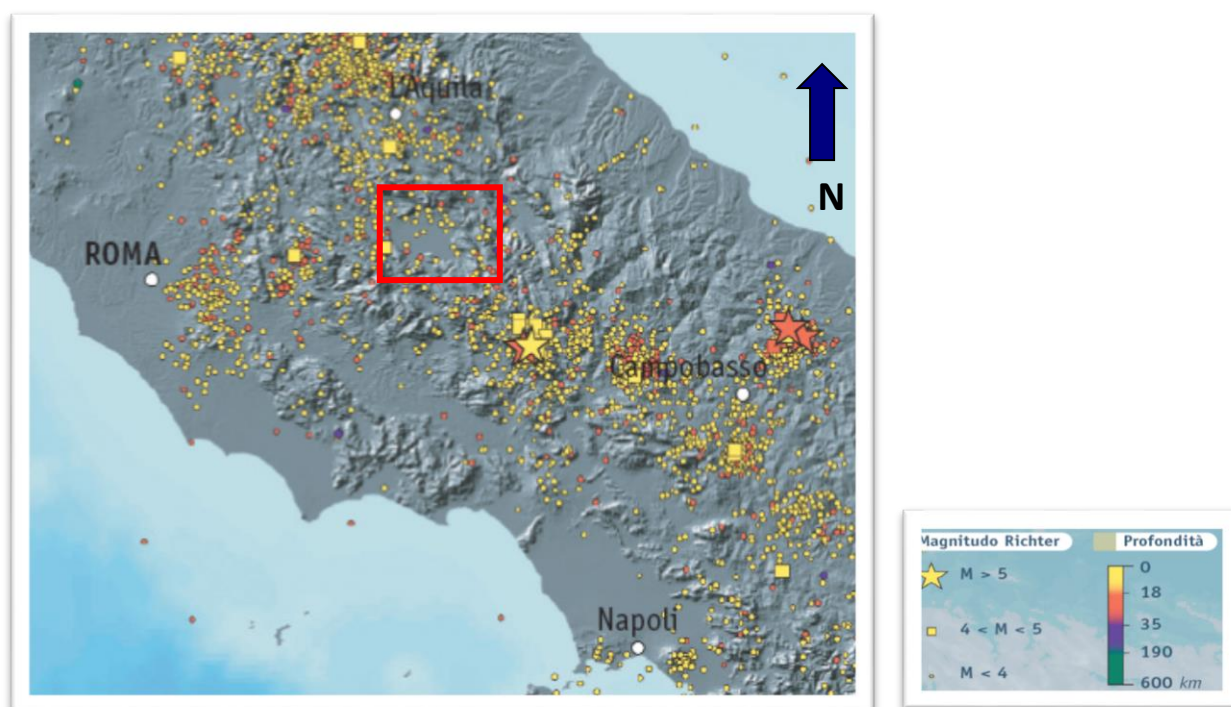
ID	NAME	REFERENCES
1	Piano Pezza	Pantosti et al. [1996].
2	Campo Porcaro	Pantosti et al. [1996]
3	Monte Cefalone	Pantosti et al. [1996], Salvi & Nardi [1995]
4	Monte Ocre	Salvi & Nardi [1995]
5	Luco	Galadini & Galli [1999]
6	Trasacco 1	Galadini & Galli [1999]
7	Trasacco 2	Galadini & Galli [1999]
8	Marsicana 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 19:** 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 composita **“Lago del Salto - Ovindoli – Barrea”**. La massima Magnitudo associata a questa sorgente, e paria a **6.7**.

### 6.1 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.

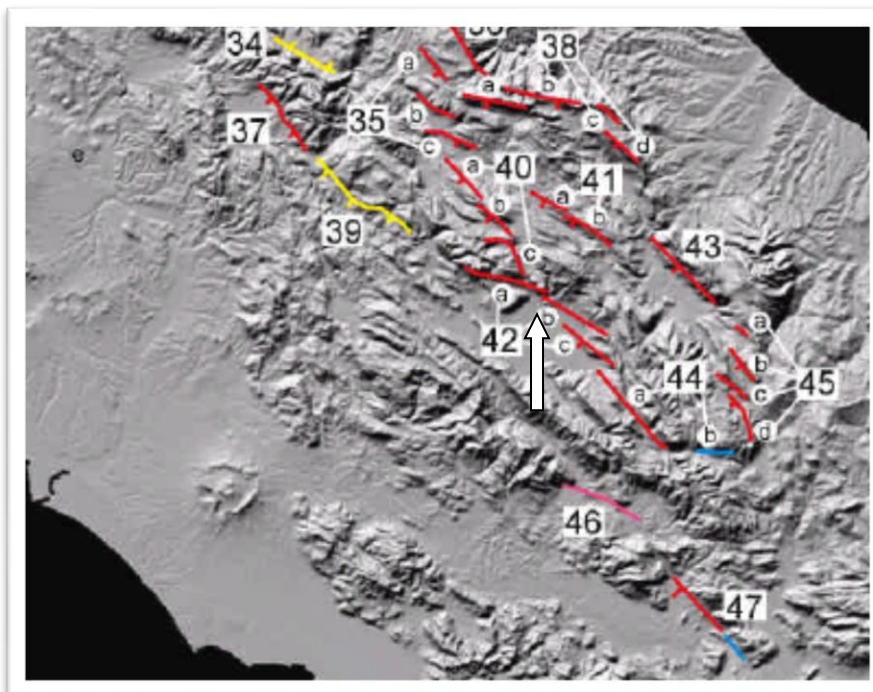


**Figura 20:** “Carta della Sismicità in Italia” (Castello et al., INGV 2004)

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 Aielli, particolare rilievo è assunto dal

lineamento n°42 a,b,c. (Fucino) per l'estrema vicinanza, ma effetti disastrosi si sono registrati anche a seguito di eventi sismici connessi con le faglie della Conca Aquilana, e delle più distanti strutture della media Valle dell'Aterno e del Monte Morrone nonché delle strutture di Leonessa e Rieti.



Faglie e sistemi di faglia	Lunghezza del sistema di faglia (km)	Slip rate verticale (mm/a)	Slip rate verticale minimo (mm/a)	Intervallo cronologico	Intervallo di ricorrenza per eventi di fagliazione di superficie (anni)	Spessore strato sismogenetico (km)
Gubbio (29)	21	-	-	-	-	5
Gualdo Tadino (30)	-	-	-	-	-	-
Colfiorito (31)	20	0,3-0,4	-	Quaternario	-	8-10
Norcia (32)	30	0,5-0,7 <sup>1</sup>	0,2 <sup>2</sup>	<sup>1</sup> Quaternario <sup>2</sup> 0,1 Ma	-	10-12
M. Vettore (33)	18	0,5-0,6	0,25-0,3	12000-3600 BP	-	-
Leonessa (34)	21	0,3	-	Olocene	-	-
Alta Valle dell'Aterno (35)	25	0,47-0,86	-	31710±760 BP 23330±300 BP	-	8-12
M. ti della Laga (36)	18	0,73-0,9 <sup>1</sup>	0,3-0,36 <sup>2</sup>	<sup>1</sup> 20000-30000 BP <sup>2</sup> 6395-6175 BC	-	-
Rieti (37)	27	0,5	-	Olocene	-	-
Campo Imperatore-Assergi-M. Cappucciata (38)	40	0,67-1	-	<sup>1</sup> 18000-13000 BP	2.500-7.000	8-12
Valle del Salto (39)	24	0,3	-	Olocene	-	-
Campo Felice-Colle Cerasitto*/ Oviadoli-Pezza** (40)	*16**12-20	*1,1/**0,8-1,2 <sup>1</sup> **1,2-2,3 <sup>2</sup>	-	*18000 BP **7000 BP <sup>3</sup>	**2.760-3.200	-
Media Valle dell'Aterno (41)	21	0,33-0,43	-	**7000-10000 BP <sup>2</sup> 1,5 Ma <sup>1</sup> 0,8-1 Ma	-	-
Fucino (42)	33	0,7-0,8 <sup>1</sup>	0,4-0,5 <sup>2</sup> 0,37-0,43 <sup>3</sup>	<sup>2</sup> 19100±650 BP <sup>3</sup> 0,4 Ma	1.400-2.600	-
M. Morrone (43)	20	-	0,5-0,66	0,9-1,0 Ma	-	-
Alta Valle del Sangro (44)	20	-	0,17-0,21	0,8-1 Ma	-	13
Aremogna-Cinquemiglia (45)	16	-	0,2	10000 BP	-	-
Sora (46)	-	-	-	-	-	-
S. Pietro Infine (47)	17	-	-	-	-	-

Tab. 2 - Sintesi dei dati disponibili sulle faglie attive dell'Appennino centrale.

**Figura 21:** Carta delle faglie attive dell'Appennino centrale" (Galadini et al., 2000)

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 Aielli, 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: 22:** Carta delle Faglie attive e capaci data base ITHACA. Sismicità Storica (Con il cerchio rosso è evidenziata l’area di indagine)

## 6.2 Sismicità storica

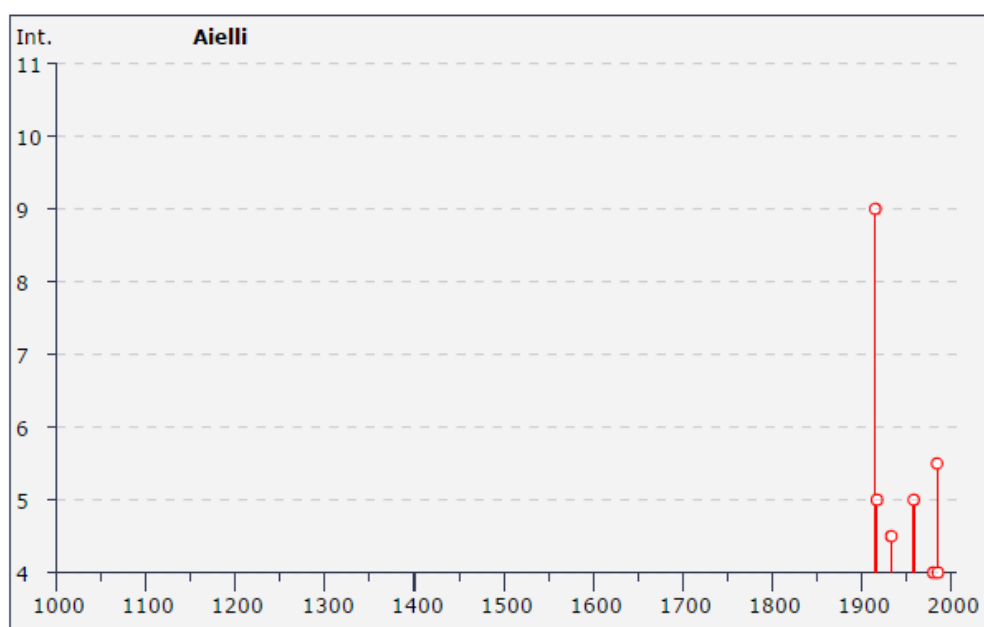
L’analisi della pericolosità sismica storica del Comune di Aielli è stata eseguita utilizzando le informazioni macrosismiche messe a disposizione della comunità scientifica a seguito del Progetto S1 dell’INGV, vale a dire il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11 (Gruppo di lavoro

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 Aielli. Più in dettaglio si riporta di seguito la tabella ed il grafico della storia sismica di Aielli.

### Osservazioni sismiche (13) disponibili per Aielli (AQ):

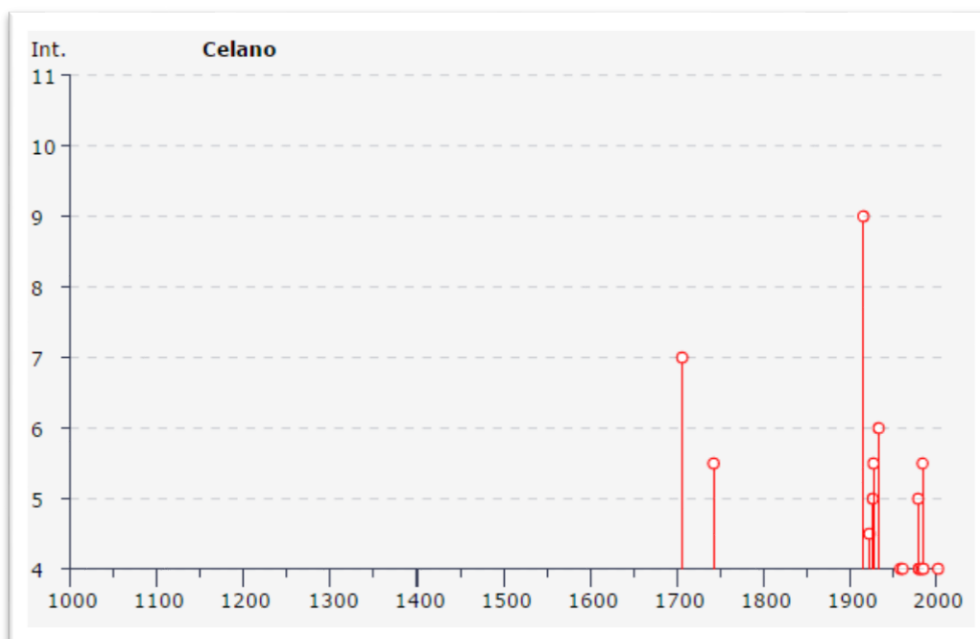
Numero di eventi: 13

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
9	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
5	1917 01 03 01:35	Marsica est	57		
4-5	1933 09 26 03:33	Maiella	326	9	5.95 ±0.09
2	1951 09 01 06:56	SARNANO	81	7	5.34 ±0.20
5	1958 06 24 06:07	L'Aquila	152	7-8	5.21 ±0.11
2	1960 03 14 04:44	Marsica	40	7	4.75 ±0.37
NF	1961 04 06 11:34	Media Val Roveto	13	6	4.41 ±0.55
NF	1961 04 12 00:44	Alto Aniene	44	6-7	4.61 ±0.22
4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
5-6	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8	5.89 ±0.09
4	1985 05 20 10:00	Aquilano	29	5-6	4.58 ±0.19
NF	1986 10 13 05:10	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6	4.65 ±0.09
NF	1990 05 05 07:21	Potentino	1374		5.80 ±0.09



**Osservazioni sismiche (33) disponibili per Celano (AQ):**

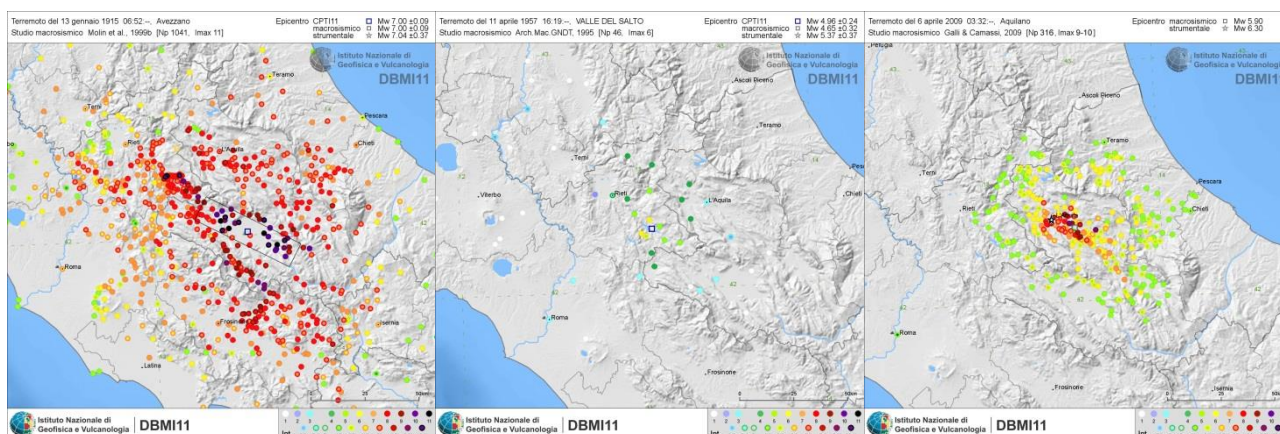
Numero di eventi: 33				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
7	1706 11 03 13:00	Maiella	99	10-11 6.83 ±0.16
5-6	1742	Celano-Cerchio	1	5-6 4.51 ±0.34
F	1904 02 24 15:53	Marsica	56	8-9 5.58 ±0.17
F	1904 02 25 00:29	Rosciolo dei Marsi	34	
NF	1907 01 23 00:20	Adriatico centrale	93	5.06 ±0.15
9	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09
2	1916 11 16 06:35	REATINO	40	8 5.53 ±0.22
F	1917 01 03 01:35	Marsica est	57	
4-5	1922 12 29 12:22	Bassa Val Roveto	119	6-7 5.19 ±0.12
5	1926 12 18 21:07	Trasacco	26	5 4.48 ±0.32
5-6	1927 10 11 14:45	Media Val Roveto	81	7 5.19 ±0.15
6	1933 09 26 03:33	Maiella	326	9 5.95 ±0.09
4	1958 06 24 06:07	L'Aquila	152	7-8 5.21 ±0.11
NF	1961 04 06 11:34	Media Val Roveto	13	6 4.41 ±0.55
NF	1961 04 12 00:44	Alto Aniene	44	6-7 4.61 ±0.22
4	1961 10 31 13:37	Antrodoto	84	8 5.13 ±0.18
5	1979 09 19 21:35	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09
4	1980 06 14 20:56	Marsica sud-est	69	5-6 4.99 ±0.09
4	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
4	1983 08 12 19:36	ROCCHETTA A VOLTURNO	53	5 4.78 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7 5.65 ±0.09
5-6	1984 05 07 17:49	Appennino abruzzese	912	8 5.89 ±0.09
4	1985 05 20 10:00	Aquilano	29	5-6 4.58 ±0.19
NF	1986 10 13 05:10	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6 4.65 ±0.09
NF	1990 05 05 07:21	Potentino	1374	5.80 ±0.09
NF	1994 08 07 06:31	Aquilano	103	5-6 4.37 ±0.15
2-3	1997 09 26 00:33	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70 ±0.09
3-4	1997 10 14 15:23	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65 ±0.09
3	1998 05 12 21:46	Appennino abruzzese	48	5 4.06 ±0.18
NF	1998 08 15 05:18	MONTI REATINI	233	5-6 4.45 ±0.09
2	2000 03 11 10:35	Alto Aniene	211	6 4.29 ±0.09
NF	2000 06 27 07:32	Monti Tiburtini	138	6 4.28 ±0.09
4	2002 11 01 15:09	Subapp. Dauno	645	5.72 ±0.09



**Tabella 1:** Estratto dal catalogo delle osservazioni macrosismiche dal DBMI11

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 Aielli si è avuto un risentimento pari lo 5°-6°.

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 23:** Estratto dal catalogo macrosismico CPTI 11

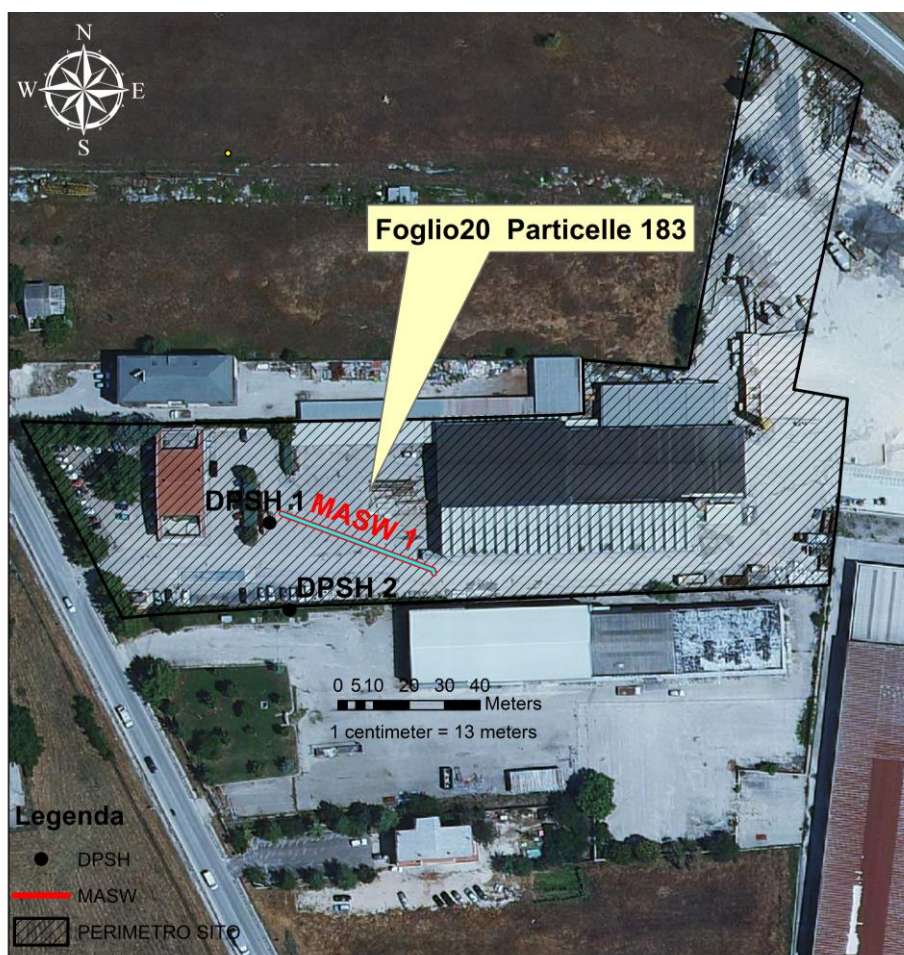
Si tiene a precisare che i dati di danneggiamento esistenti in letteratura per il comune di Aielli indicano che buona parte del territorio comunale, è soggetto a fenomeni di amplificazione locale del moto sismico al suolo

## **7 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.2 prove penetrometriche superpesanti DPSH (Dinamic Probing Super Heavy; DPSH1, DPSH2,) terebrate sino al rifiuto strumentale;**
- **n.1 prova sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves; MASW 1 ) per la determinazione del parametro Vs,30;**
- **n.1 misura di “noise” ambientale per ricavare la frequenza fondamentale dei depositi in corrispondenza della verticale di sondaggio;**
- **n.1 prova di permeabilità in situ**

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



**Figura 24:** stralcio in scala con l'ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche realizzate.

## 7.1 PROVE 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	<b>EKOREC di Mascitti A. e Mascitti P. s.n.c.</b>
Cantiere	<u>Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)</u>
Località	<b>AIELLI</b>
Operatore prova	<b>DOTT. GEOL. LUCA RUBEIS</b>
Responsabile prova	<b>DOTT. GEOL. LUCA RUBEIS</b>
Zona	<b>AIELLI(AQ)</b>
Data della prova	<b>14/09/2016</b>
LatitudineED50	<b>42.060528</b>
LongitudineED50	<b>13.560097</b>



**Figura 25:** stralcio in scala con l'ubicazione delle indagini geofisiche MASW ed HVSR.

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 di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

Categoria	DESCRIZIONE GEOTECNICA
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da <math>V_{s,30} &gt; 800</math> m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (<math>N_{spt,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>Cu_{,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<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 <math>VS_{30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; NSPT_{30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; cu_{30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (<math>N_{spt,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>Cu_{,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

Categoria	DESCRIZIONE GEOTECNICA
<b>S1</b>	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 100 m/s (<math>10 &lt; Cu_{,30} &lt; 20</math> 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>
<b>S2</b>	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

**Tabella 1:** 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;

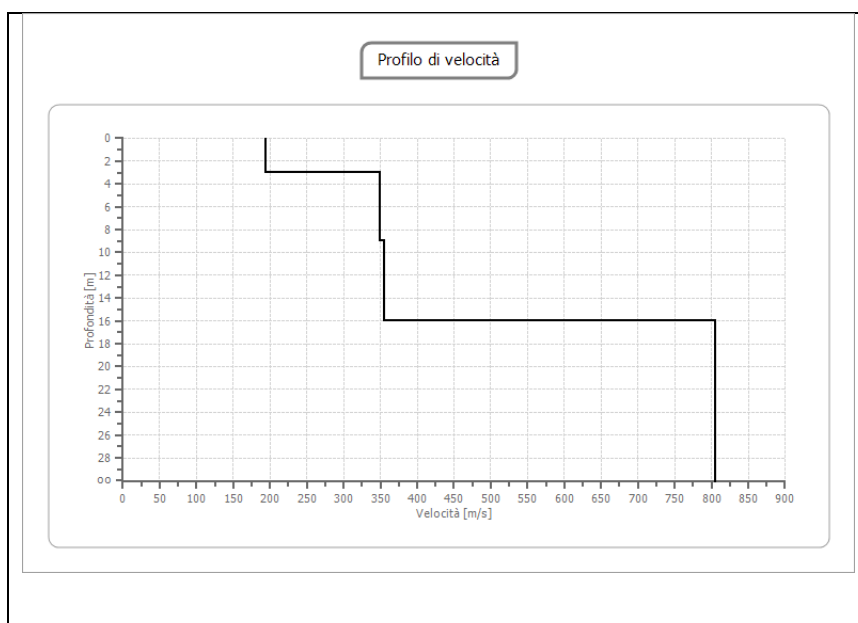
$M$  = numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;

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



### **MASW1**

Report fotografico relativo all'esecuzione delle indagini MASW



**Figura 26:** Foto degli stendimenti MASW con i relativi profili di velocità ricavati.

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

Per lo stendimento denominato nelle cartografie ubicative **MASW**, è stata effettuata 1 energizzazione:

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

La velocità delle onde sismiche nei primi 30m ( $V_{s,30}$ ) al di sotto dell'edificio è risultata pari a 473 m/s pertanto la relativa **categoria di suolo di fondazione** così come riportato nella tabella precedente, è **B**.

### **Suolo di tipo B:**

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

**Per maggiori dettagli, si rimanda agli allegati.**

## **7.2 MISURA DI RUMORE AMBIENTALE:**

### **prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

Al fine di ricavare la frequenza fondamentale dei terreni di fondazione è stata realizzata una misura di rumore ambientale. Tale indagine si basa sulla tecnica di Nakamura (1998) e si avvale delle misure del rapporto spettrale H/V. Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze non percepibili dall'uomo ( $10^4 - 10^2$  mm), osservabili in ogni parte della superficie della Terra. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. La tecnica sismica passiva a stazione singola si è imposta negli anni recenti come il metodo più semplice per verificare se in un sito esista la possibilità di amplificazione per motivi stratigrafici e a quali frequenze. La tecnica assume che i microtremori siano principalmente composti da onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato soffice su un mezzo rigido e che la presenza di quello strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Questa tecnica ha lo scopo principale di evidenziare la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni. Il risultato è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto H/V in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore  $h$  dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo ( $V_S$ ) e la frequenza di risonanza  $f$  dello strato, nella forma:

$$f = V_S / 4 H$$

Dall'equazione emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di vibrazioni ambientali che vincola il valore di  $f$ , nota la  $V_S$  delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa. Le misure di microtremore a stazione singola si effettuano per mezzo di sismometri tricomponenti

sufficientemente sensibili nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-20 Hz, corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture).

Dal punto di vista pratico bisogna effettuare:

- 1) un accurato accoppiamento dello strumento di misura con il terreno;
- 2) registrazioni di almeno 20 min in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s su cui effettuare una media;
- 3) verificare che la misura rispetti i criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V (progetto SESAME).

Le misure sono state effettuate con una stazione singola GEOBOX SARA ELECTRONICS INSTRUMENTS (PG). Si tratta di una stazione sismica digitale compatta e leggera, equipaggiata con sismometro a banda larga e ad alta sensibilità, costituito da tre velocimetri a breve periodo. L'analisi dei dati è stata condotta tramite il software GEOEXPLORER con il quale è possibile analizzare e visualizzare le misure effettuate tramite tale strumentazione. Il software effettua l'analisi spettrale completa delle tracce, effettua il calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo effettuando le procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza. Inoltre provvede ai test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee del SESAME. Di seguito si riporta una carta di ubicazione delle misure effettuate nell'area.

La misura di rumore ambientale è stata effettuata con una stazione della **SARA s.r.l.** modello GEOBOX con sensori a 4.5Hz. I dati acquisiti sono stati analizzati con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR mediante l'ausilio del software *"GeoExplorer della Sara electronics instruments (PG)"*.



**Figura 27: Immagini relative all'ubicazione della prova HVSR ed alla strumentazione GeoBox della Sara electronics instruments**

Lo strumento dispone di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, disposti secondo le tre direzioni ortogonali del moto ovvero registra contemporaneamente la componente verticale e le due componenti orizzontali tra loro ortogonali, del moto del terreno.

Le misure sono state eseguite in presenza di condizioni meteo caratterizzate da cielo sereno e vento poco percepibile. Il traffico veicolare e le attività umane nelle vicinanze, erano sporadiche.

Le misure sono state effettuate dopo aver ottenuto un buon accoppiamento strumento - terreno. La durata delle misura denominata nelle cartografie ubicative HVSR è durata circa 1800 secondi.

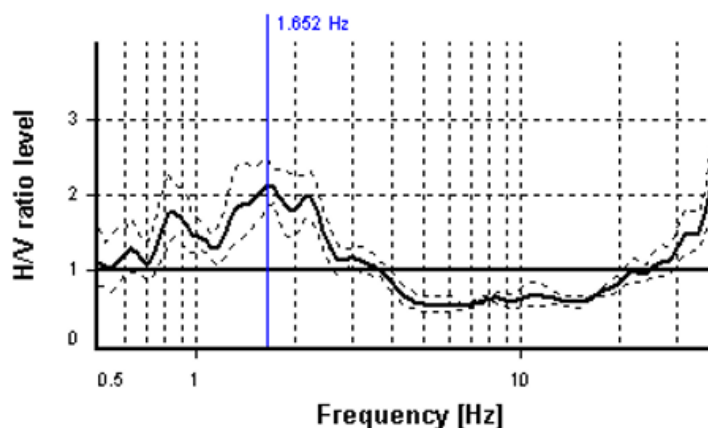
Dall'applicazione della tecnica dei rapporti spettrali HVSR, sul rumore ambientale si ricava per la prova H/V una curva poco amplificativa avente un picco alla frequenza di **1.652 Hz** con un valore medio di ampiezza pari a circa **2.137**. **è con ogni probabilità un picco natura antropica dovuto alla presenza delle numerose fabbriche presenti nelle vicinanze ed alla presenza di attività agresti. I criteri SESAME sono rispettati in misura di 6/7.**

**Selected  $f_0$  frequency**

**1.652 Hz**

**$A_0$  amplitude = 2.137**

**Average  $f_0$  =  $1.793 \pm 0.275$**



Il sito indagato, è generalmente caratterizzato da un modesto rumore antropico dovuto in larga parte alle attività agresti, ed alla vicinanza con l'area industriale del Comune di Celano.

Utilizzando la formula esplicitata in precedenza, e chiamata di quarto d'onda, come detto è possibile giungere ad una stima dello spessore di sedimenti compresi tra il P.C. ed il primo forte contrasto d'impedenza sismica.

$$f = V_s / 4 H$$

Otteniamo un risultato in accordo con le indagini MASW e con le prove penetrometriche potendo così posizionare il primo forte contrasto d'impedenza a circa 75 m di profondità dal P.C.. Per maggiori dettagli è presente il report in allegato.

### **7.3 PROVE PENETROMETRICHE DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere 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 75cm 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



**Figura 28:** stralcio in scala con l'ubicazione delle indagini geotecniche DPSH.

Come già accennato in premessa, al fine di ottenere ulteriori indicazioni sulle principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione, sono state effettuate **due prove penetrometriche superpesanti (DPSH)** spinte sino al rifiuto strumentale. Le prove penetrometriche dinamiche superpesanti sono state realizzate con penetrometro dinamico superpesante della casa **"GeoDeepDrill"** con le seguenti caratteristiche:



## Dynamic DPSH63M DPSH63T DPH63SM

Geo Deep Drill S.r.L.  
[www.geodeepdrill.com](http://www.geodeepdrill.com) [info@geodeepdrill.it](mailto:info@geodeepdrill.it)



packing list

- 15 rods ø32x1000 M22
- 2 recoverable tips
- 5 to lose tips
- 9 pipe coating




	<b>modello</b>	DPSH63M DPSH63T DPSH63SM
	<b>tipo</b>	DINAMICO SUPER PESANTE AGI - UNI
	<b>massa battente</b>	63,0 kg - ø: 208 mm x H: 265 mm
	<b>altezza caduta</b>	>75 cm (Evo. IV) 463 Joule
	<b>avanzamento</b>	acquisizione ogni 10 / 20 cm
	<b>punta</b>	ø 50,00 mm - angolo 90° - A 20,00 cm²
	<b>asta</b>	acciaio 1000x32 mm M22 tacca 20,00 cm
	<b>rivestimento</b>	42x1000 mm acciaio c40
	<b>frequenza colpi</b>	20-30 colpi per minuto
	<b>stabilizzatori</b>	a cilindro oleo. 15,00 cm
	<b>centralina</b>	Briggs & Stratton 3,5 HP 3 lit/min 5litres
	<b>sottocarro</b>	Khoeler 7/10 HP 8 lit/min 20lit. acc.elettrica
	<b>carburante</b>	benzina serbatoio da 4,20L
	<b>olio idraulico</b>	~20,00L OSO 40 (visc. 40° 41)
	<b>dimensioni</b>	195x75x123cm colonna reclinata
	<b>peso</b>	~680Kg su semovente base
	<b>parti rimovibili</b>	3 (colonna, massa, serbatoio)
	<b>tipi di suolo</b>	argilla, limo, sabbia, ghiaia
	<b>max profondità</b>	>20m argilla, limo , sabbia
	<b>campionatore</b>	fustella pvc ø 40x350mm 60x350mm
	<b>kit sondaggi</b>	3 (codea ø50x1000) + 3 (asta ø25x1000)
	<b>kit prova statica</b>	non previsto

**Tabella 2:** Caratteristiche meccaniche del penetrometro Superpesante GeoDeepDrill.



**Figura 29:** Report fotografico relativo all'esecuzione delle prove penetrometriche superpesanti DPSH realizzate con penetrometro superpesante GeoDeepDrill

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):

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

C = 2.8 ÷ 4.0 nelle argille ± limose.

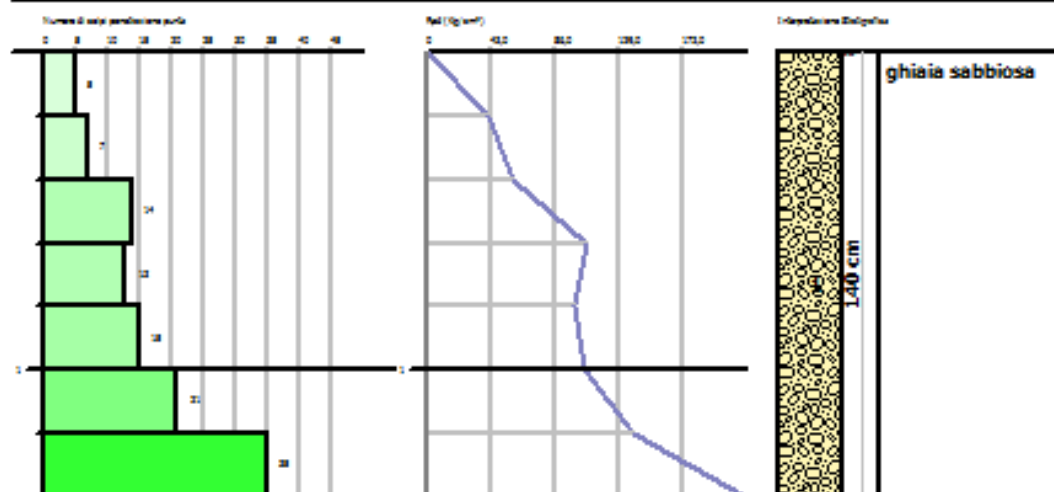
**In seguito si riporta l'elaborazione grafica delle prove rispettivamente DPSH 1 DPSH 2:**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1**  
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: ENOREC s.r.l.  
Cantiera: RECUPERO INERTI  
Località: AIELLI

Date: 21/09/2016

Scale 1:20

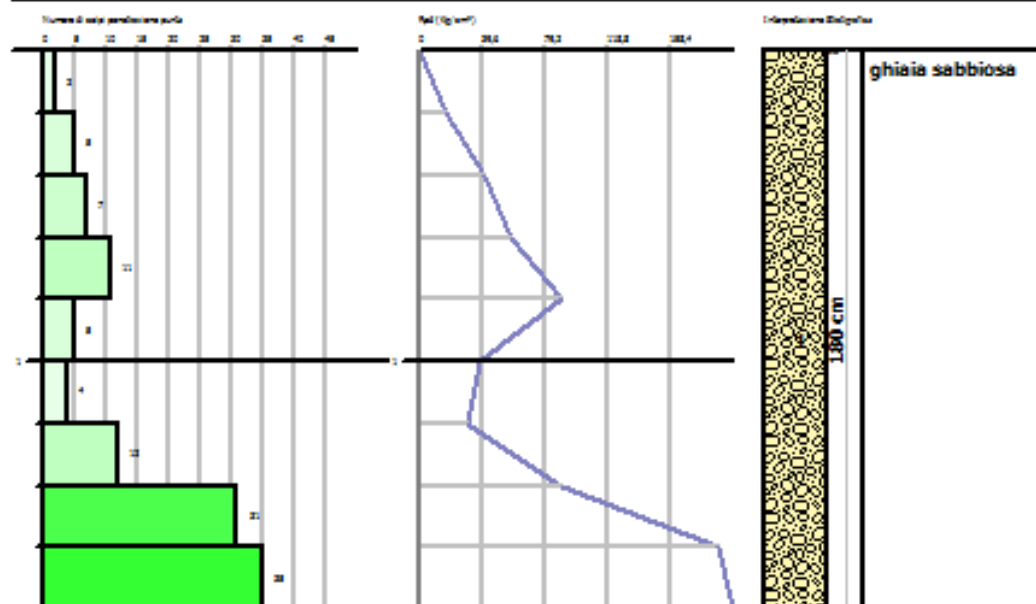


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2**  
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: ENOREC s.r.l.  
Cantiera: RECUPERO INERTI  
Località: AIELLI

Date: 21/09/2016

Scale 1:20



I risultati ricavati dalle verticali realizzate dalle prove penetrometriche DPSH, mettono in evidenza come il terreno di sedime, sia caratterizzato da un litotipo con buone caratteristiche geotecniche. Le verticali denominate DPSH 1, DPSH 2, sono state protratte rispettivamente sino a 1,4 e 1.8, m dal P.C. quando hanno mostrato un rifiuto strumentale. Da queste prove abbastanza omogenee tra loro. Si tratta di sabbie ghiaiose. Queste litologie presenti in questa porzione di territorio, sono in completo accordo con quanto proposto da Cavinato nel 2002 che le descrive attribuendo a tali sequenze deposizionali spessori che possono superare i 300 e caratterizzate per l'appunto da alternanze decimetriche fino a metriche di ghiaie in matrice sabbiosa intercalata a livelli di sabbia.

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

## 7.4 PROVA DI PERMEABILITÀ



Vista la tipologia dei litotipi presenti nel sottosuolo locale, all'interno del foro esplorativo, è stata effettuata una prova di permeabilità a carico variabile, riempiendo parzialmente il foro con acqua e misurando la velocità di abbassamento in funzione del tempo. Le prove di permeabilità in pozzetto (circolare o quadrato) sono adatte per i terreni granulari e forniscono una valutazione della permeabilità media dei terreni superficiali al di sopra del livello di falda.



Il coefficiente di permeabilità viene calcolato con la seguente relazione:

$$K = [(h_2 - h_1) / (t_2 - t_1)] \times \{[(1 + 2hm/d)] / [27(hm/d)+3]\}$$

Dove:

**hm** = altezza media dell'acqua nel pozzetto ( $hm > d/4$ );

**t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>** = intervallo di tempo;

**h<sub>2</sub> - h<sub>1</sub>** = variazione del livello dell'acqua nell'intervallo t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>;

**d** = lato del pozzetto.

Associando i dati ricavati dalla prova si evince come, per i terreni superficiali in esame, è possibile definire quantitativamente il coefficiente di permeabilità e qualitativamente i loro parametri idrogeologici (grado di permeabilità K e drenaggio), come descritto nella tabella seguente.

Pozzetto	Prof. Da P.C. (m)	Litologia	K (cm/s)	Grado di K	Drenaggio
1	55	Giaietto in matrici sabbiose	$1.82 \times 10^{-3}$	Medio	Buono

$k$ (m/s)	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
<i>Grado di permeabilità</i>	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile		
<i>Drenaggio</i>	buono					povero			praticamente impermeabile			
<i>Tipo di terreno</i>	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo												

Quanto emerge dalla prova di permeabilità, mette in evidenza come questi depositi, siano mediamente permeabili e come descritto in precedenza anche in grado di ospitare acquiferi superficiali spesso utilizzati per l'approvvigionamento idrico.

Nell'area di studio, già nelle immediate vicinanze sono presenti numerosi pozzi che mettono in evidenza come vi sia la presenza di una falda freatica alla profondità di circa 30 metri dal P.C., i dati riportati in seguito sono stati estratti dal Catalogo ISPRA all'indirizzo <http://sgi.isprambiente.it/GMV2/>

### Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
<b>Codice:</b> 163720 <b>Regione:</b> ABRUZZO <b>Provincia:</b> L'AQUILA <b>Comune:</b> AIELLI <b>Tipologia:</b> PERFORAZIONE <b>Uso:</b> DOMESTICO <b>Profondità (m):</b> 35.00 <b>Quota pc slm (m):</b> 694 <b>Anno realizzazione:</b> 1979 <b>Numero diametri:</b> 1 <b>Presenza acqua:</b> SI <b>Portata massima (l/s):</b> 0.5 <b>Portata esercizio (l/s):</b> 0.5 <b>Numero falde:</b> 1 <b>Numero filtri:</b> 0 <b>Numero piezometrie:</b> 1 <b>Stratigrafia:</b> SI <b>Certificazione(*):</b> SI <b>Numero strati:</b> 3 <b>Longitudine ED50 (dd):</b> 13.559722 <b>Latitudine ED50 (dd):</b> 42.061390 <b>Longitudine WGS84 (dd):</b> 13.558841 <b>Latitudine WGS84 (dd):</b> 42.060385	

### DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0	35	35	300

## FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	30	35	5

## MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
APR / 1979	30	33	3	0.5

## STRATIGRAFIA

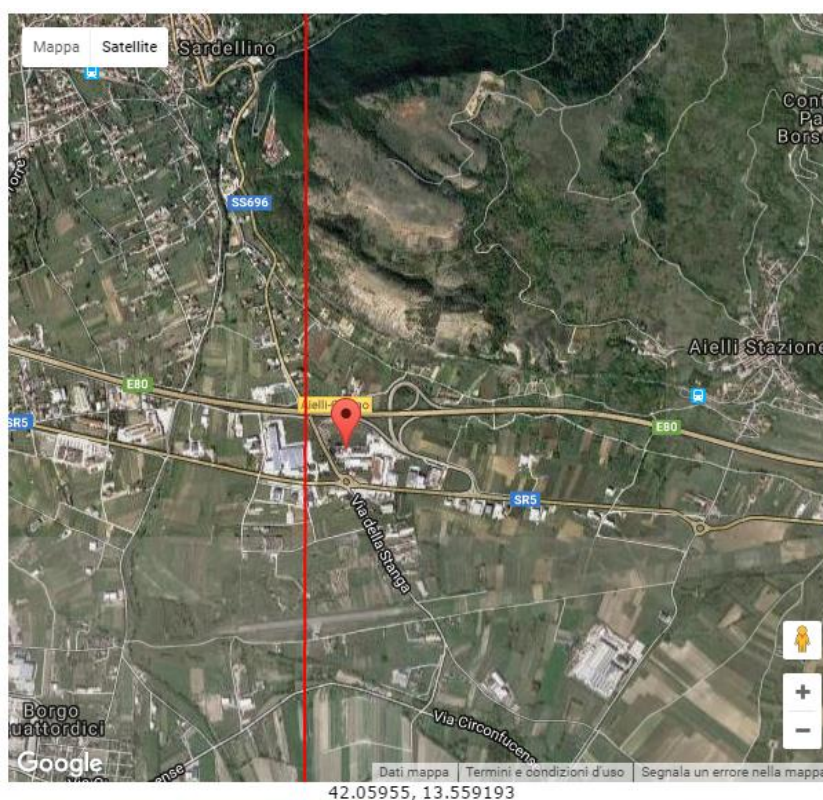
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	10	10.0		ARGILLE SABBIOSE
2	10	24	14.0		GHIAIA E SABBIA
3	24	35	11.0		GHIAIA GROSSA

## 8 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: Celano (AQ)**

**latitudine:** 42.05955

**longitudine:** 13.559193

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.

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

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

## Parametri sismici

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

Si riportano i valori dei parametri di **ag**, **Fo**, **Tc\***, per i periodi di ritorno **T<sub>R</sub>**, associati a ciascuno Stato Limite.

STATO LIMITE	Probabilità di superamento	T <sub>R</sub> (anni)	Ag (g)	F0 (-)	TC* (s)
SLO	81	30	0.078	2.395	0.273
SLD	63	35	0.085	2.376	0.275
SLV	10	332	0.227	2.342	0.334
SLC	5	682	0.293	2.382	0.355

**Tabella 3:** Valori dei parametrici azione TR, ag, FO e Tc\* 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	1.200	1.200	1.190	1.120
CC	1.430	1.420	1.370	1.350
St	1.000	1.000	1.000	1.000
Kh	0.019	0.020	0.076	0.092
Kv	0.009	0.010	0.038	0.046
Amax	0.920	0.999	2.651	3.223
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Tabella 4:** 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 473 m/s ed insieme alle ricostruzioni stratigrafiche effettuate permettono di attribuire il sottosuolo di

fondazione dell'opera in oggetto alla **categoria B**; in relazione alla topografia del sito, trovandosi l'opera in zona che si presenta pianeggiante, essa rientra nella **categoria topografica T1**.

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

**Tabella 5:** Classificazione sismica dei terreni di fondazione.

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

**Tabella 6:** Categorie topografiche

## **9 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, ed a quelli relativi alla vincolistica esistente, è stato possibile ricostruire il modello geologico tecnico della porzione di sottosuolo che sarà interessata dall'opera. I valori dei parametri geotecnici così come riportati nelle tabelle che seguono, hanno messo in evidenza come le verticali indagate, siano caratterizzate dalla presenza di un litotipo prettamente sabbioso-ghiaioso- dato con ogni probabilità dai detriti fluvioglaciali provenienti dalle gole di Celano e portati verso la depressione del Fucino dal torrente La Foce. Tale litologia mostra variazioni sulla verticale, dovuta al differente grado di addensamento della stessa. I dati riportati in seguito, sono stati ricavati dalle prove DPSH in quanto per mancanza di fondi, non è stato possibile realizzare il sondaggio geognostico e ne tantomeno prelevare campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

I parametri relativi alle prove DPSH, sono stati elaborati per terreni incoerenti.

### **DPSH 1**

<u>Litologia</u>	<u>prof. Strat</u> <u>o (m)</u>	<u>Nsp</u> <u>t</u>	<u>tipo</u>	<u>Ed</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>You</u> <u>ng</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Gam</u> <u>ma</u> <u>(t/m<sup>3</sup>)</u>	<u>Gam</u> <u>ma</u> <u>sat</u> <u>(t/m<sup>3</sup>)</u>	<u>DR</u> <u>%</u>	<u>Φ</u> <u>°</u>	<u>Press</u> <u>media</u> <u>Amm.</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Pois</u> <u>son</u>	<u>Modulo</u> <u>di taglio</u> <u>G</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>σ<sub>lv</sub></u>
Strato1	1.4	23.6	incoerente	76	189	2.0	2.1	58	38	5.71	0.31	863	0.14

**Tabella 7:** riassuntiva dei parametri geotecnici desunti dalle indagini realizzate DPSH 1

### **DPSH 2**

<u>Litologia</u>	<u>prof. Strat</u> <u>o (m)</u>	<u>Nsp</u> <u>t</u>	<u>tipo</u>	<u>Ed</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>You</u> <u>ng</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Gam</u> <u>ma</u> <u>(t/m<sup>3</sup>)</u>	<u>Gam</u> <u>ma</u> <u>sat</u> <u>(t/m<sup>3</sup>)</u>	<u>DR</u> <u>%</u>	<u>Φ</u> <u>°</u>	<u>Press</u> <u>media</u> <u>Amm.</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Pois</u> <u>son</u>	<u>Modulo</u> <u>di taglio</u> <u>G</u> <u>(Kg/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>σ<sub>lv</sub></u>
Strato1	1.8	18.7	incoerente	66	149	1.97	2.0	51	36	3.8	0.33	863	0.18

**Tabella 8:** riassuntiva dei parametri geotecnici desunti dalle indagini realizzate DPSH 2

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  $V_{S30}$  ricavati dall'esecuzione delle indagini MASW. Da tale indagini, è emerso come la Categoria di Suolo di Fondazione sia identificabile nella **Categoria B**. 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 75 m dal P.C. dove presumibilmente potrebbe esserci il passaggio litologico.

## **10 CONCLUSIONI**

Lo studio geologico-tecnico sui terreni di fondazione interessati dalla progettazione dell'opera, al foglio 20 Particella 183, 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 della 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.

Si rimane a disposizione della committenza per eventuali ulteriori chiarimenti.

Sant'Anatolia di Borgorose (RI)

**GEO-STAFF**

Dott. Geol. RUBEIS LUCA

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

## 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

<b>Architettura</b>	
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 riforte, robotico resistente a torsioni, flessio-torsioni, abrasioni ed agenti chimici
<b>Campionamento</b>	
Memoria:	64 kByte (~30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200, 300, 400, 500, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 8000, 10000, 20000
passi 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
<b>Dinamica del sistema</b>	
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:	>96dB
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
<b>Alimentazione</b>	
Tensione di alimentazione:	10-15VdC
Consumo:	
Unità di testa:	20mA
Per Canale:	40mA
Consumo totale 12 canali:	510mA
<b>Convertitore A/D</b>	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
<b>Preamplificatore</b>	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Ricezione 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

detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

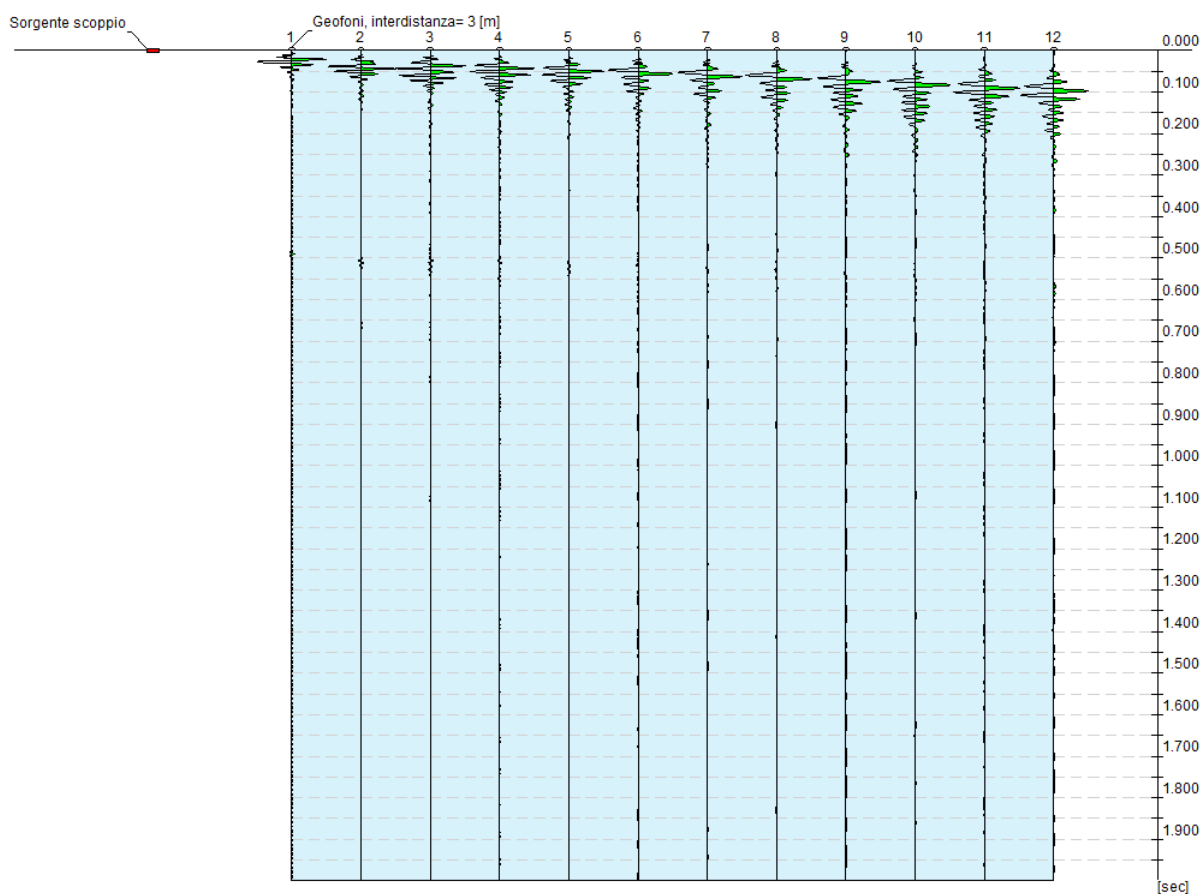
### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

## MASW 1

### Tracce

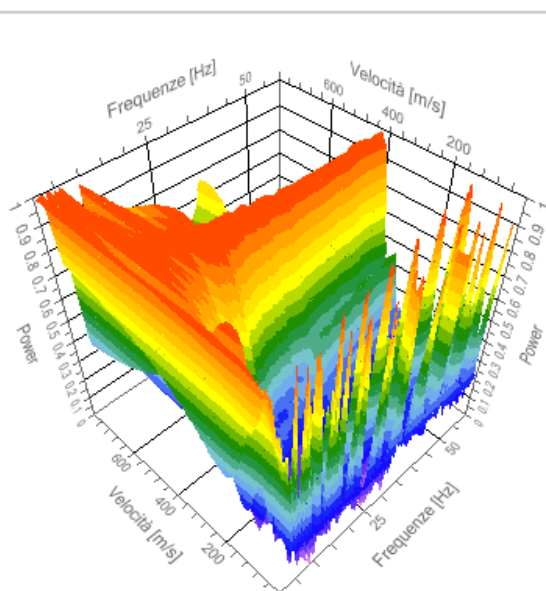
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	3.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



## Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze

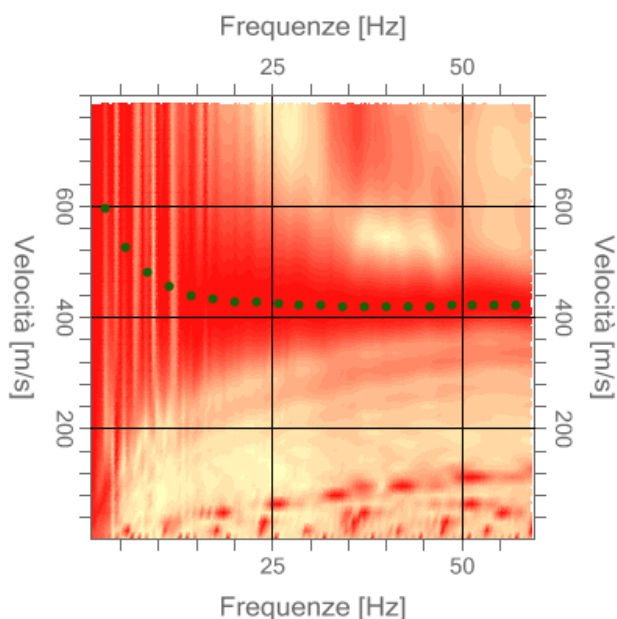


## Curva di dispersione

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di**  
**messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]
1	2.9	595.9
2	5.8	525.2
3	8.6	480.7
4	11.5	454.2
5	14.4	439.6
6	17.2	432.0
7	20.1	428.3
8	22.9	426.3
9	25.8	424.7
10	28.6	422.9
11	31.5	420.9
12	34.3	419.0
13	37.2	417.7
14	40.1	417.4
15	42.9	417.8
16	45.8	419.0
17	48.6	420.5
18	51.5	422.0
19	54.3	422.5
20	57.2	421.0

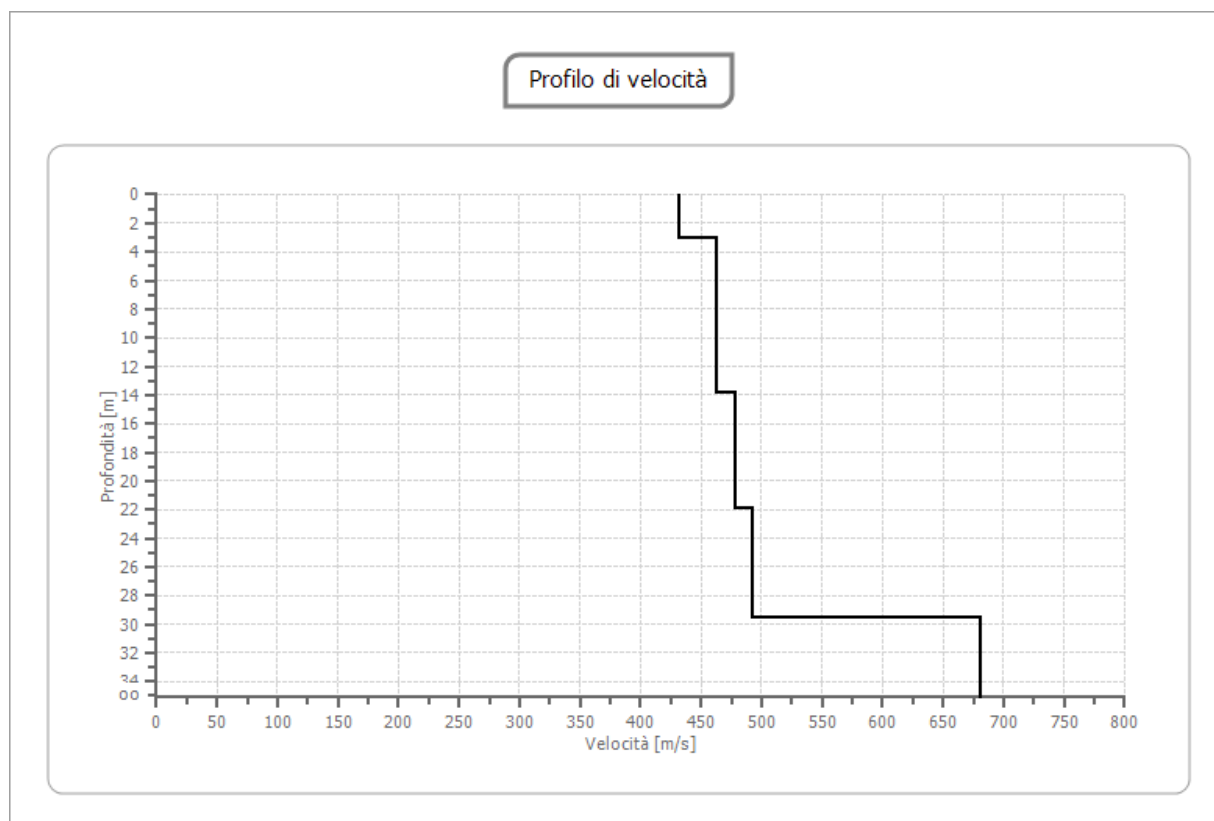
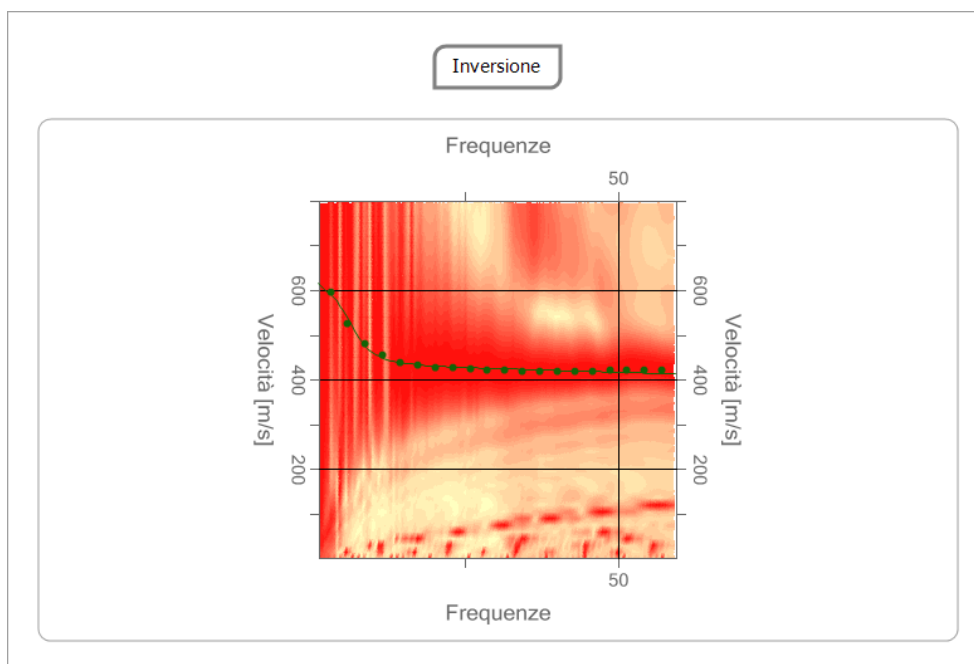
Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	$V_p$ [m/sec]	$V_s$ [m/sec]
1	3.00	3.00	1900.0	0.3	807.2	431.5
2	8.83	5.83	2000.0	0.3	865.5	462.6
3	13.90	5.07	2100.0	0.3	865.6	462.7
4	21.88	7.98	2100.0	0.3	895.2	478.5
5	29.56	7.68	2150.0	0.3	922.1	492.9
6	∞	∞	2150.0	0.3	1273.5	680.7

## Inversione



## Risultati

<b>Vs30 [m/sec]</b>	473.07
<b>Categoria del suolo</b>	B

### Suolo di tipo B:

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

## 2 REPORT

### PLACE INFORMATION

*Place ID:* AIELLI (AQ)

*Address:*

*Latitude:* 42.060528

*Longitude:* 13.560097

*Coordinate system:* ED50

*Elevation:* 695 m s.l.m.

*Weather:* ASSENTE

*Notes:* Le condizioni a contorno che hanno caratterizzato la misura, sono state:

VENTO ASSENTE;

CIELO SERENO;

BUON ACCOPPIAMENTO STRUMENTO TERRENO;

ORIENTAZIONE VERSO NORD;

SORGENTE DI RUMORE DISCONTINUA NELLE VICINANZE DATA DA ASSE STRADALE.



## HVSR

### SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2016/09/02 10:04:22

Recording length: 30.62 min

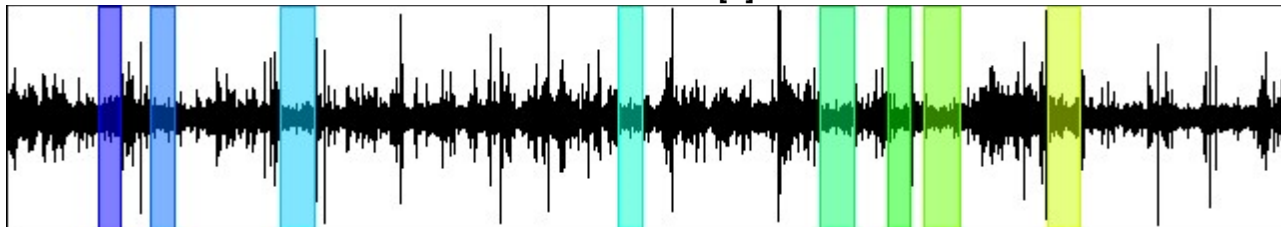
Windows count: 8

Average windows length: 40.94

Signal coverage: 17.83%

10762 Counts

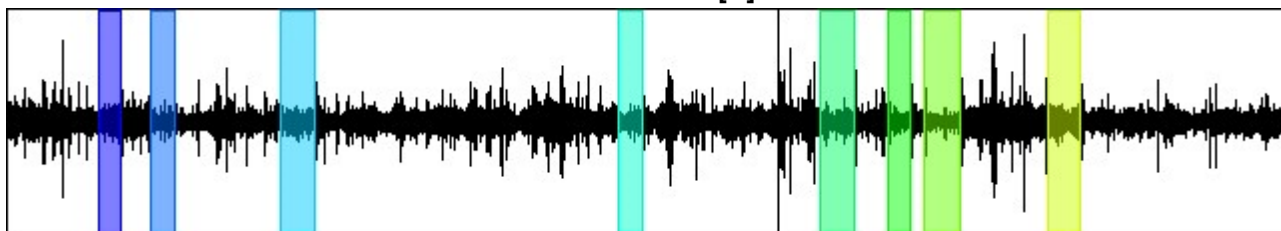
CHANNEL #1 [V]



-10390 Counts

7845 Counts

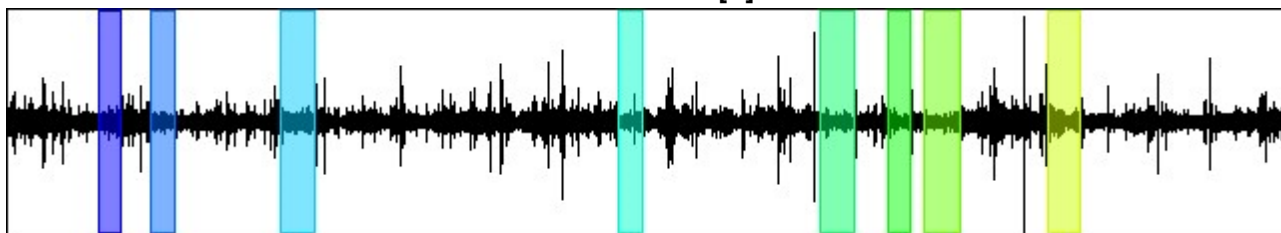
CHANNEL #2 [N]



-7772 Counts

10210 Counts

CHANNEL #3 [E]



-10702 Counts

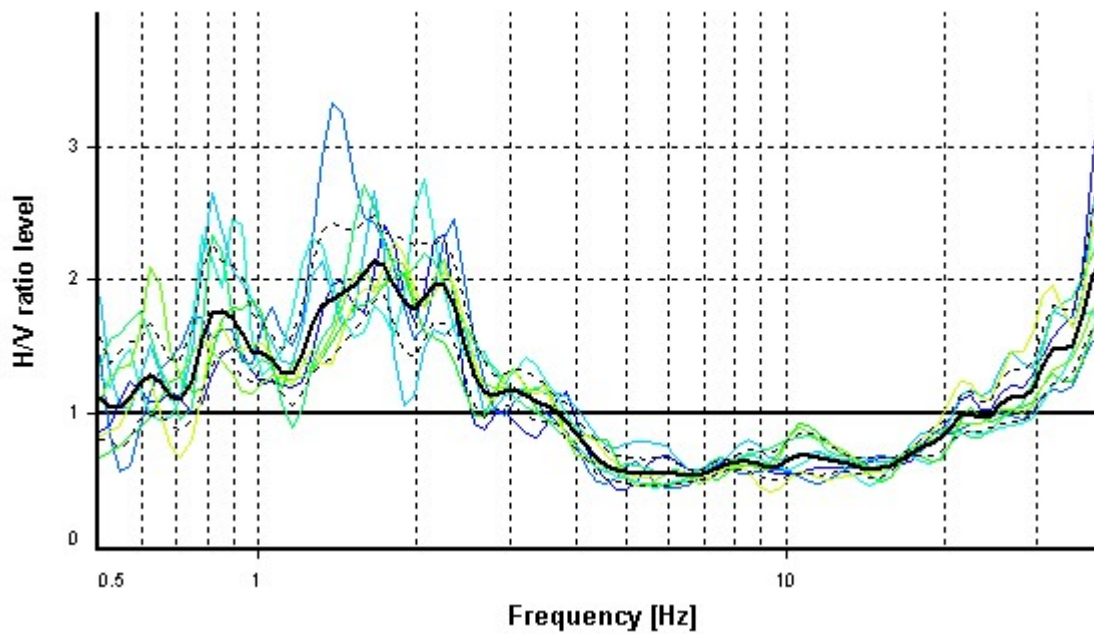
## HVSR ANALYSIS

**Tapering:** Enabled (Bandwidth = 5%)

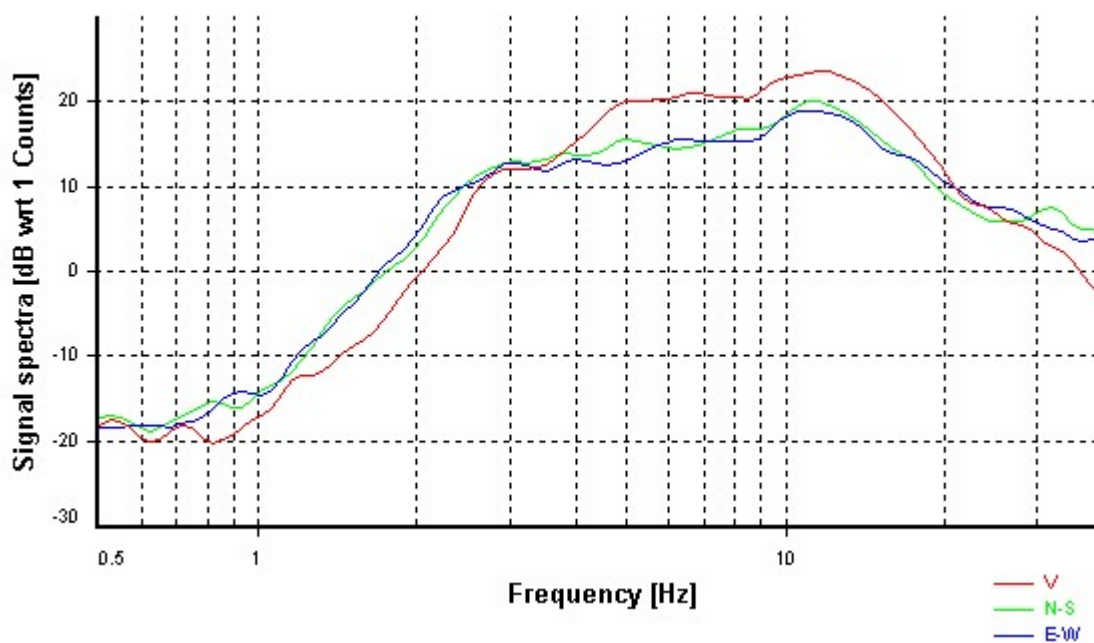
**Smoothing:** Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

**Instrumental correction:** Disabled

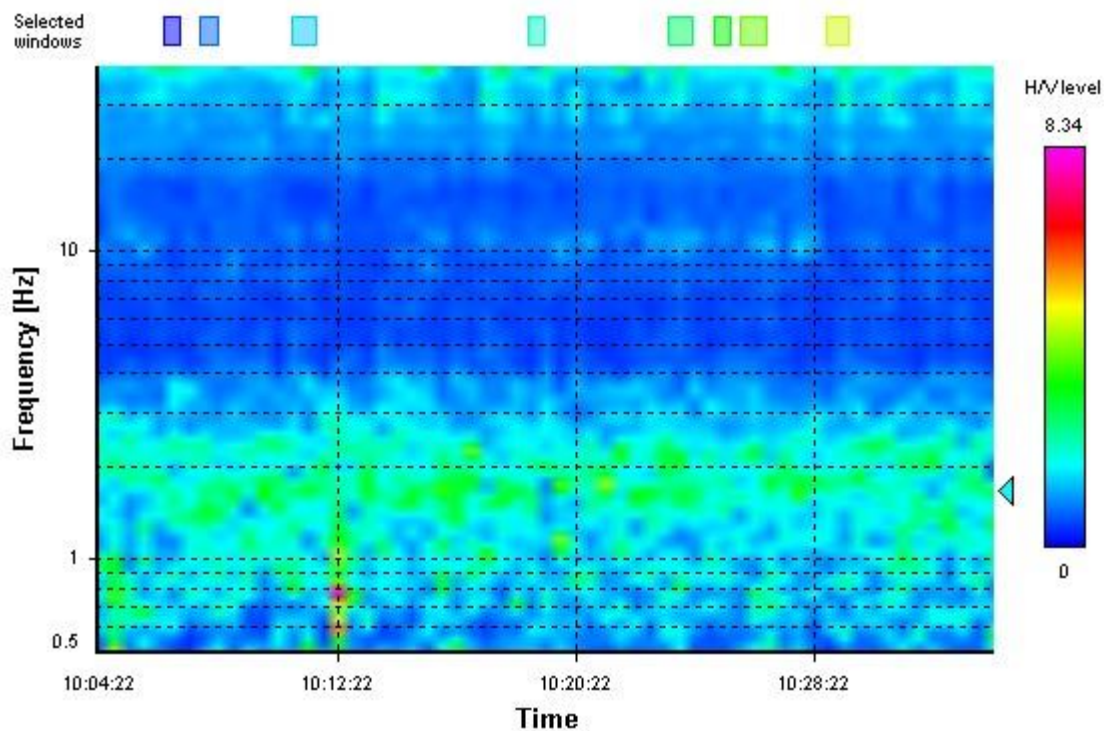
### HVSR average



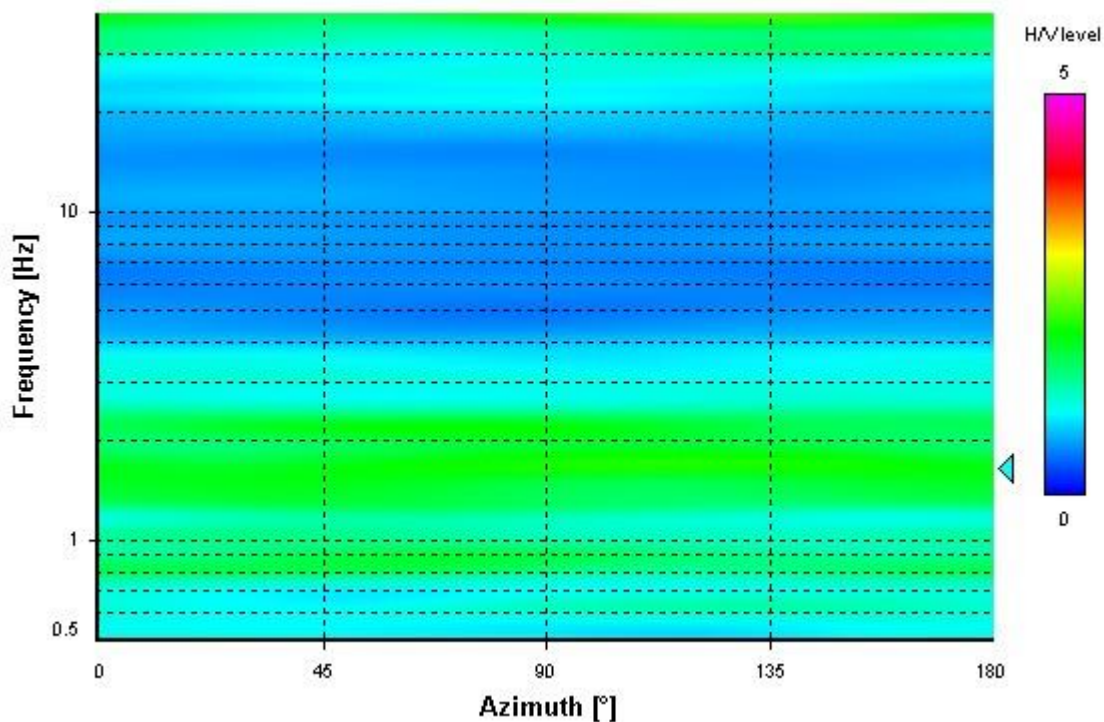
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



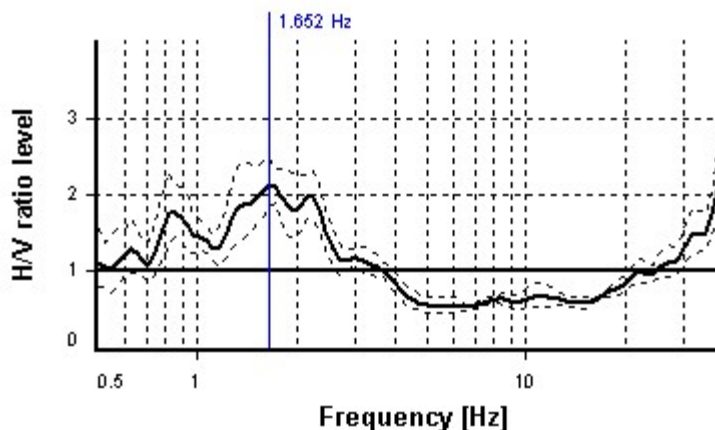
**SESAME CRITERIA**

**Selected  $f_0$  frequency**

**1.652 Hz**

**$A_0$  amplitude = 2.137**

**Average  $f_0 = 1.793 \pm 0.275$**



### HVSR curve reliability criteria

$f_0 > 10 / L_w$	8 valid windows (length > 6.05 s) out of 8	OK
$n_c(f_0) > 200$	541.03 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 31	OK

### HVSR peak clarity criteria

$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.54628 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	3.66447 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.14 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.53% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.27471 >= 0.16519	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.16414 < 1.78	OK

### Overall criteria fulfillment

OK

# 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.

**sara**  
 electronic instruments

Il direttore tecnico: Mauro Mariotti

Data di rilascio/ 29/02/2016

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

**CALIBRATION CERTIFICATE**

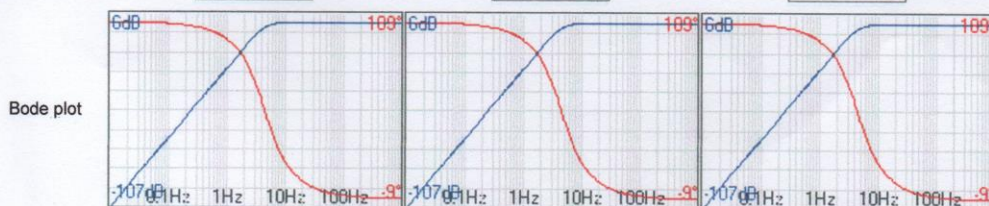


SARA electronic instruments s.r.l.  
 Via Mercuri 4, 06129 - PERUGIA - Italy  
 www.sara.pg.it - info@sara.pg.it

Date of calibration: 2016/03/03  
 Instrument type: Velocimeter  
 Instrument model: PF S SR04 GBX-45-NNG  
 Serial number: 1459  
 Manufacturing date: MAR 2016  
 Validity date: 2016/03/03 to 2018/03/03

TEST CONDITIONS	Channel 1 - Z	Channel 2 - NS	Channel 3 - EW
Shaking table:	SARA MK1	SARA MK1	SARA MK1
Voltmeter:	AGILENT U1252A	AGILENT U1252A	AGILENT U1252A
Signal digitizer:	SR04C3 @ 600 Hz	SR04C3 @ 600 Hz	SR04C3 @ 600 Hz
Signal generator:	TTI TG1010A	TTI TG1010A	TTI TG1010A
Scope meter:	SEISMOCAL 1.0.74	SEISMOCAL 1.0.74	SEISMOCAL 1.0.74
Last system check:			
Temp / Rh:	22,0 °C 51,6 %	22,1 °C 53,5 %	20,8 °C 48,6 %
Environmental seismic noise during test			

Output impedance:	3400	3400	3400 ohm	+/-	5 %
Calibration frequency:	10	10	10 Hz	+/-	0.001 Hz
Calibration displacement:	0	0	0 mm	+/-	0.002 mm
Frequency o.c.:	3.5	3.5	3.7 Hz	+/-	0.1 Hz
Damping o.c.:	0.62	0.62	0.58	+/-	5 %
Applied shunt:	160000	130000	91000 ohm	+/-	1 %
Output frequency:	3.3	3.3	3.3 Hz	+/-	0.1 Hz
Eigen frequency:	4.5	4.5	4.5 Hz	+/-	0.1 Hz
Damping:	0.69	0.69	0.69	+/-	5 %
Generator constant:	79.64	79.58	75.02 V/m/s	+/-	1 %



<b>POLES</b>	<b>POLES</b>	<b>POLES</b>
1) Re: -19.509; Im: 20.465	1) Re: -19.509; Im: 20.465	1) Re: -19.509; Im: 20.465
2) Re: -19.509; Im: -20.465	2) Re: -19.509; Im: -20.465	2) Re: -19.509; Im: -20.465
<b>ZEROS</b>	<b>ZEROS</b>	<b>ZEROS</b>
1) Re: 0.000; Im: 0.000	1) Re: 0.000; Im: 0.000	1) Re: 0.000; Im: 0.000
2) Re: 0.000; Im: 0.000	2) Re: 0.000; Im: 0.000	2) Re: 0.000; Im: 0.000
<b>NORMALIZATION FACTOR A0</b>	<b>NORMALIZATION FACTOR A0</b>	<b>NORMALIZATION FACTOR A0</b>
9.99572E-01 @ 45 [Hz]	9.99572E-01 @ 45 [Hz]	9.99572E-01 @ 45 [Hz]
<b>SYSTEM GAIN</b>	<b>SYSTEM GAIN</b>	<b>SYSTEM GAIN</b>
7.96400E+01 V/m/s	7.95800E+01 V/m/s	7.50200E+01 V/m/s

OPERATOR

CHECKED BY

### **3 REPORT DPSH**

## **PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

Committente: Malfarà Antonio

Località: Via Aldo Rossi s.n.c. Celano (AQ)

Codice commessa: 1

Numero certificati allegati: 4

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 <sup>2</sup>
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 °



**DPSH1**



**DPSH2**

**Figura 31:** Report fotografico relativo all'esecuzione delle prove penetrometriche superpesanti DPSH realizzate con penetrometro superpesante GeoDeepDrill

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

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi ) 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);
- avanzamento (penetrazione);
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);

- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

### 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 = 10 cm, punta conica ( $=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10 \text{ cm}^2$  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 = 10 cm, punta conica ( $= 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10 \text{ cm}^2$  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 =30 cm, punta conica ( $= 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27 \text{ cm}^2$  rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento =20-30 cm, punta conica conica ( $= 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20 \text{ cm}^2$ , rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la

necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

$M$  peso massa battente.

$M'$  peso aste.

$H$  altezza di caduta.

Aarea base punta conica.

passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{pd}$

Formula Olandesi

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

$R_{pd}$  resistenza dinamica punta (area  $A$ ).

$e$  infissione media per colpo ( $\frac{Q}{N}$ ).

$M$  peso massa battente (altezza caduta  $H$ ).

$P$  peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_T \cdot C_d$$

$ER/60$  rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

$C_S$  parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

$C_r$  parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

**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:

$$Nspt_k = Nspt_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt})$$

dove  $\sigma_{Nspt}$  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:

$$Nspt_k = Nspt_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt}) / \sqrt{n}$$

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  $d = 1 \text{ m}$ .

## 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 Nspt in presenza di falda***

$$Nspt\ corretto = 15 + 0.5 \cdot (Nspt - 15)$$

Nspt 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).
- Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof.  $< 4$  m. sopra falda e  $< 7$  m per terreni in falda)  $\varphi > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito  $< 38^\circ$ .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof.  $> 2$  m e per valori di angolo di attrito  $< 38^\circ$ ).
- Schmertmann (1977) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\varphi > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

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

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

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

### **Modulo Edometrico**

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

### **Peso di Volume**

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

### **Peso di volume saturo**

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

### **Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

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

### **Velocità onde di taglio $V_s$ (m/s)**

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

### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

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

### **Modulo di reazione ( $K_o$ )**

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

### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (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/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.

- De Beer.

### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

### **Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) ( $Kg/cm^2$ ) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

### **Modulo Di Young ( $E_Y$ )**

- 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.

PROVA ...DPSH 1

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

Prova eseguita in data 21/09/2016

Profondità prova 1,40 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	5	0,855	41,53	48,59	2,08	2,43
0,40	7	0,851	57,87	68,02	2,89	3,40
0,60	14	0,797	108,43	136,05	5,42	6,80
0,80	13	0,793	100,22	126,33	5,01	6,32
1,00	15	0,790	106,50	134,85	5,32	6,74
1,20	21	0,736	139,00	188,79	6,95	9,44
1,40	35	0,683	214,86	314,65	10,74	15,73

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1,4	15,71	145,33	Incoerente	0	2,06	2,0	0,14	1,5	23,63	ghiaia sabbiosa

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

### TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Gibbs & Holtz 1957	58,6

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Meyerhof (1965)	38,11

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Schmertmann (1978) (Sabbie)	189,04

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	---

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	76,00
-------------------------------	-------	-----------	-------	--------------------------------------	-------

**Classificazione AGI**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

**Peso unità di volume**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Meyerhof ed altri	2,06

**Peso unità di volume saturo**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,00

**Modulo di Poisson**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	(A.G.I.)	0,31

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	23,63	0.00-1,40	23,63	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	863,17

**PROVA ...DPSH 2**

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 21/09/2016  
 Profondità prova 1,80 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	5	0,851	41,34	48,59	2,07	2,43

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

0,60	7	0,847	57,62	68,02	2,88	3,40
0,80	11	0,843	90,15	106,90	4,51	5,34
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	12	0,833	89,85	107,88	4,49	5,39
1,60	31	0,680	189,38	278,69	9,47	13,93
1,80	35	0,676	212,80	314,65	10,64	15,73

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1,8	12,44	113,9	Incoerente	0	1,97	1,97	0,18	1,5	18,71	ghiaia sabbiosa

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2**

**TERRENI INCOERENTI I**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Gibbs & Holtz 1957	51,77

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Meyerhof (1965)	36,68

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Schmertmann (1978) (Sabbie)	149,68

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	65,90

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
-------------	------	------------------	----------------------------------	--------------	--

**Progetto di un impianto di trattamento rifiuti speciali e urbani non pericolosi con operazioni di messa in riserva (R13), scambio di rifiuti (R12) e recupero di inerti (R5)**

Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Meyerhof ed altri	1,97
-------------------------------	-------	-----------	-------	-------------------	------

**Peso unità di volume saturo**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

**Modulo di Poisson**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	(A.G.I.)	0,32

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	748,42

**Velocità onde di taglio**

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Ohta & Goto (1978) Limi	111,27

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

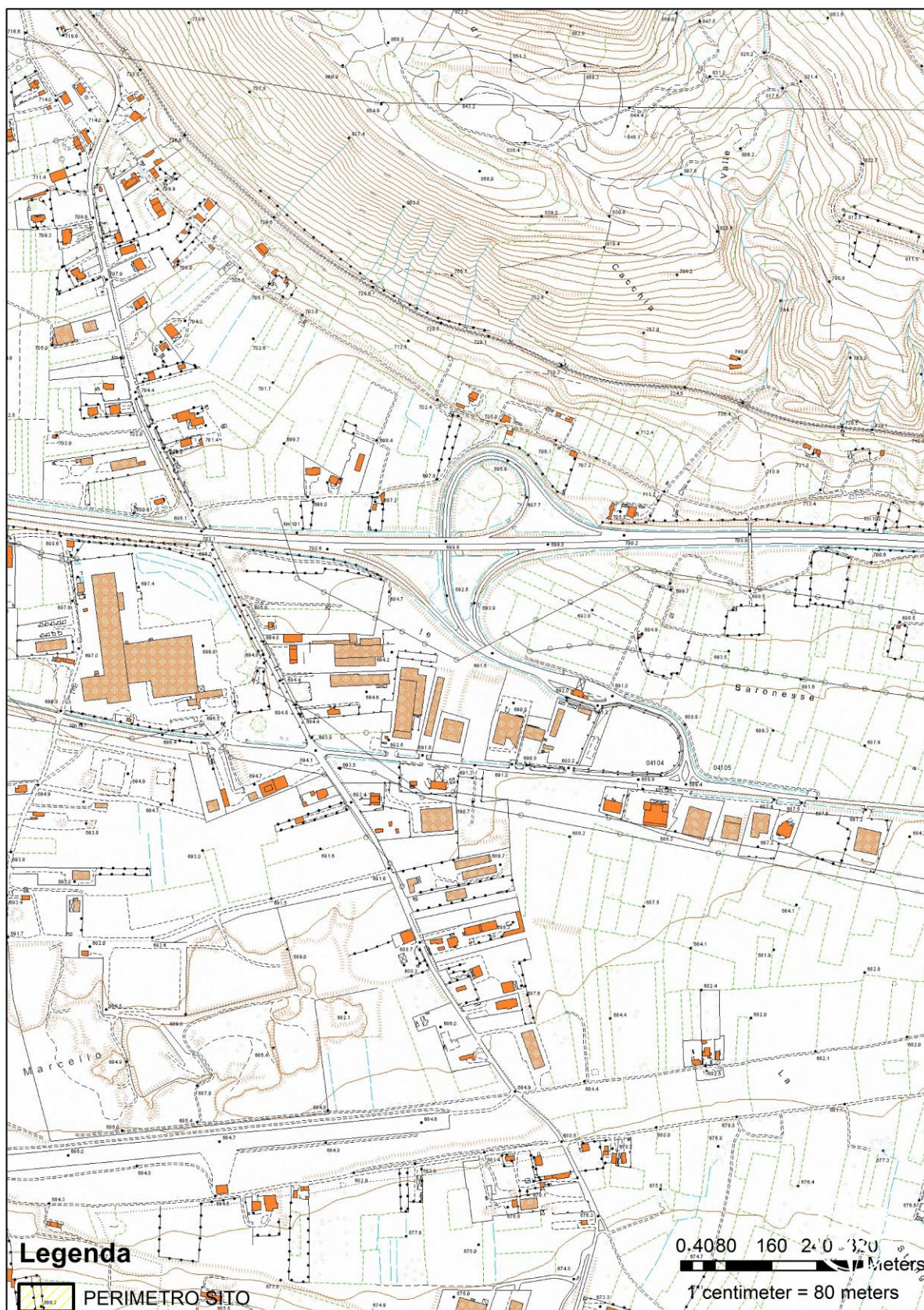
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Navfac 1971-1982	3,82

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

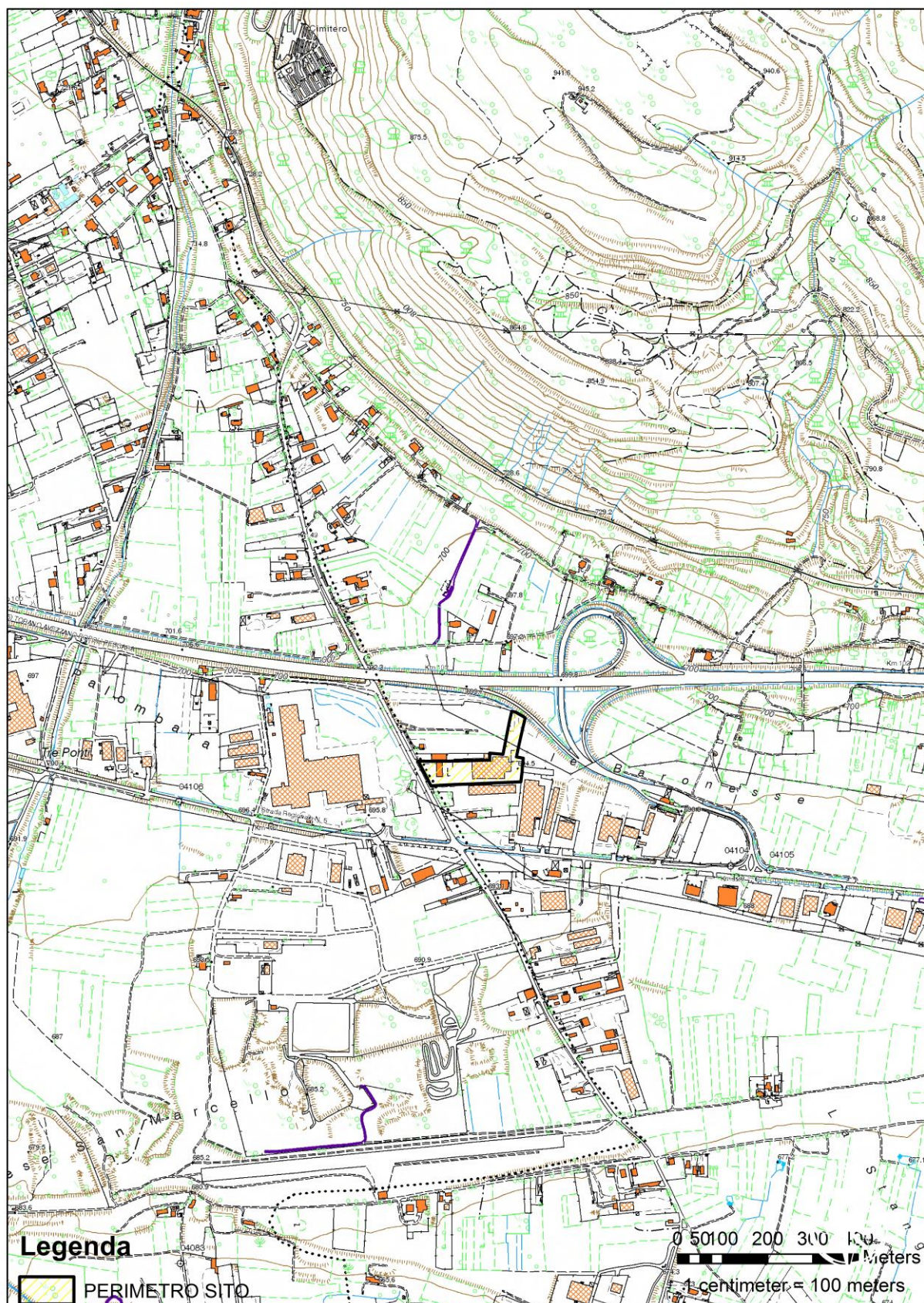
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) ghiaia sabbiosa	18,71	0.00-1,80	18,71	Robertson 1983	37,42



5 CTR 1:5000



6 CTR 1:10000



**7 CARTA TOPOGRAFICA 1:25000**

