

# PROGETTO DI COSTRUZIONE E DI MESSA IN ESERCIZIO DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO

## RELAZIONE TECNICA GENERALE - RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA -

### - DATI AMMINISTRATIVI -

Ditta proponente: *ENEL ROTELLO 1 S.R.L.*

Sede: Vico Teatro 33, 71121 Foggia

Progettista: Romanciuc Arch. Andrea

Contatto per notifiche: [studio-romanciuc@pec.it](mailto:studio-romanciuc@pec.it)

Contatto telefonico: 331.8880993

### - LOCALIZZAZIONE -

Comune di Rotello, Provincia di Campobasso, Regione Molise

Località "Contrada Cantalupo o anche Fontedonico"

Coordinate Geografiche: 41.756303°, 15.072583°

Estremi catastali:

- Foglio 19 Part. 4, 5, 7, 14, 15, 16, 17, 22
- Foglio 30 Part. 15, 16, 21, 22, 23, 25, 26, 41, 46, 47, 57
- Foglio 43 Part. 8, 13, 14, 19, 51
- Foglio 45 Part. 93 ,95 ,152, 151
- Foglio 46 Part. 12, 19, 20, 22, 23, 65, 66, 77, 79, 83, 84, 90, 96, 97, 98, 99, 111, 102, 103, 106, 114, 109, 115, 121, 124, 131, 151, 155, 177, 182, 183, 184, 201, 209, 215, 217, 218, 222

### - DATI IMPIANTO -

Potenza impianto fotovoltaico: 60 MWp

Numero di tracker: 4807

Distanza interasse trasversale tracker (direzione est-ovest): 9,5 mt

Numero pannelli fotovoltaici: 134596 da 435 Wp cad.

**Codice A.U. – P.A.U.R.:** RelazioneGeologica\_0\_03

**Documento:** RELAZIONE\_03

**COMUNE DI ROTELLO (CB)**

**Progetto di costruzione e messa in esercizio di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 60 MWp, infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Rotello (CB) alla Contrada "Cantalupo"**

---

*Relazione geologica*

---

PROPONENTE:  
ENEL ROTELLO1 SRL

TECNICO:  
GEOL. DOMENICO PAOLO IMPAGNATIELLO



# SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
1.1. PIANO DI INDAGINI .....	2
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. CENNI GEOLOGICI E TETTONICI</b> .....	<b>7</b>
3.1. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	7
3.2. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE.....	10
<b>4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA</b> .....	<b>12</b>
4.1. PRINCIPALE VINCOLISTICA .....	14
<b>5. PROGETTO IFFI</b> .....	<b>15</b>
<b>6. INQUADRAMENTO PAI E RISCHIO GEOMORFOLOGICO</b> .....	<b>16</b>
<b>7. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
7.1. SORGENTI .....	18
7.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	18
7.3. RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE .....	20
7.4. IDROGEOLOGIA - ACQUIFERI .....	21
7.5. POZZI ESPLORATIVI PROFONDI .....	21
<b>8. QUADRO CLIMATICO GENERALE E LOCALE</b> .....	<b>23</b>
<b>9. USO DEL SUOLO</b> .....	<b>28</b>
<b>10. SISMICITA' DELL'AREA</b> .....	<b>29</b>
<b>11. INDAGINI IN SITU E DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>32</b>
11.1. PREMESSA .....	32
11.2. PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE .....	32
11.3. INDAGINE SISMICA MASW .....	33
11.4. PARAMETRI DINAMICI DEL SOTTOSUOLO .....	35
<b>12. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO</b> .....	<b>36</b>
<b>13. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</b> .....	<b>38</b>
<b>14. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO</b> .....	<b>41</b>
14.1. PREMESSA .....	41
14.2. CORRELAZIONI CON I PARAMETRI SISMICI .....	41
14.3. PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO RICOSTRUITO.....	46
<b>15. CONCLUSIONI</b> .....	<b>47</b>

## 1. PREMESSA

La società ENEL ROTELLO 1 Srl intende presentare una istanza per la realizzazione di un impianto agrivoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Rotello (CB). Per tale motivo il sottoscritto dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello iscritto all'Albo Regionale dei Geologi della Puglia con il n. 254, ha stilato una "**Relazione Geologica**" da allegare agli atti relativi al «**Progetto di costruzione e messa in esercizio di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 60 MWp, infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Rotello (CB) alla Contrada "Cantalupo"**».

In particolare l'intervento consiste nella realizzazione di un impianto agricolo e di produzione di energia elettrica mediante l'impiego di pannelli fotovoltaici, da installare nell'ambito del territorio comunale di Rotello in provincia di Campobasso. L'impianto sarà costituito da circa 130000 pannelli fotovoltaici, montati su strutture metalliche per inseguimento mono-assiale (tracker), distribuite – assieme alle opere di rivegetazione e rimboschimento - su una superficie complessiva di circa 136 Ha. La realizzazione prevede inoltre un complesso di opere di connessione con circa n. 30 cabine di campo con inclusi gli inverter per conversione corrente da continua ad alternata e n. 6 cabine di sezione.

**La società proponente dell'impianto è la Enel Rotello 1 SRL, con sede in Vico Teatro n. 33, 71121 Foggia;** la società dispone delle aree di pertinenza in forza di atti preliminari stipulati che le rispettive proprietà hanno sottoscritto. L'impianto comprende inoltre, opere di rivegetazione e di rimboschimento, meglio descritte negli elaborati tecnici e nello studio VIA.

Obiettivo dell'indagine geologica è stato quello di:

- illustrare le caratteristiche geostrutturali dell'area in esame, con riferimento al quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- fornire le principali caratteristiche tecniche dei terreni presenti in loco.

### 1.1. Piano di indagini

Per la realizzazione dei succitati obiettivi si è approntato il seguente piano di lavoro:

- ricerca bibliografica e documentale;
- sopralluogo dell'area;

- esecuzione di n. 2 sondaggi sismici a rifrazione in onde P e n. 2 prove sismiche, tipo MASW; il tutto effettuato in data 03.08.2020;
- interpretazione dei dati di campagna;
- stesura della presente relazione finale.

## **1.2. Normativa di riferimento**

Prima di illustrare il lavoro eseguito è opportuno indicare le principali normative che regolano la materia in questione:

1. RDL 3267/23 *"Riordinamento e Riforma Legislazione in Materia di Boschi e Terreni Montani"*;
2. Legge n. 64 del 02.02.1974. *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*;
3. D.M. 11.03.1988 - *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri..."*;
4. Circolare Min. LL. PP. n. 30483 del 24.09.1988 - *"Norme di attuazione del D.M. 11.03.1988"*;
5. Legge Regionale 1 Dicembre 1989, n° 24 - *"Disciplina dei piani territoriali paesistico ambientali"*;
6. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 - *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*;
7. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 - *"Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 Legge 6 luglio 2002, n. 137 e succ. mod. e integr."*;
8. LEGGE REGIONALE 20 maggio 2004, n. 13 - *"Riclassificazione sismica del territorio regionale e nuova normativa sismica"*;
9. Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino interregionale del fiume Saccione - Assetto di versante e assetto idraulico;
10. DGR n°621 del 04/08/2011 - *"Linee guida per lo svolgimento del procedimento unico di cui all'art. 12 del D. Lgs. n. 387/2003 per l'autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili sul territorio della Regione Molise"*;
11. D.Lgs. 152 del 3 Aprile 2006 - *"Norme in Materia Ambientale"* e succ. mod. ed int.;
12. Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 - *"Aggiornamento delle « Norme Tecniche per le Costruzioni"*;
13. Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 *"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio è ubicata nella macroarea denominata "Fascia costiera" della regione Molise. Tale area presenta una superficie di circa 597 Km<sup>2</sup>, ed è compresa tra l'allineamento individuato dai comuni di Montenero di Bisaccia – Guglionesi - Ururi ed il mare Adriatico.

Le opere in oggetto sono localizzate all'interno del territorio comunale di Rotello, in provincia di Campobasso.

Si tratta di un territorio prevalentemente collinare, confinante verso est con la Puglia e caratterizzato da piani morfologici debolmente inclinati verso mare (ENE), con quote comprese tra i 170 e i 250 m s.l.m. la cui continuità è interrotta dalle incisioni fluviali, la più importante delle quali è quella del Fiume Saccione. L'intera area interessata dagli interventi è infatti ubicata all'interno del bacino idrografico e idrogeologico del Saccione, il cui affluente principale in questo tratto è, in destra idrografica, il Torrente Mannara.

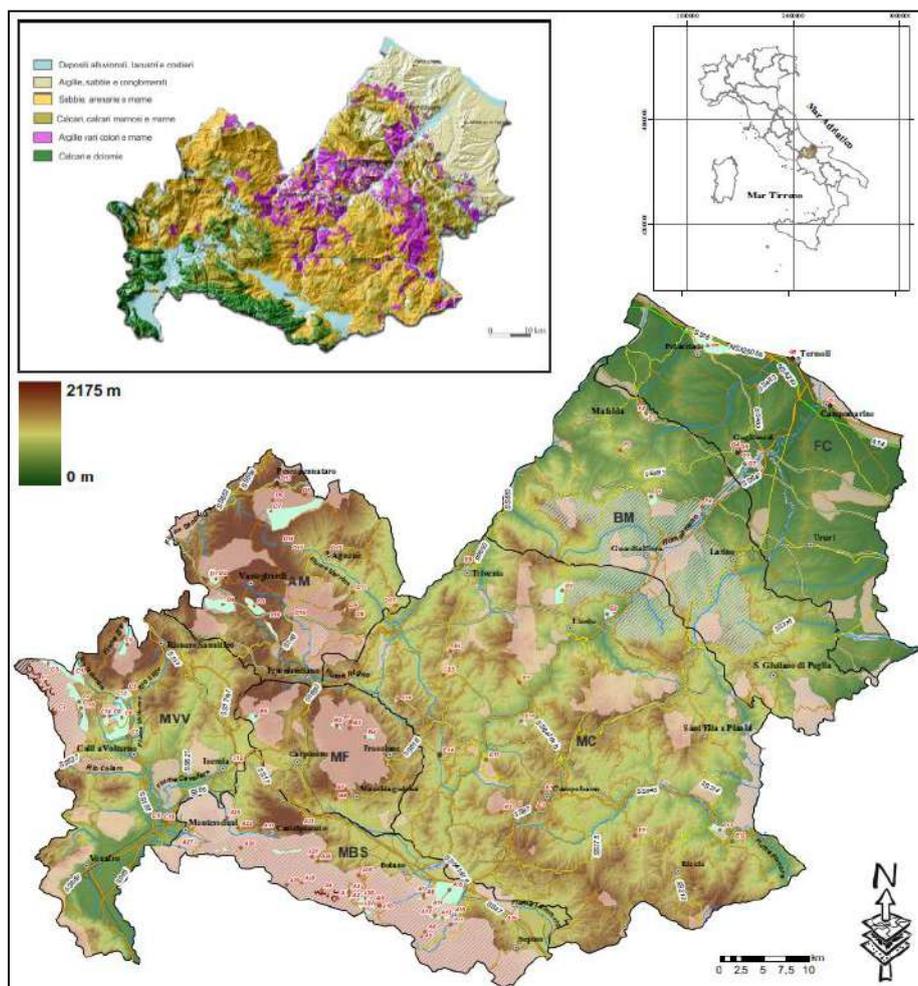


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (tratto dalla Carta di sintesi dei Geositi molisani)

L'orografia tipica è quella dell'area appenninica, caratterizzata da una morfologia dolce con ampie spianate, pianalti, debolmente inclinati verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere, con quote comprese tra 300 e 150 metri s.l.m., intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua, T. Saccione, T. Fortore, T. Manara e T Sapestra e dai loro affluenti minori.

L'idrografia superficiale è dominata dai quattro corsi d'acqua principali T. Saccione, T. Mannara, T. Sapestra e il T. Fortore, e da una serie di canali, marane, fiumare e fossi che alimentano gli stessi. Il regime idraulico è stagionale e strettamente legato all'andamento delle precipitazioni.

Il progetto in questione si inserisce in tale contesto geografico e nella fattispecie i riferimenti cartografici per una corretta individuazione e definizione dell'area di studio sono:

- foglio n. 155 "San Severo" della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 edita dall'ISPRA;
- foglio n. 395 "Torremaggiore" della Carta d'Italia in scala 1:50.000;
- tavolette topografiche III N.O. "Ururi", III N.E. "Serracapriola", III S.O. "Santa Croce di Magliano" e III S.E. "Castello di Dragonara" del Foglio n. 155 della Carta d'Italia in scala 1:25.000.

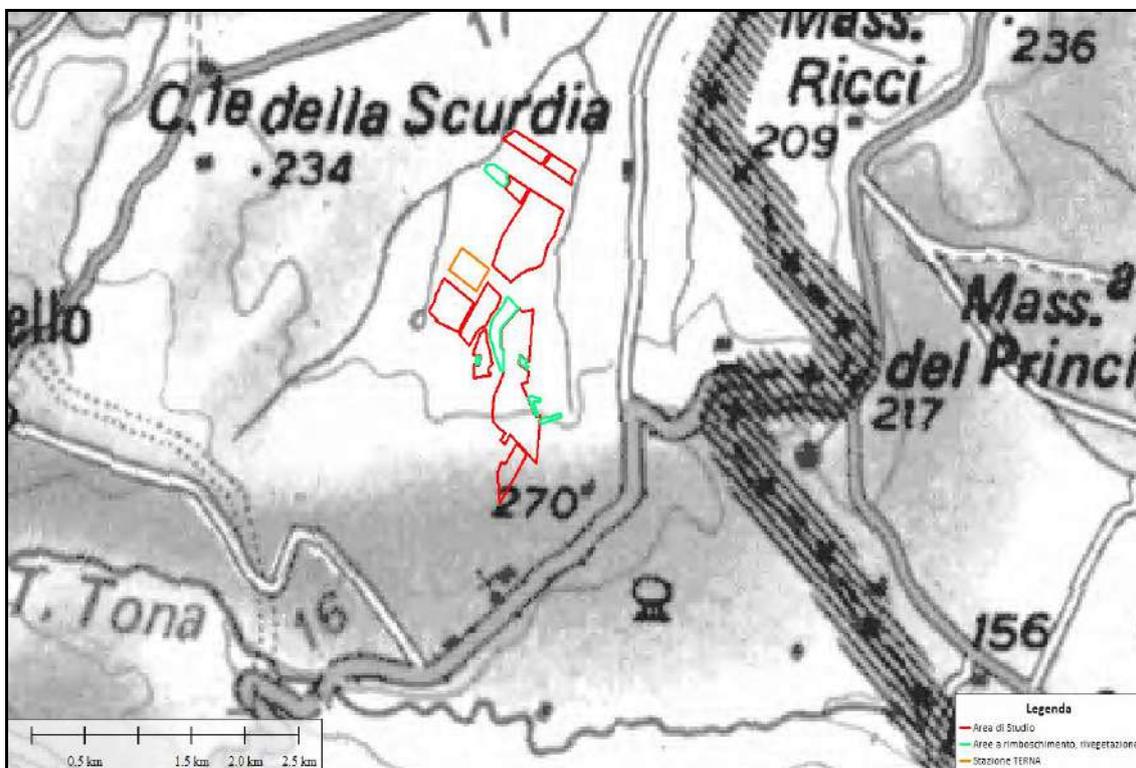


Fig. 2 – Inquadramento territoriale: area vasta

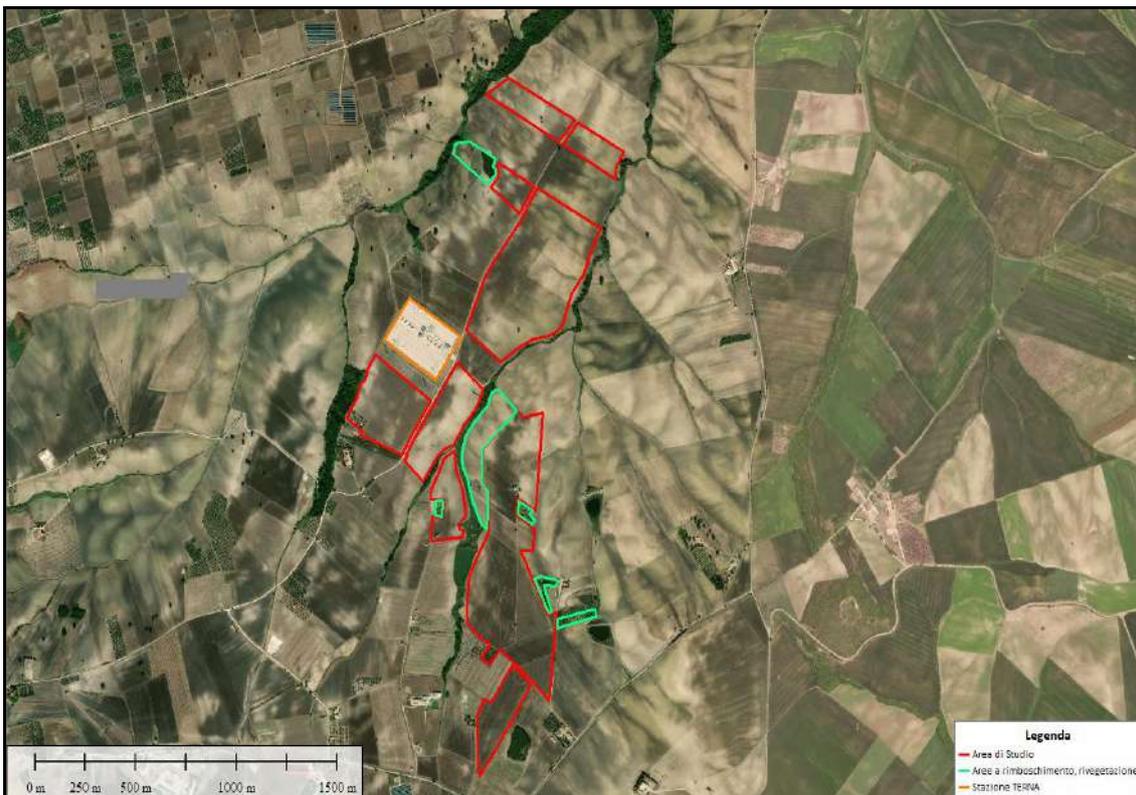


Fig. 3 – Inquadramento territoriale: area di interesse

L'area oggetto di intervento si trova nella fascia pedemontana del Comune di Rotello ove predominano in affioramento terreni argillosi e detriti di falda; la morfologia risulta generalmente piatta o con deboli inclinazioni, con profili continui e tenui e caratterizzati da forme prevalentemente plastiche. Nella zona esaminata, posta a circa 5 km. ad est dell'agglomerato urbano di Rotello, non si evidenziano significativi segni di erosione né tanto meno accentuati fenomeni gravitativi tranne quanto descritto nel § 5. Progetto IFFI.

### 3. CENNI GEOLOGICI E TETTONICI

Per meglio capire i reciproci rapporti stratigrafici dei terreni localmente affioranti, si rende necessario un inquadramento geologico di carattere regionale.

#### 3.1. Assetto geologico-strutturale

La Regione Molise, pur essendo confinata in un territorio di limitata estensione (4438 km<sup>2</sup>), è caratterizzata da una situazione geologica molto articolata e risultante nell'insieme complessa e di difficile interpretazione, sia per quanto attiene alle condizioni di superficie sia soprattutto per la geologia profonda.

La configurazione attuale è il risultato complessivo della continua evoluzione paleogeografica e dei notevoli sconvolgimenti tettonici che a più riprese, ma particolarmente nella fase parossistica dell'orogenesi appenninica (Mio-Pleistocene), hanno deformato e disarticolato le unità tettoniche preesistenti, complicandone ulteriormente la geometria dei rapporti e, successivamente, contribuito alla dislocazione dei diversi corpi geologici fino all'individuazione delle unità morfologiche attualmente presenti sul territorio.

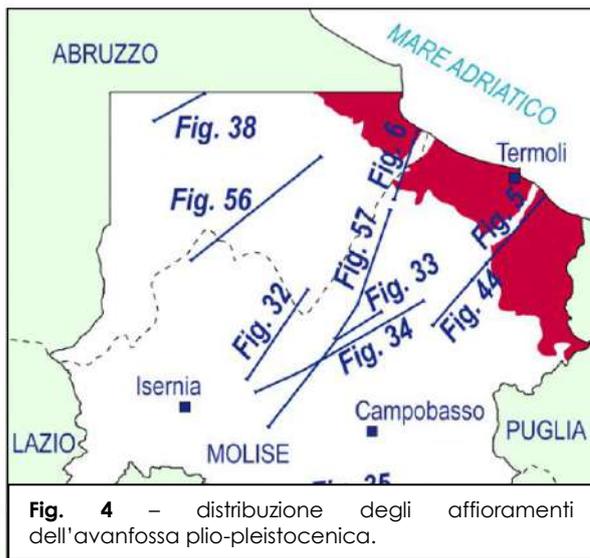
Il territorio molisano è costituito esclusivamente da formazioni sedimentarie, gran parte delle quali, le più antiche, sono di ambiente marino; su di esse poggiano le più recenti formazioni di ambiente continentale. Le formazioni marine antiche appartengono a cinque unità litostratigrafiche, riferibili alle diverse situazioni paleoambientali che si sono succedute nei tempi geologici, a partire dal Trias fino al Pleistocene:

- PIATTAFORMA ABRUZZESE-CAMPANA: corrispondente ad un ambiente di Piattaforma Carbonatica;
- ZONA DI TRANSIZIONE: corrispondente ad un ambiente di Scarpata e caratterizzato da sedimentazione calcareo-marnoso-selciosa;
- BACINO MOLISANO: corrispondente ad un ambiente di sedimentazione di mare aperto e relativamente profondo, antistante la zona di scarpata e caratterizzato da una sedimentazione terrigena, prevalentemente argillitica alla base ed arenitica nella parte sommitale, che comprende la fascia delle medie valli del Trigno e del Biferno fino ai rilievi dei M.ti Frentani;
- AVANFOSSA PERIADRIATICA: corrispondente ad una profonda depressione allungata parallelamente alla linea di costa attuale, creatasi a partire dal Pliocene e caratterizzata da notevoli fenomeni di subsidenza, accompagnata da sedimentazione prevalentemente argilloso-sabbiosa, di età Plio-Pleistocene;

- PIATTAFORMA PUGLIESE: corrispondente alla zona di Avampaese e ad un ambiente neritico, con caratteri simili a quelli della Piattaforma Abruzzese-Campana.

Il contesto geologico-strutturale è particolarmente complesso e non sempre chiaro, poiché fortemente condizionato da imponenti stress tettonici per lo più a carattere compressivo che hanno determinato una serie di deformazioni, accavallamenti e traslazione di masse rocciose, anche di notevolissime proporzioni, verso l'Avampaese, con complessiva contrazione spaziale. L'azione di tali forze orogenetiche è riflesso nell'attuale assetto geostrutturale rilevabile in superficie e, ad esse, sono da imputare la complessità dei rapporti geometrici tra le diverse unità litostratigrafiche, la più o meno suddivisione in blocchi delle masse litoidi, il disordine giaciturale delle masse prevalentemente argillitiche, nonché i caratteri strutturali di locale dettaglio delle singole formazioni.

L'area di studio ricade nel dominio paleogeografico dell'avanfossa plio-



pleistocenica (fig. 4) i cui terreni affiorano in un'ampia fascia del litorale adriatico tra il F. Trigno ed il T. Saccione, al di sotto di una copertura di depositi fluviali terrazzati di età Pleistocene superiore-Olocene. Questa successione di origine marina è costituita da argille, sabbie, ghiaie e conglomerati poggianti direttamente sul substrato carbonatico dell'avanfossa appenninica, come evidenziato da numerosi sondaggi (CASNEDI et al.,

1981) e linee sismiche per ricerca di idrocarburi (Fig. 5). La stessa successione ricopre anche unità alloctone della catena lungo i segmenti più esterni del suo fronte (Fig. 6). Il ciclo più recente, di età Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, è costituito da una sequenza di tipo trasgressivo-regressivo data da prevalenti argille azzurre di piattaforma, con intercalazioni e lenti di sabbie gialle più frequenti verso la base (Colle Ramignano a Sud di Cupello), corrispondenti alla Formazione Ofanto di CROSTELLA & VEZZANI (1964). Questa successione passa in modo graduale verso l'alto ai termini di chiusura del ciclo plio-pleistocenico, rappresentati da sabbie, ghiaie e conglomerati con facies da marine a litorali, a fluvio-deltizie (VEZZANI, 1975; LANZAFAME & TORTORICI, 1976). L'intera successione presenta associazioni microfaunistiche delle zone a Hyaline

baltica ed a Globorotalia inflata. Lo spessore affiorante è di qualche centinaio di metri, ma i dati di numerosi sondaggi per ricerche di idrocarburi mostrano spessori fino a 1000 m (Figg. 5 e 6).

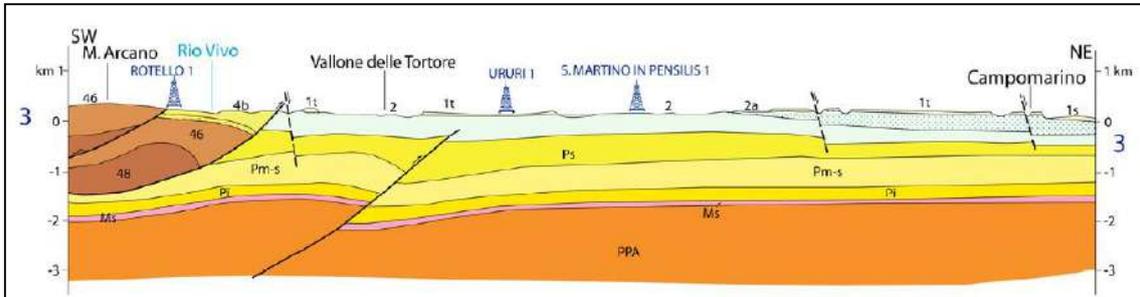


Fig. 5 – sezione geologica n. 3, M.te Arcano-Campomarino

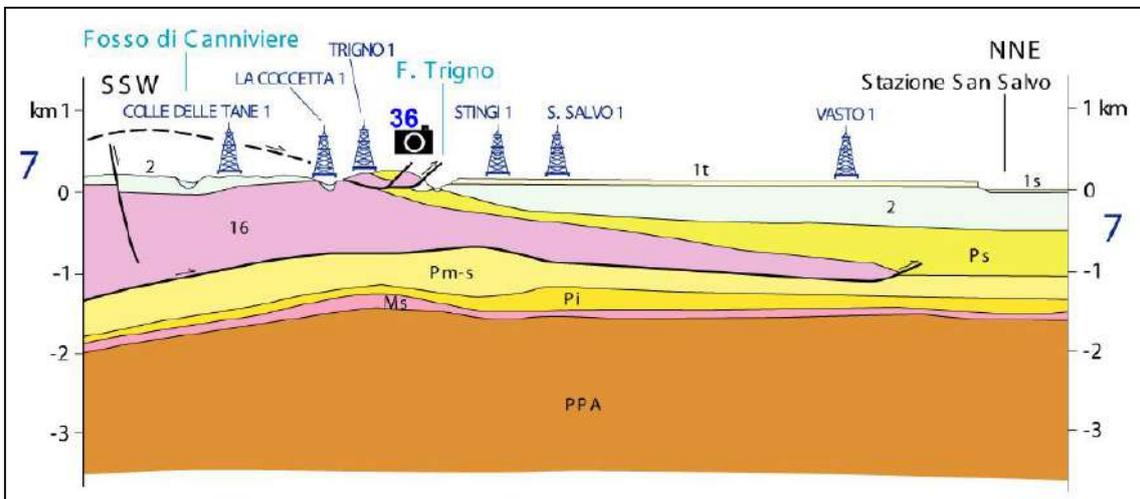


Fig. 6 – sezione geologica n. 7, Fosso di Canniviere – Staz. San Salvo

### 3.2. Situazione litostratigrafica locale

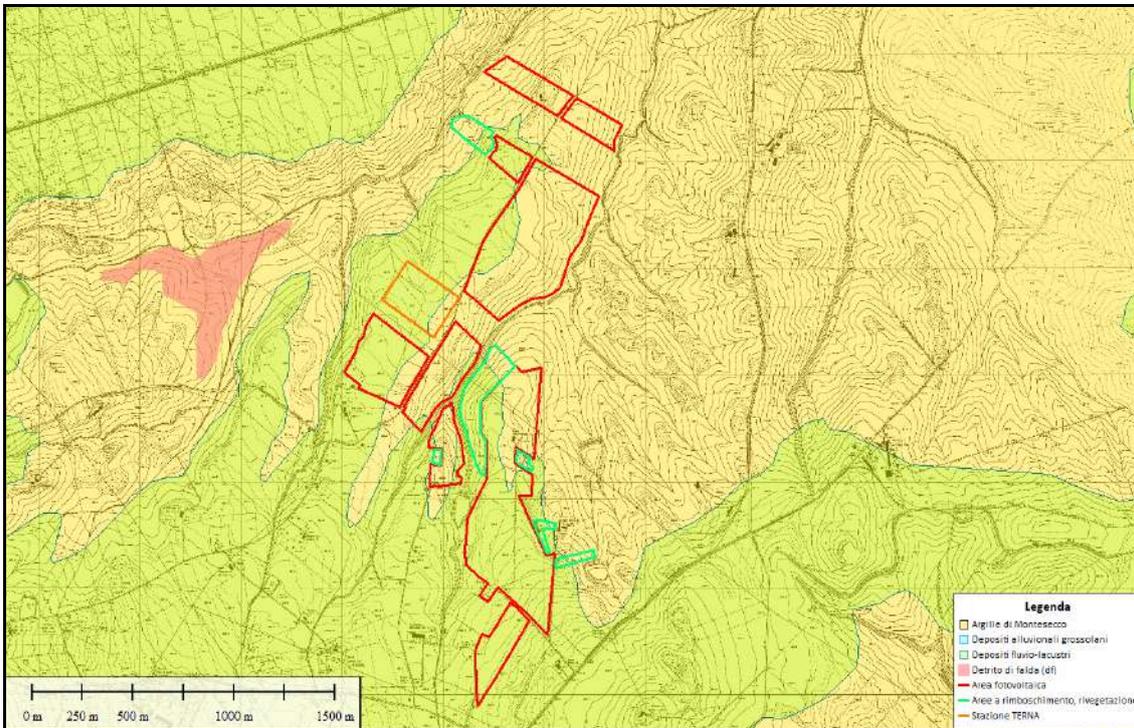


Fig. 7 – stralcio carta geologica

Le unità litologiche presenti in zona, con riferimento alla carta geologica (Fig. 7) ufficiale della zona edita dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) in scala 1:100.000, sono rappresentate da:

#### **DETRITI DI FALDA**

Depositi costituiti da elementi di dimensioni molto eterogenee con prevalenza di detriti fini. Le falde di detrito sono evidenti nelle aree a SO rispetto a quella di intervento. L'età è riferibile al Olocene.

#### **ALLUVIONI PREVALENTEMENTE GROSSOLANE**

Si tratta di ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose spesso ricoperte da "terre nere" ad alto contenuto humico. I clasti hanno provenienza prevalentemente appenninica. La disposizione dei depositi è caratterizzata da un marcato fenomeno di terrazzamento che testimonia l'origine prevalentemente fluviale di questi depositi. L'estensione dei depositi fluviali è più marcata sul versante sinistro dei fiumi; infatti è

probabile che il corso degli alvei attivi si sia spostato gradualmente verso SE durante queste fasi di deposito. L'età è riferibile al Pleistocene superiore.

#### **COPERTURE FLUVIO-LACUSTRI**

Si tratta di ghiaie più o meno cementate, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi ricoperti in generale da "terre nere" ad alto contenuto humico. Questi terreni non rappresentano verosimilmente una unica fase deposizionale; probabilmente si tratta di una successione di fasi di accumulo e deposito caratterizzate dalla presenza di depressioni interne ove si alternavano episodi di facies deltizia e fluviale. Pleistocene.

#### **ARGILLE DI MONTESECCO**

Si tratta di argille marnose, siltoso-sabbiose, grigio-azzurre, giallastre in superficie per alterazione, con veli di silt e rare intercalazioni sabbiose. Queste ultime diventano più frequenti alla sommità della formazione, che passa quindi gradualmente alle soprastanti Sabbie di Serracapriola. Lo spessore è di difficile valutazione; dati di perforazione indicano spessori notevoli nelle aree più interne per poi ridursi a valori di circa 500m, nelle aree fra Serracapriola e San Paolo di Civitate. La formazione comprende il Pliocene medio e superiore e si estende fino al Calabriano.

#### 4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA

Il paesaggio nel quale si inserisce la macro-area di nostro interesse è dominato da dorsali poco acclivi ad eccezione del rilievo di M. Capraro (369 m) nei pressi di Guglionesi. Il territorio risulta modellato nei terreni argillosi, in genere piuttosto stabili che si raccordano con ampie aree pianeggianti. Nell'area affiorano anche depositi dell'avanfossa plio-pleistocenica a composizione argillosa e sabbioso-ghiaioso-conglomeratica e depositi sabbiosi lungo le piane costiere.

I processi morfogenetici predominanti sono costituiti da una serie di fenomeni franosi sia lenti che rapidi come scorrimenti, scivolamenti, colamenti e fenomeni complessi. Di contro, in corrispondenza delle posizioni più sommitali o lungo i versanti si sviluppano fenomeni superficiali quali *creep* e soliflusso, nonché limitati movimenti in massa superficiali lenti legati all'azione delle acque incanalate.

Questi processi si rinvengono anche lungo la fascia costiera adriatica a quote tra i 50 e 200 m e sono di origine fluvio-marina, legati ad oscillazioni glacio-eustatico e tettoniche quaternarie del livello del mare.

Nelle zone di fondovalle dei corsi del Fiume Trigno, Torrente Sinarca, Fiume Biferno e Torrente Saccione i processi dominanti sono riferibili all'azione di progressiva reincisione delle superfici terrazzate, all'erosione lineare verticale e laterale che localmente può favorire fenomeni franosi.

Invece, lungo i tratti da intermedi a terminali dei corsi d'acqua si sviluppano processi legati all'azione fluviale, sia deposizionale che erosionale, che porta ad una continua riconfigurazione morfologica.

Dal punto di vista idrografico l'area è interessata dal tratto finale dei corsi dei fiumi Fortore e Biferno che sfociano nell'Adriatico. Inoltre, è presente il Torrente Saccione che si origina dal Colle Frascari (478 m) in località Difesa Nuova nei pressi di Montelongo e uno dei suoi "affluenti": il Torrente Mannara.

Per quanto riguarda nello specifico la geomorfologia del Comune di Rotello è opportuno ricordare che nell'area comunale la risposta differenziata all'azione erosiva ha comportato una erosione di tipo selettivo che ha evidenziato le differenziazioni litologiche sul territorio con diversi disegni morfologici. Nell'area dove sorge il centro abitato la morfologia è caratterizzata da forme rigide e rupestri e dai profili ad elevata acclività cui corrispondono terreni di tipo lapideo; nella fascia pedemontana, invece, predominano in affioramento terreni argillosi e detriti di falda e, pertanto, la morfologia risulta piatta, con profili continui e tenui e da forme prevalentemente plastiche.

Nell'area progettuale, ove affiorano prevalentemente terreni plastici e con scarsa permeabilità, la morfologia è generalmente pianeggiante o poco articolata, con presenza di diversi impluvi che ravvivano un paesaggio altrimenti mediamente piatto.

Dal punto di vista morfologico la zona interessata dal presente studio si trova compresa tra la isoipsa di 120m s.l.m. a quella di 210m s.l.m.. La pendenza media dell'area è di circa il 7%.

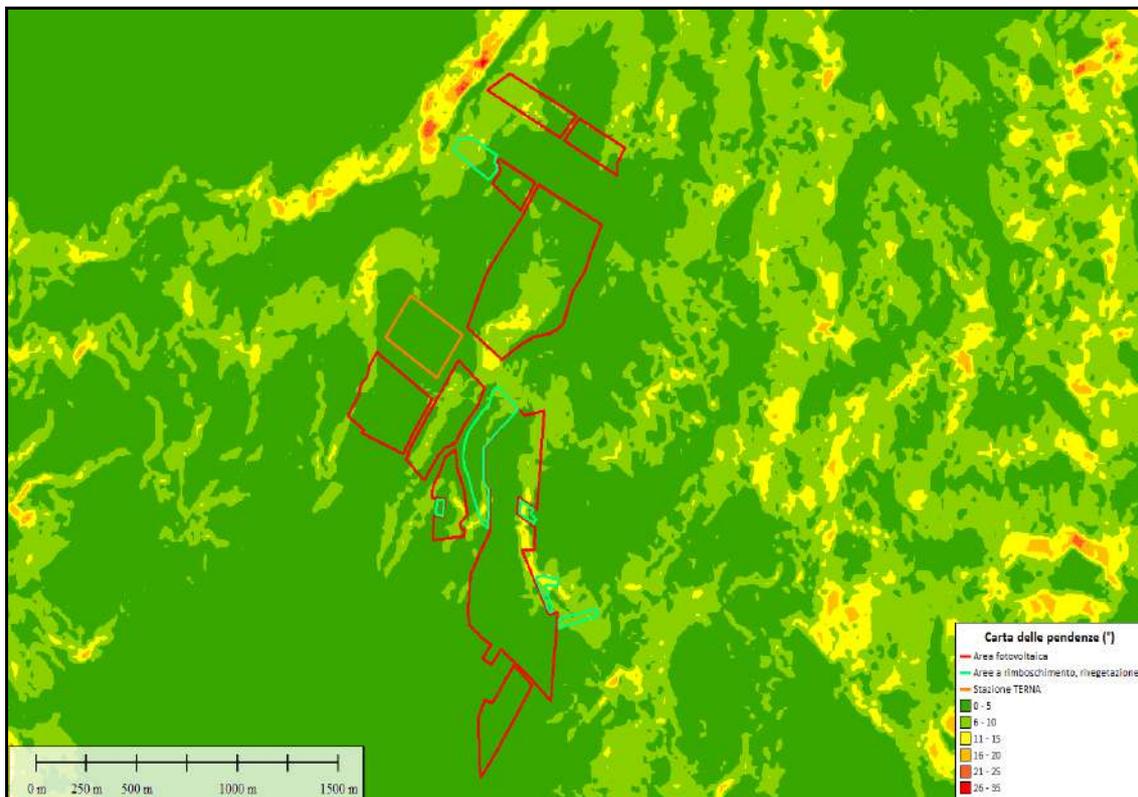


Fig. 8 – Carte delle pendenze dell'area.

Litologicamente, tutta l'area è ricoperta da depositi d'origine fluviali e marini costituiti da sabbie straterellate giallastre, localmente limose o argillose con livelli di natura argillosa ed arenacea con inclusioni di resti fossili di molluschi marini litorali.

L'idrografia superficiale è abbastanza sviluppata.

#### 4.1. Principale vincolistica

Dal punto di vista paesaggistico il comune di Rotello è ricompreso nel P.T.P.A. di Area Vasta n.2, redatto ai sensi della Legge Regionale 1/12/1989 n. 24 e approvato con Delibera di Consiglio Regionale n. 92 del 16.04.98. I Piani Territoriali Paesistico-Ambientali di Area Vasta sono una serie di carte tematiche redatte dal 1989, finite e approvate alla fine di novembre del 1991; sebbene i PTPAAV risultino essere precedenti al D.lgs. 42/2004, che individua i beni culturali e del paesaggio meritevoli di salvaguardia, tutela e valorizzazione, e di ogni altra normativa, e non consentano una puntuale ricognizione dei beni vincolati, sono strumenti di tutela moderni, che consentono una efficace protezione del territorio.

Dalla consultazione della cartografia del piano (Carta della trasformabilità P1) si evidenzia che l'intera area è caratterizzata da "Aree con prevalenza di elementi di interesse produttivo-agricolo di valore elevato" e da "aree boscate assoggettate alla modalità A2" mentre relativamente alla Carta della qualità del territorio (S1), l'area di studio comprende elementi di interesse naturalistico per caratteri biologici di qualità medio-bassa e elementi di interesse produttivo agrario o per caratteri naturali di qualità medio-bassa.

Il sito interessa "marginalmente" il sito ZPS IT7222266 "Boschi tra Fiume Saccione e Torrente Tona". Non interessa aree Parco o aree IBA (important bird areas).

In relazione al D.lgs. 42/2004, l'area "vasta" risulta interessata dalla presenza di fiumi, torrenti, corsi d'acqua tutelati ex art. 142, co. 1, lett. c dello stesso Decreto (Fig. 8a).

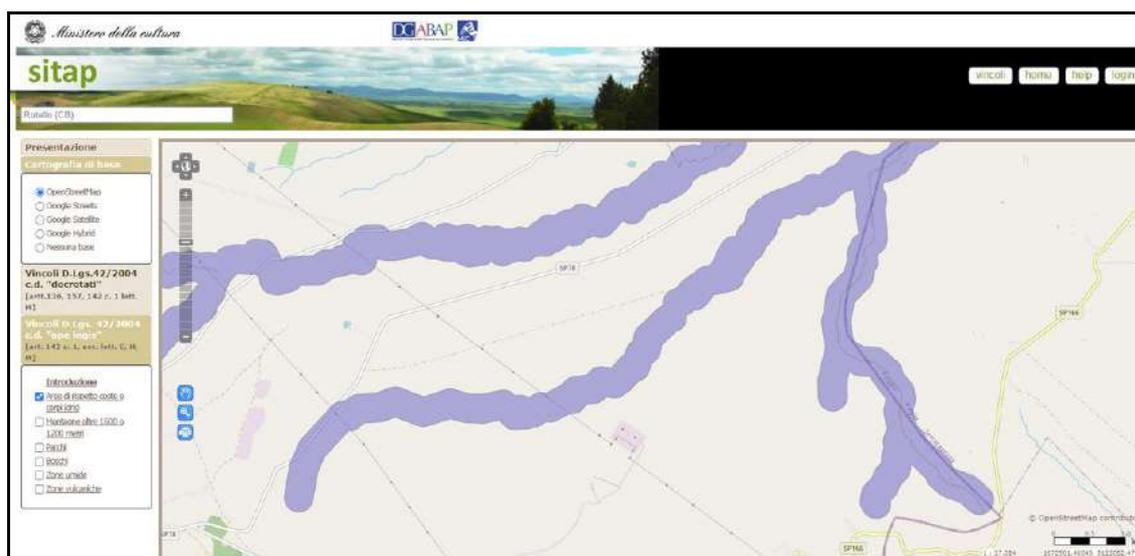


Fig. 8a – screenshot sito sitap.beniculturali.it

L'area ricade nell'ambito di competenza dell'ex Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore (ora Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale). Il sito oggetto di intervento risulta interessato da aree a pericolosità geomorfologica moderata (PF1) ed elevata (PF2) e non interessato da aree a pericolosità idraulica.

L'area è interessata, per la quasi totalità, dal vincolo idrogeologico di cui al Regio Decreto Legge n. 3267 del 30/12/1923.

*La zona è, ovviamente, sottoposta a vincolo sismico essendo l'area classificata come zona 2 ai sensi dell'**Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/03**, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".*

## 5. PROGETTO IFFI

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) è la banca dati nazionale e ufficiale sulle frane. È realizzato dal ISPRA in collaborazione con le Regioni e Province Autonome (art. 6 comma g della L. 132/2016). La necessità di creare un Inventario nazionale delle frane in Italia è emersa con maggiore forza a seguito dell'evento disastroso del 5 maggio 1998, che ha colpito gravemente i comuni di Sarno, Siano, Quindici, Bracigliano e S. Felice a Cancellò, nelle province di Salerno, Avellino e Caserta.

L'ISPRA dal 2005 pubblica online i dati dell'Inventario per favorire la più ampia diffusione e fruizione delle informazioni alle amministrazioni locali, agli enti di ricerca, ai tecnici operanti nel settore della progettazione e pianificazione territoriale e ai cittadini.

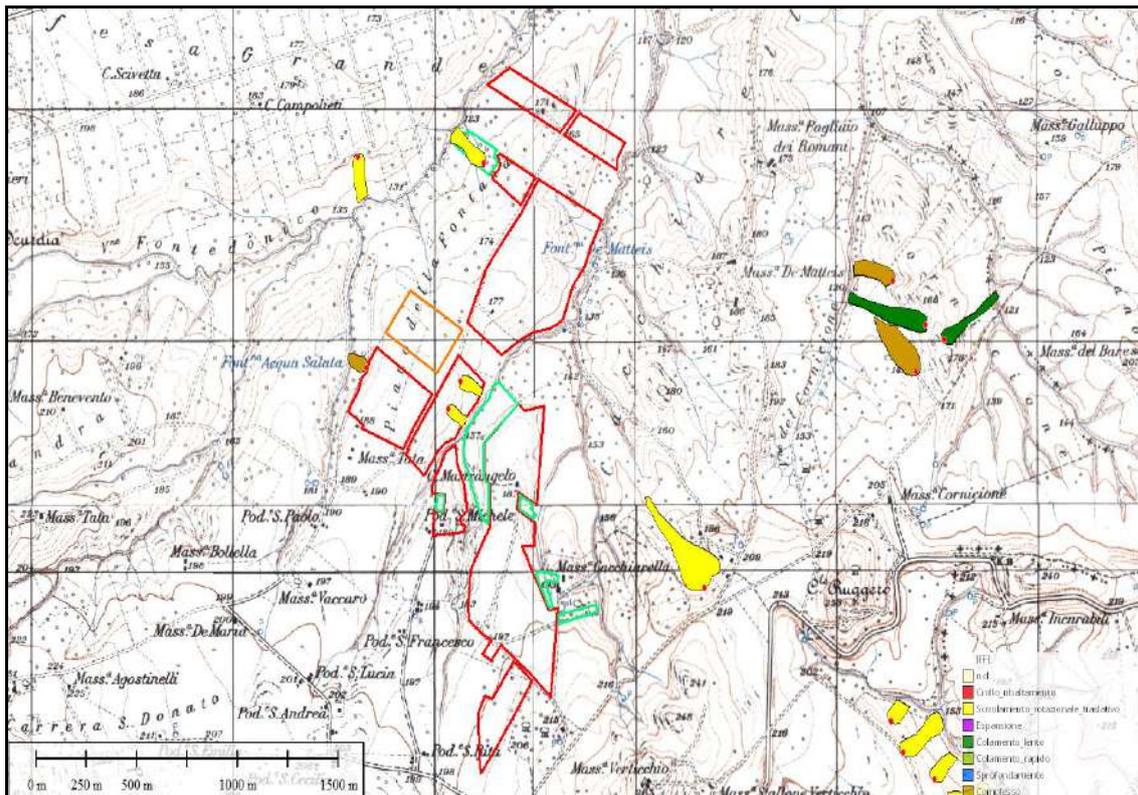


Fig. 9 – schede IFFI per l'area di studio

Dalla consultazione delle Schede IFFI per quanto concerne il rischio frana, si evince che nell'area di studio sono presenti n. 2 frane da scivolamento rotazionale traslativo quiescenti.

## 6. INQUADRAMENTO PAI E RISCHIO GEOMORFOLOGICO

In relazione alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore (ora Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale), Bacino Interregionale del Fiume Saccione, Piano di Assetto di Versante, l'area di progetto interessa zone a pericolosità geomorfologica moderata (PF1) ed elevata (PF2) così come meglio illustrato nella successiva Fig. 10.

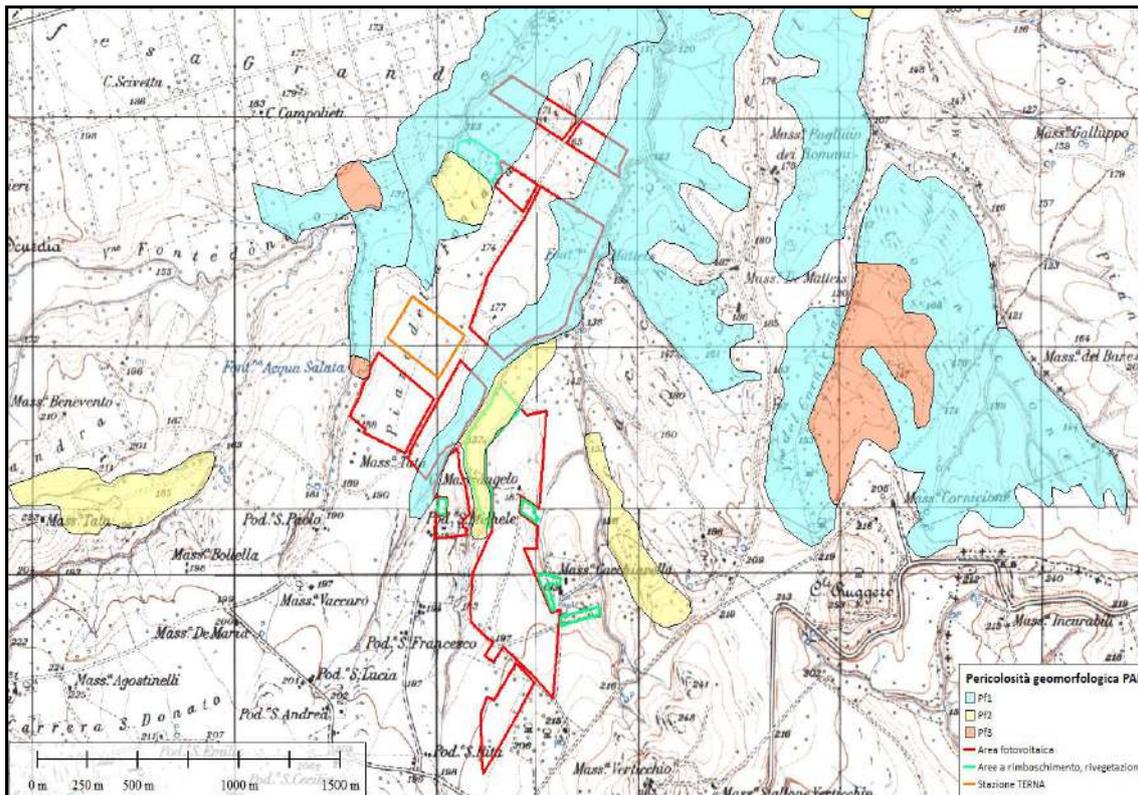


Fig. 10 – aree a pericolosità geomorfologica PAI.

**Le aree a pericolosità geomorfologica PF2 sono state stralciate dal progetto: saranno eseguite solo opere di rimboschimento e rivegetazione;** le aree a pericolosità PF1 sono caratterizzate da una pendenza topografica abbastanza moderata (dell'ordine del 13%, inclinazione  $\alpha = 8^\circ$ ) tranne che in una piccola area centrale in cui si raggiungono pendenze del 25%, inclinazione  $\alpha = 13^\circ$ .

Dal rilevamento geologico speditivo effettuato non sono emerse problematiche particolari connesse alla stabilità generale di queste aree, tali da pregiudicare la fattibilità dell'intervento. Inoltre, in fase di progettazione esecutiva, per esse verrà eseguita una analisi di stabilità del versante in condizioni *ante* e *post operam*, in condizioni sismiche allo stato limite SLV così come prescritto dalle NTC2018 in modo da definire la opportuna profondità di posa delle opere fondazionali tali che non producano negli strati più superficiali incrementi di carico a discapito della stabilità e tali da non impedire la realizzazione degli interventi di sistemazione idrogeologica del PAI.

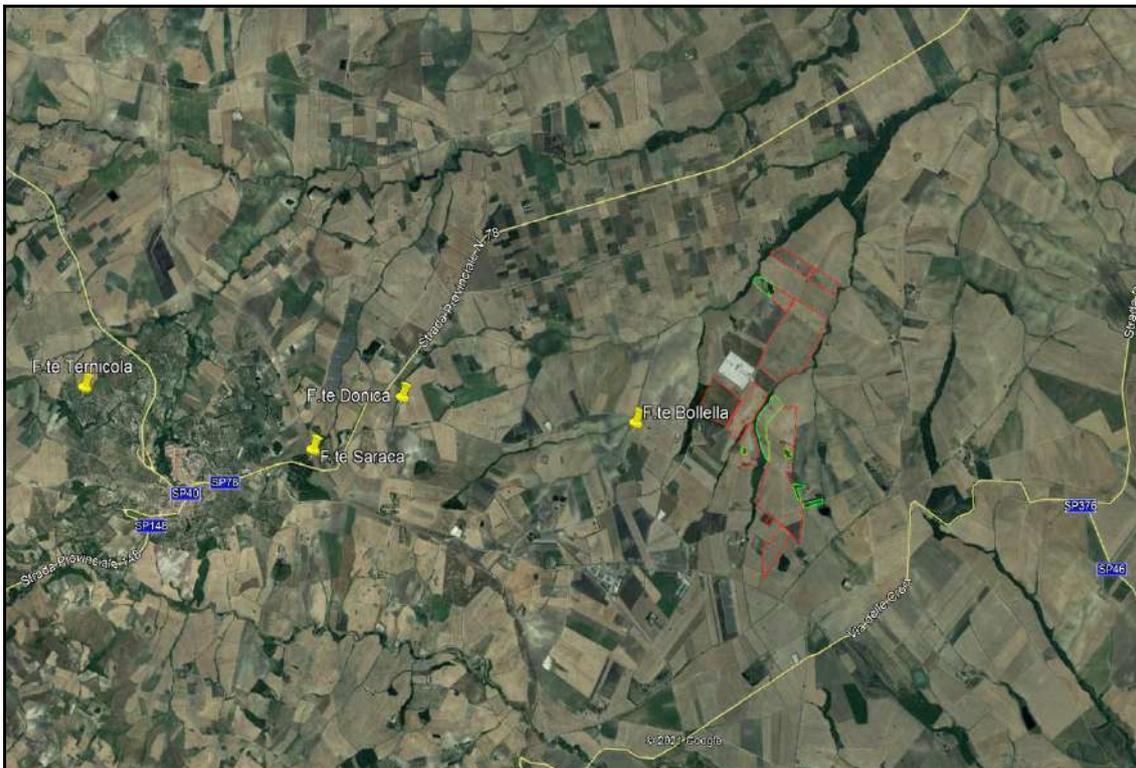
## 7. IDROGRAFIA ed IDROGEOLOGIA

### 7.1. Sorgenti

Dalla Carta Idrogeologica del Molise elaborata a cura del Servizio Geologico Regionale e dell'Università degli Studi del Molise - Dipartimento STAT sono stati estrapolati i dati e le indicazioni sulle sorgenti presenti nell'area vasta. La sorgente più vicina all'area di impianto, F.te Bollella, dista circa 700m (Fig. 11).

Denominazione	Corso d'acqua	Long.	Lat.	Quota (m l.m.)	Regime	Portata media annua (l/s)
F.te Saraca	T. Saccione	501663	4621972	340	Perenne	0,29
F.te Donica	T. Mannara	502541	4622465	300	Perenne	0,09
F.te Bollella	Mannara	504850	4622250	175	Perenne	1,44
F.te Ternicola	T. Saccione	499398	4622524	325	Perenne	0,15

**Tabella 1** - Lista delle sorgenti presenti nell' Area Vasta

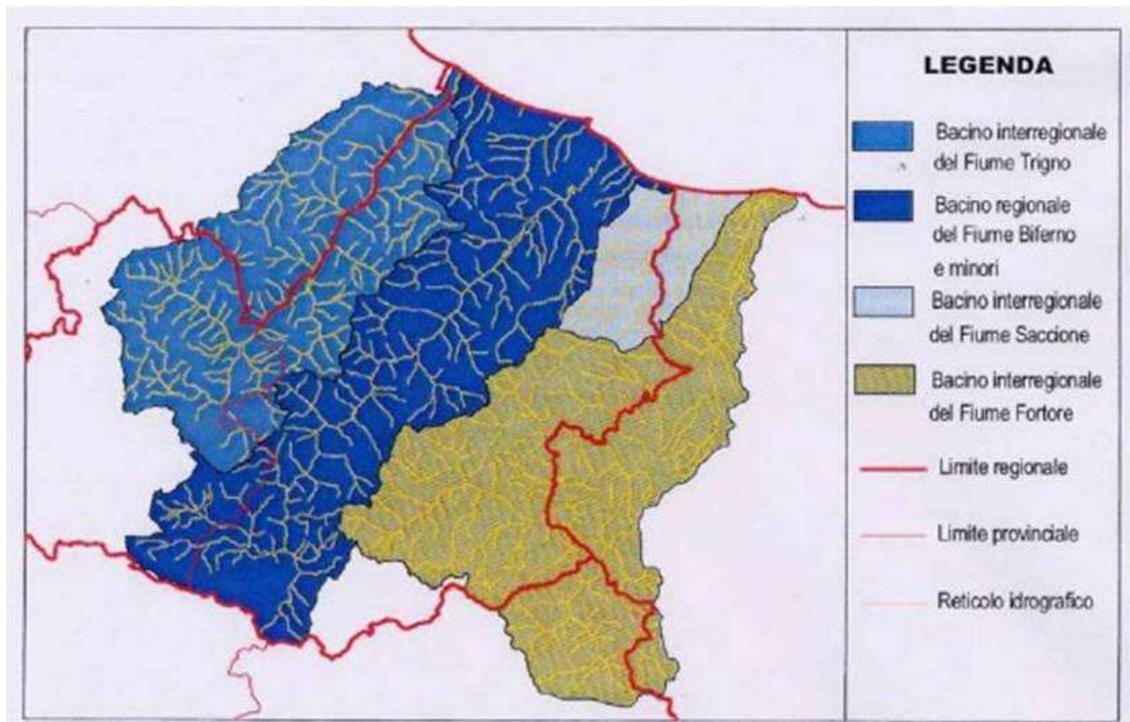


**Fig. 11** – Mappa delle sorgenti

### 7.2. Inquadramento idrogeologico

L'idrografia superficiale del Molise è caratterizzata dalla presenza di quattro corsi d'acqua principali a sbocco adriatico (F. Trigno, F. Biferno, F. Fortore e F. Saccione) e di

una fitta rete di ordine inferiore. I corsi d'acqua principali presentano uno spiccato controllo tettonico in quanto il loro asse (SW-NE) è in perfetta sintonia con i maggiori sistemi dislocativi presenti nel tratto di Catena Appenninica. Da un punto di vista idrogeologico è possibile individuare sul territorio tre fasce con caratteristiche di permeabilità sensibilmente differenti. La fascia montana delle strutture carbonatiche, la fascia collinare dei complessi argilloso marnoso in facies di flysch che bordano le strutture carbonatiche ed infine la fascia costiera a cui possono essere assimilate anche le coperture vallive alluvionali intramontane caratterizzate da depositi alluvionali. Le diversità litologiche, e strutturali, condizionano i caratteri idrogeologici in quanto controllano i processi di infiltrazione e la circolazione sotterranea. Nell'area di affioramento dei calcari della piattaforma carbonatica, che si affaccia sulla piana di Boiano, l'assetto tettonico è caratterizzato da importanti piani di faglia che fratturano intensamente la roccia conferendole elevata permeabilità. Sono inoltre presenti fenomeni accentuati di carsismo ipogeo. L'acquifero presente all'interno di questo complesso crea numerose importanti emergenze, tra queste le sorgenti del Biferno e Riofreddo. Acquiferi di minore importanza possono essere rinvenuti in corrispondenza delle alluvioni terrazzate o dei livelli sabbioso-arenacei sovrapposti a litologie argillose. In corrispondenza dell'affioramento dei materiali argillosi la permeabilità è da bassa a nulla ad eccezione dei livelli arenaci o calcarenitici che danno origine a piccole emergenze collegate a falde locali. Molto spesso gli olistostromi litoidi che fasciano la parte bassa delle vallate importanti, determinano emergenze idriche non trascurabili, collegate agli acquiferi contenuti nella massa calcarea, che si manifestano al contatto tra gli olistostromi e le argille in cui gli stessi sono inglobati. (esempio: Fonte Bivaro in destra idrografica del Fiume Biferno a valle di Oratino con portata costante di circa 4 l/s). Le litologie argillose sono caratterizzate da permeabilità molto bassa che favorisce un deflusso superficiale su un reticolo fluviale di tipo detritico.



**Fig. 12** – Cartografia progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino regionale dei fiumi Biferno e minori con indicazione dei bacini e dei reticoli idrografici

### 7.3. Reticolo idrografico locale

Il reticolo idrografico locale presenta uno sviluppo piuttosto ramificato ed un pattern sub dendritico che segue tre direttrici tettoniche principali: appenninica, anti-appenninica e E-W. La struttura della rete idrografica superficiale è condizionata sia dalla natura litologica del substrato sia dagli elementi strutturali che lo hanno interessato. Il reticolo, pertanto, risulta più articolato nei settori di affioramento dei litotipi argilloso-marnosi e meno articolato, con andamento sub-rettilineo, nelle aree di affioramento di termini prevalentemente psammitici o calcarei, ovvero dove il controllo strutturale è più evidente. I corsi d'acqua presenti nell'area, quasi tutti a carattere stagionale e/o torrentizio, presentano una marcata tendenza all'erosione, generando forme caratteristiche come le scarpate fluviali e quelle di erosione laterale delle sponde. Il deflusso idrico superficiale non regimato, invece, genera forme sia lineari che areali quali i solchi da ruscellamento concentrato (*gully erosion* e *rill erosion*) e le aree a ruscellamento diffuso (*sheet erosion*). La scarsa presenza di vegetazione arborea e la presenza in affioramento di termini litologici prevalentemente argilloso-marnosi contribuiscono, generalmente, alla formazione ed all'intensificarsi di tali tipologie erosive sul territorio.

Il corso d'acqua più importante dell'area è il torrente **Saccione** che nasce dal Colle Frasconi (437 m s.l.m.) in località Difesa Nuova presso Montelongo. È lungo circa 38 km e per metà della sua lunghezza, da Campomarino alla foce, segna il confine tra il territorio regionale del Molise e la Puglia. Ha un bacino drenante complessivo di 289 km<sup>2</sup>, di cui 167 km<sup>2</sup> ricadono sul territorio molisano. I suoi affluenti di sinistra sono: vallone della Pila, vallone di Reale, vallone della Sapestra, vallone Sassani; quelli di destra: vallone di Montorio, vallone della Terra presso Rotello e vallone Cannucce. Sfocia nel Mar Adriatico Presso Torre Fantina, località Chieuti (FG).

#### **7.4. Idrogeologia - Acquiferi**

---

Dal punto di vista idrogeologico, la permeabilità è strettamente condizionata dalla situazione litostratigrafica locale. Possiamo pertanto definire diverse unità idrogeologiche.

L'unità idrogeologica principale, l'acquifero poroso superficiale, è rappresentata dai depositi di copertura quaternaria in cui sono incise le ampie valli dei corsi d'acqua principali. Tale unità, che presenta uno spessore di circa 20 m, è costituita da una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi con intercalazione di livelli argilloso-siltosi a minore permeabilità.

In questa unità l'acqua si rinviene essenzialmente in condizioni di falda libera e coincide, nella parte alta, con la zona di preferenziale ricarica.

L'unità impermeabile di base è rappresentata dalle argille grigio azzurre sottostanti.

In virtù dell'inclinazione, che la formazione argillosa presenta, la direzione di scorrimento delle acque sotterranee dovrebbe evolversi, preferibilmente, verso NE.

Nello specifico nell'area interessata dalle opere in progetto è possibile rinvenire una falda superficiale, a profondità variabili da - 5.00 a 6.00 metri dal p.c., che si attesta nei terreni ciottolosi sabbiosi affioranti, ed una falda più profonda a profondità superiori a - 20.00 e a - 40.00 metri dal p.c..

#### **7.5. Pozzi esplorativi profondi**

---

Nell'area di intervento risulta la presenza di un pozzo esplorativo per ricerca di idrocarburi: pozzo Piano Cavato 1 perforato nel 1966 fino a 1752 m da p.c.. Il pozzo risultò sterile.

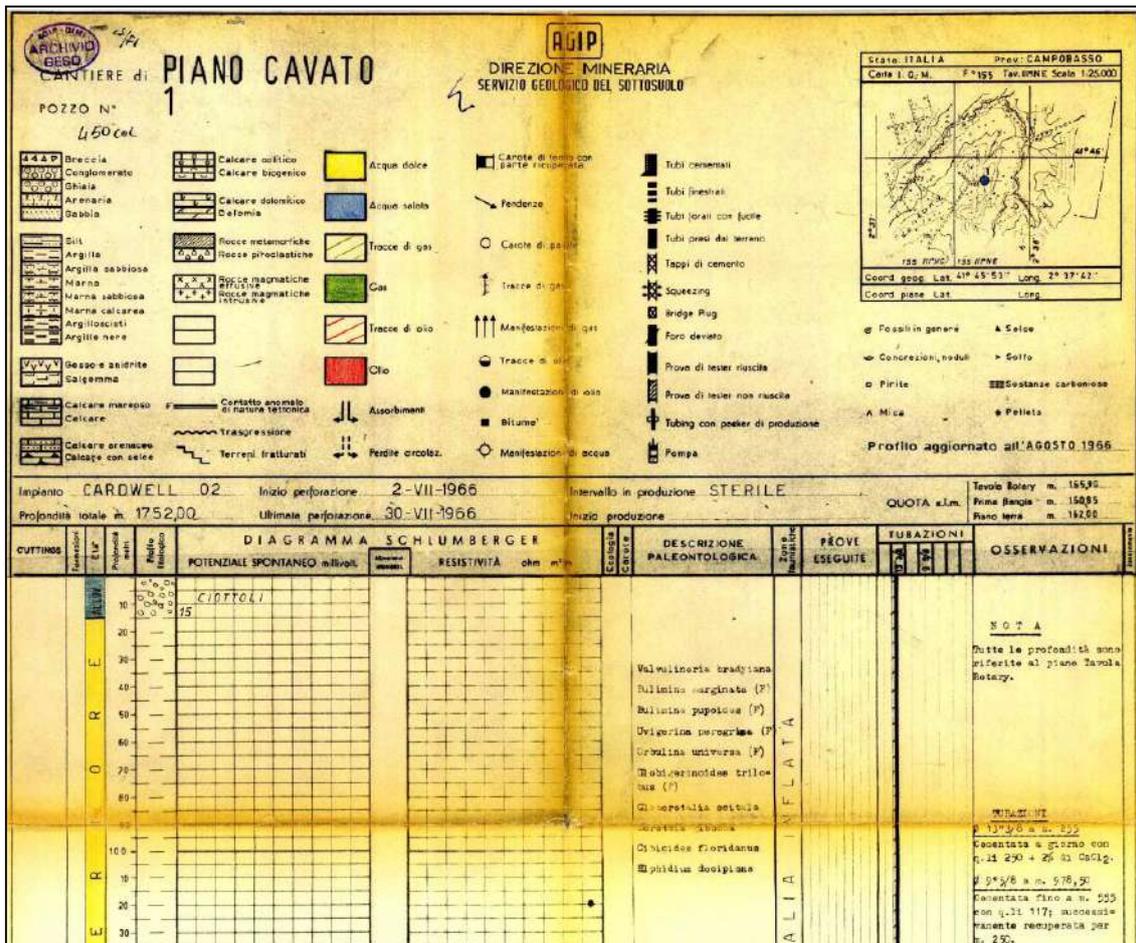


Fig. 13 – scheda dei primi 130m della stratigrafia del pozzo per ricerca idrocarburi denominato "Piano Cavato1"

## 8. QUADRO CLIMATICO GENERALE E LOCALE

Le caratteristiche macroclimatiche generali del Molise, generalmente fedeli a quelle ricorrenti in tutto il versante adriatico, risultano determinate dai seguenti fattori:

- l'esposizione verso il Mare Adriatico, mare interno e poco profondo limitato nella portata della sua influenza regolatrice;
- la posizione del Massiccio del Matese, che impedisce l'afflusso delle temperate correnti aeree occidentali e sud-occidentali di provenienza ed origine marina, apportatrici di maggiori precipitazioni;
- l'assenza di una catena costiera adriatica che non ostacola le correnti aeree fredde, provenienti da Nord e da Nord-Est durante il periodo invernale ed i venti di Favonio durante l'estate.

I suddetti fattori generano fenomeni di continentalità progressivamente più elevati al crescere della distanza dal mare e delle quote. Sono, infatti, rilevanti gli estremi termici che spesso risultano veramente eccezionali per una regione a contatto con il mare, uguagliando quelle che si manifestano sulle Alpi.

Dal punto di vista fitoclimatico, la Provincia di Campobasso ricade in due regioni bioclimatiche, la Regione Mediterranea e la Regione Temperata. La prima si estende nel cosiddetto basso Molise, la seconda comprende gran parte del territorio regionale. Entrambe le regioni bioclimatiche si suddividono in molteplici unità fitoclimatiche tese a descrivere più precisamente le caratteristiche climatiche che influenzano la vegetazione, dunque i popolamenti faunistici, delle diverse aree regionali.

L'area di intervento rientra nella regione bioclimatica Mediterranea.

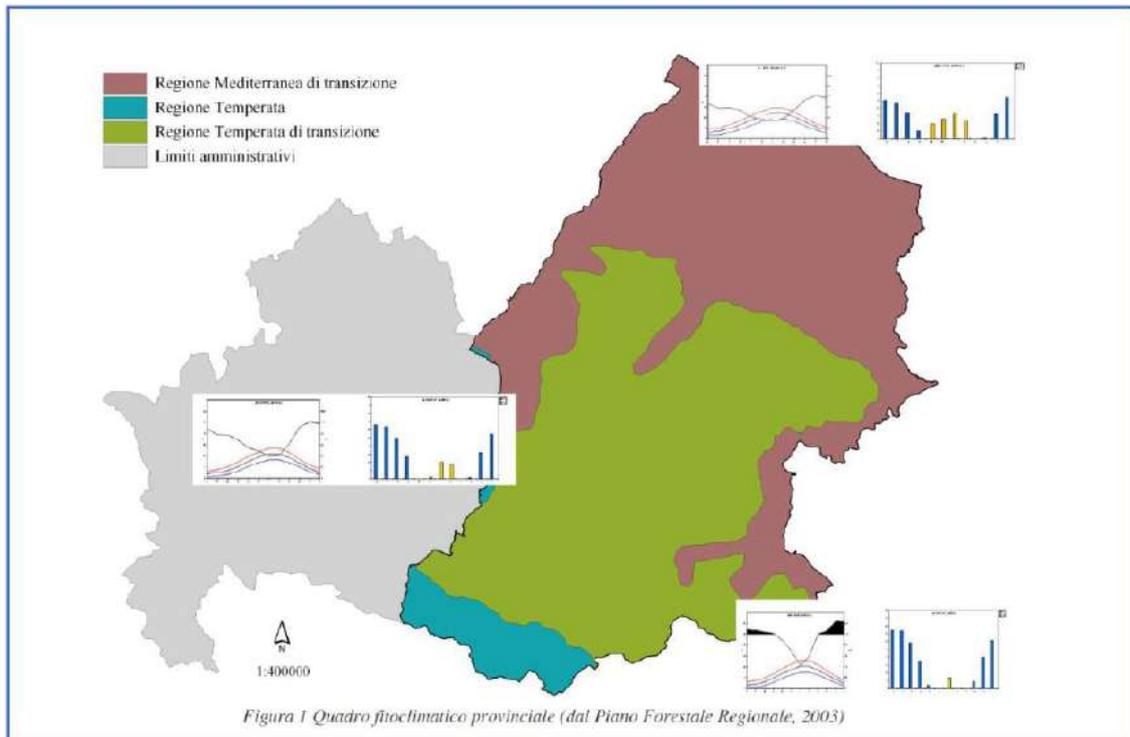
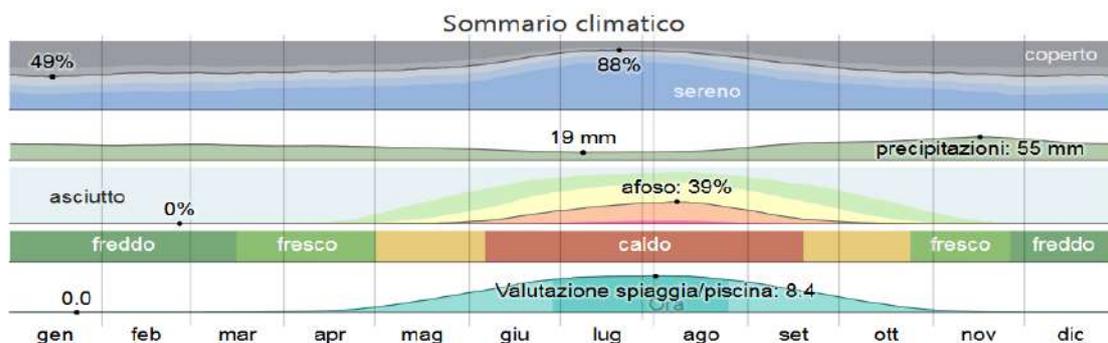


Fig. 14 - quadro fitoclimatico provinciale

A Rotello, le estati sono brevi, calde, asciutte e prevalentemente serene e gli inverni sono lunghi, freddi, ventosi e parzialmente nuvolosi. Durante l'anno, la temperatura in genere va da 4 °C a 29 °C ed è raramente inferiore a 0 °C o superiore a 33 °C.

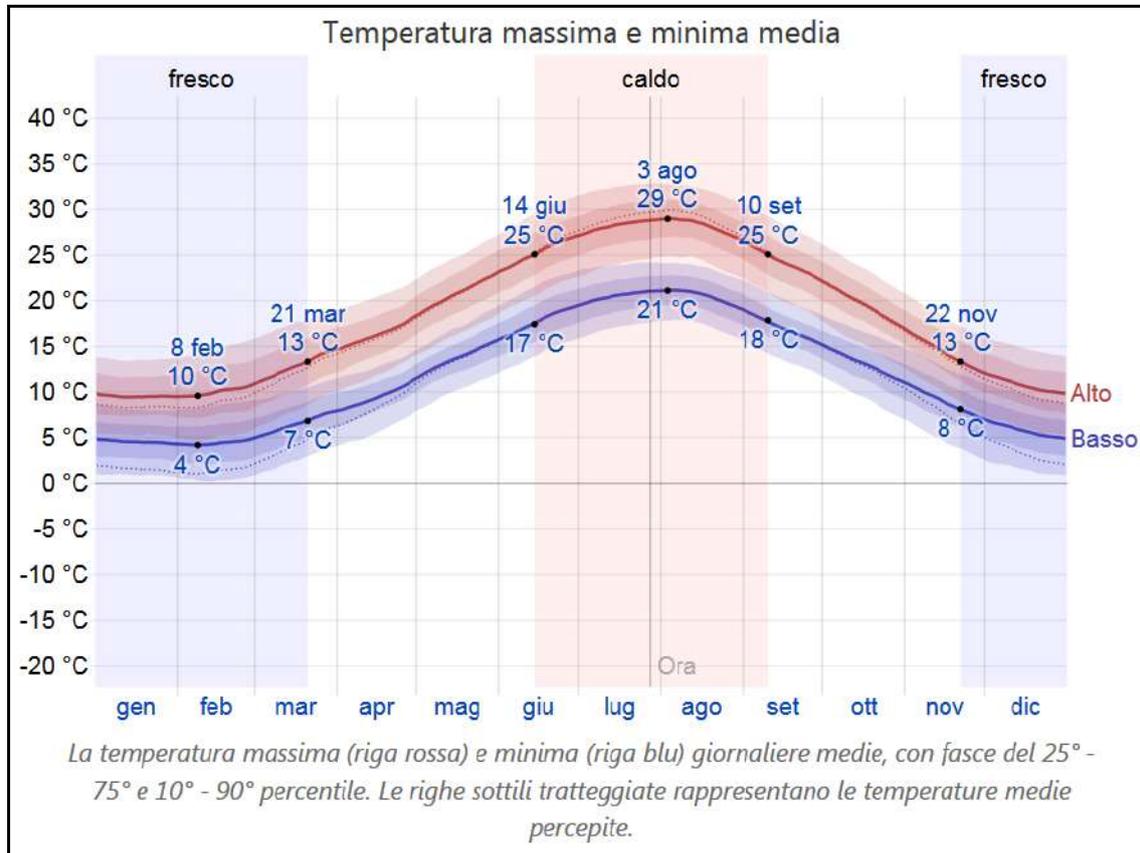


### Temperature

La stagione calda dura 2,9 mesi, dal 14 giugno al 10 settembre, con una temperatura giornaliera massima oltre 25 °C. Il giorno più caldo dell'anno è il 3 agosto, con una temperatura massima di 29 °C e minima di 21 °C.

La stagione fresca dura 4,0 mesi, da 22 novembre a 21 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 13 °C. Il giorno più freddo dell'anno è il 8 febbraio, con una temperatura minima media di 4 °C e massima di 10 °C.

Di seguito si riporta un grafico esemplificativo delle temperature massime, minime e medie dell'area.



Di seguito si riportano i grafici climatici rappresentativi dell'area, desunti dalla consultazione della stazione termo pluviometrica di Serracapriola - Ciavatta appartenente alla rete agrometeorologica della regione Puglia (**74 m a.s.l. - Coord. Lat: 15.189167 - Long: 41.775002**).

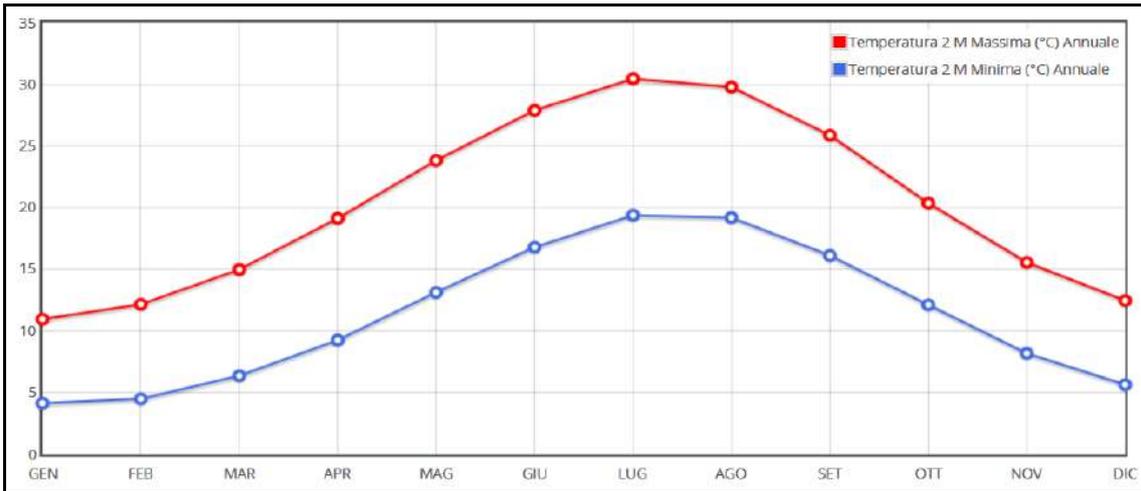


Fig. 15 - Grafico climatico Tmin/Tmax annuale (Base Climatica da 01/01/1951 a 31/05/2001)

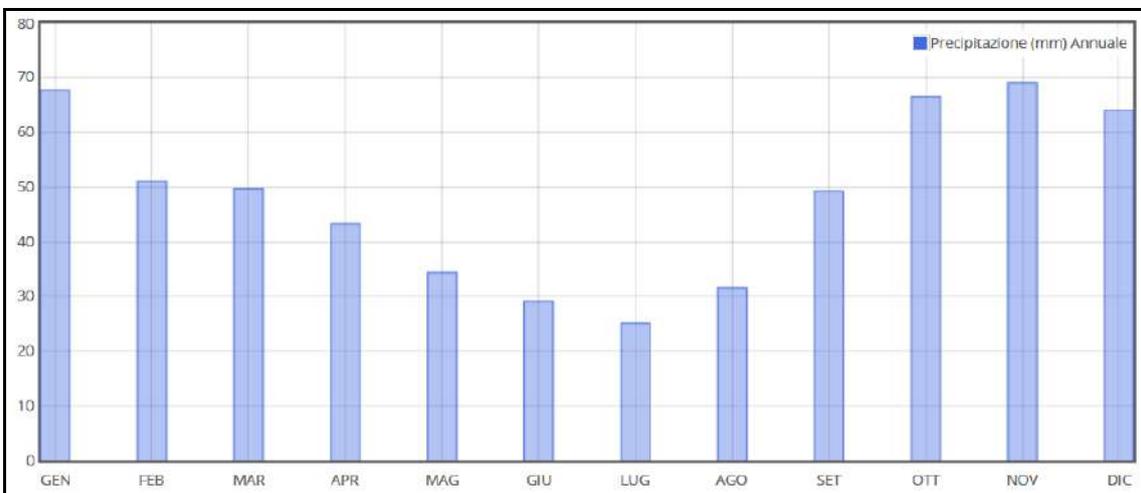


Fig. 16 - Grafico climatico precipitazione annuale (Base Climatica da 01/01/1951 a 31/05/2001)

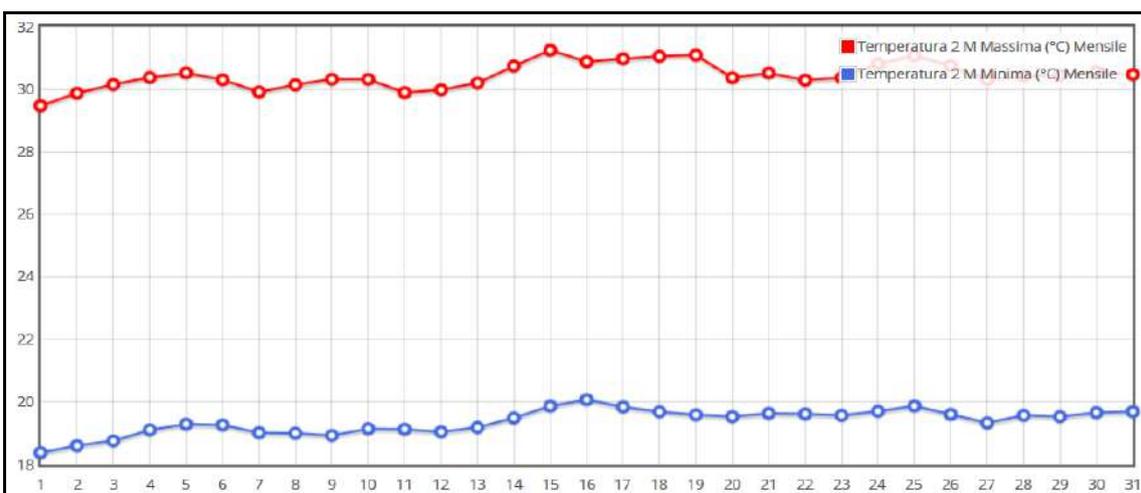


Fig. 17 - Grafico climatico Tmin/Tmax mensile (Base Climatica da 01/01/1951 a 31/05/2001)

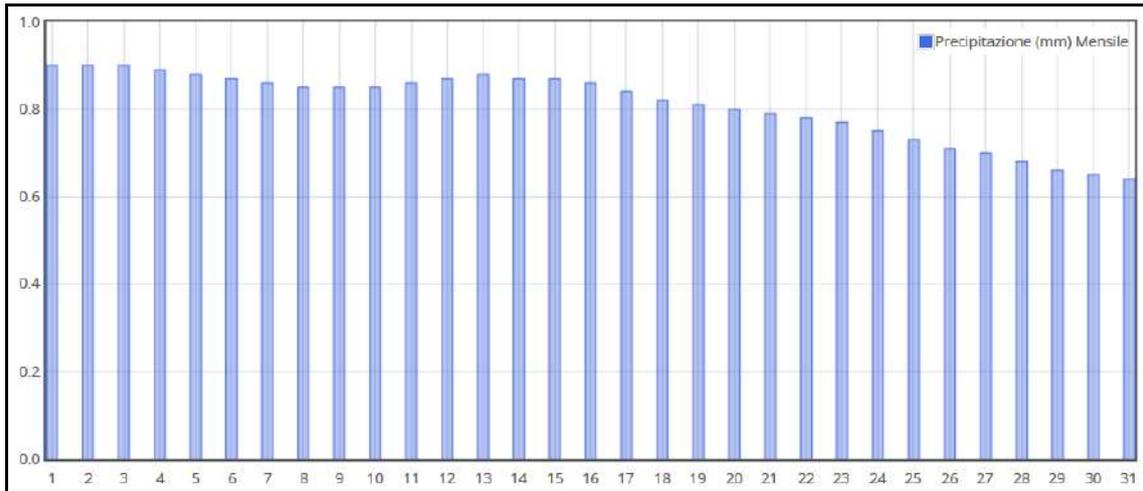


Fig. 18 - Grafico climatico precipitazione mensile (Base Climatica da 01/01/1951 a 31/05/2001)

9. USO DEL SUOLO

L'analisi della carta di uso del suolo (Corine Land Cover anno 2012, liv. IV) evidenzia la presenza, in area di intervento, di un uso del suolo esclusivamente agricolo con terreni seminativi.

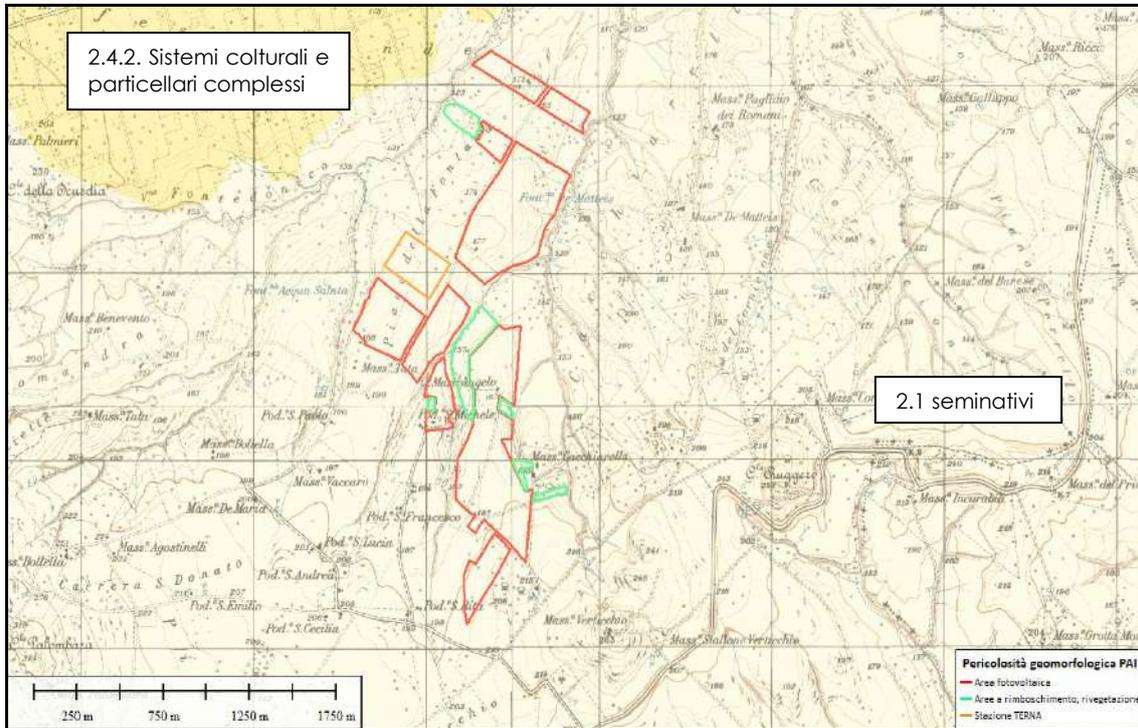


Fig. 19 – Stralcio della Carta di uso del Suolo (CLC 2012, liv. IV)

## 10. SISMICITA' DELL'AREA

Esistono numerosi studi che illustrano la sismicità dell'area "Molise-Gargano" nel più vasto contesto dell'intero territorio italiano ovvero in quello della sola area meridionale.

La carta schematica di fig. 20 riporta gli epicentri dei terremoti storici che hanno interessato la provincia di Foggia, cioè gli eventi documentati da attendibili notizie storiche (generalmente di intensità  $I_0=VIII$  MCS) e quelli dei sismi più recenti, documentati strumentalmente (di magnitudo  $M \geq 3,5$ ).

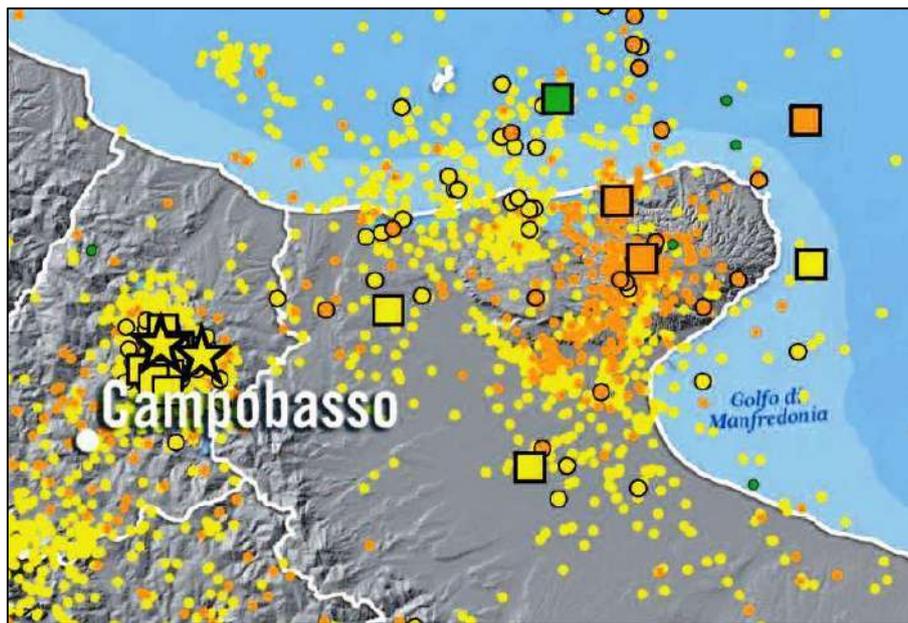


Fig. 20 – Carta della distribuzione epicentrale dei terremoti storici dell'area Molise-Gargano.

Da questa carta si evince la diversa attività sismica che contraddistingue ciascun dominio geologico strutturale del territorio foggiano e molisano. Il primo dato evidente è la scarsa ma diffusa attività sismica del Tavoliere di Puglia e dell'area "costiera" del territorio molisano.

La Regione Molise ricade in un'area caratterizzata da sismicità significativa, che in passato ha rilasciato terremoti di elevata magnitudo. La massima intensità locale, tra l'VIII ed il IX grado MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), sarebbe stata raggiunta a San Giuliano di Puglia in occasione del sisma del 5 dicembre 1456, uno dei più importanti e rovinosi degli ultimi mille anni nell'Italia Centro Meridionale. Altri grandi terremoti per l'area molisana in una finestra temporale che si estende dall'anno 217 a.C. al 2002 mostra come il territorio sia stato caratterizzato da una sismicità regionale diffusa con la

presenza non trascurabile di terremoti aventi magnitudo Magnitudo superficiale (Ms) > 6.0 (Molise 5/12/1456 Ms=6.7; Matese 5/6/1688 Ms = 7.3; Matese 26/7/1805 Ms = 6.7; Sannio 21/8/1962 Ms = 6.2). Più recente risulta il sisma che il 31 ottobre 2002 ha colpito una vasta area dell'Italia centro-meridionale, sui confini tra le regioni Molise e Puglia, scossa da una crisi tettonica, cui l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia ha indicato un'intensità 5.7 Magnitudo momento Mw, ritenuta dall'INGV "sicuramente la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica".

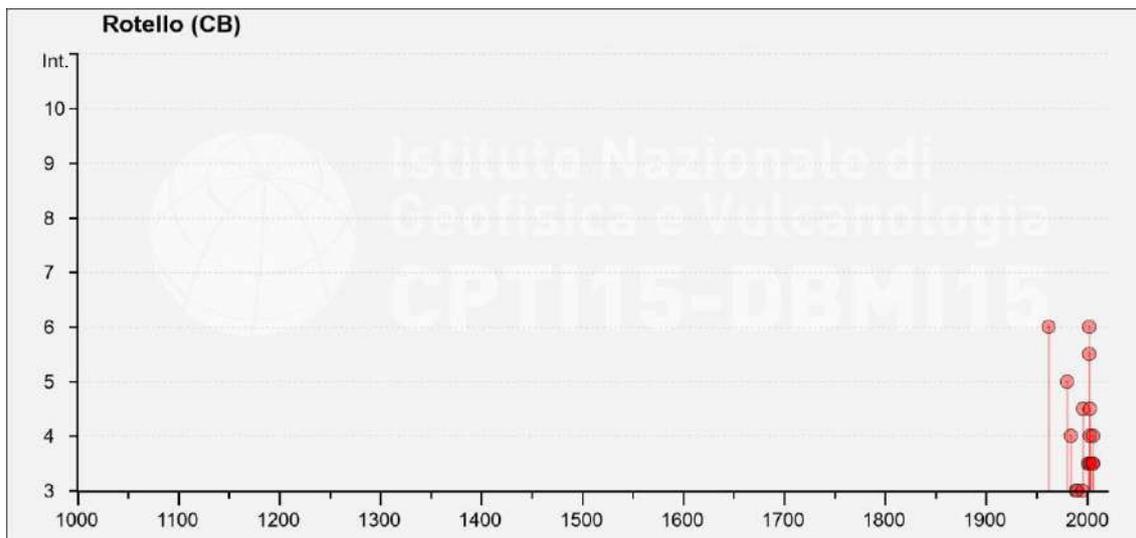
I dati sismici riguardanti il Comune di Rotello sono stati desunti dal database DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>).

Nella tabella e nell'immagine seguente la tabella è riportata la storia sismica della città di Rotello dall'anno 1956 all'anno 2006.

Seismic history of	Rotello
PlaceID	IT_58790
Coordinates (lat, lon)	41.749, 15.004
Municipality (ISTAT 2015)	Rotello
Province	Campobasso
Region	Molise
<b>No. of reported earthquakes</b>	<b>21</b>

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1956 09 22 03 19 39.00	Gargano	57	6	4,64
6	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6,15
5	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5,86
3	1989 03 11 21 05	Gargano	61	5	4,34
3	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5,77
NF	1991 05 26 12 25 59.42	Potentino	597	7	5,08
3	1995 09 30 10 14 33.86	Gargano	145	6	5,15
4-5	1996 11 10 23 23 10.77	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4,35
NF	1997 03 19 23 10 50.02	Sannio-Matese	284	6	4,52
3-4	2001 07 02 10 04 43.18	Tavoliere delle Puglie	60	5	4,26

6	2002 10 31 10 32 59.05	Molise	51	7-8	5,74
5-6	2002 11 12 09 27 48.57	Molise	174	5-6	4,57
3-4	2003 01 27 04 03 46.57	Molise	60	5	3,84
3-4	2003 04 28 20 12 36.29	Molise	33	4-5	3,64
4-5	2003 06 01 15 45 18.04	Molise	501	5	4,44
4	2003 12 30 05 31 38.26	Molise	326	4-5	4,53
3-4	2005 03 01 05 41 37.38	Molise	136	4	3,68
4	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4,64
NF	2006 10 04 17 34 20.50	Adriatico centrale	98	4-5	4,3
3-4	2006 12 10 11 03 41.57	Adriatico centrale	54		4,48



Secondo la ormai "obsoleta" classificazione sismica nazionale articolata in 4 zone (Ordinanza PCM del 20.03.03 n° 3274 e Allegato 1 all'ordinanza 3274), il territorio del Comune di Rotello ricade in zona 2, contrassegnata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (ag) pari a 0,25g (dove g = accelerazione di gravità).

Come noto, con l'entrata in vigore del D. M. 14 gennaio 2008 così come modificato ed aggiornato con il D.M. 17 gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita, pertanto, partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

## 11. INDAGINI IN SITU E DI RIFERIMENTO

### 11.1. Premessa

Nel presente paragrafo saranno descritte tutte le indagini (dirette ed indirette) reperite da progetti pubblici e/o privati eseguite in zone molto prospicienti l'area di studio e che si utilizzeranno per la definizione del modello litostratigrafico e sismico locale. A tale mole di dati si aggiungono le indagini sismiche eseguite in campagna in data 03/08/2020 che contribuiranno a migliorare e ad ottimizzare l'attuale quadro delle conoscenze.

In particolare sono stati consultati progetti, con procedura di VIA in corso o terminata, pubblicati sul Portale del Ministero dell'Ambiente o sul Portale Ambientale della Regione Molise. I progetti consultati sono relativi ad impianti eolici e/o fotovoltaici.

Particolare attenzione è stata data agli elaborati relativi agli studi di microzonazione sismica del Comune di Rotello.

### 11.2. Profili sismici a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 2 profili sismici con onde longitudinali (onde P).

I profili sismici hanno lunghezza di 48 metri e sono stati eseguiti con 24 geofoni distanziati tra loro di 2,0 metri.

**L'analisi della sezione sismostratigrafica** riportata nel Report delle indagini Geofisiche eseguite (allegato interno alla presente), mostra la presenza di un tre sismostrati:

- **Il primo sismostrato** (con una profondità media di 2,5 mt dal p.c.) ha velocità  $V_p$  compresa tra 380÷430 m/s e  $V_s$  compresa tra 155÷177 m/s;
- **Il secondo sismostrato** (con una profondità media di 7 mt dal p.c.) ha velocità  $V_p$  compresa tra 870÷910 m/s e  $V_s$  compresa tra 216÷254 m/s;
- **Il substrato rifratore** ha velocità  $V_p$  compresa tra 1570÷1640 m/s e  $V_s$  compresa tra 257÷275 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche, ricordando che un sismostrato non corrisponde necessariamente ad uno strato litologicamente omogeneo, si può ritenere che:

- **Il primo sismostrato** è associabile a terreno vegetale limo-argilloso;

- Il **secondo sismostrato** è associabile a depositi alluvionali limo-argillosi composti in prevalenza da argille giallastre;
- Il **substrato rifratore** è associabile ad argille grigio azzurre.

### 11.3. Indagine sismica MASW

Per la definizione delle **caratteristiche sismiche** del **terreno oggetto del nostro studio** (profilo stratigrafico secondo le categorie previste dalle NTC2018) si sono eseguite n. 2 prove sismiche MASW, condotte con la metodologia attiva.

- La metodologia MASW "attiva" è una tecnica che sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume ( $V_p$ ).

Nel progetto in esame le indagini geofisiche sono state eseguite dalla società Pro Geo s.a.s., società operante da tempo nel settore della geofisica applicata. Per quanto attiene alla descrizione metodologica delle tecniche di prospezione sismica utilizzate e alla lettura di tutti gli elaborati grafici ottenuti **si rimanda al Report geofisico allegato, parte integrante del presente studio.**

L'ubicazione degli stendimenti sismici è visualizzato negli allegati.

L'acquisizione dei dati per la definizione della  $V_{s,eq}$  è stata svolta mediante la generazione di un "impulso" a seguito di impatto di una massa battente su un piattello in alluminio. Per la prova sono state acquisite sei registrazioni, poi sommate tra loro, di 1 secondo e con un passo di campionamento di 0.5 ms.

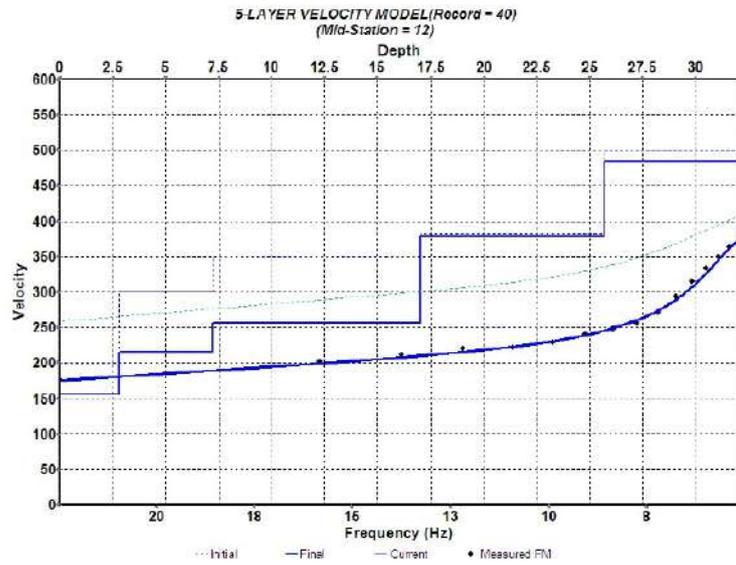
I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza ( $t-x$ ), al dominio velocità di fase-frequenza ( $p-f$ ). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del segnale e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

Lo spettro  $p-f$  ottenuto ha consentito di individuare una serie di punti nell'area del segnale ad alta energia (piking).

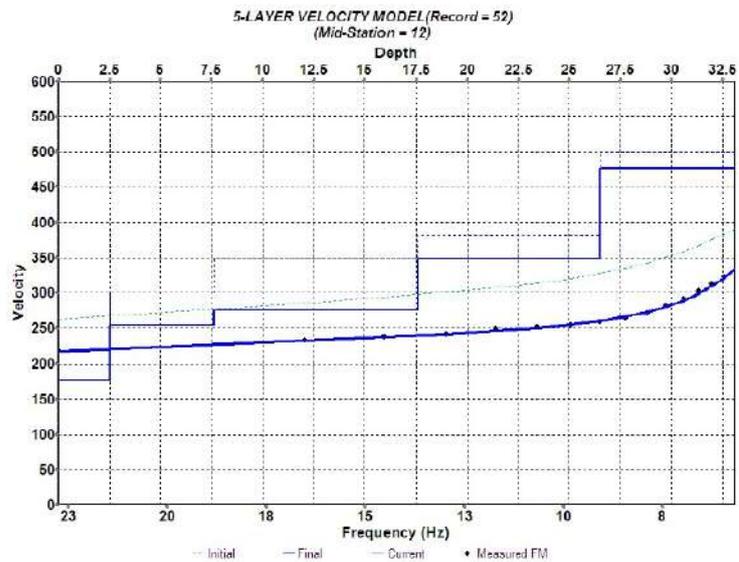
Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/frequenza ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

I modelli di Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW sono schematizzati di seguito:

Masw 1	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
-2.8	155.0
-7.2	215.8
-17.0	256.7
-25.7	378.4
-32.1	483.9



Masw 2	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
-2.5	177.3
-7.6	254.5
-17.6	275.5
-26.5	348.2
-33.1	476.6



In conformità al D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s).

Nella indagine geofisica eseguita si fa riferimento a un **approccio semplificato** che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Pertanto il sito in esame rientra nelle seguenti **categorie**:

- ✓ **Profilo MASW 1** → **VS<sub>30</sub> = 276 m/s - categoria C**
- ✓ **Profilo MASW 2** → **VS<sub>30</sub> = 290 m/s - categoria C**

#### 11.4. Parametri dinamici del sottosuolo

Combinando l'informazione derivante dall'analisi della sismica a rifrazione con quella scaturita dall'analisi delle onde superficiali con il metodo MASW è stato possibile effettuare una caratterizzazione dinamica dei terreni investigati ottenendo i parametri riportati nella tabella sottostante.

I parametri dinamici sono stati calcolati considerando per il primo sismostrato una densità pari a 1,7 t/m<sup>3</sup>, per il secondo una densità pari a 1,9 t/m<sup>3</sup> e per il terzo una densità pari a 2,0 t/m<sup>3</sup>.

Di seguito i parametri calcolati.

	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson ( $\sigma$ )	Modulo di Young (E <sub>din</sub> )	Modulo di taglio (G <sub>din</sub> )	Modulo di incompressibilità (K)
Terreno vegetale limo-argilloso	≈ 2,5	405	166	0,40	135 Mpa	48 Mpa	221 Mpa
Limo argilloso giallastro	≈ 5,0	599	194	0,47	216 Mpa	75 Mpa	706 Mpa
Argille grigio azzurre	> 20	851	212	0,48	278 Mpa	96 Mpa	1824 Mpa

In letteratura esistono svariate correlazioni che permettono di ricavare dal modulo di Young e di taglio calcolati in regime dinamico gli equivalenti parametri in regime statico.

Tra queste si ricordano:

$$E_{din} = (1.10 + 0,028 * \alpha) * E_{st}$$

$$E_{din} = E_{st} + 69 \text{ [Mpa]}$$

Per cui:

	Modulo di Young statico (E <sub>s</sub> )	Modulo di taglio statico (G <sub>s</sub> )
Terreno vegetale limo-argilloso	3,4 Mpa	1,2 Mpa
Limo argilloso giallastro	5,4 Mpa	1,9 Mpa
Argille grigio azzurre	7 Mpa	2,4 Mpa

## 12. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO

La normativa sismica italiana, D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento della «*Norme Tecniche per le Costruzioni*», la normativa tecnica europea (Eurocodici EC 7 e EC 8) e le più avanzate normative internazionali, attribuiscono la giusta importanza alla caratterizzazione sismica del terreno su cui dovranno essere realizzate opere di qualunque natura (edifici residenziali e industriali, opere di sostegno e di stabilizzazione di versanti, rilevati stradali, opere infrastrutturali, argini, dighe e opere idrauliche, gallerie, ponti e opere strutturali di grandi dimensioni).

La caratterizzazione del terreno dal punto di vista sismico in particolare e dinamico in generale, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  degli strati di terreno presenti nel sito, secondo quanto richiesto dalle sopra citate normative. Il profilo delle onde di taglio  $V_s$  risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  è possibile determinare una velocità equivalente  $V_{s,eq}$  rappresentativa del sito in esame, che consente di classificare il sito come suolo di tipo A, B, C, D, E, secondo la normativa sismica italiana.

Il calcolo viene sviluppato utilizzando la stratigrafia  $V_s$  e la seguente formula:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1, N} h_i / V_{s,i}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s,i}$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito riportata), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato**

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

Tab. 3.2.II - classificazione dei suoli in base alla  $V_{s,eq}$ .

Pertanto il sito in esame, come già anticipato nel § 10.5, con una  $V_{s,30}$  compresa tra **276 m/s e 290 m/s**, rientra in **categoria di sottosuolo C**.

---

### 13. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

All'interno dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al D.M. 17 gennaio 2018, la **pericolosità sismica** costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati.

" [...] La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione. Ai fini della presente normativa, le **forme spettrali** sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{vR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$             accelerazione orizzontale massima al sito
- $F_o$             valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_c^*$            valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 ed eventuali successivi aggiornamenti".

La pericolosità sismica sopra descritta è da intendersi come **pericolosità sismica di base**, derivante da studi condotti a livello nazionale, che hanno portato alla realizzazione del **reticolo o griglia di riferimento**. Individuata, per un determinato tempo di ritorno **TR (intervallo di riferimento)**, l'azione sismica di base, l'azione sismica di progetto viene ottenuta tenendo in considerazione la risposta sismica locale del sito in esame, ossia degli effetti di amplificazione sismica locale sopra esposti.

#### ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Di seguito si riportano i risultati di analisi di pericolosità sismica di base calcolati in base alle coordinate geografiche del sito in esame ed impostando una categoria di sottosuolo di tipo **C** (determinata dalla indagine sismica eseguita *in situ*) e una categoria topografica **T1**.

#### **Parametri sismici**

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

Sito in esame.

latitudine: 41,758386  
longitudine: 15,077814  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 28994	Lat: 41,7747	Lon: 15,0323	Distanza: 4187,334
Sito 2 ID: 28995	Lat: 41,7738	Lon: 15,0993	Distanza: 2469,221
Sito 3 ID: 29217	Lat: 41,7238	Lon: 15,0981	Distanza: 4201,714
Sito 4 ID: 29216	Lat: 41,7247	Lon: 15,0311	Distanza: 5390,958

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,057 g  
Fo: 2,450  
Tc\*: 0,282 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,075 g  
Fo: 2,477  
Tc\*: 0,296 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,206 g  
Fo: 2,461  
Tc\*: 0,338 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,272 g  
Fo: 2,440  
Tc\*: 0,346 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,590  
St: 1,000  
Kh: 0,017  
Kv: 0,009  
Amax: 0,839  
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500  
Cc: 1,570  
St: 1,000  
Kh: 0,023  
Kv: 0,011  
Amax: 1,108  
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,400  
Cc: 1,500  
St: 1,000  
Kh: 0,081  
Kv: 0,040  
Amax: 2,829  
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,300  
Cc: 1,490

---

St: 1,000  
Kh: 0,099  
Kv: 0,049  
Amax: 3,465  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru

Coordinate WGS84  
latitudine: 41.757413  
longitudine: 15.076948

---

## 14. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

### 14.1. Premessa

Nel presente paragrafo saranno descritte le modalità di caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati. Si utilizzeranno correlazioni con i dati sismici misurati in sito, dati della microzonazione sismica eseguita per il Comune di Rotello, dati di progetti eseguiti dallo scrivente su medesime litologie e dati consultati di progetti, con procedura di VIA in corso o terminata, pubblicati sul Portale del Ministero dell' Ambiente o sul Portale Ambientale della Regione Molise. I progetti consultati sono relativi ad impianti eolici / fotovoltaici.

### 14.2. Correlazioni con i parametri sismici

Numerose sono le correlazioni di bibliografia – soprattutto recenti - che permettono, entro certi limiti, di correlare le velocità di propagazione delle onde P o delle onde S, con i principali parametri geotecnici dei materiali investigati.

In questa sede si propongono alcune delle più “affidabili”, caratterizzate da un maggior coefficiente di correlazione, o ottenute su terreni simili a quelli di affioramento.

Peso di volume: il peso di volume può essere calcolato in funzione di  $V_s$  e della profondità (z) tramite le relazioni proposte rispettivamente dal Mayne et alii (1999) e da Mayne (2001).

Una altra interessante formulazione viene proposta da Tezcan et alii (2009) che riportano una correlazione tra peso di volume e velocità delle onde longitudinali  $V_p$ , tenendo conto del tipo di terreno:

$$\gamma = \gamma_0 + 0,002 \cdot V_p$$

dove:

$\gamma_0 = 16$  (per sabbie sciolte, silt e argilla)

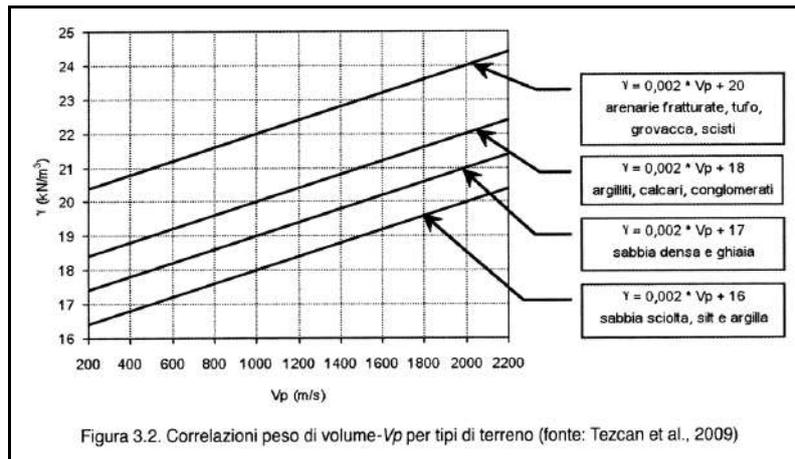
$\gamma_0 = 17$  (per sabbie dense e ghiaie)

Pertanto si ha, anche in relazione alla Fig. 3.2:

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 405 = 17 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 599 = 17,2 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 851 = 17,7 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 3° strato)}$$



### Correlazione Vs-N<sub>SPT</sub>

Numerose sono le correlazioni empiriche proposte tra il numero di colpi delle prove SPT (N<sub>SPT</sub>) e la velocità delle onde S (V<sub>s</sub>), talora differenziate in funzione del tipo di terreno e/o basate su una correzione del N<sub>SPT</sub>. Tuttavia, al di là della maggiore correlazione statistica per le leggi basate sul N<sub>SPT</sub> non corretto, si rileva che esse derivano da dati osservati in aree poco estese e caratterizzate da una limitata complessità stratigrafica. D'altra parte, è ben noto che dal punto di vista meccanico non può esistere una correlazione diretta tra la velocità di propagazione delle onde S, che è proporzionale alla rigidità a taglio dello scheletro solido del terreno a piccole deformazioni e il numero di colpi della prova SPT legato al complesso meccanismo della resistenza a rottura del terreno, in condizioni drenate o non drenate, per l'avanzamento del campionatore standard. Di fatto però, rigidità e resistenza dipendono in qualche modo dalle stesse variabili di stato del terreno, di modo che le due grandezze, N<sub>SPT</sub> e V<sub>s</sub>, siano pressoché influenzate dagli stessi parametri (Mayne e Rix, 1995 come citati da Madiati, 2006).

Nel seguito, si riportano le correlazioni ottenute da Fabbrocino S. et alii (2011) in contesti complessi quale quelli della provincia di Campobasso.

Gli autori ricostruiscono tre correlazioni tra V<sub>s</sub> e N<sub>SPT</sub> in tali contesti; il grafico di Fig. 21 rappresenta la sintesi del lavoro.

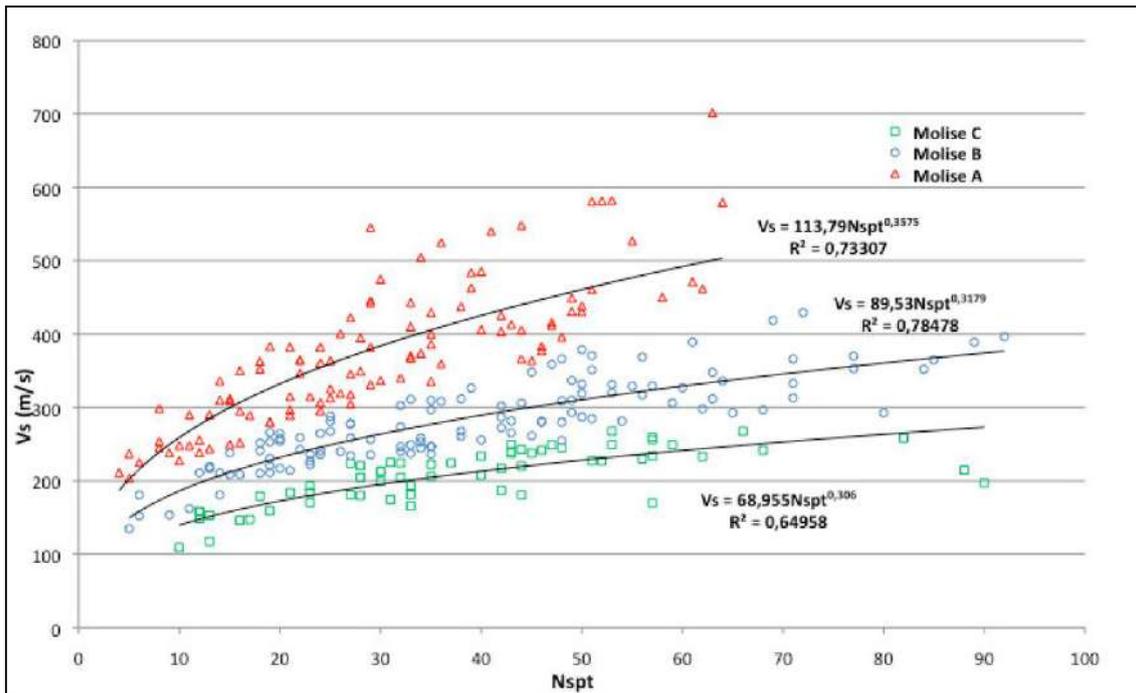


Fig. 21 - Correlazioni tra NSPT e Vs

Gli autori indicano che la funzione Molise B è da ritenersi valida in formazioni in cui prevale la componente argillosa; per gli stessi terreni del tipo B ma con caratteristiche più scadenti per alterazione o specifiche condizioni idrogeologiche, va considerata la funzione Molise C. Nelle zone in cui sono presenti componenti a carattere litoide va utilizzata la funzione Molise A.

Pertanto la funzione Molise B (utilizzata anche perché più cautelativa) sembra quella che più si adatti al nostro caso e pertanto essa risulta:

$$Vs = 89,53 N_{SPT}^{0,3179} \text{ (per il 1° strato)}$$

$$Vs = 89,53 N_{SPT}^{0,3179} \text{ (per il 2° strato)}$$

$$Vs = 89,53 N_{SPT}^{0,3179} \text{ (per il 3° strato)}$$

Pertanto, calcolando per inversione, si ha:

$$N_{SPT} = 7 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$N_{SPT} = 12 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$N_{SPT} = 15 \text{ (per il 3° strato)}$$

Da tale parametro è possibile risalire, per es., alla coesione non drenata del materiale che risulta, per correlazioni con Sanglerat e Schmertmann (1975):

$$c_u \approx 50 \text{ kPa (per il 1° strato)}$$

$$c_u \approx 80 \text{ kPa (per il 2° strato)}$$

$$c_u \approx 100 \text{ kPa (per il 3° strato)}$$

Per il calcolo della coesione non drenata si può anche utilizzare la relazione di Stroud (1974):

$$C_u = f_1 * N_{SPT}$$

Con  $f_1$  variabile tra 3,2 e 7,6 kN/m<sup>2</sup> e decrescente al crescere dell'indice di plasticità. I valori di  $f_1$  sono stati ripresi da vari autori. Nel nostro caso, per terreni con basso indice di plasticità, si possono utilizzare valore tra 4÷5.

Pertanto si ha:

$$C_u = 35 \text{ kPa (1° strato)}$$

$$C_u = 60 \text{ kPa (2° strato)}$$

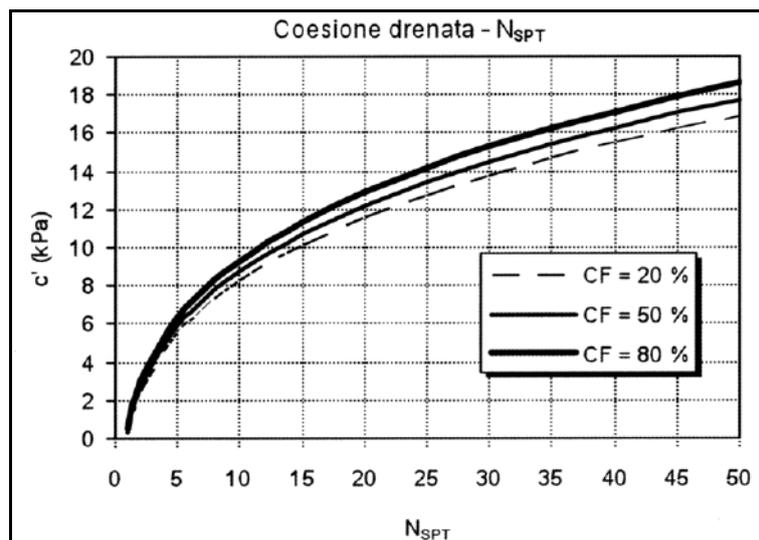
$$C_u = 75 \text{ kPa (3° strato)}$$

#### Calcolo dei parametri efficaci

Le correlazioni utilizzate vengono proposte direttamente in funzione di  $V_s$ , tenendo conto delle relazioni di Prakoso (2010) e sviluppate tramite le seguenti equazioni logaritmiche, valide nell'intervallo  $V_s = 120\div300$  m/s. Si utilizza tale metodo solo per il primo e secondo strato in quanto la classificazione geotecnica delle argille grigio azzurre, substrato dell'area, sono già abbastanza note da innumerevoli prove di laboratorio eseguite su di esse.

$$\phi' = 28,603 \cdot \ln(V_s) - 122,23$$

$$c' \text{ (kPa)} = 128,21 - 22,563 \cdot \ln(V_s)$$



**Fig. 22** - Andamento della coesione drenata in funzione  $N_{SPT}$  per contenuto di argilla

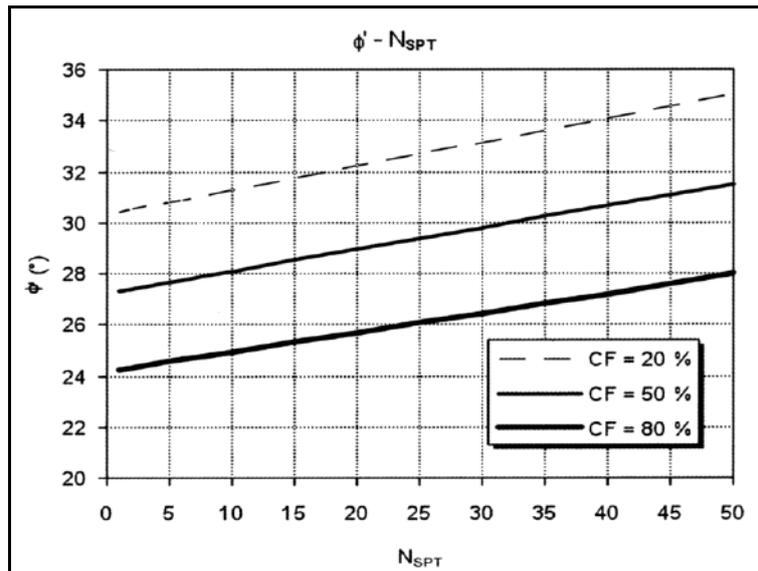


Fig. 23 - Andamento dell'angolo di resistenza al taglio in funzione  $N_{SPT}$  per contenuto di argilla

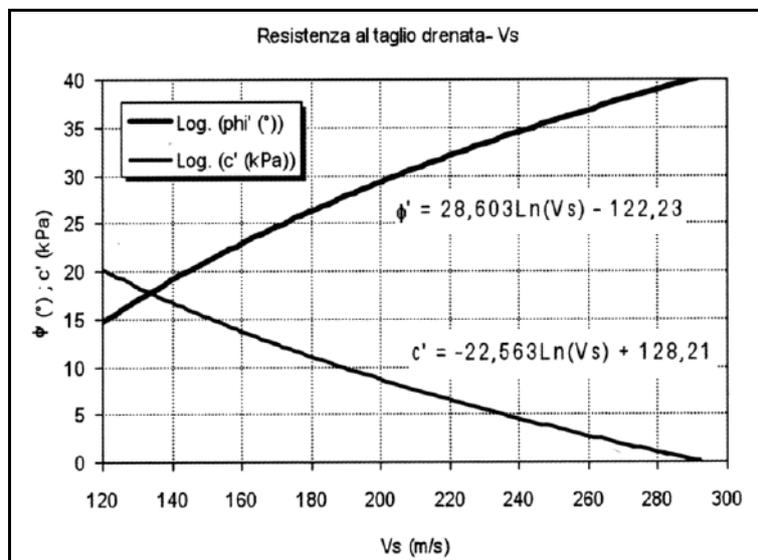


Fig. 24 - Andamento della resistenza al taglio drenata ( $\phi'$  e  $c'$ ) in funzione di  $V_s$

Pertanto:

$$\phi' \approx 24^\circ \text{ (per il 1° strato)}$$

$$c' = 12 \text{ kPa (per il 1° strato)}$$

$$\phi' \approx 28^\circ \text{ (per il 2° strato)}$$

$$c' = 9 \text{ kPa (per il 2° strato)}$$

### 14.3. Parametrizzazione del modello geologico e geotecnico ricostruito

In conclusione, valutando criticamente i risultati di tutto quanto fin qui esposto e integrandoli con tutte le altre informazioni disponibili per le litologie in questione, si ritiene che il modello geologico e geotecnico ricostruito e sotto riportato possa considerarsi sufficientemente definito oltreché cautelativo.

Di seguito si riporta, quindi, una “stratigrafia geologica e geotecnica di sintesi” relativa alla sequenza litostratigrafica locale con una indicazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Spessore (m)	Stratigrafia	descrizione terreno	Angolo di attrito in condizioni drenate ( $\phi$ )	Coesione drenata (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Peso di Volume (kN/m <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson	Modulo di Elasticità (Mpa)
2,0÷2,5		Terreno vegetale limo-argilloso	23°	3÷5	30÷50	17	0,40	3,4
5,0		Limo argilloso giallastro	26°÷28°	5÷8	50÷80	19	0,47	5,4
> 20		Argille grigio azzurre	22°÷23°	20÷30	100÷120	20	0,48	7

In fase esecutiva si prescrive un approfondimento di indagini onde meglio “parametrizzare” i primi due litostrati in relazione alle opere a realizzarsi.

## 15. CONCLUSIONI

Lo studio effettuato al fine di conoscere la natura e le caratteristiche fisico-tecniche del sottosuolo, unitamente a tutte le notizie di carattere geologico acquisite preliminarmente e in relazione al tipo di opera da realizzare, consentono di formulare le seguenti considerazioni conclusive.

### A. CARATTERISTICHE DELL'OPERA

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico da realizzarsi nel Comune di Rotello (Cb) in Contrada "Piano della Fontana".

### B. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

- L'area indagata è compresa nelle tavolette topografiche III N.O. "Ururi", III S.E. "Serracapriola", III S.O. "Santa Croce di Magliano" e III S.E. "Castello di Dragonara" del Foglio n. 155 della Carta d'Italia in scala 1:25.000. La zona interessata dal presente studio si trova compresa tra la isoipsa di 120m s.l.m. a quella di 210m s.l.m.. La pendenza media dell'area è di circa il 7%.

### C. NATURA E CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO – MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

- Le unità litologiche interessate dall'intervento in progetto sono rappresentate dalle Argille di Montesecco e da Depositi fluvio-lacustri.

Di seguito si riporta una "stratigrafia geologica e geotecnica di sintesi" relativa alla sequenza litostratigrafica locale con l'indicazione dei principali parametri geotecnici.

Spessore (m)	Stratigrafia	descrizione terreno	Angolo di attrito in condizioni drenate ( $\phi$ )	Coesione drenata (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Peso di Volume (kN/m <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson	Modulo di Elasticità (Mpa)
2,0÷2,5		Terreno vegetale limo-argilloso	23°	3÷5	30÷50	17	0,40	3,4
5,0		Limo argilloso giallastro	26°÷28°	5÷8	50÷80	19	0,47	5,4
> 20		Argille grigio azzurre	22°÷23°	20÷30	100÷120	20	0,48	7

Di seguito si riporta, invece, la "sismostratigrafia" evidenziata dall'indagine sismica oltre che i principali parametri dinamici dei terreni investigati.

Quota dal p.c.	descrizione terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson ( $\sigma$ )	Modulo di Young ( $E_{din}$ )	Modulo di taglio ( $G_{din}$ )	Modulo di incompressibilità (K)
da 0 a -2,5m	Terreno vegetale limo-argilloso	405	166	0,40	135 Mpa	48 Mpa	221 Mpa
da -2,5 a -7,5m	Argille giallastre	599	194	0,47	216 Mpa	75 Mpa	706 Mpa
> -7,5 m	Argille grigio-azzurre	851	212	0,48	278 Mpa	96 Mpa	1824 Mpa

#### D. CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 17.01.2018)

I valori di  $V_{s,30}$  ricavati dall'analisi sismica con i microtremori ci permettono di attribuire i suoli indagati alla categoria, come da riferimento alla nuova normativa sismica:

- **classe C** con  $V_{s,30}$  pari  $\approx$  a **280 m/s** ( $180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ ).

La presente relazione è composta da 48 pagine e dai seguenti allegati:

- corografia della zona in scala 1:25.000;
- stralcio Carta Tecnica Regionale in scala 1:15.000;
- stralcio Carta geomorfologica in scala 1:10.000;
- stralcio carta geologica in scala 1:10.000;
- stralcio ortofoto con ubicazione sondaggi in scala 1:10.000;
- documentazione fotografica;
- report indagini geofisiche.

Si riconoscono come originali i soli elaborati firmati e vidimati dall'autore con firma digitale. Senza il consenso dello stesso non è consentita la riproduzione, anche parziale, dell'elaborato.

Foggia, 3 settembre 2020.

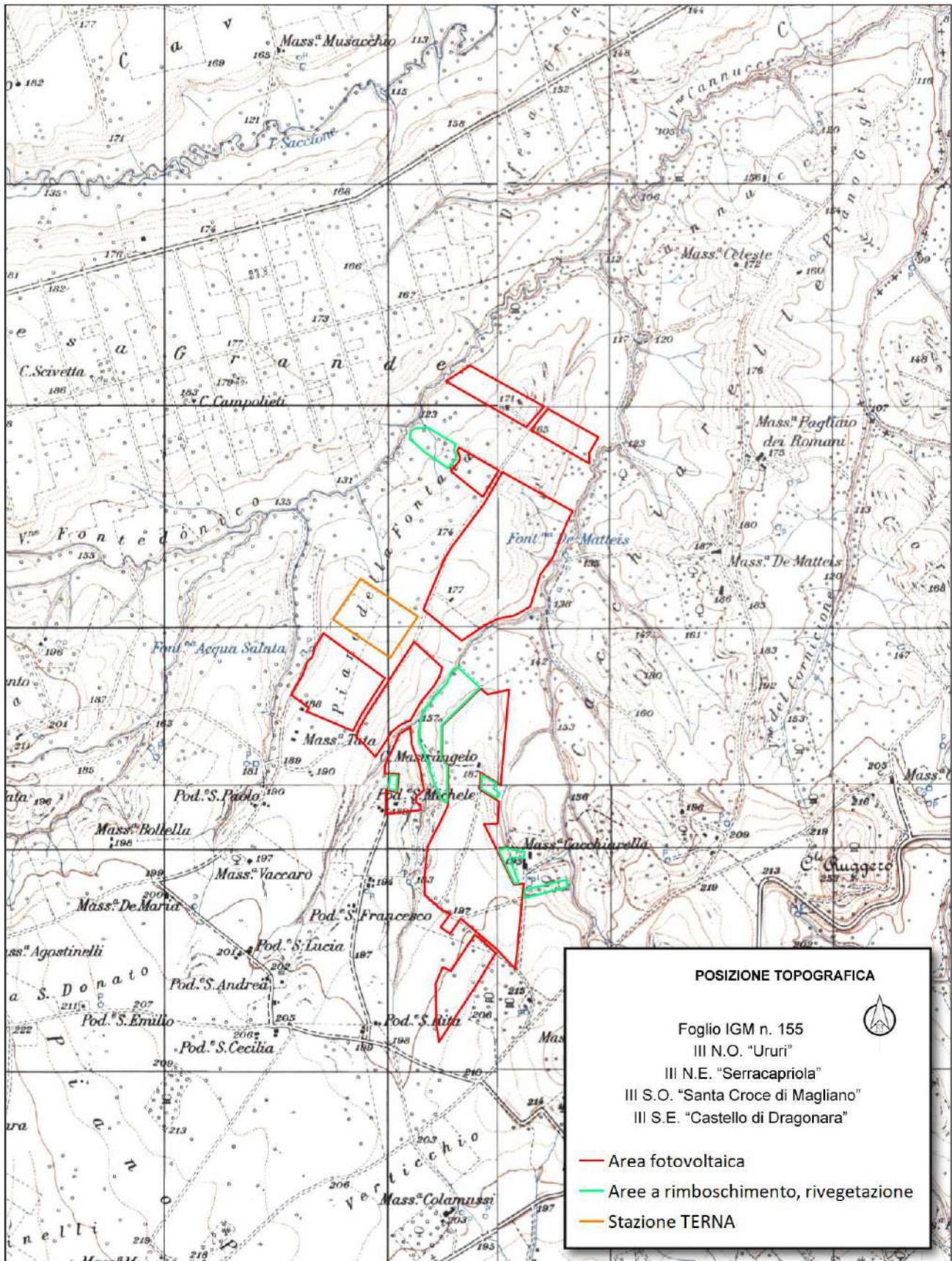
dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello



Comune di  
Rotello (CB)

Stralcio aerofotogrammetrico

Scala 1:25.000



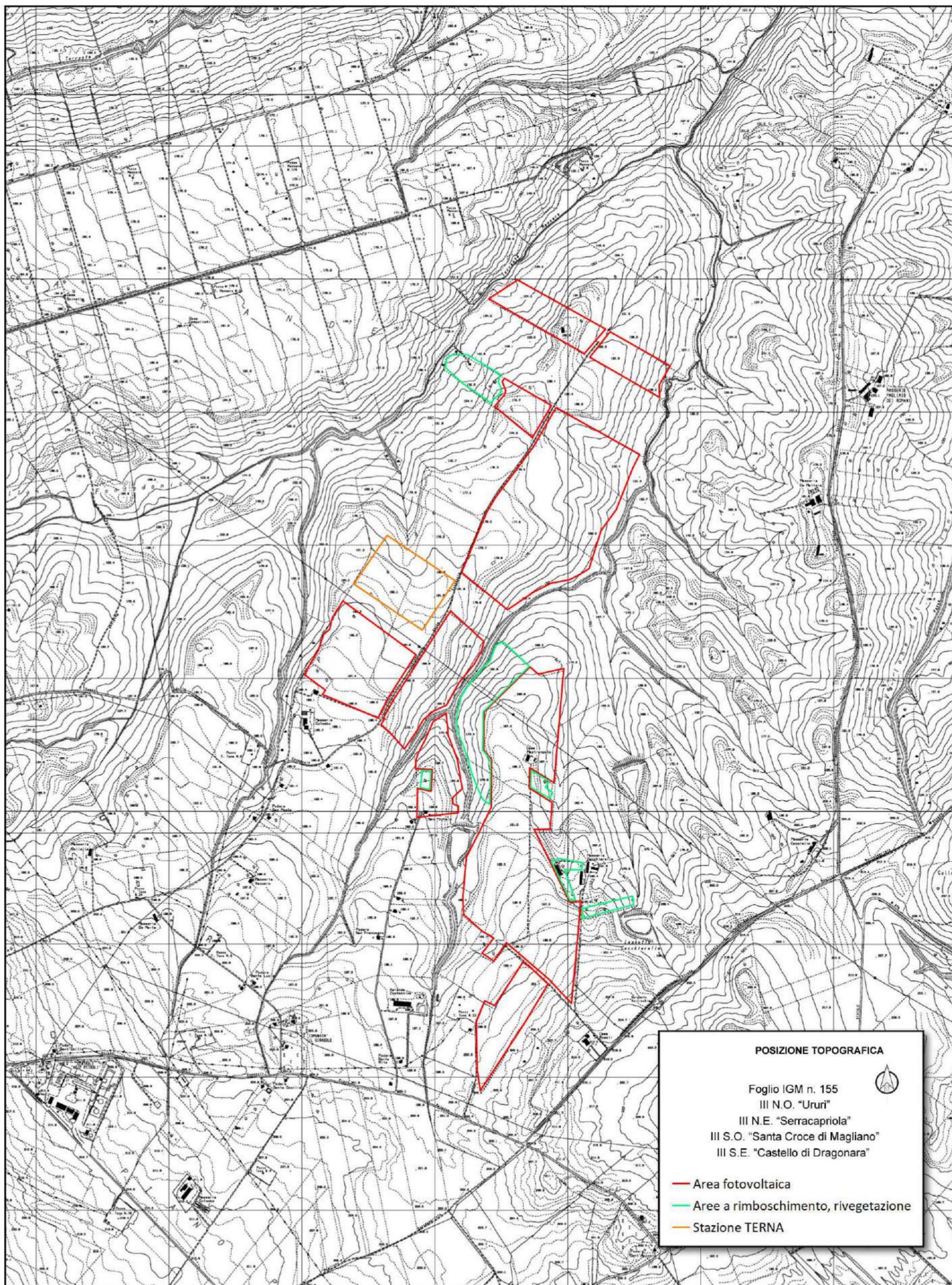
Proponente:  
Enel Rotello1 SRL

Il professionista incaricato:  
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di  
Rotello (CB)

Ubicazione impianto su CTR

Scala 1:15.000



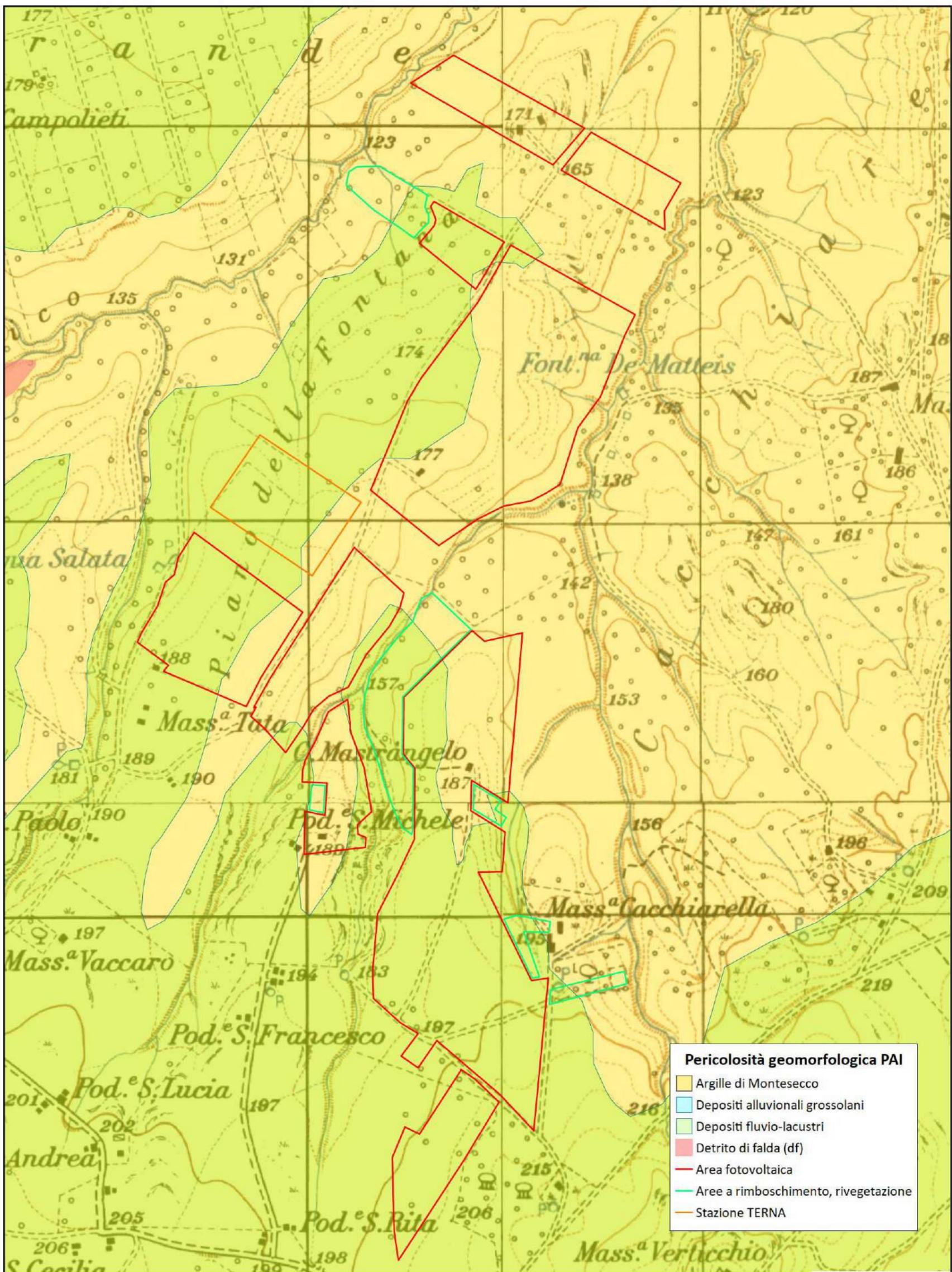
Proponente:  
Enel Rotello1 SRL

Il professionista incaricato:  
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di  
Rotello (CB)

Carta geologica

Scala 1:10.000



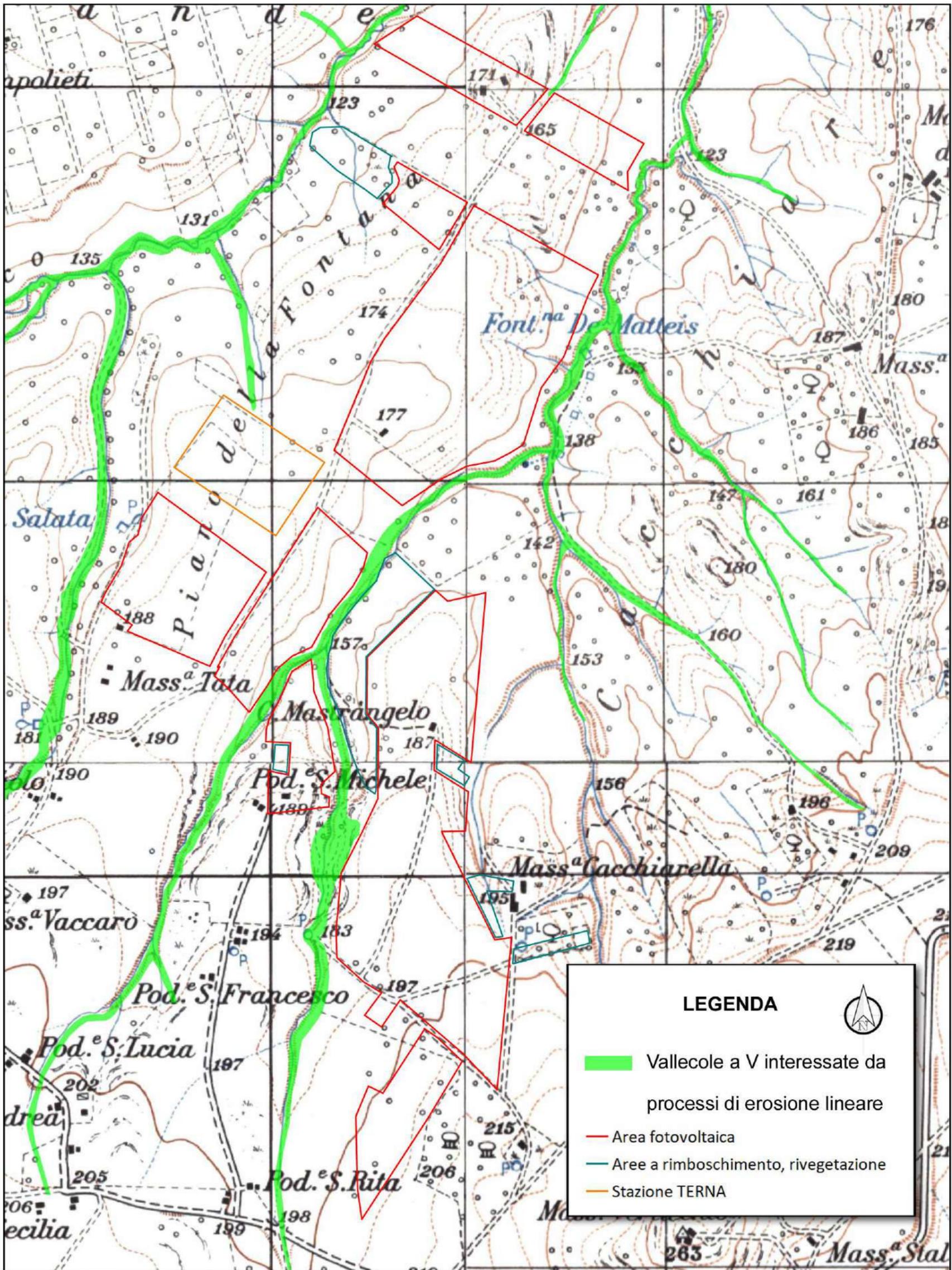
Proponente:  
Enel Rotello1 SRL

Il professionista incaricato:  
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di  
Rotello (CB)

### Carta geomorfologica

Scala 1:10.000



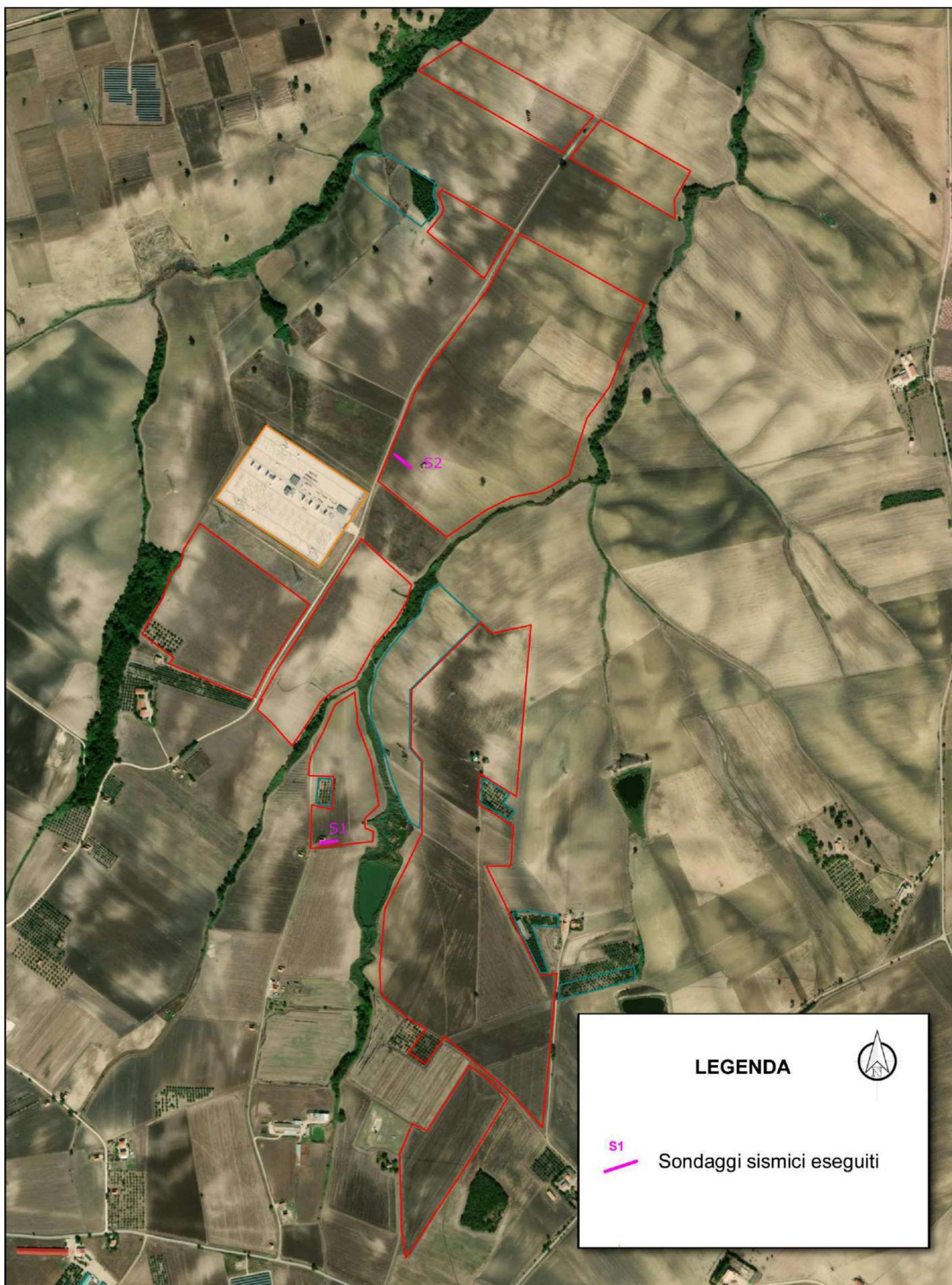
Proponente:  
Enel Rotello1 SRL

Il professionista incaricato:  
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di  
Rotello (CB)

## Ubicazione prove sismiche

Scala 1:10.000



Proponente:  
Enel Rotello1 SRL

Il professionista incaricato:  
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



**Foto n. 1** – area di intervento



**Foto n. 2** – esecuzione indagine sismica S2



**Foto n. 3** – area di intervento



**Foto n. 4** – area di intervento



**Foto n. 5** – esecuzione indagine sismica S1



**Foto n. 6** – area di intervento



COMUNE DI ROTELLO



REGIONE MOLISE



PROVINCIA DI CAMPOBASSO

## OGGETTO

PROGETTO DI COSTRUZIONE E MESSA IN ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 60 MWP, INFRASTRUTTURE ED OPERE DI CONNESSIONE, OPERE DI RIMBOSCHIMENTO E RIVEGETAZIONE DELLE AREE LIBERE, DA REALIZZARE NEL COMUNE DI ROTELLO (CB) ALLA CONTRADA "CANTALUPO"

DATA: AGOSTO 2020

## LOCALITÀ

COMUNE DI ROTELLO (CB) IN CONTRADA "CANTALUPO"

## PROPONENTE

**ENEL ROTELLO 1 SRL**

Vico Teatro 33

71121 Foggia (Fg)

## ELABORATO

**INDAGINE GEOFISICA**

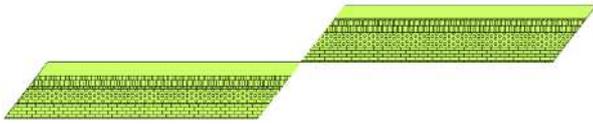
## DITTA ESECUTRICE INDAGINI



Geologia e Geofisica  
Prospezioni geofisiche in superficie e in foro  
Indagini idrogeologiche e geotecniche

**PRO-GEO s.a.s**  
di Alberto Angelo Raffaele Quarto & C.  
Via M. R. Imbriani, 13 - 76121 Barletta  
P. IVA: 05578650722  
TEL. E FAX: 0883-390511  
EMAIL: progeosas@alice.it  
MOB. 3356098214  
PEC: info@pec.progeosas.net

**PRO-GEO s.a.s.**  
di Alberto A.R. Quarto & C.  
Via M.R. Imbriani, 13  
76121 BARLETTA  
P. IVA 05578650722



## INDICE

<b>1 PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2 AZIONE SISMICA</b> .....	<b>3</b>
<b>3 INDAGINE M.A.S.W</b> .....	<b>6</b>
3.1 Metodologia indagine M.A.S.W. ....	6
3.2 Attrezzature e tecniche operative .....	8
3.3 Risultati.....	10
<b>4 PROSPEZIONE SISMICA</b> .....	<b>12</b>
4.1 Metodologia sismica a rifrazione .....	12
4.2 Attrezzature e tecniche operative .....	14
4.3 Risultati.....	15

*Ubicazione area d'indagine (da CTR) - scala 1:20.000*

*Ubicazione misure sismiche (da Ortofoto) - scala 1:1.000*

### *Allegato profilo sismico*

- *Sismogrammi analisi Masw*
- *Analisi Masw*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Dromocrone onde P*
- *Tomografie sismiche ed interpretazioni sismostratigrafiche*
- *Documentazione fotografica*

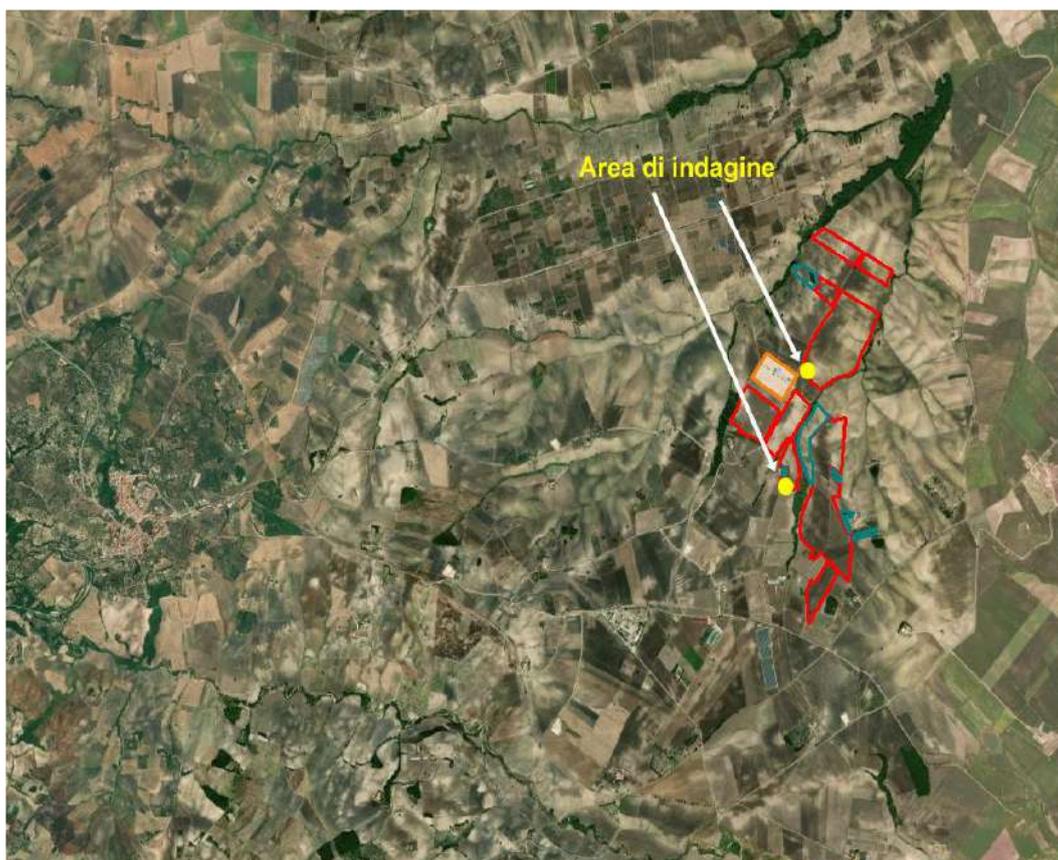
## 1 PREMESSA

Per incarico conferito alla “PRO-GEO s.a.s. di Alberto Quarto & C.” dall’impresa “PRIMARIA S.r.l.” è stata eseguita una prospezione geofisica per il **Progetto di costruzione e messa in esercizio di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 60 MWp, infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Rotello (CB) alla Contrada "Cantalupo"**.

L’indagine è stata mirata alla definizione delle caratteristiche fisico-dinamiche dei terreni, alla ricostruzione stratigrafica del sito e alla classificazione del sottosuolo di fondazione secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018*.

A tal fine sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

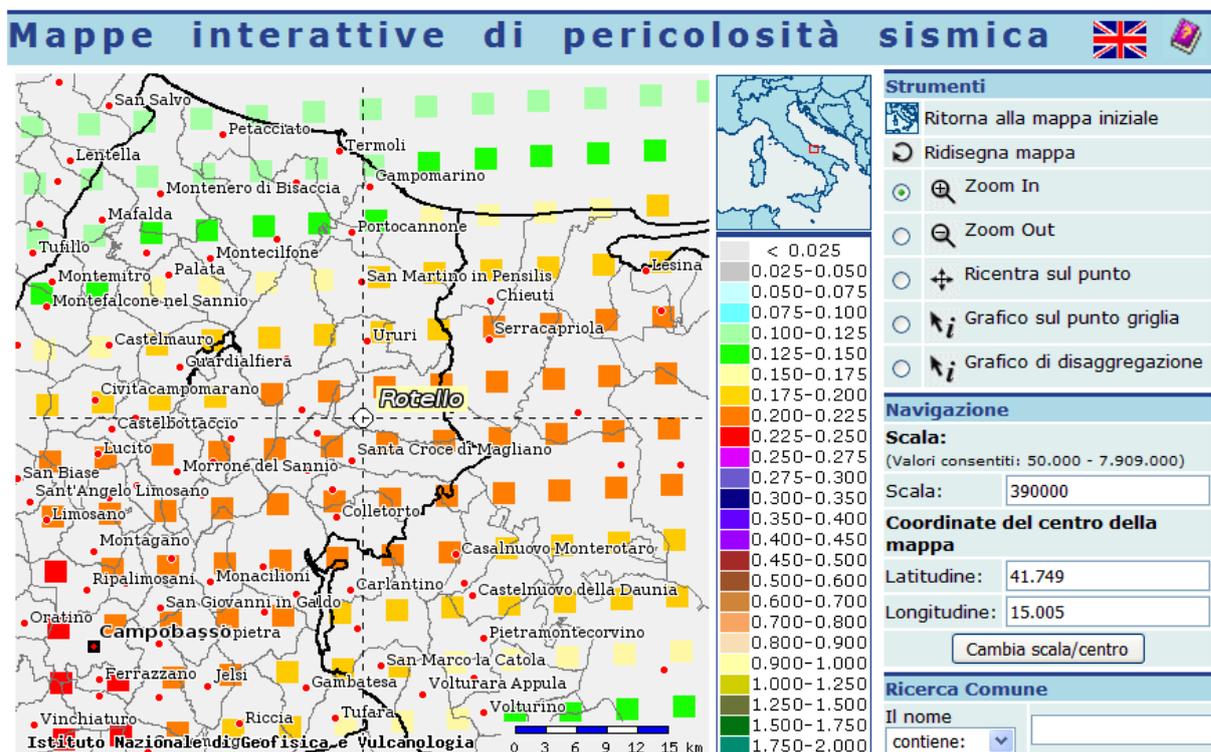
- n. 2 profili sismici MASW;
- n. 2 profili sismici a rifrazione.



Ubicazione del sito d’indagine

## 2 AZIONE SISMICA

Le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e l'OPCM del 20 marzo 2003 n. 3274, superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima  $F_0$  e periodo di inizio del tratto a velocità costante  $T^*c$ ). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3274)

Secondo le NTC l'area in questione è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra **0.200-0.225 g**, come evidenziato nella figura a, in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (riferita a suoli rigidi - categoria A).

Tale mappa di pericolosità sismica è riferita ad un periodo di ritorno  $TR=475$ , corrispondente ad una vita nominale dell'opera  $V_N=50$  anni e ad un coefficiente d'uso  $C_U=1.0$  (struttura ordinaria), parametri legati tra loro dalla seguente formula:

$$TR = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) \text{ dove } V_R = V_N \cdot C_U$$

Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno		
$P_{V_R}$ (Stato Limite)	$C_U$	$V_N$ [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	$\leq 10$ (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	$\geq 50$ (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	$\geq 100$ (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

I nuovi criteri di caratterizzazione sismica locale, come accennato in precedenza, sono menzionati nelle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018", entrate ufficialmente in vigore in data 22/03/2018, per le quali è necessario, inoltre, caratterizzare il sito in funzione degli spettri di risposta sismica delle componenti orizzontali e verticali del suolo. Gli spettri di risposta sismica vanno stimati in relazione ai differenti Stati Limite a cui un manufatto è potenzialmente sottoposto; tale stima è stata effettuata mediante l'applicazione della GEOSTRU al seguente link:

<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>.

Essa fornisce i parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$ ) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo o della costruzione in esame.

Di seguito vengono mostrati i risultati riferiti al sito in esame di coordinate WGS84:

**Lat 41.758419° - Lng 15.073780°**

Indirizzo
Coordinate
Isola

Latitudine

41.758419°

Longitudine

15.073780°

WGS84: Lat 41.758419 - Lng 15.073780

ED50: Lat 41.759392 - Lng 15.074646

Mappa
Satellite

### Stati limite

Classe Edificio

Il. Affollamento normale. Assenza di funz. pur...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

**CU = 1**

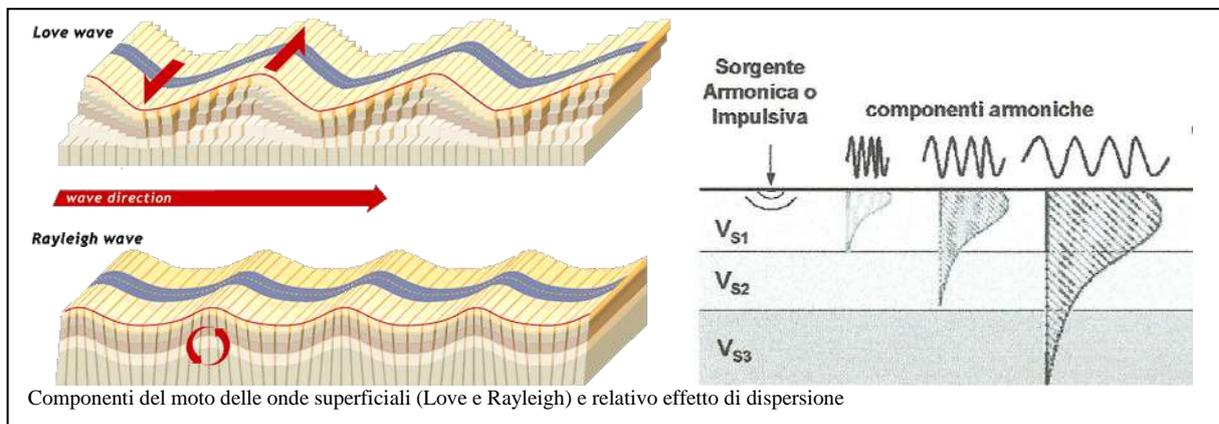
Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> * [s]
Operatività (SLO)	30	0.057	2.450	0.283
Danno (SLD)	50	0.075	2.477	0.296
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.206	2.461	0.338
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.272	2.441	0.346
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Ubicazione dell'area all'interno della maglia sismica di riferimento e relativi parametri sismici

### 3 INDAGINE M.A.S.W

#### 3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase 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.

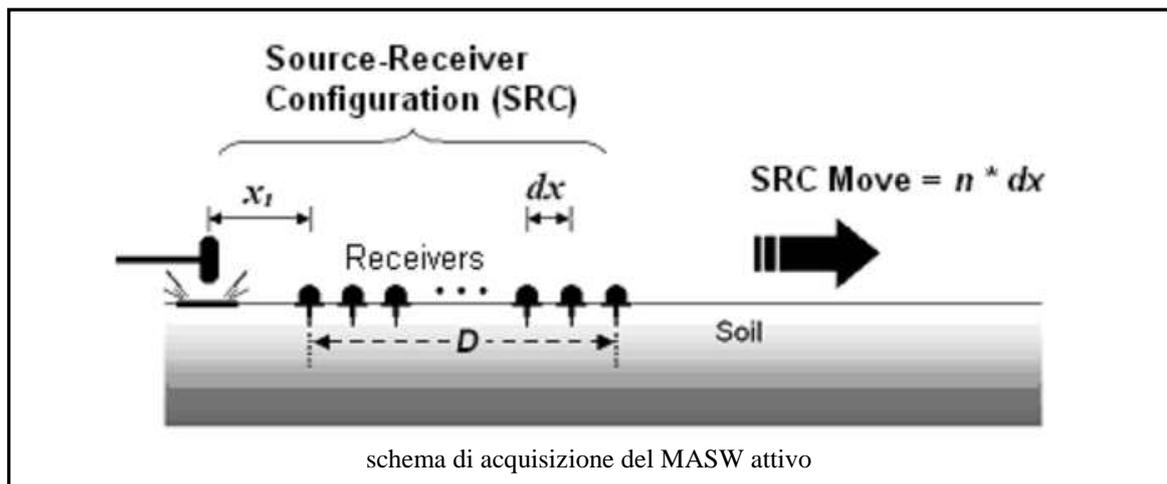
Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

- Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).
- Nel “**metodo passivo**” (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali

prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E’ possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

**In questa indagine** è stato utilizzato il “**metodo attivo**”, idoneo al contesto in esame. Le caratteristiche geometriche dei profili sono tabellate e schematizzate di seguito:

Sorgente	Lunghezza profili	Distanza intergeofonica (dx)	Offset ( $x_l$ )
martello	48 m	2.0 m	4 m



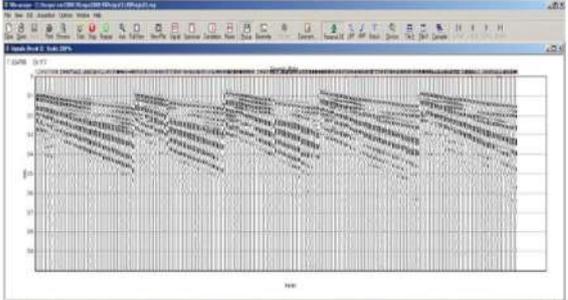
### 3.2 Attrezzature e tecniche operative

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).

## DAQlink Specifications

- 1 to 24 channels per unit
- Weatherproof enclosure
- Multiple units can be used together for large channel count
- A/D conversion:**
  - 24 bit high-speed sigma delta converters
- Dynamic range:**
  - 144 dB (system)
  - Greater than 118 dB (measured at 2msec)
- Bandwidth:**
  - DC to 15 KHz –
  - Analog filter flat response to 8000 Hz
  - Digital Filter Bandwidth = 85% of (sample rate)
- Common Mode Rejection:**
  - Greater than 100 dB
- Crosstalk:**
  - Better than 125 dB
- Noise Floor:**
  - 0.2 microvolt RMS noise (2 msec sample rate)
- Trigger Accuracy:**
  - +/- 1 microsecond at all sample rates
- Maximum Input Signal:**
  - Standard (x 2 gain): 3.58 volts peak to peak
  - (Optional): (x1 gain): 7.16 volts peak to peak
- Input Impedance:**
  - 100 K ohms
- Preamplifier Gains:**
  - X2, and x32 standard; software selectable
  - (X1 and x16 available on special request)
- Anti-alias Filters:**
  - 85 % of Nyquist frequency
- Digital Filters:**
  - Low Cut – User Selectable frequency
  - Notch – 50 or 60 Hz standard – User selectable
  - High Cut – User Selectable
- Sample Interval:**
  - 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond
- Sample Frequency:**
  - 48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 64.5 samples/second
- Record Length:**
  - Up to 4 Gbytes/ number of channels
- Pre-trigger delay:**
  - 10 second
- Continuous Recording Option**
- GPS Interface Standard**
  - Internal Clock synchronized to GPS time
  - GPS Time and Position saved with data
- Internal Storage:**
  - Compact Flash style storage media
  - Standard FAT16 or FAT32 file system
  - (Maximum file size = 32GB)
- 100Mbit Ethernet**
  - Download speed 8MByte/sec; real time transfer
- Power consumption:**
  - 24 channels – less than 0.4 watts/channel
- Built in Line Testing and Instrument Tests**
- Size:** 330x230x60 mm
- Weight:** 3.4 Kg







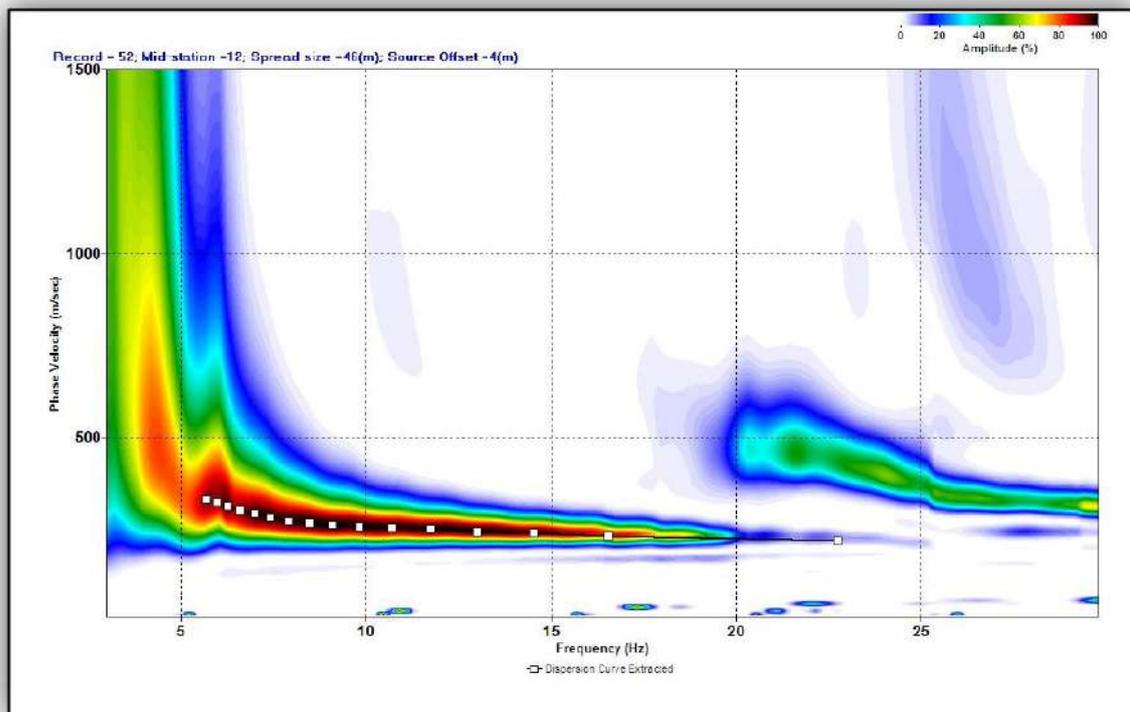

- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SurfSeis 3.0 della Kansas Geological Survey.

Sono state acquisite un totale di sei registrazioni successivamente sommate tra loro, al fine di ottenere un buon rapporto segnale/rumore. Esse hanno le seguenti caratteristiche:

	frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
Masw attivo	0.5 millisecondi	1 secondo	martello

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del "rumore ambientale" lungo tutte le direzioni della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

Sullo spettro (p-f) ottenuto sono stati individuati una serie di punti nell'area ad alta energia (figura seguente). A partire da essi si è proceduti con la fase di inversione dei dati per ottenere il modello di  $V_s$ -profondità.



### 3.3 Risultati

I modelli di Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW, sono schematizzati di seguito:

Masw 1		Masw 2	
Profondità (mt)	Vs (m/s)	Profondità (mt)	Vs (m/s)
-2.8	155.0	-2.5	177.3
-7.2	215.8	-7.6	254.5
-17.0	256.7	-17.6	275.5
-25.7	378.4	-26.5	348.2
-32.1	483.9	-33.1	476.6

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

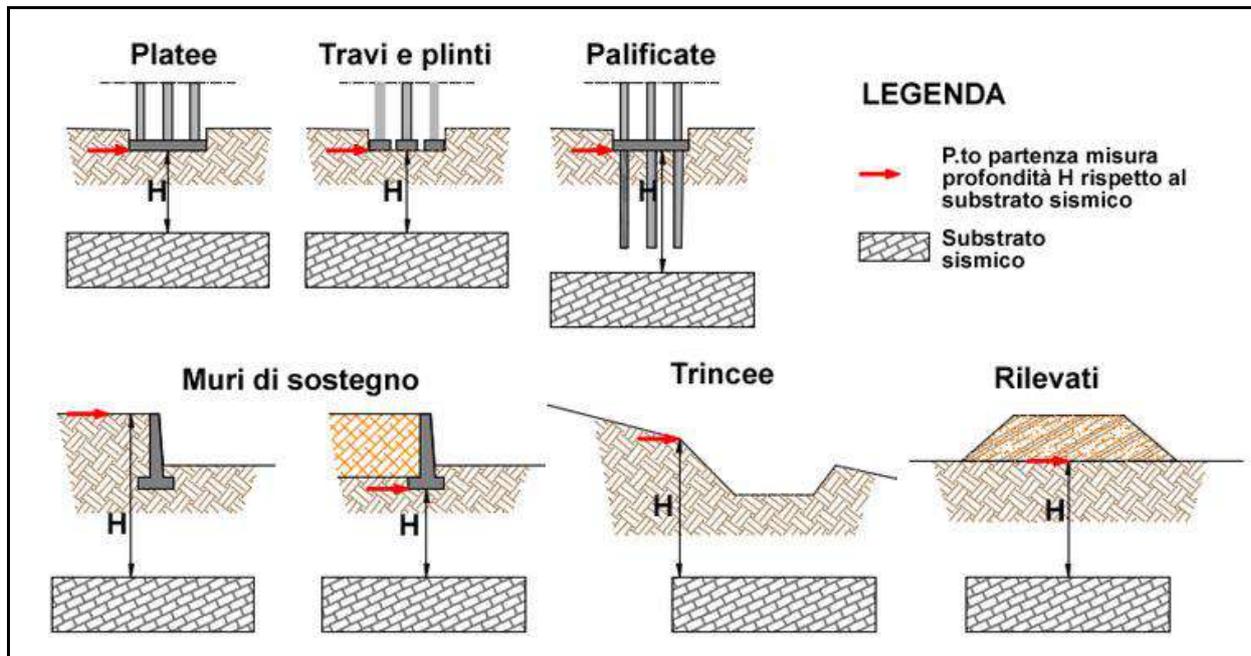
- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità **H del substrato superiore a 30 m**, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione (3.2.1) e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per le **fondazioni superficiali**, la profondità del substrato è riferita al *piano di imposta* delle stesse, mentre per le **fondazioni su pali** è riferita alla *testa dei pali*.

Nel caso di **opere di sostegno di terreni naturali**, la profondità è riferita alla *testa dell'opera*.

Per **muri di sostegno di terrapieni**, la profondità è riferita al *piano di imposta della fondazione*.



Nella presente indagine si riferimento a un **approccio semplificato** che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Pertanto il sito in esame rientra nella **categoria di sottosuolo C** con:

- ✓ MASW 1 -  $V_{S,30} = 276$  m/s
- ✓ MASW 2 -  $V_{S,30} = 290$  m/s

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

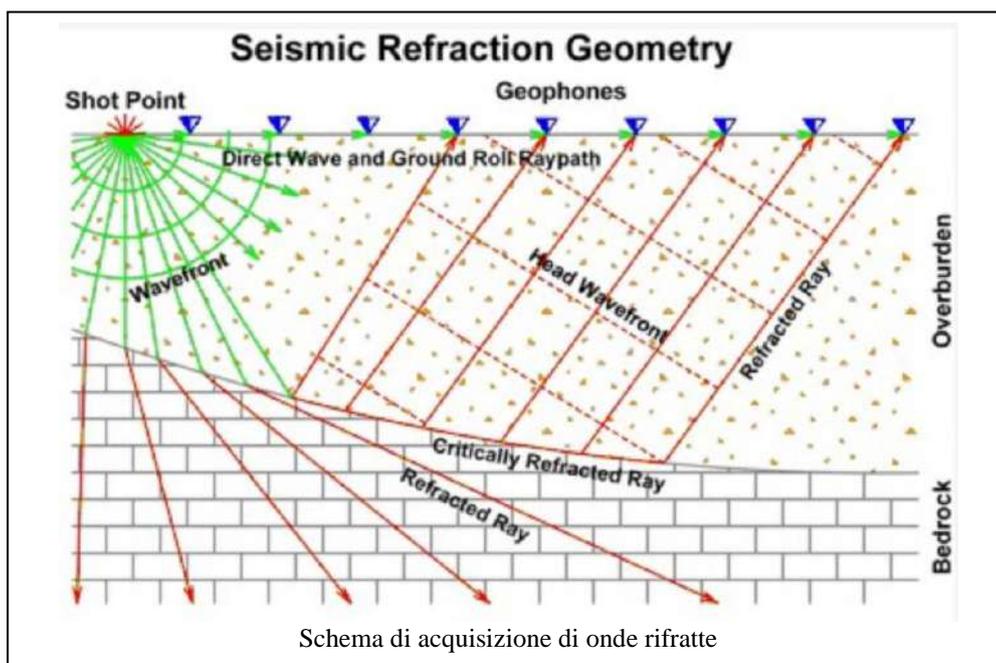
## 4 PROSPEZIONE SISMICA

### 4.1 Metodologia sismica a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

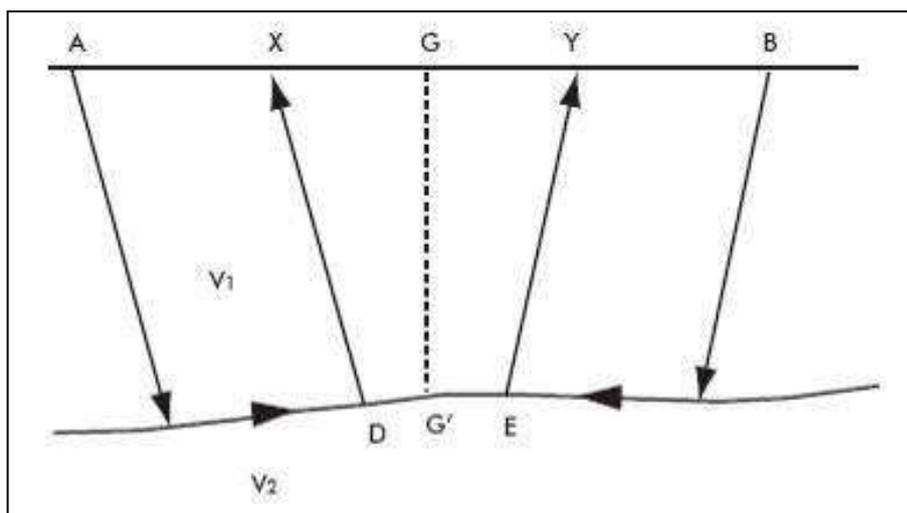
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.



Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980). L'analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G'). Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.



Successivamente, con l'ausilio del software "Rayfract" della Intelligent Resources Inc., si è proceduti all'analisi del sottosuolo in tomografia sismica. Il software, utilizzando i tempi d'arrivo delle onde lette sui sismogrammi sperimentali, permette di eseguire delle ottimizzazioni del modello di velocità. Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un'imaging bidimensionale a colori.

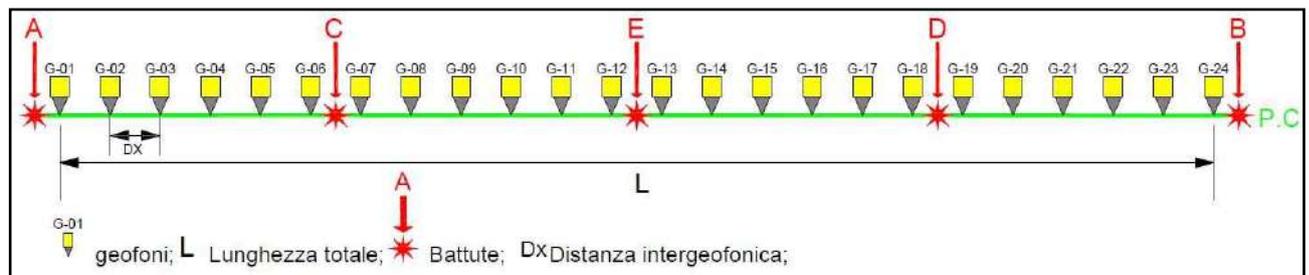
#### 4.2 Attrezzature e tecniche operative

Per i profili eseguiti è stato utilizzato:

- Lo stesso sismografo dell'indagine MASW;
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni;
- Ventiquattro geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;
- Un piattello in alluminio;
- Un martello di 8 Kg dotato di trigger;

Lunghezza profili (metri)	Distanza geofonica (metri)	n. geofoni	n. battute
48	2.0	24	5

Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione:



Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali (vedi allegato) mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone” (vedi allegato).

### 4.3 Risultati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 "sismostrati", così caratterizzati:

1. **Il primo sismostrato** (con una profondità compresa tra 2.5-2.8 mt dal p.c.) ha velocità  $V_p$  compresa tra 380-430 m/s e  $V_s$  compresa tra 155-177 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (con una profondità compresa tra 7.2-7.6 mt dal p.c.) ha velocità  $V_p$  compresa tra 870-910 m/s e  $V_s$  compresa tra 216-254 m/s;
3. **Il substrato rifratore** ha velocità  $V_p$  compresa tra 1570-1640 m/s e  $V_s$  compresa tra 257-275 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. **Il primo sismostrato** è associabile a *terreno vegetale limoso argilloso con clasti calcarei*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a *depositi alluvionali limoso argilloso clastici*;
3. **Il substrato rifratore** è associabile a *argille grigio azzurre compatte*.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici  $E$  (di Young),  $G$  (di taglio) e  $K$  (di compressibilità), espressi in  $\text{Kg/cm}^2$ . Questi valori sono calcolati considerando un peso di volume unitario pertanto, per ottenere i moduli corretti, è necessario moltiplicarli per il peso di volume reale dei terreni.

Le velocità  $V_s$  sono state ricavate dai valori medi provenienti dai risultati ottenuti con l'indagine MASW, precedentemente descritta.

**Profilo 1**

Profondità media (m)	Vp	Vs	$\sigma$	$\gamma$	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.8	380	155	0.40	1.00	687	245	1146
2° sismostrato 2.8÷7.2	870	216	0.47	1.00	1394	475	7090
substrato >7.2	1640	257	0.49	1.00	2000	672	26549

**Profilo 2**

Profondità media (m)	Vp	Vs	$\sigma$	$\gamma$	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.5	430	177	0.40	1.00	896	321	1459
2° sismostrato 2.5÷7.6	910	254	0.46	1.00	1926	661	7569
substrato >7.6	1570	275	0.48	1.00	2298	774	24120

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

$\sigma$  = coefficiente di Poisson

$\gamma$  = peso di volume in g/cm<sup>3</sup>

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm<sup>2</sup>

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm<sup>2</sup>

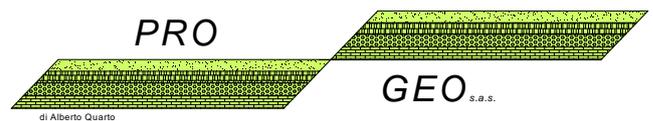
K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm<sup>2</sup>

## PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

---

➤ UBICAZIONE AREA D'INDAGINE (da IGM) scala 1:20.000 (formato foglio A3)

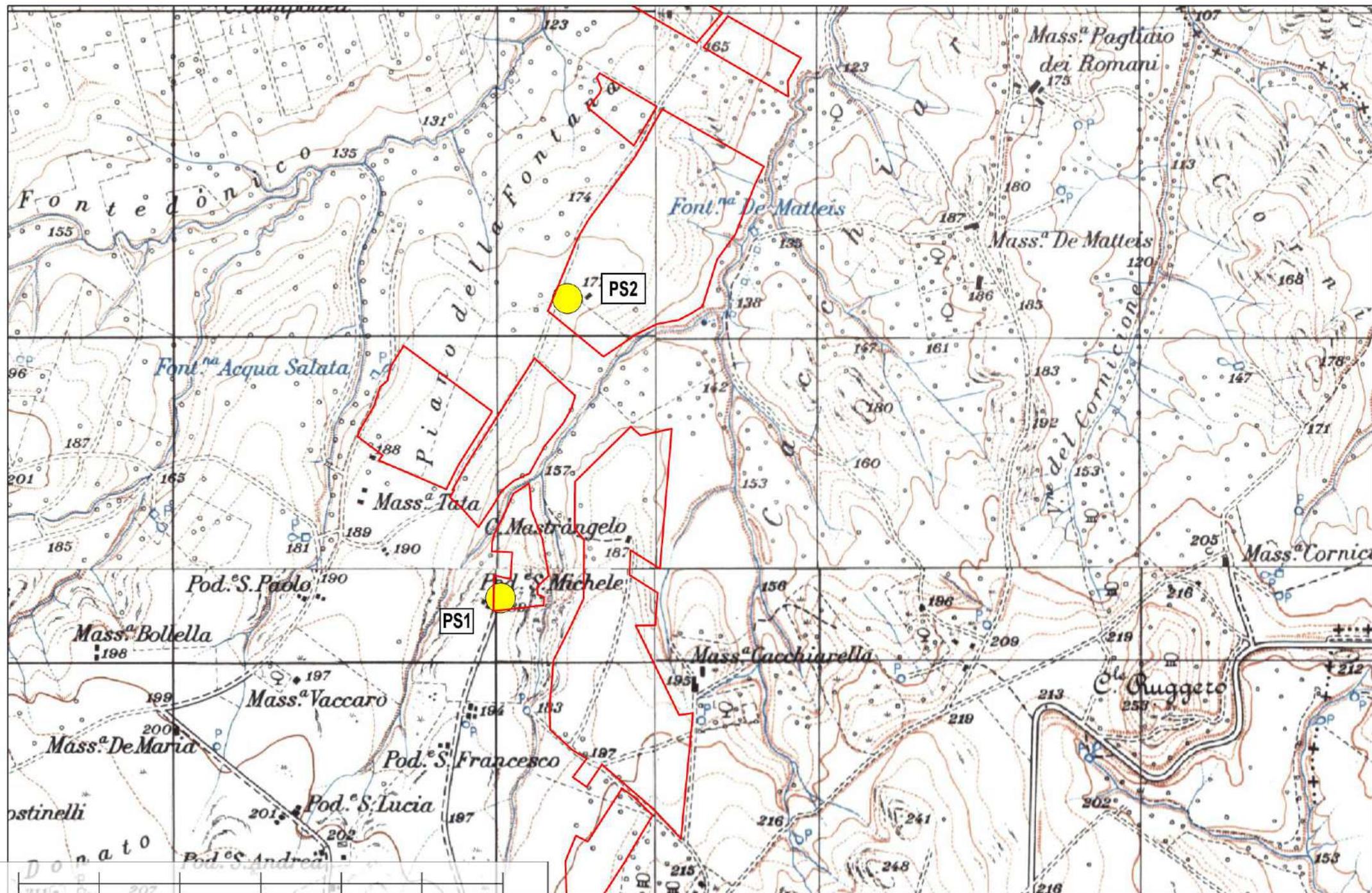
---



di Alberto Quano

GEOLOGIA E GEOFISICA

# Punti di misura indagini geofisiche



0 m      500 m      1000 m      1500 m

## ALLEGATO "PROFILO SISMICO 1"

- 
- *Ubicazione misure sismiche (da ORTOFOTO) scala 1:1.000 (formato foglio A4)*
  - *Sismogrammi analisi Masw offset 4 m (metodo attivo)*
  - *Analisi Masw offset 4 m (metodo attivo)*
  - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
  - *Dromocrone onde P*
  - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
  - *Documentazione fotografica*
-

# Ubicazione misure sismiche



## LEGENDA

**A PS**  
Ubicazione profilo sismico

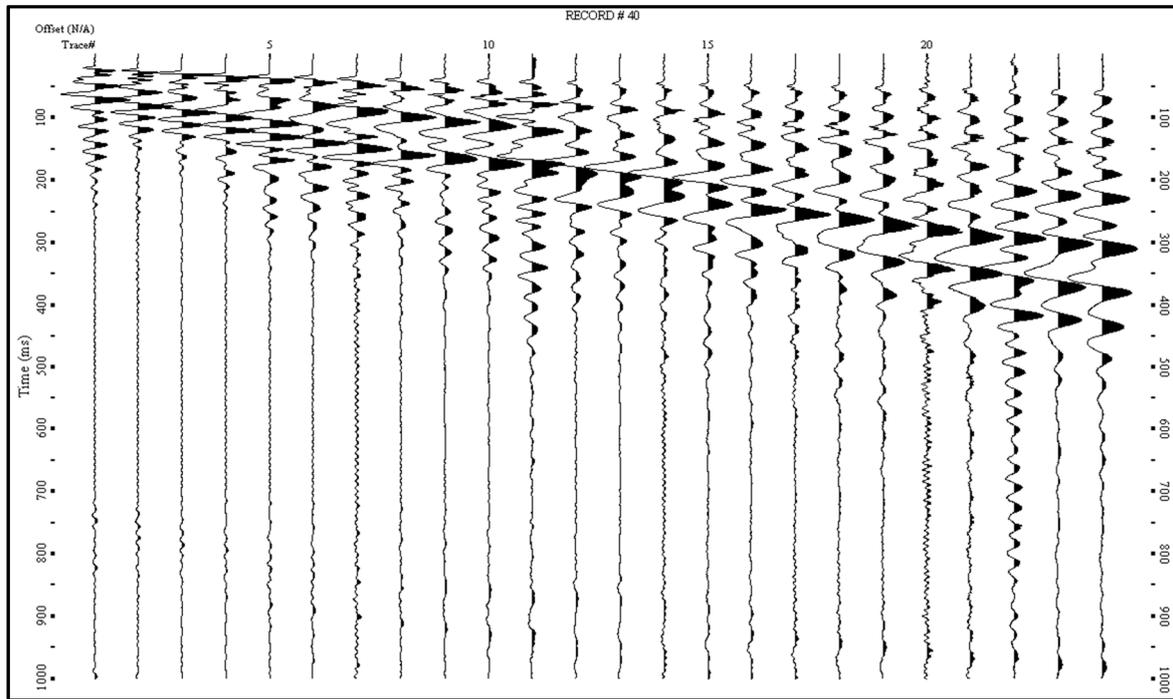
**MASW**  
Ubicazione profilo Masw

**A \*** Punti di energizzazione



Base cartografica da Ortofoto

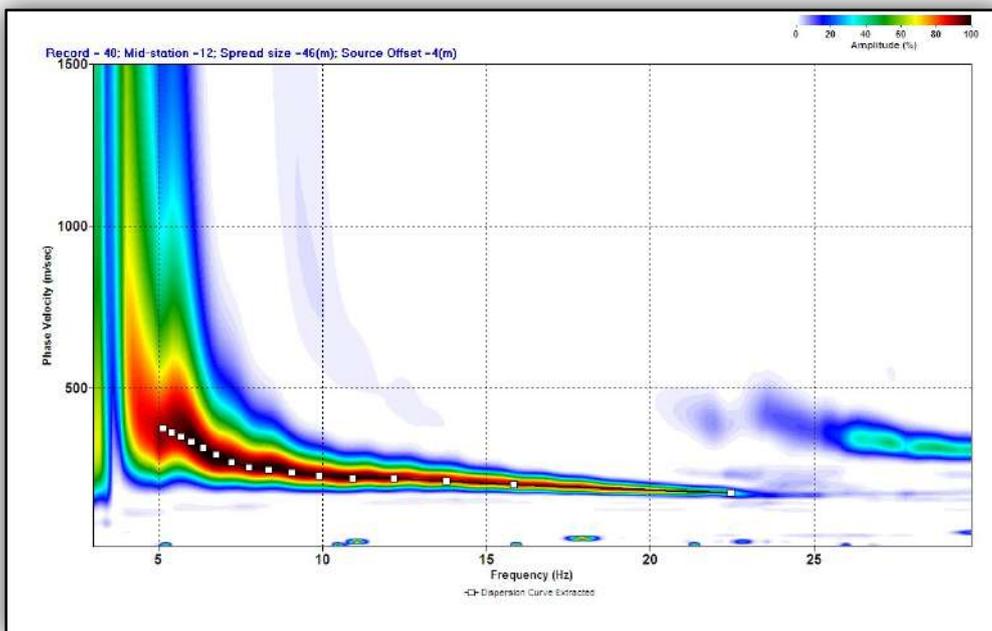
# SISMOGRAMMA ANALISI MASW 1 (METODO ATTIVO)



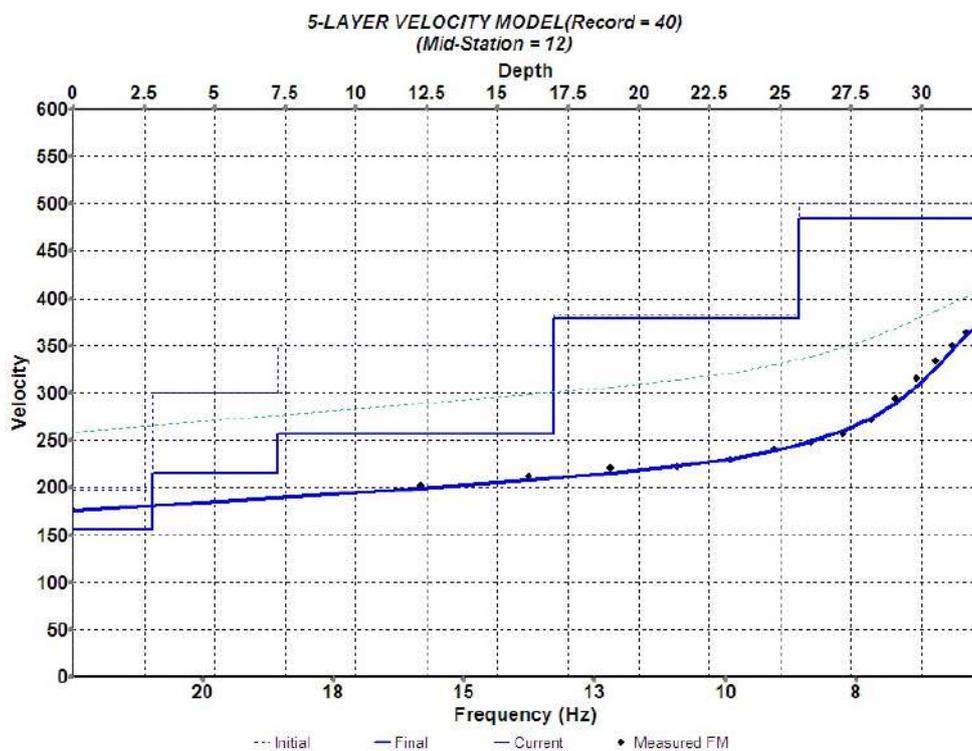
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri

# ANALISI MASW (offset 4 m) – BASE SISMICA 1

## Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



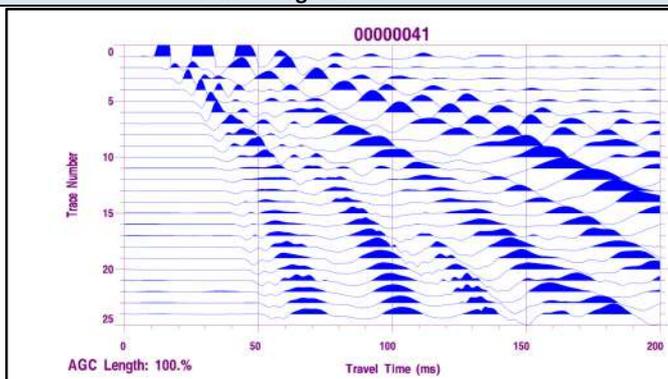
## Modello di velocità (Vs) in funzione della profondità e della frequenza



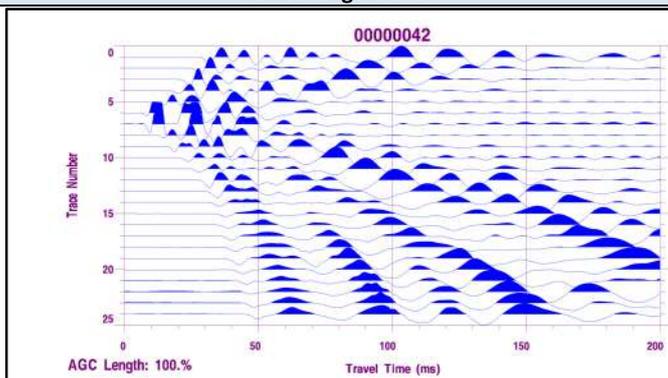
**Vs30 di: 276 m/s**  
**Categoria di sottosuolo "C"**  
**NTC 2018**

# SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 1

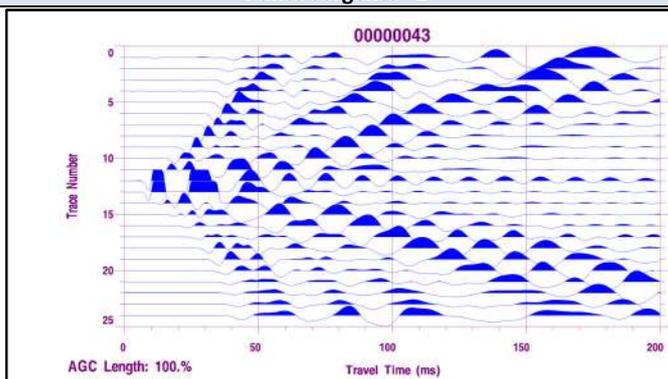
Punto sorgente "A"



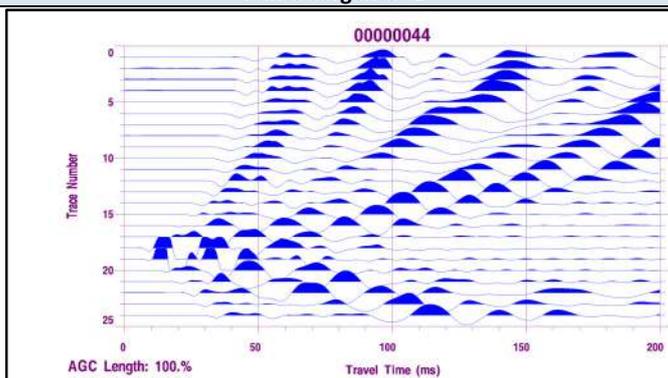
Punto sorgente "C"



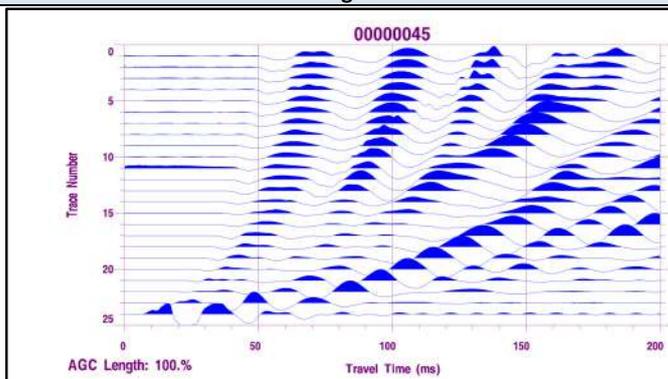
Punto sorgente "E"



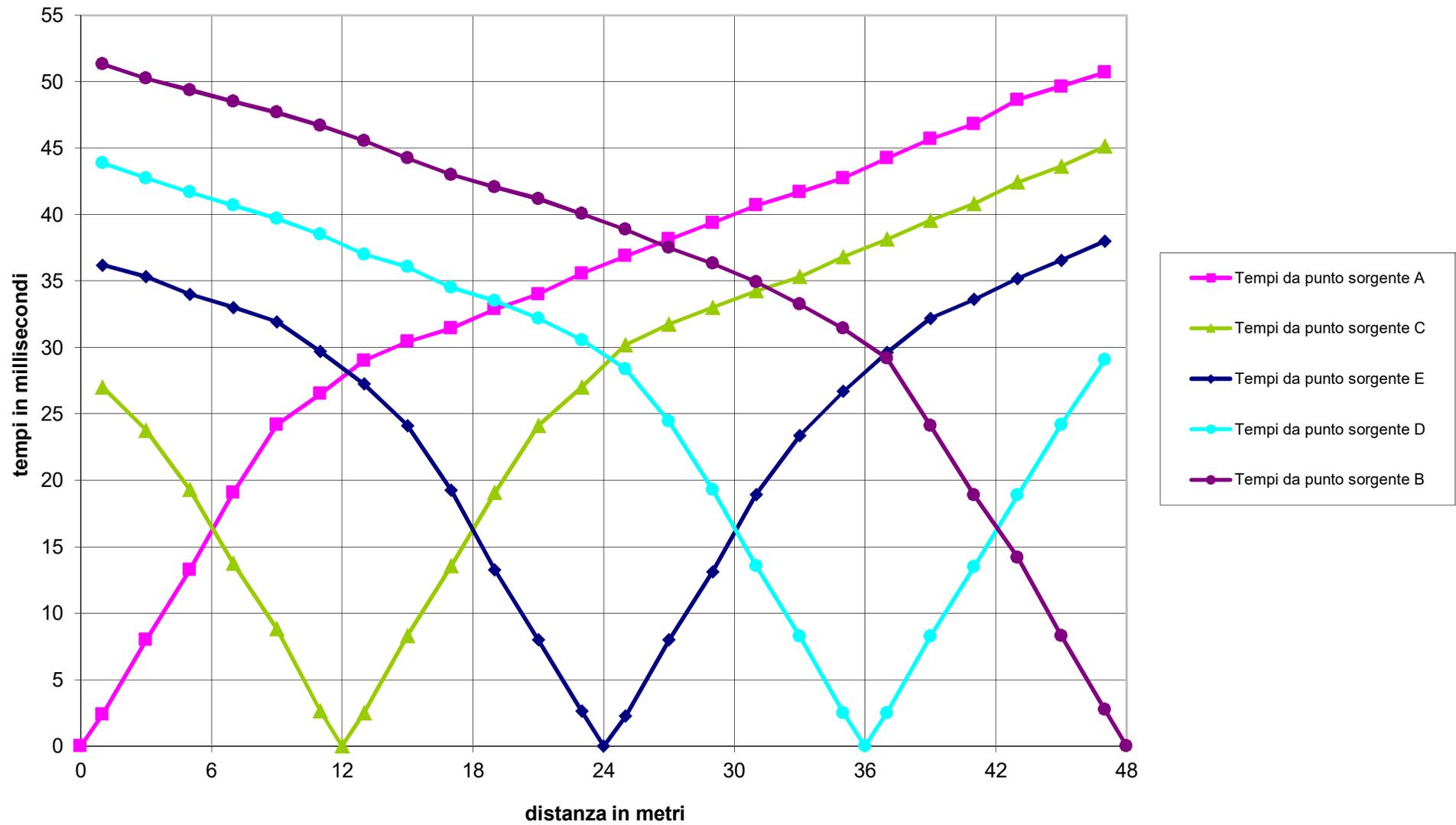
Punto sorgente "D"



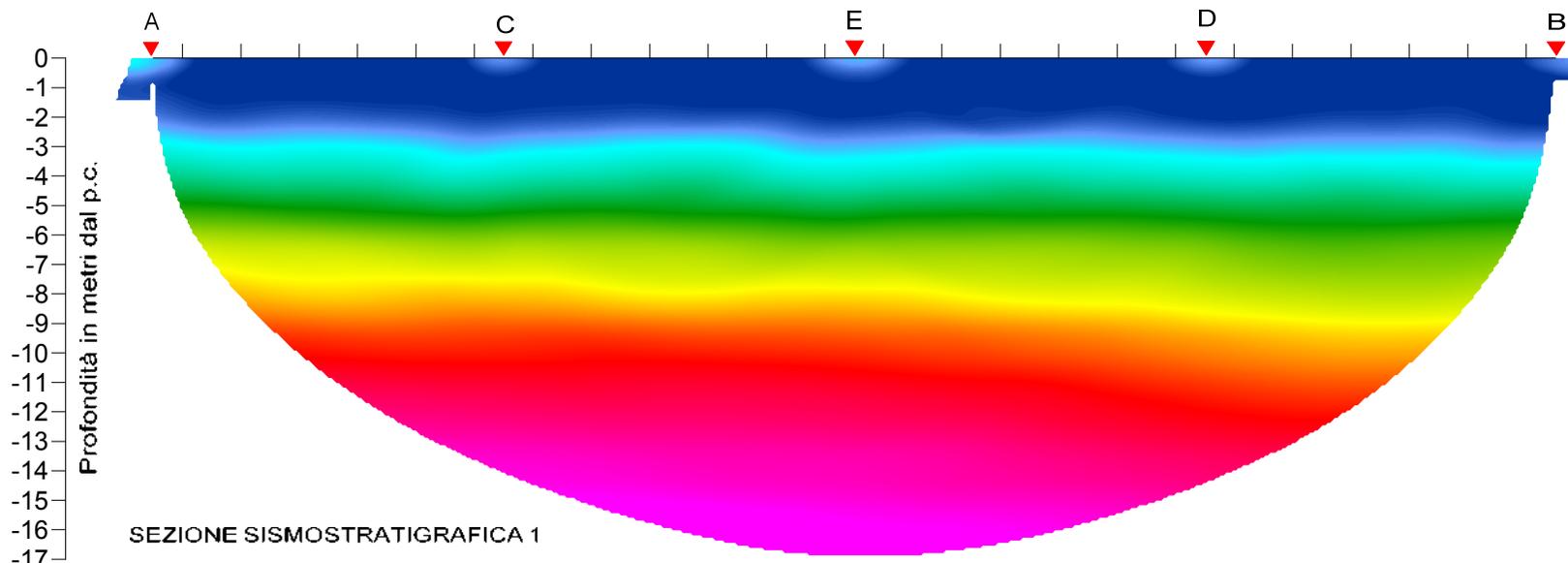
Punto sorgente "B"



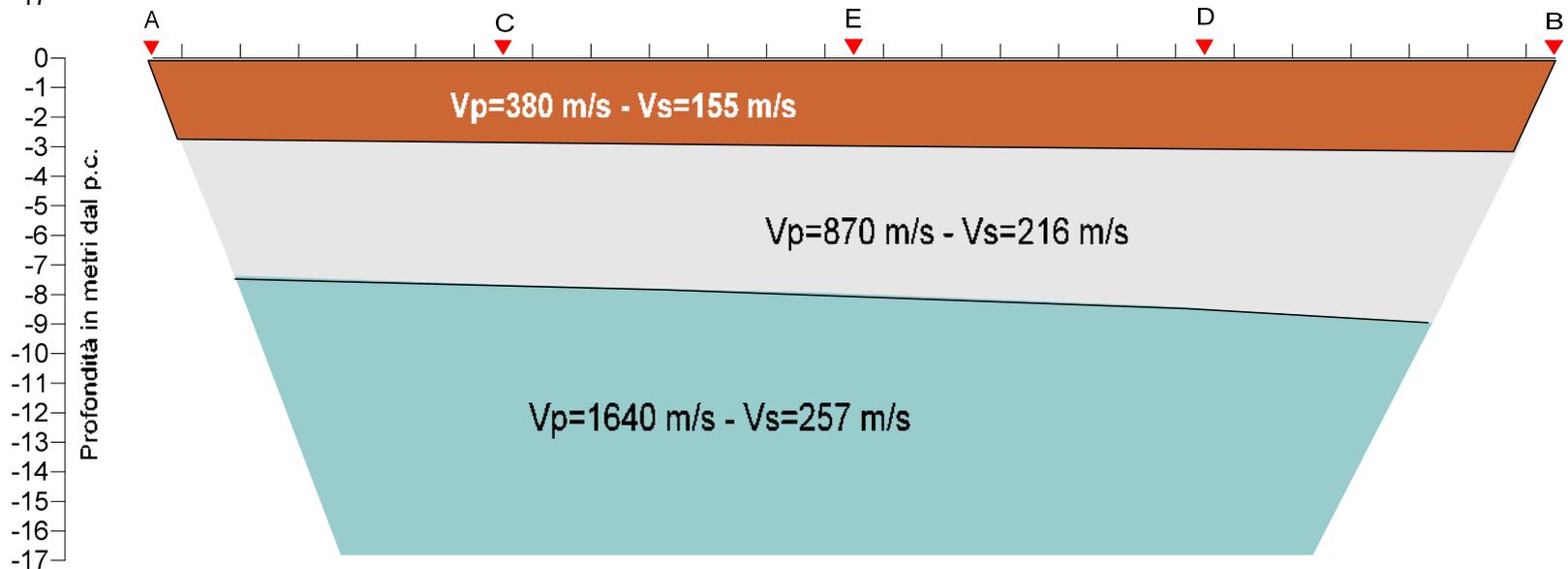
# Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE LONGITUDINALI

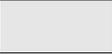
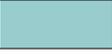


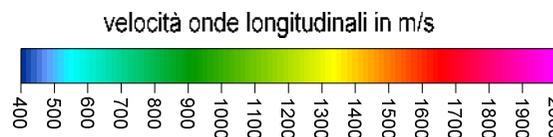
SEZIONE TOMOGRAFICA 1



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 1



-  Terreno vegetale limoso argilloso con clasti calcarei
-  Depositi alluvionali limoso argillosi clastici
-  Argille grigio azzurre compatte



I STAZIONE GEOFONICA

▼ PUNTO SORGENTE



# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 1

## INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P e MASW)



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (MASW)



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (onde P)

## ALLEGATO "PROFILO SISMICO 2"

- 
- *Ubicazione misure sismiche (da ORTOFOTO) scala 1:1.000 (formato foglio A4)*
  - *Sismogrammi analisi Masw offset 4 m (metodo attivo)*
  - *Analisi Masw offset 4 m (metodo attivo)*
  - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
  - *Dromocrone onde P*
  - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
  - *Documentazione fotografica*
-

# Ubicazione misure sismiche



## LEGENDA

**A PS**  
 Ubicazione profilo sismico

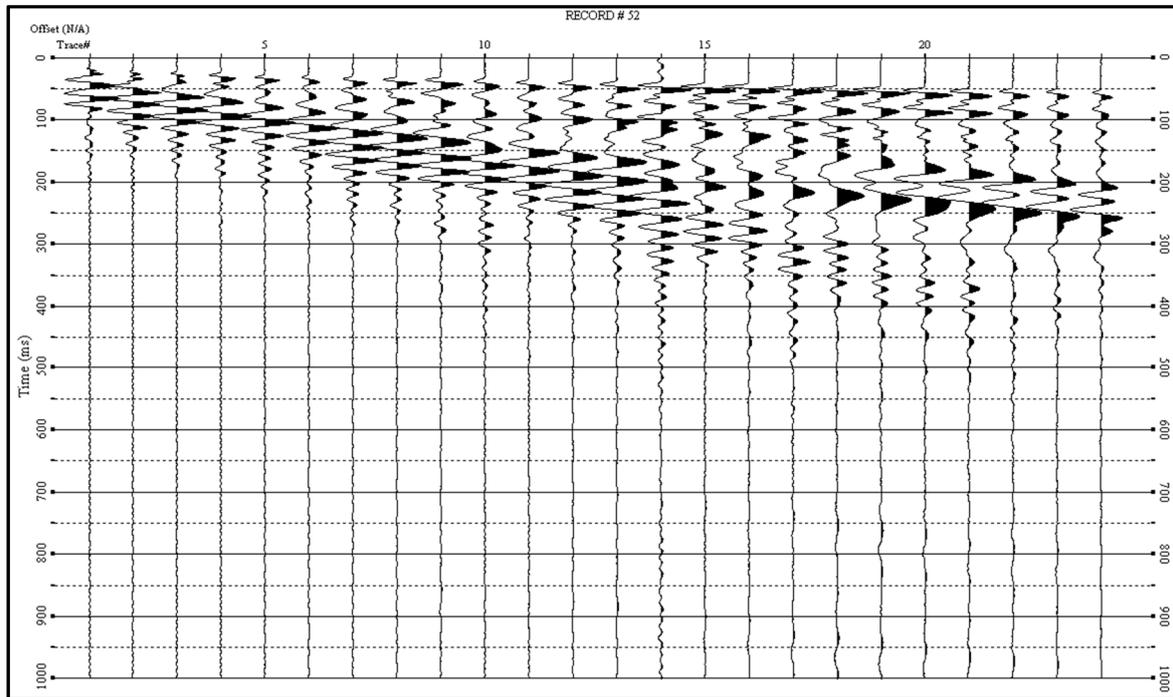
**MASW**  
 Ubicazione profilo Masw

**A \*** Punti di energizzazione



Base cartografica da Ortofoto

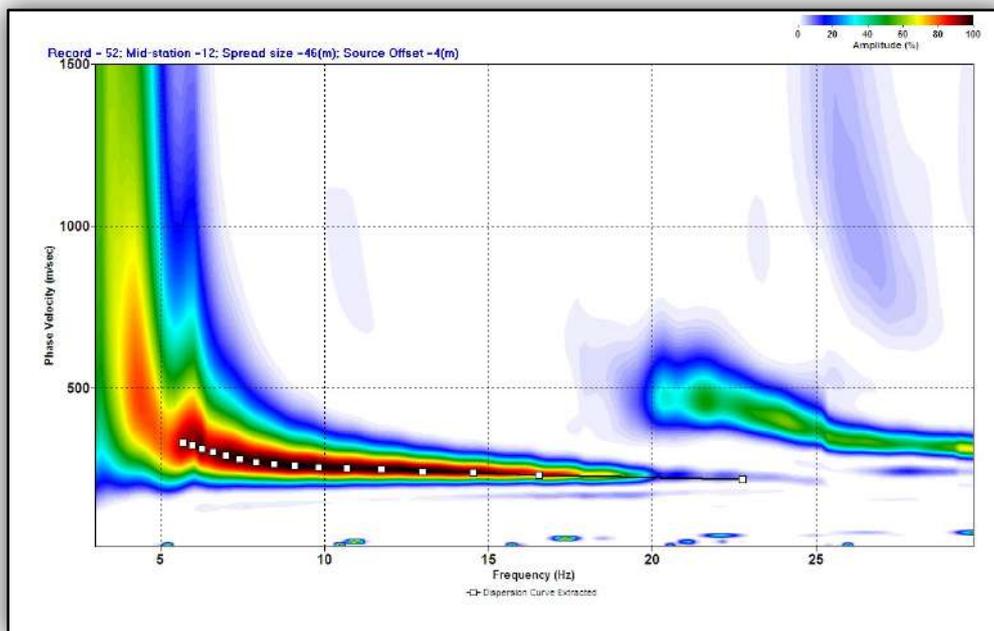
## SISMOGRAMMA ANALISI MASW 2 (METODO ATTIVO)



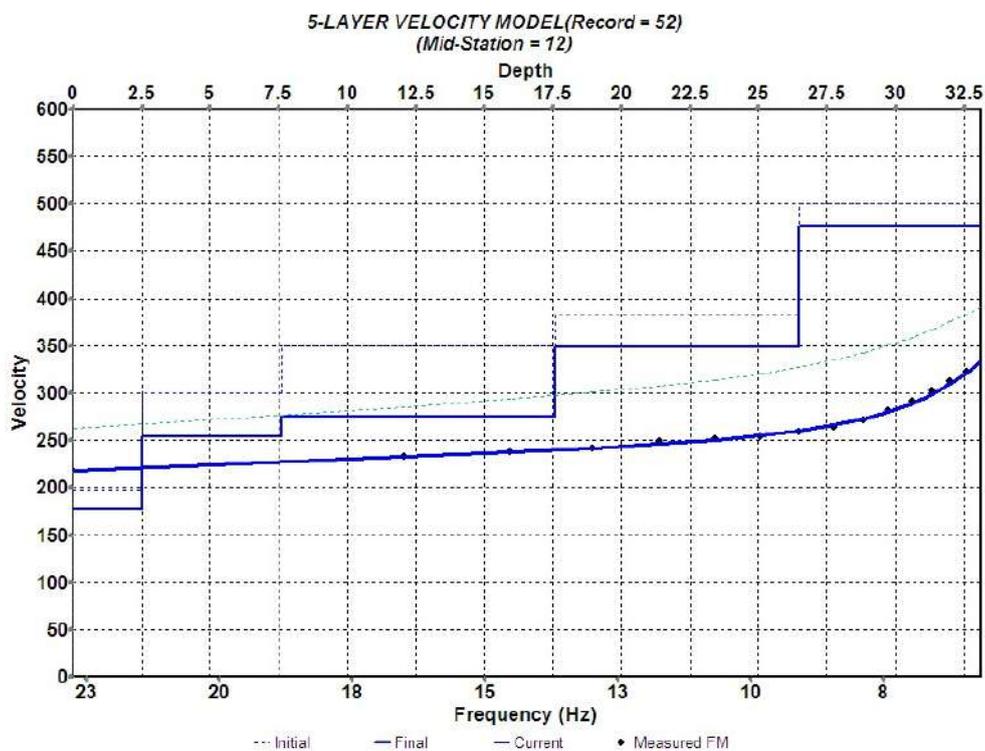
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri

## ANALISI MASW (offset 4 m) – BASE SISMICA 2

Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



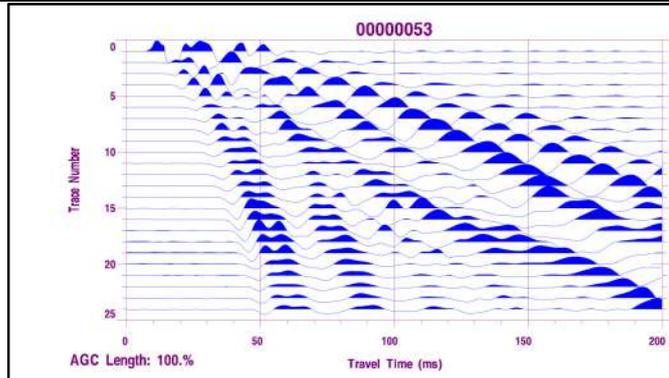
## Modello di velocità ( $V_s$ ) in funzione della profondità e della frequenza



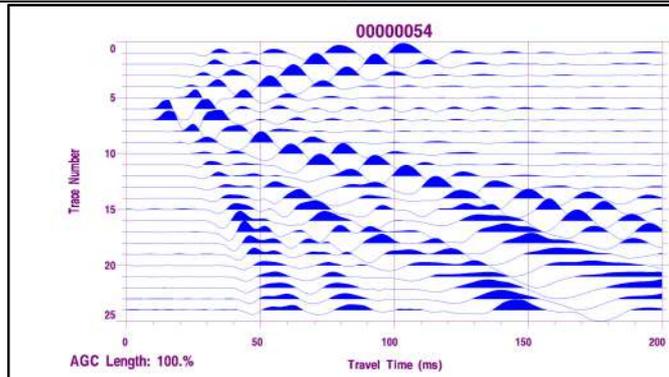
**$V_{s30}$  di: 290 m/s**  
**Categoria di sottosuolo "C"**  
**NTC 2018**

# SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 2

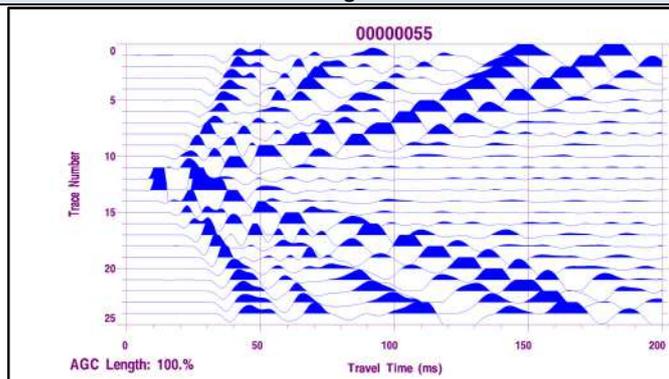
Punto sorgente "A"



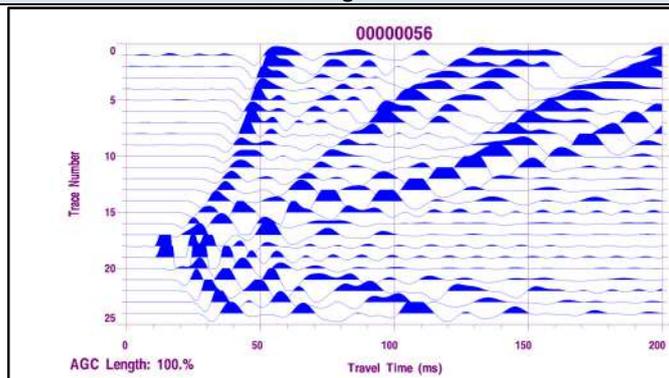
Punto sorgente "C"



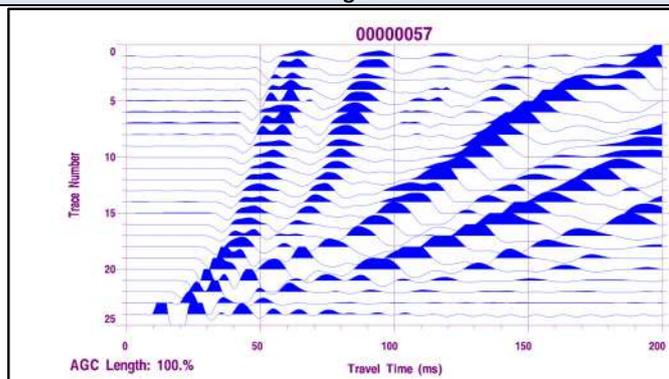
Punto sorgente "E"



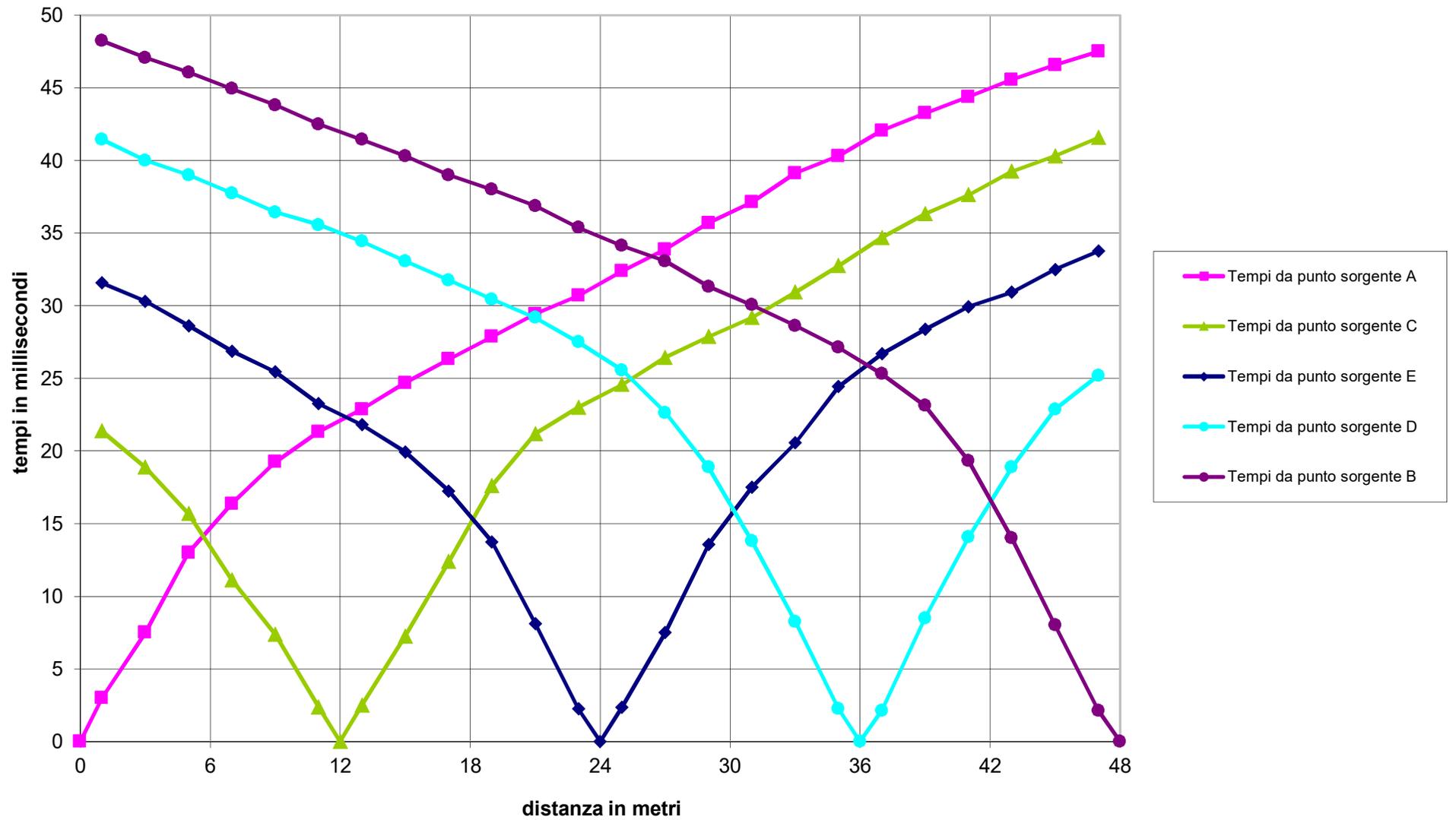
Punto sorgente "D"



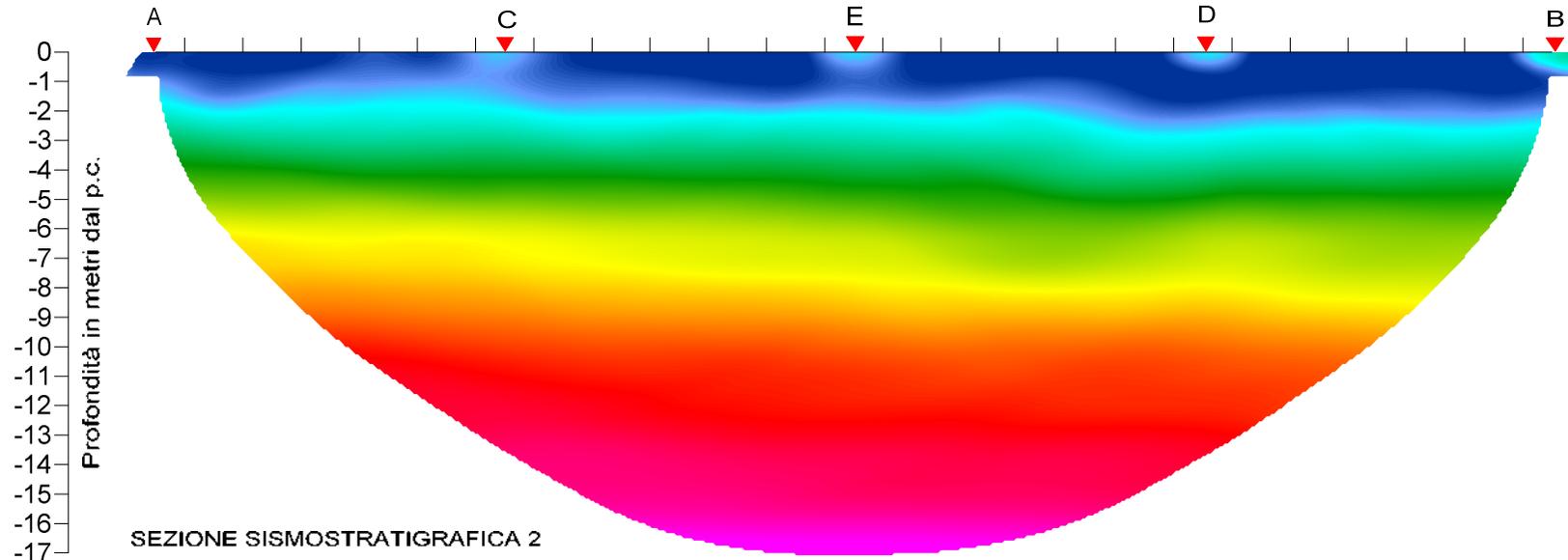
Punto sorgente "B"



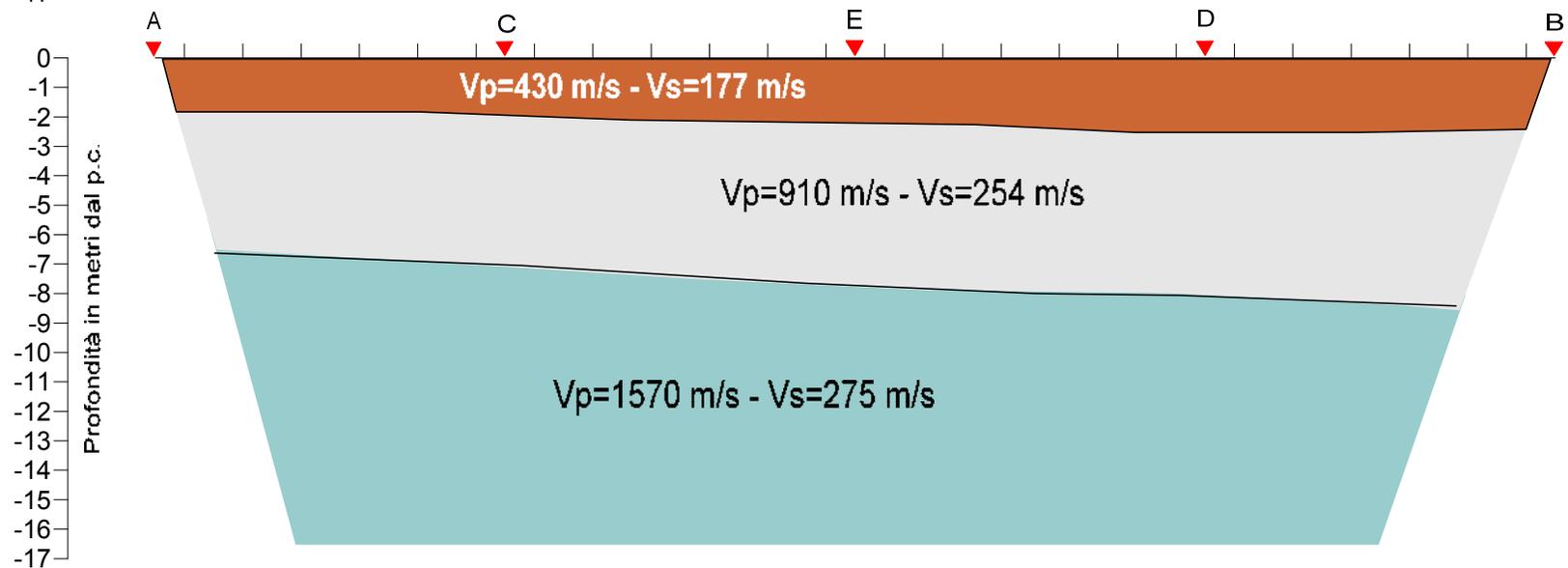
## Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI



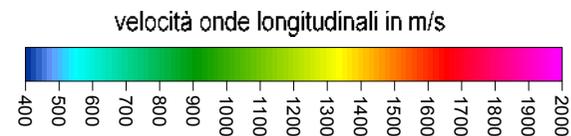
SEZIONE TOMOGRAFICA 2



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 2



- Terreno vegetale limoso argilloso con clasti calcarei
- Depositi alluvionali limoso argillosi clastici
- Argille grigio azzurre compatte



| STAZIONE GEOFONICA

▼ PUNTO SORGENTE



## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 2

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P e MASW)



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (MASW)



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (onde P)