

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 LARINO 1 S.R.L.*

Sede: Vico Teatro 33, 71121 Foggia

Progettista: Romanciuc Arch. Andrea

Contatto per notifiche: studio-romanciuc@pec.it

Contatto telefonico: 331.8880993

- LOCALIZZAZIONE -

Comune di Larino, Provincia di Campobasso, Regione Molise

Località "Piane di Larino"

Coordinate Geografiche: 41.826671°, 14.965189°

Estremi catastali:

- Foglio 34 Part. 3, 5, 6, 7, 9, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

- Foglio 35 Part. 2, 13, 31, 32, 47, 48

- DATI IMPIANTO -

Potenza complessiva di progetto: 70 MWp

Numero di tracker: 3657

Distanza interasse trasversale tracker (direzione est-ovest): 8,5 mt

Numero pannelli fotovoltaici: 102396 da 515 Wp cad.

Codice A.U. – P.A.U.R.: RelazioneGeologica_0_03

Documento: RELAZIONE_03

**COMUNE DI LARINO (CB)**

Progetto di costruzione e messa in esercizio di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 70 MWp (incluso impianto storage), con infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Larino (CB) in Contrada "Piane di Larino"

Relazione geologica

PROPONENTE:
ENEL LARINO 1 SRL



SOMMARIO

1. PREMESSA	2
1.1. PIANO DI INDAGINI.....	2
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3. CENNI GEOLOGICI E TETTONICI	8
3.1. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	8
3.2. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE.....	11
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA	13
4.1. PRINCIPALE VINCOLISTICA	15
5. PROGETTO IFFI	16
6. INQUADRAMENTO PAI E RISCHIO GEOMORFOLOGICO	18
7. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA	21
7.1. SORGENTI	21
7.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	21
7.3. RETICOLO IDROGRAFICO LOCALE	23
7.4. IDROGEOLOGIA - ACQUIFERI	24
7.5. POZZI ESPLORATIVI PROFONDI	25
8. QUADRO CLIMATICO GENERALE E LOCALE	26
9. USO DEL SUOLO	30
10. SISMICITA' DELL'AREA	31
11. INDAGINI IN SITU E DI RIFERIMENTO	35
11.1. PREMESSA	35
11.2. PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE	35
11.3. INDAGINE SISMICA MASW	36
11.4. PARAMETRI DINAMICI DEL SOTTOSUOLO	38
12. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO	39
13. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	41
14. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	44
14.1. PREMESSA	44
14.2. CORRELAZIONI CON I PARAMETRI SISMICI	44
14.3. PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO RICOSTRUITO.....	50
15. CONCLUSIONI	51

1. PREMESSA

La società ENEL LARINO 1 Srl intende presentare una istanza per la realizzazione di un impianto agrivoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Larino (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 70 MWp (incluso impianto storage), con infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Larino (CB) in Contrada "Piane di Larino"**».

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 Larino in provincia di Campobasso. L'impianto sarà costituito da circa 98000 moduli fotovoltaici, montati su strutture metalliche per inseguimento mono-assiale (tracker), uniformemente distribuite su una superficie complessiva di circa 72 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. 2 cabine di sezione.

La società proponente dell'impianto è la Enel Larino 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 mitigazione e di compensazione, 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 Dlgs. 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. Dlgs. 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 macro area denominata "Fascia costiera" della Regione Molise. Tale area presenta una superficie di circa 597 Km², 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 Larino, 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 Biferno. L'intera area interessata dagli interventi è infatti ubicata all'interno del bacino idrografico e idrogeologico del Biferno, il cui affluente principale in questo tratto è, in destra idrografica, il Torrente Cigno.

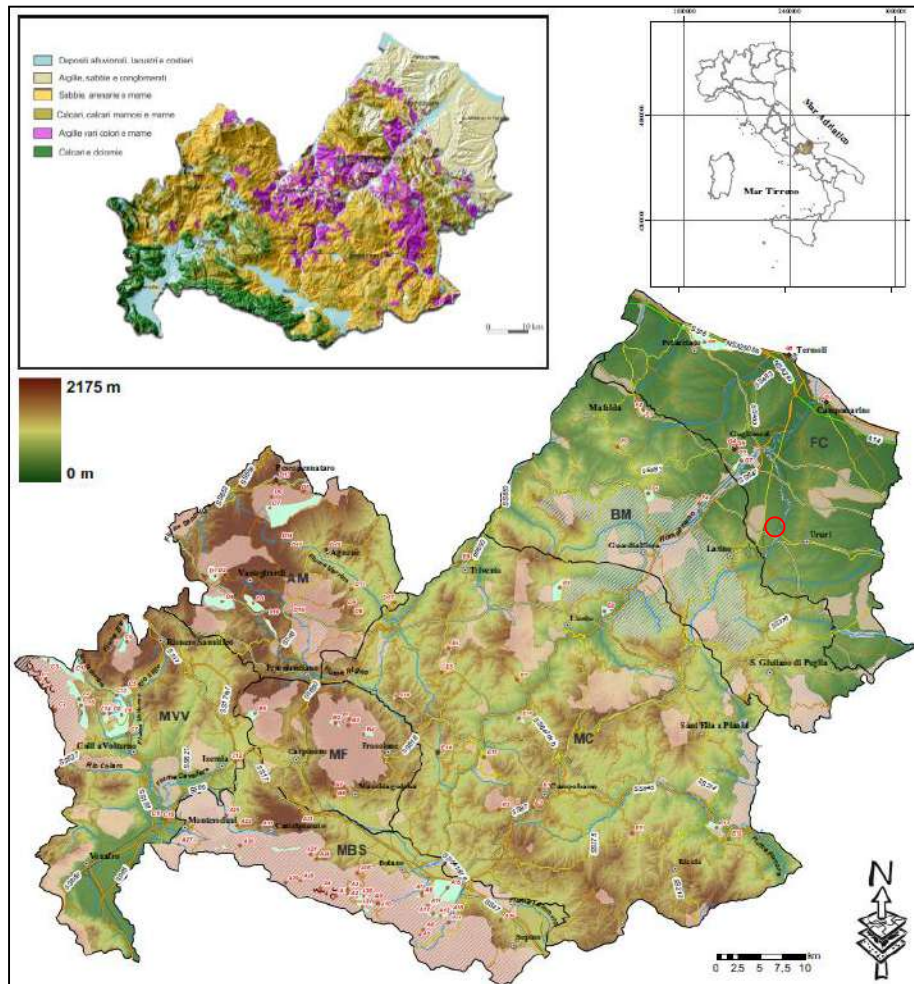


Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (tratto dalla Carta di sintesi dei Geositi molisani)

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, Biferno, Saccione, Fortore, Trigno e dai loro affluenti minori.

L'idrografia superficiale nell'area di studio è dominata dai due corsi d'acqua principali: il Fiume Biferno e il suo affluente in destra idraulica, il Torrente Cigno, oltre ad una numerosa 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. 381 "Larino" della Carta d'Italia in scala 1:50.000;
- tavolette topografiche IV S.O. "San Martino in Pensilis", III N.O. "Ururi" del Foglio n. 155 della Carta d'Italia in scala 1:25.000.

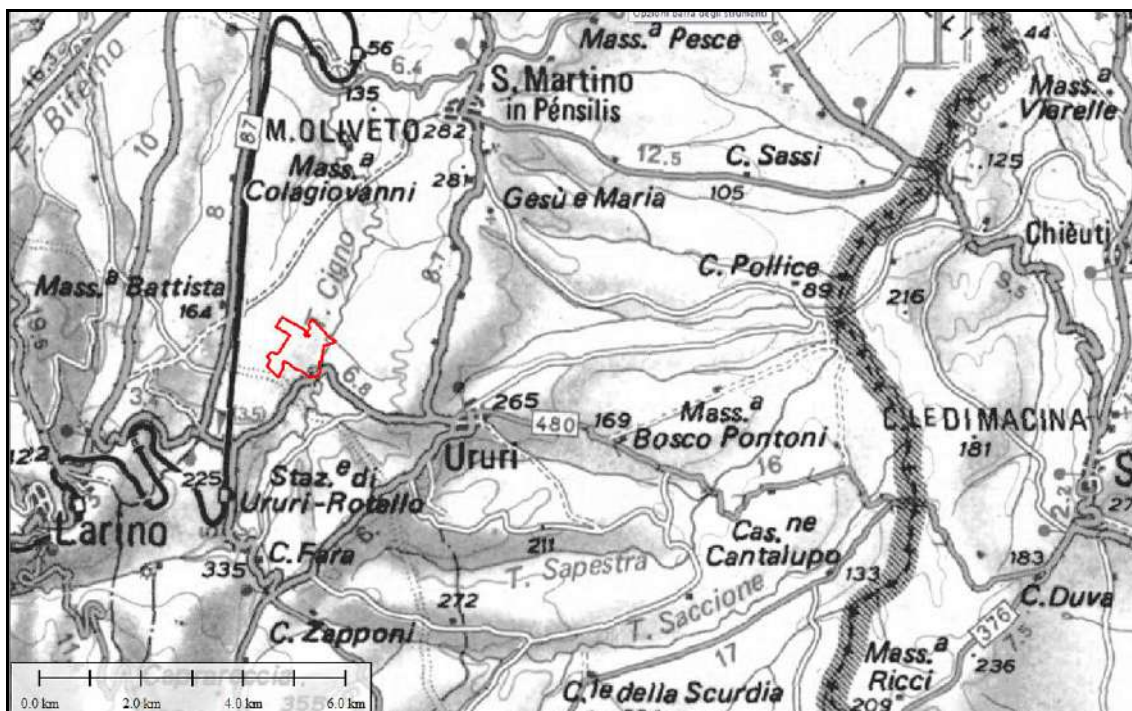


Fig. 2 – Inquadramento territoriale: area vasta

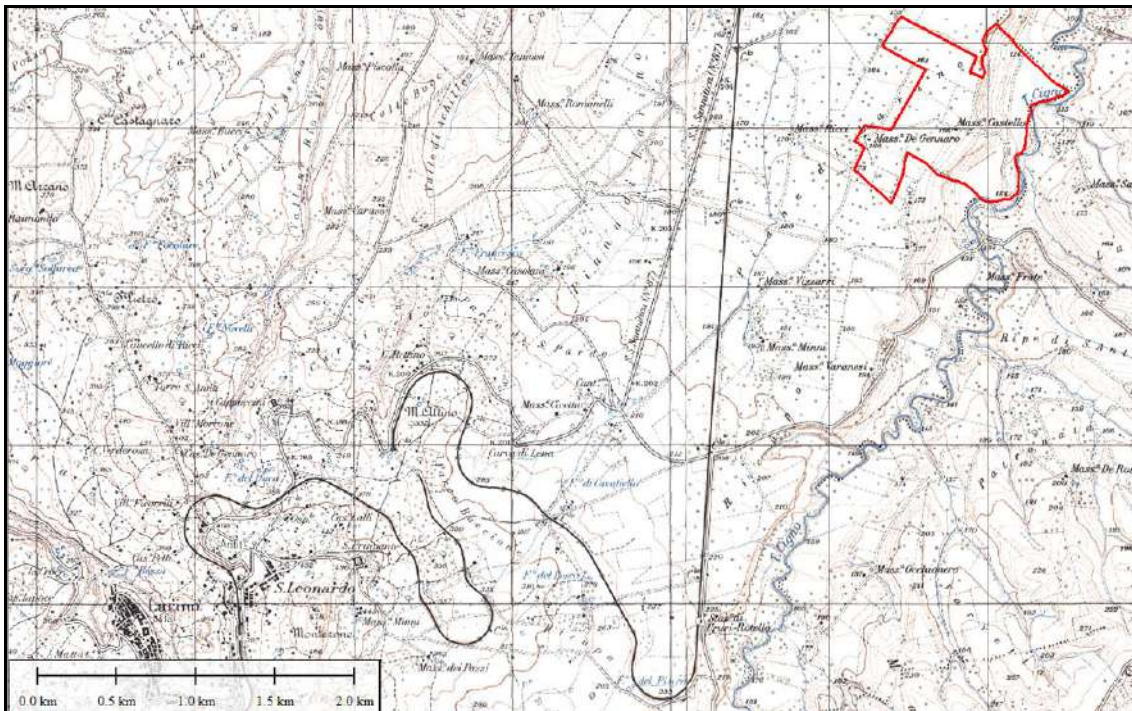


Fig. 3 – Inquadramento territoriale: area di interesse

L'area oggetto di intervento si trova nella fascia pedemontana del Comune di Larino ove predominano in affioramento terreni argillosi e coperture fluvio-lacustri; 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. a nord est dell'agglomerato urbano di Larino, 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 km²), 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.

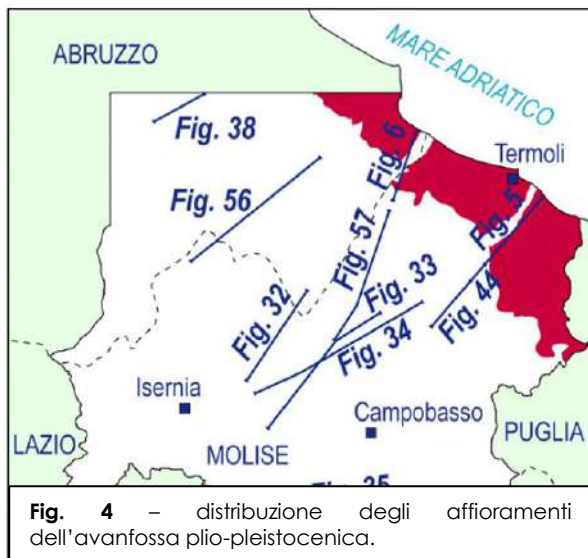
Il territorio molisano è costituito esclusivamente da formazioni sedimentarie, gran parte delle quali, le più antiche, sono di ambiente marino; su di esse poggiano le più recenti formazioni di ambiente continentale. Le formazioni marine antiche appartengono a cinque unità litostratigrafiche, riferibili 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).

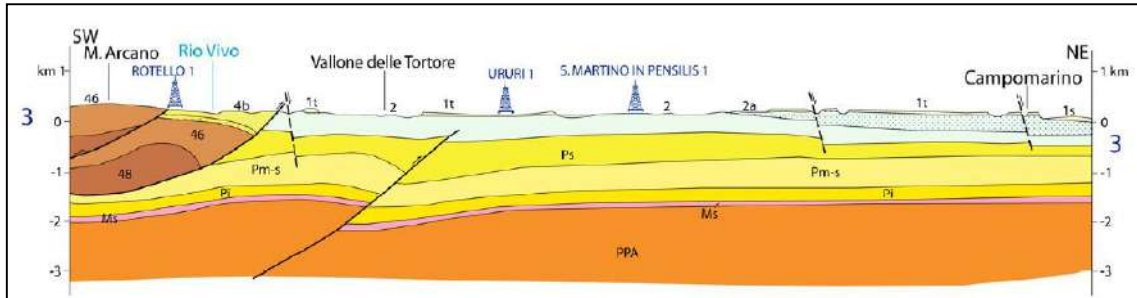


Fig. 5 – sezione geologica n. 3, m.te Arcano-Campomarino

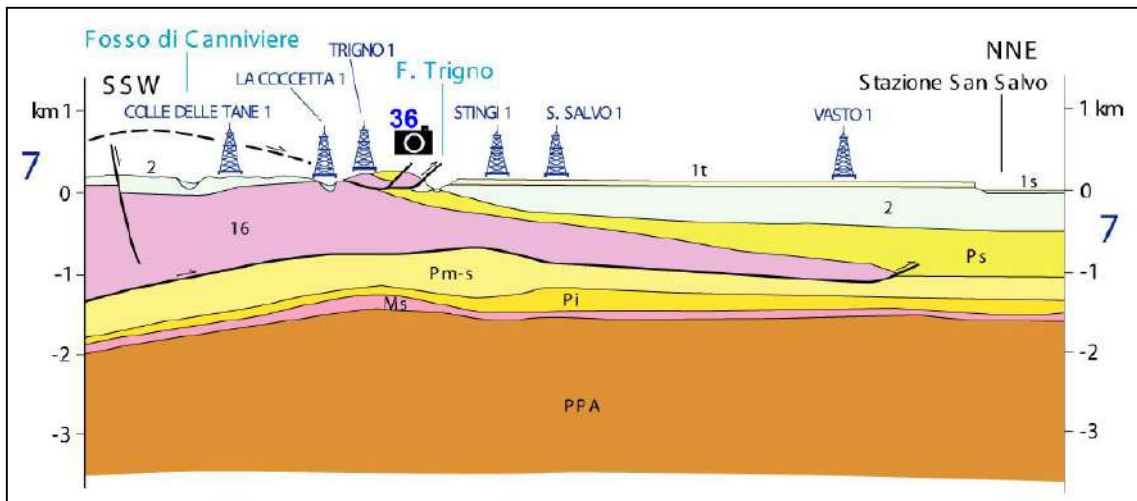


Fig. 6 – sezione geologica n. 7, Fosso di Canniviere – staz. San Salvo

3.2. Situazione litostratigrafica locale

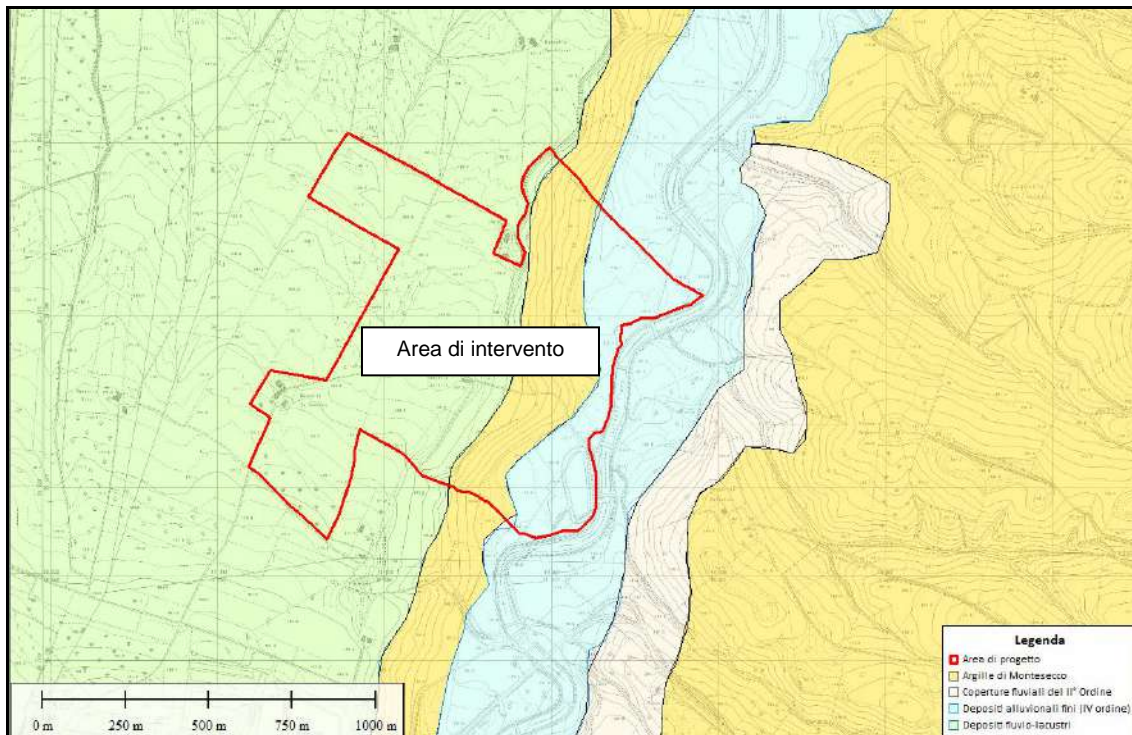


Fig. 7 – stralcio carta geologica

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:

ALLUVIONI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSE DEL IV ORDINE DI TERRAZZI (fl4)

Si tratta di limi, argille e sabbie provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici. Le alluvioni terrazzate indicate con fl4 costituiscono ripiani elevati al massimo di una decina di metri rispetto agli alvei attuali; verso il mare però tale valore decresce progressivamente fino ad annullarsi.

COPERTURE FLUVIALI DEL II ORDINE DI TERRAZZO (fl2)

Ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose e spesso ricoperte da terre nere ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).

I depositi alluvionali intermedi hanno una natura litologica simile a quella di fl1; analoga è infatti la provenienza dei clastici dalla catena appenninica o dallo stesso fl1.

La disposizione morfologica, caratterizzata da un marcato fenomeno di terrazzamento, testimonia un'origine prevalentemente fluviale per questi depositi. Pleistocene.

COPERTURE FLUVIO-LACUSTRI (fl1)

Ghiaie più o meno cementate, livelli lentiformi travertinosi con impronte di piante e di gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi ricoperti in generale da terre nere ad alto tenore humico (paleosuolo forestale). 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.

Nell'area del foglio S. Severo i terrazzi più alti ascritti a fl1 si trovano nella zona a S di Ururi e superano i 300 m di quota; qui essi sono costituiti da argille grigio-giallastre con ciottolame di media dimensione, croste travertinose e staterelli di calcare bianco pulverulento. Pleistocene inf.

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.

In area di intervento affiorano prevalentemente Coperture fluvio-lacustri a grana generalmente grossolana sovrapposte alle sottostanti Argille di Montesecco. Solo lungo la valle del Torrente Cigno si rileva la presenza di depositi siltoso-argillosi.

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 Larino è opportuno ricordare che il Comune di Larino si trova in quella che è definita l'area del "Basso Molise" che presenta un'estensione di circa 673 km² ed è delimitata dai comuni di Roccavivara, Guadalfiera, Bonefro, Collotorto, Rotello, Larino, Montecilfone e Mafalda. L'area individua un'estesa fascia che comprende i settori medio-bassi delle valli del Trigno e del Biferno fino ai rilievi dei Monti Frentani. Il territorio è caratterizzato da una morfologia prevalentemente collinare con quote variabili dai 240m ai 480m. I rilievi montuosi dell'area non superano i 1000 metri ad eccezione di M. Mauro (1042 m) nei pressi di Castelmauro. L'intera area "Basso Molise" è interessata da processi fluvio-

denudazionali associabili a fenomeni di instabilità, sia lenti che rapidi, come scorrimenti e scivolamenti, colamenti e fenomeni complessi, e da fenomeni di erosione superficiale spesso in stretta interazione con i processi di erosione idrica concentrata e lineare accelerata.

Nell'area progettuale, ove affiorano terreni prevalentemente clastici e discretamente permeabili, la morfologia è generalmente pianeggiante, mentre ove affiorano terreni fini più plastici e meno permeabili la morfologia è a debole/media pendenza verso l'impluvio rappresentato dal Torrente Cigno.

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 175m s.l.m. La pendenza media dell'area è di circa il 12%, $\alpha = 6,4^\circ$, quella max. del 25%, $\alpha = 14^\circ$.

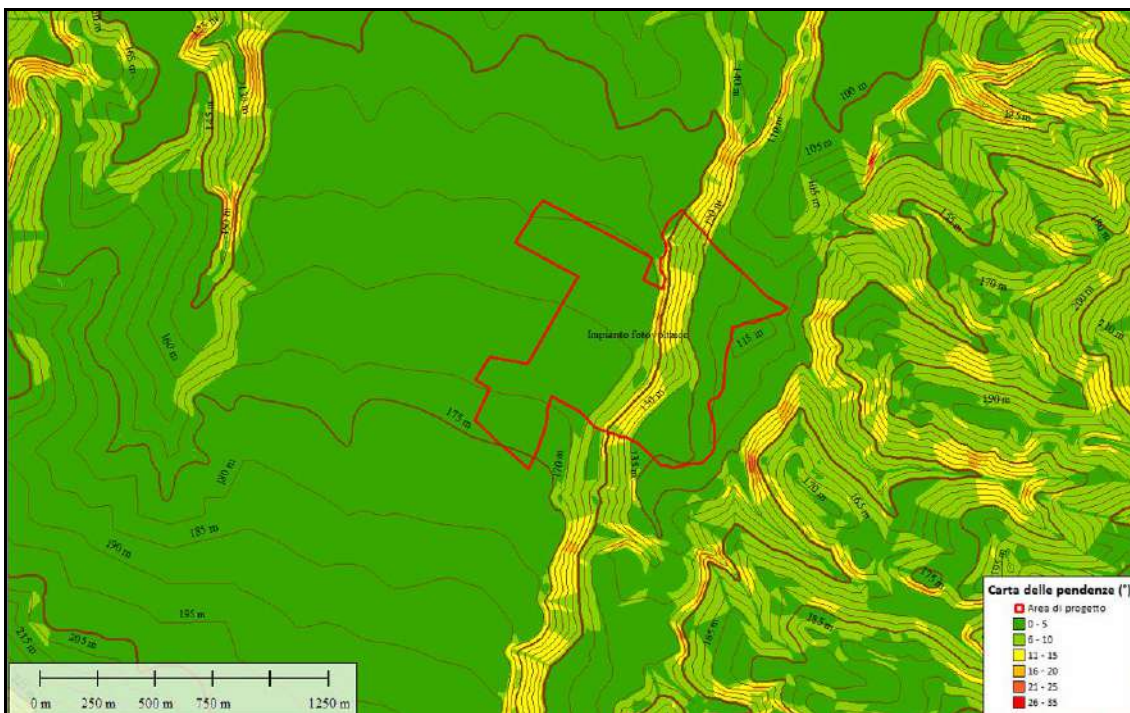


Fig. 8 – Carte delle pendenze dell'area.

In relazione al deflusso superficiale delle acque meteoriche, è opportuno evidenziare come esse tendano ad infiltrarsi velocemente all'interno dei terreni ghiaioso-sabbiosi costituenti in buona parte le principali litologie affioranti nell'area, nella parte sub pianeggiante dell'impianto localizzata più verso ovest; lungo il versante, in cui le pendenze si fanno maggiori, prevale lo scorrimento diffuso delle acque di dilavamento a discapito dell'infiltrazione, lungo le linee di massima pendenza.

La litologia costituente il substrato unitamente all'assetto geomorfologico, fa sì che lungo il pendio si possano verificare fenomeni di erosione diffusa, con conseguente trasporto verso valle dei sedimenti erosi. Per tale motivo, in tale area, per la realizzazione dell'impianto dovrà essere posta particolare attenzione a tale fenomeno, evitando la denudazione del suolo.

A seguito del rilievo geomorfologico, si evince che l'intera area è ricoperta da uno spessore variabile di coltre vegetale, i cui spessori sono valutabili da qualche centimetro ad alcuni decimetri, laddove si localizzano le aree più depresse o sup-pianeggianti.

4.1. Principale vincolistica

Dal punto di vista paesaggistico il comune di Larino 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" mentre relativamente alla Carta della qualità del territorio (S1), l'area di studio comprende elementi areali di interesse naturalistico per caratteri biologici di qualità medio-bassa e elementi areali di interesse produttivo agrario o per caratteri naturali di qualità medio-bassa.

Il sito interessa "marginalmente" il sito ZPS IT7228230 "Lago di Guardialfiera - Foce fiume Biferno" e il sito ZSC IT7222254 "Torrente Cigno". Non interessa aree Parco o aree IBA (*important bird areas*).

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

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 non risulta interessato da aree a pericolosità geomorfologica; risulta invece interessato da aree a pericolosità idraulica bassa (PI1).

L'area non è interessata 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 dall'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 Cannello, 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.

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 Biferno, *Piano di Assetto di Versante*, l'area di progetto non è interessata a zone a pericolosità geomorfologica; per quanto riguarda, invece, il *Piano di Assetto Idraulico*, l'area è contrassegnata marginalmente da pericolosità idraulica bassa (P11) così come meglio illustrato nelle successive Figg. 10 e 11.

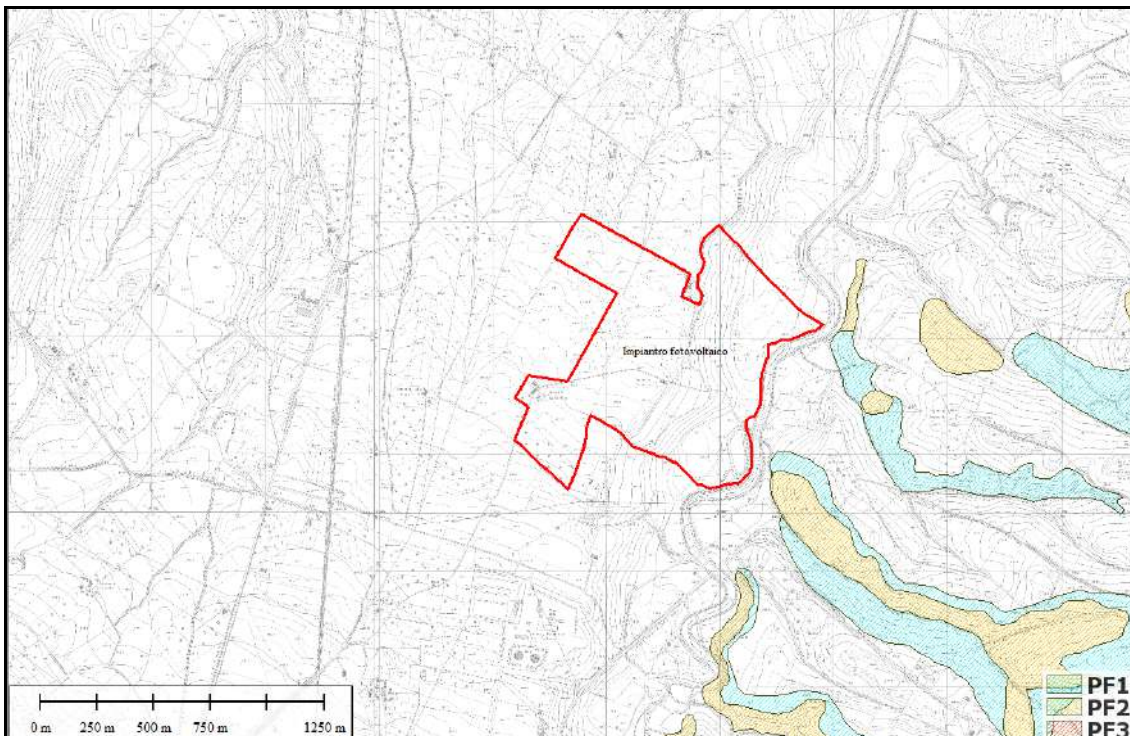


Fig. 10 – aree a pericolosità geomorfologica PAI.

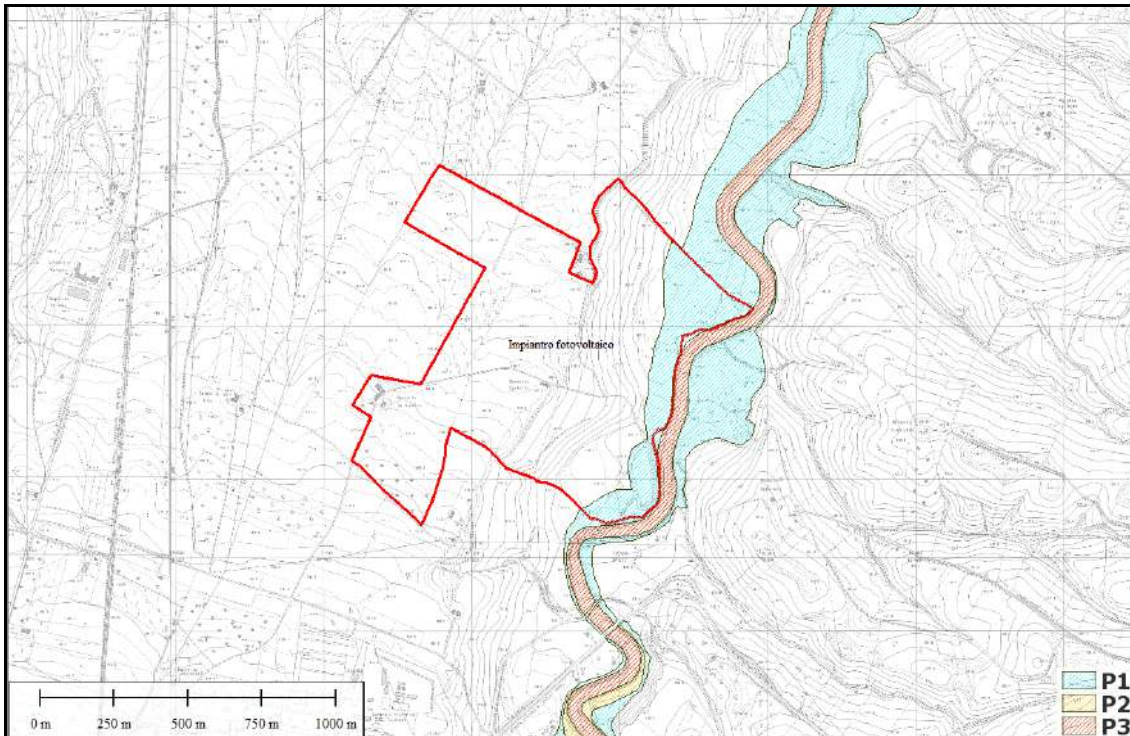


Fig. 11 – aree a pericolosità idraulica PAI.

Infine, relativamente al Piano di Assetto fluviale, per quanto concerne i corsi d'acqua il PAI dell'AdB del Fiume Biferno e Minori definisce le "fasce di riassetto fluviale": area comprendente l'alveo, le aree di pertinenza fluviale e quelle necessarie per l'adeguamento del corso d'acqua all'assetto definitivo previsto dal Piano stesso. Tale fascia è riportata nella carta della pericolosità idraulica. Nei tratti in cui tale fascia non è esplicitamente definita essa è stata assimilata alla fascia di pericolosità P12 (art.12 delle NTA).

La disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale, in caso di sovrapposizione, sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità.

Nel nostro caso la fascia di riassetto fluviale (Fig. 12) è esterna al confine est dell'impianto fotovoltaico.

Nell'area di impianto non si evidenzia la presenza di altri reticoli "minori" tutelati dalle norme del PAI.

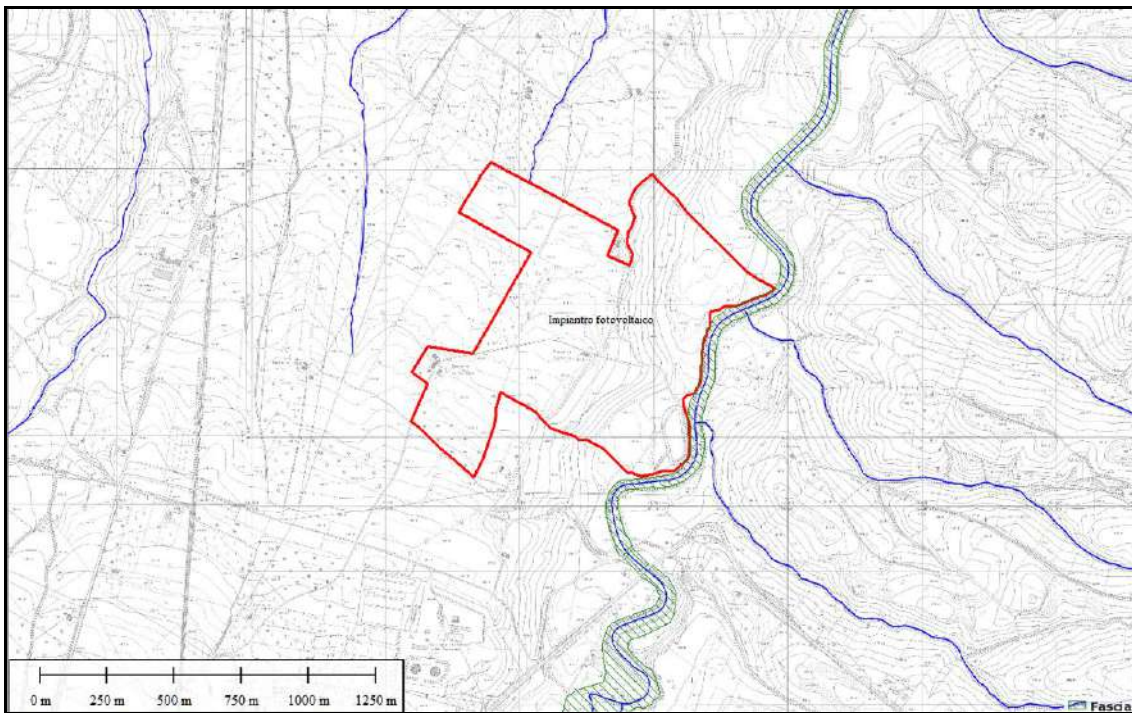


Fig. 12 – fascia di riassetto fluviale e reticoli idrografici presenti in area di intervento

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, "La Francesca", dista circa 300m (Fig. 12).

Denominazione	Corso d'acqua	Long.	Lat.	Quota (m l.m.)	Regime	Portata media annua (l/s)
F.te del Frassino	V.ne Grande	490558	4627310	470	Perenne	0,44
La Francesca	V.ne delle Tortore	494279	4629930	225	Perenne	1,69
Focolare	V.ne Rio Vivo	492526	4630086	360	Perenne	0,37
Brecciaro	F. Biferno	490938	4633912	85	Perenne	2,05

Tabella 1 - Lista delle sorgenti presenti nell' Area Vasta

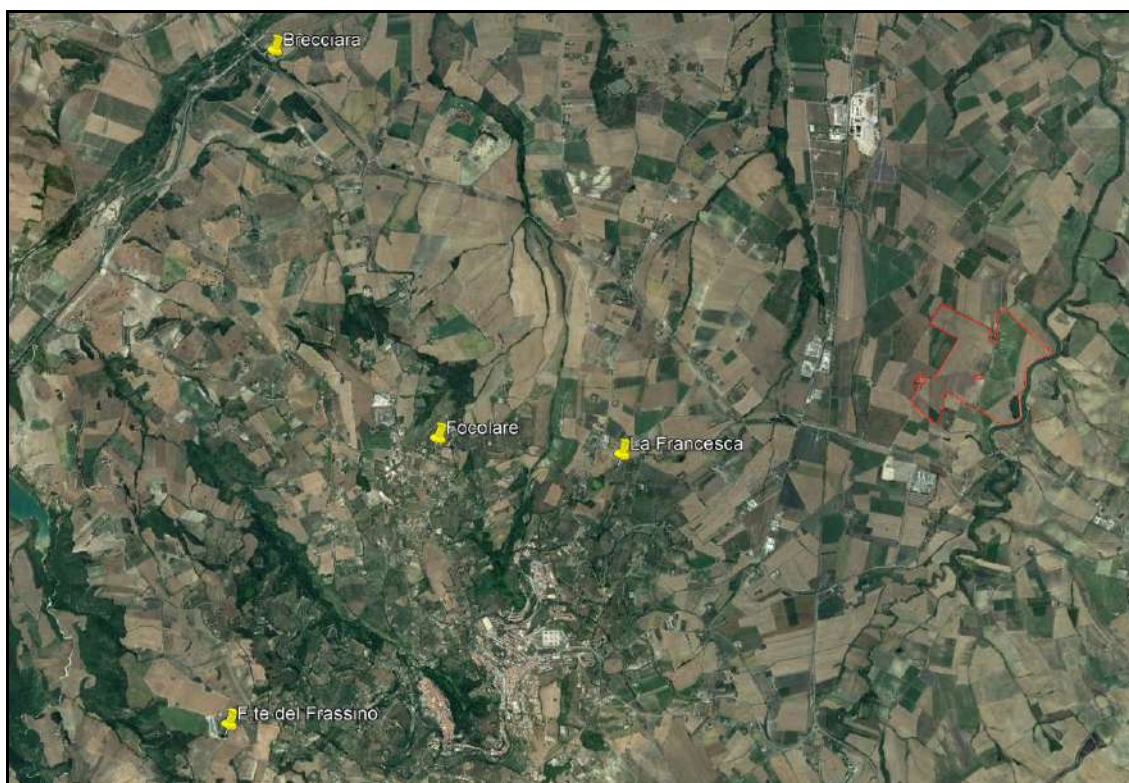


Fig. 12 – Mappa delle sorgenti

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.

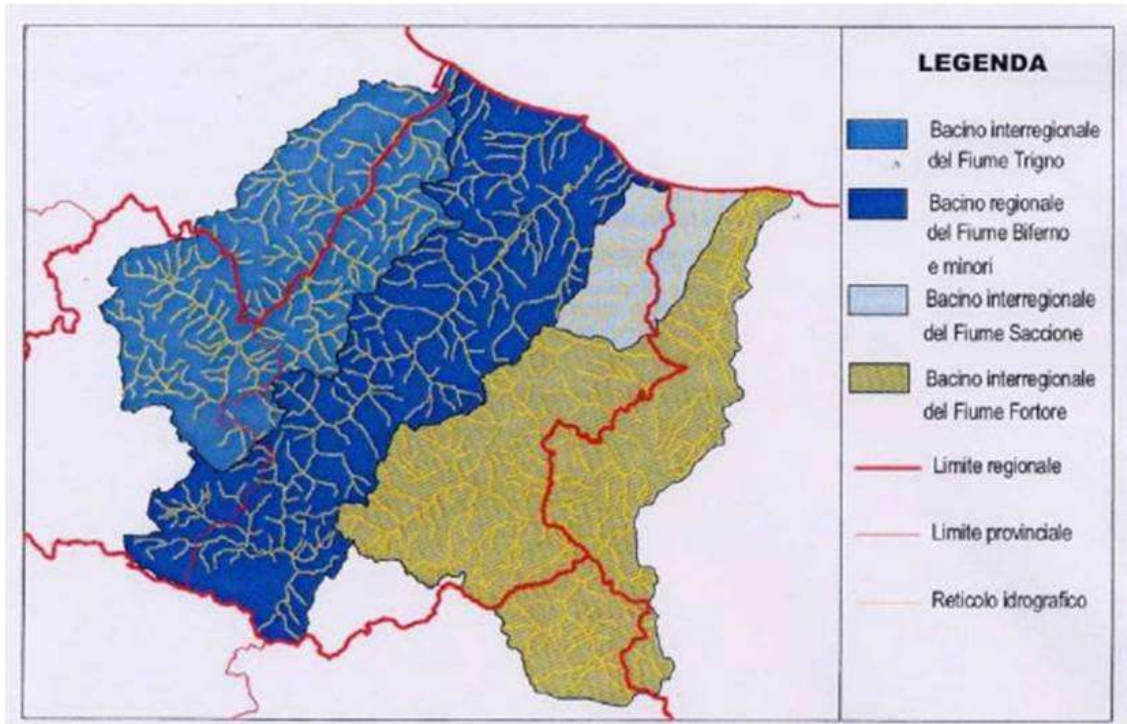


Fig. 13 – Cartografia progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino regionale dei fiumi Biferno e minori con indicazione dei bacini e dei reticoli idrografici

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 Fiume **Biferno** il cui bacino idrografico ricade interamente in Regione Molise, con una superficie pari a circa 1.316 km². Il Fiume ha origine dalle sorgenti di Bojano, poste a circa 500 m s.l.m., al contatto tra le falde del massiccio carbonatico dei Monti del Matese ed un'ampia conca di origine tettonica, detta "Conca di Bojano".

L'asta principale copre una lunghezza di 106 Km per poi sfociare nel Mare Adriatico, con foce ad estuario, situata nel tratto di costa compreso tra Termoli e Campomarino; il perimetro del bacino è pari a circa 264 km.

Il bacino del Fiume Biferno presenta una forma stretta ed allungata, tipica di aree litologicamente disomogenee. La disposizione delle linee di deflusso superficiali caratterizza il reticolo idrografico che, nel caso del Biferno, risulta essere di tipo "dendritico" (ad albero), costituito da un'asta principale unicursale che si suddivide in rami via via meno importanti, procedendo da valle verso monte.

Lungo il suo corso, il fiume riceve i contributi di n. 17 affluenti principali, tra i quali n. 4, con bacino idrografico superiore ai 50 km² di superficie e n. 3, con bacino superiore ai 100 km², vale a dire: il Torrente Rio 2, il Torrente Cigno (Biferno) ed il Torrente Quirino.

Per quanto riguarda il Torrente Cigno, che scorre a lato est della area di studio, si indicano i principali parametri morfometrici del relativo bacino idrografico:

- superficie bacino idrografico: 104 km²
- lunghezza asta principale: 37 km
- lunghezza reticolo: 468 km
- densità di drenaggio: 4,47 km/km²

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 risulta la presenza di una effimera falda idrica superficiale attestata grossomodo al contatto con il substrato impermeabile e quindi a circa 5m dal p.c..

7.5. Pozzi esplorativi profondi

Nell'area di intervento risulta la presenza di un pozzo esplorativo per ricerca di idrocarburi: pozzo Cigno 003 di cui non è stato possibile recuperare alcuna stratigrafia. Di contro è possibile fornire stratigrafia del pozzo Rotello 004 ubicato a circa 200m verso sud rispetto all'area di intervento. Tale pozzo è stato perforato nel 1963, fino a 2485 m dal p.c. e risultò sterile.

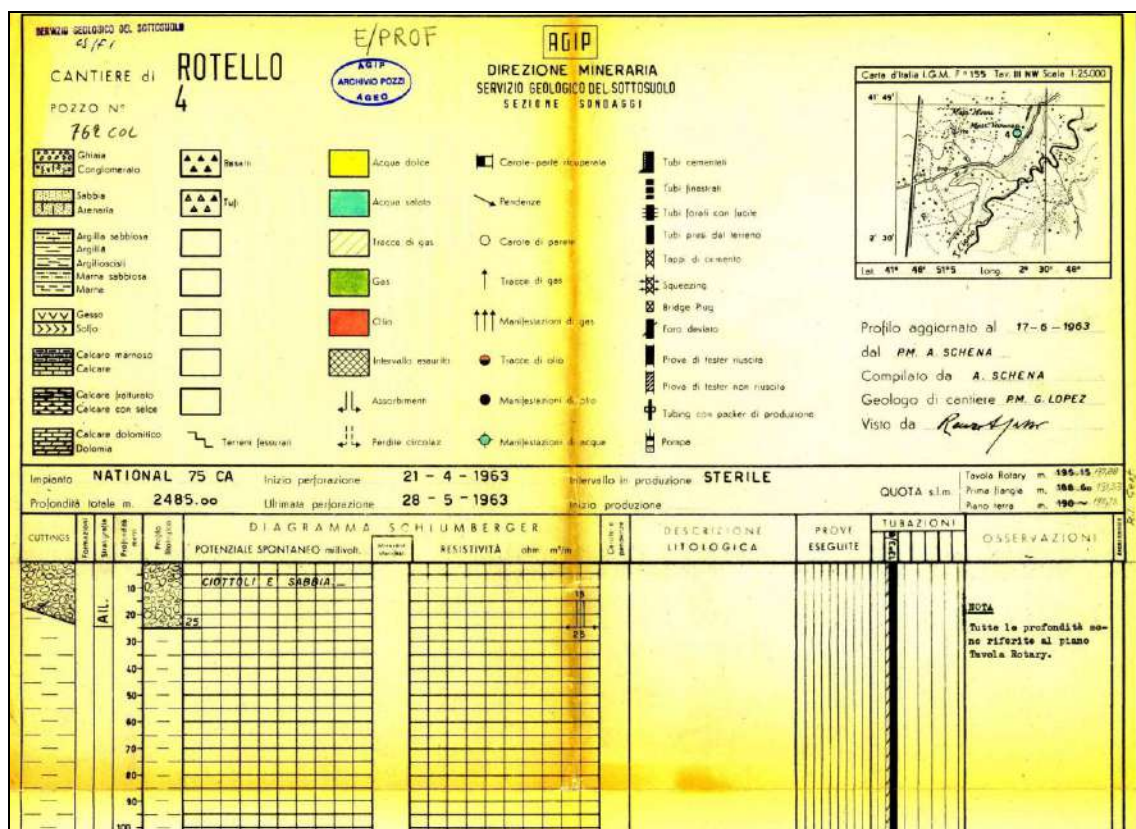


Fig. 14 – scheda dei primi 100m della stratigrafia del pozzo per ricerca idrocarburi denominato "Rotello 004"

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.

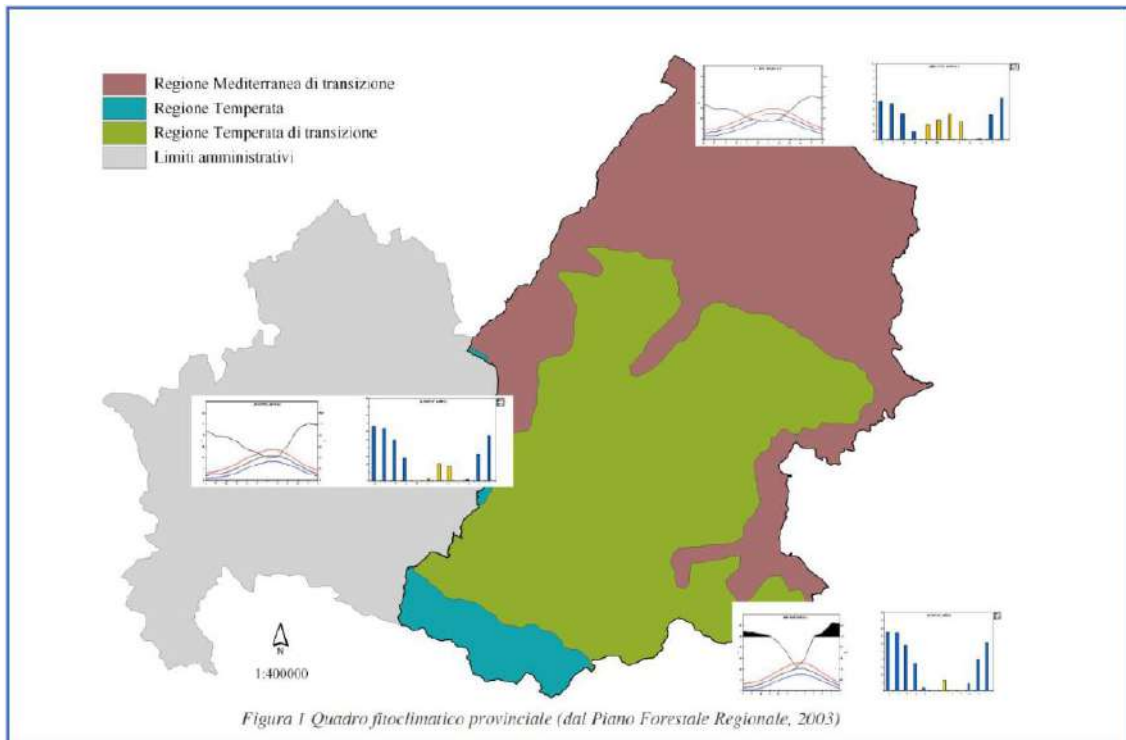
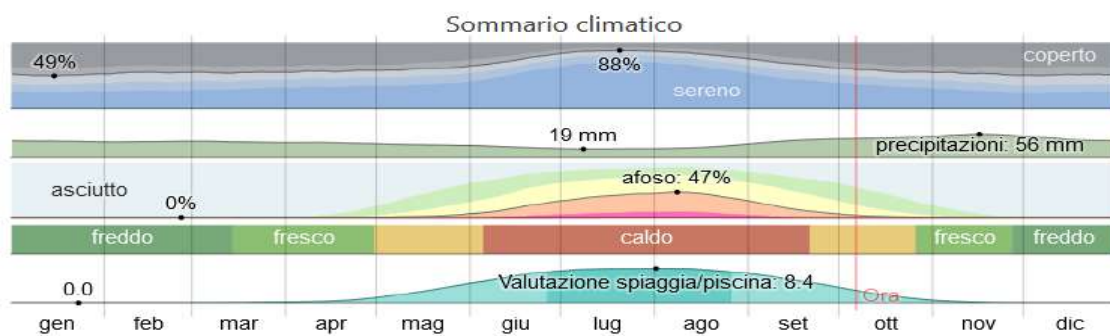


Fig. 14 - quadro fitoclimatico provinciale

A Larino, le estati sono brevi, calde, umide, 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.

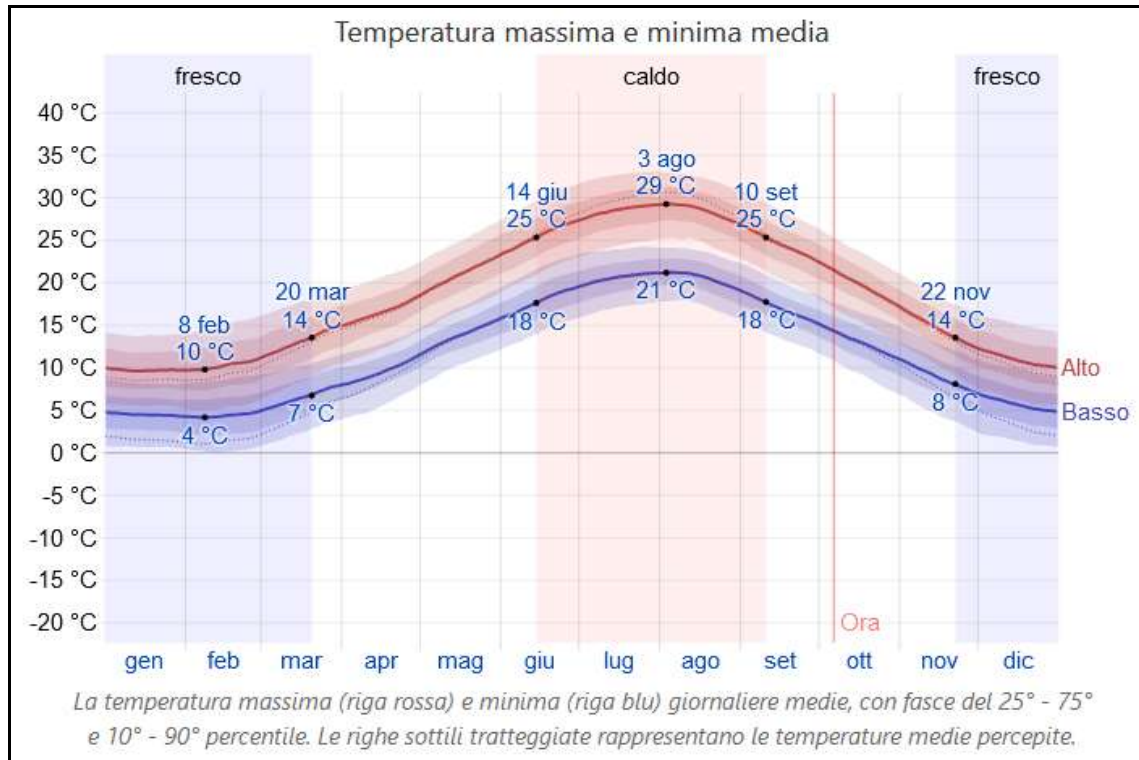


Temperature

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 20 marzo, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 14 °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.



La stazione meteorologica più vicina da cui poter estrarre dati climatici storici per l'area di interesse, è la stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare di Termoli.

I dati sotto riportati sono quelli raccolti ed elaborati dall'Aeronautica Militare Italiana e reperiti presso il sito internet della stessa.

TEMPERATURA E PIOVOSITÀ

Si riportano nelle tabelle seguenti i principali dati relativamente a temperatura e piovosità ricavati dalle registrazioni dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare presso la stazione meteorologica di Termoli e relative ad un trentennio di osservazioni.

Mese	Pioggia (mm)
Gennaio	48,01
Febbraio	25,9
Marzo	28,7
Aprile	24,93
Maggio	20,66
Giugno	20,39
Luglio	20,23
Agosto	29,59
Settembre	43
Ottobre	42,43
Novembre	47,65
Dicembre	41,24
Totale	392,72

Tab. 1 - Piovosità media mensile

Mese	Temp. Min. (°C)	Temp. Max. (°C)	Temp. Med. (°C)
Gennaio	0,97	17,74	8,17
Febbraio	1,2	17,67	8,49
Marzo	3,19	20,49	10,52
Aprile	5,91	23,25	13,48
Maggio	9,9	27,96	17,53
Giugno	13,74	30,95	21,35
Luglio	16,2	34,55	24,15
Agosto	16,63	33,98	24,42
Settembre	14,42	31	21,68
Ottobre	10,14	26,5	17,51
Novembre	5,4	21,38	12,77
Dicembre	2,7	18,62	9,7
Media annua	8,4	25,3	15,8

Tab. 2 – Temperature medie mensili

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.

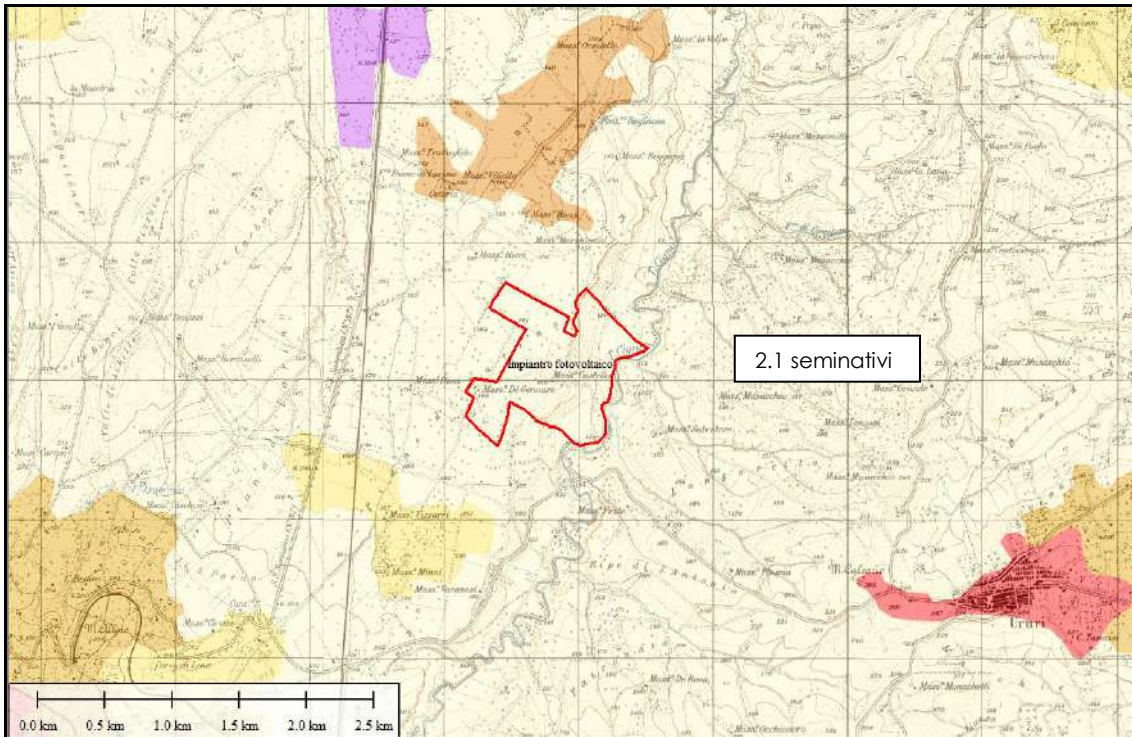


Fig. 15 – Stralcio della Carta di uso del Suolo (CLC 2012, liv. IV)

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. 16 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 $M \geq 3,5$).

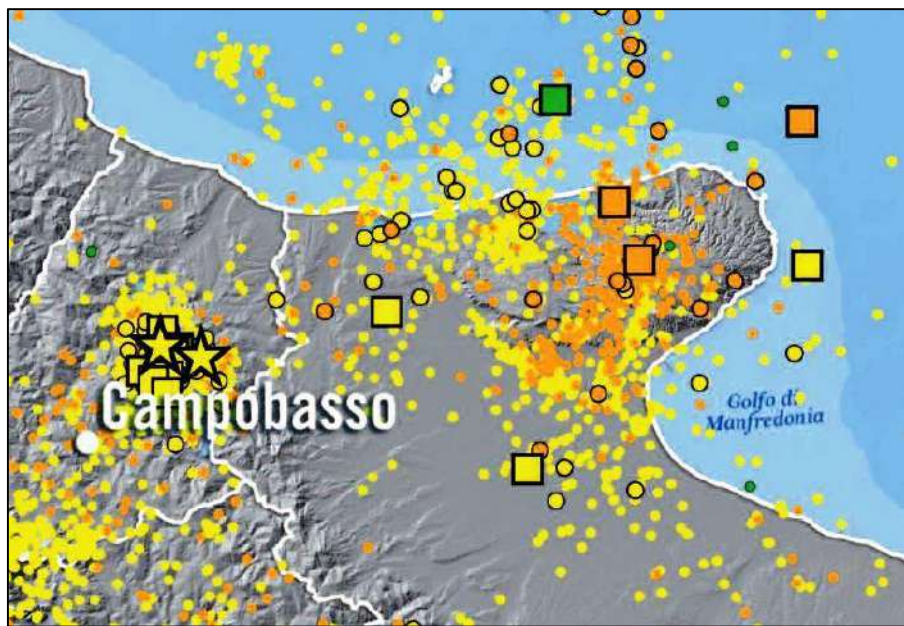


Fig. 16 – Carta della distribuzione epicentrale dei terremoti storici dell'area Molise-Gargano.

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 superficiale (M_s) > 6.0 (Molise 5/12/1456 $M_s=6.7$; Matese 5/6/1688 $M_s = 7.3$; Matese 26/7/1805 $M_s = 6.7$; Sannio 21/8/1962 $M_s = 6.2$). 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 M_w , ritenuta dall'INGV "sicuramente la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica".

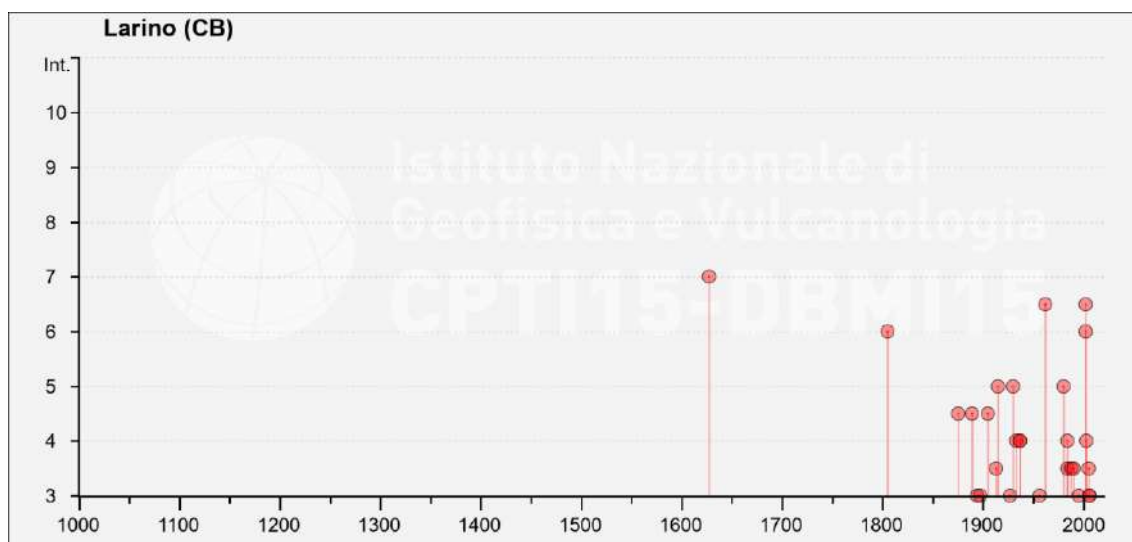
I dati sismici riguardanti il Comune di Larino sono stati desunti dal database DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., 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 Larino dall'anno 1627 all'anno 2006.

Seismic history of	Larino
PlaceID	IT_58749
Coordinates (lat, lon)	41.800, 14.911
Municipality (ISTAT 2015)	Larino
Province	Campobasso
Region	Molise
No. of reported earthquakes	37

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1627 07 30 10 50	Capitanata	64	10	6,66
6	1805 07 26 21	Molise	220	10	6,68
F	1841 02 21	Gargano	13	6-7	5,17
4-5	1875 12 06	Gargano	97	8	5,86
4-5	1889 12 08	Gargano	122	7	5,47
2-3	1892 06 06	Isole Tremiti	68	6	4,88
3	1894 03 25	Gargano	27	6-7	4,9
3	1897 05 28 22 40 02.00	Ionio	132	6	5,46
4-5	1905 08 18 04 07	Tavoliere delle Puglie	41	5	4,61
3-4	1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8	5,35
5	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08

3	1927 05 25 02 50	Sannio	54	6	4,98
5	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6,67
2	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
4	1933 09 26 03 33 29.00	Maiella	325	9	5,9
4	1937 07 17 17 11	Tavoliere delle Puglie	40	6	4,96
4	1937 12 15 21 25	Tavoliere delle Puglie	16	4-5	4,58
3	1956 09 22 03 19 39.00	Gargano	57	6	4,64
6-7	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6,15
5	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
NF	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5,86
3-4	1984 05 11 10 41 49.27	Monti della Meta	342	7	5,47
3-4	1988 04 26 00 53 43.83	Adriatico centrale	78		5,36
2-3	1989 03 11 21 05	Gargano	61	5	4,34
3-4	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
2-3	1996 11 10 23 23 10.77	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4,35
NF	1997 03 19 23 10 50.02	Sannio-Mafese	284	6	4,52
NF	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
6-7	2002 11 01 15 09 01.92	Molise	638	7	5,72
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
3	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4,64
3	2006 10 04 17 34 20.50	Adriatico centrale	98	4-5	4,3



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 Larino 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 prospicenti 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 e preminente attenzione è stata, inoltre, data agli elaborati relativi agli studi di microzonazione sismica del Comune di Larino in area P.I.P..

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 compresa tra 1,9÷2,7 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 410÷480 m/s e V_s compresa tra 172÷220 m/s;
- **Il secondo sismostrato** (con una profondità compresa tra 8,3÷9,1 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1080÷1200 m/s e V_s compresa tra 248÷298 m/s;
- **Il substrato rifratore** ha velocità V_p compresa tra 1660÷1720 m/s e V_s compresa tra 302÷378 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 e depositi alluvionali;

- Il **secondo sismostrato** è associabile a limi e sabbie con ghiaie e depositi limoso ghiaiosi;
- Il **substrato rifratte** è associabile ad argille.

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.

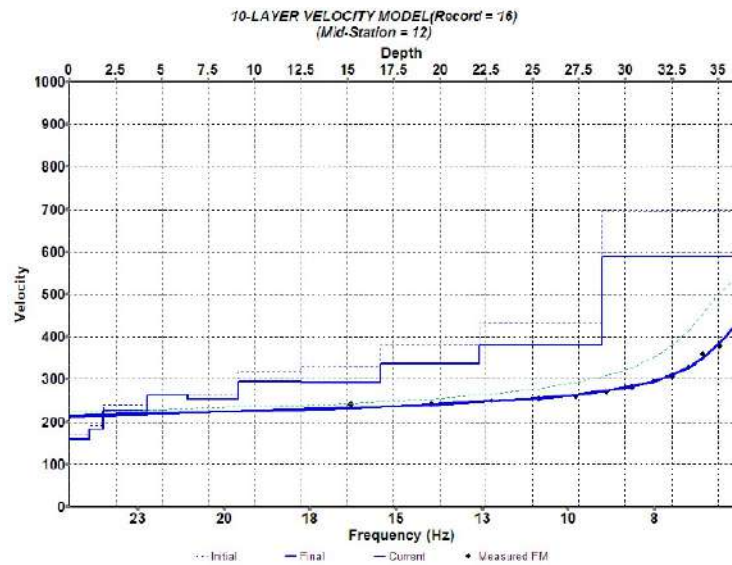
I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza ($t-x$), al dominio velocità di fase-frequenza ($p-f$). È stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del segnale e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

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

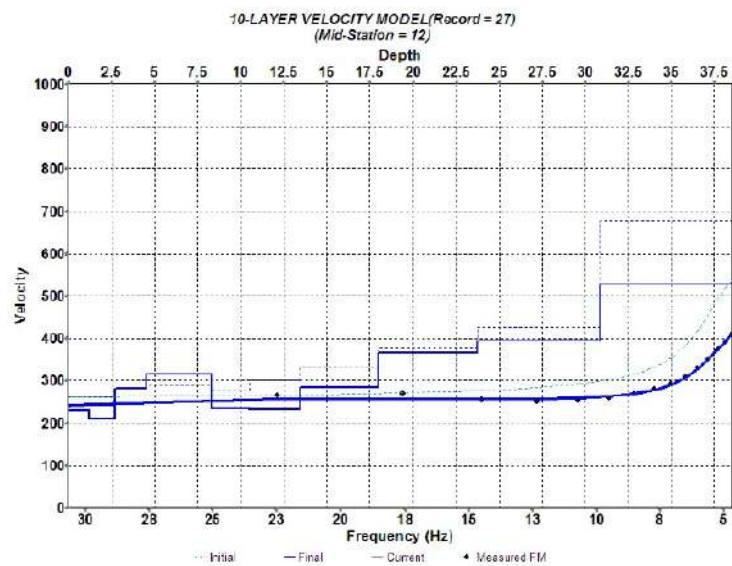
Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/frequenza ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. È stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "*fitting*" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

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

MASW 1	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
-1.1	160
-1.9	183
-4.2	226
-6.4	264
-9.1	253
-12.5	295
-16.8	292
-22.1	336
-28.8	379
-35.9	590



MASW 2	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
-1.2	230
-2.7	211
-4.6	281
-8.3	316
-10.5	234
-13.5	232
-18.0	284
-23.7	364
-30.9	395
-38.6	527



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** → **VS₃₀ = 294 m/s - categoria C**
- ✓ **Profilo MASW 2** → **VS₃₀ = 298 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/m³, per il secondo una densità pari a 1,9 t/m³ e per il terzo una densità pari a 2,0 t/m³.

Di seguito i parametri calcolati.

Profondità media (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E _{din})	Modulo di taglio (G _{din})	Modulo di incompressibilità (K)
1° sismostrato	≈ 2,5	445	196	0,38	186 Mpa	68 Mpa	256 Mpa
2° sismostrato	≈ 6,0	1140	273	0,47	428 Mpa	146 Mpa	2332 Mpa
substrato rifratore	> 20	1690	340	0,47	706 Mpa	239 Mpa	5512 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 _s)	Modulo di taglio statico (G _s)
1° sismostrato	5 Mpa	2 Mpa
2° sismostrato	11 Mpa	4 Mpa
substrato rifratore	18 Mpa	6 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

<u>Categoria</u>	<u>Caratteristiche della superficie topografica</u>
A	<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	<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.
C	<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.
D	<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.
E	<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 § 11.3, con una $V_{s,30}$ compresa tra **294 m/s** e **298 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 α_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:

- α_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 α_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: 41,834114
 longitudine: 14,977609
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 28771	Lat: 41,8256	Lon: 14,9664	Distanza: 1330,165
Sito 2 ID: 28772	Lat: 41,8247	Lon: 15,0335	Distanza: 4749,484
Sito 3 ID: 28550	Lat: 41,8747	Lon: 15,0347	Distanza: 6535,754
Sito 4 ID: 28549	Lat: 41,8755	Lon: 14,9676	Distanza: 4680,651

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: 0,053 g
 Fo: 2,337
 Tc*: 0,302 [s]

Danno (SLD):
 Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,069 g
 Fo: 2,444
 Tc*: 0,309 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,188 g
 Fo: 2,481
 Tc*: 0,342 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,249 g
 Fo: 2,455
 Tc*: 0,349 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
 Ss: 1,500
 Cc: 1,560
 St: 1,000
 Kh: 0,016
 Kv: 0,008
 Amax: 0,774
 Beta: 0,200

SLD:
 Ss: 1,500
 Cc: 1,550
 St: 1,000
 Kh: 0,021
 Kv: 0,010
 Amax: 1,015
 Beta: 0,200

SLV:
 Ss: 1,420
 Cc: 1,500
 St: 1,000
 Kh: 0,064
 Kv: 0,032
 Amax: 2,618
 Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,330
Cc: 1,490
St: 1,000
Kh: 0,093
Kv: 0,046
Amax: 3,252
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 41.833142
longitudine: 14.976740

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 Larino (area P.I.P.), dati di progetti eseguiti dallo scrivente sulle 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)

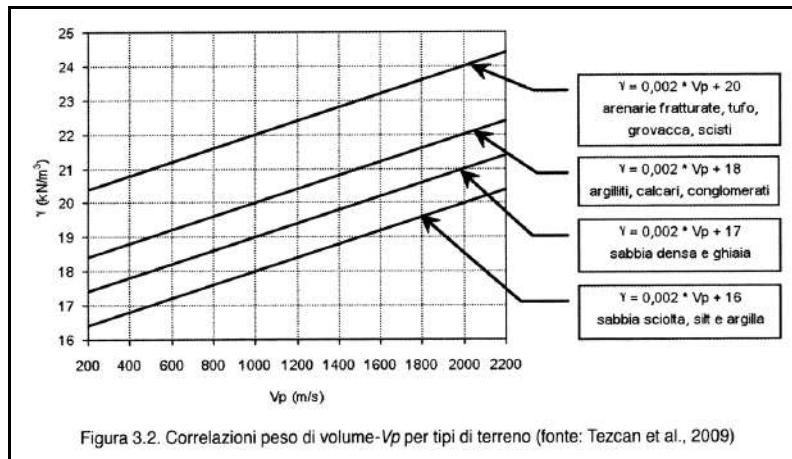
$\gamma_0 = 17$ (per sabbie dense e ghiaie)

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

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 445 = 17 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$\gamma = 17 + 0,002 \cdot 1140 = 19,2 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 1690 = 19,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 3° strato)}$$



Correlazione V_s - N_{SPT}

Numerose sono le correlazioni empiriche proposte tra il numero di colpi delle prove SPT (N_{SPT}) e la velocità delle onde S (V_s), talora differenziate in funzione del tipo di terreno e/o basate su una correzione del N_{SPT} . Tuttavia, al di là della maggiore correlazione statistica per le leggi basate sul N_{SPT} 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_{SPT} e V_s , 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_s e N_{SPT} in tali contesti; il grafico di Fig. 17 rappresenta la sintesi del lavoro.

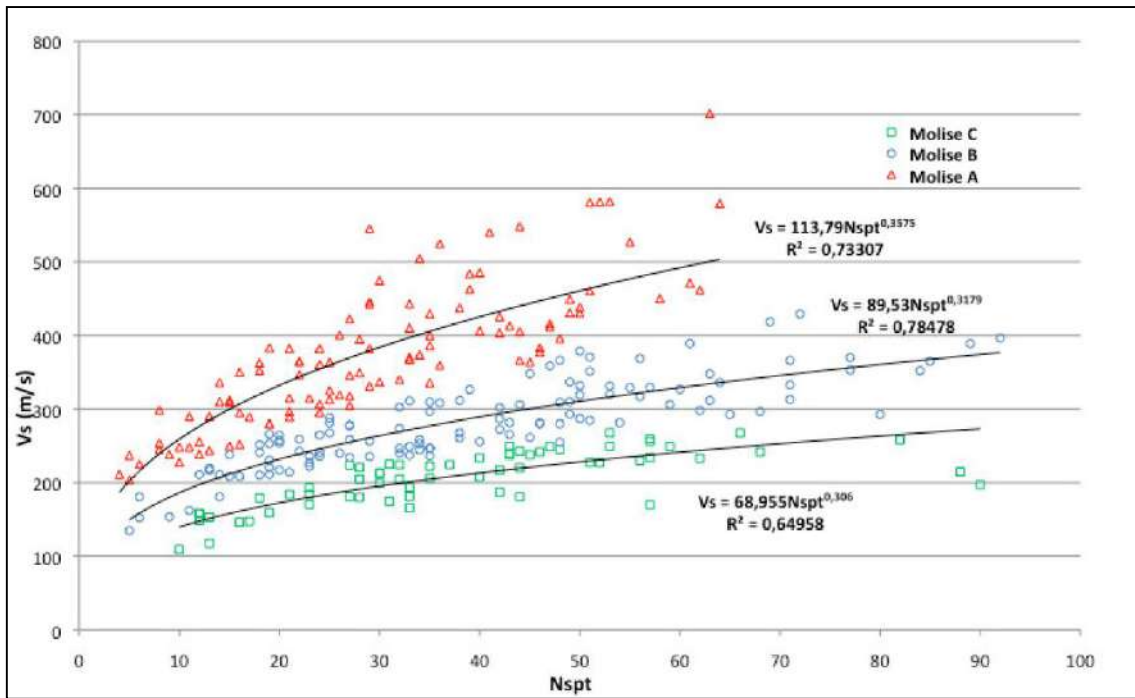


Fig. 17 - Correlazioni tra NSPT e Vs

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:

$$N_{SPT} = 12 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$N_{SPT} = 33 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$N_{SPT} = 65 \text{ (per il 3° strato)}$$

Oltre quella illustrata, nella letteratura specializzata sono ormai reperibili moltissime altre correlazioni tra il numero di colpi (N_{SPT}) del Penetrometro Standard e la velocità delle onde di taglio (V_s). Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale, con $N_{SPT} =$

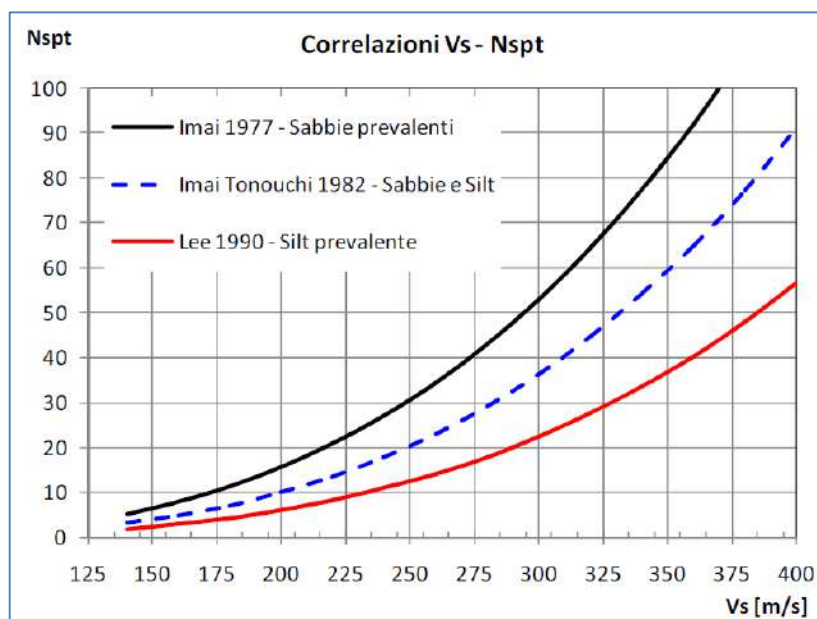
$(V_s/a)^\beta$ con i coefficienti a e β variabili in funzione del tipo di terreno. Si ricorda che il numero di colpi di cui si parla è quello necessario per far avanzare di 30 cm nel terreno la punta del campionatore Raymond standard.

A tale scopo si utilizzano le correlazioni proposte da Imai e Tonouchi (1982) valide per le tipologie di terreni che caratterizzano il sito in esame:

$$N_{STP} = (V_s/97,0)^{3,184}$$

valida per i terreni misti sabbioso-siltosi - Imai e Tonouchi (1982)

dove: N_{STP} = numero di colpi del Penetrometro Standard e V_s = Velocità delle onde di taglio.



Per cui, si ha:

$$N_{SPT} = 9 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$N_{SPT} = 27 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$N_{SPT} = 54 \text{ (per il 3° strato)}$$

Dalla media di tali parametri appena calcolati è possibile risalire, per es., alla coesione non drenata del materiale che risulta, per correlazioni con Sanglerat e Schmertmann (1975):

$$c_u \approx 40 \text{ kPa (per il 1° strato)}$$

$$c_u \approx 120 \text{ kPa (per il 2° strato)}$$

$$c_u \approx 150 \text{ kPa (per il 3° strato)}$$

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/m² 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:

$$C_u = 36 \text{ kPa (1° strato)}$$

$$C_u = 108 \text{ kPa (2° strato)}$$

$$C_u = 180 \text{ kPa (3° strato)}$$

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.

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

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

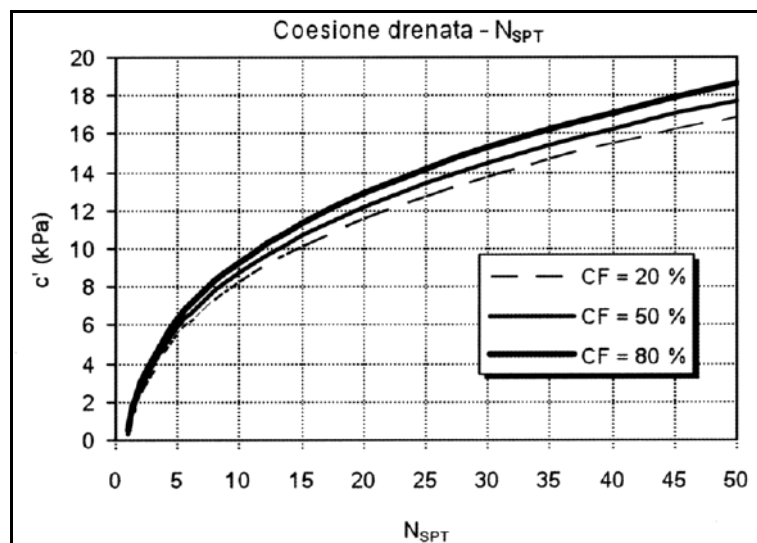


Fig. 18 - Andamento della coesione drenata in funzione N_{SPT} per contenuto di argilla

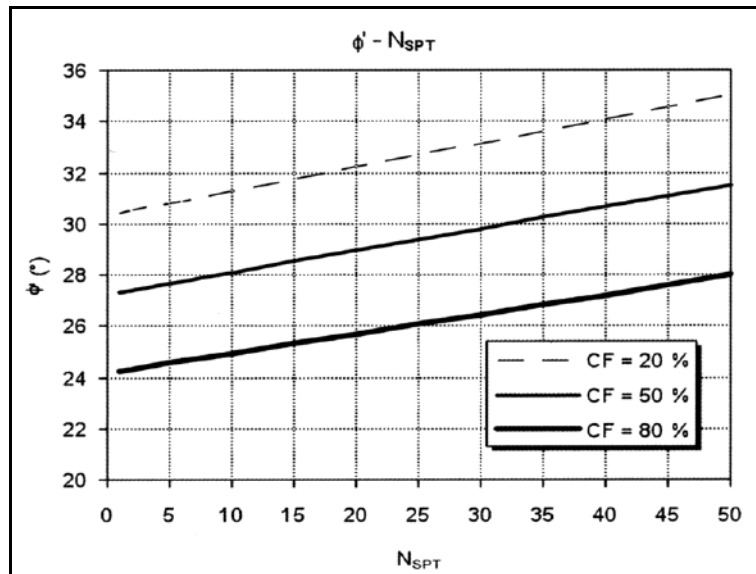


Fig. 19 - Andamento dell'angolo di resistenza al taglio in funzione N_{SPT} per contenuto di argilla

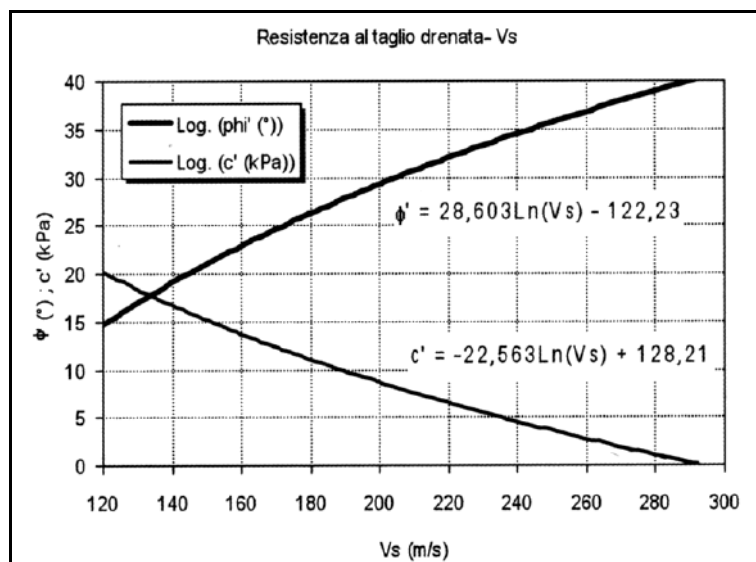


Fig. 20 - Andamento della resistenza al taglio drenata (ϕ' e c') in funzione di V_s

Pertanto:

$$\phi' \approx 28^\circ \text{ (per il 1° strato)}$$

$$c' = 9 \text{ kPa (per il 1° strato)}$$

$$\phi' \approx 36^\circ \text{ (per il 2° strato)}$$




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

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 (altri studi presenti in zona e soprattutto gli studi di microzonazione sismica del Comune di Larino in area P.I.P.), si ritiene che il modello geologico e geotecnico ricostruito e sotto riportato possa considerarsi sufficientemente definito oltretché 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 (ϕ)	Coesione drenata (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Peso di Volume (kN/m ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Elasticità (Mpa)
--------------	--------------	---------------------	--	------------------------	----------------------------	-------------------------------------	-------------------	----------------------------

≈ 2,5		Terreno vegetale sabbioso-limoso	23°	3÷5	30÷40	17	0,38	5
≈ 6,0		Ghiaia in matrice limoso-sabbiosa con livelli di argilla sabbiosa	28°÷35°	1÷3	120÷150	19	0,47	11
> 20		Argille di Montesecco	22°÷23°	10÷20	100÷120	20	0,47	18

In fase esecutiva si prescrive un approfondimento di indagini onde meglio "parametrizzare" i primi due litostrati in relazione alle opere da 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 Larino (CB) in località "Piane di Larino".

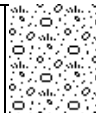


B. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

- L'area indagata è compresa nelle tavolette topografiche IV S.O. "San Martino in Pensilis", III N.O. "Ururi" 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 175m s.l.m.. La pendenza media dell'area è di circa il 12%.

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 (ϕ)	Coesione drenata (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Peso di Volume (kN/m ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Elasticità (Mpa)
≈ 2,5		Terreno vegetale sabbioso-limoso	23°	3÷5	30÷40	17	0,38	5
≈ 6,0		Ghiaia in matrice limoso-sabbiosa con livelli di argilla sabbiosa	28°÷35°	1÷3	120÷150	19	0,47	11
> 20		Argille di Montesecco	22°÷23°	10÷20	100÷120	20	0,47	18

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

Profondità media (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E_{din})	Modulo di taglio (G_{din})	Modulo di incompressibilità (K)
1° sismostrato	≈ 2,5	445	196	0,38	186 Mpa	68 Mpa	256 Mpa
2° sismostrato	≈ 6,0	1140	273	0,47	428 Mpa	146 Mpa	2332 Mpa
substrato rifratore	> 20	1690	340	0,47	706 Mpa	239 Mpa	5512 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 ≈ a **296 m/s** ($180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$).

La presente relazione è composta da 51 pagine e dai seguenti allegati:

- corografia della zona in scala 1:25.000;
- stralcio Carta Tecnica Regionale in scala 1:15.000;
- stralcio carta geologica in scala 1:8.000;
- stralcio ortofoto con ubicazione sondaggi sismici in scala 1:8.000;
- 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, 8 ottobre 2020.

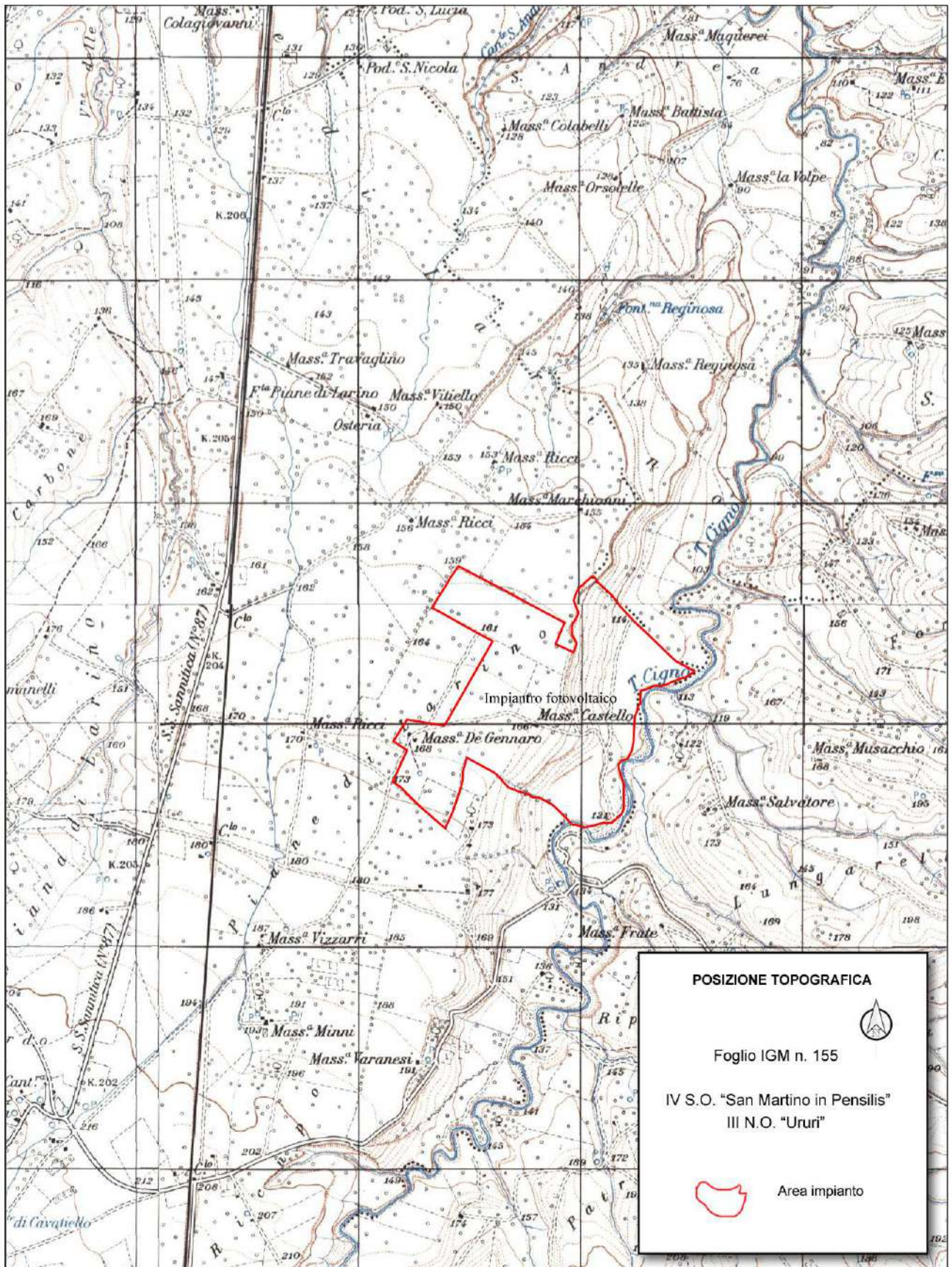
dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello



Comune di
Larino (CB)

Stralcio aerofotogrammetrico

Scala 1:25.000



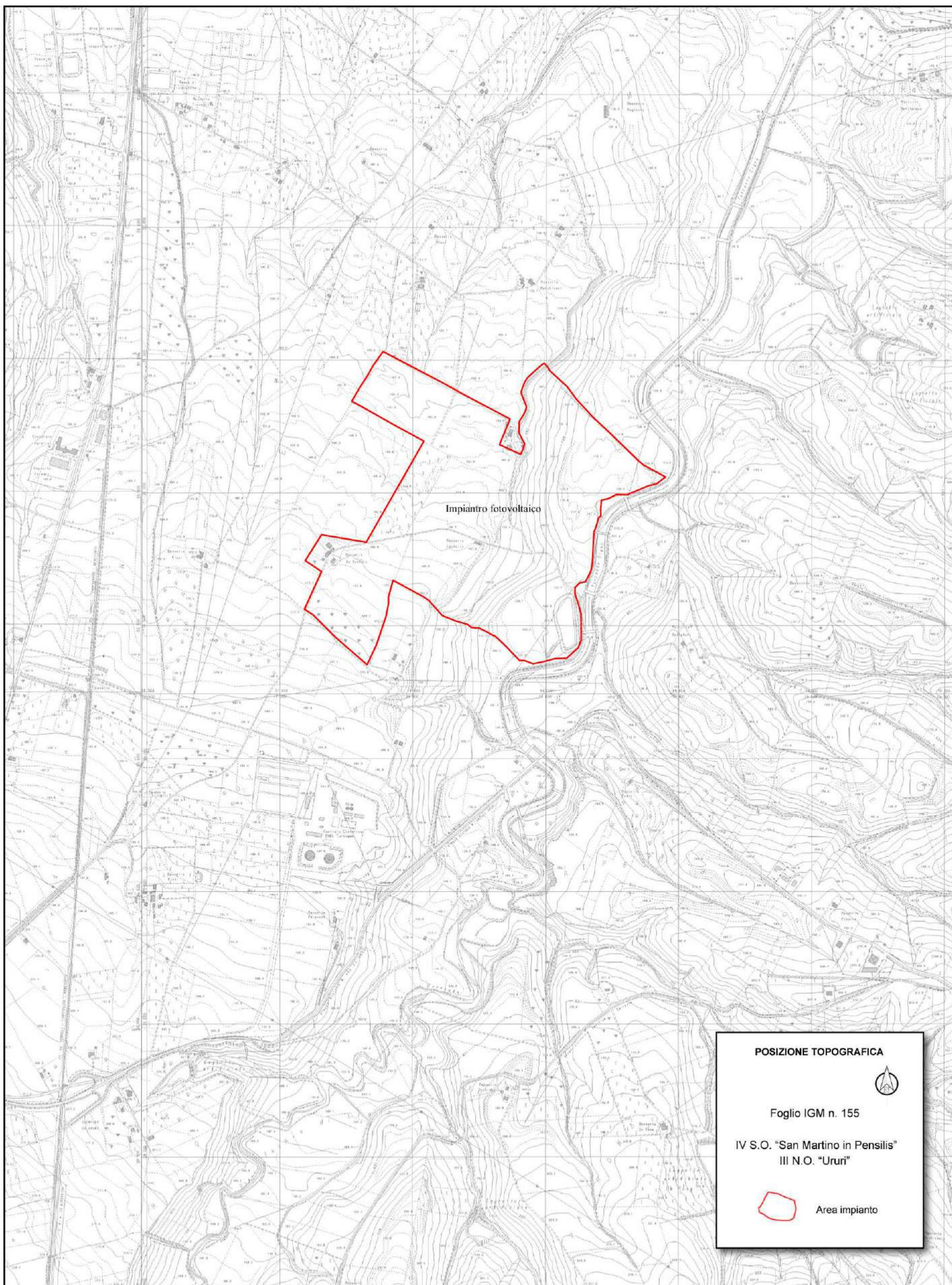
Proponente:
Enel Larino1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Larino (CB)

Ubicazione impianto su CTR

Scala 1:15.000



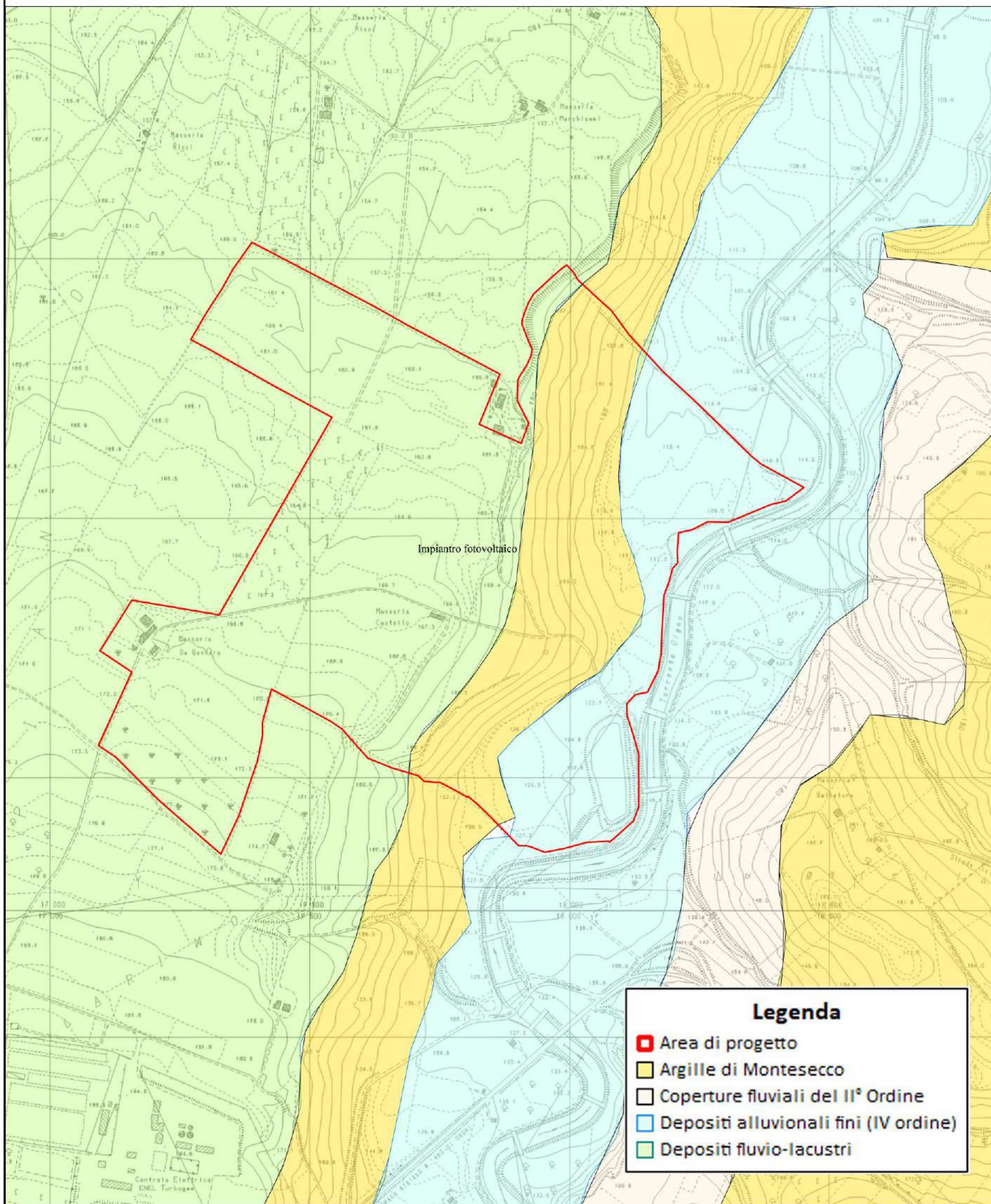
Proponente:
Enel Larino1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Larino (CB)

Carta geologica

Scala 1:8.000



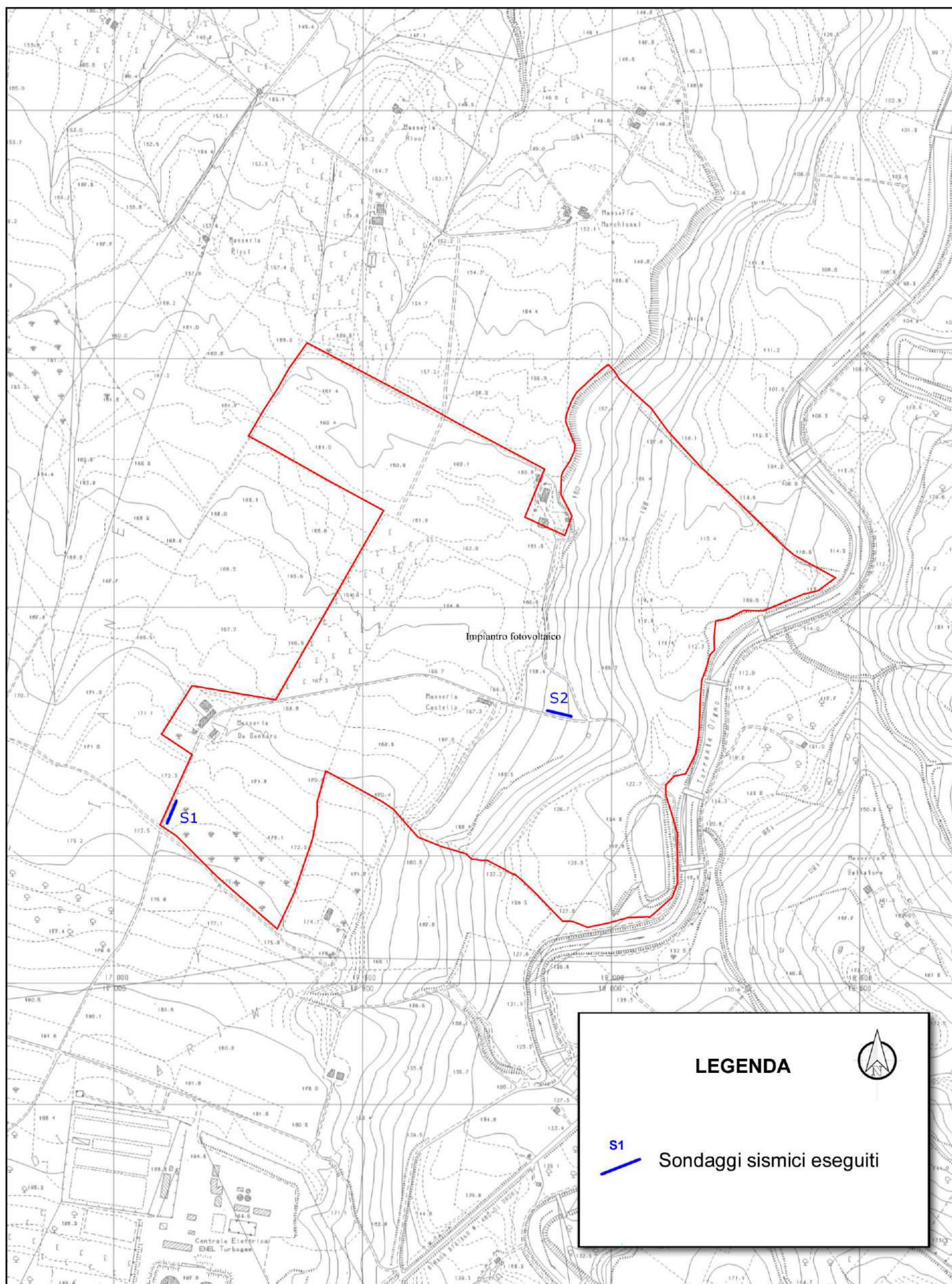
Proponente:
Enel Larino1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Larino (CB)

Ubicazione prove sismiche

Scala 1:8.000



Proponente:
Enel Larino1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto n. 1 – esecuzione indagine sismica



Foto n. 2 – area di intervento



Foto n. 3 – area di intervento ed esecuzione indagine sismica



Foto n. 4 – esecuzione indagine sismica



Foto n. 5 – area di intervento



Foto n. 6 – Torrente Cigno



COMUNE DI LARINO



REGIONE MOLISE



PROVINCIA DI CAMPOBASSO

OGGETTO

PROGETTO DI COSTRUZIONE E MESSA IN ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 70 MWP (INCLUSO IMPIANTO STORAGE), CON INFRASTRUTTURE ED OPERE DI CONNESSIONE, OPERE DI RIMBOSCHIMENTO E RIVEGETAZIONE DELLE AREE LIBERE, DA REALIZZARE NEL COMUNE DI LARINO (CB) IN CONTRADA "PIANE DI LARINO"

DATA: AGOSTO 2020

LOCALITÀ

COMUNE DI LARINO (CB) IN LOCALITÀ "PIANE DI LARINO".

PROPONENTE

ENEL LARINO 1 S.R.L.

Vico Teatro 33

71121 Foggia (Fg)

ELABORATO

INDAGINE GEOFISICA

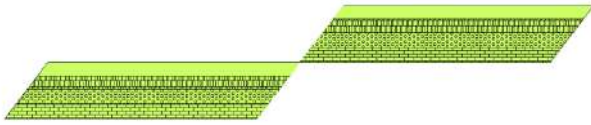
DITTA ESECUTRICE INDAGINI

**PRO
GEO**

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
TELE 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

1 PREMESSA	2
2 AZIONE SISMICA	3
3 INDAGINE M.A.S.W	6
3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.	6
3.2 Attrezzature e tecniche operative	8
3.3 Risultati.....	10
4 PROSPEZIONE SISMICA	12
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*

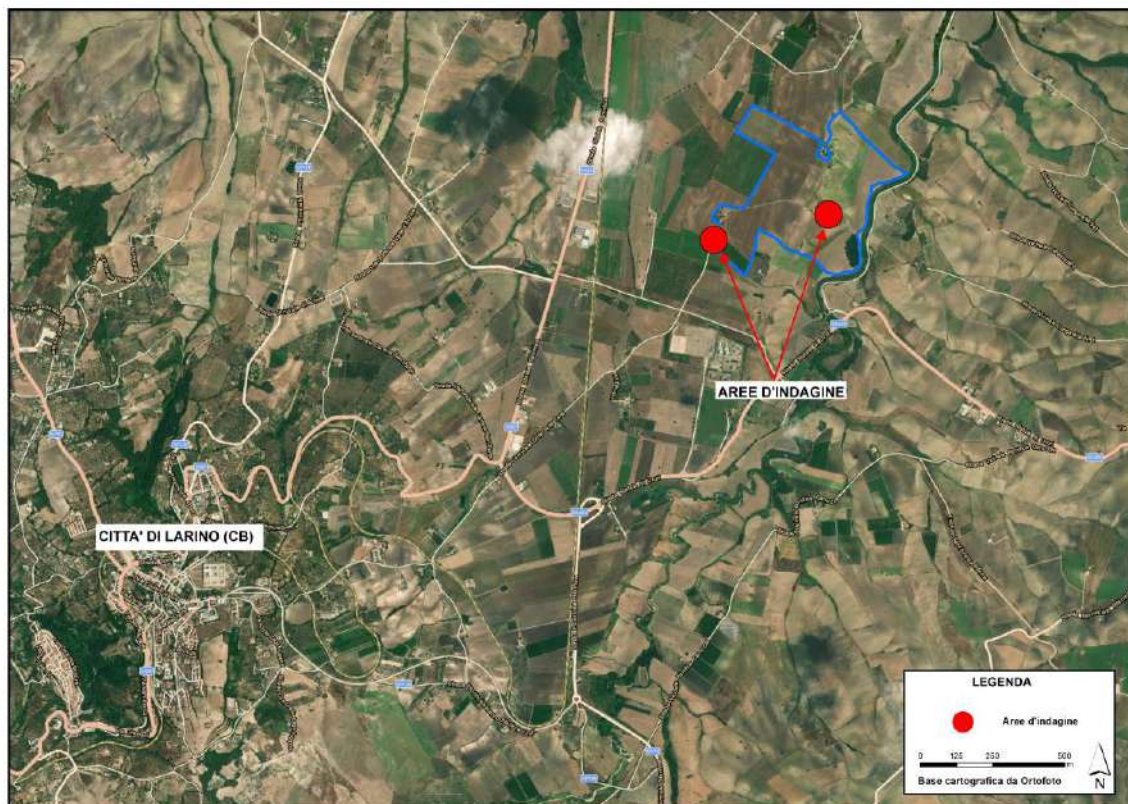
1 PREMESSA

Per incarico conferito alla “PRO-GEO s.a.s. di Alberto Quarto & C.” è stata eseguita una prospezione geofisica per il **Progetto di costruzione e messa in esercizio di un impianto Agrivoltaico della potenza complessiva di 70 MWp (incluso impianto storage), con infrastrutture ed opere di connessione, opere di rimboschimento e rivegetazione delle aree libere, da realizzare nel Comune di Larino (CB) in Contrada "Piane di Larino".**

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:

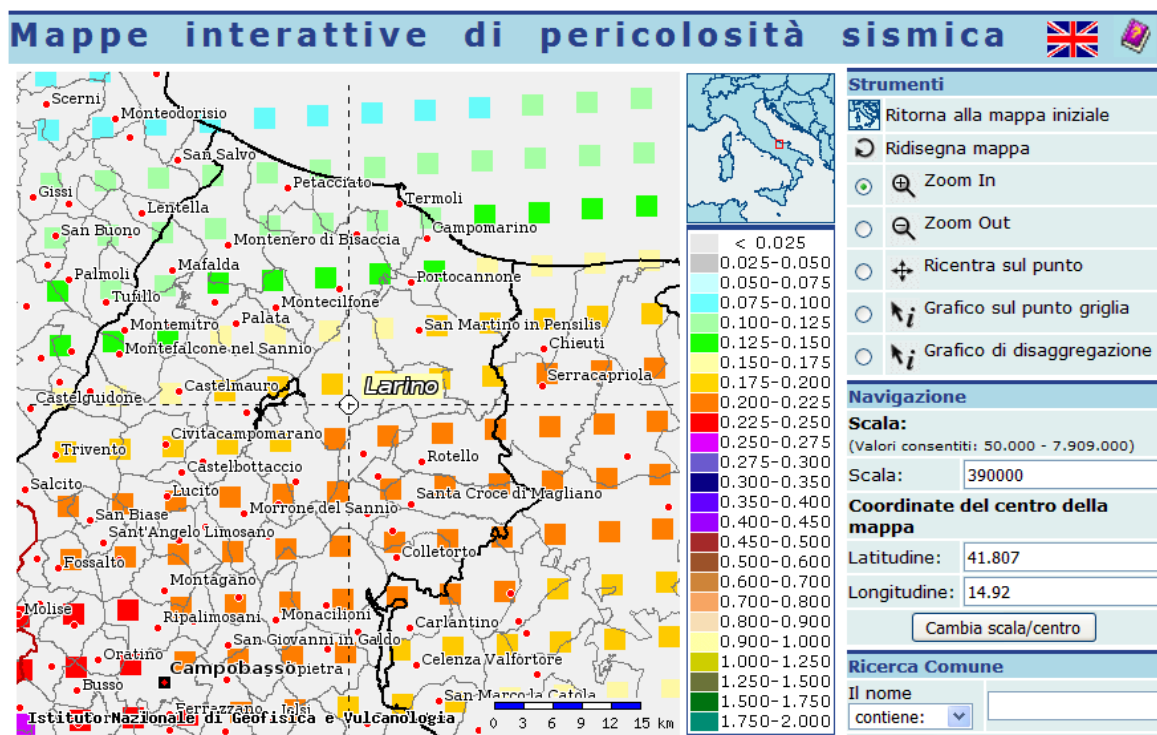
- n. 2 profili sismici MASW;
- n. 2 profili sismici a rifrazione.



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 **0.175-0.200 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)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 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 41.828305° - Lng 14.970012°

Indirizzo **Coordinate** Isole

Latitudine Longitudine

WGS84: Lat 41.828305 - Lng 14.970012

ED50: Lat 41.829277 - Lng 14.970881

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pur...

Vita Nominale

Interpolazione

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.053	2.337	0.302
Danno (SLD)	50	0.069	2.444	0.308
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.189	2.480	0.341
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.250	2.453	0.349

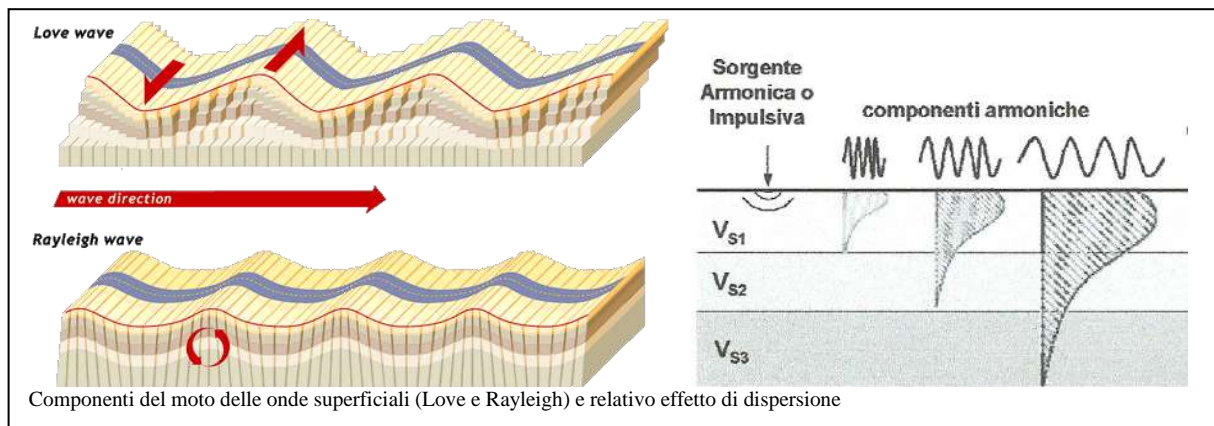
Periodo di riferimento per l'azione sismica:

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 rigidezza 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):

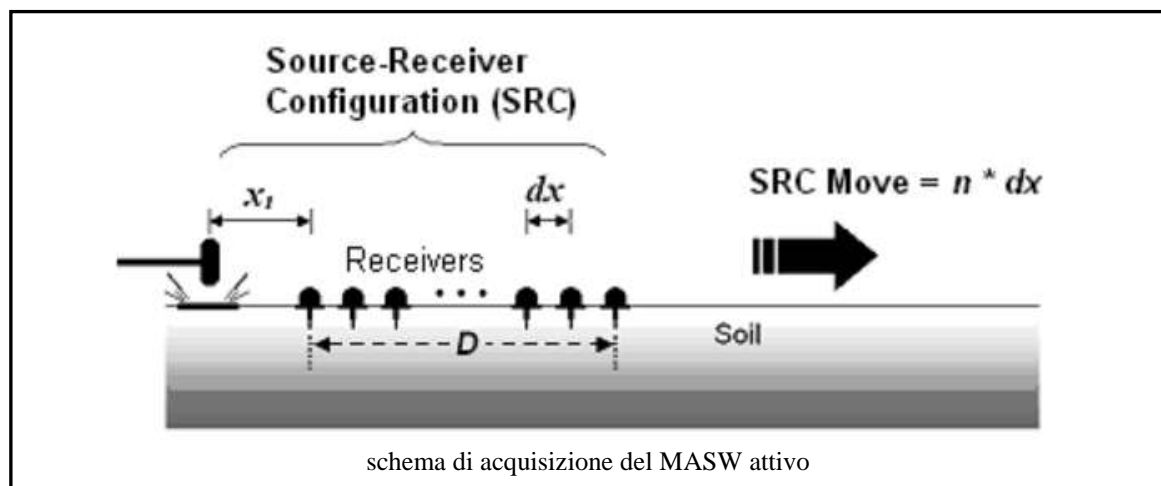
- Nel “metodo attivo” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

- 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:

Denominazione	Sorgente	Lunghezza profili	Distanza intergeofonica (dx)	Offset (x_t)
MASW 1	martello	48 m	2.0 m	4 m - 8m
MASW 2	martello	48 m	2.0 m	4 m

Nel MASW 1 sono stati utilizzati due offset, successivamente “combinati” tra loro in fase di elaborazione dati.



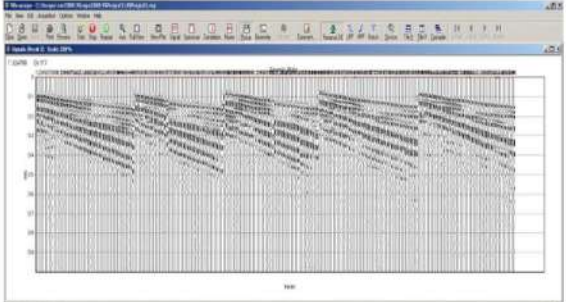


3.2 Attrezzature e tecniche operative


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



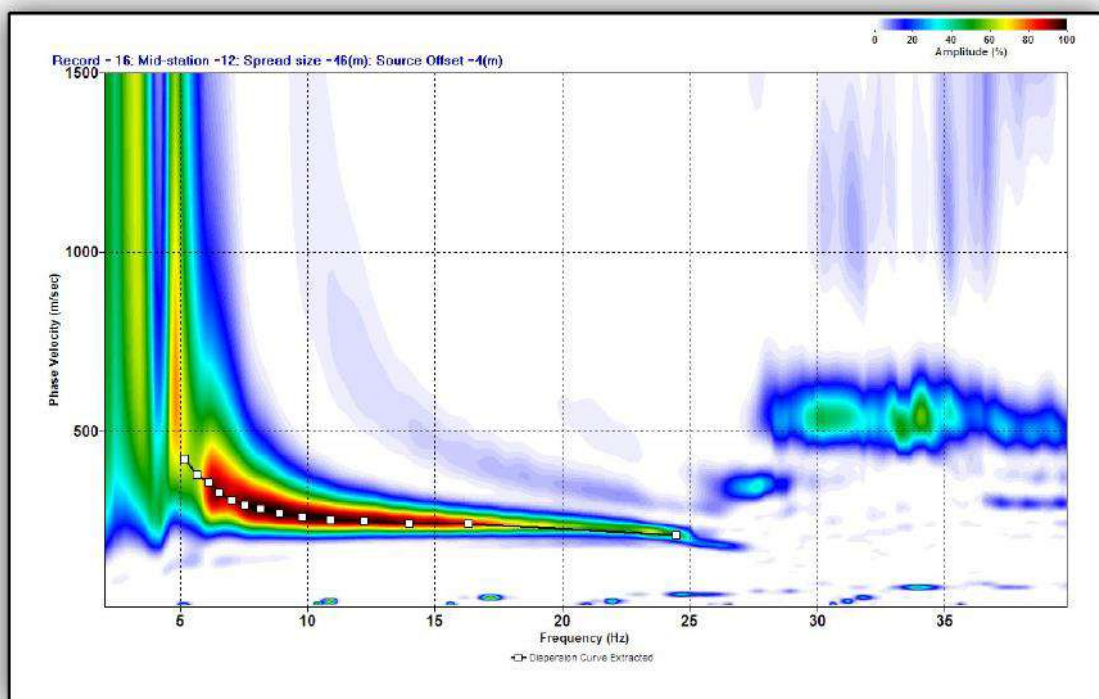
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SurfSeis 3.0 della Kansas Geological Survey.

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 Vs-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)
-1.1	160	-1.2	230
-1.9	183	-2.7	211
-4.2	226	-4.6	281
-6.4	264	-8.3	316
-9.1	253	-10.5	234
-12.5	295	-13.5	232
-16.8	292	-18.0	284
-22.1	336	-23.7	364
-28.8	379	-30.9	395
-35.9	590	-38.6	527

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:

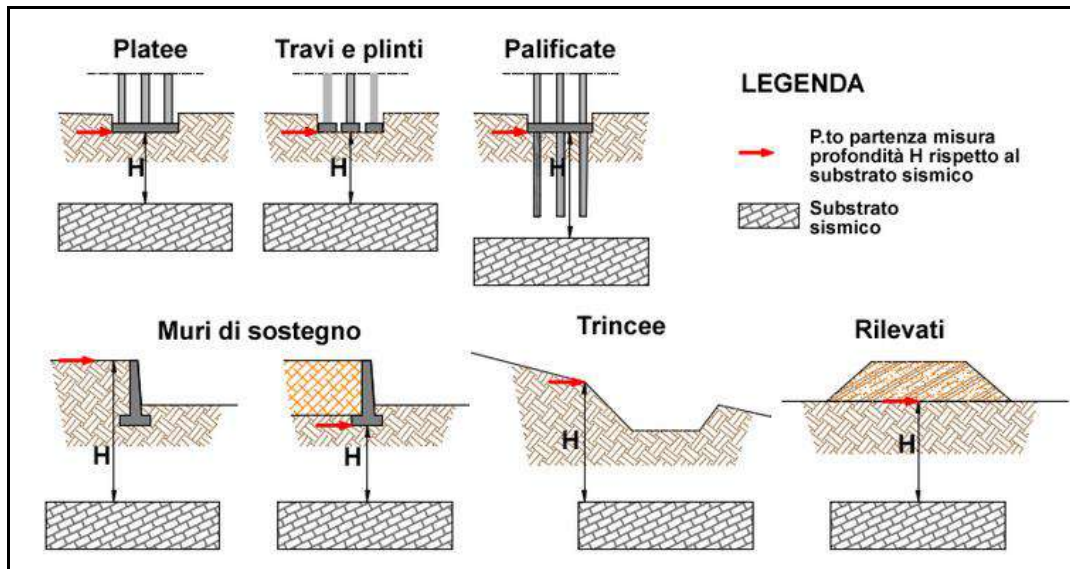
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

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 - $V_{S,30} = 294 \text{ m/s}$
- ✓ MASW 2 - $V_{S,30} = 298 \text{ m/s}$

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

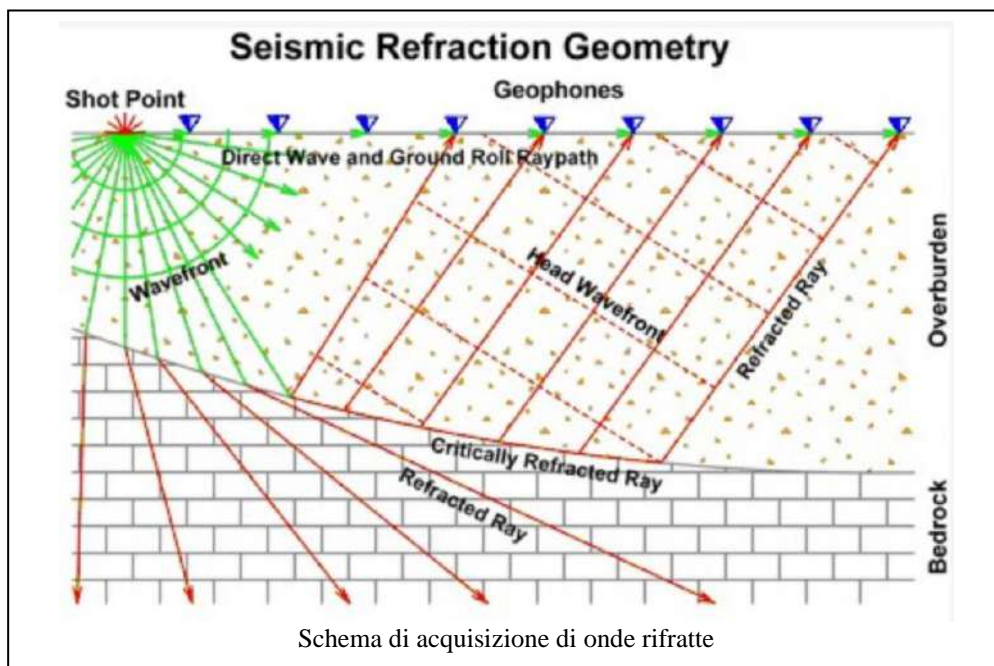
4 PROSPEZIONE SISMICA

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.

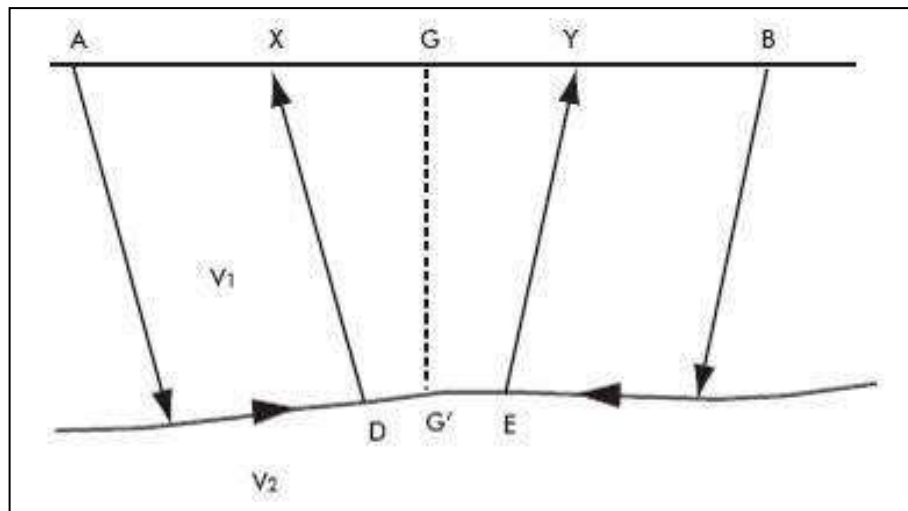
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

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 rifratore, 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.

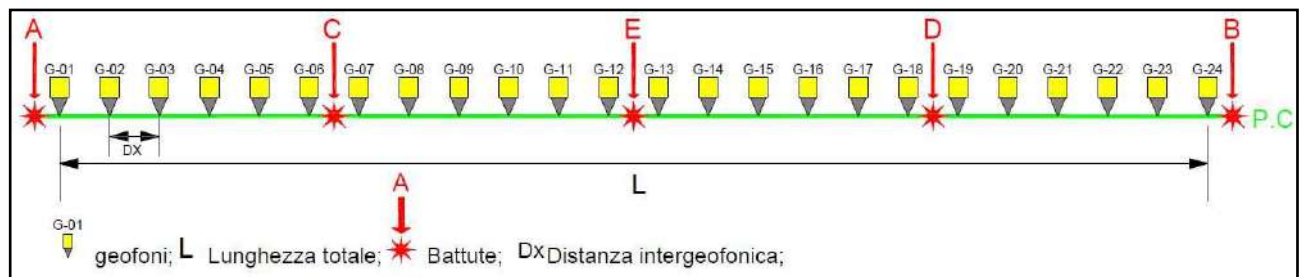
4.2 Attrezzature e tecniche operative

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 1 e 2	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 1.9-2.7 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 410-480 m/s e V_s compresa tra 172-220 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (con una profondità compresa tra 8.3-9.1 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1080-1200 m/s e V_s compresa tra 248-298 m/s;
3. **Il substrato rifratore** ha velocità V_p compresa tra 1660-1720 m/s e V_s compresa tra 302-378 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 e depositi alluvionali*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile *a limi e sabbie con ghiaie e depositi limoso ghiaiosi*;
3. **Il substrato rifratore** è associabile *ad argille*.

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 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	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.9	410	172	0.39	1.00	841	302	1313
2° sismostrato 1.9÷9.1	1080	248	0.47	1.00	1848	628	11065
substrato >9.1	1660	378	0.47	1.00	4294	1458	26174

Profilo 2

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.7	480	220	0.37	1.00	1350	494	1693
2° sismostrato 2.7÷8.3	1200	298	0.47	1.00	2659	906	13486
substrato >8.3	1720	302	0.48	1.00	2762	931	28947

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

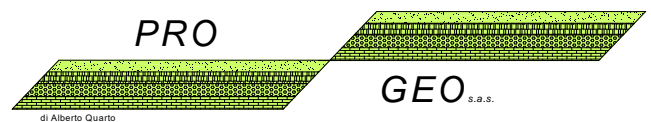
E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

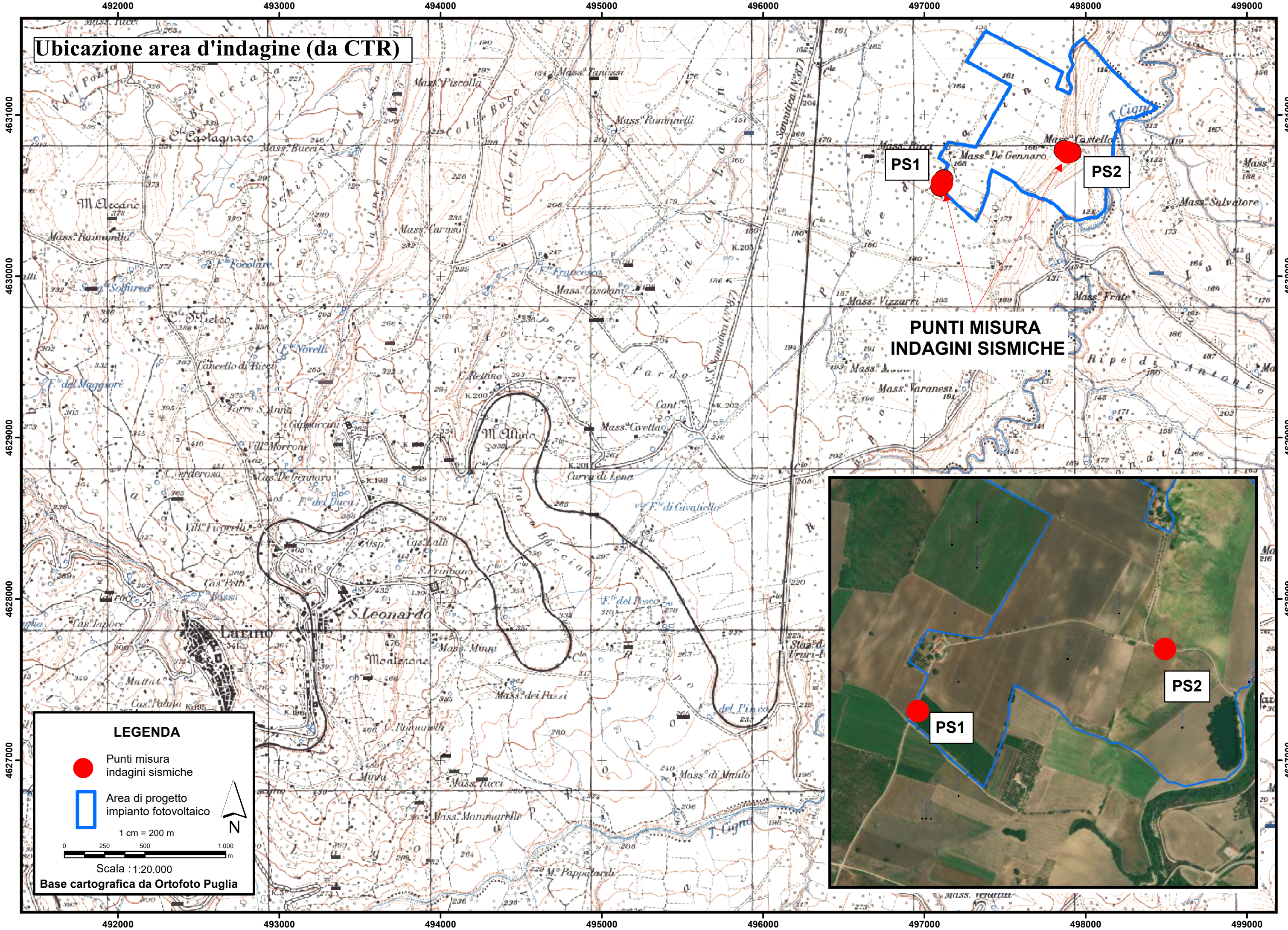
K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

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



Ubicazione area d'indagine (da CTR)



PS1

PS2

**PUNTI MISURA
INDAGINI SISMICHE**

PS2

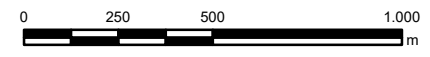
PS1

LEGENDA

● Punti misura
indagini sismiche

□ Area di progetto
impianto fotovoltaico

1 cm = 200 m



Scala : 1:20.000

Base cartografica da Ortofoto Puglia



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

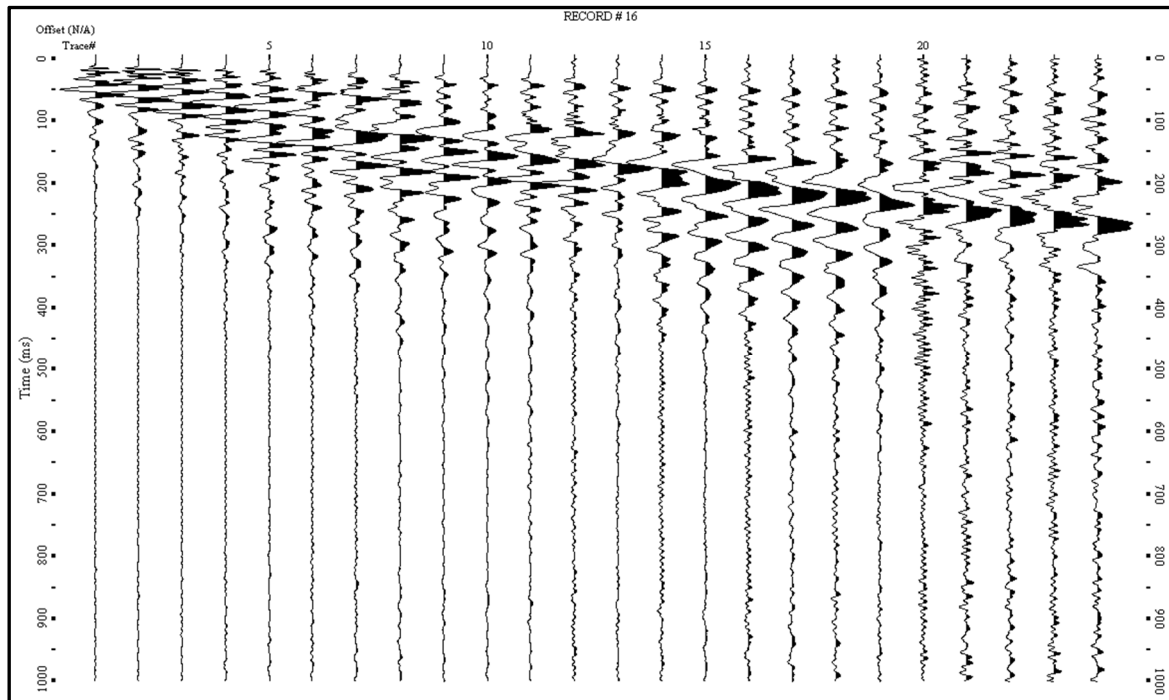
MASW
Ubicazione profilo Masw

A * Punti di energizzazione



Base cartografica da Ortofoto

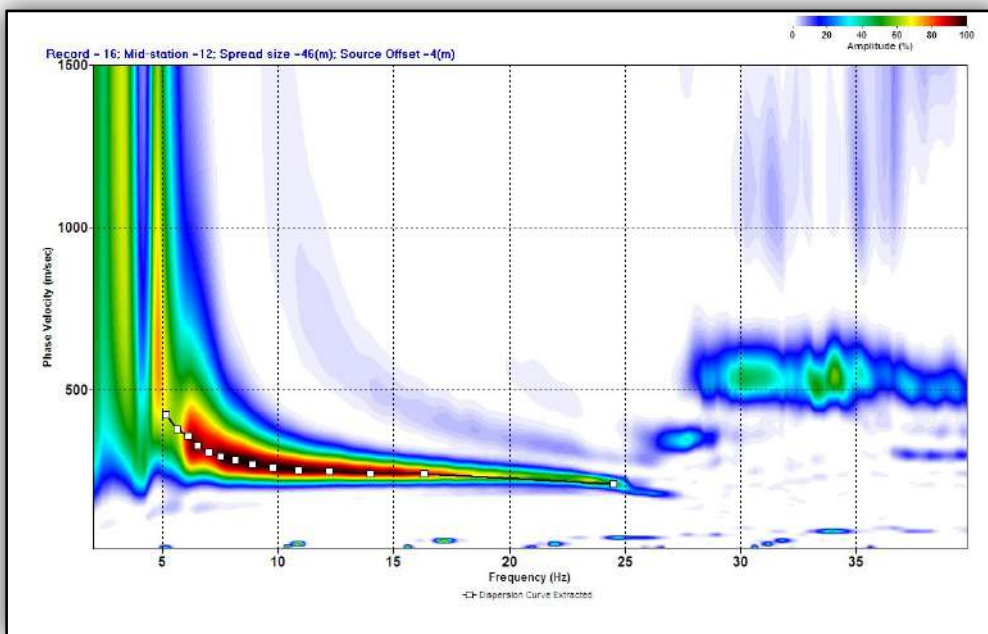
SISMOGRAMMA ANALISI MASW 1 (METODO ATTIVO)



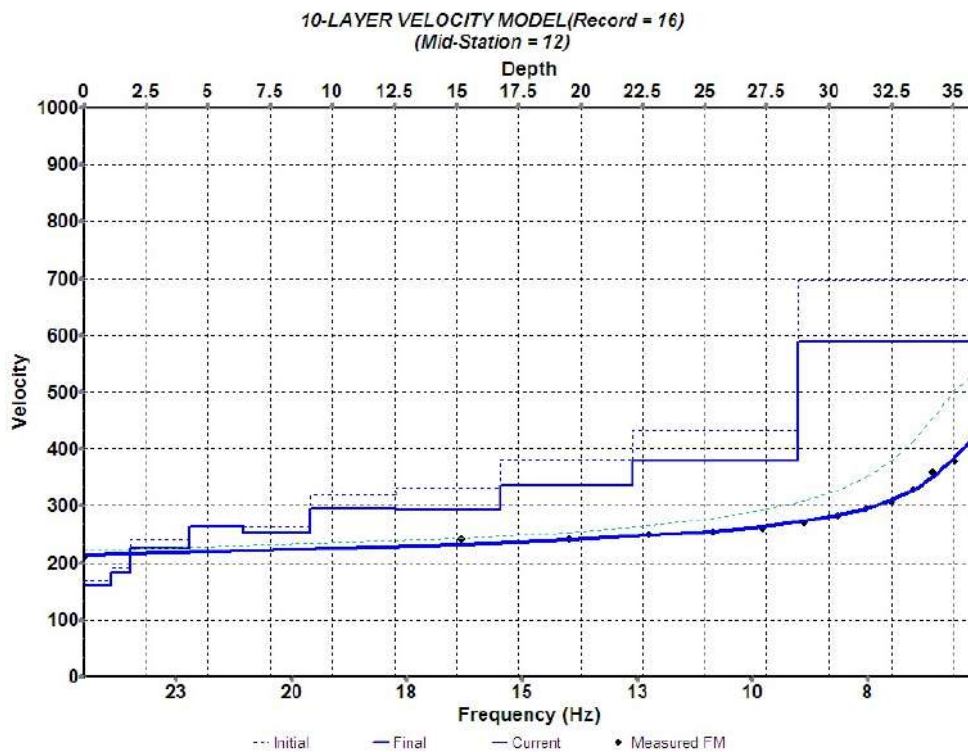
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri

ANALISI MASW (offset 4 m) – BASE SISMICA 1

Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



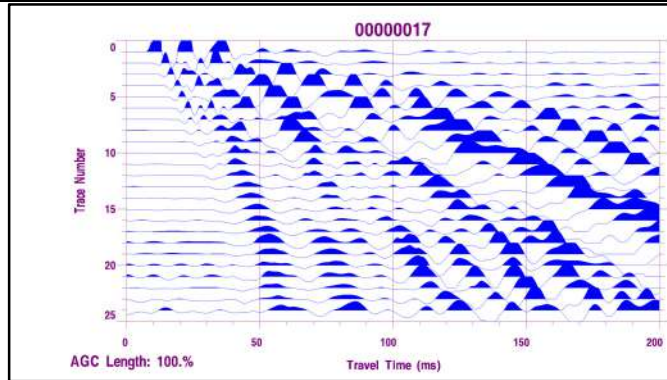
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



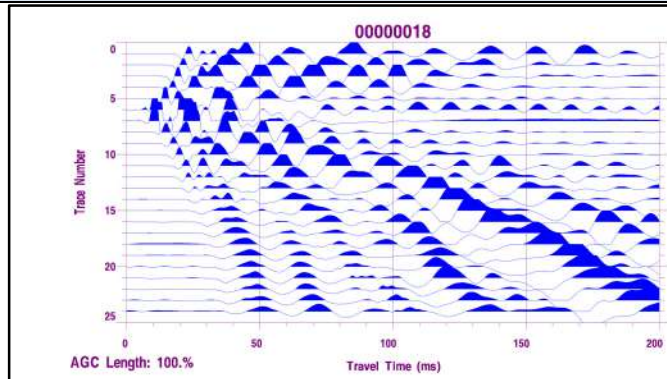
V_{s30} di: 294 m/s
Categoria di sottosuolo "C"
NTC 2018

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 1

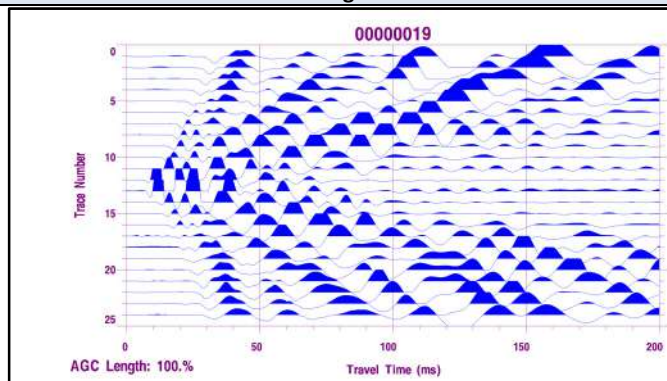
Punto sorgente "A"



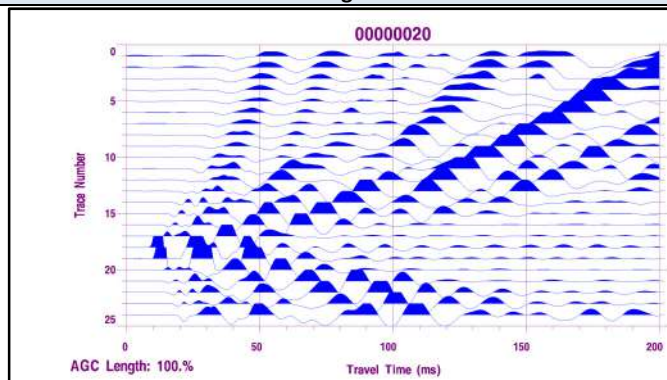
Punto sorgente "C"



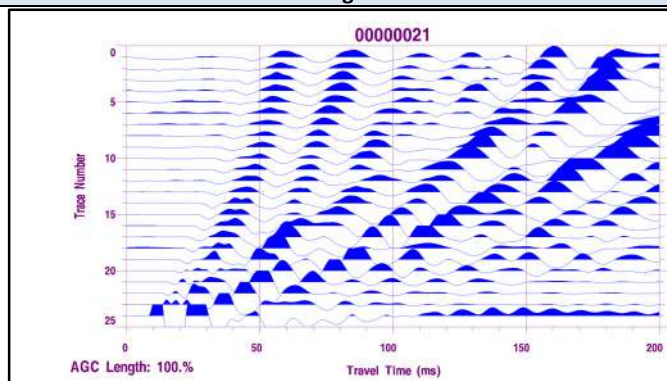
Punto sorgente "E"



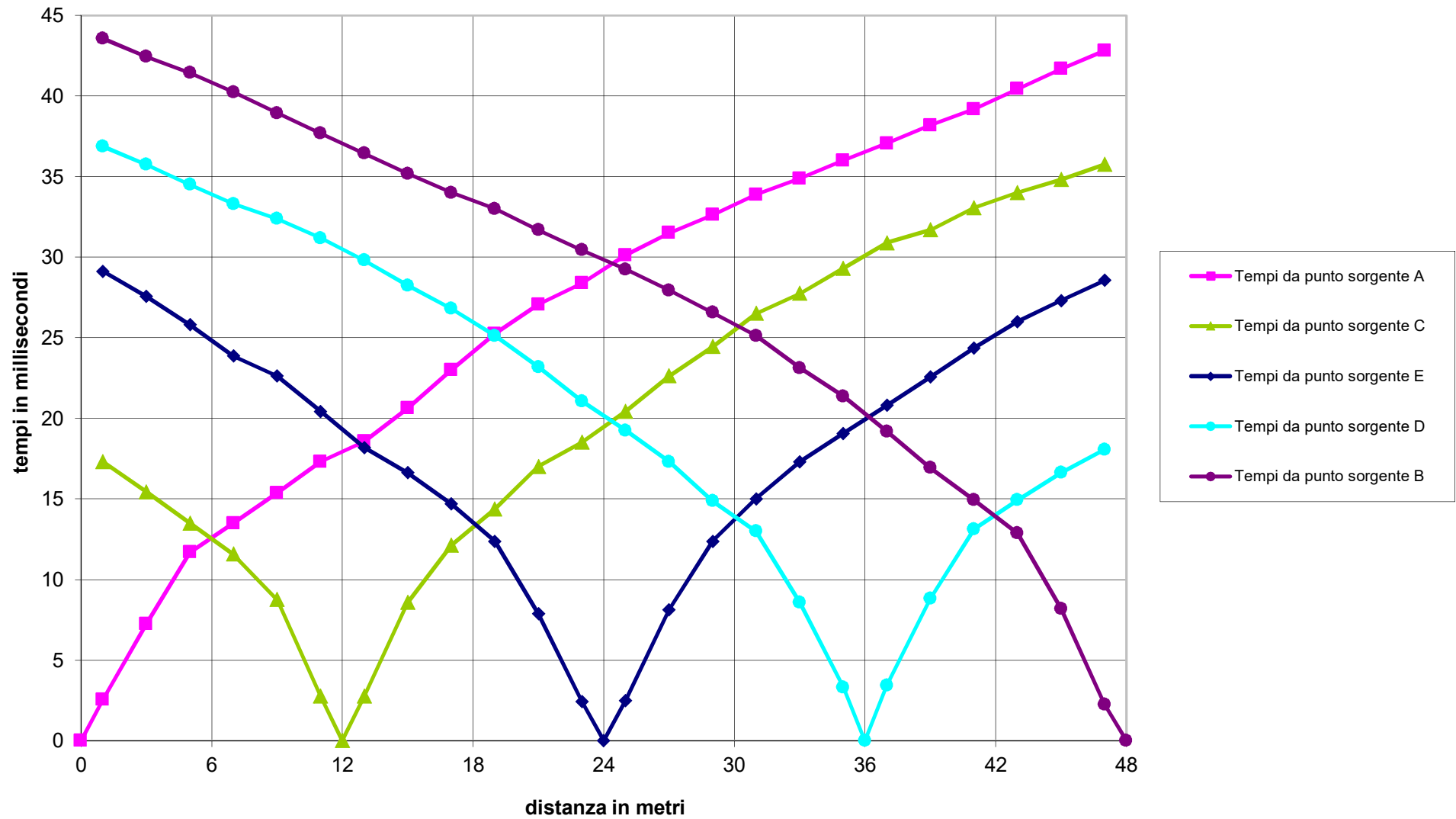
Punto sorgente "D"



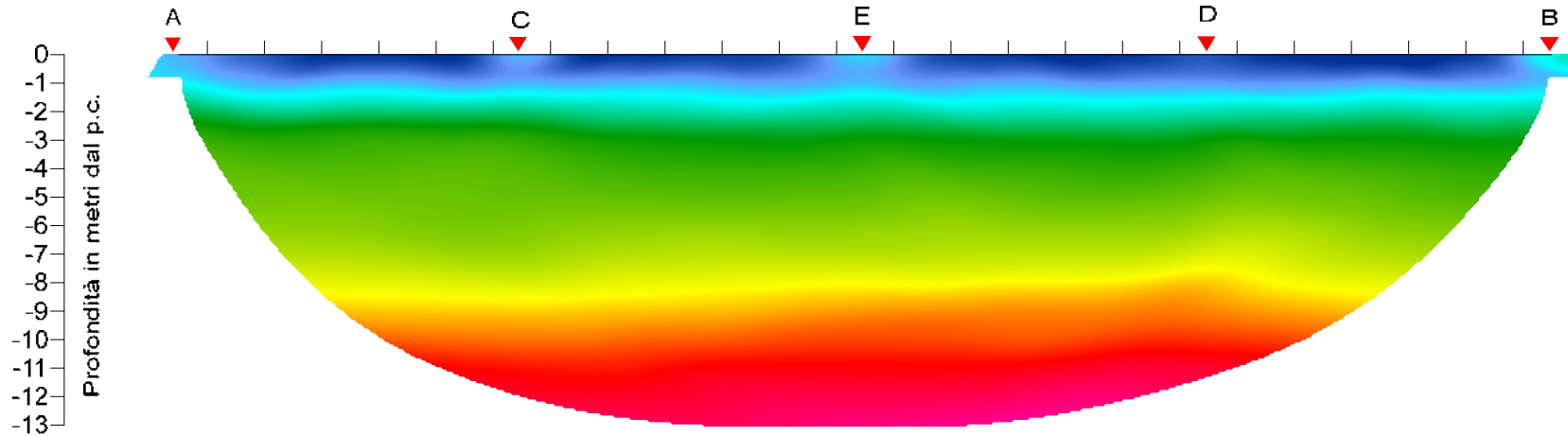
Punto sorgente "B"



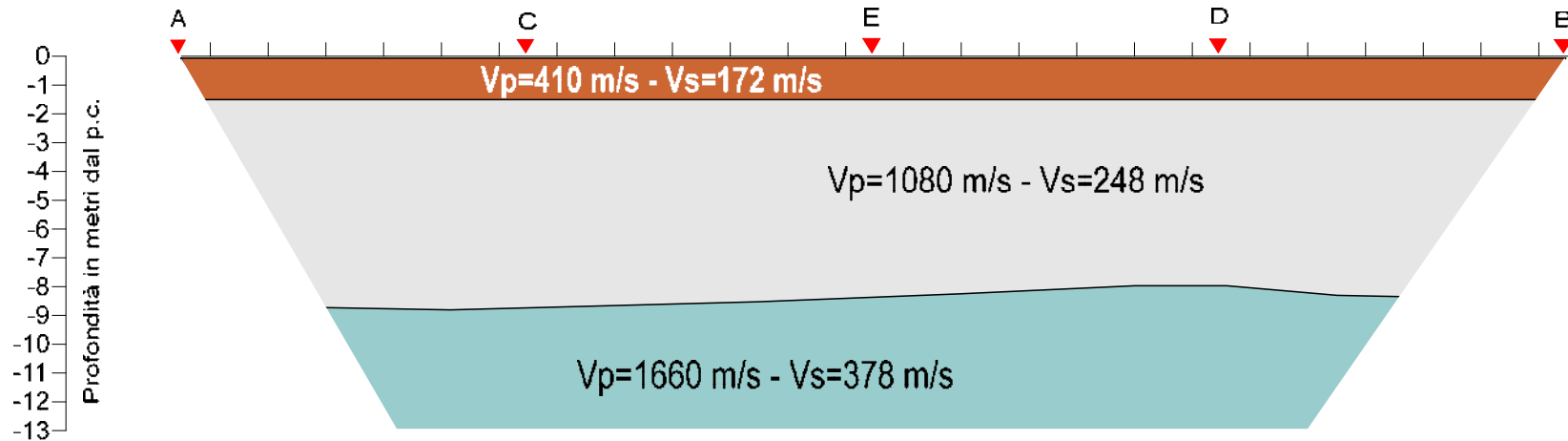
Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE LONGITUDINALI






SEZIONE TOMOGRAFICA 1



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 1



-  Terreno vegetale e alluvioni
-  Limi e sabbie con ghiaie
-  Argille

| 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 4-8 m (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw combinata (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

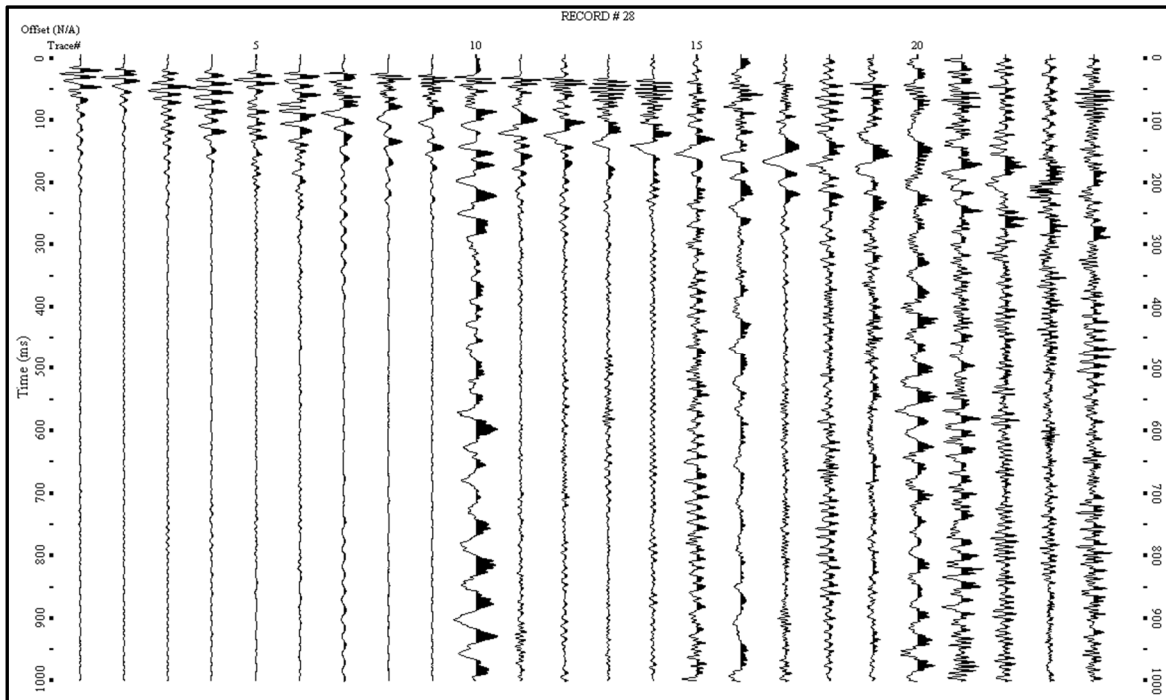
MASW
Ubicazione profilo Masw

A * Punti di energizzazione

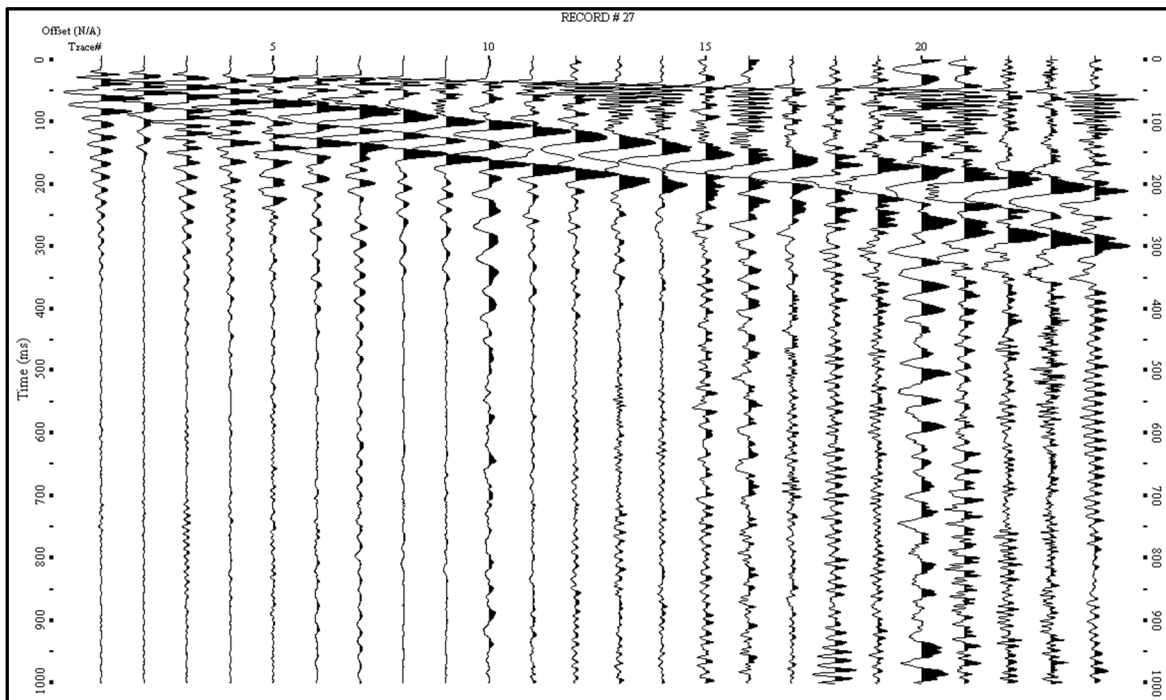


Base cartografica da Ortofoto

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 2 (METODO ATTIVO)



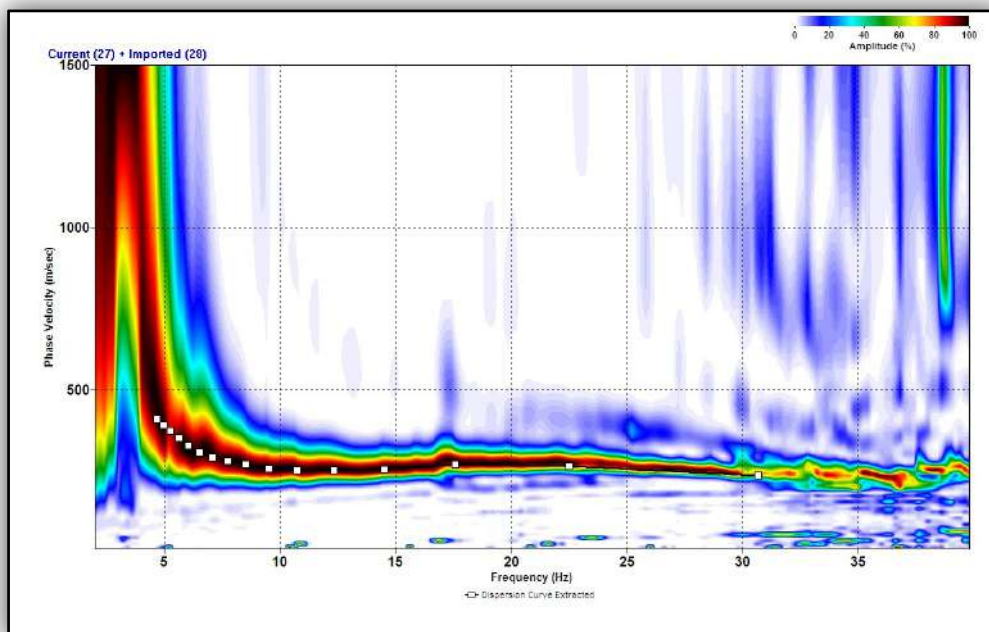
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri



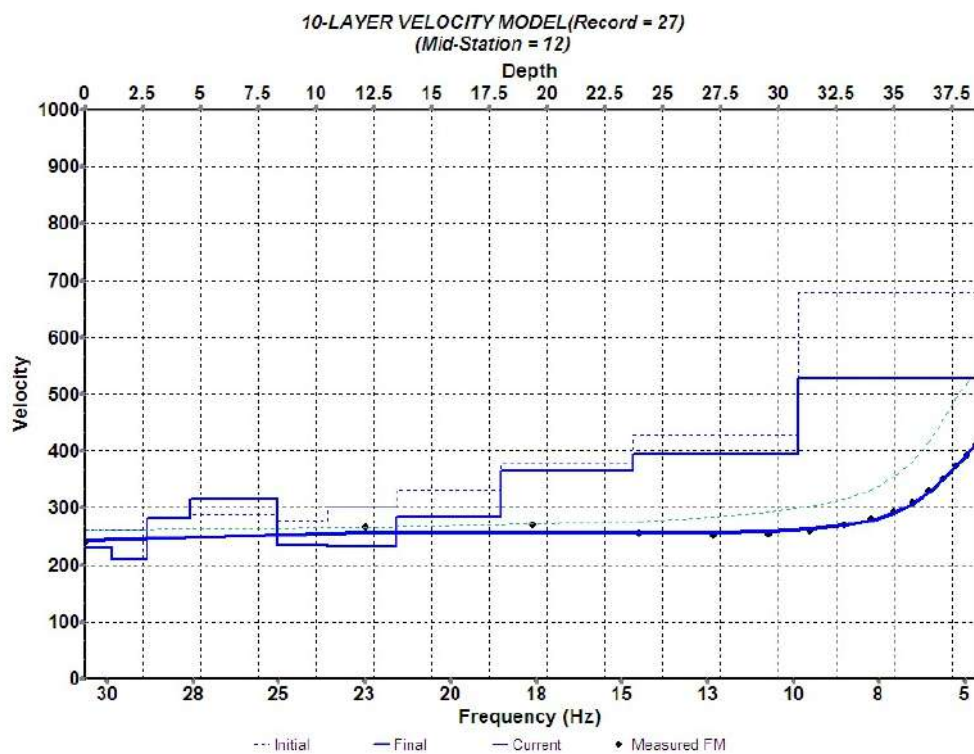
Sismogramma analisi Masw-offset 8 metri

ANALISI MASW – BASE SISMICA-2

Spettro combinato (offset 4m-8m) nel dominio velocità di fase/frequenza



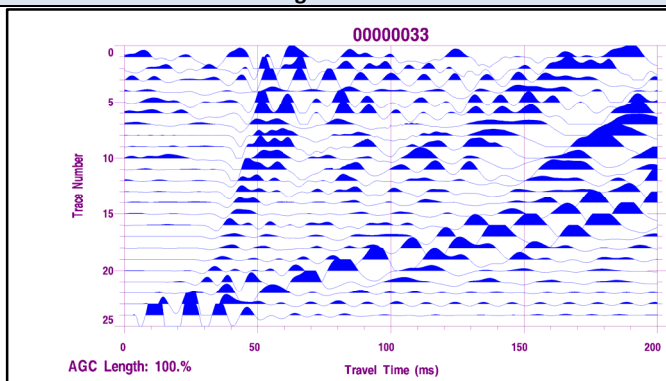
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



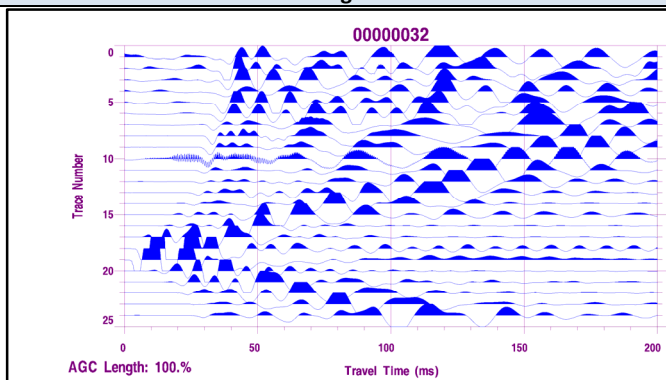
V_{s30} di: 298 m/s
Categoria di sottosuolo "C"
NTC 2018

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) 2

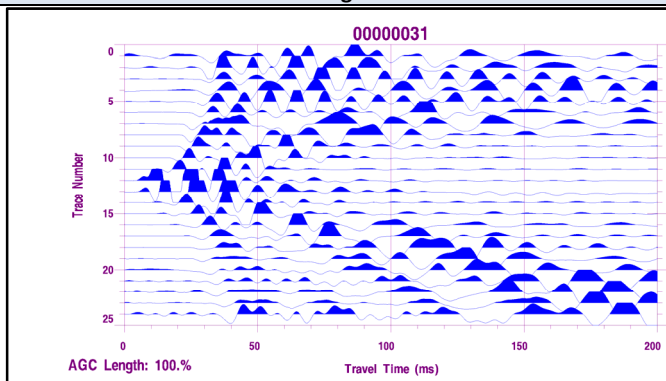
Punto sorgente "A"



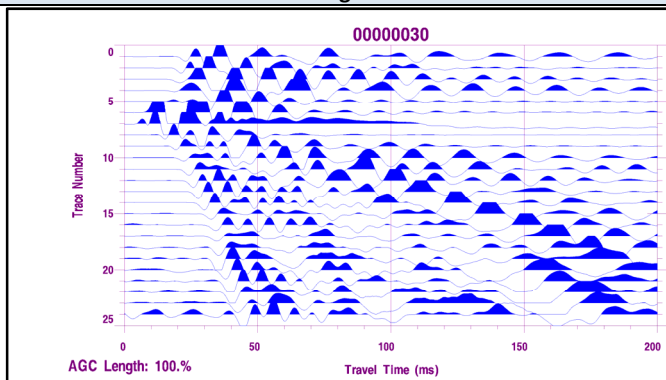
Punto sorgente "C"



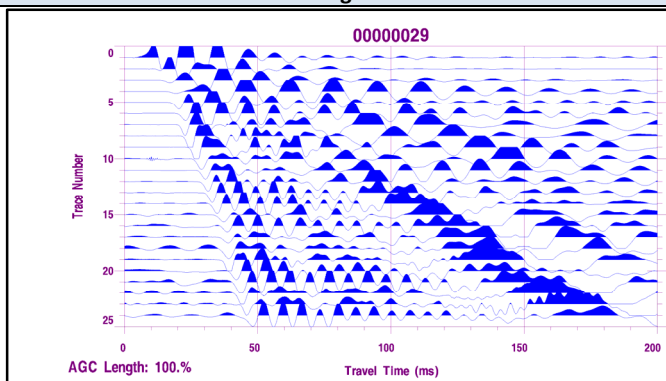
Punto sorgente "E"



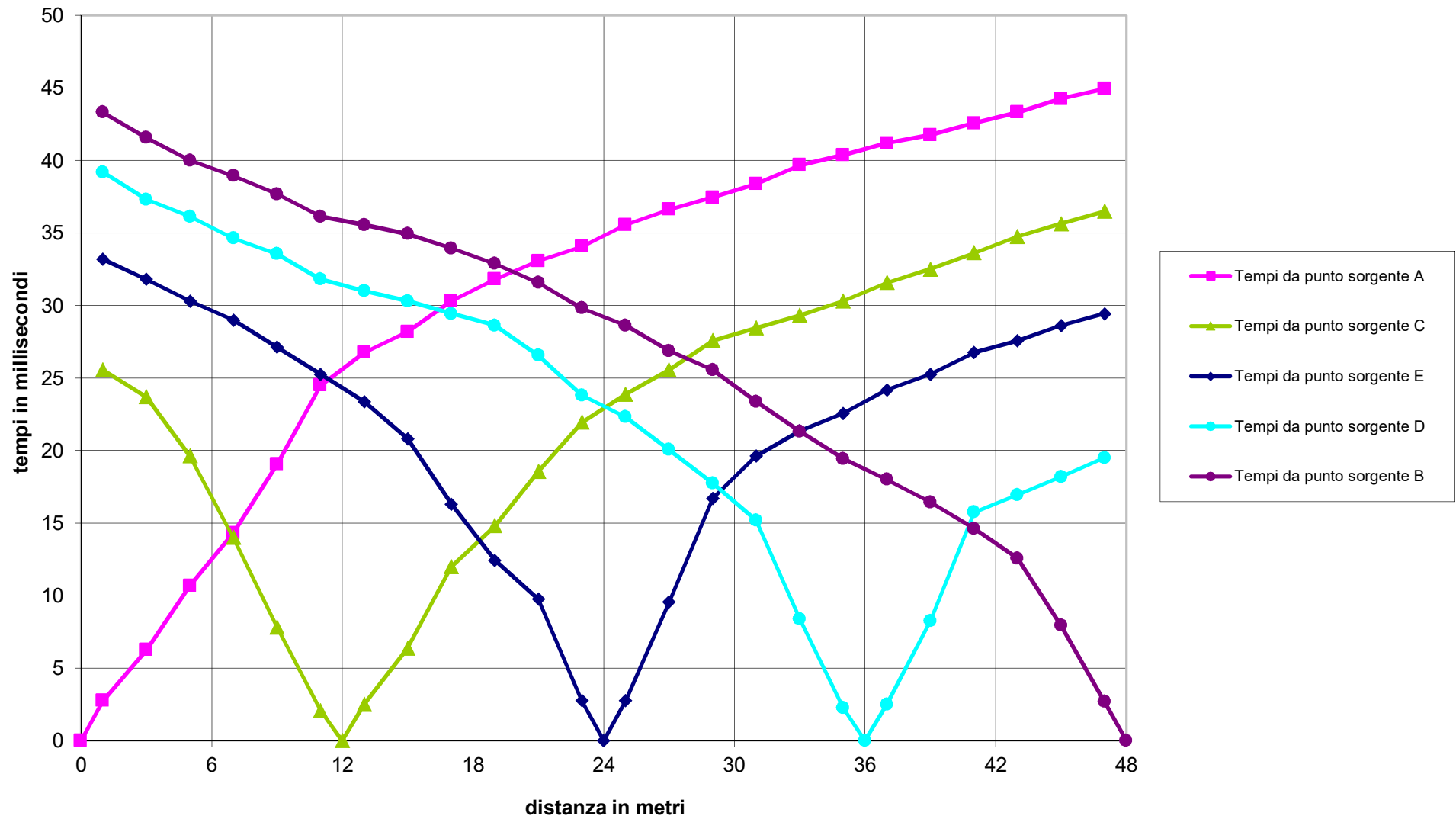
Punto sorgente "D"



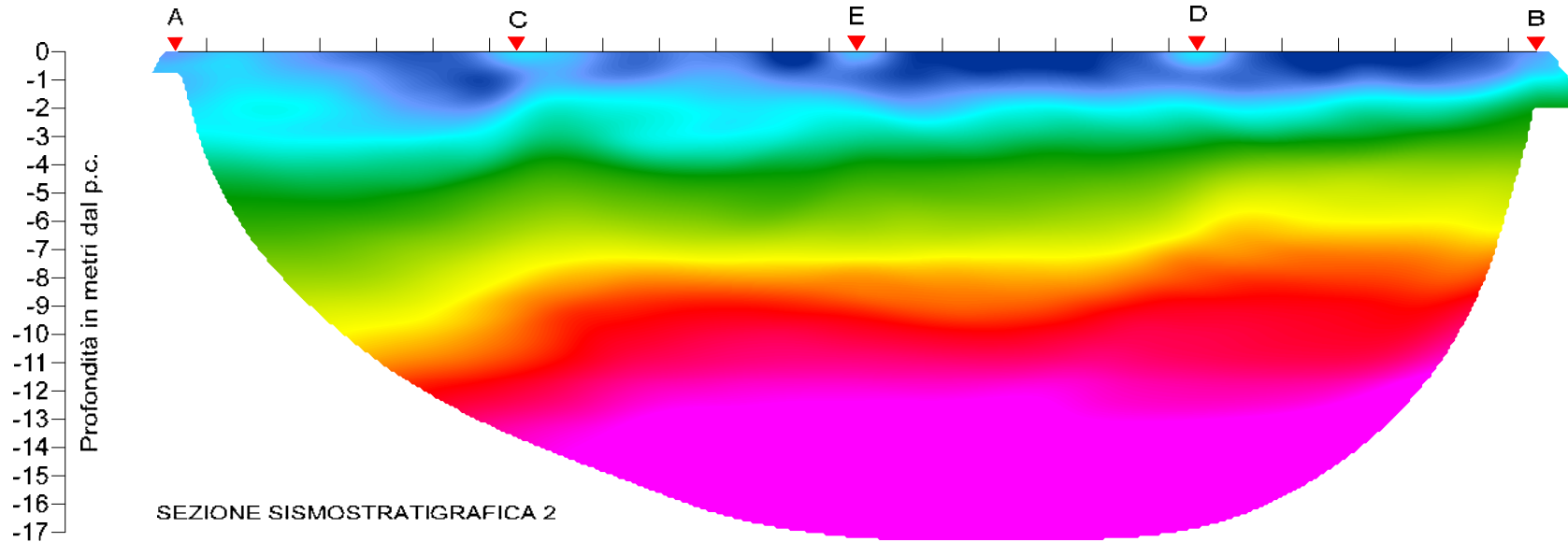
Punto sorgente "B"



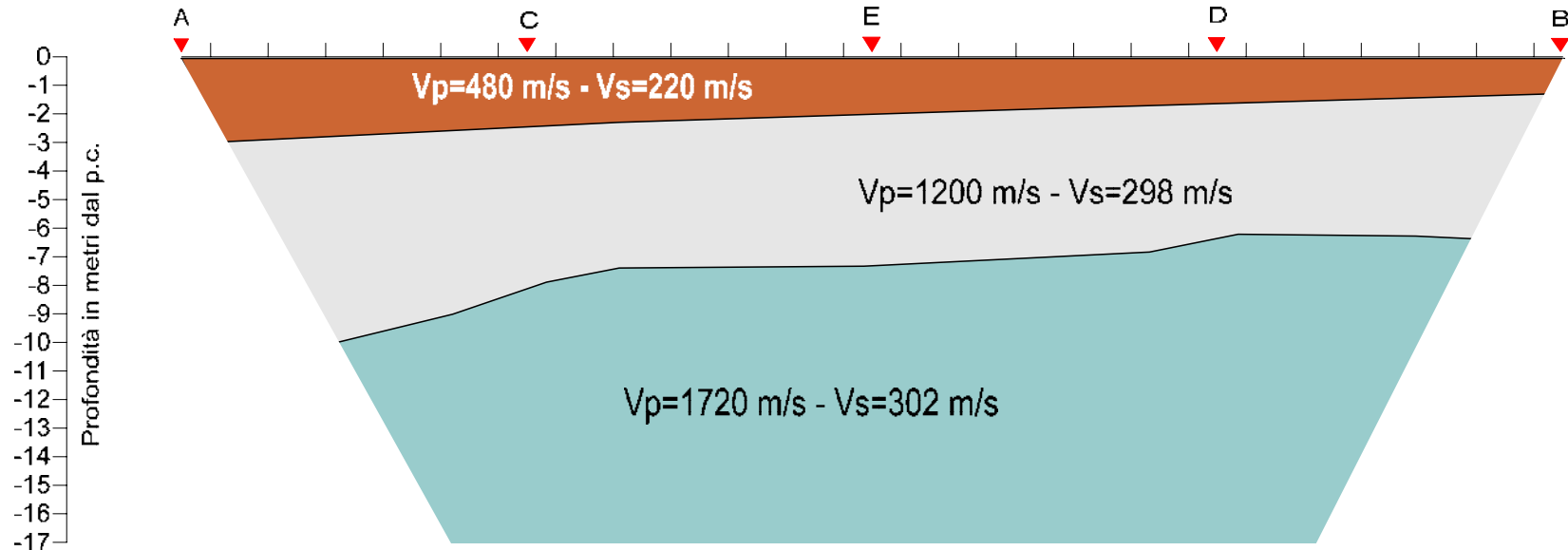
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI



SEZIONE TOMOGRAFICA 2



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 2



- Terreno vegetale e alluvioni
- Depositi limoso ghiaiosi
- Argille

I 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)