

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 STORNARA 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 Stornara, Provincia di Foggia, Regione Puglia

Località "Femmina Morta o Contessa"

Coordinate Geografiche: 41,295323°, 15.812871°

Estremi catastali:

- Foglio 12 Part. 12, 25, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 78, 89, 90,
102, 111, 112, 147, 148, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 169, 170, 180, 513 e 514
- Foglio 13 Part. 56, 79 e 141

- DATI IMPIANTO -

Potenza impianto fotovoltaico: 48,278 MWp

Numero di tracker: 4057

Distanza interasse trasversale tracker (direzione est-ovest): 10 mt

Numero pannelli fotovoltaici: 113596 da 425 Wp cad.

Codice A.U. – P.A.U.R.: 0ACK413 _RelazioneGeologica_0_03

Documento: RELAZIONE_03

**COMUNE DI STORNARA (FG)**

Progetto per un impianto agrivoltaico a terra denominato "Stornara 1" da realizzarsi nel Comune di Stornara (FG) in località "La Contessa".

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

PROPONENTE:
ENEL STORNARA 1 SRL



SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
1.1. PIANO DI INDAGINI.....	3
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
1.3. BIBLIOGRAFIA	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
3. CENNI GEOLOGICI E TETTONICI	10
3.1. GEOLOGIA DI AREA VASTA	10
3.2. GEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO.....	13
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA.....	14
4.1. PRINCIPALE VINCOLISTICA	15
5. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE – ORIGINE E NATURA DEI SEDIMENTI.....	16
6. PROCESSI MORFOLOGICI	18
7. SISMICITA' DELL'AREA.....	18
8. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA.....	21
8.1. IDROGRAFIA	21
8.2. IDROGEOLOGIA - ACQUIFERI	21
8.2.1. <i>Acquifero poroso superficiale</i>	22
8.2.2. <i>Acquifero poroso profondo</i>	23
8.2.3. <i>Acquifero fessurato-carsico profondo</i>	24
8.3. FALDE IDRICHE	25
9. QUADRO CLIMATICO GENERALE.....	28
9.1. CARATTERISTICHE METEO CLIMATICHE LOCALI.....	28
9.1.1. <i>Precipitazioni</i>	28
9.1.2. <i>Temperature</i>	30
9.1.3. <i>Umidità media stagionale - Radiazione solare media stagionale</i>	31
10. USO DEL SUOLO, CARATTERI PEDOLOGICI DELL'AREA, VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO.....	32
10.1. CARTA DI USO DEL SUOLO	32
10.2. CARATTERI PEDOLOGICI DELL'AREA	32
10.2.1. <i>Caratterizzazione pedologica generale</i>	32
10.2.2. <i>Inquadramento pedologico della regione pedologica 62.1</i>	33
10.2.3. <i>Unità Tassonomica di riferimento (Progetto ACLA 2)</i>	34

10.3. VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO	36
11. SISMICITA' DELL'AREA.....	38
12. INDAGINI IN SITU E DI RIFERIMENTO	42
12.1. PREMessa	42
12.2. PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE	42
12.3. INDAGINE SISMICA MASW	43
12.4. PARAMETRI DINAMICI DEL SOTTOSUOLO	45
13. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO	47
14. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	50
15. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	53
15.1. PREMessa	53
15.2. CORRELAZIONI CON I PARAMETRI SISMICI	53
16. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	59
16.1. CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE (COEFFICIENTE DI WINKLER)	59
16.1.1. Metodo di Bowles.....	60
17. VERIFICHE GEOTECNICHE	61
18. CONCLUSIONI.....	83

1. PREMESSA

La società ENEL STORNARA 1 Srl intende presentare una istanza per la realizzazione di un impianto agrivoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Stornara (FG). 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 e Geotecnica**" da allegare agli atti relativi al «**Progetto per un impianto agrivoltaico a terra denominato "Stornara 1" da realizzarsi nel Comune di Stornara (Fg) in località "La Contessa"**».

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 Stornara in provincia di Foggia. L'impianto sarà costituito da 113680 moduli fotovoltaici, montati su strutture metalliche per inseguimento mono-assiale (tracker), uniformemente distribuite su una superficie complessiva di circa 77 Ha. La realizzazione prevede inoltre un complesso di opere di connessione con n. 19 cabine di trasformazione BT/MT con inclusi gli inverter per conversione corrente da continua ad alternata ed una cabina MT/AT del Produttore, che verrà connessa al sistema 150 kV della stazione di Stornara di TERNA Spa.

La società proponente dell'impianto è la Enel Stornara 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.

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 geotecniche e sismiche 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. 3 sondaggi sismici a rifrazione in onde P e n. 3 prove sismiche, tipo MASW; il tutto effettuato in data 08.07.2020;
- 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. Legge n. 64 del 02.02.1974. *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*;
2. 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..."*;
3. Circolare Min. LL. PP. n. 30483 del 24.09.1988 - *"Norme di attuazione del D.M. 11.03.1988"*;
4. Circolare Ministero Lavori Pubblici 9 gennaio 1996 n. 218/24/3. Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. *"Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica"*;
5. Legge Regionale 9 dicembre 2002, n. 19 - *Istituzione dell'Autorità di bacino della Puglia*;
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. Autorità di Bacino della Puglia - Deliberazione del Comitato Istituzionale del 15.12.2004 - *"Adozione del Piano di Bacino della Puglia, stralcio "assetto idrogeologico" e delle relative misure di salvaguardia*;
9. D.Lgs. 152 del 3 Aprile 2006 – *"Norme in Materia Ambientale"* e succ. mod. ed int.;
10. Deliberazione della Giunta Regionale n. 176 del 16/02/2015 – *Approvazione del Piano Paesaggistico Territoriale della Regione Puglia (PPTR)*;
11. Regolamento Regionale 11 marzo 2015, n. 9 – *"Norme per i terreni sottoposti a vincolo idrogeologico"*;
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"*.
14. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 19 giugno 2019 – *"Approvazione di varianti al Piano stralcio assetto idrogeologico (PAI), assetto geomorfologico e assetto idraulico del territorio della ex Autorità di Bacino della Puglia"*.

1.3. Bibliografia

- BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1982) – “*Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino pugliese (Avanfossa Appenninica)*”. *Geologia Romana*, 21, 1-28, 20 figg., 1984, Roma.
- BOENZI F. (1983) – “*Il quadro geografico-fisico in: Puglia, un mezzogiorno diverso*”. *La Geografia nelle scuole*, 28(2), 69-82, Opicina, Trieste.
- BOSCHI, E. GUIDOBONI, E. FERRARI, G. MARIOTTI, D. VALENSISE, G. GASPERINI, P. (2000) – “*Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*”. *Annali di Geofisica*, 43, 609-868.
- BOWLES J. E. (1991) – *Fondazioni, progetto e analisi* – McGraw-Hill.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1993) – “*Nuovi dati per la conoscenza geologica e morfologica del Tavoliere di Puglia*”. *Bonifica*, 3, 25-42, 12 figg., Foggia.
- CASNEDI R. (1988) – “*La fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*”. *Mem. Soc. Geol. It.* 41, 439-448, 7 figg., 1992, Roma.
- CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1982) – “*Evoluzione della avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene, sulla base dei dati di sottosuolo*”. *Mem. Soc. Geol. It.*, 24, 243-260, 10 figg., 1984, Roma.
- CELICO P. (1986) – “*Prospezioni idrogeologiche*” Volume I e II, Liguori editore s.r.l.
- CIARANFI N., LOIACONO F., MORETTI M. - *Note illustrative alla carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 408 "Foggia"* - ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) – Servizio Geologico d'Italia, 2011.
- COTECCHIA V. (1956) – “*Gli aspetti idrogeologici del Tavoliere delle Puglie*”. *L'Acqua*, 11-12, 168-180, 6 figg..
- DEL GAUDIO V. – “*Elementi per la stima della pericolosità sismica in Puglia*”. *Geologi e Territorio* n. 2/2007.
- FERRANTE F. S. – “*Relazione geologica per il progetto definitivo di un impianto eolico della potenza di 17,5 MW nel territorio di Manfredonia, in loc. Macchia Rotonda*”. *Comm. EOLSIPONTO S.r.l.*, 2012.
- G.N.D.T. — I.N.G. — S.S.N. (1996) – “*Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani*”.- http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/16.html.
- GRUPPO DI LAVORO (2004) – “*Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*”, INGV Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici, http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/rapporto_conclusivo.pdf.
- ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE – “*Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio n. 409 (Zapponeta)*”. ISPRA, Roma, 2011.
- LAMBE T. WILLIAM, WHITMAN ROBERT V. (1997) – “*Meccanica dei terreni*” – Dario Flaccovio Editore.

- MAGGIORE M., NUOVO G. & PAGIARULO P. (1996) – *“Caratteristiche idrogeologiche e principali differenze idrochimiche delle falde sotterranee del Tavoliere di Puglia”*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 669-684, 12 figg., Roma.
- MERLA G., ERCOLI A. & TORRE D. (1969) - *Note illustrative alla Carta geologica d'Italia: F° 164 “Foggia”*. Serv. Geol. d'Italia, 1-22, Roma
- MONACHESI G., STUCCHI M. (1997) – *“DOM 4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno”*, C.N.R. — G.N.D.T., aggiornamento Web 2000, <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>
- RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F. & PIERI P. (1988) – *“Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell’Avanpaese Apulo”*. Mem. Soc. Geol. It., 41 (1), 57-82, 15 figg., 1992, Roma.
- ZORZI L., REINA C., (1956) - *“Sulla presunta idrografia sotterranea profonda della capitanata”*. «Geotecnica» A. 3°, n. 1.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio, ubicata nella zona orientale del territorio comunale di Stornara (Fg) al confine con il territorio comunale di Cerignola, ricade nella porzione centrale del Tavoliere di Puglia che è situato nella parte settentrionale della Regione pugliese e costituisce la più estesa pianura dell'Italia meridionale; si sviluppa in direzione NO-SE ed è compreso tra il F. Fortore a nord, i Monti della Daunia ad ovest, il Gargano e il mare Adriatico ad est, e il F. Ofanto a sud.

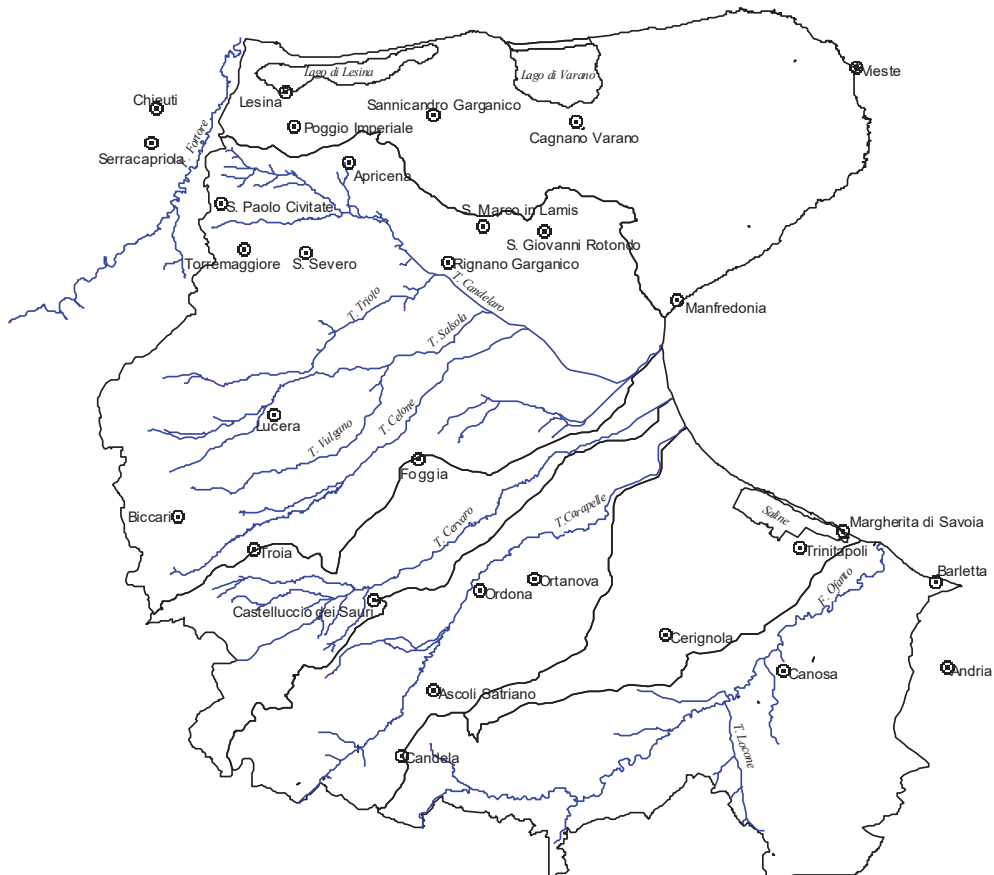


Fig. 1 – Limiti geografici del Tavoliere di Puglia (Masciale R., 2002-2003)

Il Tavoliere è l'unica area della Puglia ad essere dotata di una rete idrografica ben definita, costituita da corsi d'acqua a regime prevalentemente torrentizio che incidono i depositi quaternari. Morfologicamente il Tavoliere è una pianura lievemente ondulata caratterizzata da vaste spianate che digradano debolmente verso mare a partire dalle quote più alte del margine appenninico. È possibile distinguere da ovest verso est ben cinque distretti morfologici (Boenzi, 1983): un'area collinare, una zona a ripiani, una vasta piana alluvionale antica, una piana costiera ed una zona litorale. La prima zona, che borda il margine orientale appenninico, è rappresentata da rilievi collinari, posti a 300-

400 m di quota. I ripiani corrispondono a terrazzi marini, che digradano verso l'Adriatico e sono, a luoghi, delimitati verso est da scarpate poco elevate, corrispondenti a ripe di abrasione. La piana alluvionale si estende con continuità dalla zona dei terrazzi più antichi fino alla piana costiera che corrisponde, per gran parte, ad antiche aree lagunari (Lago di Salpi e Lago Salso) successivamente colmate per fatti naturali ed antropici.

La zona litorale è costituita da depositi di spiaggia caratterizzati dalla presenza di dune sabbiose, rappresentate da dossi allungati parallelamente alla riva.

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. 422 "Cerignola" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000;
- foglio n. 422 "Cerignola" della Carta d'Italia in scala 1:50.000;
- tavoletta topografica I N.O. "Orta Nova" del Foglio n. 175 della Carta d'Italia in scala 1:25.000.



Fig. 2 – Inquadramento territoriale: area vasta

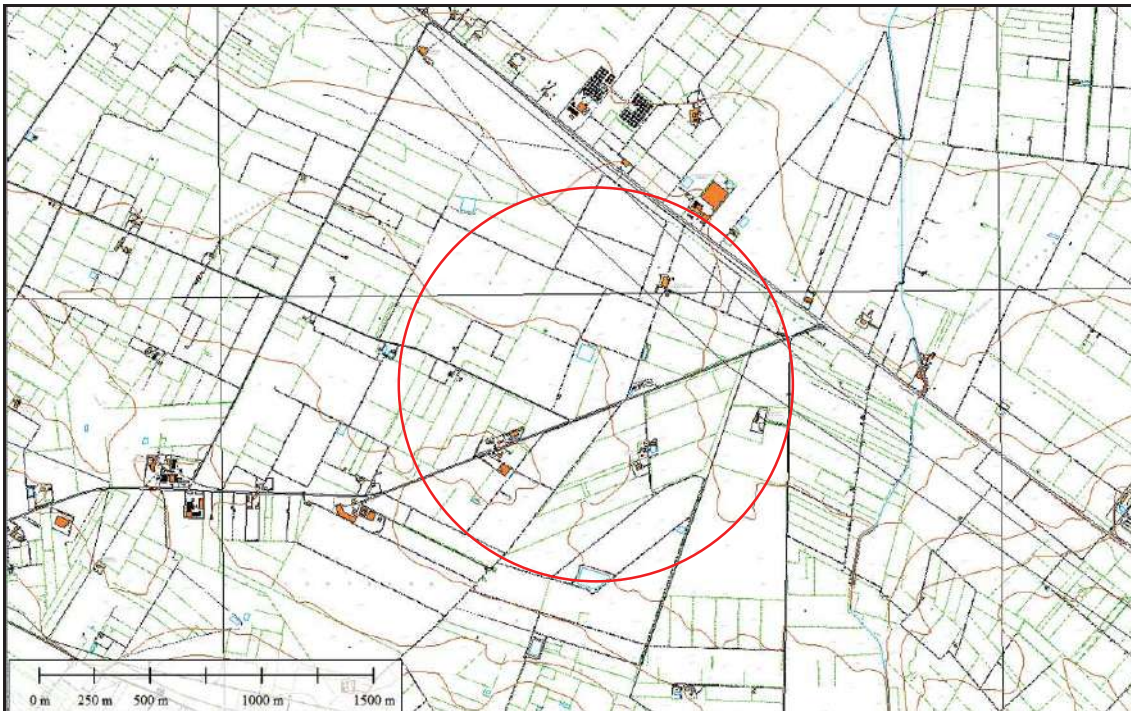


Fig. 3 – Inquadramento territoriale: area di interesse

L'area oggetto di intervento è caratterizzata dalla morfologia tipica di tutto il Tavoliere e cioè con vaste spianate inclinate debolmente verso il mare, interrotte da valli ampie.

Nella zona esaminata, posta a circa 3 km. a N-E dell'agglomerato urbano di Stornara e a circa 8 km. a N-W dell'abitato di Cerignola, non si evidenziano significativi segni di erosione né tanto meno fenomeni gravitativi; una analisi dell'intera area non ha evidenziato fenomeni di dissesto in atto, la giacitura degli strati è sub-orizzontale, l'assetto dei fabbricati esistenti risulta stabile.

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. Geologia di Area vasta

Il Tavoliere di Puglia rappresenta la parte settentrionale dell'Avanfossa adriatica meridionale, nota in letteratura anche come Fossa bradanica. La sua storia geologica è strettamente collegata all'evoluzione paleogeografica dell'Avampaese apulo. Essa, infatti, inizia a delinearsi agli inizi del Terziario nel corso dell'orogenesi appenninico – dinarica contestualmente all'avanzare delle falde appenniniche verso est (Ricchetti et al., 1988).

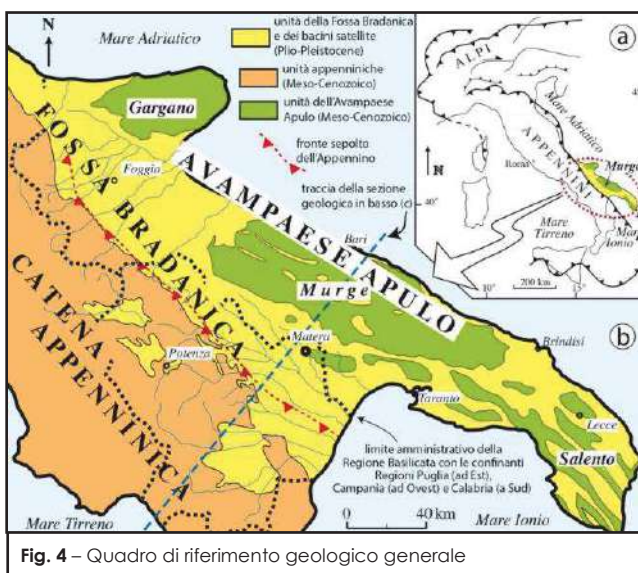


Fig. 4 – Quadro di riferimento geologico generale

Con il Pliocene, la Fossa bradanica viene a costituire l'avanfossa della Catena Appenninica; il carico della catena determina infatti l'abbassamento della Fossa e l'inarcamento delle Murge che assumono la struttura di un'ampia piega anticlinale a cui il sistema di faglie distensive, con trend NO-SE, ha dato l'aspetto di un ampio "horst". A seguito della subsidenza, la Fossa è sede di un'intensa attività

sedimentaria con l'accumulo di potenti corpi sabbioso-argillosi. Nel Pleistocene inferiore, ha inizio una fase di generale sollevamento testimoniata dall'esistenza di depositi sommitali di carattere regressivo (Balduzzi et al., 1982). A questa tendenza regressiva, si sovrappongono le oscillazioni glacio-eustatiche quaternarie che portano alla formazione dei depositi marini terrazzati (Caldara & Pennetta, 1993) e dei depositi alluvionali.

Nel Tavoliere affiorano litotipi di diversa natura ed età. Sulla base dei caratteri litostratigrafici e in considerazione dell'area geografica di appartenenza, i terreni localmente affioranti sono stati riferiti a più complessi stratigrafici:

- Complesso delle unità della Catena Appenninica (Cretaceo – Pliocene medio);
- Complesso delle unità dell'Avampaese Apulo (Cretaceo – Pleistocene sup.);
- Complesso delle unità del Tavoliere (Pliocene – Olocene).

La sezione geologica di seguito riportata illustra, schematicamente, i rapporti di posizione delle diverse unità.

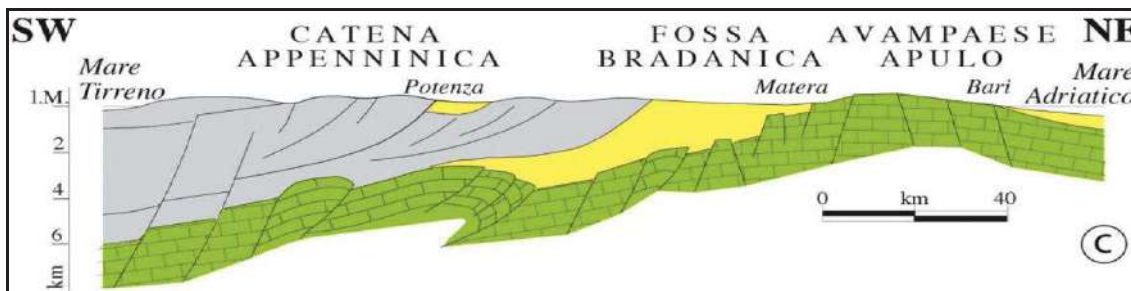


Fig. 5 – sezione geologica schematica dei rapporti stratigrafici.

Tralasciando, per sintetizzare, la descrizione dei Complessi stratigrafici della Catena Appenninica e dell'Avampaese Apulo, si ritiene opportuno spendere alcune parole per descrivere il Complesso stratigrafico del Tavoliere, complesso affiorante nell'area di nostro interesse.

Le unità del Tavoliere sono costituite dai depositi di riempimento, di età pliocenica e infrapleistocenica, dell'Avanfossa appenninica e dai depositi marini e alluvionali delle coperture medio-suprapleistoceniche e oloceniche della piana. Tali depositi, rinvenuti nel sottosuolo nel corso delle numerose perforazioni eseguite per la ricerca di idrocarburi, sono il prodotto dell'intensa attività sedimentaria, tipica di un bacino subsidente, che ha interessato l'Avanfossa appenninica a partire dal Pliocene inferiore (Ciaranfi et alii, 1979; Ricchetti et alii, 1988). Si tratta di argille, indicate con il generico termine di "Argille grigio azzurre" per via del loro colore tipico che, nella parte più superficiale, tende al giallastro a causa dei fenomeni di alterazione; stratigraficamente, risultano sovrapposte ad un substrato di rocce carbonatiche di età prepliocenica. All'interno della successione argillosa, sono presenti, a diverse altezze stratigrafiche, interstrati sabbiosi formanti corpi lenticolari di modesto spessore.

La sezione geologica riportata in Fig. 5, ricostruita attraverso le stratigrafie dei pozzi per la ricerca di idrocarburi e dei pozzi attestati nel substrato pre-pliocenico, mostra chiaramente come lo spessore di questa unità diminuisca passando da circa 2000 m (pozzo I 47), sul bordo dell'Appennino, a circa 140 m (pozzo C2), in corrispondenza del T. Candelaro.

Nella parte medio bassa della piana le Argille grigio azzurre sottostanno alla copertura alluvionale. La serie si chiude con i terreni sabbiosi e sabbioso-conglomeratici del

Pleistocene inferiore affioranti in un'estesa zona compresa tra Ascoli Satriano e Lavello, in una sottile fascia lungo il F. Fortore e nei pressi di Serracapriola dove risultano prevalentemente sabbiosi ("Sabbie di Serracapriola").

La giacitura di tali depositi è data da strati orizzontali o con deboli inclinazioni; in profondità il loro assetto risulta condizionato dalla morfologia del substrato pre-pleiocenico, dislocato da faglie, formante una struttura a blocchi nel quale si individuano numerosi «alti» e «bassi» tettonici. Gli alti tettonici del substrato, assieme alle sovrastanti anticlinali dei livelli sabbiosi pliocenici depositati «a drappeggio» su tali blocchi, costituiscono le numerose trappole dei giacimenti gassiferi presenti nella zona.

La storia geologica dell'intera area può essere così sintetizzata:

1. formazione di una estesa piattaforma carbonatica mesozoica;
2. frammentazione della piastra Apula e individuazione dell'Avanfossa a partire dal Miocene;
3. riempimento di questo bacino subsidente nel Plio-pleistocene;
4. sollevamento regionale concomitante con oscillazioni glacio-eustatiche del livello del mare e conseguente importante fase di terrazzamento pleistocenico-olocenico.

La sezione geologica di seguito riportata illustra, schematicamente, i rapporti di posizione delle diverse unità.

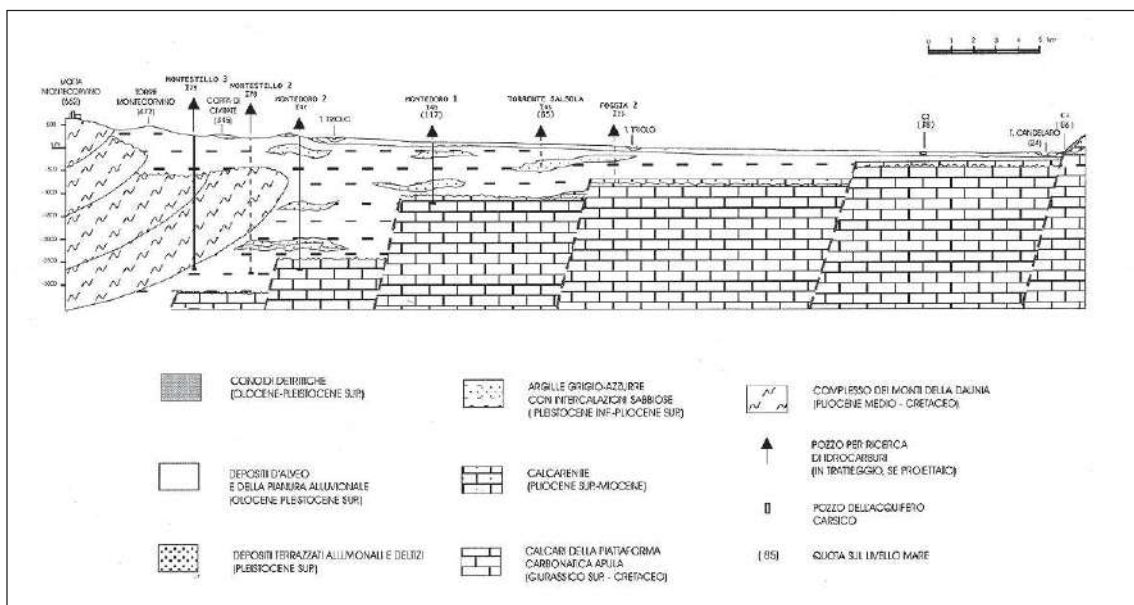


Fig. 6 – sezione geologica schematica dei rapporti stratigrafici.

Nell'area di nostro interesse e sulla base dei dati di superficie e di sottosuolo è possibile distinguere nell'area del Foglio "Cerignola" due unità stratigrafiche che rivestono anche una notevole importanza dal punto di vista paleogeografico:

- *la piattaforma apulo-garganica* appartenente al dominio strutturale di avampaese, costituita da una successione sedimentaria la cui età accertata va dal Permiano fino al Miocene;
- *la successione di riempimento della Fossa Bradanica* appartenente al dominio strutturale di avanfossa, la cui età, nell'area del Foglio, va dal Pliocene medio al Pleistocene medio.

3.2. Geologia dell'area di studio

Dal punto di vista geologico, con riferimento alla letteratura ufficiale della zona, il sottosuolo dell'area in esame è parte integrante dei terreni quaternari sommitali che formano la pianura della Capitanata, costituiti da depositi alluvionali continentali e marini di ghiaie, sabbie e argille. Seguono in profondità depositi marini pliocenici di sabbie, argille e argille marnose. I suddetti terreni hanno assetto sub-orizzontale e rappresentano il risultato dello smantellamento delle falde tettoniche dell'Appennino Dauno e della sedimentazione nell'avanfossa Bradanica.

Tale deposizione avvenne prima in ambiente marino e successivamente in ambiente aereo. La natura dei clasti rispecchia quella delle rocce costituenti gli alti morfologici adiacenti e cioè arenarie, marne e calcareniti.

4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA

L'elemento morfologico più significativo del Foglio 422 "Cerignola" è rappresentato da una superficie subpianeggiante, debolmente inclinata verso nord-est, solcata da alcuni corsi d'acqua minori localmente chiamati "marane".

Questo ripiano, compreso fra le valli del Fiume Ofanto e del Torrente Carapelle, fa parte di una vasta superficie che si estende da Ascoli Satriano fino al Golfo di Manfredonia, quasi a raccordare il rilievo appenninico alla piana costiera attuale.

Dal punto di vista morfologico la zona interessata dal presente studio si trova ad una quota topografica di circa 90 metri s.l.m., ricade in un'area ad assetto suborizzontale con lievi cali topografici in direzione Nord ed Est attraverso blande ondulazioni del terreno.



Fig. 7 – Carte delle pendenze dell'area.

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

La parte sommitale del deposito è arricchita da carbonati di calcio di origine evaporitica la cui configurazione passa con gradualità da quella di crostone ben

diagenizzato nella parte più alta per passare, più in profondità e in maniera meno diffusa, a quella di livelli carbonatici più fini o di semplici noduli.

L'idrografia superficiale è poco sviluppata mentre nel sito in esame non esiste nessun corso d'acqua superficiale o altro elemento morfologico che potrebbe rappresentare un pericolo per le costruzioni.

4.1. Principale vincolistica

Il sito di studio, per quanto attiene il PPTR (Piano Paesaggistico Territoriale Regionale) approvato dalla Giunta Regionale il 16 febbraio 2015, è interessato solo sul margine nord orientale dell'impianto da alcuni Ulteriore Contesto Paesaggistico (UCP): "aree appartenenti alla rete dei tratturi", "area di rispetto della rete tratturi" e da "aree di rispetto di siti storico-culturali (Masseria Contessa Mannelli)".



Fig. 8 – Cartografia PPTR.

Il sito non ricade in aree Parco, SIC, ZPS o in aree IBA (important bird areas).

Per quanto riguarda il Piano di bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Sede Puglia, il sito oggetto di intervento non risulta interessato né da aree a pericolosità geomorfologica né da aree a pericolosità idraulica. Nell'area non risulta la presenza di alcun reticolo idrografico superficiale.

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. SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE – ORIGINE E NATURA DEI SEDIMENTI

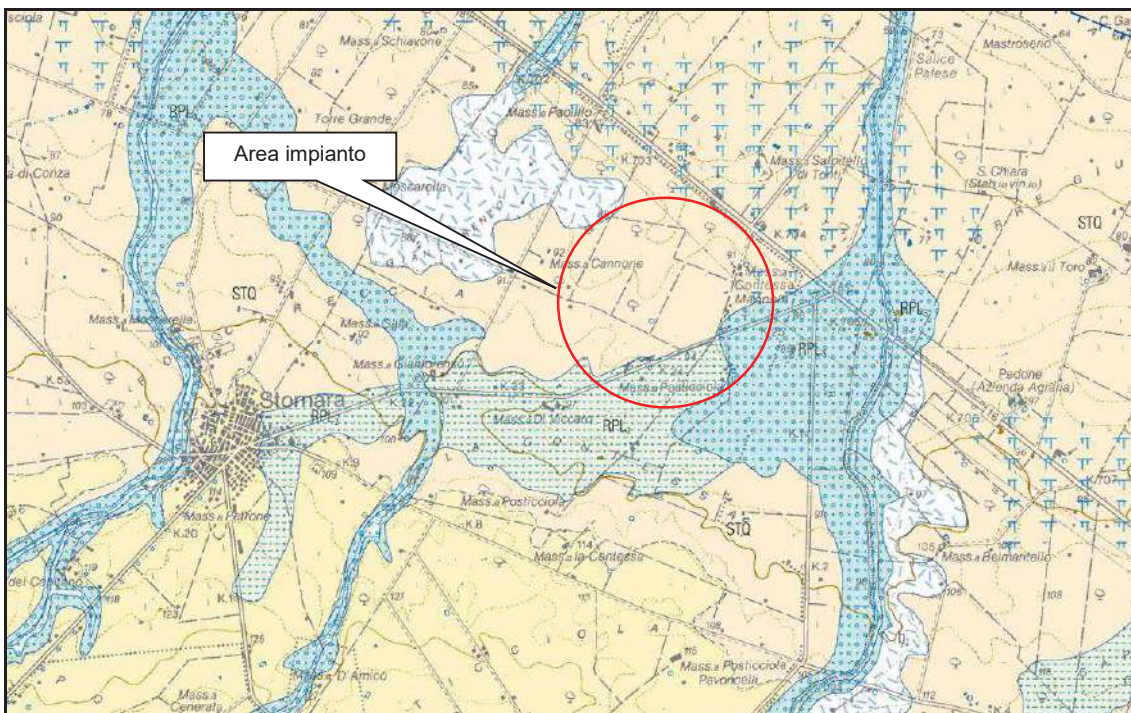


Fig. 9 – stralcio carta geologica (fonte ISPRA)

Le unità litologiche presenti in zona, con riferimento alla nuova carta geologica (Fig. 9) ufficiale della zona edita dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) in scala 1:50.000, sono rappresentate da (in ordine stratigrafico inverso):

SABBIE DI TORRE QUARTO (STQ)

L'unità è costituita da "sabbie medie e fini di colore giallo ocra a luoghi ben cementate in strati di spessore variabile da pochi centimetri a 50 centimetri con intercalazioni di livelli centimetrici e decimetrici di argille e silt di colore giallastro a luoghi marnose". Tali sedimenti contengono localmente, nella parte più superficiale, una crosta evaporitica di natura calcarea, la cui genesi sarebbe riconducibile al clima fortemente

arido e alla risalita capillare. Lo spessore massimo è di 55 m (in zona si aggira attorno a 20-30 m), mentre l'età è riferibile al Pleistocene medio.

SUBSISTEMA DI MASSERIA TORRICELLI (RPL₂)

Questi sedimenti testimoniano l'attività fluviale di corsi d'acqua estinti di cui oggi rimangono le testimonianze morfologiche e il deposito alluvionale stesso.

L'unità, di età Pleistocene superiore-Olocene, è costituita da depositi sabbioso-limosi con rari livelli di ghiaiosi e argilloso-limosi: i ciottoli sono di piccole e medie dimensioni ben arrotondati. Lo spessore è di circa 10 metri.

SUBSISTEMA DELLE MARANE LA PIDOCCHIOSA - CASTELLO (RPL₃)

Si tratta di depositi ghiaioso-sabbioso-limosi, localmente a stratificazione incrociata concava e obliqua. Queste alluvioni sono legate all'attività di una serie di corsi d'acqua affluenti di destra del Torrente Carapelle (il principale è la Marana La Pidocchiosa) e della Marana Castello con il suo affluente Fosso La Pila, che, attraverso opere di canalizzazione, sbocca a mare tra la foce del Fiume Ofanto e quella del Torrente Carapelle, dopo aver attraversato la depressione oggi occupata dalle saline di Margherita di Savoia.

COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE

Si tratta di depositi costituiti da sedimenti massivi fini e clasti eterometrici localmente stratificati. Lo spessore è di pochi metri. Olocene

I caratteri litostratigrafici in senso verticale possono essere desunti dalla stratigrafia di un pozzo "Stornarella 1" eseguito in zona dall'Agip e trivellato nel 1960. La stratigrafia del pozzo, approfonditosi fino a circa 766 m da p.c., evidenzia un primo macro livello di circa 47 m di depositi alluvionali dell'Avanfossa bradanica costituita da conglomerati alternati ad orizzonti sabbiosi fluvio-marini e continentali che passano ad argille sabbioso-limose giallastre, mentre oltre i 50 m di profondità si incontrano le argille e marne argillose grigio azzurre del Pleistocene Inferiore passando, a circa 400 m di profondità, alle biocalcareniti basali riferite, nell'area ofantina, al Pliocene medio-superiore fino ad intercettare, a quota 766 m di profondità, i Calcari del Cretaceo.

6. PROCESSI MORFOLOGICI

Le evidenze geomorfologiche, analizzate sia attraverso l'esame di foto aeree che attraverso il rilevamento geologico, hanno consentito di accertare che l'area esaminata presenta generali condizioni di stabilità non essendo interessata da alcun sensibile fenomeno morfoevolutivo in atto né potenziale.

I depositi affioranti in zona di intervento non sono soggetti, a causa della morfologia a debole pendenza della zona, a fenomeni franosi. Si tratta però di terreni che, per loro natura, sono caratterizzati da un dilavamento delle zone più alte durante i periodi di forte precipitazione.

7. SISMICITA' DELL'AREA

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

La carta schematica di fig. 10 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 $M \geq 3,5$).

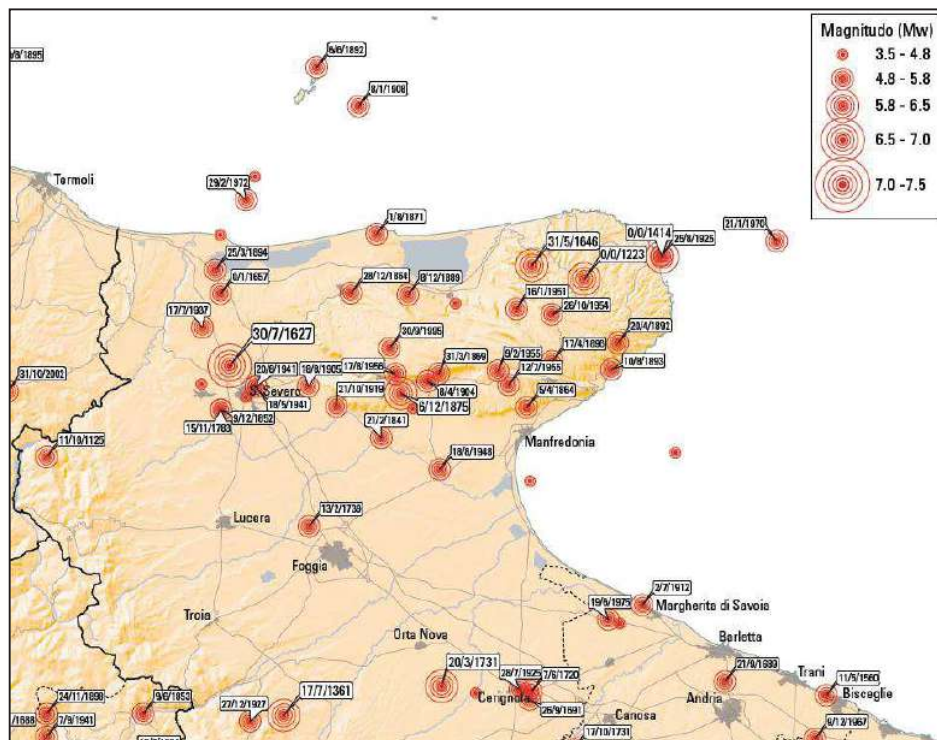


Fig. 10 – Carta della distribuzione epicentrale dei terremoti storici della provincia di Foggia.

Da questa carta si evince la diversa attività sismica che contraddistingue ciascun dominio geologico strutturale del territorio foggiano, dal Garganico al Tavoliere. Il primo dato evidente è la scarsa ma diffusa attività sismica del Tavoliere di Puglia. Solo alcuni terremoti, tutti ubicati nel foggiano, hanno raggiunto il IX MCS (circa 5,5 di magnitudo).

L'area del Foglio "Cerignola" è caratterizzata da un'attività sismica di energia da bassa a moderata. Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) riporta cinque eventi di intensità epicentrale maggiore o uguale al VI grado MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg) con localizzazione epicentrale all'interno di quest'area. Questi eventi sono distribuiti in maniera disomogenea su un arco di tempo di circa tre secoli con tre eventi verificatisi in circa 40 anni attorno al 1700. Di questi eventi il più notevole è senza dubbio quello del 20 marzo 1731, che produsse considerevoli danni (cfr. BOSCHI *et alii*, 2000) ed è l'unico per il quale sono riportate vittime a Cerignola, sia pure in numero limitato (7 persone secondo quanto riferito da BARATTA, 1901). Gli effetti nell'area di Cerignola furono, comunque, considerevolmente inferiori a quelli riportati per l'area di Foggia, dove lo scuotimento sismico può aver raggiunto anche il X grado (MONACHESI & STUCCHI, 1997).

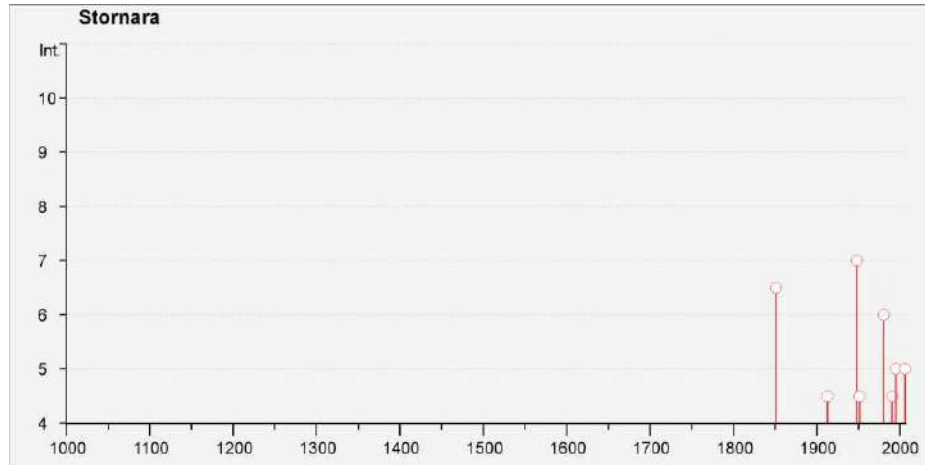
I dati sismici riguardanti il Comune di Stornara sono stati desunti dal database DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

Nella tabella e nell'immagine seguente la tabella è riportata la storia sismica della città di Stornara dall'anno 1627 all'anno 2006.

Osservazioni sismiche (14) disponibili per
STORNARA (FG) [41.287, 15.769]

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
6-7	1851 08 14 13:20	Basilicata	103	10	6.38 ±0.17
4-5	1913 10 04 18:26	Matese	205	7-8	5.37 ±0.11
7	1948 08 18 21:12:25	Puglia settentrionale	59	7-8	5.64 ±0.21
4-5	1951 01 16 01:11:48	Gargano	73	7	5.35 ±0.20
3-4	1954 10 26 02:25:55	Gargano	8	4-5	4.75 ±0.30
2	1955 02 09 10:06:57	MONTE S.ANGELO	31	6-7	5.09 ±0.33
2	1956 01 09 00:44	GRASSANO	45	6	4.88 ±0.20
6	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
NF	1988 04 26 00:53:44	Adriatico centrale	78		5.39 ±0.09

4-5	1990 05 05 07:21:22	Potentino	1374		5.80 ±0.09
3-4	1991 05 26 12:26:01	Potentino	597	7	5.11 ±0.09
5	1995 09 30 10:14:34	Gargano	145	6	5.18 ±0.09
NF	1996 04 03 13:04:36	Irpinia	557	6	4.93 ±0.09
5	2006 05 29 02:20:06	Promontorio del Gargano	384	5-6	4.63 ±0.09



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 STORNARA 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.

8. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

8.1. Idrografia

L'idrografia del territorio si presenta con i caratteri tipici del Tavoliere, con lievi incisioni di origine fluviale denominate "canali" o "marane" completamente regimentate e canalizzate. L'incisione fluviale più vicina è rappresentata dal canale denominato "Marana Castello" che scorre a circa 400m ad est dell'area di intervento.

8.2. Idrogeologia - Acquiferi

Le condizioni di assetto stratigrafico e strutturale del Tavoliere determinano l'esistenza di una circolazione idrica sotterranea che si esplica su più livelli, all'interno di almeno tre unità acquifere principali situate a differenti profondità. Tipicamente la successione è la seguente, procedendo dall'alto verso il basso:

1. acquifero poroso superficiale: che si rinviene nelle lenti sabbioso-ghiaiose dei depositi marini e alluvionali terrazzati di età Pleistocene sup. - Olocene. La superficie di fondo della falda è costituita dal tetto delle argille grigio-azzurre della sottostante unità. L'acquifero, di limitato spessore e produttività, è captato attraverso pozzi poco profondi, con portate modeste. La superficie piezometrica della falda digrada verso la costa con gradienti modesti. La maggiore resa dei pozzi e quindi le maggiori portate specifiche ($1 \div 3$ l/sm) oltre che dalle condizioni di alimentazione, è strettamente dipendente dallo spessore e dalle caratteristiche granulometriche degli strati acquiferi nonché dalla configurazione della superficie di fondo della falda, realizzandosi delle locali depressioni del substrato argilloso;
2. acquifero poroso profondo: di un certo rilievo dal punto di vista stratigrafico, è la presenza, all'interno della unità delle Argille subappennine, di livelli costituiti da sabbie fini, dello spessore anche di pochi metri e molto estesi arealmente, situati a profondità in genere comprese tra 150 e 500 m dal p.c.. Tali lenti sabbiose possono ospitare falde idriche, da pochi anni oggetto di sfruttamento, anche se le caratteristiche di rinnovabilità di esse non sono note e la qualità delle acque rinvenute non è sempre adatta agli usi richiesti;
3. acquifero fessurato-carsico profondo: è situato in corrispondenza del substrato carbonatico pre-pliocenico del Tavoliere, collegato lateralmente verso est alla vasta falda idrica del Gargano.

8.2.1. Acquifero poroso superficiale

I depositi di copertura del Tavoliere ospitano una estesa falda idrica, generalmente frazionata su più livelli. Le stratigrafie dei pozzi per acqua esistenti in zona evidenziano l'esistenza di una successione di terreni ghiaioso – sabbiosi, permeabili con ruolo di *acquiferi*, interstratificati con livelli limoso-argillosi, a minore permeabilità, con ruolo di *acquitardi* (strati semipermeabili) o *acquicludi* (strati impermeabili). L'acquifero ha una potenza variabile da poche decine di metri, lungo il settore occidentale del Tavoliere; ad oltre 100 m, nel settore centrale e orientale, ed è delimitato inferiormente da un substrato impermeabile, rappresentato dalle argille grigio-azzurre (Argille subappennine). Procedendo dall'entroterra verso la costa, la quota del tetto del substrato impermeabile decresce gradualmente; nelle immediate vicinanze della linea di costa scende al di sotto del livello del mare.

L'acqua può rinvenirsi in condizioni di falda libera, nei livelli idrici più superficiali, e solitamente in pressione, con locale carattere di artesianità, in quelli più profondi.

I diversi livelli idrici sono comunque idraulicamente interconnessi e, in condizioni di flusso indisturbato, le quote piezometriche risultano coincidenti sia nei pozzi poco profondi, a scavo, che intercettano i soli livelli idrici superficiali, che nei pozzi perforati, profondi diverse decine di metri, attestati nei livelli acquiferi sottostanti.

Le diverse falde possono essere dunque ricondotte ad un'unica circolazione idrica sotterranea perché il particolare tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti determina l'esistenza di soluzioni di continuità tra i depositi permeabili e i depositi relativamente meno permeabili. A ciò bisogna aggiungere gli scambi di acqua in senso verticale dovuti al fenomeno di drenanza, attraverso strati semipermeabili (*acquitardi*). A tale sistema acquifero, nel suo complesso, si dà il nome di "*falda superficiale del Tavoliere*". Trattandosi di un acquifero costituito da una successione di terreni di diversa granulometria e spessore, la trasmissività idraulica varia da zona a zona; la situazione più favorevole, per permeabilità e/o spessore dei terreni acquiferi, si riscontra in corrispondenza dell'area intorno a Foggia.

Le acque sotterranee defluiscono dalle aree più interne, in corrispondenza delle quali possiedono carichi idraulici di circa 200 m, verso il mare, con una cadente piezometrica mediamente pari a 0.6% e che a luoghi raggiunge valori massimi di 1.5%.

L'andamento delle isopieze, ricostruite sulla base di recenti studi, mostra una generale corrispondenza con la topografia: le quote piezometriche, infatti, tendono a diminuire procedendo da SO verso NE consentendo di definire una direttrice di deflusso preferenziale in tal senso (MAGGIORE et al., 2005 b) come evidenziato dalla seguente Fig. 11.

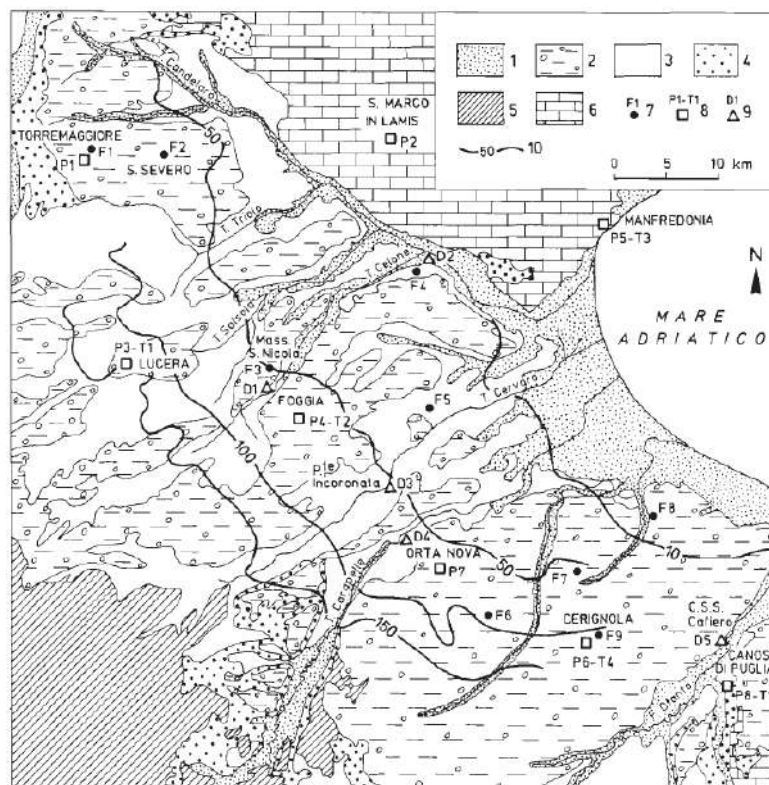


Fig. 11 – Carta geologica schematica del Tavoliere con indicazione delle piezometriche

La falda è alimentata dalle precipitazioni che ricadono in tutta l'area del Tavoliere. Trattandosi di un'area costituita in affioramento da litotipi per lo più permeabili, l'infiltrazione delle acque meteoriche è diffusa su tutto il territorio, ma le caratteristiche climatiche dell'area determinano rilevanti perdite per evapotraspirazione. L'aliquota che si infiltra non è quindi molto elevata (De Girolamo et al., 2002; Maggiore e Pagliarulo, 2003b). Non trascurabile comunque è l'alimentazione della falda da parte dei corsi d'acqua che attraversano la piana.

Dal punto di vista compositivo, le acque della falda superficiale ricadono principalmente nel campo delle acque bicarbonato-alcaline terrose, in corrispondenza delle aree più interne e delle acque clorurato-alcaline, nelle zone non distanti dalla costa, dove si risente l'influenza dell'ingressione marina.

8.2.2. Acquifero poroso profondo

Questo acquifero, che si rinviene al di sotto della falda superficiale (acquifero poroso profondo), è costituita dagli interstrati di sabbie limose, e subordinatamente di ghiaie, presenti nella successione argillosa plio-pleistocenica sulla quale poggiano i depositi di copertura. I livelli acquiferi che essa ospita, localizzati a profondità variabili tra i 150 e i

500 m sotto il l.m., sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare il cui spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvencono acque connate, associate a idrocarburi, che si caratterizzano per i valori piuttosto elevati della temperatura, legati alla profondità di rinvenimento, e per la ricorrente presenza di H₂S (MAGGIORE *et al.*, 1996). La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa e, generalmente, tende a diminuire rapidamente, essendo il tasso di rinnovamento di questi livelli acquiferi praticamente nullo (COTECCHIA *et al.*, 1995). Pur con una notevole variabilità composizionale, le acque circolanti in questo acquifero si caratterizzano per i bassi valori di salinità e durezza e per la prevalenza dello ione sodio con elevati rapporti Na/Cl e Na/Ca. Nel complesso possono definirsi come acque bicarbonato-sodiche (MAGGIORE *et al.*, 1996).

Le quote piezometriche rilevate variano, procedendo da SSO verso NNE, da valori anche superiori ai 200 m s.l.m. sino a valori dell'ordine di una decina di metri.

8.2.3. Acquifero fessurato-carsico profondo

L'unità acquifera più profonda (acquifero fessurato-carsico) è situata in corrispondenza del substrato calcareo-dolomitico della Piattaforma Apula, di età mesozoica, costituito in sostanza dalle stesse rocce che affiorano sulle Murge e sul Gargano (MAGGIORE & PAGLIARULO, 2003). Procedendo da NE verso SO, il substrato, dislocato e ribassato a gradinata da sistemi di faglie dirette, soggiace alla successione argillosa plio-pleistocenica raggiungendo, in corrispondenza dell'abitato di Foggia, la profondità di quasi 600 m. Le masse carbonatiche, permeabili per fratturazione e carsismo, ospitano estese falde idriche alimentate da quelle contenute nelle porzioni più superficiali e in quelle affioranti con le quali, per quanto riguarda la circolazione di fondo, possono ritenersi in connessione idraulica (COTECCHIA & MAGRI, 1966; MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004). L'interesse, nell'area in esame, per questo acquifero, data la profondità di rinvenimento, è praticamente nullo. Infatti, il contenuto salino delle acque aumenta notevolmente con la profondità del substrato, passando da valori tipici di acque di origine meteorica a valori caratteristici di acque connate (MAGGIORE *et al.*, 1996; MAGGIORE *et al.*, 2005 a). Dal punto di vista composizionale, le acque di questo acquifero ricadono nel campo delle acque clorurato-solfato alcaline (MAGGIORE *et al.*, 1996).

8.3. Falde idriche

Dalla consultazione dei dati di alcuni pozzi presenti in zona (Fig. 12 e 13) e censiti nell'archivio nazionale delle indagini del sottosuolo ex Lege 464/1984, si sono desunte informazioni sia sulla stratigrafia locale che sulla posizione della falda idrica superficiale: dai dati di seguito riportati si evince come l'acquifero superficiale sia "dislocato" su vari livelli, a luoghi interconnessi tra loro. Il livello statico è mediamente attestato a circa 25÷30m dal p.c..

Lo spessore della falda superficiale, quindi, può variare da 20 a 30 metri in funzione delle caratteristiche geometriche del materasso acquifero. Anche la produttività della stessa è molto variabile arealmente in funzione delle caratteristiche di permeabilità degli orizzonti acquiferi.

Nel suo complesso, essa, risulta soggetta a forti escursioni stagionali del livello piezometrico, essenzialmente correlate alla distribuzione temporale dei periodi piovosi. Inoltre, per effetto di tali escursioni, nonché per le variazioni areali della morfologia del substrato impermeabile e per i complessi rapporti di interazione con i corsi d'acqua superficiali, anche l'andamento generale della superficie piezometrica della falda e le direzioni di deflusso della stessa risultano estremamente variabili sia temporalmente che spazialmente.



Fig. 12 – scheda della stratigrafia di un pozzo presente a circa 300 metri dall'area di studio



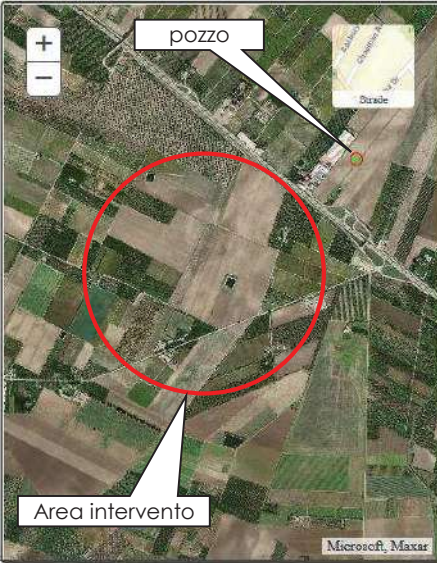
 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale		
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)				
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine		
<p> Codice: 199949 Regione: PUGLIA Provincia: FOGGIA Comune: CERIGNOLA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 58,00 Quota pc slm (m): 85,00 Anno realizzazione: 1989 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 11,000 Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 2 Numero filtri: 2 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: NO Certificazione(*): NO Numero strati: 0 Longitudine WGS84 (dd): 15,820319 Latitudine WGS84 (dd): 41,303719 Longitudine WGS84 (dms): 15° 49' 13.15" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 18' 13.39" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia </p>				
DIAMETRI PERFORAZIONE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	58,00	58,00	500
FALDE ACQUIFERE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	
1	11,00	38,00	27,00	
2	45,00	56,00	11,00	
POSIZIONE FILTRI				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	11,00	38,00	27,00	300
2	45,00	56,00	11,00	300
MISURE PIEZOMETRICHE				
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
mag/1989	12,00	35,00	23,00	9,000

Fig. 13 – scheda della stratigrafia di un pozzo presente a circa 500 metri dall'area di studio

9. QUADRO CLIMATICO GENERALE

L'area di studio, come noto, è localizzata nel Tavoliere di Puglia. Il clima del Tavoliere è di tipo continentale, caratterizzato da forti escursioni termiche; estati torride si contrappongono ad inverni più o meno rigidi, tuttavia la temperatura media annua si aggira sui 16 °C. Le piogge, scarse, si attestano intorno ai 600 mm e interessano soprattutto il periodo che va da settembre a febbraio; nel periodo estivo invece non sono rari fenomeni di siccità.

Dal punto di vista statistico il mese più freddo è quello di gennaio con temperature comprese tra i 4 e gli 11 gradi, il più caldo invece è quello di agosto con temperature che oscillano tra i 19 ed i 31 gradi; qualche volta d'inverno la temperatura scende sotto zero.

La sua posizione geografica rende il Tavoliere particolarmente esposto al maestrale, incanalato dal Gargano e dal Subappennino Dauno, che trasforma la pianura in una sorta di corridoio. Hanno rilevanza solo locale il favonio (vento caldo e sciroccale) e la bora.

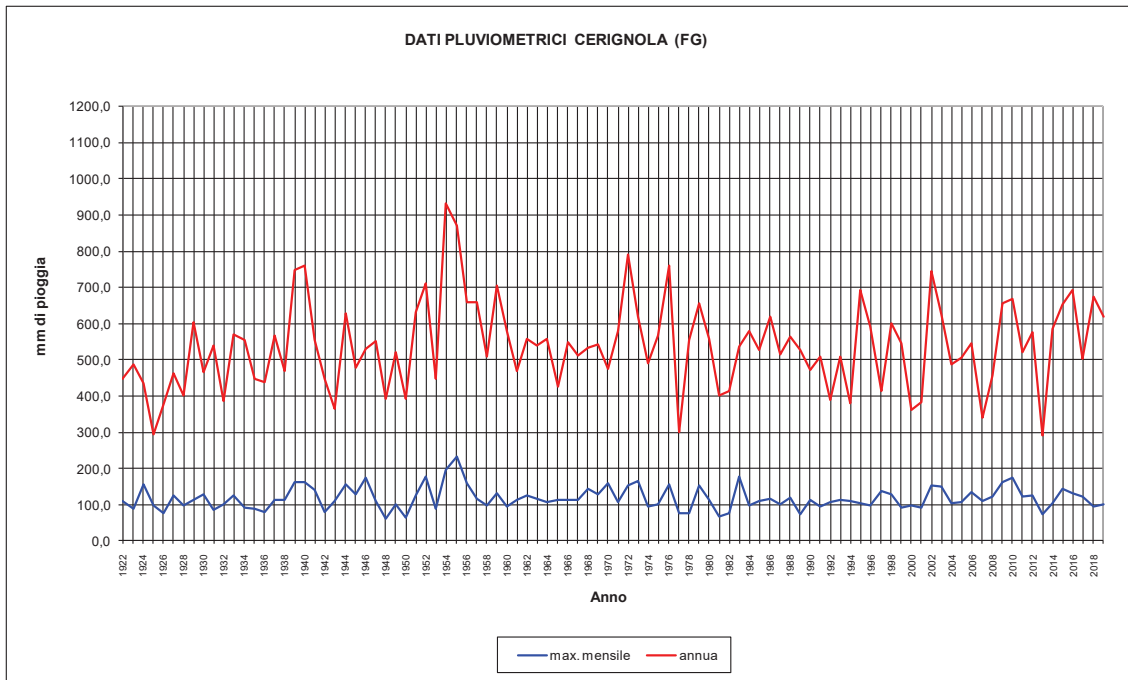
9.1. Caratteristiche meteo climatiche locali

La caratterizzazione meteo climatica della zona di Manfredonia (FG) è stata eseguita sulla base dell'analisi statistica dei dati relativi a:

- precipitazioni;
- temperature;
- radiazione solare media stagionale;
- temperature medie stagionali;
- evaporazione.

9.1.1. Precipitazioni

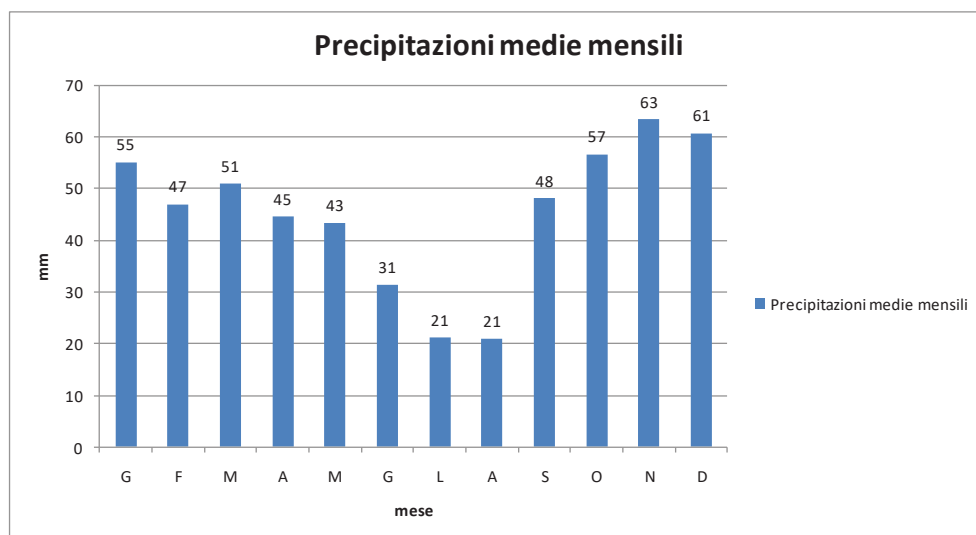
Per quanto riguarda la piovosità i dati disponibili, che fanno riferimento agli annali idrologici del Min. LL.PP., si riferiscono al periodo 1922-2019 relativamente alla stazione pluviometrica di Cerignola (lat. 41° 15' 48,39'', long. 15° 54' 18,10'').



In questo periodo di osservazione le precipitazioni annue risultano comprese tra un massimo di 932 mm nel 1954 ed un minimo di 295 mm nel 1925. Nello stesso arco temporale, il massimo di precipitazione mensile si è avuto nel 1955 con 234 mm ed il minimo nel 1948 con 60 mm di pioggia.

La piovosità annuale media è di 538 mm/anno di cui 139 mm in primavera, 73 mm in estate, 168 mm in autunno e 158 mm in inverno.

Le precipitazioni medie mensili sono rappresentate nell'istogramma seguente:



La lettura del diagramma stellare di seguito riportato evidenzia che il ciclo, sufficientemente armonico nel corso dei mesi invernali, si mostra tozzo ed inflesso nel periodo estivo (maggio/agosto).

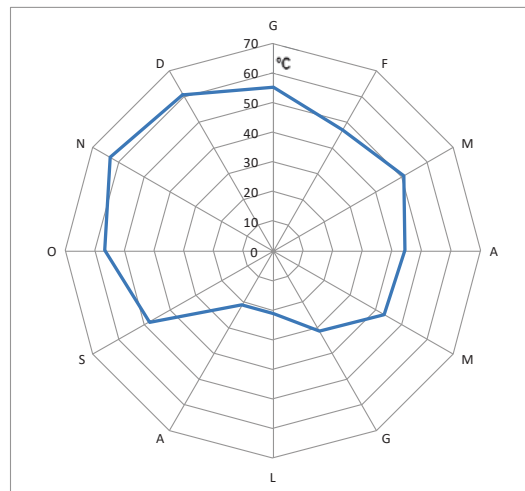
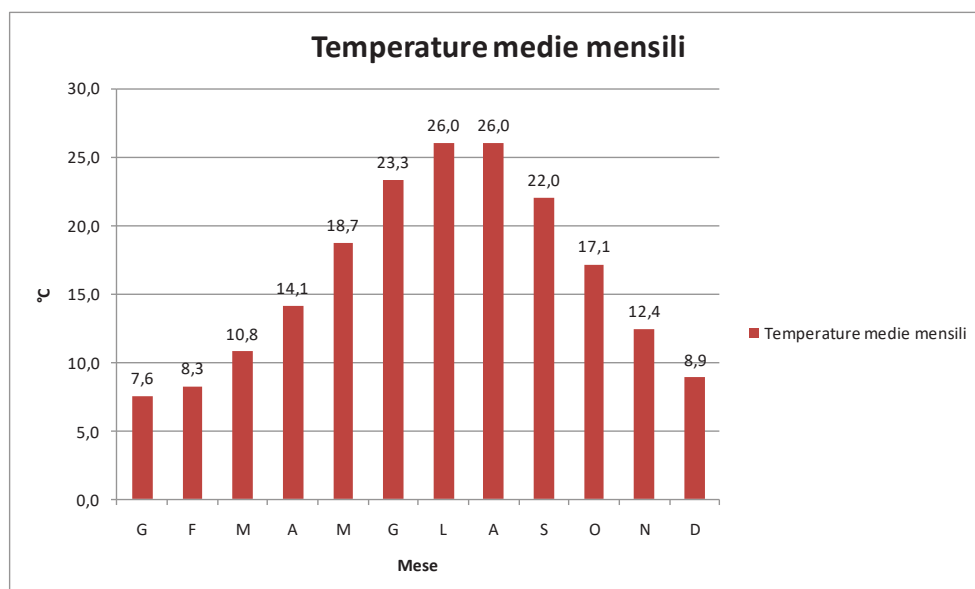


Fig. 14 - Precipitazioni medie mensili in mm.

Dalla lettura dei grafici precedenti si evince che il periodo di maggior siccità va da maggio ad agosto.

9.1.2. Temperature

I dati delle temperature sono stati mediati, mese per mese, nell'arco di oltre un ottantennio (1930-2019) di osservazioni. La temperatura media annuale è di 16,2 °C; le temperature medie mensili variano da 7,6 °C di gennaio, il mese più freddo, a 26 °C di luglio/agosto, i mesi più caldi.



La lettura del diagramma stellare di Fig. 14 evidenzia la forte asimmetria, nella distribuzione delle temperature, a vantaggio dei mesi estivi.

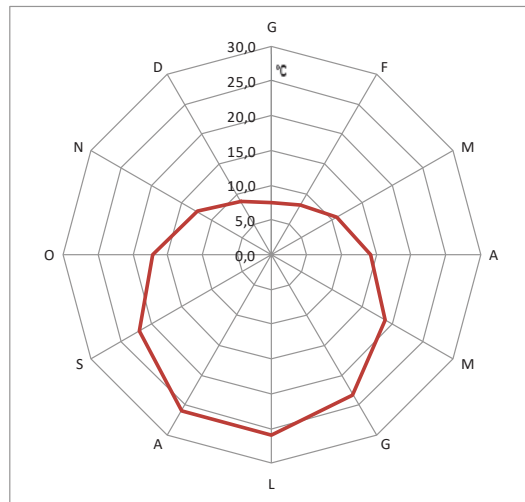


Fig. 15 - Temperature medie mensili in °C.

9.1.3. Umidità media stagionale - Radiazione solare media stagionale

	Umidità media stagionale (in %)	Radiazione solare media stagionale
Inverno	74%	3 ^h 55'
Primavera	67%	7 ^h 45'
Estate	50%	9 ^h 20'
Autunno	70%	4 ^h 00'

10. USO DEL SUOLO, CARATTERI PEDOLOGICI DELL'AREA, VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO

10.1. Carta di uso del suolo

L'analisi della carta di uso del suolo della Regione Puglia evidenzia la presenza, in area di intervento, di un uso del suolo esclusivamente agricolo con seminativi semplici in aree irrigue. Dalla cartografia 2011 si rileva la presenza di uliveti e di vigneti che ad oggi non risultano più presenti.



Fig. 16 – Stralcio della Carta di uso del Suolo (Regione Puglia, 2011)

10.2. Caratteri pedologici dell'area

10.2.1. Caratterizzazione pedologica generale

Per la caratterizzazione pedologica della Regione Puglia è stata consultata "La banca dati delle Regioni Pedologiche d'Italia" redatta dal Cncp - Centro Nazionale Cartografia Pedologica, che fornisce un primo livello informativo della Carta dei Suoli d'Italia e, allo stesso tempo, uno strumento per la correlazione dei suoli a livello continentale (Fig. 17). Le Regioni Pedologiche sono state definite in accordo con il "Database georeferenziato dei suoli europei, manuale delle procedure versione 1.1"; queste sono delimitazioni geografiche caratterizzate da un clima tipico e specifiche

associazioni di materiale parentale. Relazionare la descrizione dei principali processi di degrado del suolo alle regioni pedologiche invece che alle unità amministrative, permette di considerare le specificità locali, evitando al contempo inutili ridondanze. La banca dati delle regioni pedologiche è stata integrata con i dati del Corine Land Cover e della Banca dati Nazionale dei Suoli per evidenziare le caratteristiche specifiche dei suoli. La Regione Puglia ricade nelle regioni pedologiche 62.1 Piane di Metaponto, Taranto e Brindisi, 72.2 Versanti della Murgia e Salento e 72.3 Versanti del Gargano. L'area di nostro interesse ricade nella regione pedologica 62.1.



Fig. 17 – Regioni pedologiche d'Italia

10.2.2. Inquadramento pedologico della regione pedologica 62.1

L'area di nostro interesse ricade nella **regione pedologica 62.1** che interessa il Tavoliere, le piane di Metaponto, del tarantino e del brindisino.

Tale regione pedologica presenta le seguenti caratteristiche:

- **Clima:** mediterraneo subtropicale, media annua delle temperature medie medie: 12-17°C; media annua delle precipitazioni totali: 400-800 mm; mesi più piovosi: ottobre e novembre; mesi siccitosi: da maggio a settembre; mesi con temperature medie al di sotto dello zero: nessuno.
- **Pedoclima:** regime idrico e termico dei suoli: xerico e xerico secco, termico.
- **Geologia principale:** depositi alluvionali e marini prevalentemente argillosi e franchi del Quaternario, con travertini.

- Morfologia e intervallo di quota prevalenti: pianeggiante, da 0 a 200 m s.l.m.
- Suoli principali: suoli con proprietà vertiche e riorganizzazione dei carbonati (Calcic Vertisols; Vertic, Calcic e Gleyic Cambisols; Chromic e Calcic Luvisols; Haplic Calcisols); suoli alluvionali (Eutric Fluvisols).
- Capacità d'uso più rappresentative e limitazioni principali: suoli di 1^a, 2^a e 3^a classe, con limitazioni per tessitura eccessivamente argillosa, pietrosità, aridità e salinità.
- Processi degradativi più frequenti: regione a forte competizione tra usi diversi e per l'uso della risorsa idrica; localizzati i fenomeni di degradazione delle qualità fisiche e chimiche dei suoli causati dall'uso irriguo di acque salmastre, generalizzato lo scarso contenuto in sostanza organica nei suoli agrari.

10.2.3. Unità Tassonomica di riferimento (Progetto ACLA 2)

Il progetto ACLA 2 ha riguardato la caratterizzazione agroecologica del territorio della regione Puglia in funzione della potenzialità produttiva: attraverso l'uso di modelli matematici e l'analisi dei principali fattori ambientali che regolano la produttività stessa (clima, suolo, esigenze idriche delle singole colture) sono state identificate le aree a medesima capacità produttiva per singole colture.

I suoli sono stati classificati secondo due sistemi tassonomici: la *Soil Taxonomy* (USDA 1998) e il *World Reference Base for Soil Resources* (FAO-ISSDS 1999). La prima consente, al livello tassonomico adottato che è quello della famiglia, di esplicitare sufficientemente le differenze esistenti tra i suoli rilevati, anche in termini applicativi. Il sistema FAO-ISSDS, sebbene di introduzione molto recente e in parte ancora sperimentale, rappresenta un'ulteriore possibilità di effettuare correlazioni a livello sovraregionale.

Nella scheda successiva è riportato l'inquadramento tassonomico delle unità tipologiche e delle relative fasi dei suoli localmente presenti in zona di intervento secondo la *Soil Taxonomy* (1998).

SUOLI SPARTIVENTO

Unità tipologica di suolo: SPARTIVENTO (SPA)

Caratteri identificativi: sono suoli poco evoluti con petrocalcico entro 100 cm di profondità. Sono estremamente calcarei, la tessitura è variabile ma comunque sempre grossolana o moderatamente grossolana, il drenaggio è moderatamente rapido. Presentano epipedon ocrico, talvolta con colori tipici del mollico (10YR 3/2-3/3): si è scelto di non creare una seconda tipologia (Palixeroll) in quanto dalle analisi chimiche non emergono differenze significative per quanto concerne il contenuto di sostanza organica e la saturazione in basi. La pietrosità superficiale è moderata ed è principalmente costituita da frammenti di petrocalcico.

Substrato geotologico: Depositi marini postcalabrian (Pleistocene) e Sabbie di Serracapriola (Pliocene superiore)

Distribuzione geografica: si trovano nel sottosistema di paesaggio del basso Tavoliere, nell'unità 28 e nel sottosistema di paesaggio del Tavoliere Meridionale, nell'unità 40

Classificazione Soil Taxonomy (1998): Petrocalcic Calcixerept, fine loamy, mixed, thermic (fase 1); Petrocalcic Calcixerept, fine loamy, mixed, thermic, shallow (variante)

Classificazione WRB (1998): Endopetric Calcisols

Pedon Tipico: P0072 (ACLA2)

N° FOGLIO 1:50.000	422
LOCALITÀ	C. Spartivento
SISTEMA GEOMORFOLOGICO	Superficie ondulata di terrazzo marino
PIETROSITÀ	0% d>25 cm; 0% 7,5 cm < d <25 cm; 0% d< 7,5 cm
USO DEL SUOLO	Oliveto
DRENAGGIO	Buono
LIMITI ALLA RADICAZIONE	65 cm
FALDA	Assente

Ap1 da 0 cm a 15 cm; secco; colore matrice 10YR 4/3; franco sabbioso incoerente, incoerente; sciolto; molto calcareo fini; limite inferiore chiaro lineare

Ap2 da 15 cm a 40 cm; secco; colore matrice 10YR 4/3; franco sabbioso; struttura moderatamente sviluppata, resistente; molto calcareo; pori comuni fini; radici molte molto fini; limite inferiore chiaro ondulato

Bk da 40 cm a 65 cm; secco; colore matrice 10YR 4/3; franco sabbioso; struttura debolmente sviluppata, friabile; molto calcareo; pori comuni fini; radici molte fini; comuni concrezioni soffici di carbonato di Ca principali, piccole; comuni concrezioni di carbonato di calcio medie; limite inferiore abrupto lineare

Ckm da 65 cm a 68 cm; poco umido; colore matrice 10YR 4/3; molto calcareo; moltissime concrezioni di carbonato di calcio; limite inferiore abrupto lineare

Ck da 68 cm a 115 cm; poco umido; colore matrice 10YR 5/4; sabbioso franco; struttura debolmente sviluppata, friabile; molto calcareo; pori comuni fini; comuni concrezioni soffici di carbonato di Ca principali, medie; comuni concrezioni di carbonato di calcio piccole; limite inferiore chiaro ondulato.

Disponibilità di ossigeno: buona

Sequenza orizzonti genetici: Ap-Bk-Ckm; l'orizzonte Bk può essere descritto anche come orizzonte di transizione (Ck) al sottostante petrocalcico; in alcuni casi può essere obliterato dalle lavorazioni.

Carattere di variabilità degli orizzonti genetici:

- Gli orizzonti **Ap** hanno uno spessore che varia da 30 a 50 cm; colore con hue 10YR, value 3-5 e chroma 2-4; effervescenza forte o violenta; tessitura SF, FS, F o FSA; scheletro da assente a comune (frammenti di Ckm).
- Gli orizzonti **Bk** si trovano ad una profondità che varia da 30 a 90 cm; colore con hue 10YR, value 4-6 e chroma 3-4; effervescenza violenta; tessitura SF, FS, F o FSA; molte concentrazioni di CaCO₃; scheletro da assente a comune (frammenti di Ckm)

UTS proposta da: Ezio Rusco e Riccardo Giandrini

Grado di fiducia della UTS: iniziale

UTS concorrenti:

TOR1: sono privi di petrocalcico nei primi 100 cm di profondità

Elenco delle fasi e delle varianti riconducibili alla UTS:

SPA1: SPARTIVENTO franco sabbiosi moderatamente profondi (petrocalcico tra 50 e 100 cm). Sono localizzati nelle aree di transizione tra le culminazioni e le depressioni (versanti impostati su monoclinali).

SPA2: Variante con petrocalcico entro 50 cm di profondità dei suoli SPARTIVENTO franco sabbiosi. Sono localizzati nelle aree sommitali

Profili riconducibili alla UTS:

SPA1: P0088; P0102; P0066, P0119; P0080; P0072; P0075; P0044; P0137; P0079 (ACLA2)

SPA2: P0068; P0074 (ACLA2)

10.3. Vulnerabilità dell'acquifero

L'area di studio si trova nel distretto omogeneo denominato (vd. PTCP Provincia di Foggia) "Tavoliere centrale". Con questo termine si comprende il territorio di forma ovale compreso fra San Severo e Cerignola. Oltre alle caratteristiche comuni con la zona periferica, semmai qui ancora più impattanti (maggiore densità abitativa, insediamenti industriali rilevanti, intensa attività agricola, ecc.), va preso in considerazione un altro fenomeno.

A causa dell'elevatissimo numero di pozzi per acqua, autorizzati e non, stimati per difetto in 25.000 nel solo Tavoliere ed in 40.000 nell'intera provincia, da tempo si manifesta un preoccupante fenomeno le cui ricadute sulla vulnerabilità della falda idrica non sono ancora ben chiare.

Si tratta della subsidenza di vaste aree, in parte non comprese in questa unità territoriale: zona del Santuario dell'Incoronata a Sud di Foggia, zona del Castello di Lucera, numerose zone presso Cerignola e nei pressi di Candela e di Ascoli Satriano. Il cedimento del terreno è legato sia all'emungimento di acque che all'estrazione di gas dal sottosuolo.

Tutto ciò non può che sconvolgere la geometria e le altre caratteristiche dei livelli idrici del sottosuolo.

Classe di rischio **E3 - elevata**

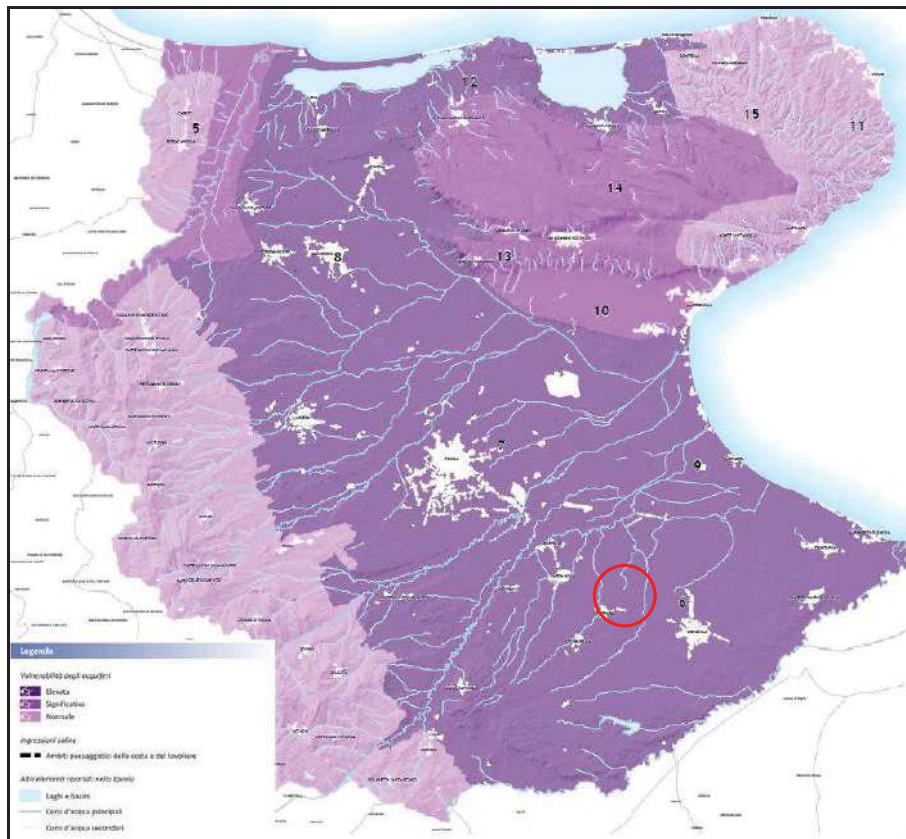


Fig. 18 – Carta di vulnerabilità della falda per distretti omogenei. (Estratto dal PTCP della Provincia di Foggia)

11. SISMICITA' DELL'AREA

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

La carta schematica di fig. 19 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 $M \geq 3,5$).

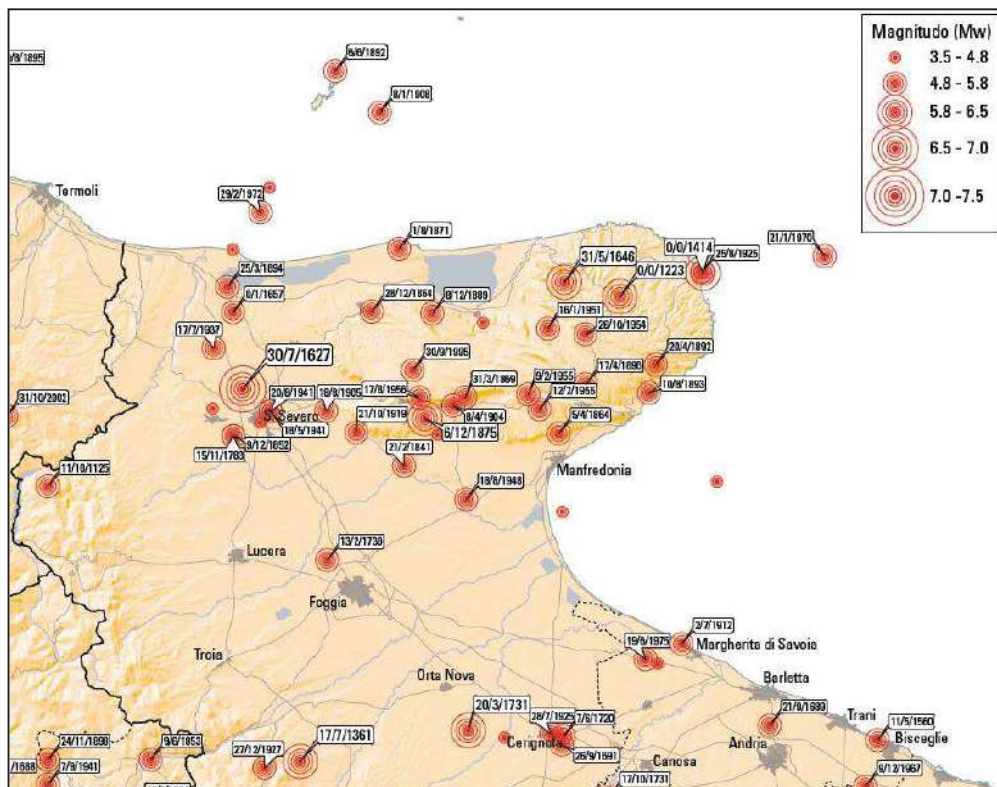


Fig. 19 – Carta della distribuzione epicentrale dei terremoti storici della provincia di Foggia.

Da questa carta si evince la diversa attività sismica che contraddistingue ciascun dominio geologico strutturale del territorio foggiano, dal Garganico al Tavoliere. Il primo dato evidente è la scarsa ma diffusa attività sismica del Tavoliere di Puglia. Solo alcuni terremoti, tutti ubicati nel foggiano, hanno raggiunto il IX MCS (circa 5,5 di magnitudo).

L'area del Foglio "Cerignola" è caratterizzata da un'attività sismica di energia da bassa a moderata. Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) riporta cinque eventi di intensità epicentrale maggiore o uguale al VI grado MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg) con localizzazione epicentrale all'interno di quest'area. Questi eventi sono distribuiti in maniera disomogenea su un arco di tempo di

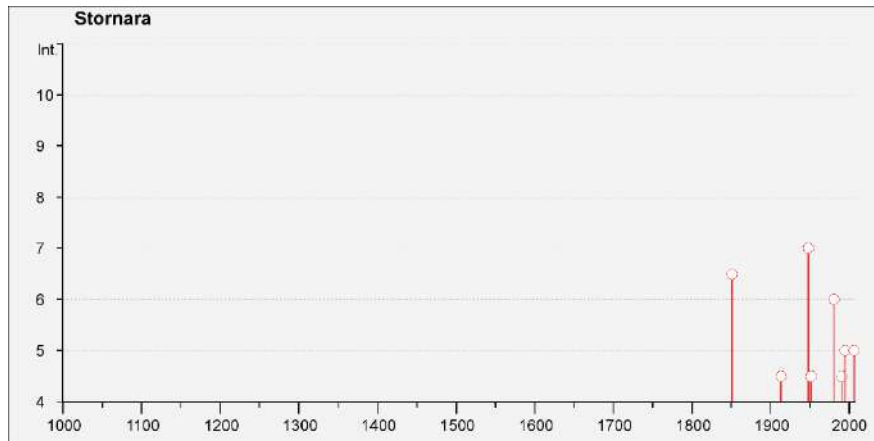
circa tre secoli con tre eventi verificatisi in circa 40 anni attorno al 1700. Di questi eventi il più notevole è senza dubbio quello del 20 marzo 1731, che produsse considerevoli danni (cfr. BOSCHI *et alii*, 2000) ed è l'unico per il quale sono riportate vittime a Cerignola, sia pure in numero limitato (7 persone secondo quanto riferito da BARATTA, 1901). Gli effetti nell'area di Cerignola furono, comunque, considerevolmente inferiori a quelli riportati per l'area di Foggia, dove lo scuotimento sismico può aver raggiunto anche il X grado (MONACHESI & STUCCHI, 1997).

I dati sismici riguardanti il Comune di Stornara sono stati desunti dal database DBMI11 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

Nella tabella e nell'immagine seguente la tabella è riportata la storia sismica della città di Cerignola dall'anno 1627 all'anno 2006.

Osservazioni sismiche (14) disponibili per
STORNARA (FG) [41.287, 15.679]

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
6-7	1851 08 14 13:20	Basilicata	103	10	6.38 ±0.17
4-5	1913 10 04 18:26	Matese	205	7-8	5.37 ±0.11
7	1948 08 18 21:12:25	Puglia settentrionale	59	7-8	5.64 ±0.21
4-5	1951 01 16 01:11:48	Gargano	73	7	5.35 ±0.20
3-4	1954 10 26 02:25:55	Gargano	8	4-5	4.75 ±0.30
2	1955 02 09 10:06:57	MONTE S.ANGELO	31	6-7	5.09 ±0.33
2	1956 01 09 00:44	GRASSANO	45	6	4.88 ±0.20
6	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
NF	1988 04 26 00:53:44	Adriatico centrale	78		5.39 ±0.09
4-5	1990 05 05 07:21:22	Potentino	1374		5.80 ±0.09
3-4	1991 05 26 12:26:01	Potentino	597	7	5.11 ±0.09
5	1995 09 30 10:14:34	Gargano	145	6	5.18 ±0.09
NF	1996 04 03 13:04:36	Irpinia	557	6	4.93 ±0.09
5	2006 05 29 02:20:06	Promontorio del Gargano	384	5-6	4.63 ±0.09



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 Stornara ricade in zona 2, contrassegnata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (a_g) pari a 0,25g (dove g = accelerazione di gravità).

Con l'entrata in vigore del 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 partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica, ed è funzione delle condizioni topografiche del sito e della categoria sismica di sottosuolo.

La pericolosità sismica di base del sito di costruzione è descritta dalla probabilità (PVR: probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento) che, in un fissato lasso di tempo (VR: periodo di riferimento espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

La pericolosità sismica di base è definita a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.
- P_{VR} probabilità di superamento

In base alle NTC, in funzione del periodo di riferimento, la terna di valori a_g , F_0 e T^*C è riportata nella normativa nazionale per ogni sito considerato, grazie ad una griglia di riferimento di 10751 punti che fungono da base per la successiva interpolazione. Per il sito in esame, i valori dei parametri sono:

Stato Limite	PVR	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T^*C [s]
Operatività (SLO)	81%	30	0,043	2,515	0,281
Danno (SLD)	63%	50	0,055	2,560	0,313
Salvaguardia vita (SLV)	10%	475	0,157	2,531	0,418
Prevenzione collasso (SLC)	5%	975	0,216	2,480	0,427

Il coefficiente di amplificazione topografica S_T viene calcolato in base alla tab. 3.2.V del DM 17.01.2018, relativamente al punto di indagine.

Per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) dell'edificio in progetto si possono usare i seguenti valori:

		S_s	C_c
Stati Limite di Esercizio - S.L.E.	SLD – 63%	1.5	1.54
Stati Limite Ultimi - S.L.U.	SLV – 10%	1.46	1.40

12. INDAGINI IN SITU E DI RIFERIMENTO

12.1. Premessa

Nel presente paragrafo saranno descritte tutte le indagini (dirette ed indirette) reperite da progetti pubblici e/o privati eseguite in zone molto prospicienti l'area di studio e che si utilizzeranno per la definizione del modello litostratigrafico e sismico locale. A tale mole di dati si aggiungono le indagini sismiche eseguite in campagna in data 08/07/2020 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 Puglia. I progetti consultati sono relativi ad impianti eolici e/o fotovoltaici.

12.2. Profili sismici a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione è consistita nell'esecuzione di n. 3 profili sismici con onde longitudinali (onde P).

I profili sismici hanno lunghezza di 72 metri e sono stati eseguiti con 24 geofoni distanziati tra loro di 3,0 metri.

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

- **Il primo sismostrato** (con una profondità media di 2,0 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 460÷520 m/s e V_s compresa tra 204÷252 m/s;
- **Il secondo sismostrato** (con una profondità media di 7,5 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 770÷990 m/s e V_s compresa tra 332÷471 m/s;
- **Il substrato rifratore** ha velocità V_p compresa tra 1090÷1570 m/s e V_s compresa tra 303÷424 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 agrario sabbioso-limoso;*
- *Il secondo sismostrato è associabile a sabbie e sabbie ghiaiose comprendente, in superficie, eventuale crosta calcarea di natura evaporitica;*

- Il **substrato rifrattore** è associabile ad alternanze di sabbie limose e limi argillosi e, nel profilo 3, ad argille limose.

12.3. 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. 3 prove sismiche MASW, condotte con la metodologia attiva.

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

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

L'ubicazione degli stendimenti sismici è visualizzato negli allegati.

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

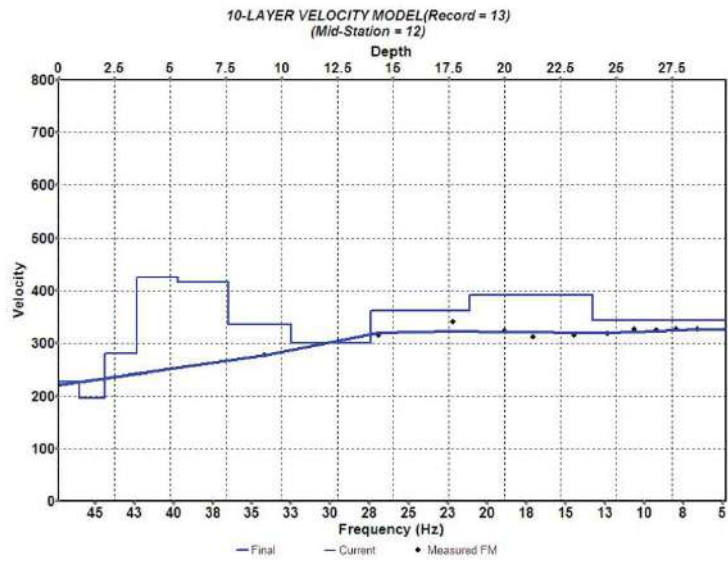
I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza ($t-x$), al dominio velocità di fase-frequenza ($p-f$). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del segnale e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

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

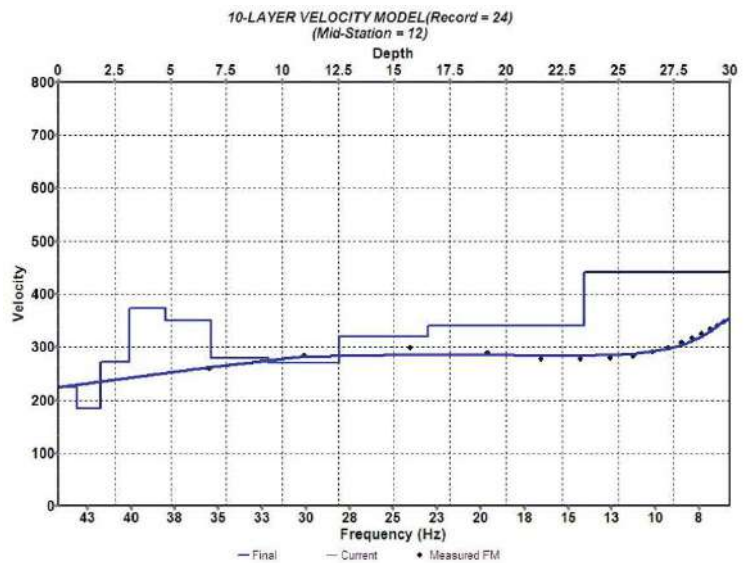
Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/frequenza ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

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

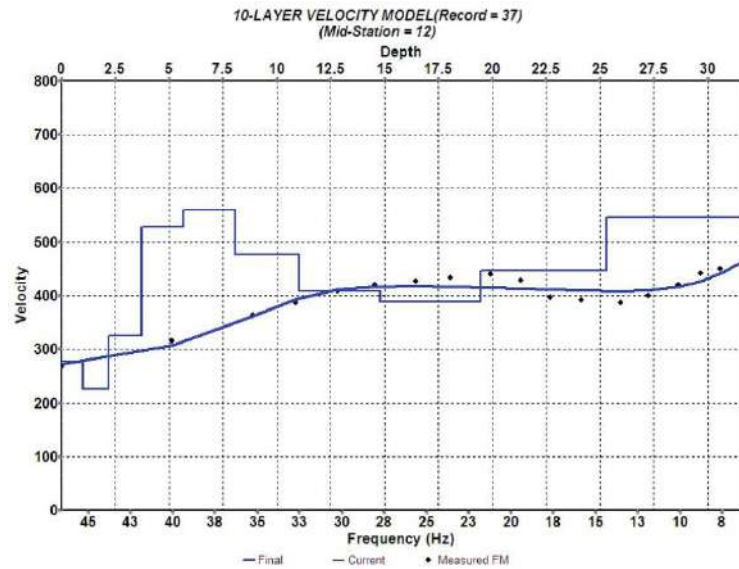
Masw 1	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
227	-0.9
196	-2.1
281	-3.5
425	-5.4
416	-7.6
335	-10.4
301	-14.0
361	-18.4
392	-23.9
344	-30



Masw 2	
Profondità (mt)	Vs (m/s)
223	-0.8
184	-1.9
273	-3.2
374	-4.8
351	-6.8
279	-9.4
270	-12.5
320	-16.5
341	-23.5
442	-30



Masw 3	
Profondità (m)	Vs (m/s)
277	-1.0
226	-2.2
326	-3.7
527	-5.7
559	-8.0
476	-11.0
409	-14.8
389	-19.5
447	-25.3
545	-31.6



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

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

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

- ✓ **Profilo MASW 1** → $V_{S,30} = 337$ m/s - categoria C
- ✓ **Profilo MASW 2** → $V_{S,30} = 323$ m/s - categoria C
- ✓ **Profilo MASW 3** → $V_{S,30} = 429$ m/s - categoria B

12.4. 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 $1,7 \text{ t/m}^3$, per il secondo una densità pari a $1,85 \text{ t/m}^3$ e per il terzo una densità pari a $1,9 \text{ t/m}^3$.

Di seguito i parametri calcolati.

	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)
Terreno vegetale frammisto a sabbia	≈ 2,0	487	222	0,37	232 Mpa	85 Mpa	291 Mpa
Sabbie, sabbie ghiaiose	≈ 6,0	853	392	0,37	751 Mpa	275 Mpa	924 Mpa
Sabbie limose e limi argillosi	> 20	1290	358	0,46	725 Mpa	248 Mpa	2912 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:

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

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

Per cui:

	Modulo di Young statico (E_s)	Modulo di taglio statico (G_s)
Terreno vegetale frammisto a sabbie	6 Mpa	2 Mpa
Sabbie, sabbie ghiaiose	19 Mpa	7 Mpa
Sabbie limose e limi argillosi	18 Mpa	6 Mpa

13. D.M. 17 GENNAIO 2018 E CATEGORIA DI SUOLO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
-----------	--

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>Depositati 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>Depositati 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 § 10.5, con una $V_{s,30}$ compresa tra **323 m/s e 429 m/s**, rientra in **categoria di sottosuolo B e C**. A favore della sicurezza è possibile consigliare per tutta l'area una categoria di suolo **C**.

Dall'analisi sismica si evidenzia la presenza di una "modesta" **inversione di velocità** dove per inversione di velocità si intende la presenza di uno strato meno rigido sottostante uno strato più rigido. Questa caratteristica non è il normale trend in natura (dove ci si aspetta un aumento di rigidità scendendo verso il basso per l'incremento dello stato tensionale geostatico) ma è una condizione relativamente frequente in presenza di alternanze litologiche quali ghiaie sopra argille, in presenza di cavità (la cavità è l'esempio estremo di inversione di velocità) e anche in presenza di suoli artificiali rigidi (pavimentazioni, lastricati ecc.) sovrastanti suoli naturali teneri.

Nel nostro caso l'inversione di velocità è dovuto alla presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi più rigidi (tra circa 3 e 7 metri di profondità) poggianti su sabbie limose.

Tale inversione per essere significativa ai fini dell'amplificazione sismica di sito, deve verificare contemporaneamente 4 condizioni (indicazioni sperimentali da: Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – ICMS2008):

1. Un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto V_s rig/ V_s sof superiore a 1.5;
2. La differenza tra le V_s dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
3. Lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
4. la V_s dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.

Nel nostro caso solo una di queste condizioni è verificata (spessore dello strato a velocità minore > 5 m) **pertanto si può ritenere attendibile e oltremodo cautelativa la categoria di sottosuolo C senza ricorrere a studi specifici di Risposta Sismica Locale (RSL); ciò anche in relazione alle modeste opere da realizzare (cabine elettriche e pannelli fotovoltaici a terra).**

14. 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_0 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_0 , T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, 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 PERICOLOSITÀ 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: 41,298706
longitudine: 15,80894
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 31003	Lat: 41,3126	Lon: 15,7535	Distanza: 4877,656
Sito 2 ID: 31004	Lat: 41,3112	Lon: 15,8201	Distanza: 1672,106
Sito 3 ID: 31226	Lat: 41,2612	Lon: 15,8183	Distanza: 4240,385
Sito 4 ID: 31225	Lat: 41,2626	Lon: 15,7518	Distanza: 6241,733

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: 0,043 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,281 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,055 g
Fo: 2,560
Tc*: 0,313 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,157 g
Fo: 2,531
Tc*: 0,418 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,216 g
Fo: 2,480
Tc*: 0,427 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii e fondazioni

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,006
Amax: 0,636
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,540
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,008
Amax: 0,811
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,400
St: 1,000
Kh: 0,055
Kv: 0,028
Amax: 2,254
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,380
Cc: 1,390

St: 1,000
Kh: 0,083
Kv: 0,042
Amax: 2,920
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 41.297728
longitudine: 15.808097

15. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

15.1. 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 di progetti eseguiti dallo scrivente sui medesimi terreni in aree limitrofe 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 Puglia. I progetti consultati sono relativi ad impianti eolici / fotovoltaici.

15.2. 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)

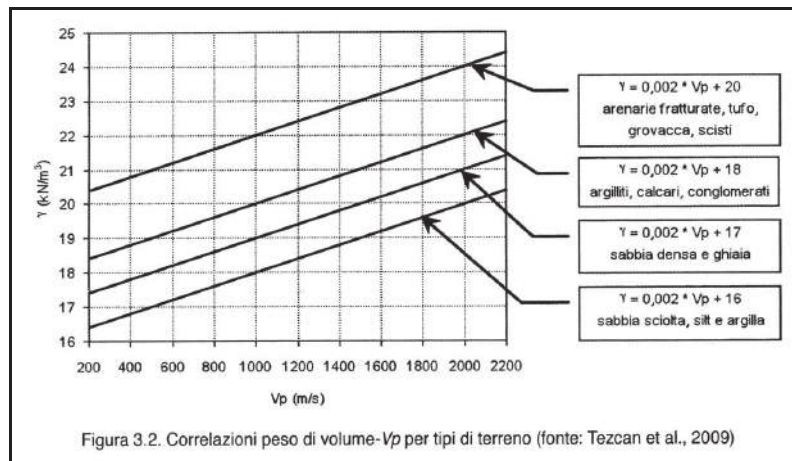
$\gamma_0 = 17$ (per sabbie dense e ghiaie)

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

$$\gamma = 16 + 0,002 \cdot 487 = 17 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$\gamma = 17 + 0,002 \cdot 853 = 18,7 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$\gamma = 17 + 0,002 \cdot 1290 = 19,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (per il 3° strato)}$$



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. 20 rappresenta la sintesi del lavoro.

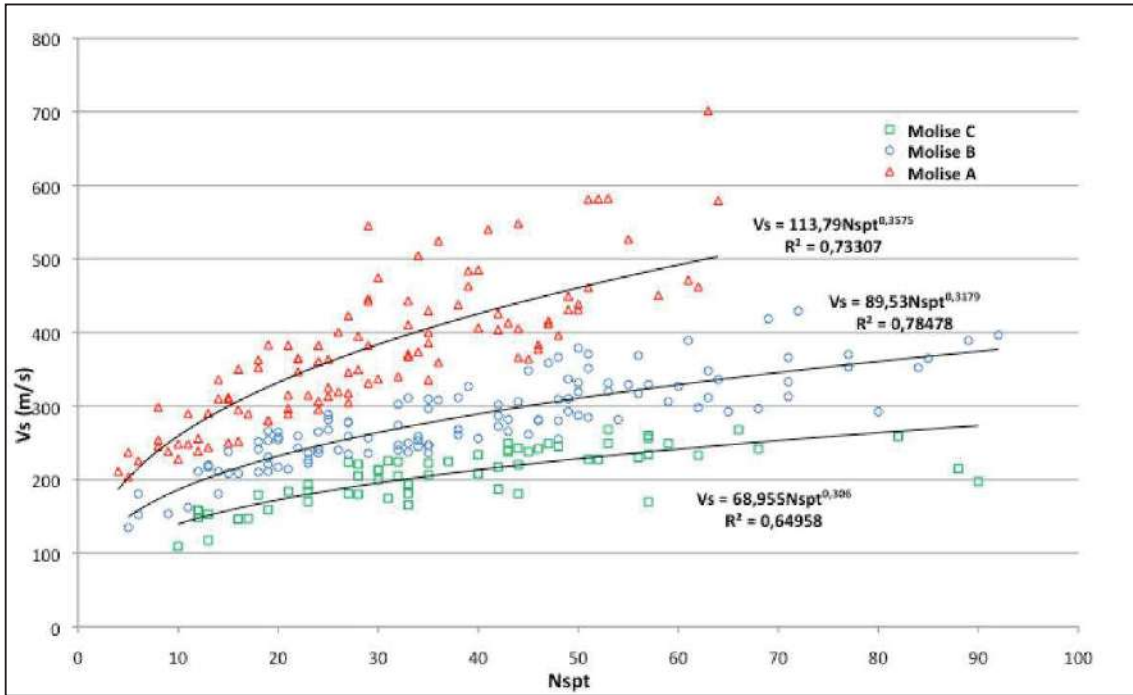


Fig. 20 - Correlazioni tra NSPT e Vs

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:

$$N_{SPT} \approx 17 \text{ (per il 1° strato)}$$

$$N_{SPT} \approx 90 \text{ (per il 2° strato)}$$

$$N_{SPT} \approx 85,0 \text{ (per il 3° strato)}$$

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

$$c_u \approx 50 \div 80 \text{ kPa (per il 2° strato)}$$

$$c_u \approx 80 \div 150 \text{ kPa (per il 2° strato)}$$

$$c_u \approx 150 \div 200 \text{ kPa (per il 3° strato)}$$

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, in sicurezza, valori tra 3÷4.

Pertanto si ha:

$$C_u = 68 \text{ kPa (1° strato)}$$

$$C_u = 172 \text{ kPa (2° strato)}$$

$$C_u = 200 \text{ kPa (3° strato)}$$

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 $V_s = 120 \div 300$ m/s. Si utilizza tale metodo solo per il primo strato in quanto i valori di V_s del terzo sono fuori dall'intervallo di validità indicato e quelli del secondo e terzo strato sono fuori dai limiti di validità indicati e pertanto i risultati non sono ritenuti attendibili.

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

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

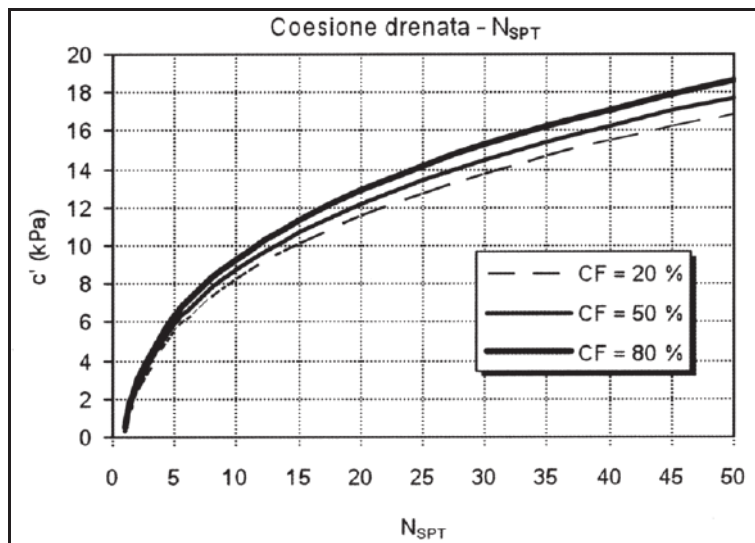


Fig. 21 - Andamento della coesione drenata in funzione N_{SPT} per contenuto di argilla

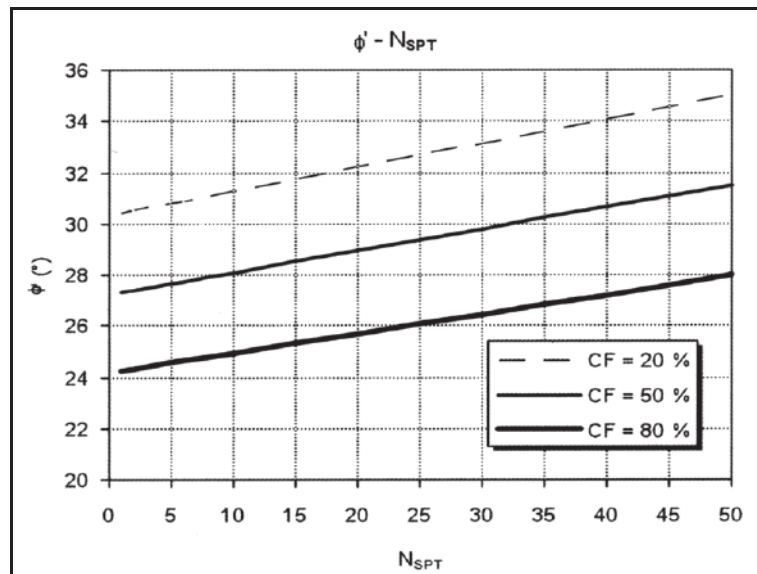


Fig. 22 - Andamento dell'angolo di resistenza al taglio in funzione N_{SPT} per contenuto di argilla

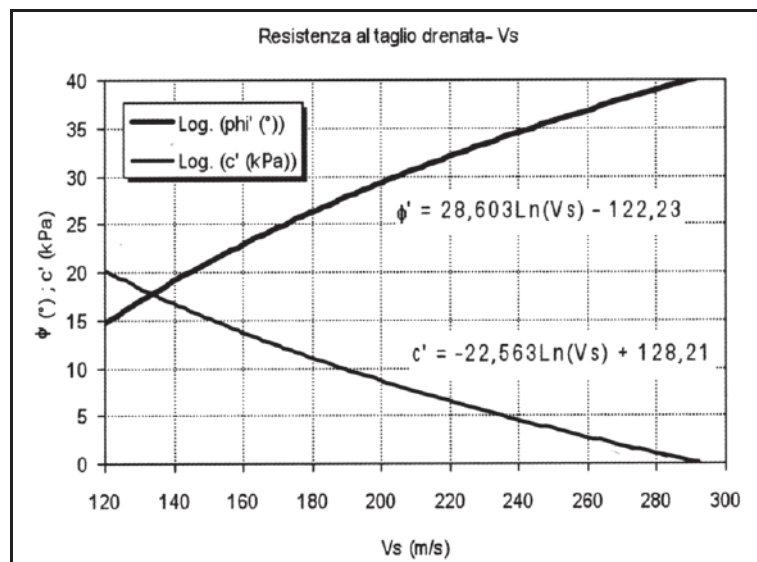


Fig. 23 - Andamento della resistenza al taglio drenata (ϕ' e c') in funzione di V_s

Pertanto:

$$\phi' \approx 30^\circ \text{ (per il 1^\circ strato)}$$

$$c' = 6 \text{ kPa (per il 1^\circ strato)}$$

Correlazione diretta tra velocità V_s e angolo di resistenza al taglio (terreni incoerenti)

Correlazione di Uzielli et al (2013) e Mayne (2014) che permette di stimare il range dei valori di picco della resistenza al taglio tramite la V_s normalizzata rispetto alla pressione litostatica:

$$\text{Limite superiore } \phi' = 3,9 V_{s1}^{0,44}$$

Limite inferiore $\varphi' = (3,9 V_{s1}^{0,44}) - 0,62$

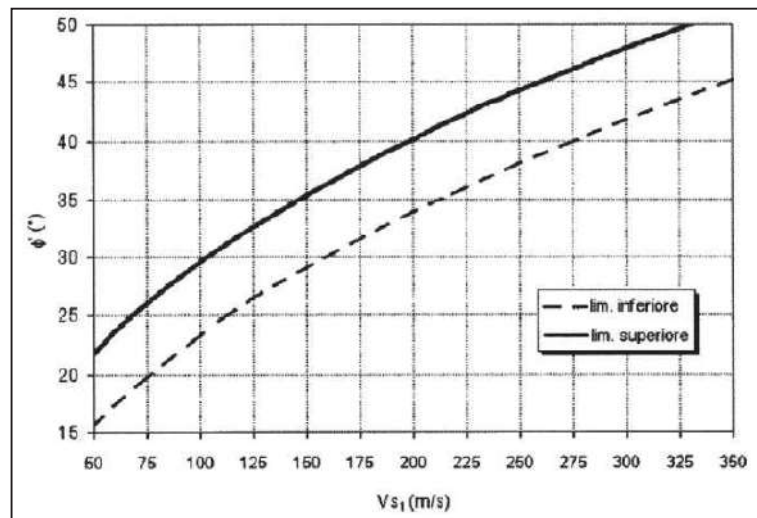


Fig. 24 - Andamento dell'angolo di resistenza al taglio in funzione di V_{s1}

Pertanto, per il 2° strato si ha:




$$\varphi' = 38^\circ$$

16. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

In conclusione, valutando criticamente i risultati di tutto quanto fin qui esposto, integrandoli con prove ed indagini eseguite dallo scrivente su terreni simili e alla consultazione di progetti pubblici in fase di VIA nazionale/regionale eseguiti in zona per progetti eolici/fotovoltaici, si ritiene che il modello geologico e geotecnico ricostruito e sotto riportato possa considerarsi sufficientemente definito oltrech  cautelativo.

Di seguito si riporta, quindi, una "stratigrafia geologica e la parametrizzazione 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 Elasticit� (Mpa)
--------------	--------------	---------------------	--	------------------------	----------------------------	-------------------------------------	-------------------	----------------------------

1,0÷2,0		Terreno vegetale fram misto a sabbie	23°	2÷3	20÷30	17	0,37	6
6,0		Sabbie, sabbie ghiaiose	25°÷28°	2÷5	80÷100	18,5	0,37	19
> 20		Sabbie limose e limi argillosi	24°÷26°	10÷12	120÷150	19	0,46	18

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

16.1. Calcolo del Coefficiente di sottofondazione (Coefficiente di WINKLER)

Si definisce pressione di contatto la pressione unitaria che la fondazione esercita in ciascun punto d'appoggio sul terreno di fondazione. Per modulo o coefficiente di sottofondazione si definisce la relazione che esiste fra la pressione di contatto in ogni punto della fondazione e la relativa deformazione del terreno:

$$k = Q/s.$$

Generalmente ci si basa sull'ipotesi che il modulo k sia costante sotto ogni punto della fondazione, come proposto da Winkler e da Westergaard. Se ciò si può verificare nel caso di fondazioni rigide, per fondazioni elastiche l'assunzione non è più valida. L'utilizzo di k anche per il dimensionamento di platee e reticoli di travi rimane nonostante questo ancora diffuso, mancando metodi di calcolo più attendibili e uguale semplicità.

Numerose sono le relazioni proposte in letteratura per il calcolo di k . Viene qui descritta la formula di Bowles, tra le più citate ed usate.

16.1.1. Metodo di Bowles

BOWLES (1991) propone un'espressione che permette di calcolare k_s sulla base della capacità portante:

$$\text{SI: } k_s = 40 (FS) \sigma_{\text{amm.}} \quad \text{kN/m}^3$$

nella quale $\sigma_{\text{amm.}}$ va espressa in kPa e $FS = 3$. Il coefficiente 40 viene utilizzato ipotizzando un cedimento massimo ammissibile di 2,54 cm.

È possibile utilizzare, per il calcolo del valore di k_s , questa espressione approssimata e di facile applicazione poiché si deve ricordare che la pressione sul terreno e i momenti flettenti calcolati sono poco sensibili al valore di k_s usato.

Ciò deriva dal fatto che la rigidezza degli elementi strutturali è in genere pari come minimo a 10 volte la rigidezza del terreno misurata da k_s .

Quindi:

$$k_s = 40 * 3 * (200 \text{ kPa}) = 24000 \text{ kN/m}^3 \cong \mathbf{3 \text{ kg/cm}^3}$$

E' inoltre possibile effettuare il calcolo utilizzando una correlazione fornita da Keceli (2012) con le velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

$$\text{SI: } k_s = 17,2 * V_s^{1,25} \quad \text{kN/m}^3$$

Quindi:

$$k_s = 17,2 * 222^{1,25} = 14739 \text{ kN/m}^3 \cong \mathbf{2 \text{ kg/cm}^3}$$

17. VERIFICHE GEOTECNICHE

Sebbene tutti i parametri geotecnici e sismici riportati nel paragrafo precedente risultino, per il progettista strutturale, più che sufficienti per il corretto dimensionamento delle opere di fondazione, si è voluto, in questa sede, effettuare un calcolo di massima della capacità portante dei terreni di fondazione.

Tale calcolo è stata eseguito ipotizzando, per le cabine, dimensioni medie di 6,5m x 2,5m e fondazioni a platea poggiate sul primo strato a circa 1,0 metro dal piano campagna.

Il calcolo, eseguito secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) seguendo la combinazione [A1+M1+R3], ha fornito - come si vedrà nel seguito - un valore di resistenza di progetto (R_d) e di carico limite (Q_{ult}):

$$R_d = 103 \div 130 \text{ KPa}$$

Il carico limite (Q_{ult}) risulta:

$$Q_{ult} = 180 \div 245 \text{ kPa}$$

Di seguito si riporta il report completo dell'analisi geotecnica eseguita.

CALCOLO PORTANZA E CEDIMENTI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Norme tecniche per le Costruzioni 2018

Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

Gli **stati limite ultimi** per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (**GEO**) riguardano:

- collasso per **carico limite** nei terreni di fondazione;
- **scorrimento** sul piano di posa.

In tali verifiche, tutte le azioni su un elemento di fondazione possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.

Per le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (**GEO**) per carico limite e per scorrimento si deve fare riferimento all'**approccio 2**.

L'analisi deve essere condotta con la Combinazione (**A1+M1+R3**), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (**M1**) sono unitari, i coefficienti parziali sulle azioni (**A1**) sono indicati dalla tabella 6.2.I e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti γ_R del gruppo **R3** riportati in tab. 6.4.I.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F ($\sigma\gamma_E$)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti G_2 (1)	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2.3$

Scorrimento	$\gamma_R = 1.1$
-------------	------------------

Stati Limite di Esercizio (SLE)

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (C_d), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni (E_d), attraverso la seguente espressione formale:

$$E_d < C_d$$

Dove:

- E_d , valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione;
- C_d , valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti e deformazioni che possano compromettere la funzionalità di una struttura).

I valori degli spostamenti e delle distorsioni andranno calcolati considerando le combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3:

- Combinazione frequente;
- Combinazione quasi permanente s.l.t.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri (f_k).

Nelle analisi, devono essere impiegati i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e pertanto i relativi coefficienti parziali di sicurezza devono sempre essere assunti unitari ($f_k = f_d$): si adottano i valori caratteristici dei moduli di deformazione dei terreni (E'_{k, Eed_k}).

Sotto l'effetto **dell'azione sismica** di progetto le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio già definiti in precedenza (§ 3.2.1 NTC), con i requisiti di sicurezza indicati nel § 7.1.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo **pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici** e impiegando **le resistenze di progetto**, con i coefficienti parziali γ_R indicati nel presente Capitolo 7 oppure con i γ_R indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato.

Stato Limite Ultimo (SLV) per carico limite (§ 7.11.5.3.1)

Le azioni derivano dall'analisi della struttura in elevazione come specificato al § 7.2.5. Le resistenze sono i corrispondenti valori limite che producono il collasso del complesso fondazione-terreno; esse sono valutabili mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica, tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione e dell'eccentricità delle azioni in fondazione. Il corrispondente valore di progetto si ottiene applicando il

coefficiente γ_R di Tabella 7.11.II. **Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (e.g. Richards et al., Paolucci e Pecker), il coefficiente γ_R può essere ridotto a 1.8.**

Stato Limite Ultimo (SLV) per scorrimento sul piano di posa (§ 7.11.5.3.1)

Per azione si intende il valore della forza agente parallelamente al piano di scorrimento, per resistenza si intende la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

Specificamente, si può tener conto della resistenza lungo le superfici laterali nel caso di contatto diretto fondazione-terreno in scavi a sezione obbligata o di contatto diretto fondazione-calcestruzzo o fondazione-acciaio in scavi sostenuti da paratie o palancole.

In tali casi, il progettista deve indicare l'aliquota della resistenza lungo le superfici laterali che intende portare in conto, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni e ai criteri costruttivi dell'opera.

Ai fini della verifica allo scorrimento, si può considerare la resistenza passiva solo nel caso di effettiva permanenza di tale contributo, portando in conto un'aliquota non superiore al 50%.

Stato limite di esercizio (SLE)

A meno dell'impiego di specifiche analisi dinamiche, in grado di fornire la risposta deformativa del sistema fondazione-terreno, la verifica nei confronti dello stato limite di danno può essere ritenuta soddisfatta impiegando le azioni corrispondenti allo SLD e determinando il carico limite di progetto con il coefficiente γ_R riportato nella Tabella 7.11.II.

Tab. 7.11.II - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo del carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich), oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

Prandtl ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge del tipo:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad \text{valida anche per i terreni.}$$

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

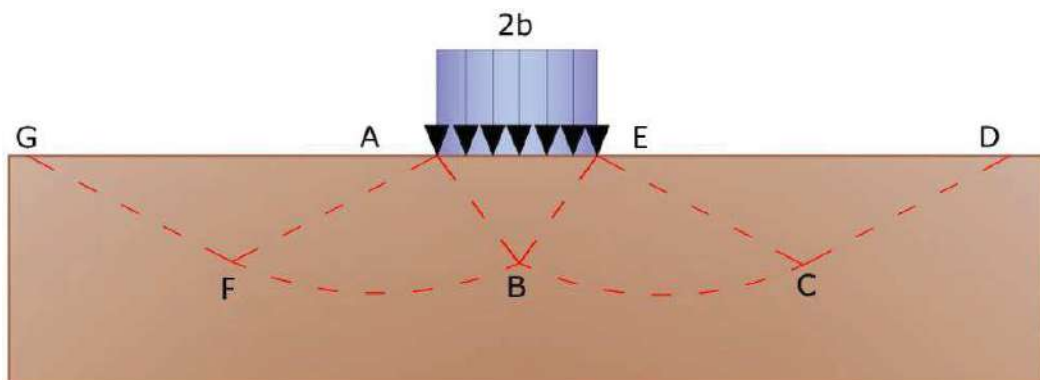
- Materiale privo di peso e quindi $\gamma=0$
- Comportamento rigido - plastico
- Resistenza a rottura del materiale esprimibile con la relazione $\tau=c+\sigma \cdot \tan\varphi$
- Carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza $2b$ (stato di deformazione piana)
- Tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie $GFBCD$.

Nel triangolo AEB la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di $45^\circ+\varphi/2$ rispetto all'orizzontale.

Nelle zone ABF e EBC la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti A ed E e l'altra da archi di famiglie di spirali logaritmiche.

I poli di queste sono i punti A ed E . Nei triangoli AFG e ECD la rottura avviene su segmenti inclinati di $\pm (45^\circ+\varphi/2)$ rispetto alla verticale.



Meccanismo di rottura di Prandtl

Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione $q=B \cdot c$, dove il coefficiente B dipende soltanto dall'angolo di attrito φ del terreno.

$$B = \cot\varphi \left[e^{\pi \tan\varphi} - 2 \tan^2(45^\circ + \varphi/2) - 1 \right]$$

Per $\varphi=0$ il coefficiente B risulta pari a 5.14, quindi $q=5.14 \cdot c$.

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione ($c=0$, $\gamma \neq 0$) risulta $q=0$, secondo la teoria di **Prandtl**, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente.

Questa teoria, anche se non applicabile praticamente, ha dato inizio a tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi.

Infatti **Caquot** si pose nelle stesse condizioni di Prandtl ad eccezione del fatto che la striscia di carico non è più applicata sulla superficie limite del semispazio, ma a una profondità h , con $h \leq 2b$; il terreno compreso tra la superficie e la profondità h ha le seguenti caratteristiche: $\gamma \neq 0$, $\varphi=0$, $c=0$, rappresenta un mezzo dotato di peso ma privo di resistenza.

Risolvendo le equazioni di equilibrio si arriva all'espressione:

$$q = A \cdot \gamma_1 + B \cdot c$$

che è sicuramente è un passo avanti rispetto a Prandtl, ma che ancora non rispecchia la realtà.

Formula di Meyerhof (1963)

Meyerhof propose una formula per il calcolo del carico limite simile a quella di *Terzaghi*; le differenze consistono nell'introduzione di ulteriori coefficienti di forma.

Egli introdusse un coefficiente s_q che moltiplica il fattore N_q , fattori di profondità d_i e di pendenza i_j per il caso in cui il carico trasmesso alla fondazione è inclinato sulla verticale.

I valori dei coefficienti N furono ottenuti da Meyerhof ipotizzando vari archi di prova BD (v. meccanismo Prandtl), considerando valori approssimati del taglio che si sviluppa nel terreno al di sopra del piano di posa. I fattori di forma tratti da Meyerhof sono di seguito riportati, insieme all'espressione della formula.

Carico verticale

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

Carico inclinato

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$N_q = e^{(0.75\pi - \varphi/2)} \cdot \tan^2(45 + \varphi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \cdot \varphi)$$

fattore di forma:

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot k_p \cdot \frac{B}{L} \quad \text{per } \varphi = 0$$

fattore di profondità:

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \cdot \frac{D}{B} \quad \text{per } \varphi > 10$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \varphi > 10$$

inclinazione:

$$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \quad \text{per } \varphi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \varphi = 0$$

dove:

- $k_p = \tan^2(45 + \varphi/2)$
- θ = Inclinazione della risultante sulla verticale.

Formula di Hansen (1970)

È una ulteriore estensione della formula di *Meyerhof*; le estensioni consistono nell'introduzione di b_i che tiene conto della eventuale inclinazione sull'orizzontale del piano di posa e un fattore g_i per terreno in pendenza.

La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto D/B , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori di $D/B < 1$:

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin\varphi)^2 \cdot \frac{D}{B}$$

Per valori $D/B > 1$:

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(1 - \sin\varphi)^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B}$$

Nel caso $\varphi=0$

D/B	0	1	1.1	2	5	10	20	100
d'_c	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando $\varphi=0$.

Fattore di forma:

$$s'_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_c = 1 \text{ per fondazioni a striformi}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di inclinazione del carico:

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot\varphi} \right)^5$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

$$i_q = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta / 450) \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \cot \varphi} \right)^5 \quad (\eta = 0)$$

Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio):

$$g'_c = \frac{\beta}{147}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata):

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q \exp(-2\eta \cdot \tan \varphi)$$

Formula di Vesic (1975)

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen, con N_q ed N_c come per la formula di Meyerhof ed N_γ come sotto riportato:

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi$$

I fattori di forma e di profondità che compaiono nelle formule del calcolo della capacità portante sono uguali a quelli proposti da Hansen; alcune differenze sono invece riportate nei fattori di inclinazione del carico, del terreno (fondazione su pendio) e del piano di fondazione (base inclinata).

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa sostenere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo):

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d , nei terreni a grana fine, si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

- $A' = B' \cdot L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico;
- c_u = coesione non drenata;
- q = pressione litostatica totale sul piano di posa
- s_c = fattore di forma;
- $s_c = 1 + 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right)$, per fondazioni rettangolari
- $s_c = 1.2$, per fondazioni quadrate o circolari
- i_c = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A'_f \cdot c_a}}$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue:

$$\frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi'} \cdot \tan^2(45 + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \tan \varphi'$$

Fattori di forma:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \text{sen}\varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \text{sen}\varphi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0.7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H:

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot\varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot\varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

Dove:

$$m = m_B = \frac{\left[2 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \right]} \quad \text{con } H // B'$$

$$m = m_L = \frac{\left[2 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]}{\left[1 + \left(\frac{L'}{B'} \right) \right]} \quad \text{con } H // L'$$

Se H forma un angolo θ con la direzione di L' , l'esponente "m" viene calcolato con

la seguente espressione:

$$m = m_{\theta} = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

VERIFICA A CARICO LIMITE DELLE FONDAZIONE (SLU)

La verifica a carico limite delle fondazioni secondo l'approccio SLU si esegue con la seguente disequaglianza:

$$E_d \leq \frac{R_d}{\gamma_{RV}}$$

Dove:

- E_d = pressioni agenti alla base della fondazione;
- R_d = capacità portante di calcolo;
- γ_{RV} = coefficiente riduttivo della capacità portante verticale

Le pressioni agenti alla base della fondazione si calcolano con dalla seguente espressione:

$$E_d = \frac{N_d}{A_{ef}}$$

Dove:

- N_d = azione normale di progetto;
- $A_{ef} = B_R \cdot L'$ = area ridotta;

Fondazioni quadrate o rettangolari

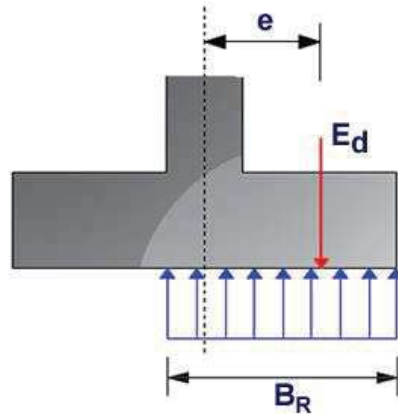
L'area ridotta risulta essere:

$$A_{ef} = B' \cdot L'$$

$$L' = L - 2e_x; B' = B - e_y; e_x = \frac{M_x}{N}; e_y = \frac{M_y}{N}$$

Per le verifiche a carico limite allo SLU è lecito considerare la "plasticizzazione" del terreno, in tal caso si può assumere una distribuzione uniforme delle pressioni agenti sul piano di posa.

Come evidenziato nella seguente immagine, la distribuzione delle pressioni si considera estesa sulla base "ridotta" $B_R = B - 2e$.



Dove:

- $e = N_d / M_d$ - eccentricità dei carichi

VERIFICA A SLITTAMENTO

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità di un plinto di fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene valutata come somma di componenti: una delle componenti è dovuta all'adesione, l'altra è dovuta all'attrito fondazione-terreno. La resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno può essere messa in conto secondo una percentuale indicata dall'utente. La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$F_{Rd} = N_{sd} \cdot \tan \delta + c_a \cdot A'$$

Nella quale N_{sd} è il valore di calcolo della forza verticale, δ è l'angolo di resistenza a taglio alla base del plinto, c_a è l'adesione plinto-terreno e A' è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante.

FATTORI CORRETTIVI SISMICI (PAOLUCCI E PECKER)

Quando si determina q_{lim} , per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \phi} \right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale.

CEDIMENTI ELASTICI

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni $B \times L$ posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier, 1951):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s} \left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2 \right) \cdot I_F \quad (1)$$

dove:

q_0 Intensità della pressione di contatto

B' Minima dimensione dell'area reagente,

E e μ Parametri elastici del terreno.

I_1 Coefficienti di influenza dipendenti da: L'/B' , spessore dello strato H , coefficiente di Poisson μ , profondità del piano di posa D ;

I coefficienti I_1 e I_2 si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da Steinbrenner (1934) (V. Bowles), in funzione del rapporto L'/B' ed H/B , utilizzando $B'=B/2$ e $L'=L/2$ per i coefficienti relativi al centro e $B'=B$ e $L'=L$ per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza I_F deriva dalle equazioni di Fox (1948), che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di Poisson e del rapporto L/B .

In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente I_S :

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} \cdot I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore H vale:

$$\Delta H = q_0 \cdot B' \frac{1-\mu^2}{E_s} \cdot I_S \cdot I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo. Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a $5B$, se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore. A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di E pari a 10 volte dello strato soprastante. Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	2.5 m
Lunghezza fondazione	6.5 m
Profondità piano di posa	1.0 m

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.229
Effetto sismico secondo	NTC 2018

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.422	2.515	0.281
S.L.D.	50.0	0.539	2.56	0.313
S.L.V.	475.0	1.54	2.531	0.418
S.L.C.	975.0	2.118	2.48	0.427

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.633	0.2	0.0129	0.0065
S.L.D.	0.8085	0.2	0.0165	0.0082
S.L.V.	2.2507	0.24	0.0551	0.0275
S.L.C.	2.9199	0.28	0.0834	0.0417

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesion e [kN/m ²]	Coesion e non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edomet rico [kN/m ²]	Poisson	Coeff. consoli daz. primari [cmq/s]	Coeff. consoli dazione second aria	Descrizi one
1.5	17.0	17.5	23.0	3.0	20.0	6000.0	0.0	0.37	0.0	0.0	
6.0	18.5	18.5	27.0	5.0	60.0	19000.0	0.0	0.37	0.0	0.0	
10.0	19.0	19.0	25.0	10.0	100.0	18000.0	0.0	0.46	0.0	0.0	

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazioni	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970)

Carico limite [Qult]	186.11 kN/m ²
Resistenza di progetto [Rd]	103.39 kN/m ²
Tensione [Ed]	100.0 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	1.86
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 7444.2 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.88
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.16
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.85

Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [lg]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	186.11 kN/m ²
Resistenza di progetto	103.39 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.82
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [lc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.09
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [lq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.09
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [lg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	207.21 kN/m ²
Resistenza di progetto	115.12 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °

Coesione	3.0 kN/m ²
=====	
Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	8.2
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.16
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.85
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
=====	
Carico limite	245.87 kN/m ²
Resistenza di progetto	136.6 kN/m ²
=====	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

=====	
Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²
=====	
Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	6.5
Fattore forma [Sc]	1.17
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.15
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.88

Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	219.48 kN/m ²
Resistenza di progetto	121.93 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

SISMA

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.88
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.16
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.85
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	186.11 kN/m ²
Resistenza di progetto	103.39 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	4.82
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.09
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.09
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	207.21 kN/m ²
Resistenza di progetto	115.12 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	8.2
Fattore forma [Sc]	1.18
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.16
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0

Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.85
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	245.87 kN/m ²
Resistenza di progetto	136.6 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	17.0 kN/m ³
Peso unità di volume saturo	17.5 kN/m ³
Angolo di attrito	23.0 °
Coesione	3.0 kN/m ²

Fattore [Nq]	8.66
Fattore [Nc]	18.05
Fattore [Ng]	6.5
Fattore forma [Sc]	1.17
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.15
Fattore profondità [Dq]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.88
Fattore profondità [Dg]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1.0
Fattore inclinazione base [Bg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	219.48 kN/m ²
Resistenza di progetto	121.93 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	100.0 kN/m ²
Spessore strato	1.0 m
Profondità substrato roccioso	2.0 m
Modulo Elastico	6000.0 kN/m ²
Coefficiente di Poisson	0.37

Coefficiente di influenza I1	0.09
Coefficiente di influenza I2	0.11
Coefficiente di influenza Is	0.13

Cedimento al centro della fondazione	6.28 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0.03
Coefficiente di influenza I2	0.07
Coefficiente di influenza Is	0.06
Cedimento al bordo	1.36 mm

18. 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 Stornara (Fg) in località "La Contessa".

B. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area indagata è compresa nella tavoletta topografica I N.O. "Orta Nova" del Foglio N°175 della Carta d'Italia dell'I.G.M.I. La quota topografica è di circa 90 m s.l.m. L'area è pressoché pianeggiante.

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

- L'unità litologica interessata dall'intervento in progetto è rappresentata dalla Argille subappennine (ASP).
- 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)
1,0÷2,0		Terreno vegetale frammito a sabbie	23°	2÷3	20÷30	17	0,37	6
6,0		Sabbie, sabbie ghiaiose	25°÷28°	2÷5	80÷100	18,5	0,37	19
> 20		Sabbie limose e limi argillosi	24°÷26°	10÷12	120÷150	19	0,46	18

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

Spessore (m)	descrizione terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson (σ)	Modulo di Young (E_{din})	Modulo di taglio (G_{din})	Modulo di incompressibilità (K)
≈ 2,0	Terreno vegetale frammisto a sabbia	487	222	0,37	232 Mpa	85 Mpa	291 Mpa
≈ 6,0	Sabbie, sabbie ghiaiose	853	392	0,37	751 Mpa	275 Mpa	924 Mpa
> 20	Sabbie limose e limi argillosi	1290	358	0,46	725 Mpa	248 Mpa	2912 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 **360 m/s** ($180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$).

La presente relazione è composta da 84 pagine e dai seguenti allegati:

- corografia della zona in scala 1:25.000;
- stralcio Carta Tecnica Regionale in scala 1:18.000;
- stralcio ortofoto con ubicazione sondaggi 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, 07 gennaio 2021.

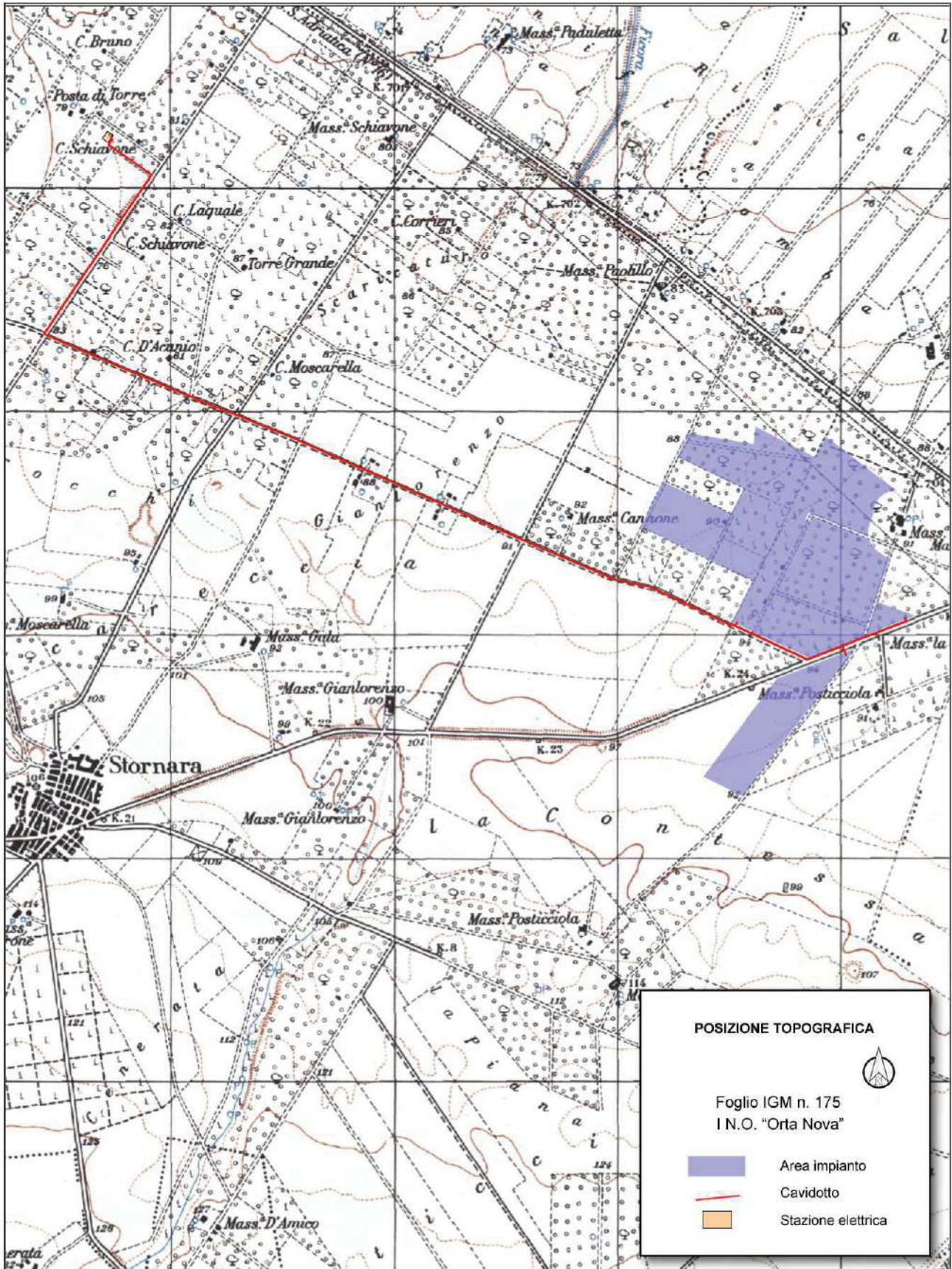
dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello



Comune di
Stornara (FG)

Stralcio aerofotogrammetrico

Scala 1:25.000



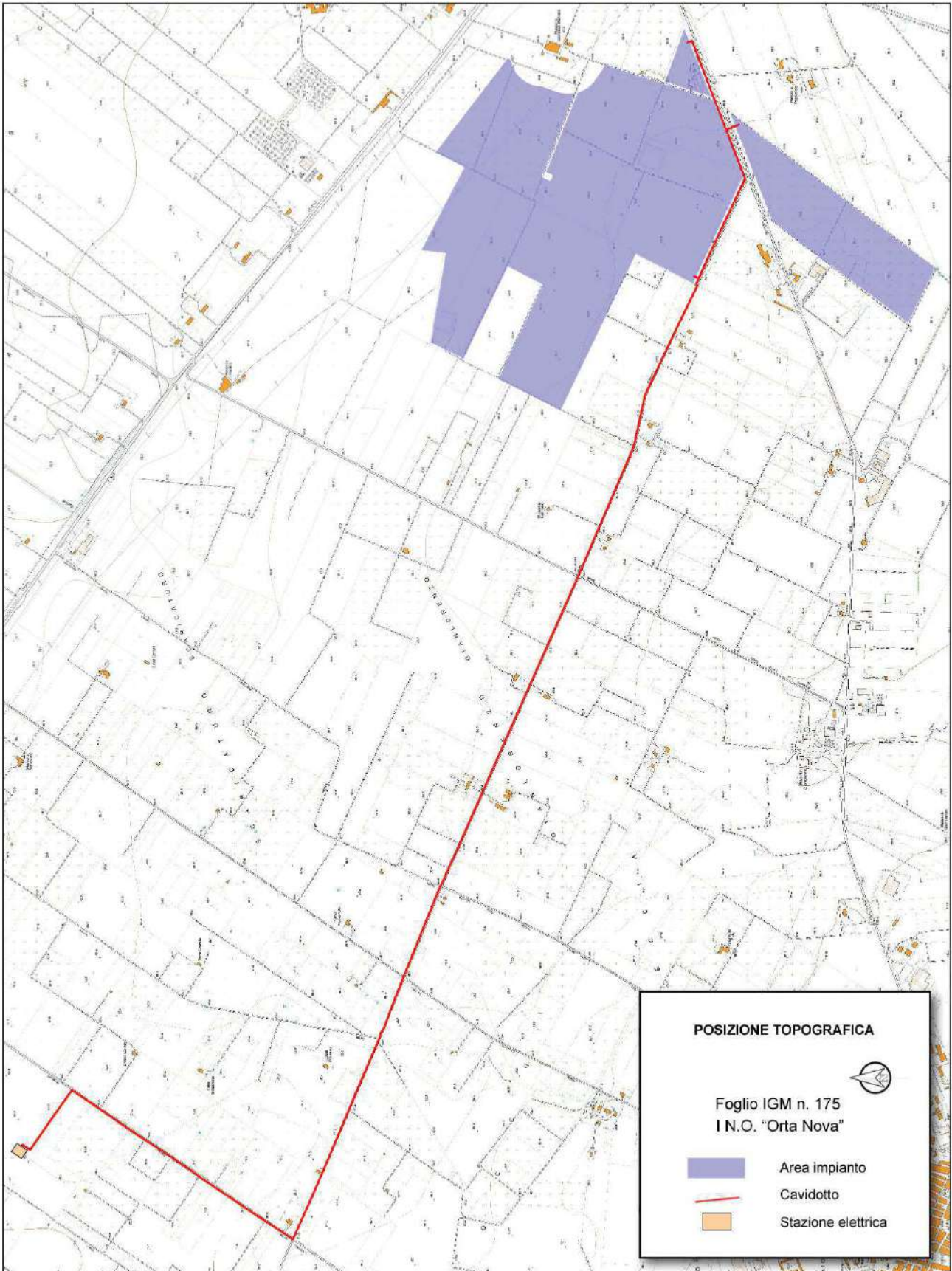
Proponente:
Enel Stornara 1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Stornara (FG)

Ubicazione impianto su CTR

Scala 1:18.000



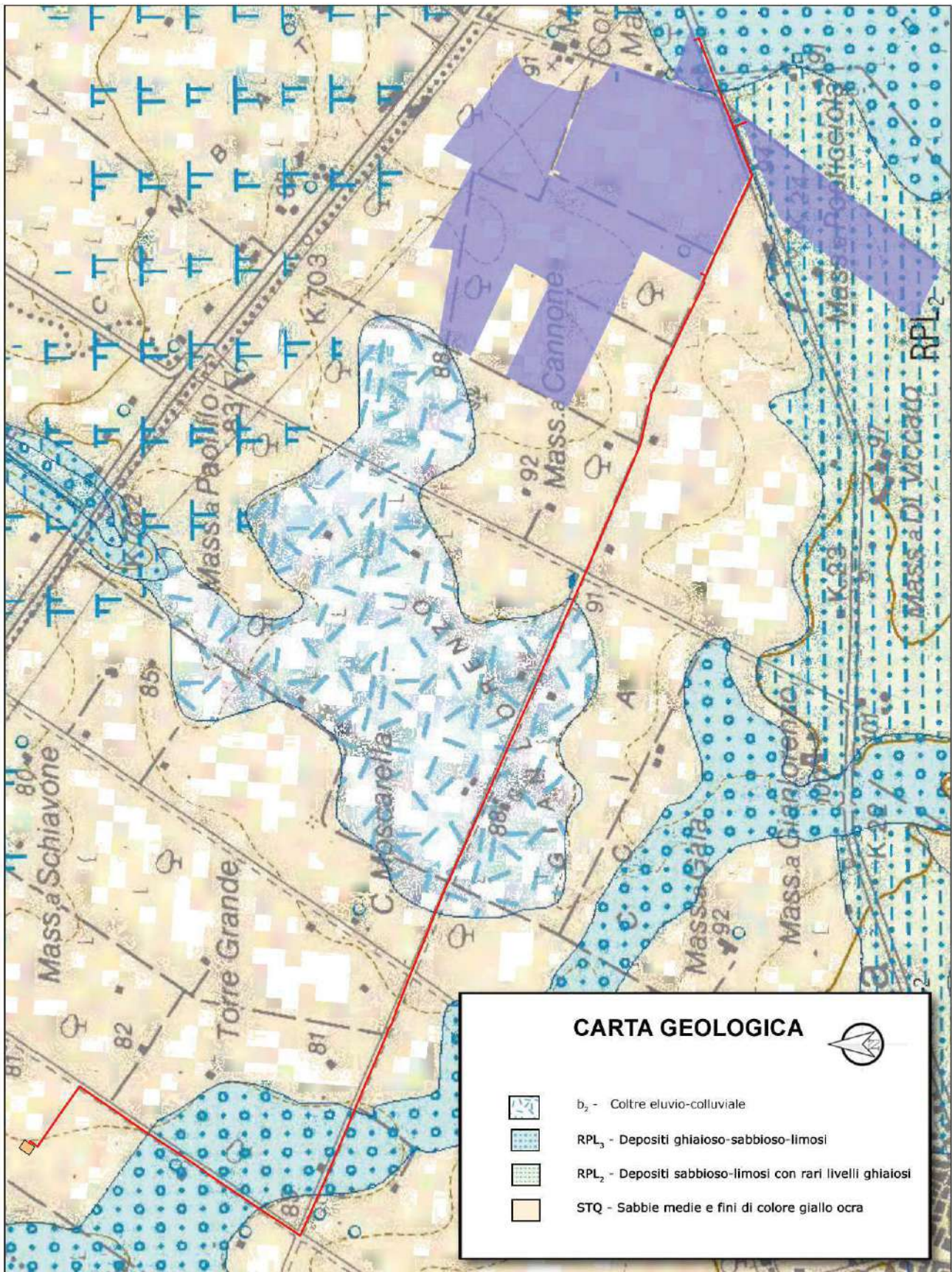
Proponente:
Enel Stornara 1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Stornara (FG)

Stralcio Carta Geologica

Scala 1:18.000



Proponente:

Enel Stornara 1 SRL

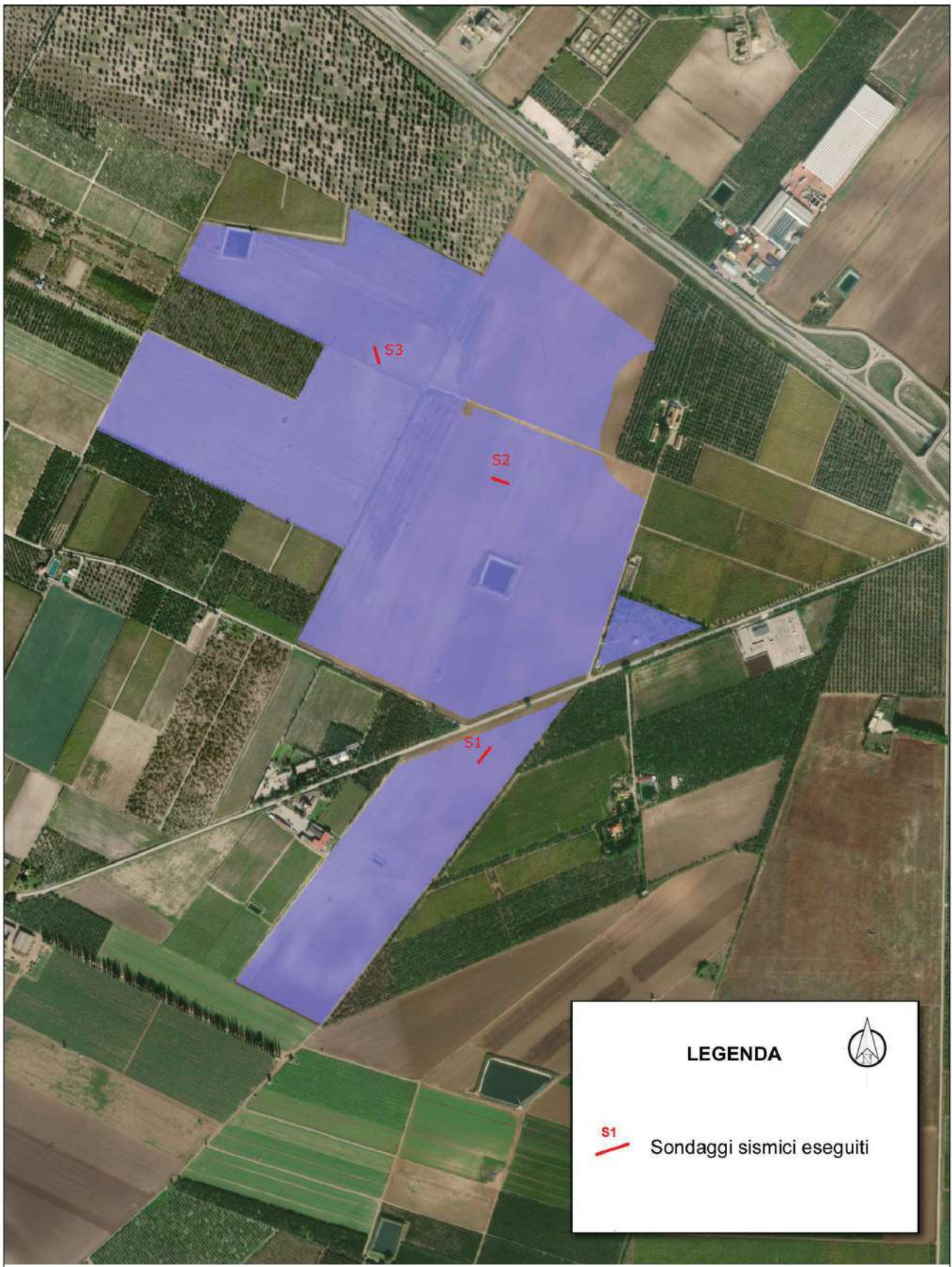
Il professionista incaricato:

geol. Domenico Paolo Impagnatiello

Comune di
Stornara (FG)

Ubicazione prove sismiche

Scala 1:8.000



Proponente:
Enel Stornara 1 SRL

Il professionista incaricato:
geol. Domenico Paolo Impagnatiello

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto n. 1 – georeferenziazione traccia sismica S1



Foto n. 2 – esecuzione indagine sismica S1



Foto n. 3 – esecuzione indagine sismica S2



Foto n. 4 – esecuzione indagine sismica S2 e georeferenziazione profilo



Foto n. 5 – esecuzione indagine sismica S3



Foto n. 6 – esecuzione indagine sismica S3



COMUNE DI STORNARA



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI FOGGIA

OGGETTO

ESECUZIONE DI UNA INDAGINE SISMICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DENOMINATO "STORNARA 1" IN AGRO DEL COMUNE DI STORNARA (FG) IN LOCALITÀ "LA CONTESSA".

DATA: LUGLIO 2020

LOCALITÀ

Comune di Stornara (FG) in località "La Contessa".

PROPONENTE

ENEL STORNARA 1 s.r.l.
P.IVA 04317840710
Vico Teatro 33, 71121 Foggia (Fg)

ELABORATO

INDAGINE GEOFISICA

DITTA ESECUTRICE INDAGINI



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

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

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



INDICE

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	13
4.1 Metodologia sismica a rifrazione	13
4.2 Attrezzature e tecniche operative	15
4.3 Risultati.....	16

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

Ubicazione profili sismici (da CTR e Ortofoto) - scala 1:4.000

Allegato profili sismici 1÷3

- *Sismogrammi analisi Masw offset 4-8 m (metodo attivo)*
- *Analisi Masw combinata*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Dromocrone onde P*
- *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
- *Documentazione fotografica*

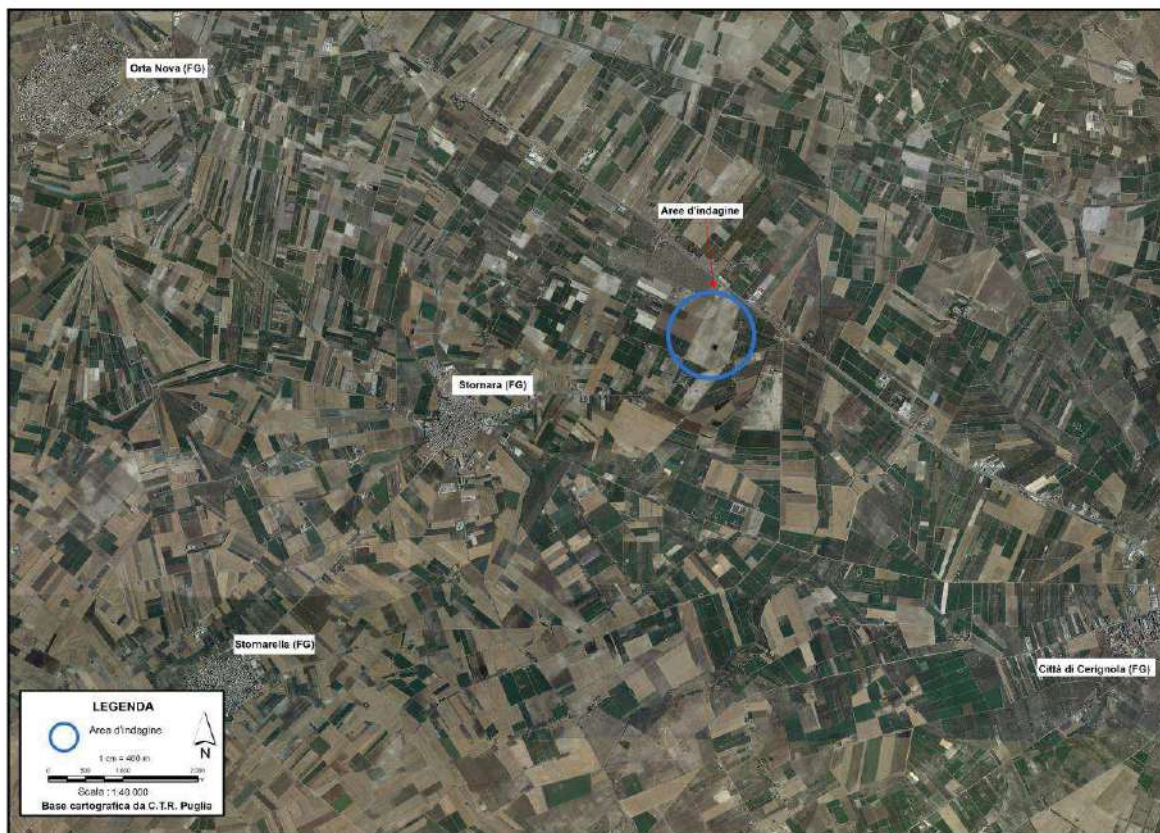
1 PREMESSA

Per incarico conferito alla “PRO-GEO s.a.s. di Alberto Quarto & C.” è stata eseguita una prospezione geofisica “PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DENOMINATO “STORNARA 1” IN AGRO DEL COMUNE DI STORNARA (FG) IN LOCALITÀ “LA CONTESSA”.

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:

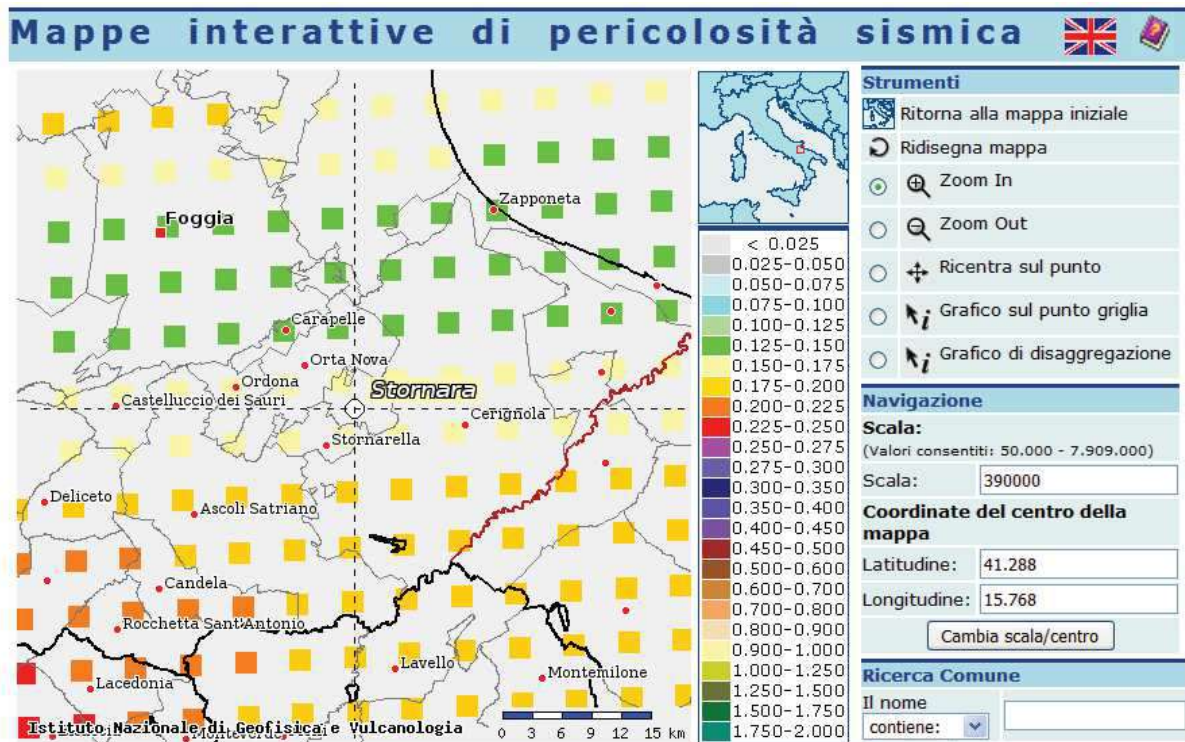
- n. 3 profili sismici MASW;
- n. 3 profili sismici a rifrazione.



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 **0.150-0.175 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 41.297195° - Lng 15.809377°**

Indirizzo **Coordinate** Isole

Latitudine Longitudine

WGS84: Lat 41.297195 - Lng 15.809377

ED50: Lat 41.298173 - Lng 15.810220

Stati limite

Classe Edificio

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

Vita Normale

Interpolazione

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.513	0.282
Danno (SLD)	50	0.055	2.560	0.311
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.159	2.527	0.417
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.218	2.475	0.427
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Mappe: **Mappa** Satellite

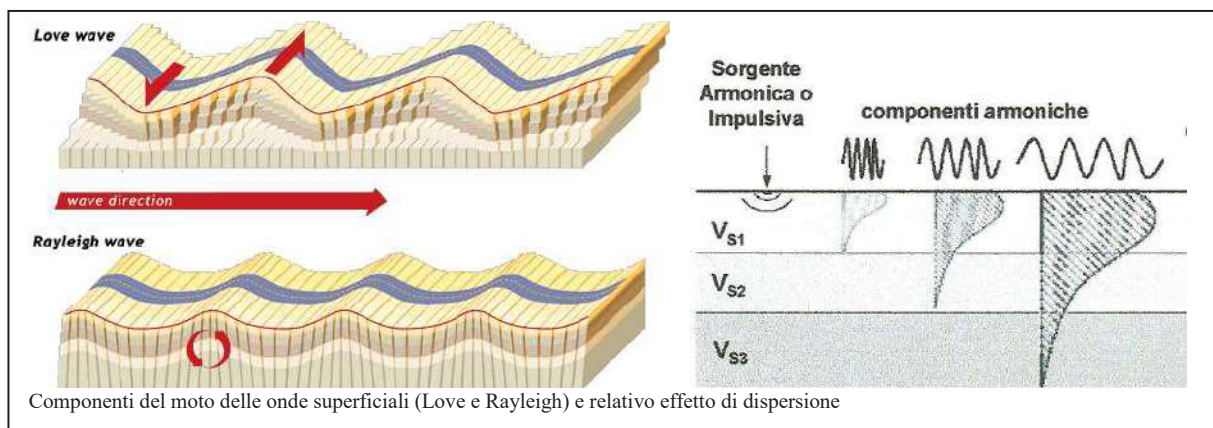
Visualizza vertici della maglia di appartenenza

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

3 INDAGINE M.A.S.W

3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.

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



La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

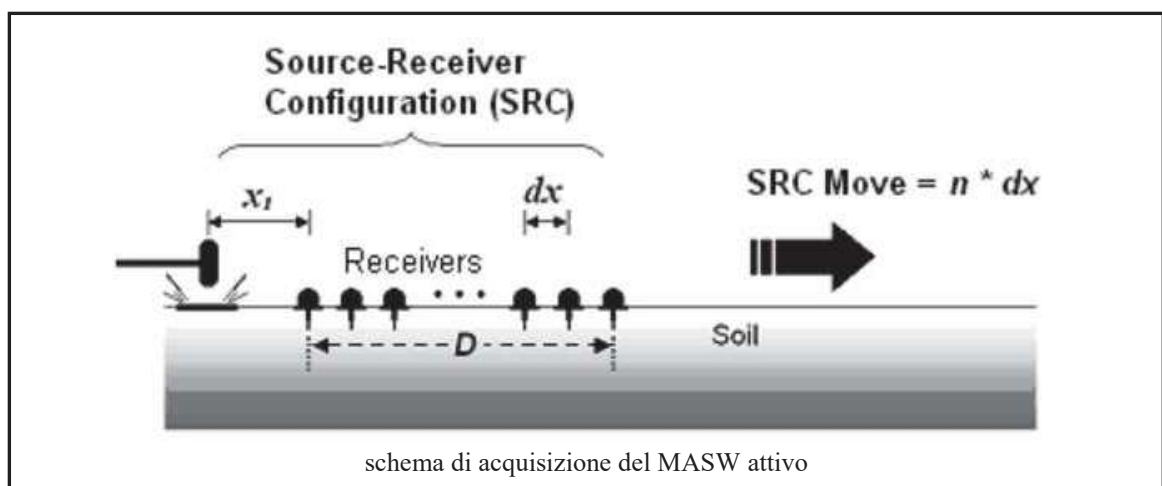
Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

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

- Nel “metodo passivo” (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E’ possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

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

Sorgente	Lunghezza profili	Distanza intergeofonica (dx)	Offset (x_l)
martello	48 m	2.0 m	4-8 m



3.2 Attrezzature e tecniche operative

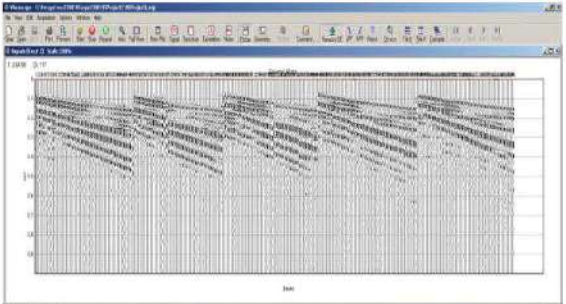
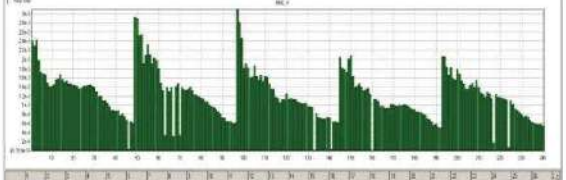
Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:


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

DAQlink Specifications

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

Size: 330x230x60 mm
Weight: 3.4 Kg



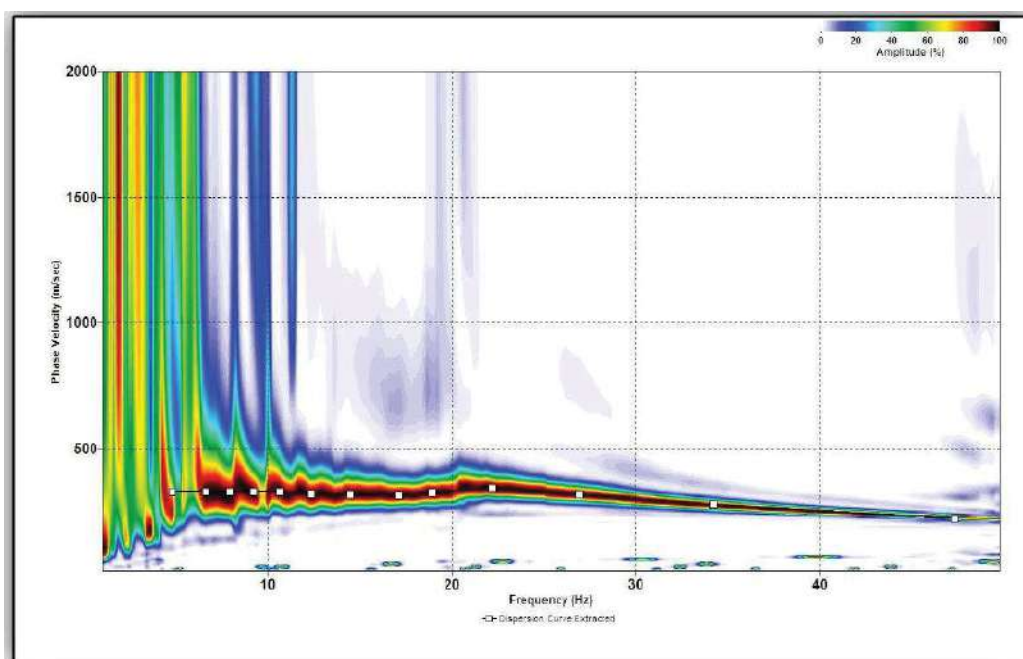
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SurfSeis 3.0 della Kansas Geological Survey.

Sono state acquisite, per ogni misura, sei registrazioni, 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 1		Masw 1	
Vs (m/s)	Profondità (mt)	Vs (m/s)	Profondità (mt)	Vs (m/s)	Profondità (mt)
227	-0.9	223	-0.8	277	-1.0
196	-2.1	184	-1.9	226	-2.2
281	-3.5	273	-3.2	326	-3.7
425	-5.4	374	-4.8	527	-5.7
416	-7.6	351	-6.8	559	-8.0
335	-10.4	279	-9.4	476	-11.0
301	-14.0	270	-12.5	409	-14.8
361	-18.4	320	-16.5	389	-19.5
392	-23.9	341	-23.5	447	-25.3
344	-30	442	-30	545	-31.6

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

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

dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

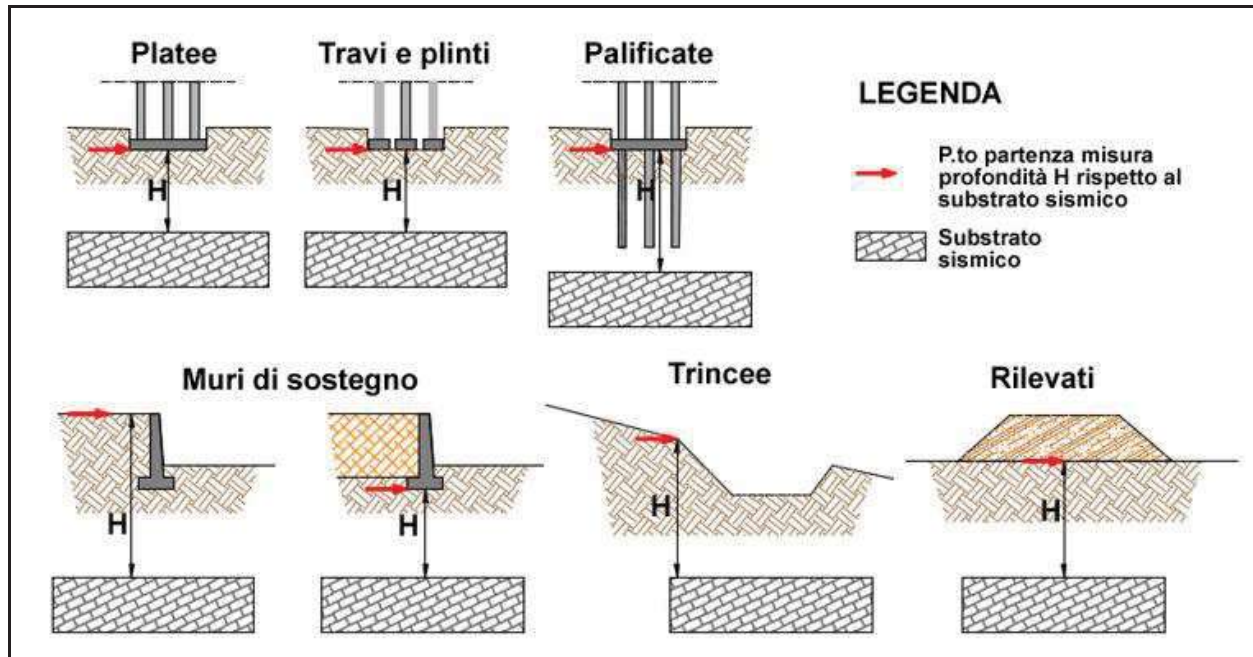
$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

Per le **fondazioni superficiali**, la profondità del substrato è riferita al *piano di imposta* delle stesse, mentre per le **fondazioni su pali** è riferita alla *testa dei pali*. Nel caso di **opere di sostegno di terreni naturali**, la profondità è riferita alla *testa dell'opera*. Per **muri di sostegno di terrapieni**, la profondità è riferita al *piano di imposta della fondazione*.



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

Pertanto il sito in esame rientra nelle seguenti **categoria** come segue:

- ✓ **Profilo MASW 1** → $V_{S,30} = 337$ m/s - categoria C
- ✓ **Profilo MASW 2** → $V_{S,30} = 323$ m/s - categoria C
- ✓ **Profilo MASW 3** → $V_{S,30} = 429$ m/s - categoria B

Poiché i modelli di v_s /profondità presentano delle inversioni di V_s (tra circa 3-7 m) è consigliabile, in fase esecutiva, eseguire approfondimenti geognostici ed eventuali analisi mirate di risposta sismica locale.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

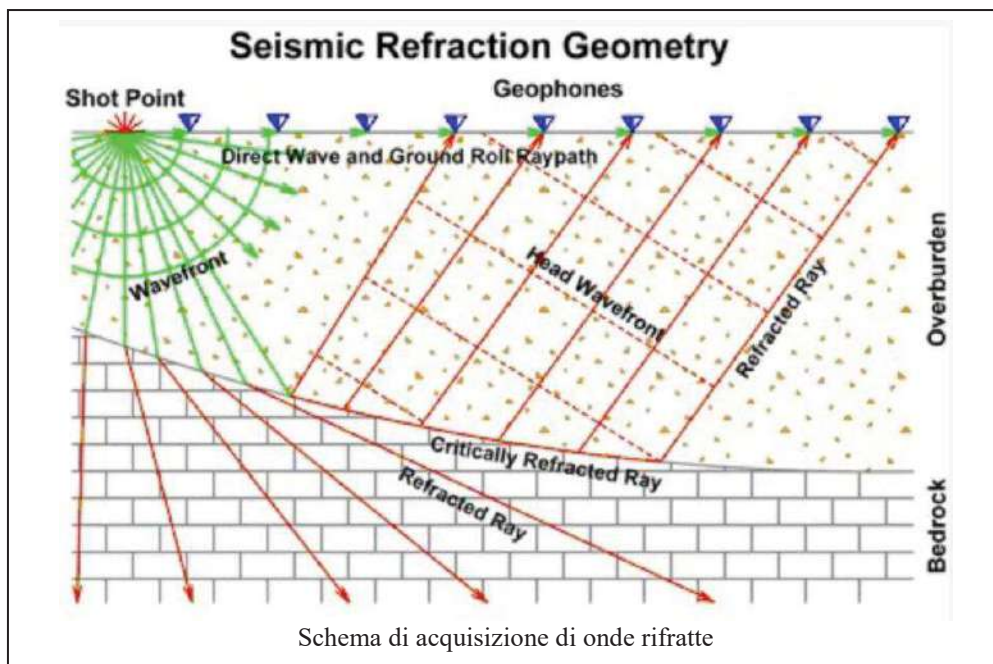
4 PROSPEZIONE SISMICA

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.

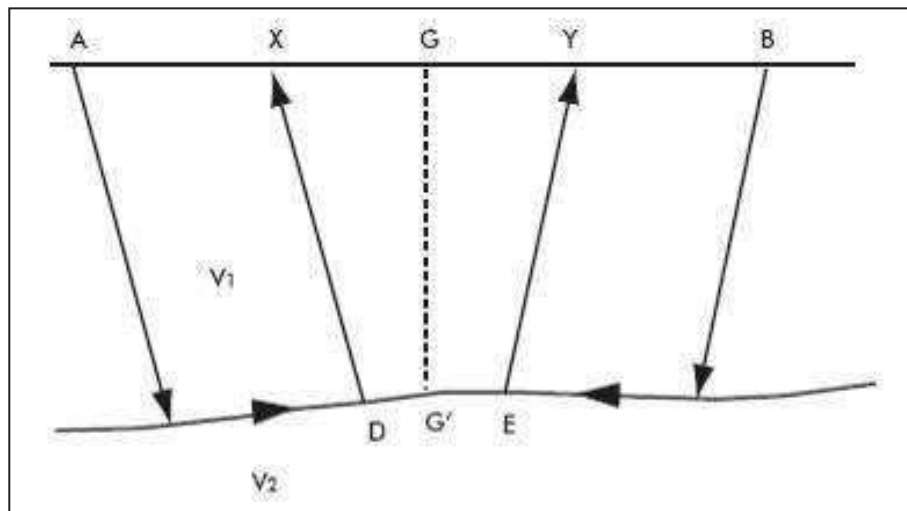
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

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.

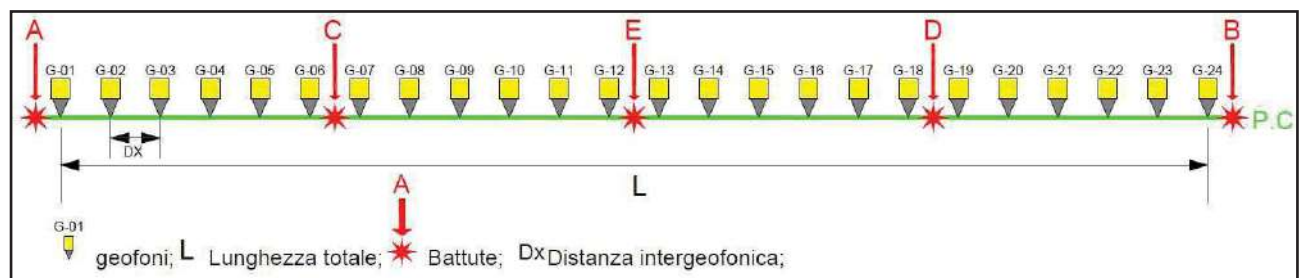
4.2 Attrezzature e tecniche operative

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 (metri)	Distanza geofonica (metri)
Profili 1÷3	72	3.0

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 media di 2.0 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 460-520 m/s e V_s compresa tra 204-252 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (con una profondità media di 7.5 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 770-990 m/s e V_s compresa tra 332-471 m/s;
3. **Il substrato rifrattore** ha velocità V_p compresa tra 1090-1570 m/s e V_s compresa tra 303-424 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 frammisto a sabbie*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a *sabbie e sabbie ghiaiose comprendente, in superficie, eventuale crosta calcarea di natura evaporitica*;
3. **Il substrato rifrattore** è associabile a *alternanze di sabbie limose e limi argillosi e, nel profilo 3, ad argille limose*.

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÷2.1	480	211	0.38	1.70	2132	772	2967
2° sismostrato 2.1÷7.6	800	374	0.36	1.75	6795	2498	8098
substrato >7.6	1210	347	0.46	1.90	6794	2334	25273

Profilo 2

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.9	460	204	0.38	1.70	1989	722	2708
2° sismostrato 1.9÷6.8	770	332	0.39	1.75	5455	1968	7963
substrato >6.8	1090	303	0.46	1.90	5191	1780	20661

Profilo 3

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.2	520	252	0.35	1.70	2967	1102	3222
2° sismostrato 2.2÷8.0	990	471	0.35	1.75	10725	3961	12220
substrato >8.0	1570	424	0.46	1.90	10182	3485	43142

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

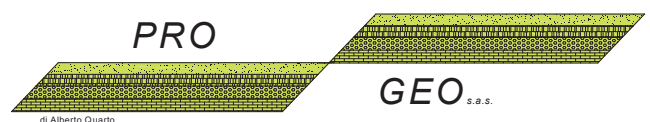
E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

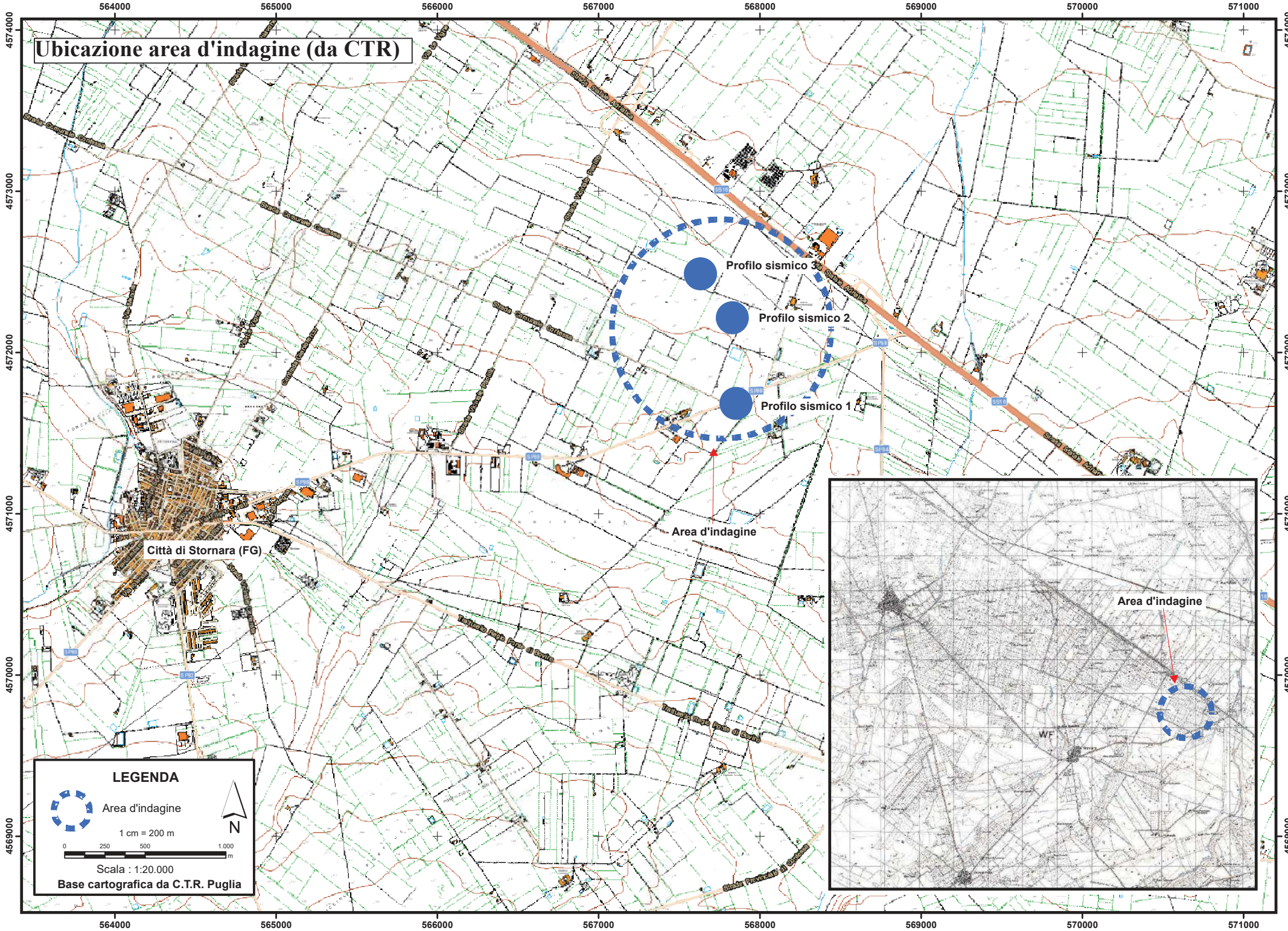
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

-
- **UBICAZIONE AREA D'INDAGINE (da CTR) scala 1:20.000 (formato foglio A3)**
 - **UBICAZIONE PROFILI SISMICI (da ORTOFOTO-CTR) scala 1:4.000 (formato foglio A3)**
-

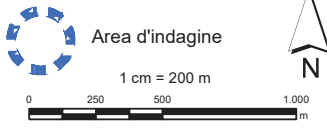


di Alberto Quano

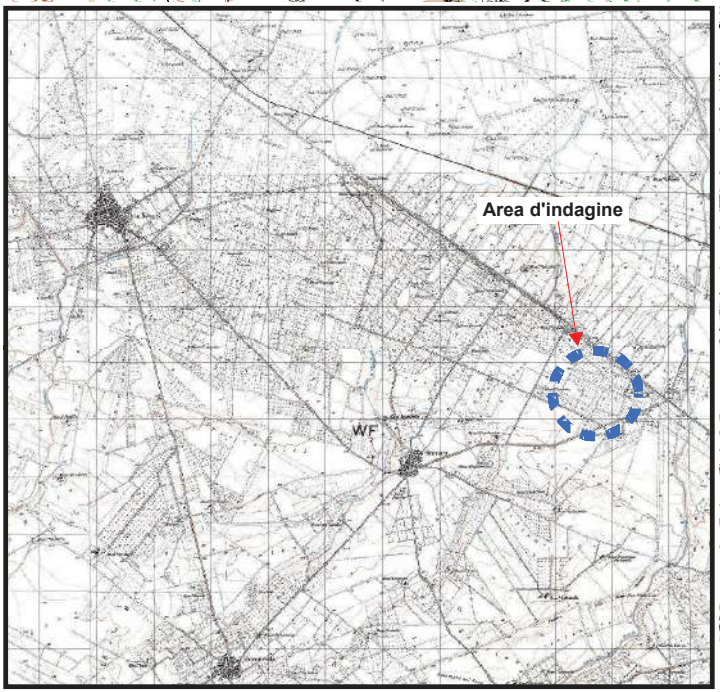
Ubicazione area d'indagine (da CTR)



LEGENDA



Scala : 1:20.000
Base cartografica da C.T.R. Puglia





Ubicazione profili sismici

A PS3 B

A PS2 B

A PS1 B

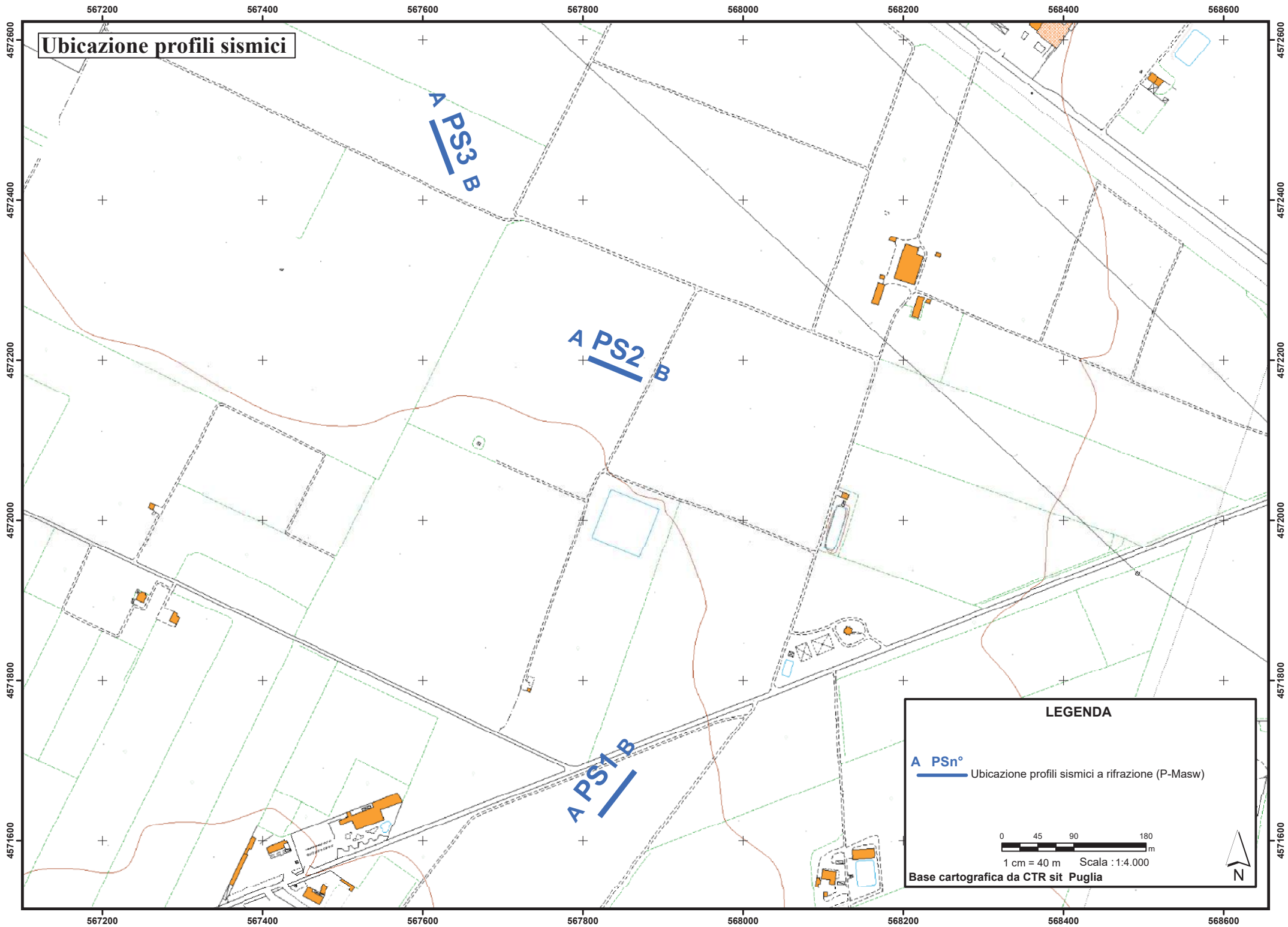
LEGENDA

A PSn° Ubicazione profili sismici a rifrazione (P-Masw)

0 45 90 180 m

1 cm = 40 m Scala : 1:4.000

Base cartografica da Ortofoto sit Puglia



Ubicazione profili sismici

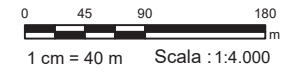
A PS3 B

A PS2 B

A PS1 B

LEGENDA

A PSn° Ubicazione profili sismici a rifrazione (P-Masw)



Base cartografica da CTR sit Puglia



ALLEGATO "PROFILO SISMICO 1"

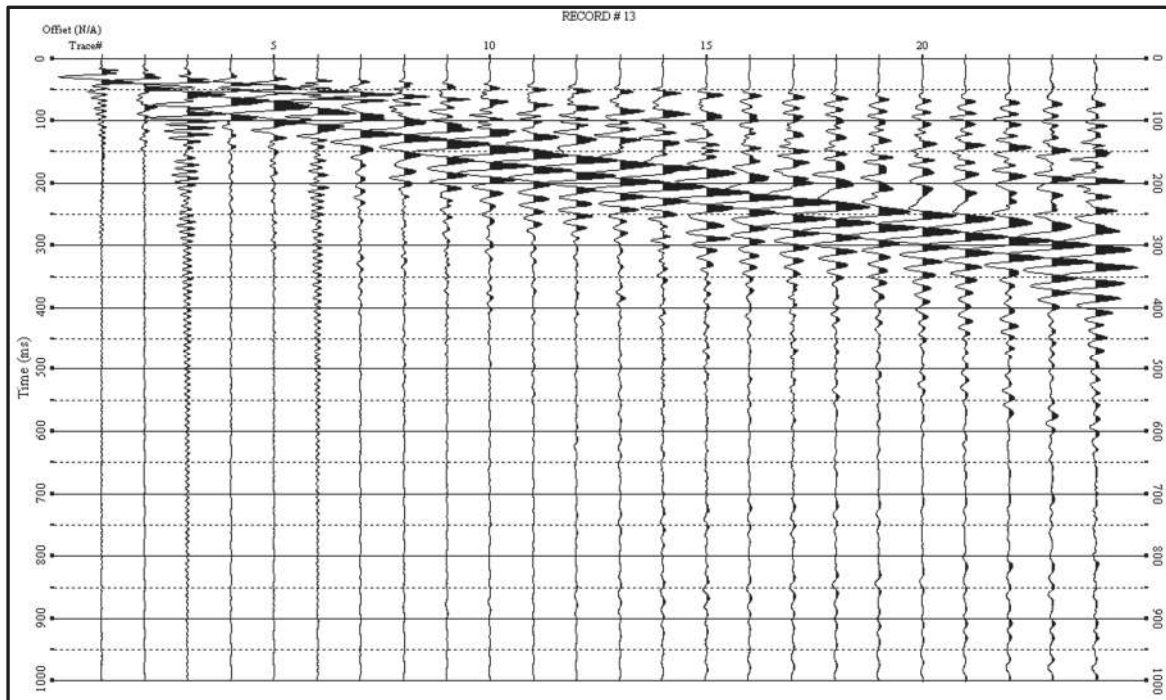
- *Sismogrammi analisi Masw offset 4-8 m (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw combinata*
 - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
 - *Dromocrone onde P*
 - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
 - *Documentazione fotografica*
-

PRO

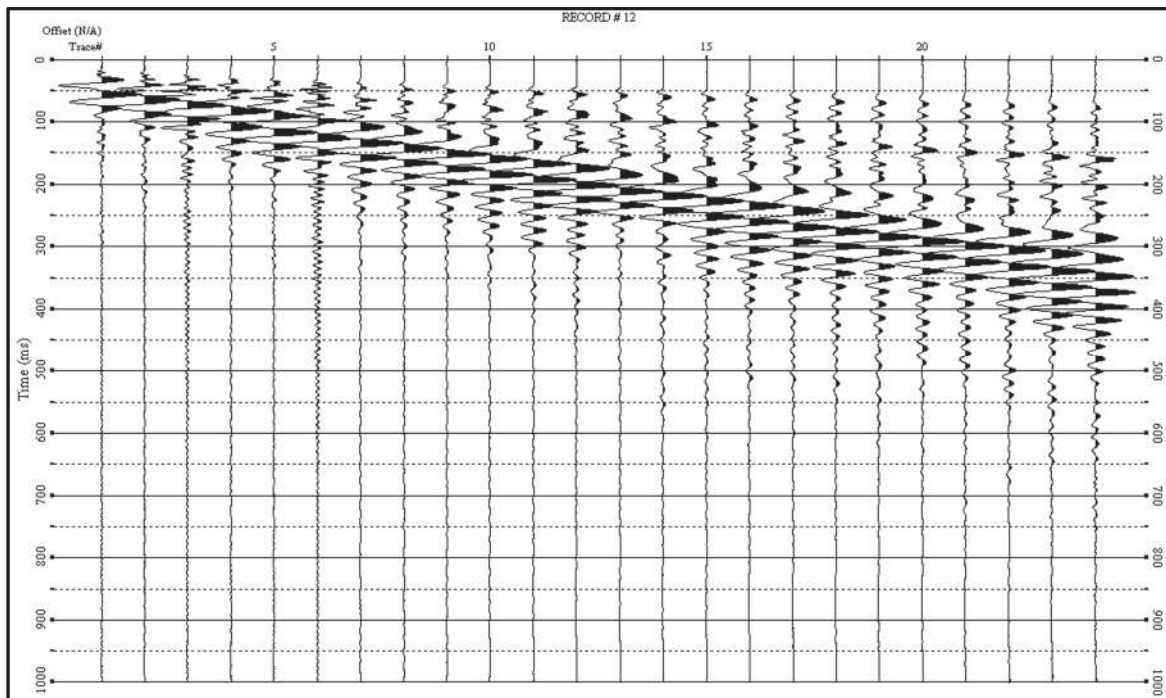
di Alberto Quarto

GEO s.a.s.

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 1 (METODO ATTIVO)



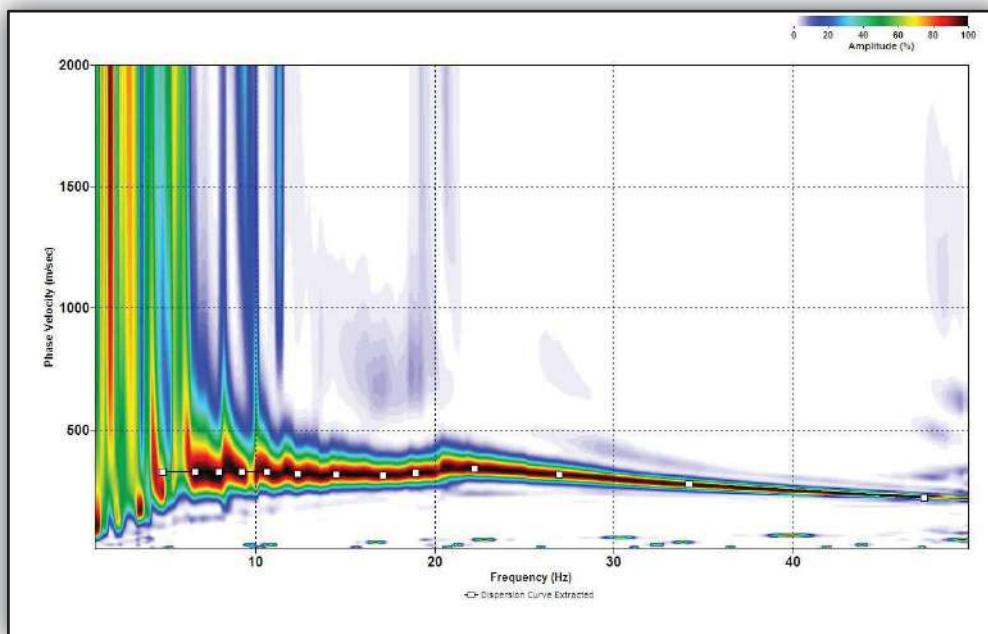
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri



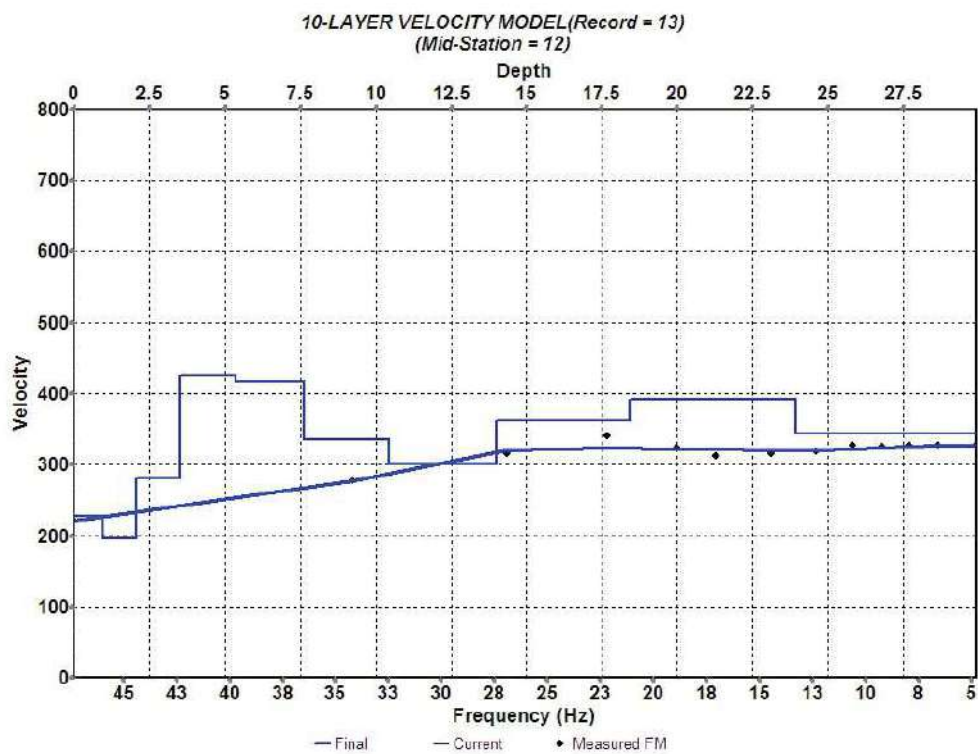
Sismogramma analisi Masw-offset 8 metri

ANALISI MASW – BASE SISMICA 1

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



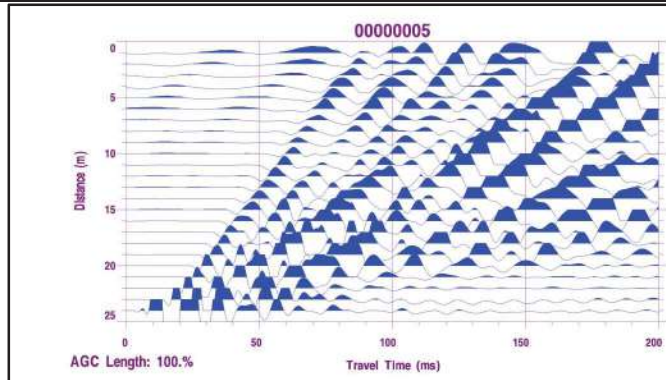
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



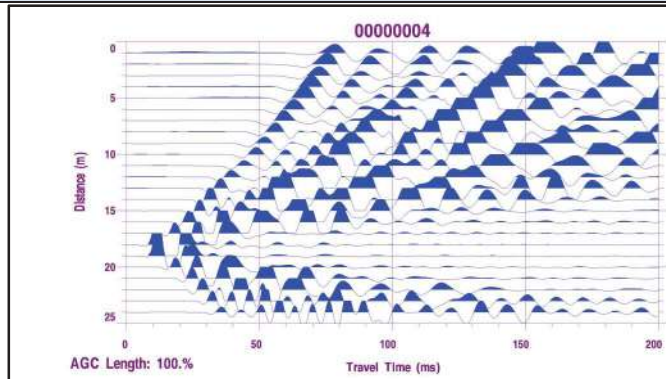
V_{s30} di: 337 m/s
Categoria di sottosuolo "C"
NTC 2018

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO1

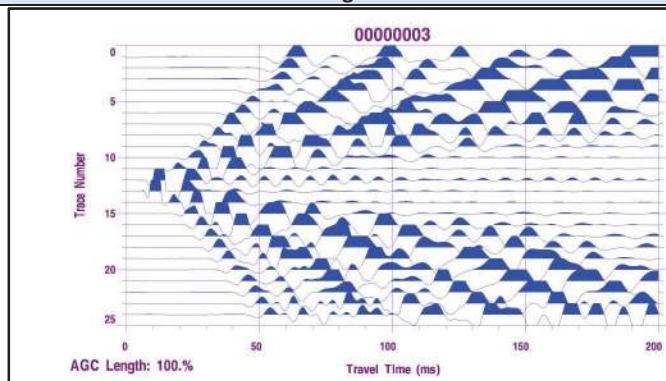
Punto sorgente "A"



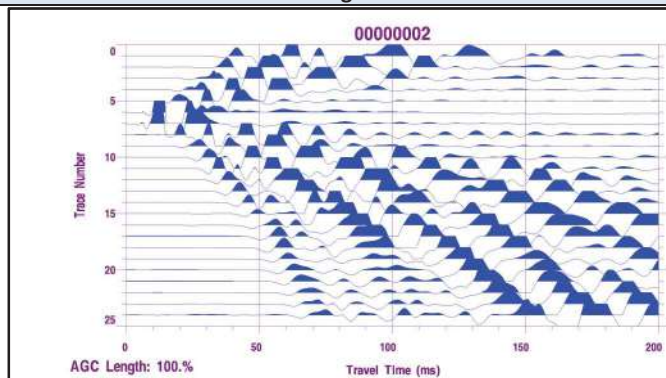
Punto sorgente "C"



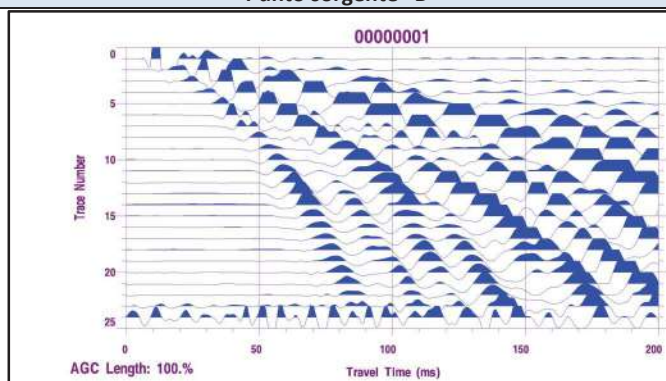
Punto sorgente "E"



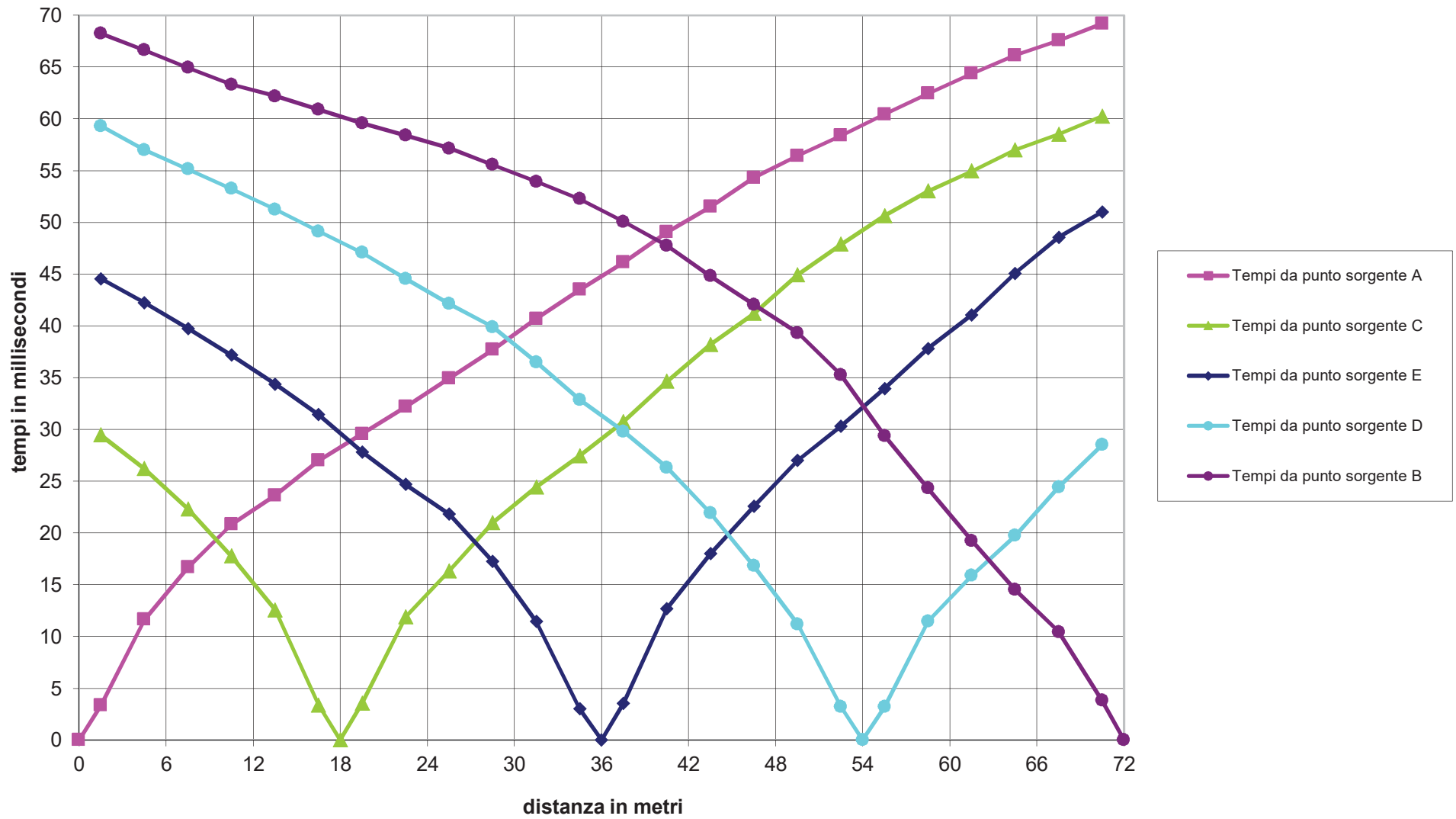
Punto sorgente "D"

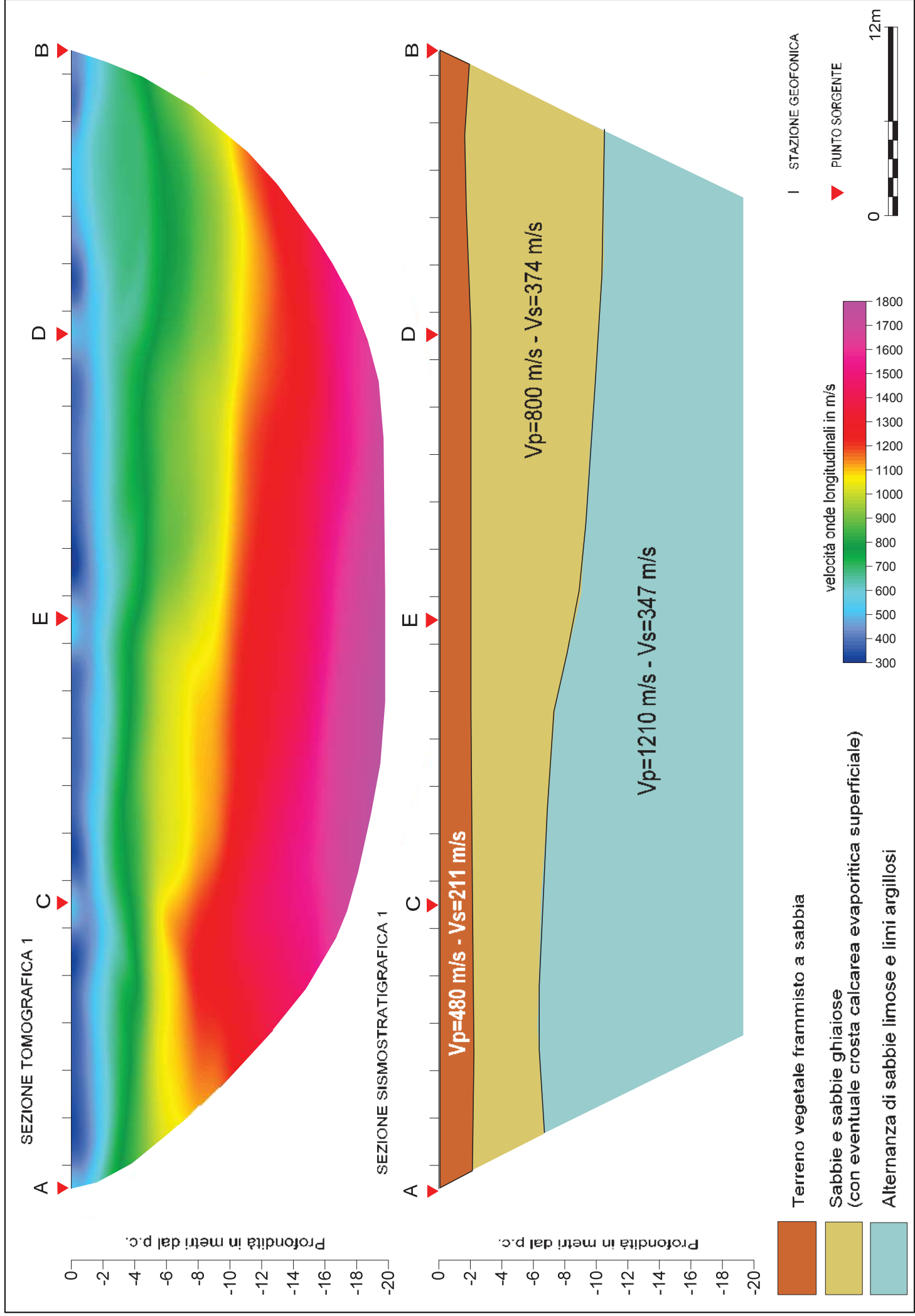


Punto sorgente "B"



Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE LONGITUDINALI





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 1

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



Georeferenziazione stazioni geofoniche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)

ALLEGATO "PROFILO SISMICO 2"

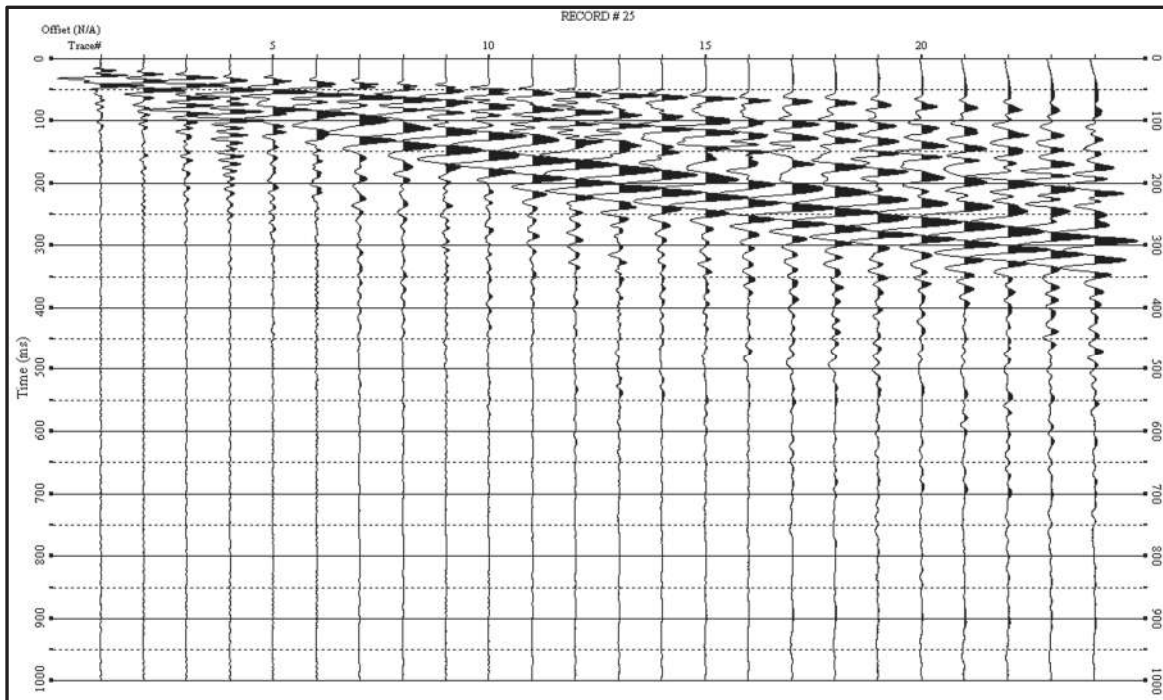
- *Sismogrammi analisi Masw offset 4-8 m (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw combinata*
 - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
 - *Dromocrone onde P*
 - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
 - *Documentazione fotografica*
-

PRO

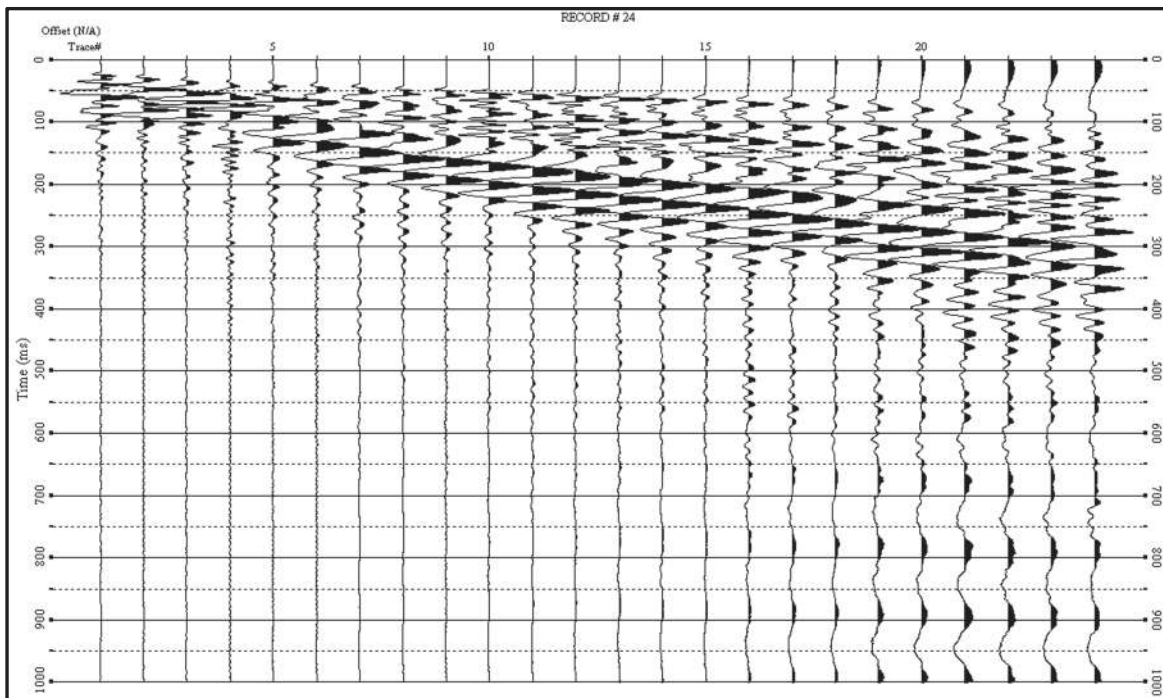
di Alberto Quarto

GEO s.a.s.

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 1 (METODO ATTIVO)



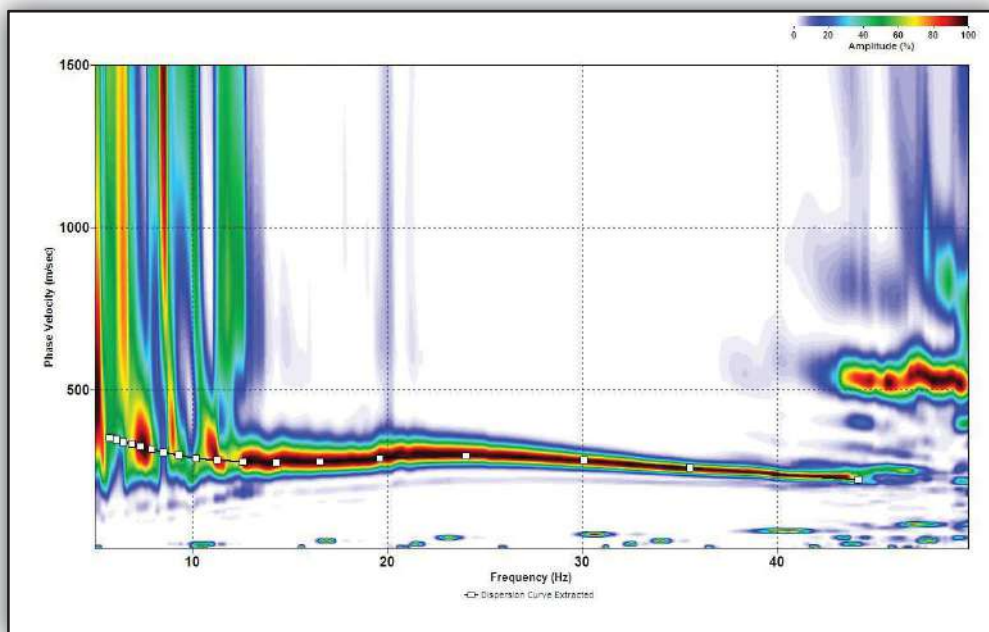
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri



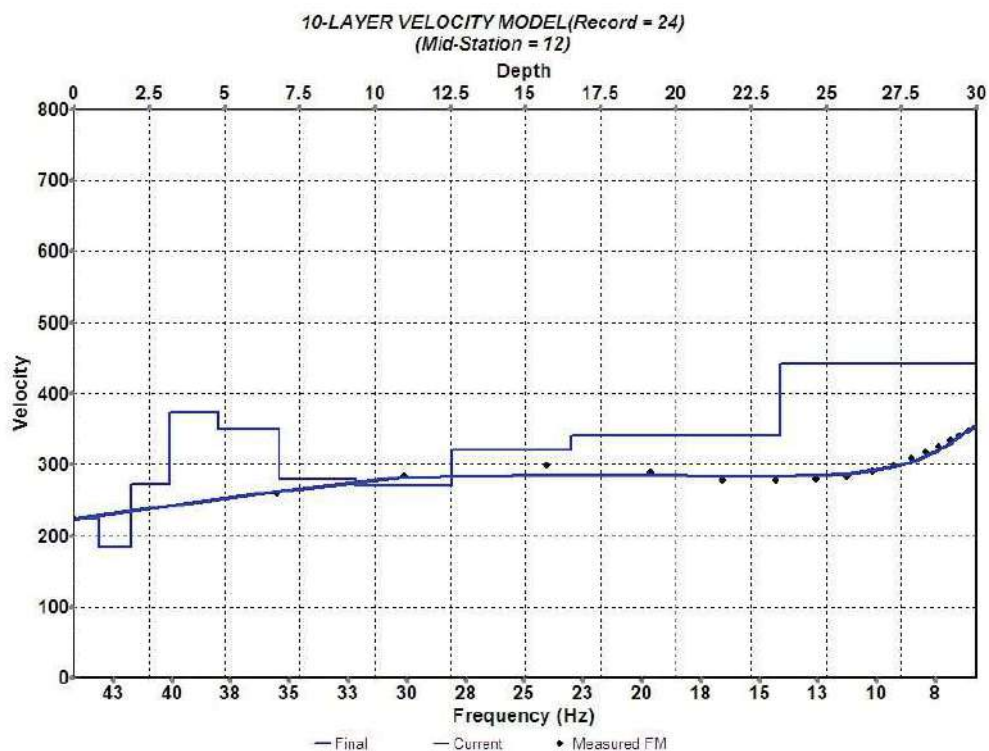
Sismogramma analisi Masw-offset 8 metri

ANALISI MASW – BASE SISMICA 2

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



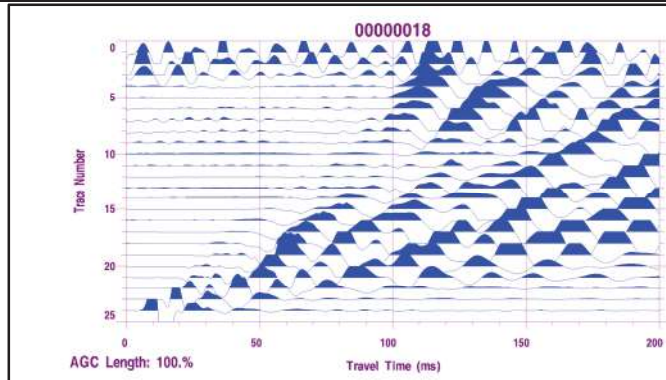
Modello di velocità (V_s) in funzione della profondità e della frequenza



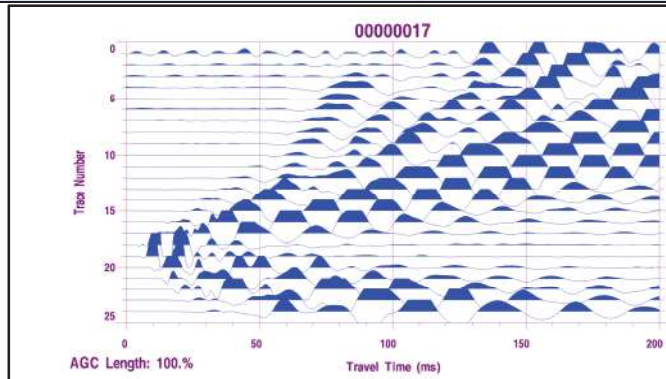
V_{s30} di: 323 m/s
Categoria di sottosuolo "C"
NTC 2018

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

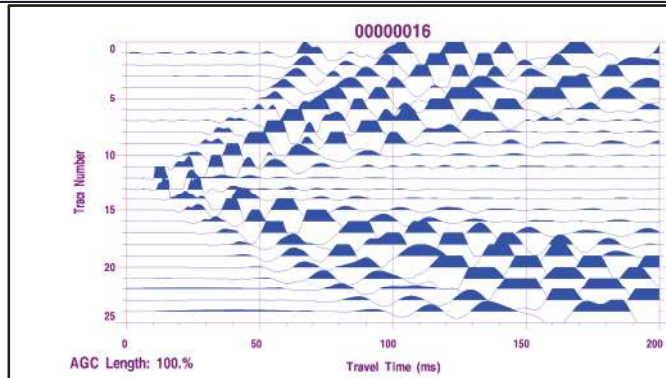
Punto sorgente "A"



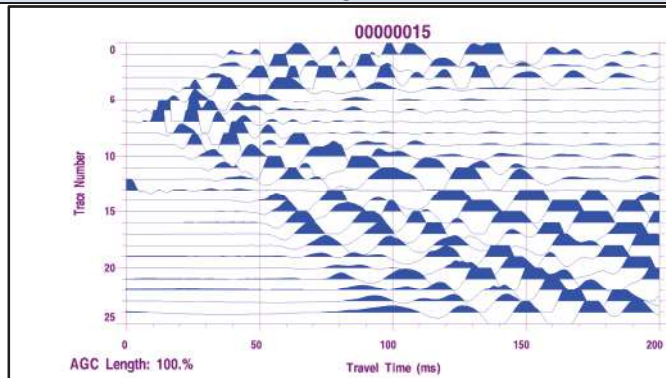
Punto sorgente "C"



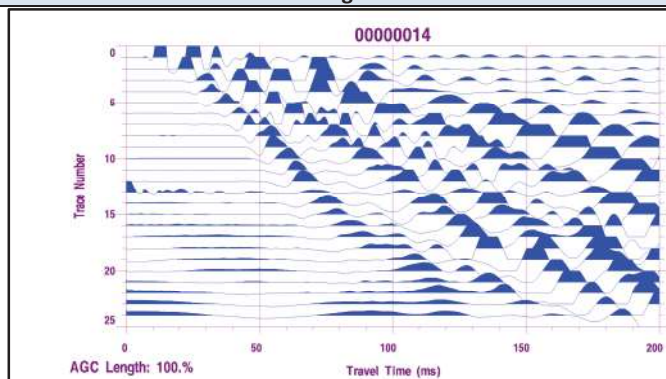
Punto sorgente "E"



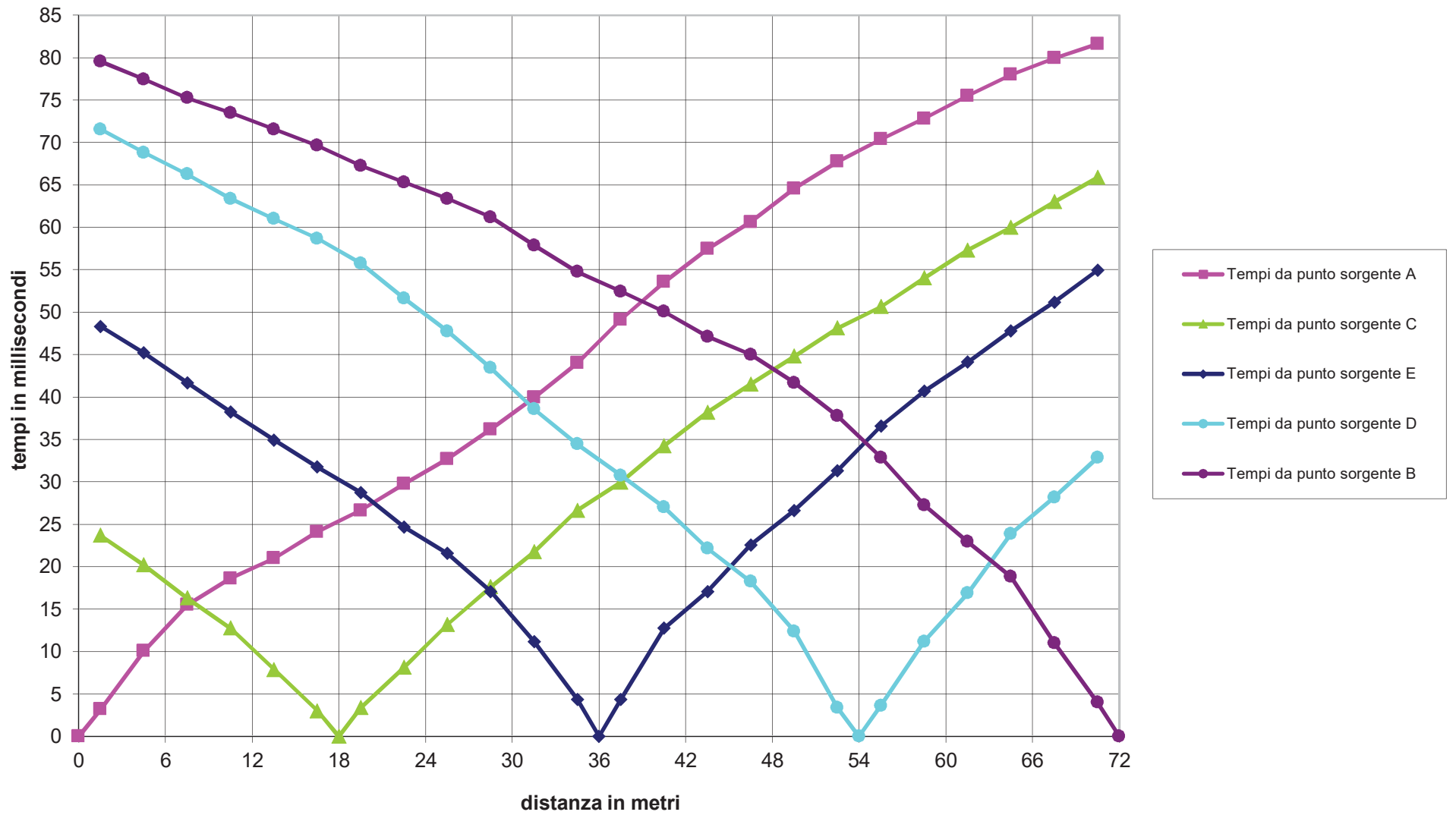
Punto sorgente "D"

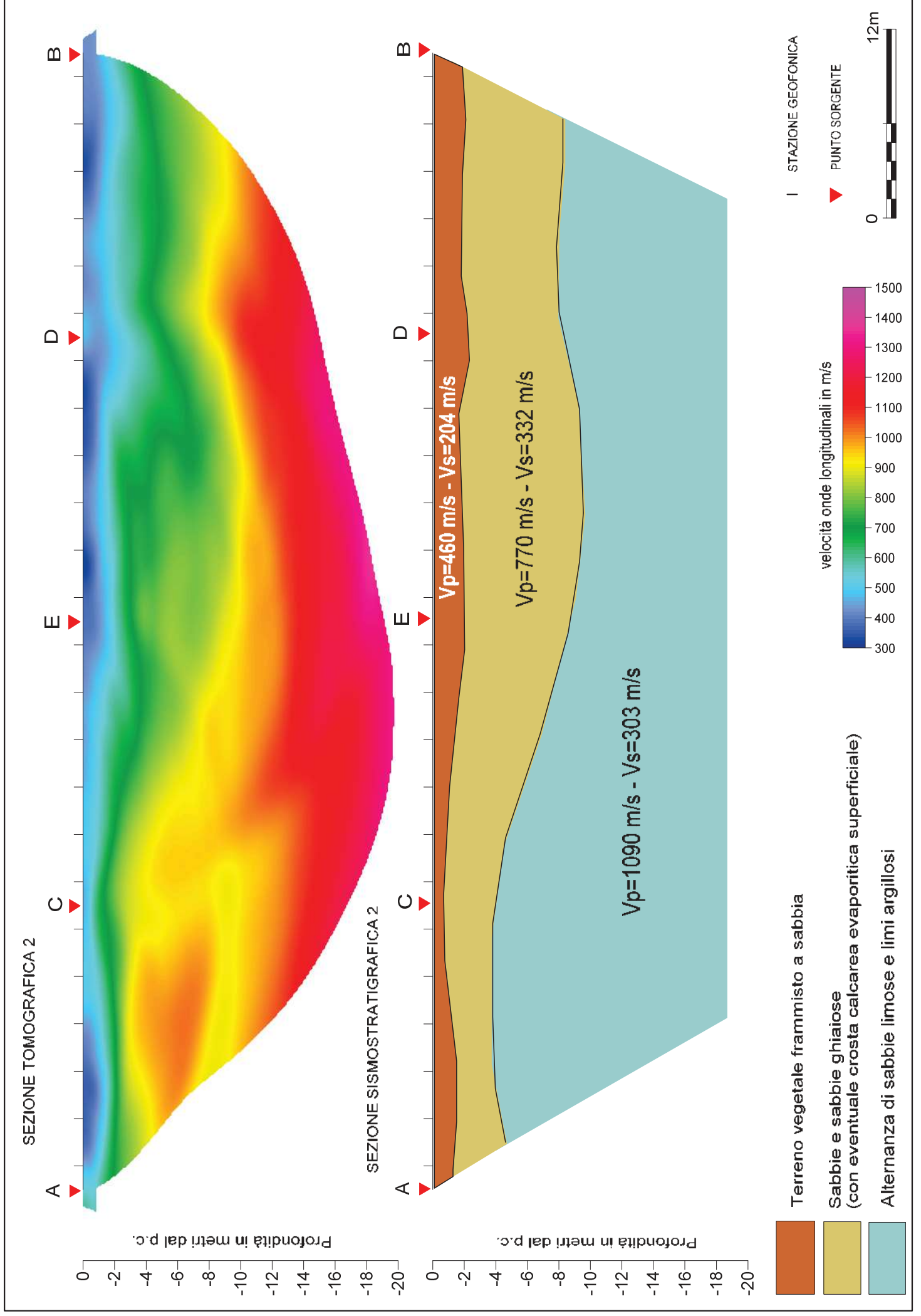


Punto sorgente "B"



Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 2

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



Georeferenziazione stazioni geofoniche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)

ALLEGATO "PROFILO SISMICO 3"

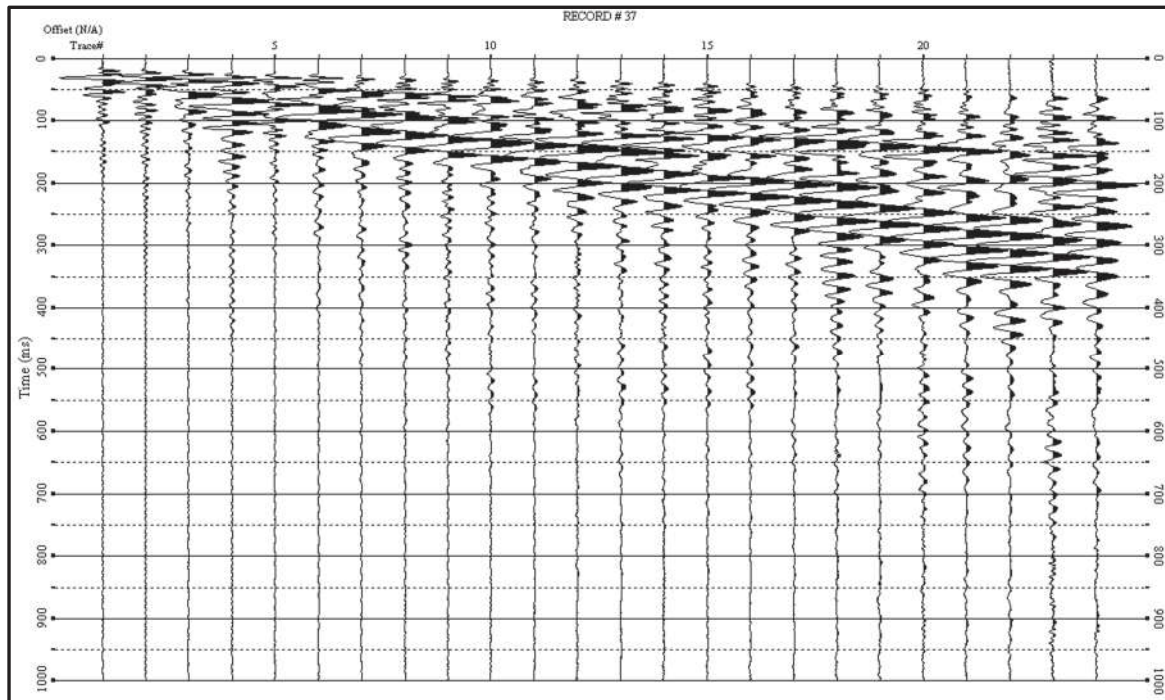
- *Sismogrammi analisi Masw offset 4-8 m (metodo attivo)*
 - *Analisi Masw combinata*
 - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
 - *Dromocrone onde P*
 - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
 - *Documentazione fotografica*
-

PRO

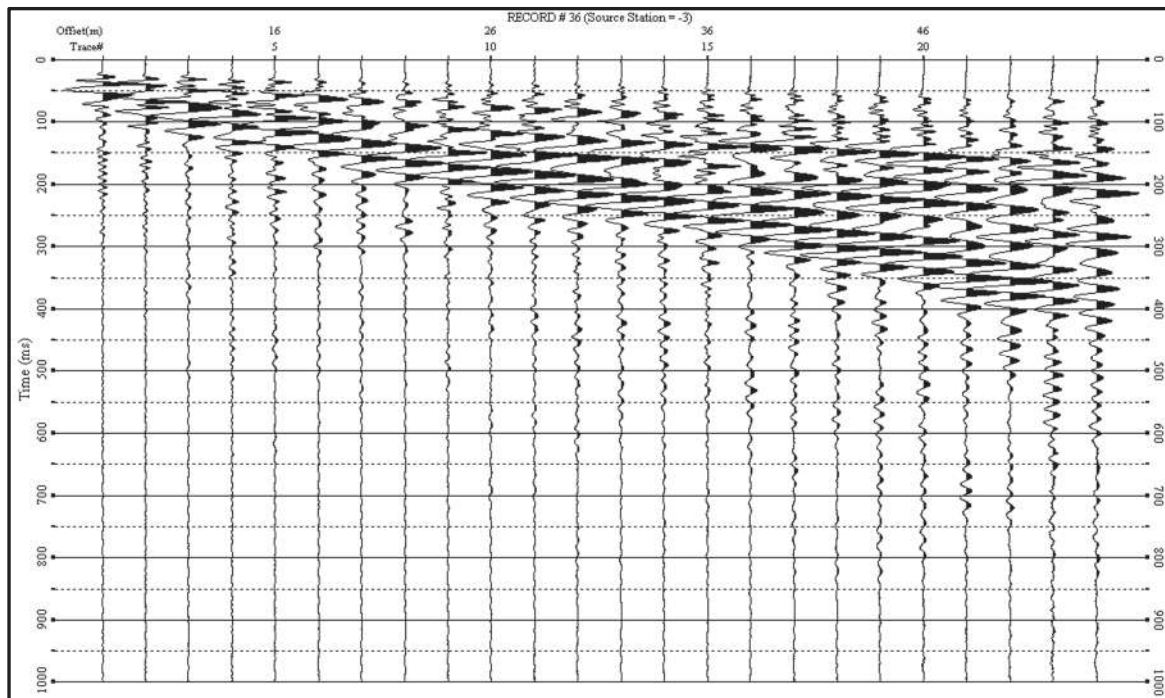
di Alberto Quarto

GEO s.a.s.

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 3 (METODO ATTIVO)



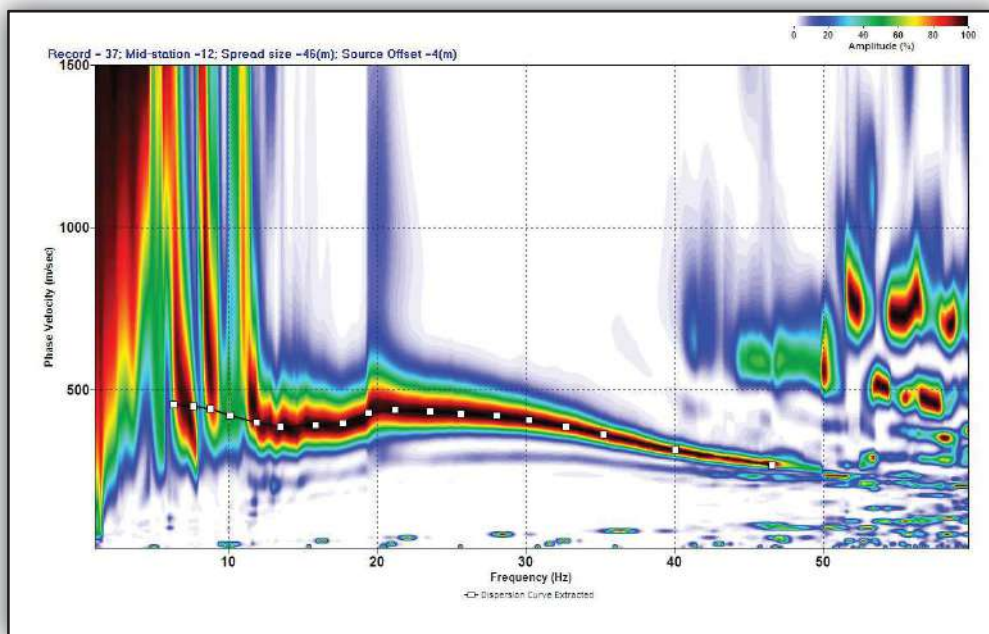
Sismogramma analisi Masw-offset 4 metri



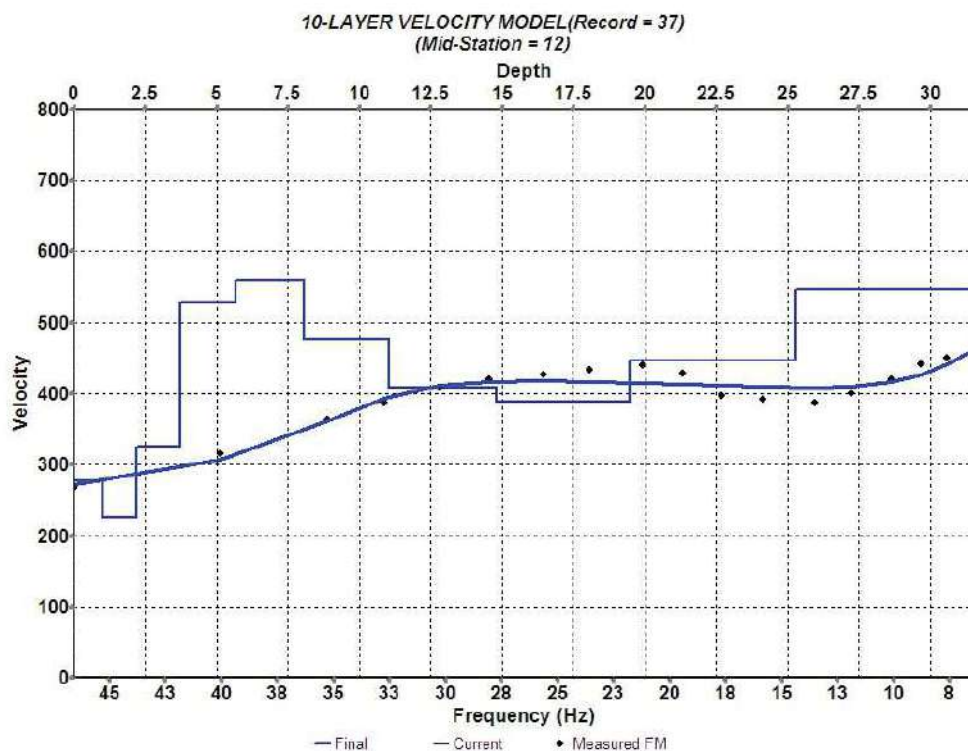
Sismogramma analisi Masw-offset 8 metri

ANALISI MASW – BASE SISMICA 3

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



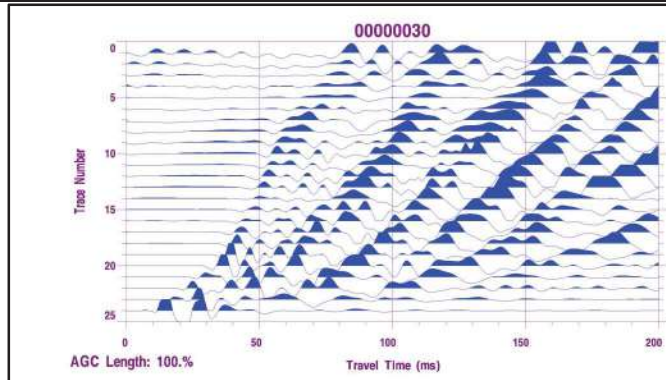
Modello di velocità (Vs) in funzione della profondità e della frequenza



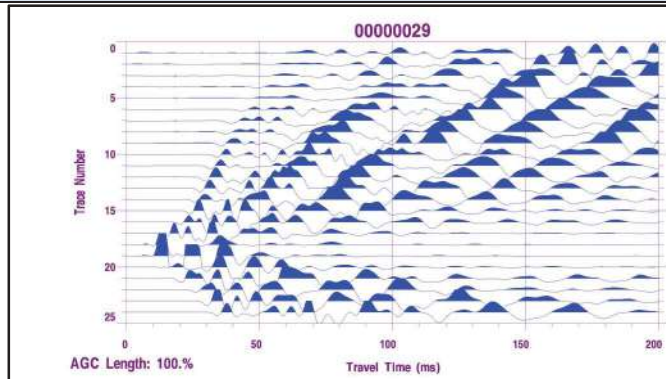
Vs30 di: 429 m/s
Categoria di sottosuolo "B"
NTC 2018

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 3

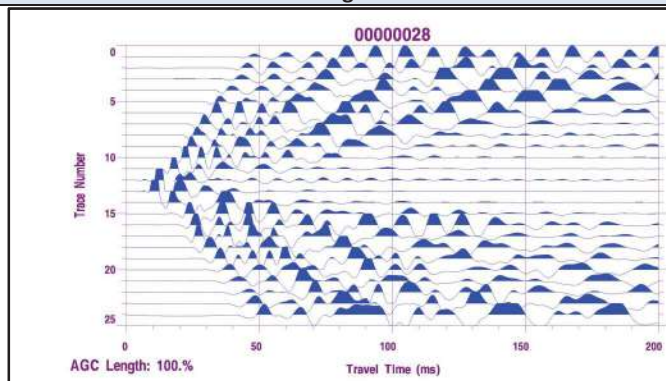
Punto sorgente "A"



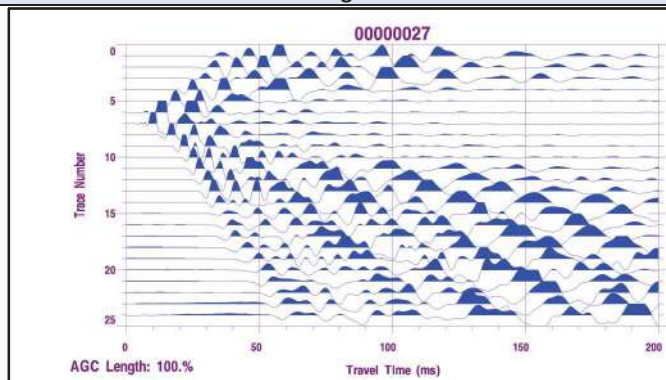
Punto sorgente "C"



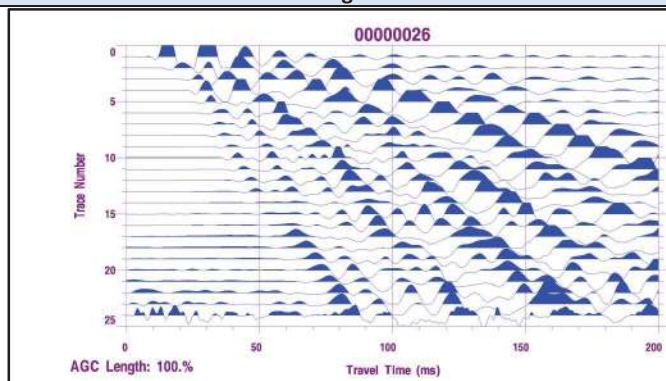
Punto sorgente "E"



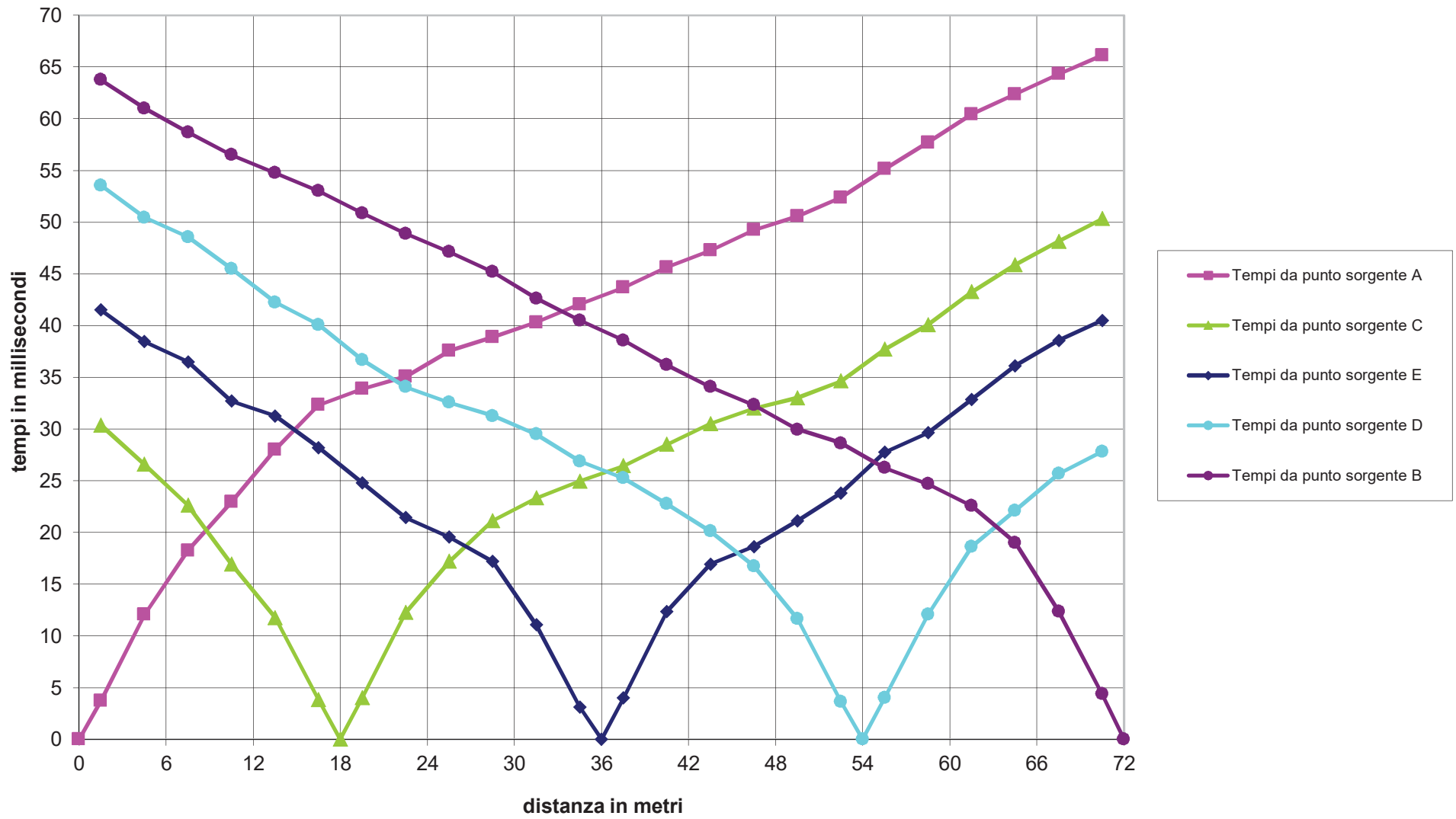
Punto sorgente "D"



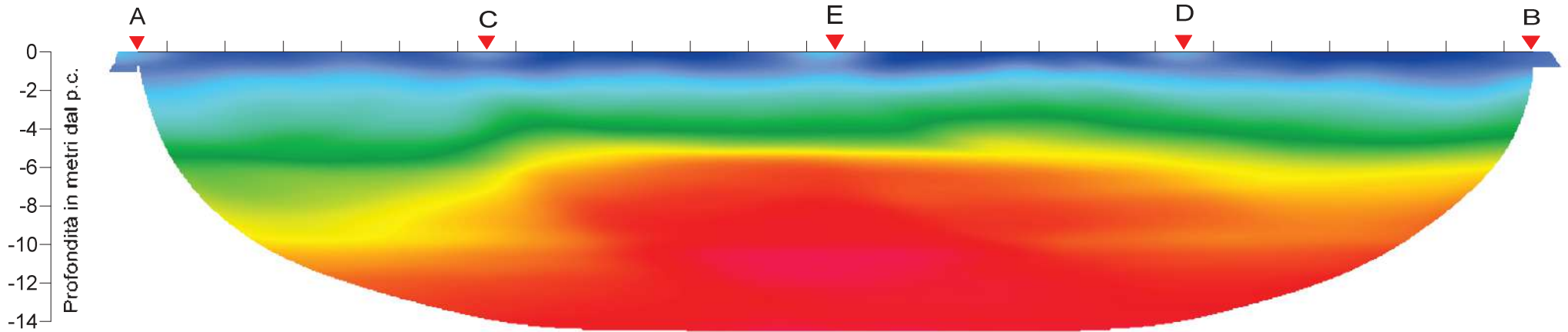
Punto sorgente "B"



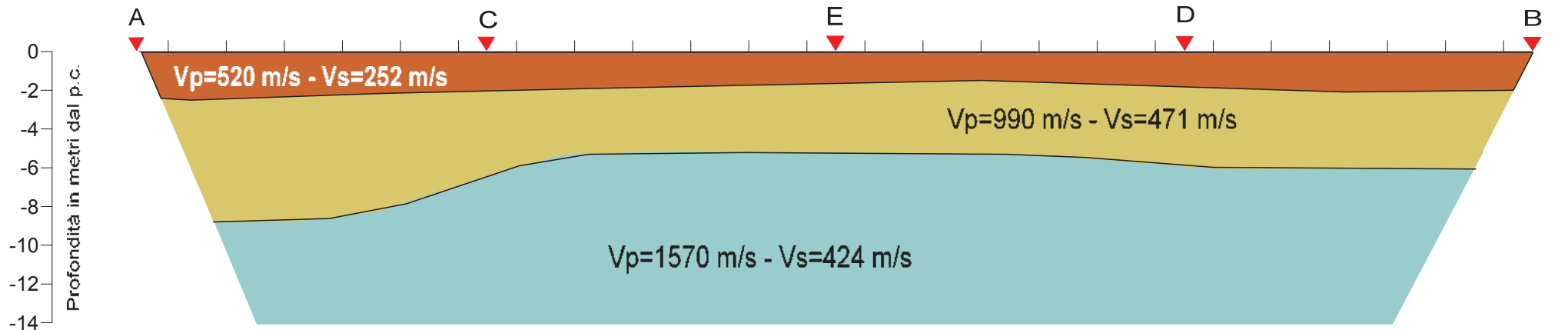
Dromocrone profilo sismico 3 - ONDE LONGITUDINALI



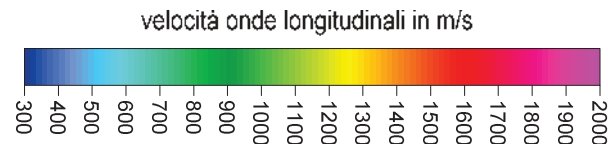
SEZIONE TOMOGRAFICA 3



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 3



- Terreno vegetale frammisto a sabbia
- Sabbie e sabbie ghiaiose (con eventuale crosta calcarea evaporitica superficiale)
- argille limose e/o limi argillosi



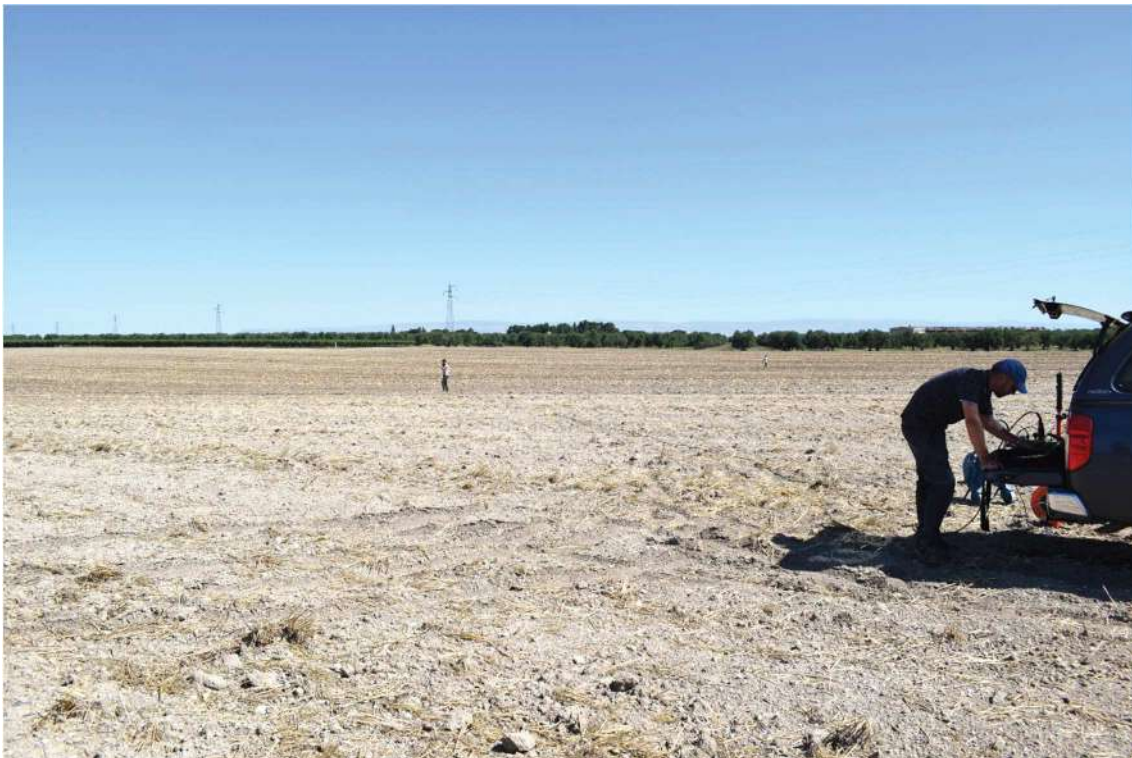
| STAZIONE GEOFONICA

▼ PUNTO SORGENTE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO 3

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



Acquisizione misure sismiche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)