



REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNI DI CASTELLUCCIO DEI SAURI,
BOVINO, DELICETO E ASCOLI SATRIANO



PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA REALIZZARE NEL COMUNE DI BOVINO (FG) IN LOCALITA' "LAMIA", E NEL COMUNE DI CASTELLUCCIO DEI SAURI IN LOCALITA' "POSTA CONTESSA", E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI BOVINO, CASTELLUCCIO DEI SAURI, DELICETO E ASCOLI SATRIANO (FG), AVENTE UNA POTENZA PARI A **63.784,00 kWp**, DENOMINATO "**DELICETO HV**"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA DEL PROGETTO DEFINITIVO



LIV. PROG.	RIF. COD. PRATICA TERNA	CODICE ISTANZA AU	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202001480	JUTWD01	A.3	04.04.2024	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE



HF SOLAR 8 S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

ENTE

FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE



Ing. D. Siracusa
Ing. A. Costantino
Ing. C. Chiaruzzi
Ing. G. Schillaci
Ing. G. Buffa
Ing. M.C. Musca

Arch. A. Calandrino
Arch. S. Martorana
Arch. F. G. Mazzola
Arch. G. Vella
Dott. Agr. B. Miciluzzo
Dott. Biol. M. Casisa

HORIZONFIRM S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

PROFESSIONISTA INCARICATO

FIRMA DIGITALE

FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO
PROFESSIONISTA



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

INDICE

<i>1- Premessa e Inquadramento Normativo</i>	<i>Pag. 2</i>
<i>2- Inquadramento Area d'intervento</i>	<i>Pag. 6</i>
<i>2.1-Ubicazione area d'intervento</i>	<i>Pag. 6</i>
<i>3- Cenni geologici e geomorfologici</i>	<i>Pag. 10</i>
<i>3.1 – Geologia Generale</i>	<i>Pag. 10</i>
<i>3.2 – Caratteri Tettonici</i>	<i>Pag. 13</i>
<i>4- Caratterizzazione dei litotipi locali e Assetto Lito-stratigrafico</i>	<i>Pag. 17</i>
<i>4.1 – Geolitologia</i>	<i>Pag. 17</i>
<i>4.2 – Geomorfologia</i>	<i>Pag. 23</i>
<i>5 – Pianificazione ed esecuzione delle indagini</i>	<i>Pag. 28</i>
<i>5.1 – Metodologia di Indagini adottate</i>	<i>Pag. 28</i>
<i>5.2 – Risultati Indagine Geosismica</i>	<i>Pag. 29</i>
<i>6 – Successione Litostratigrafica</i>	<i>Pag. 31</i>
<i>7 – Sismicità</i>	<i>Pag. 34</i>
<i>7.1 – Inquadramento Sismico</i>	<i>Pag. 34</i>
<i>8 – Conclusioni</i>	<i>Pag. 43</i>

APPENDICE

<i>Risultati MASW</i>	<i>Allegato n. 1</i>
<i>Calcoli Portanza Palo</i>	<i>Allegato n. 2</i>



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

1 - PREMESSA

Su incarico della **HF SOLAR 8 S.r.l.**, società del gruppo **HIVE Energy** con sede in Viale Francesco Scaduto n. 2/D – 90144 Palermo, la scrivente, *Dott.ssa Giovanna Amedei*, Geologa, iscritta all'O.R.G. della Puglia al n. 438 e con studio professionale in Rodi Garganico, alla Via Pietro Nenni n. 4, ha eseguito gli studi e redatto la presente relazione volta alla definizione del quadro geologico, geologico-tecnico ed ambientale dei terreni interessati dal “*Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri in Località “Posta Contessa” e delle relative opere di connessione da realizzare nei Comuni di Bovino, Castelluccio dei Sauri, Deliceto e Ascoli Satriano (FG), avente una potenza pari a 63.784,00 kWp, Denominato “Deliceto HV”*”

Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto ed identificato con Codice Pratica 202001480, prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN denominata “Deliceto”.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

È stata così programmata una campagna di studi nel rispetto del DM. 17.01.2018 - *Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»*, che ha previsto uno schema di lavoro come di seguito riportato:

- Inquadramento geologico dell'area, per la definizione delle caratteristiche geologiche, tettonico/strutturali generali, geomorfologiche e idrogeologiche generali - [pericolosità geologica del territorio];
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'intervento in oggetto, per la definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica locali, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici presenti - [controllo litologico di dettaglio];
- Indagini geognostiche in sito, per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto - [accertamento litotecnico].
- Analisi delle indagini geognostiche, con l'interpretazione delle indagini di campagna e la valutazione delle proprietà elastiche e meccaniche dei terreni investigati [definizione portanza del terreno di fondazione].

Durante la fase preliminare di studio è stata effettuata una ricerca bibliografica alla quale è seguita un esame fotointerpretativo e un successivo rilievo di superficie per verificare lo stato dei luoghi e l'idoneità delle indagini geognostiche in questo caso già eseguite.

La campagna di indagini già eseguita e riscontrabile nella relazione geologica è consistita in:



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

- n.5 indagini sismiche di analisi spettrale delle onde superficiali con tecnica sismica e Multichannel Analysis Surface Waves (MASW);

Le considerazioni tecniche conclusive sono state ponderate in funzione della conoscenza geologica della zona e dell’attendibilità dei dati ottenuti, operando con un giusto grado di cautela nella definizione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, avvalendosi anche di studi pregressi realizzati nello stesso ambito di riferimento

Dal punto di vista Legislativo, invece, si sono tenute in debito conto le indicazioni programmatiche e tecniche, oltre che le norme, contenute nei seguenti provvedimenti:

Decreto Ministeriale 14.01.2008 (G.U. 4 febbraio 2009 n. 29 – Suppl. Ord.) “Norme tecniche per le costruzioni”

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Circolare 2 febbraio 2009;

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, n. 617 (G.U. del 26 febbraio 2009, n. 47);

“Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

D.M. 14 gennaio 2008”. Eurocodice 7 –“ Progettazione geotecnica” –ENV 1997 – 1;

D.G.R. 2 marzo 2004, n. 153 -L.R. 20/00 -O.P.C.M. 3274/03 –Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti -Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

2- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

2.1: Ubicazione Area d'intervento

L'area interessata dalla realizzazione dell'impianto agrivoltaico si colloca a cavallo tra due comuni; nello specifico è sita a NE rispetto l'abitato di Bovino, in località “Lamia” e a Sud rispetto all'abitato di Castelluccio dei Sauri, in località “Posta Contessa” (Fig.1a, 1b, 1c)

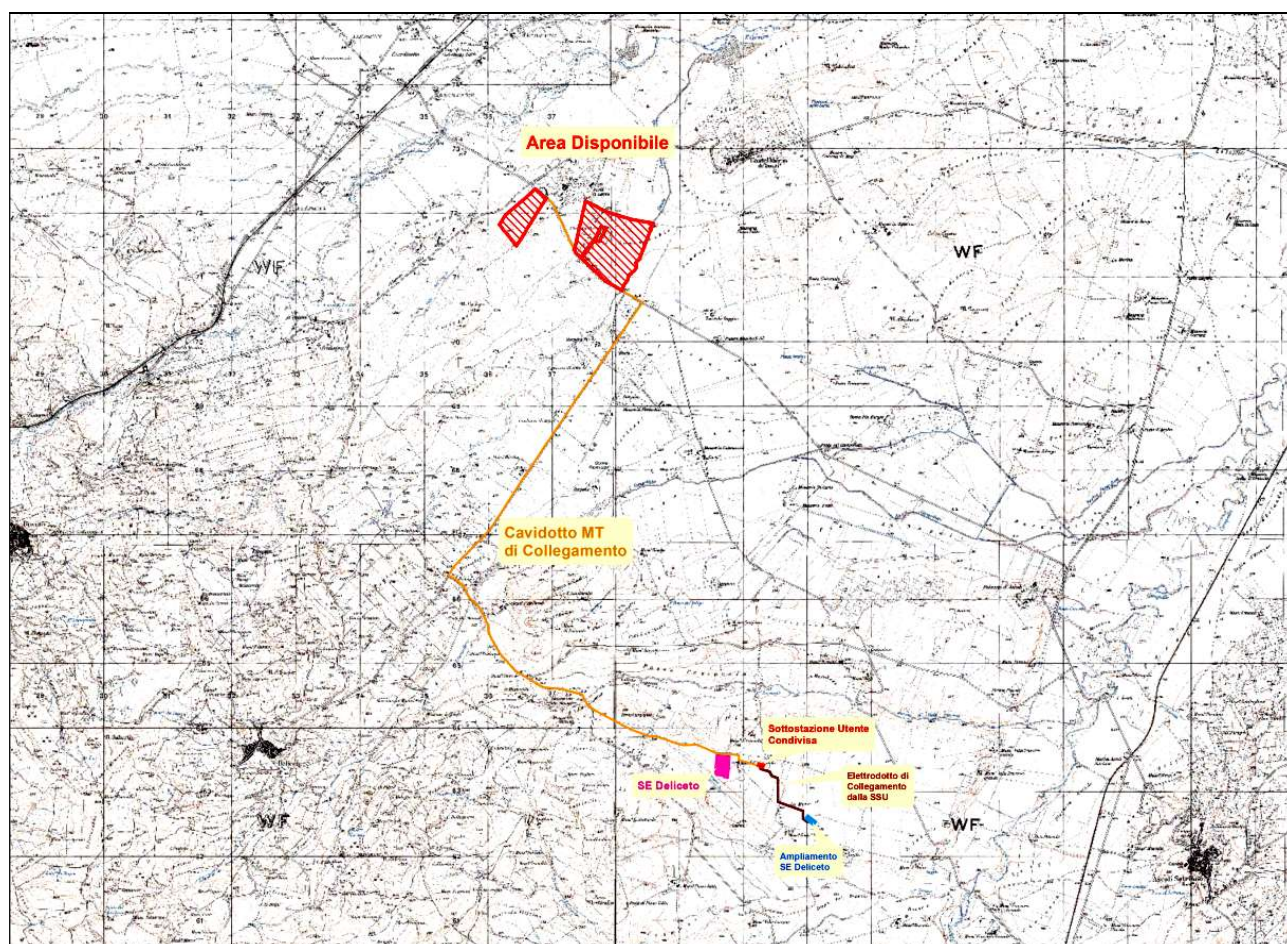


Fig. 1a: Ubicazione area d'intervento su base IGM



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

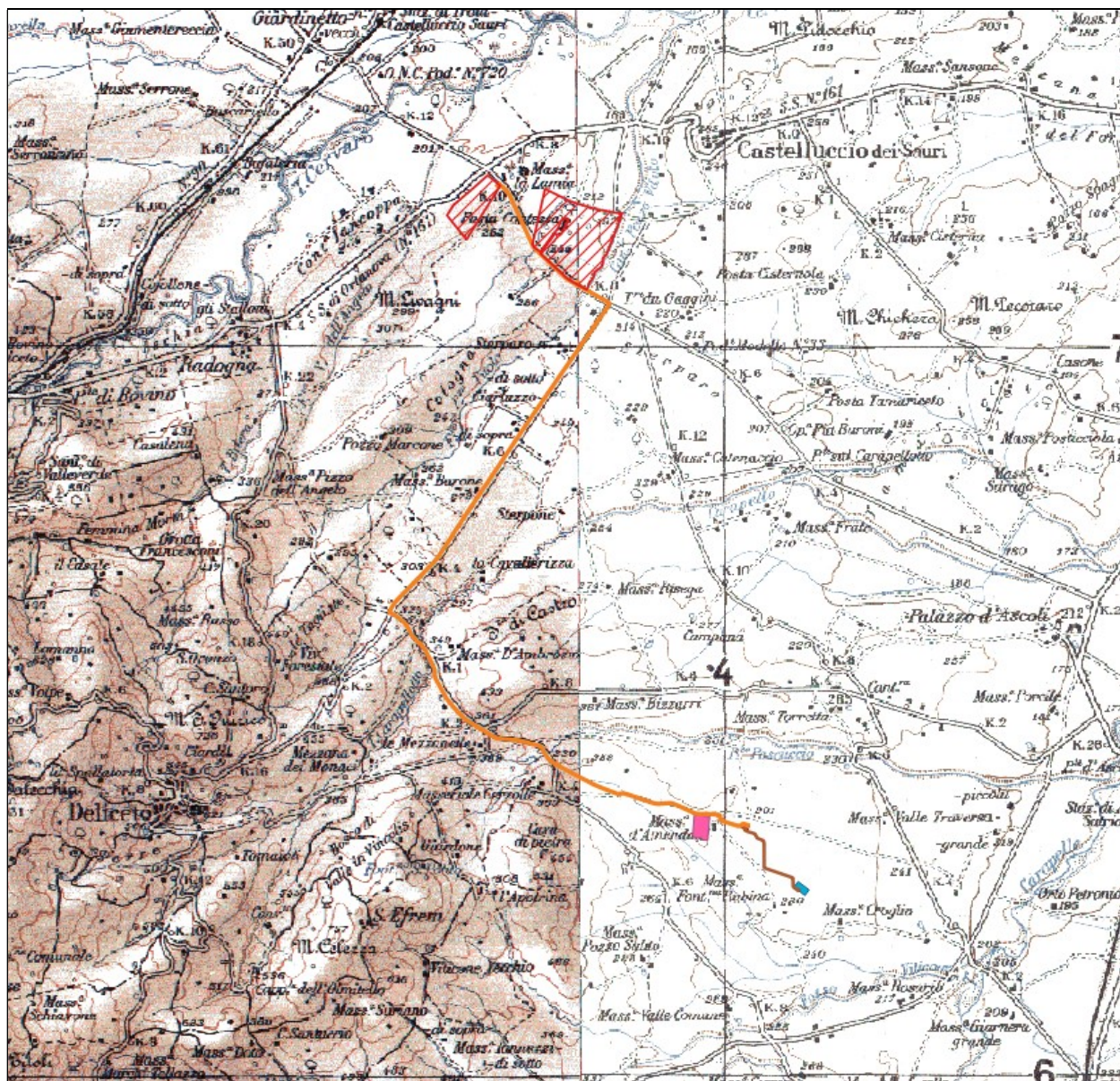


Fig. 1b: Ubicazione area d'intervento su base IGM



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.



Fig. 1c: Ubicazione area d'intervento Foto Aerea



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Dal punto di vista catastale l’area interessata direttamente dall’impianto è individuabile al NCT del comune secondo il prospetto allegato:

<i>Comune</i>	<i>Foglio di Mappa</i>	<i>P.lle</i>
<i>Bovino</i>	<i>12</i>	<i>163</i>
<i>Castelluccio dei Sauri</i>	<i>14</i>	<i>10, 12, 13, 16, 21, 63, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 88, 89, 94 e 233</i>



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

3 - CENNI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI GENERALI

3.1 – Geologia Generale

L’area di progetto si colloca nei settori centrali dell’Appennino meridionale, nella zona di transizione tra i domini di catena e quelli di avanfossa (Fig. 2).

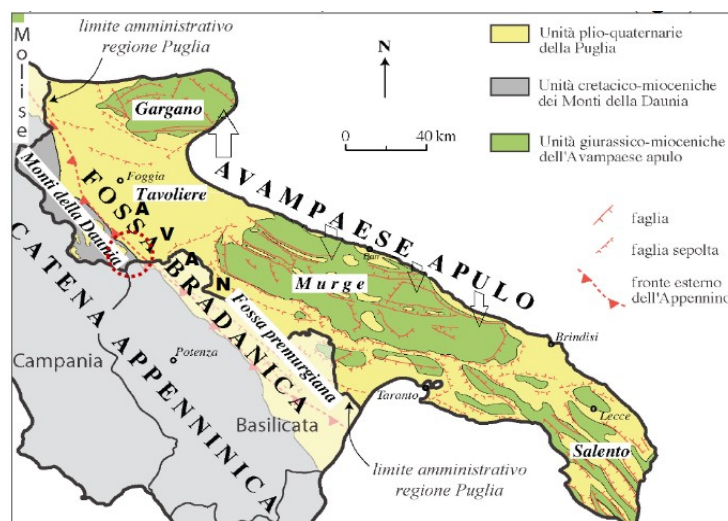


Fig. 2: Inquadramento Geologico Regionale

Dal punto di vista stratigrafico, i settori di catena sono caratterizzati da spesse successioni marine meso-cenozoiche, variamente giustapposte tra loro a causa dell’importante tettonica compressiva che ha portato alla strutturazione dell’edificio a falde appenninico (Di Bucci et al. 1999; Patacca & Scandone 2007; Bonardi et al. 2009). I settori di avanfossa, al contrario, sono contraddistinti da importanti successioni marine e transizionali plio-pleistoceniche, solo parzialmente interessate dai fronti di sovrascorrimento più recenti ed esterni (Fig. 3).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

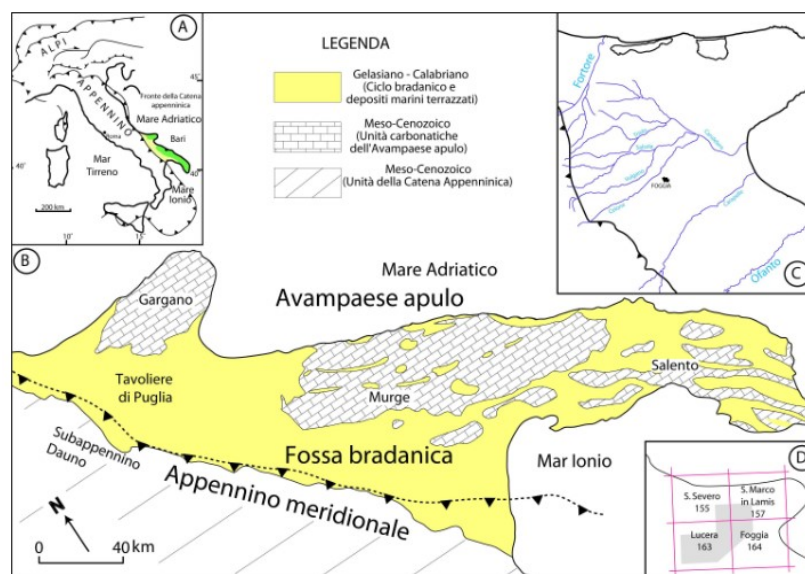


Fig.3: Carta geologica schematica del sistema catena-avanfossa-avampaese dell'Appennino meridionale

In particolare, le successioni sedimentarie del dominio di catena sono riferibili a quattro distinte unità strutturali, di differente provenienza paleogeografica denominate rispettivamente: Unità Sicilide, Unità della Daunia, Unità di Tufillo Serra Palazzo e Unità del Sannio. Tali unità sono costituite prevalentemente da depositi marini in facies di bacino e di scarpata, con un'età compresa tra il Cretacico inferiore e il Miocene superiore. La parte bassa delle successioni è sempre costituita da sedimenti pelitici e calcareo-marnosi di mare profondo, con locali passaggi di litotipi essenzialmente carbonatici o di asprigni. Verso l'alto si rinvencono, quindi, depositi di scarpata a composizione prevalentemente arenaceo marnosa e calcareo-marnosa, passanti a sedimenti argilloso-marnosi e calcareo-marnosi di bacino. Le suddette succes-



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

sioni sedimentarie risultano parzialmente ricoperte, in discordanza stratigrafica, da spessi depositi flyschoidi arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi connessi allo sviluppo della Catena Appenninica (Patacca & Scandone 2007; Bonardi et al. 2009). Al di sopra di tali terreni si rinvencono estesi depositi di *thrust-top sheet* a composizione prevalentemente arenacea e arenaceo marnosa e, quindi, sedimenti evaporitici messiniani e terreni caotici composti da olistostromi, frane e olistoliti con differente composizione e provenienza. La sequenza sedimentaria di catena è chiusa da depositi pliocenici prevalentemente argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici, connessi strati graficamente alle ultime fasi di edificazione dell'appennino. Durante le fasi terminali di strutturazione della catena, si assiste quindi alla deposizione di spesse successioni silicoclastiche nei settori di avanfossa che si venivano a creare lungo il margine orientale dell'edificio a falde (Patacca et al. 1992; Patacca & Scandone 2007; Ciaranfi et al. 2011). Lungo il margine interno di tale dominio strutturale si realizzano sistemi deposizionali in facies deltizia, progressivamente passanti a sistemi di piattaforma esterna-bacino, caratterizzati dalla sedimentazione dei depositi pelitici delle Argille Subappennine (Casnedi 1978; Spalluto & Moretti 2006; Ciaranfi et al. 2011). In corrispondenza dei depocentri del bacino si accumulano torbiditi terrigeni sabbioso-limose (Balduzzi et al. 1982; Ciaranfi et al. 2011), costituenti la porzione inferiore della successione dell'Avanfossa pliocenico-quadernaria. Le suddette successioni sono ricoperte, quindi, da sedimenti regressivi di piattaforma e da depositi ma-



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

rini e terrazzati (Ciaranfi et al. 1983; Ricchetti et al. 1988; Doglioni et al. 1994; Gambini & Tozzi 1996), che testimoniano le diverse fasi di sollevamento del sistema avanfossa-avampaese a partire dal Pleistocene medio. Nei settori più interni, le interazioni fra variazioni cicliche del clima e sollevamento regionale portano all’accumulo di estesi depositi alluvionali terrazzati, localmente caratterizzati da una porzione basale con caratteri di facies di spiaggia (Ciaranfi et al. 2011). Infine, in corrispondenza del margine più orientale della catena, sono localmente presenti spessi prodotti lavici e piroclastici connessi all’attività vulcanica medio-pleistocenica del Monte Vulture (Bonadonna et al. 1998; Giannandrea et al. 2006).

3.2: Caratteri Tettonici

La regione Puglia può essere suddivisa in tre grandi elementi geologici: Avampaese apulo (all’interno del quale si distinguono il Promontorio del Gargano, l’Altopiano delle Murge e le Serre Salentine), Fossa Bradanica (differenziata geograficamente in Tavoliere delle Puglie, a nord, e Fossa Premurgiana, a sud) e catena subappenninica (cui appartiene il Subappennino Dauno o Monti della Daunia). L’Appennino nel suo complesso rappresenta un tipico thrust and fold belt con vergenza orientale, compreso tra il Bacino Tirrenico ad Ovest e l’Avampaese Apulo a Est (Bonardi et al. 2009; Ciaranfi et al. 2011). Esso, quindi, rappresenta una catena per pieghe e sovrascorrimenti che si struttura verso



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

l'Avampaese Apulo a partire dal Miocene inferiore. L'assetto tettonico della catena appenninica è schematizzabile attraverso la giustapposizione di due grandi archi (Figura 4): uno settentrionale, che va dal Monferrato fino al Lazio-Abruzzo, e uno meridionale, che arriva fino alla Sicilia. Questi due archi, la cui giunzione si realizza lungo la Linea Ortona-Roccamonfina, si differenziano per direzioni di movimento, entità dei raccorciamenti e stili deformativi (Di Bucci & Tozzi 1992).

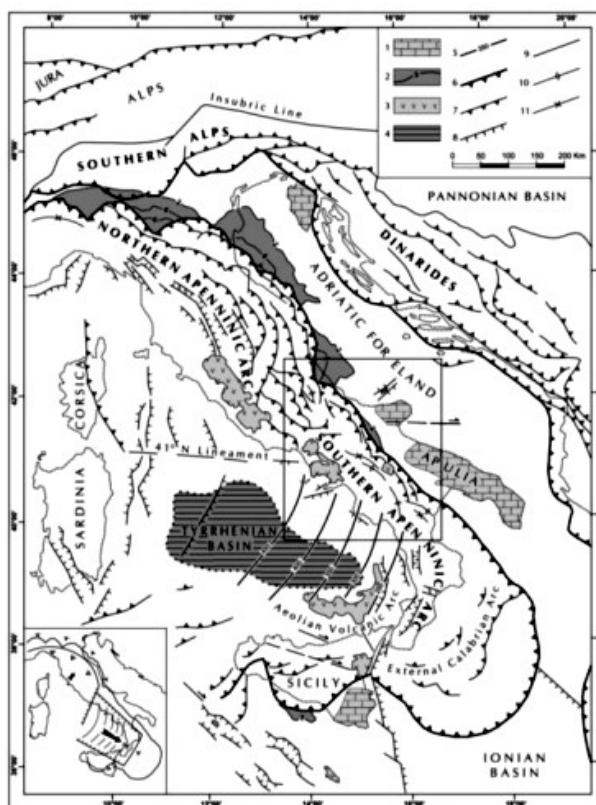


Fig. 4: Schema strutturale della penisola italiana ed aree adiacenti mostrante la suddivisione della Catena Appenninica in due archi principali: l'Arco Appenninico Settentrionale e l'Arco Appenninico Meridionale; nel riquadro in basso a sinistra è schematizzata la diversa struttura litosferica nei due archi appenninici



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Ogni arco maggiore è formato da thrust sheet scollati nelle dolomie triassiche, alla base delle successioni sedimentarie meso-cenozoiche. In particolare, lo stile della deformazione compressiva nella porzione di catena dove si trovano successioni carbonatiche sia di bacino che di piattaforma, grossomodo corrispondente all’Appennino settentrionale e ai settori interni di quello meridionale, si esplica essenzialmente per embri-ci in progressione verso l’Avampaese Apulo (Patacca & Scandone 1989; Di Bucci et al. 1999). Nella porzione di catena in cui sono prevalenti i depositi bacinali a dominante pelitica, che invece corrisponde ai settori esterni dell’Appennino meridionale, lo stile della deformazione compressiva è dato da estesi thrust sheet che ricoprono i depositi plio-pleistocenici più recenti. Al di sotto di tali strutture, il dominio dell’Avampaese Apulo sepolto si deforma in una serie di horses ricoperti da un complesso sistema di tipo duplex (Patacca & Scandone 1989; Lentini et al. 1990; Di Bucci et al. 1999; Patacca & Scandone 2007). Le unità tettoniche più interne, derivanti da un’area oceanica o a crosta continentale assottigliata, hanno iniziato ad impilarsi a partire dal Miocene inferiore (Di Staso & Giardino 2002), formando un prisma di accrezione suturato da una successione di thrust top (Bonardi et al. 2009). Questo assieme è sovrascorso prima su domini di piattaforma carbonatica e quindi, a partire dal Miocene superiore (Figura 5), si è ulteriormente spostato verso l’esterno coinvolgendo nella deformazione l’ampio Bacino di Lagonegro e tutti i domini paleogeografici più esterni (Mostardini & Merlini 1986; Bonardi et al. 2009; Ciaranfi et al. 2011). Ulteriori eventi



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

compressivi hanno determinato sensibili raccorciamenti nella catena fino al Pleistocene inferiore (Cinque et al. 1993; Mostardini & Merlini 1986)

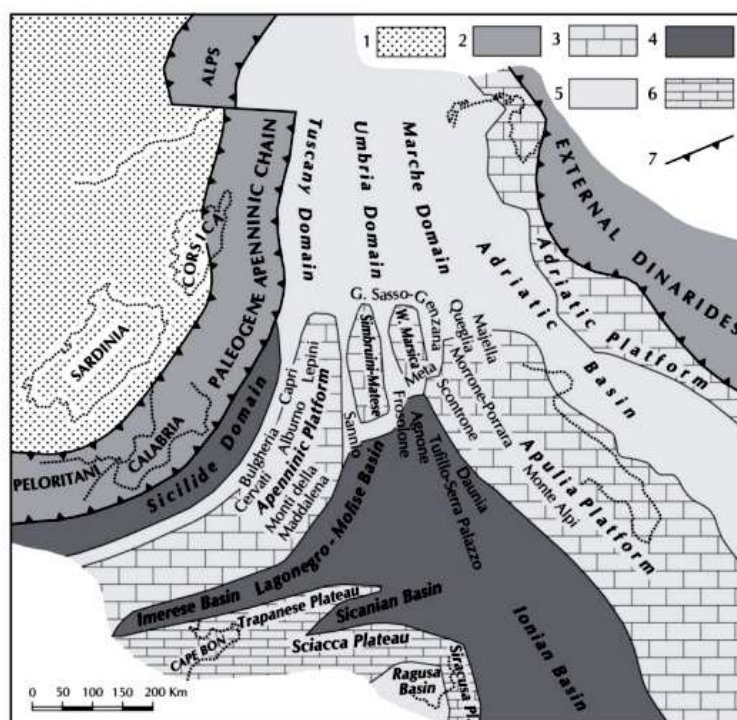


Fig.5 – Ricostruzione palinspastica dell'area centro-mediterranea nell'Oligocene superiore, mostrante la distribuzione dei domini dell'Appennino centro-meridionale prima della loro incorporazione nella Catena: 1) Avampaese europeo; 2) Catena paleogenica; 3-6) Avampaese africano: 3) carbonati di piattaforma di mare basso; 4) bacini profondi a crosta oceanica o continentale assottigliata; 5) aree bacinali con alti strutturali isolati; 6) plateaux pelagici; 7) fronte di catena (da Patacca & Scandone, 2007).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

4- CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI LOCALI **E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO**

4.1 - Geolitologia

Dal punto di vista geologico l'area d'intervento è inquadrabile nel Foglio n. 174 – Ariano Irpino - della Carta Geologica d'Italia a Scala 1:100.000 e nel Foglio n. 421 – Ascoli Satriano - della Carta Geologica d'Italia a Scala 1:50.000, redatta dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) per il progetto CARG – Fig. 6



Fig. 6: Ubicazione Foglio Geologico – Scala 1:100.000

Nell'ambito del rilevamento geologico dell'area si sono seguite le descrizioni litologiche riportate nelle note illustrative del progetto CARG.

Sulla scorta dei risultati del rilevamento di campagna (Fig. 7) i terreni direttamente interessati dall'impianto agro-fotovoltaico sono attribuibili alle seguenti formazioni:

1 - Impianto ricadente nel Comune di Bovino: Sintema della Sedia di Orlando (**LSO**)- si tratta di una formazione che affiora soltan-



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

to lungo i versanti della valle del T. Carapelle. Poggia in discontinuità sulle argille subappennine e su diversi sintemi o subsintemi e superiormente è limitato dalla superficie d’erosione attuale. I depositi di questo sintema sono costituiti da una irregolare alternanza di silt e sabbie, frequentemente laminate, a cui sono a luoghi intercalati limitati corpi di ghiaie e di sabbie grossolane, a tratti con spessori di 10,00 m, scarsamente cementate. L’età è riferibile al Pleistocene Superiore.

2 - Impianto ricadente nel Comune di Castelluccio dei Sauri:

Subsintema di Monte Livagni (ADL₂)- Si tratta di depositi di conglomerati poligenici, poco selezionati ma tendenti al ben cementati; i clasti, in prevalenza costituiti da arenarie, calcari marnosi e più raramente calcari silicei e selci, hanno dimensioni variabili dalle medie (2-5 cm) fino a grandi (10-15 cm, a luoghi anche oltre i 50 cm) con grado di arrotondamento da discreto a buono. La presenza di matrice sabbiosa grossolana, seppur non abbondante ad eccezione della porzione più distale, permette di definire questi depositi come clasto-sostenuti. A luoghi, intercalati ai corpi conglomeratici disorganizzati, si osservano anche lenti di sabbie grossolane. Nei corpi conglomeratici sovrapposti si nota un accenno di selezione granulometrica normale; a tetto di alcuni dei corpi si notano tracce di superfici d’erosione, prodotte con probabilità da fasi alluvionali di elevata portata. I depositi di questo subsintema costituiscono paleoconoidi alluvionali, alimentate da brevi corsi d’acqua a carattere torrentizio di provenienza appenninica. La superficie sommi-



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

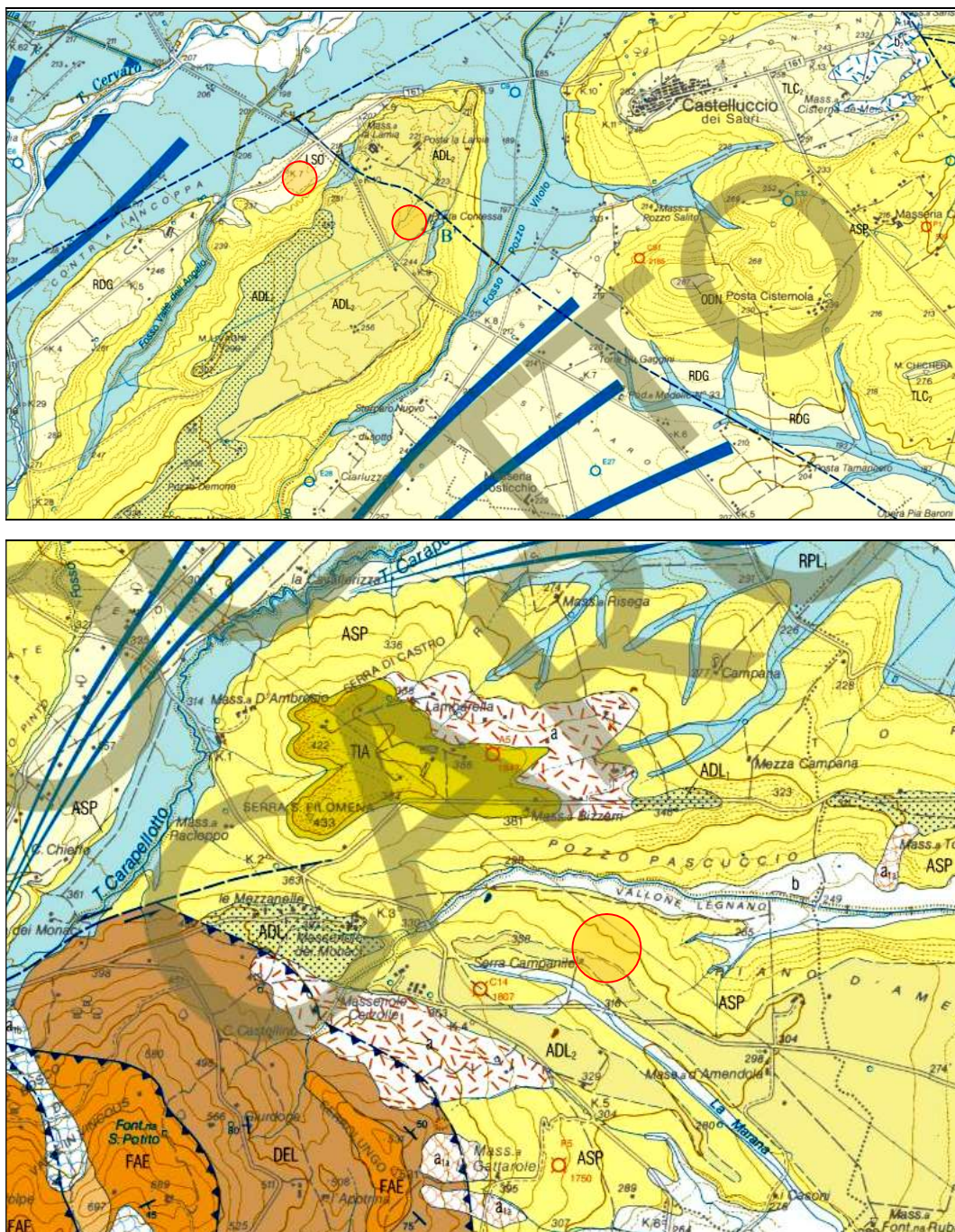
tale dei corpi appartenenti a questo subsintema si presenta inclinata verso i quadranti nord-orientali con inclinazioni variabili dai 10-15° delle parti apicali dei conoidi ai 5-8° delle parti più distali. Fenomeni di intensa e prolungata piovosità producono saltuariamente una reincisione delle conoidi, con trasporti massivi di sedimenti verso valle. L'Età è riferibile al Pleistocene medio.

3- Stazione Elettrica: Formazione delle Argille Subappennine

(ASP) - Le argille subappennine sono una potente successione prevalentemente argilloso-siltosa che si è deposta nell'Avanfossa appenninica tra il Pliocene medio ed il Pleistocene inferiore. In affioramento sono costituite da argille marnose più o meno siltose, a stratificazione mal distinguibile. L'unità mostra un assetto a debole monoclinale immersa verso ENE di 10°/15°; l'erosione operata dai corsi d'acqua ad andamento trasversale (il T. Cervaro, ed il T. Carapelle) ha frequentemente provocato l'asportazione dei depositi ghiaiosi alluvionali sviluppati sulle stesse argille. Nell'insieme si tratta di depositi accumulatisi nella parte superiore della scarpata e nella piattaforma esterna, che indicano una generalizzata tendenza regressiva. A livello fossilifero i campioni presentano associazioni a nannofossili calcarei con presenza di comuni *medium Gephyrocapsa*, rare *Calcidiscus macintyreii*. L'Età è riferibile al periodo Gelasiano - Pleistocene inferiore.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

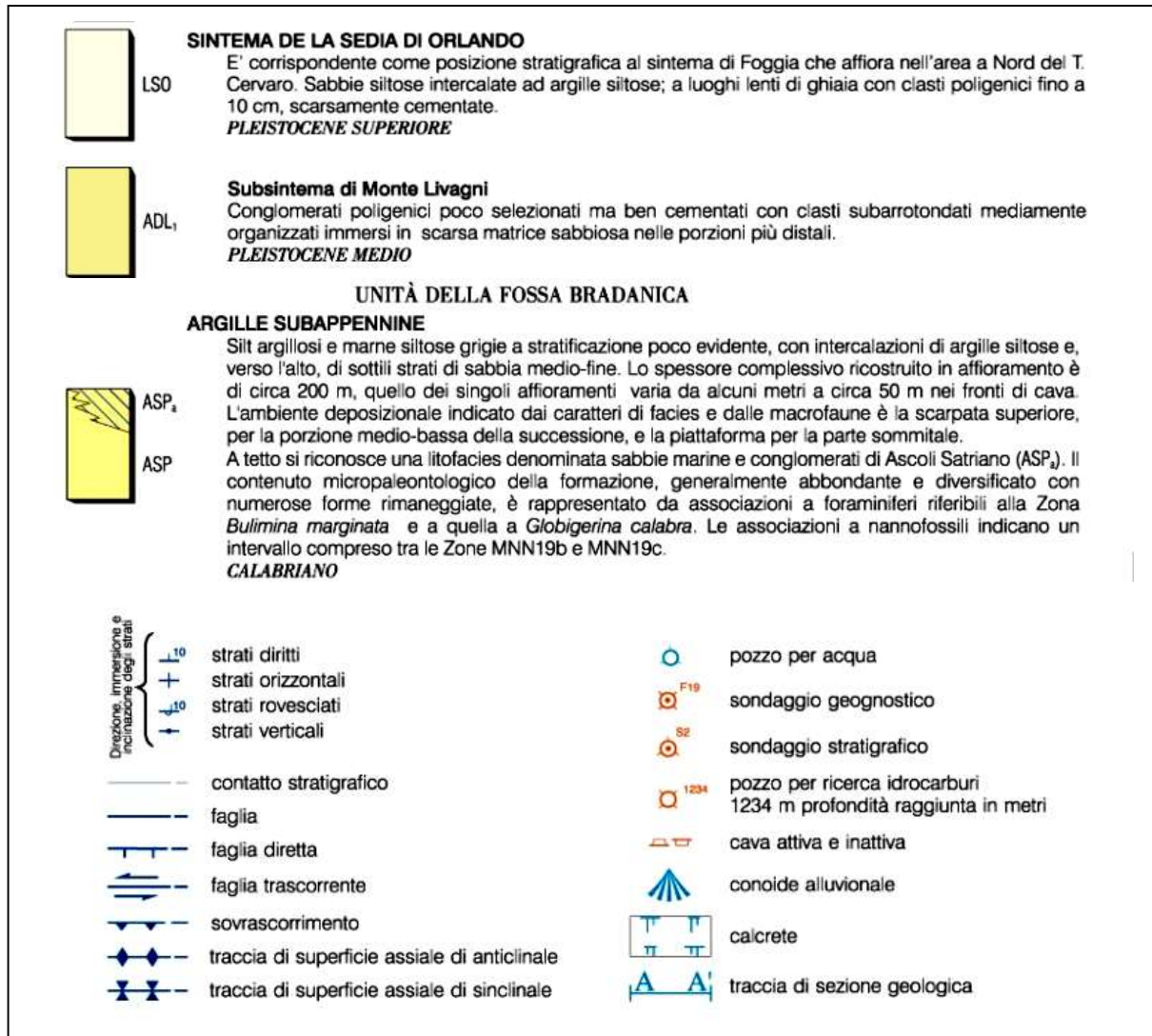


**Fig. 7: Stralcio Carta Geologica Area d'intervento
Con Legenda**

Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune

di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Legenda



Dal punto di vista geostrutturale non si ha il riconoscimento di lineazioni tettoniche e/o strutturali anche per la tipologia delle formazioni affioranti che, per loro natura e giacitura, di depositi sciolti o al più debolmente cementati non subiscono un comportamento fragile alle deformazioni.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Anche la consultazione del Catalogo delle Faglie Capaci – ITHACA redatta dal Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) evidenzia come l'area sia priva di faglie attive e capaci di cinematisimo (Fig. 8).



Fig. 8: Situazione Faglie Capaci territorio di progetto

Tratta <http://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html>



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

4.2 Geomorfologia

I caratteri morfologici dell’area di progetto sono quelli tipici del settore sud occidentale della Capitanata. Qui il paesaggio planare monotono del Tavoliere lascia gradualmente il passo ad una morfologia in cui il paesaggio appare morbidamente ondulato.

L’aspetto morfologico, in quest’area, è stato essenzialmente influenzato dalle litologie affioranti caratterizzate da una componente litoidale in ciottoli più o meno addensati o dalla matrice sabbioso-argillosa dei depositi. In corrispondenza degli affioramenti più competenti spesso si sono sviluppati gli agglomerati che a volte derivano direttamente da antichi insediamenti umani (come Bovino e Castelluccio dei Sauri).

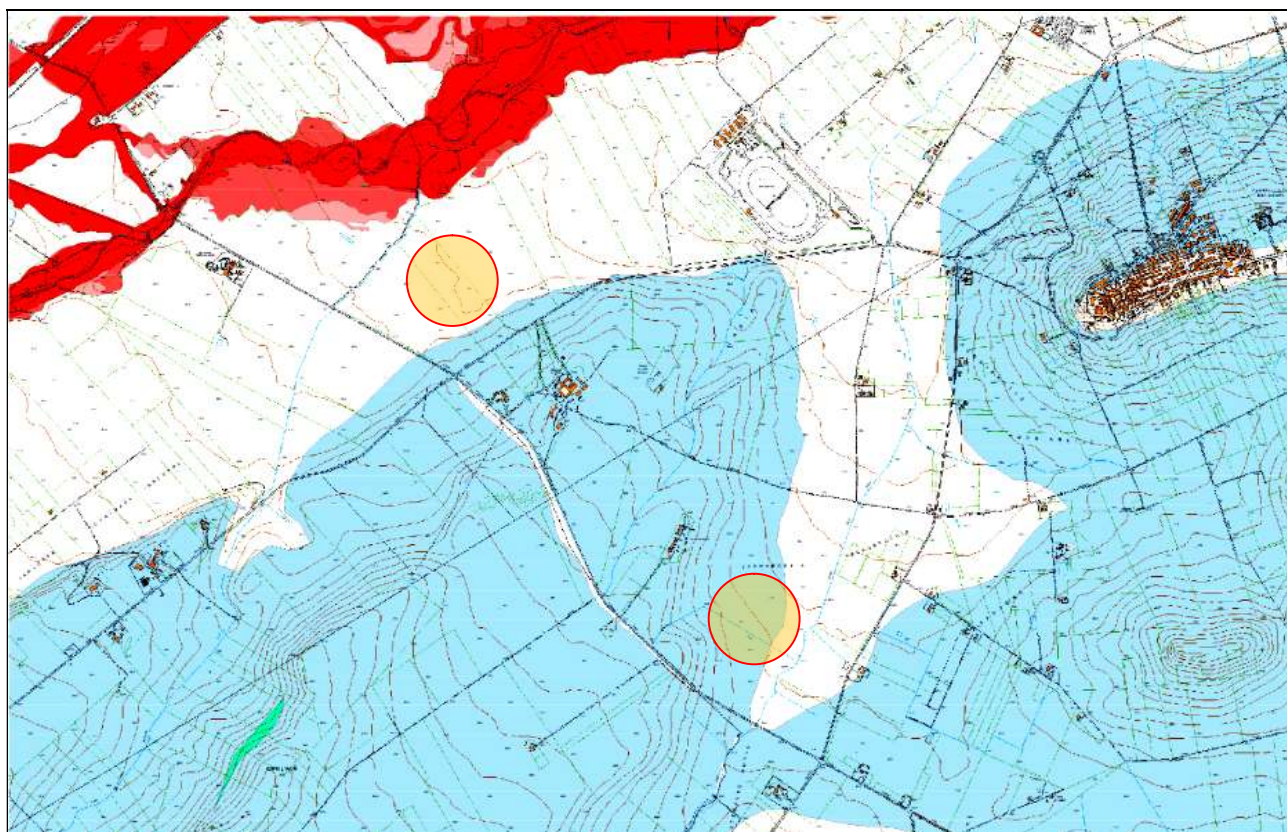
L’orografia dell’area presenta un orientamento medio generale secondo la direttrice NNO-SSE, mantenendo quindi un certo parallelismo con gli assi orografici e morfologici di questa parte dell’Italia meridionale.

Allo stato attuale nell’area d’intervento non si evidenziano significativi segni di erosione, fenomeni gravitativi o fenomeni superficiali di dissesto in atto, presentandosi globalmente stabile.

Nella consultazione della Carta Idrogeomorfologica dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale si rileva, però, come l’area direttamente interessata dall’impianto non risulti classificata a pericolosità idraulica ma a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) - (Fig. 9).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.



Pericolosità e Rischio

 PG1

Fig. 9: Stralcio Cartografia PAI Regione Puglia – Area Impianto agrivoltaico

Nell’ambito delle NTA del PAI tale vincolo trova applicazione nel Titolo III – ASSETTO GEOMORFOLOGICO, ARTICOLO 15 - Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1).

L’intervento proposto, comunque, in base alle caratteristiche tecniche progettuali:



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

-  non peggiora le condizioni di sicurezza del territorio e di difesa del suolo;
-  non costituisce un fattore di aumento della pericolosità geomorfologica;
-  non costituisce elemento pregiudizievole all’eventuale attenuazione o eliminazione definitiva della pericolosità geomorfologica esistente;
-  non pregiudica l’eventuale sistemazione geomorfologica definitiva né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;
-  garantisce condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili.

Risulta compatibile con quanto previsto nelle Norme Tecniche di Attuazione perché non modifica negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell’area e nella zona potenzialmente interessata dall’opera e dalle sue pertinenze.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

5. PIANIFICAZIONE

ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI

L'area è stata investigata con la realizzazione indagini sismiche MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) necessarie per determinare dei parametri sismo-elastici del terreno indagato.

La campagna di indagini utilizzata con i relativi risultati sono quelli riportati nella Relazione Geologica.

5.1 Metodologie di indagini adottate

Ai fini della definizione del profilo stratigrafico dei terreni di fondazione sono stati realizzati n. 5 stendimenti sismici per la determinazione delle V_{S30} .

Nello specifico ogni prospezione sismica ha visto la realizzazione di un profilo di tipo MASW, avente uno sviluppo di 24 m lineari. E' stato utilizzato un sismometro a rifrazione tipo M.A.E.-A6000S, in configurazione a 24 canali con acquisizione computerizzata dei dati, massa battente di 10 kg quale sorgente generatrice di onde sismiche e sensori (geofoni) con frequenza di 4,5 Hz; questo ha permesso di caratterizzare elastomeccanicamente i terreni in posto. Il profilo ha avuto una lunghezza complessiva di 24 m, con offset di 3 m e interdistanza geofonica pari a 1 m. L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) utilizza



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. E' stata parametrizzata la velocità delle onde Vs in profondità ricavando un “**modello di velocità del sottosuolo**” correlabile con i diversi litotipi presenti in profondità.

Le indagini sono state eseguite nella zona di ubicazione dell'impianto come da planimetria allegata (Fig. 10)



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.



Fig. 10: Ubicazione Stendimenti Sismici

I risultati delle indagini sismiche sono riportate nella relazione sismica in appendice



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

5.2 Risultati Indagine Geosismica

La topografia della superficie del sito investigato è sostanzialmente pianeggiante e quindi non è stato necessario correggere le quote di acquisizione. Il rumore ambientale rilevato è stato assolutamente trascurabile. Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell’endshot esterno al 1° geofono.

L’elaborazione si è sviluppata in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e valutazione dello spettro di velocità;
- 2) Inversione della curva di dispersione interpretata con picking della curva di dispersione, vale adire che sono stati selezionati i punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell’onda superficiale con successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull’attendibilità del modello geofisico risultante. Dall’esame dei profili sismici si mette in evidenza una sostanziale omogeneità della successione litologica, pur osservando variazione degli spessori delle singole unità litostratigrafiche che possono essere messe in relazione alle modalità di sedimentazione e alle diverse lavorazioni agricole.

Il modello sismico che emerge è diverso a seconda della zona investigata.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Per le sismiche/MASW zona Bovino emerge un modello costituito da una sola unità sismostratigrafiche con le seguenti caratteristiche:

NUMERO MASW	VALORE VS,eqv (m/sec)
2	350,75

Per le sismiche/MASW zona Castelluccio dei Sauri emerge un modello, seppur variabile, costituito da una sola unità sismostratigrafiche con le seguenti caratteristiche:

NUMERO MASW	VALORE VS,eqv (m/sec)
3	575,52



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

6 - SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

Il rivelamento di campagna unito alle indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di una sequenza formata a tratti da sedimenti sabbioso-argillosi (zona Bovino) subordinatamente ciottolosi a grana media e grossolana, con ciottoli prevalentemente calcarei silicei e selci tipici dei depositi conglomeratici (zona Castelluccio dei Sauri).

L'analisi delle stratigrafie, ottenute da sondaggi sismici, consente di definire che i terreni in esame, nella loro variabilità granulometrica e nei rapporti geometrici verticali tra i vari strati, pur nella loro eterogeneità, mostrano una sostanziale uniformità che permette di inquadrarli in unità litotecniche dalle caratteristiche geotecniche definite per una corretta progettazione geotecnica e strutturale delle opere da realizzarsi.

Da quanto emerso nel corso delle indagini geognostiche è stato possibile individuare, nell'ambito della successione stratigrafica, diverse unità litotecniche omogenee per litologia e geotecnica riconducibili ad 1 unità litotecnica.

Unità litotecnica "A" - Bovino

Si tratta di suoli costituiti da sabbia, sabbie argillose e ciottoli. Si può considerare un terreno incoerente, al più poco coesivo, con consistenza che passa dall'incoerente al mediamente coesivo in base alla quantità di argilla presente.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Lo spessore è compreso tra 0 e massimo 10 metri.

<i>Caratteristiche geotecniche dell'unità litotecnica "A"</i>	
<i>Spessore variabile</i>	$h = 0 \div 10 \text{ m}$
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 21,0 \text{ KN/m}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungotermine)</i>	$\varphi_m = 28^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$c'_m = 9,8 \text{ kN/m}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_m = 19,61 \text{ kN/m}^2$
<i>Modulo di Edometrico medio</i>	$E_m = 6,86 - 14,41 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0,41$
<i>Modulo di Young dinamico</i>	$E_{din} = 25,50 \text{ MPa}$

Unità litotecnica "B" – Castelluccio dei Sauri

Si tratta di suoli costituiti da conglomerati poligenici, poco selezionati ma tendenti al ben cementati, con clasti costituiti da arenarie, calcari marnosi e più raramente calcari silicei e selci. Si può considerare un terreno incoerente, al più poco coesivo, con consistenza che passa dall'incoerente al bassamente coesivo in base alla quantità di limo presenti.

Lo spessore è compreso tra 0 e massimo 20 metri.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

<i>Caratteristiche geotecniche dell'unità litotecnica "B"</i>	
<i>Spessore variabile</i>	$h = 0 \div 20 \text{ m}$
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 21,0 \text{ KN/m}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$\varphi_m = 30^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$c'_m = 10,1 \text{ kN/m}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_m = 15,79 \text{ kN/m}^2$
<i>Modulo di Edometrico medio</i>	$E_m = 24,30 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0,41$
<i>Modulo di Young dinamico</i>	$E_{din} = 97 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Taglio dinamico</i>	$G_d = 11 \text{ MPa}$



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

7 SISMICITÀ

7.1: Inquadramento Sismico

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e sono state definite le nuove norme tecniche per la progettazione di nuovi opere, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno, ecc. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale (Fig.11).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

ZONE A PERICOLOSITÀ SISMICA	
Zona	DEFINIZIONE
1	È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti
3	I comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti
4	È la zona meno pericolosa

Fig. 11 – Zone a pericolosità sismica

In sintesi viene eliminato il territorio “non classificato”, che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l’obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell’azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g). Il nuovo studio di pericolosità, allegato all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche (Fig. 12)

SUDDIVISIONE DELLE ZONE SISMICHE	
Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Fig. 12 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all’accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

La Regione Puglia, con D.G.R. n. 153 dell'02/03/2004, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Puglia dalla quale si rileva che i Comuni di Bovino e Castelluccio dei Sauri rientrano in zona 2 come da tabella che segue:

Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)	I
Bovino: 071007	Zona 2	0.25 g	8,7 MCS
Castelluccio dei Sauri 071015	Zona 2	0.25 g	8,7 MCS

Dove:

- *PGA (g)=accelerazione orizzontale di picco del terreno (estimatore dello scuotimento alle alte frequenze), valore atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 457 anni).*
- *I=intensità macrosismica (MCS) valore di intensità MCS atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni).*
- *$g=981 \text{ cm/sec}^2$ (accelerazione di gravità).*

La caratterizzazione sismica del terreno è la seguente:



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Comune di Bovino

Dati Generali					
Località			Dati opera		
Indirizzo Bovino			Tipo opera 2 - Opere ordinarie		
Lat. Long. 41.902783 12.496365			Classe d'uso Classe II		
			V. Nominale 50 V. Rif. 50		
Parametri sismici su sito di riferimento					
SL	TR [Anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec.]	
SLO	30.00	0.422	2.527	0.257	
SLD	50.00	0.539	2.504	0.270	
SLV	475.00	1.177	2.620	0.297	
SLC	975.00	1.471	2.615	0.307	
					Categoria sottosuolo C
					Categoria topografica T1
Coefficienti sismici orizzontali e verticali					
Opera Muri di sostegno (NTC 2018)					
SL	amax [m/s ²]	Beta	khk [-]	kvk [-]	Khi [-]
SLO	0.633	1.0	0.0646	0.0323	0.0
SLD	0.8085	0.47	0.0388	0.0194	0.0
SLV	1.7655	0.38	0.0684	0.0342	0.0
SLC	2.1545	1.0	0.2197	0.1099	0.0
Stato limite di riferimento					SLO

Comune di Castelluccio dei Sauri

Dati Generali					
Località			Dati opera		
Indirizzo Castelluccio dei Sauri			Tipo opera 2 - Opere ordinarie		
Lat. Long. 41.902783 12.496365			Classe d'uso Classe II		
			V. Nominale 50 V. Rif. 50		
Parametri sismici su sito di riferimento					
SL	TR [Anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec.]	
SLO	30.00	0.422	2.527	0.257	
SLD	50.00	0.539	2.504	0.270	
SLV	475.00	1.177	2.620	0.297	
SLC	975.00	1.471	2.615	0.307	
					Categoria sottosuolo B
					Categoria topografica T1
Coefficienti sismici orizzontali e verticali					
Opera Muri di sostegno (NTC 2018)					
SL	amax [m/s ²]	Beta	khk [-]	kvk [-]	Khi [-]
SLO	0.5064	1.0	0.0516	0.0258	0.0
SLD	0.6468	0.47	0.031	0.0155	0.0
SLV	1.4124	0.38	0.0547	0.0274	0.0
SLC	1.7652	1.0	0.18	0.09	0.0
Stato limite di riferimento					SLO



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Per quanto riguarda i rischi correlati all’attività sismica, l’intero territorio è stato interessato da numerosi eventi sismici ed è compreso tra due regioni ad alto rischio: l’Appennino meridionale e il Promontorio del Gargano che sono notoriamente aree sismogenetiche attive a causa della particolare configurazione strutturale (con forti disturbi imputabili a numerose faglie), che nel corso degli anni sono state interessate da energia sismica intensa, con magnitudo $M \geq 4.0$.

I dati a disposizione indicano che gli epicentri della maggior parte dei terremoti si localizzano in zona garganica e appenninica (Irpinia). Tali eventi, in gran parte distruttivi nelle immediate vicinanze degli epicentri, hanno avuto influenza e continueranno ad agire in maniera tangibile sul Territorio in esame.

La sismicità registrata nell'ultimo secolo sembrerebbe alquanto limitata ma la consultazione del catalogo CPTI 04 (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) evidenzia eventi sismici particolarmente intensi. In Fig. 13a sono elencati i terremoti registrati nell’area d’intervento mentre in Fig. 13b e 13c la storia sismica di Bovino e Castelluccio dei Sauri.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
7	1627	07	30	10	50		Capitanata	64	10	6.66
7-8	1646	05	31				Gargano	35	10	6.72
6-7	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
7	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
7	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
4	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47
3-4	1892	06	06				Isole Tremiti	68	6	4.88
NF	1893	01	25				Vallo di Diano	134	7	5.15
3	1893	08	10	20	52		Gargano	69	8	5.39
NF	1895	02	01	07	24	3	Monti del Partenio	40	5	4.29
4	1895	08	09	17	38	2	Adriatico centrale	103	6	5.11
3-4	1897	05	28	22	40	0	Ionio	132	6	5.46
4	1899	08	16	00	05		Subappennino dauno	32	6	4.57
4	1905	08	18	04	07		Tavoliere delle Puglie	41	5	4.61
3	1905	11	26				Irpinia	122	7-8	5.18
NF	1908	09	16	20	15		Gargano	14	3-4	3.72
7	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
4-5	1912	07	02	07	34		Tavoliere delle Puglie	49	5	4.55
4	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
3-4	1919	10	21	00	24		Gargano	24	5-6	5.03
3	1927	05	25	02	50		Sannio	54	6	4.98
8	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
4	1931	05	10	10	48	5	Irpinia	43	5-6	4.64
4	1933	03	07	14	39		Irpinia	42	6	4.96
5	1937	07	17	17	11		Tavoliere delle Puglie	40	6	4.96
6-7	1948	08	18	21	12	2	Gargano	58	7-8	5.55



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

3	☞	1956	09	22	03	19	3	Gargano	57	6	4.64
2-3	☞	1962	01	19	05	01	2	Gargano	31	5	4.42
6-7	☞	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
3	☞	1964	02	18	06	58	2	Irpinia	18	5-6	4.44
6	☞	1971	05	06	03	45	0	Irpinia	68	6	4.83
7	☞	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
5-6	☞	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3-4	☞	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
3	☞	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
4	☞	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
3	☞	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
3-4	☞	2003	12	30	05	31	3	Molise	326	4-5	4.53
4	☞	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	☞	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30
NF	☞	2006	12	10	11	03	4	Adriatico centrale	54		4.48
4	☞	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61

Fig. 13a: Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Bovino e Castelluccio dei Sauri (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Bovino:

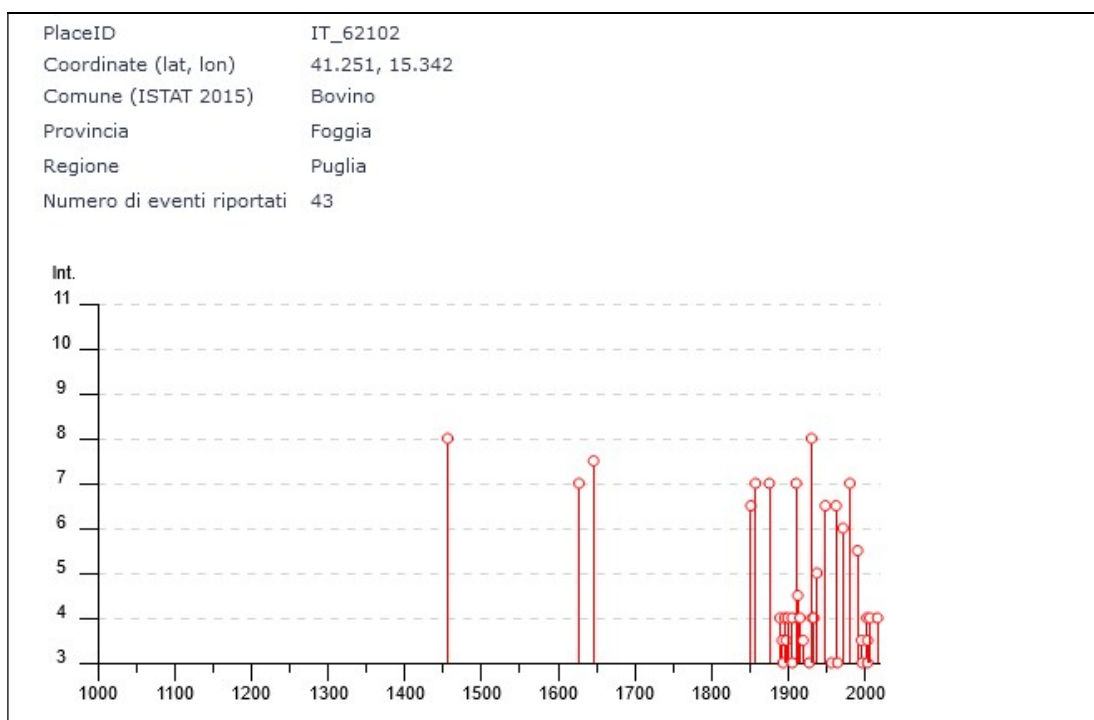


Fig. 13b: Grafico illustrante la storia sismica di Bovino. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Castelluccio dei Sauri

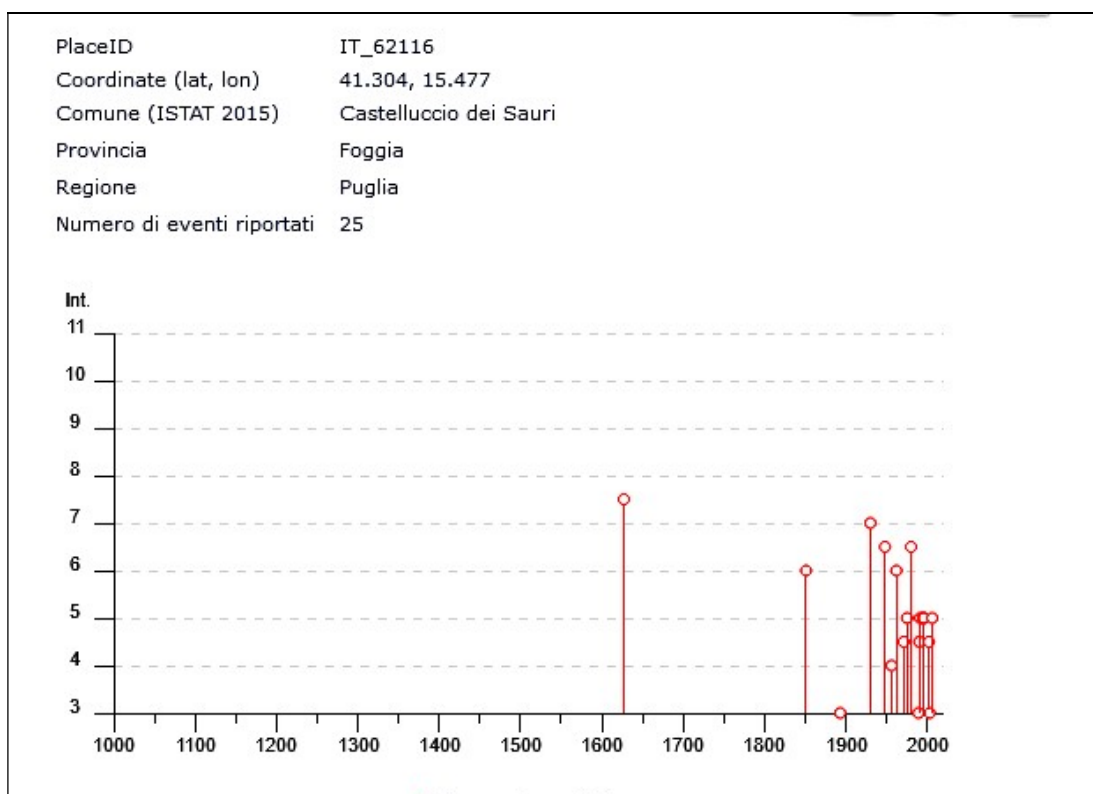


Fig. 13c: Grafico illustrante la storia sismica di Castelluccio dei Sauri. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Secondo i dati a disposizione, risulta che i massimi risentimenti nell'area in studio sono stati dell'ordine del VII-VIII grado MCS e si sono avuti in corrispondenza degli eventi sismici del 1851, del 1627 e del 1980.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

8 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico e geotecnico eseguito per il “*Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri in Località “Posta Contessa” e delle relative opere di connessione da realizzare nei Comuni di Bovino, Castelluccio dei Sauri, Deliceto e Ascoli Satriano (FG), avente una potenza pari a 63.784,00 kWp, Denominato “Deliceto HV”*” ha permesso la ricostruzione di un modello geotecnico del terreno sulla base del quale sono state realizzate le verifiche della fondazione dell’impianto.

Il risultato di tali verifiche, a cui si rimanda per ogni ulteriore dettaglio, garantisce la fattibilità geotecnico-strutturale dell’impianto con la mancanza di instabilità e cedimenti contenute all’ordine dei mm.

Tanto in adempimento all’incarico conferitomi

Rodi Garganico Giugno 2024



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

APPENDICE

REPORT SISMICO

BOVINO



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

RISULTATI INDAGINI

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

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – “R”

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



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

Analisi del segnale con tecnica MASW

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

Modellizzazione

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

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale.



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

tale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

Modi di vibrazione

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

Profondità di indagine

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



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

REPORT SISMICO S 1

Geofono	Distanza (mt)	Quota (mt)
1	0.00	0.00
2	1.50	0.00
3	3.00	0.00
4	4.50	0.00
5	6.00	0.00
6	7.50	0.00
7	9.00	0.00
8	10.50	0.00
9	12.00	0.00
10	13.50	0.00
11	15.00	0.00
12	16.50	0.00
13	18.00	0.00
14	19.50	0.00
15	21.00	0.00
16	22.50	0.00
17	24.00	0.00
18	25.50	0.00
19	27.00	0.00
20	28.50	0.00
21	30.00	0.00
22	31.50	0.00
23	33.00	0.00
24	34.50	0.00



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

- PRIMI ARRIVI -			
-3.00 mt	17.00 mt [SX]	17.00 mt [DX]	37.50 mt
10.93 ms	26.13 ms		43.00 ms
13.07 ms	24.13 ms		41.00 ms
16.80 ms	22.00 ms		39.00 ms
18.00 ms	21.07 ms		38.50 ms
18.93 ms	20.27 ms		36.50 ms
19.33 ms	19.33 ms		35.50 ms
20.93 ms	18.53 ms		35.00 ms
21.47 ms	17.07 ms		34.00 ms
22.67 ms	15.47 ms		33.50 ms
25.60 ms	11.73 ms		32.50 ms
27.20 ms	8.40 ms		32.00 ms
28.00 ms	5.73 ms		31.00 ms
29.87 ms		3.20 ms	30.50 ms
30.80 ms		8.27 ms	30.00 ms
32.40 ms		13.20 ms	29.00 ms
33.07 ms		15.73 ms	28.00 ms
34.80 ms		18.27 ms	28.00 ms
36.27 ms		20.93 ms	27.00 ms
36.93 ms		21.73 ms	25.00 ms
37.60 ms		23.07 ms	24.00 ms
38.80 ms		23.87 ms	21.50 ms
39.60 ms		24.27 ms	19.00 ms
40.40 ms		24.80 ms	12.50 ms
41.20 ms		25.87 ms	7.00 ms



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

- PROFONDITA' STRATI -

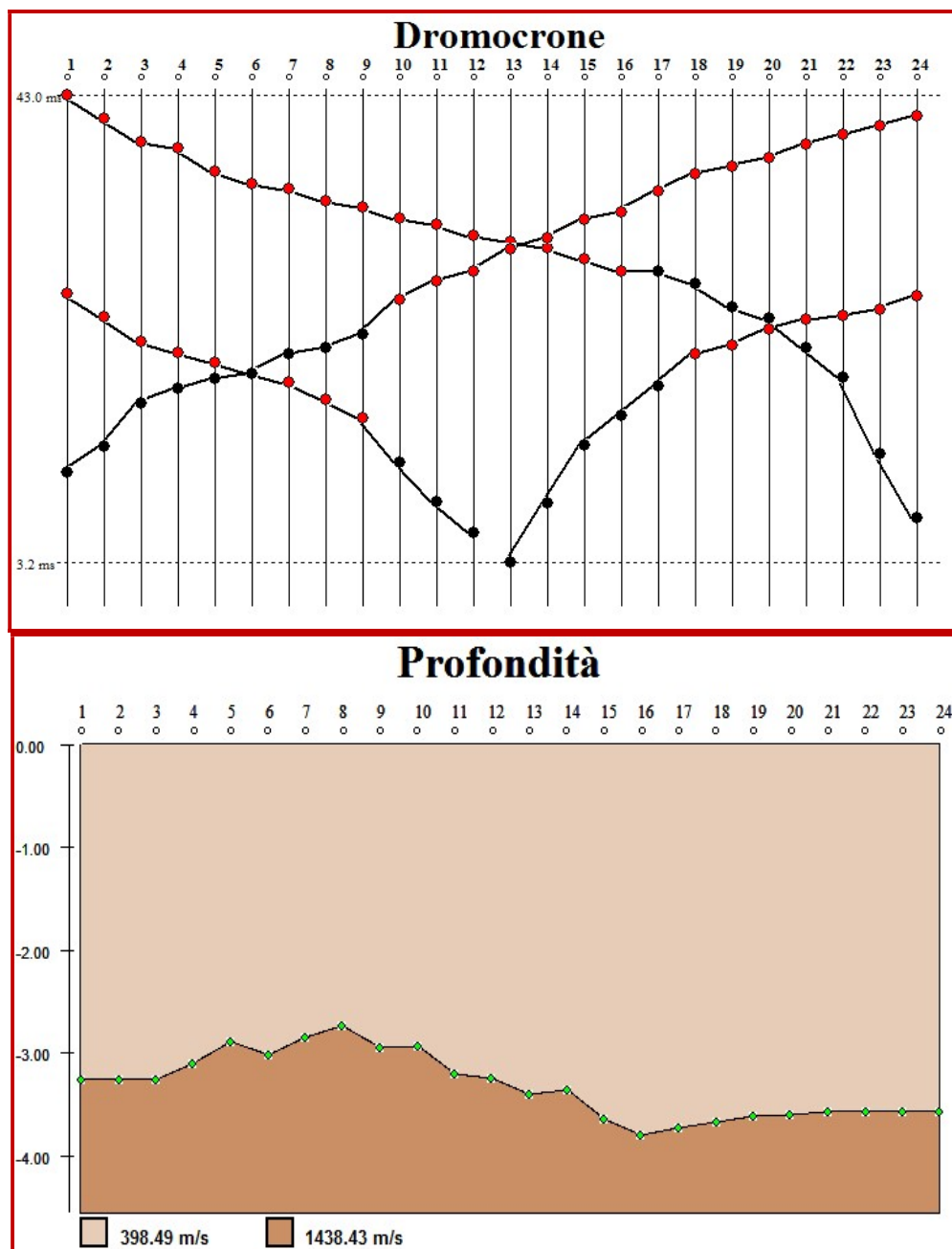
Geofoni	2° strato
1	-3.26 mt
2	-3.26 mt
3	-3.26 mt
4	-3.08 mt
5	-2.92 mt
6	-3.06 mt
7	-2.84 mt
8	-2.73 mt
9	-2.95 mt
10	-2.94 mt
11	-3.20 mt
12	-3.26 mt
13	-3.41 mt
14	-3.36 mt
15	-3.65 mt
16	-3.80 mt
17	-3.74 mt
18	-3.67 mt
19	-3.62 mt
20	-3.60 mt
21	-3.58 mt
22	-3.58 mt
23	-3.58 mt
24	-3.58 mt

- VELOCITA' STRATI -

Velocità strato n.1	398.49 m/s
Velocità strato n.2	1438.43 m/s



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

MODULI SISMICI

Sismostrati	Gamma dinamico	Poisson	Vp	Vs	E dinamico YOUNG	E statico	Gd modulo di taglio
1	1700	0.33	398	200.00	1.85E+02	6.18E+01	5.56E+01
2	1800	0.40	1438	300.00	1.77E+03	5.90E+02	5.21E+02
	Kg/m ³		m/s	m/s	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²

R rigidità sismica	Porosità (Rzhesvky e Novik)	ε coefficiente di fondazione	Indice di qualità per rocce
340.00	47.03	1.17	7.96
540.00	37.31	1.12	28.76
t/m ² *s	%		



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.

REPORT SISMICO S2

Geofono	Distanza (mt)	Quota (mt)
1	0.00	0.00
2	1.50	0.00
3	3.00	0.00
4	4.50	0.00
5	6.00	0.00
6	7.50	0.00
7	9.00	0.00
8	10.50	0.00
9	12.00	0.00
10	13.50	0.00
11	15.00	0.00
12	16.50	0.00
13	18.00	0.00
14	19.50	0.00
15	21.00	0.00
16	22.50	0.00
17	24.00	0.00
18	25.50	0.00
19	27.00	0.00
20	28.50	0.00
21	30.00	0.00
22	31.50	0.00
23	33.00	0.00
24	34.50	0.00



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

- PRIMI ARRIVI -			
-3.00 mt	17.00 mt [SX]	17.00 mt [DX]	37.50 mt
11.20 ms	25.33 ms		32.53 ms
12.80 ms	24.27 ms		31.73 ms
14.53 ms	23.73 ms		31.33 ms
16.93 ms	23.07 ms		30.13 ms
18.00 ms	21.60 ms		29.87 ms
19.20 ms	20.93 ms		28.80 ms
20.00 ms	19.73 ms		28.27 ms
20.93 ms	17.33 ms		27.73 ms
21.87 ms	16.13 ms		27.33 ms
22.53 ms	14.40 ms		24.80 ms
23.87 ms	9.33 ms		23.20 ms
25.20 ms	5.07 ms		22.00 ms
25.73 ms		6.53 ms	21.20 ms
27.20 ms		9.60 ms	20.53 ms
28.13 ms		11.87 ms	19.73 ms
29.33 ms		16.53 ms	19.33 ms
30.27 ms		19.60 ms	17.73 ms
31.07 ms		21.47 ms	17.07 ms
32.00 ms		22.53 ms	16.00 ms
33.60 ms		23.07 ms	14.53 ms
34.53 ms		24.00 ms	12.93 ms
34.93 ms		24.67 ms	11.33 ms
36.00 ms		26.27 ms	10.00 ms
36.80 ms		27.47 ms	7.87 ms



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

- PROFONDITA' STRATI -

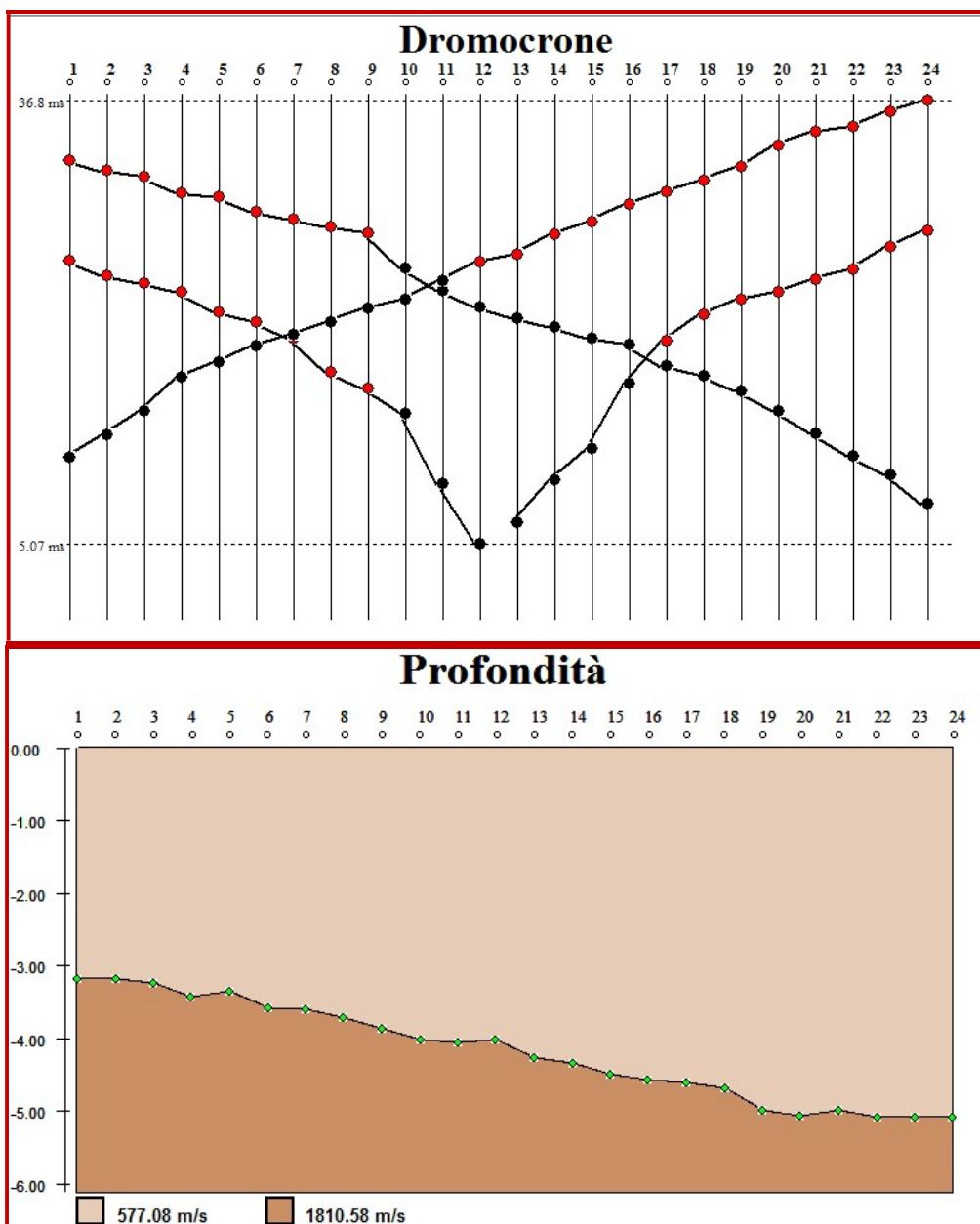
Geofoni	2° strato
1	-3.18 mt
2	-3.18 mt
3	-3.24 mt
4	-3.43 mt
5	-3.36 mt
6	-3.59 mt
7	-3.61 mt
8	-3.71 mt
9	-3.86 mt
10	-4.03 mt
11	-4.06 mt
12	-4.01 mt
13	-4.27 mt
14	-4.35 mt
15	-4.50 mt
16	-4.58 mt
17	-4.62 mt
18	-4.70 mt
19	-5.00 mt
20	-5.08 mt
21	-5.00 mt
22	-5.10 mt
23	-5.10 mt
24	-5.10 mt

- VELOCITA' STRATI -

Velocità strato n.1	577.08 m/s
Velocità strato n.2	1810.58 m/s



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località “Lamia” e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località “Posta Contessa” e relative opere di connessione.





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

MODULI SISMICI

Sismostrati	Gamma dinamico	Poisson	Vp	Vs	E dinamico YOUNG	E statico	Gd modulo di taglio
1	1700	0.38	577	200.00	3.08E+02	1.03E+02	9.12E+01
2	1800	0.40	1810	300.00	2.81E+03	9.35E+02	8.25E+02
	Kg/m ³		m/s	m/s	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²

R rigidità sismica	Porosità (Rzhesvky e Novik)	ε coefficiente di fondazione	Indice di qualità per rocce
340.00	45.36	1.17	11.54
540.00	33.83	1.12	36.20
t/m ² *s	%		

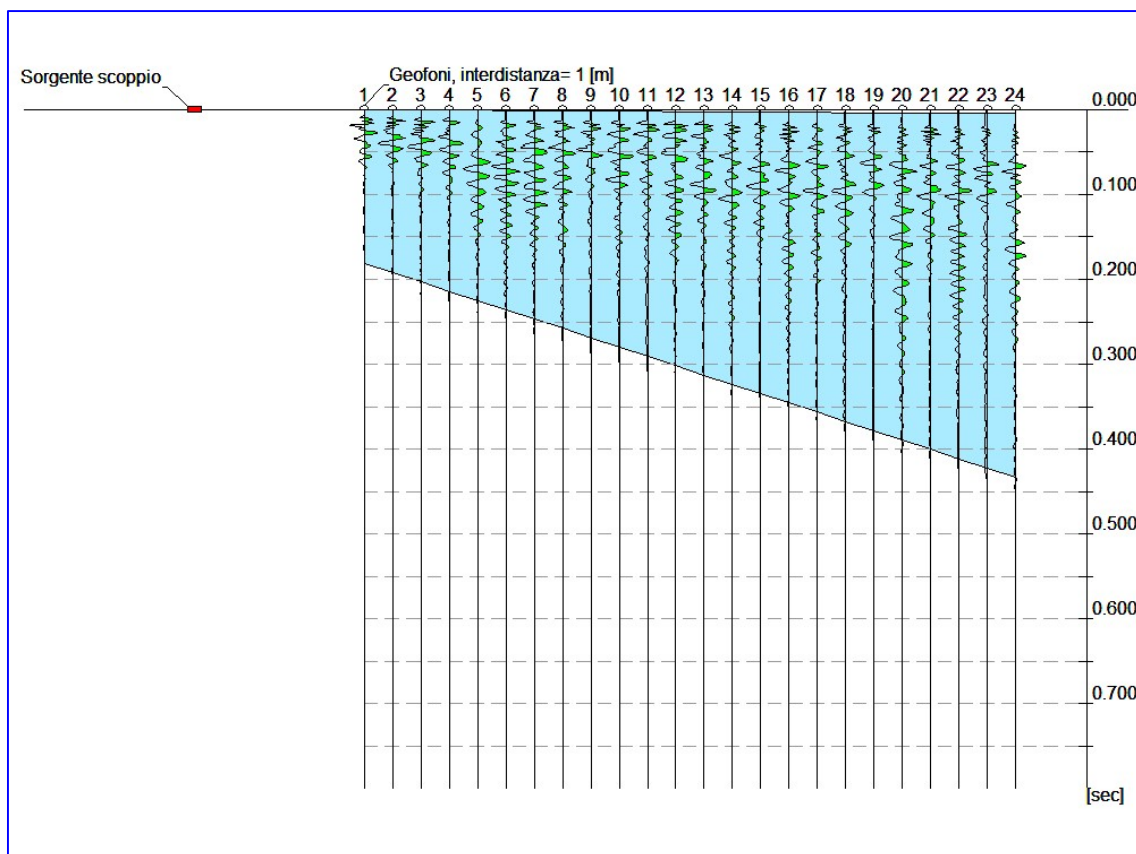


Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

REPORT MASW S2

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	800.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

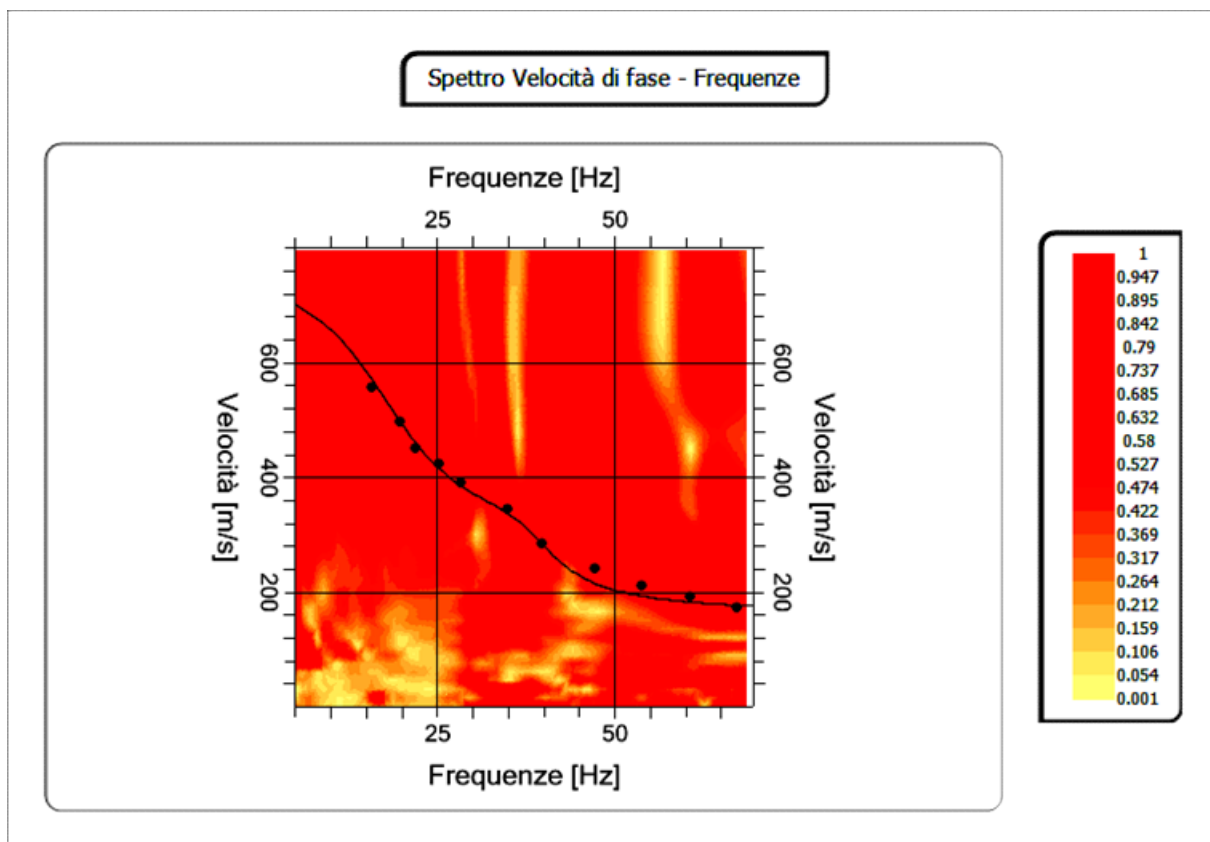




Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.9	557.1	0
2	19.6	498.5	0
3	22.0	451.7	0
4	25.3	422.5	0
5	28.4	390.3	0
6	35.0	343.4	0
7	39.7	284.9	0
8	47.3	241.0	0
9	53.9	211.7	0
10	60.7	191.2	0
11	67.3	173.7	0





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Inversione

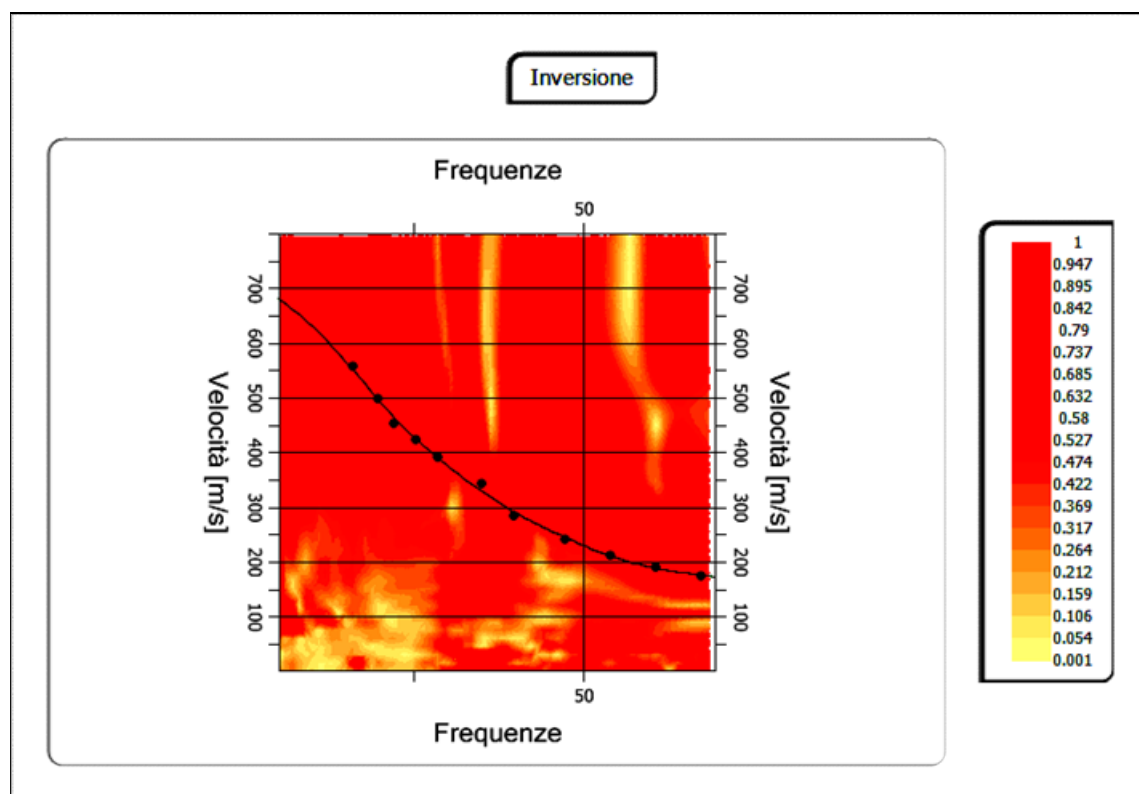
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.25	1.25	1850.0	0.3	No	307.9	164.6
2		2.25	1.00	1850.0	0.3	No	619.7	331.2
3		3.28	1.03	1900.0	0.3	No	628.2	335.8
4		4.88	1.60	1950.0	0.3	No	864.1	461.9
5		10.84	5.97	2000.0	0.3	No	1115.6	596.3
6		13.71	2.87	2000.0	0.3	No	1358.8	726.3
7		16.79	3.08	2100.0	0.3	No	1377.7	736.4
8		25.67	8.88	2150.0	0.3	No	1388.5	742.2
9		31.13	5.46	2200.0	0.3	No	1445.9	772.9
10		oo	oo	2200.0	0.3	No	1451.3	775.8

Percentuale di errore

0.033 %

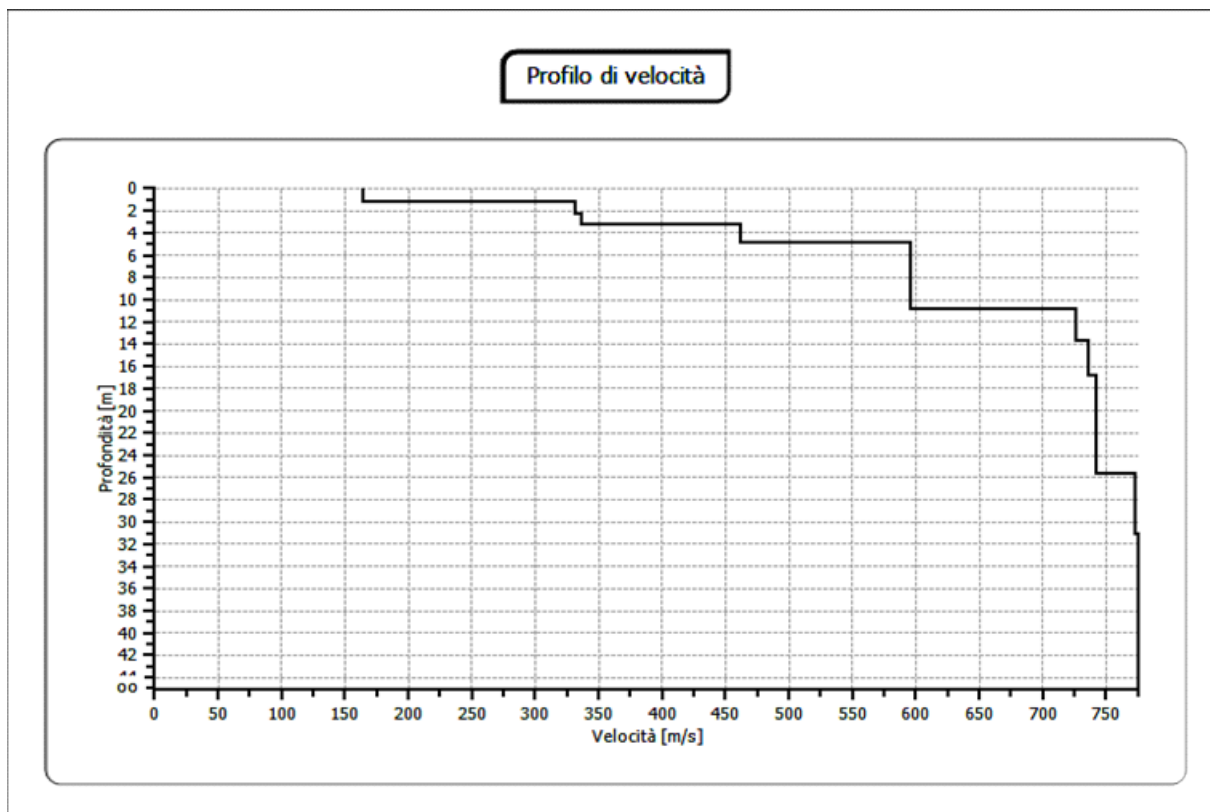
Fattore di disadattamento della soluzione

0.019





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.



Risultati

Profondità piano di	0.00
posa [m]	
Vs30 [m/sec]	350
Categoria del suolo	C



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

REPORT SISMICO

CASTELLUCCIO DEI SAURI



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

REPORT MASW S3

- PRIMI ARRIVI -

-2.00 mt	11.50 mt [SX]	11.50 mt [DX]	25.00 mt
3.47 ms	12.67 ms		17.33 ms
4.13 ms	12.40 ms		17.20 ms
4.80 ms	12.27 ms		16.80 ms
5.47 ms	11.87 ms		16.40 ms
9.73 ms	11.47 ms		15.20 ms
10.53 ms	9.87 ms		14.93 ms
11.33 ms	9.07 ms		14.00 ms
11.87 ms	7.73 ms		13.87 ms
12.00 ms	6.13 ms		13.33 ms
12.27 ms	5.33 ms		13.07 ms
13.33 ms	4.13 ms		12.67 ms
13.47 ms	3.33 ms		12.27 ms
14.13 ms		2.80 ms	11.87 ms
14.53 ms		3.87 ms	11.20 ms
15.20 ms		4.27 ms	10.13 ms
15.87 ms		5.07 ms	9.33 ms
17.33 ms		6.27 ms	8.53 ms
18.00 ms		7.47 ms	7.87 ms
18.67 ms		8.40 ms	7.60 ms
19.20 ms		9.60 ms	7.20 ms
20.13 ms		10.67 ms	5.20 ms
20.53 ms		12.27 ms	4.40 ms
20.80 ms		12.80 ms	3.60 ms
21.47 ms		13.87 ms	2.27 ms



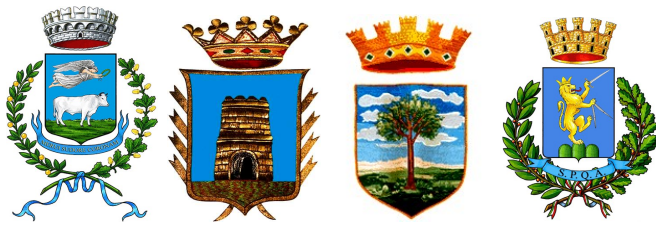
Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

- PROFONDITA' STRATI -

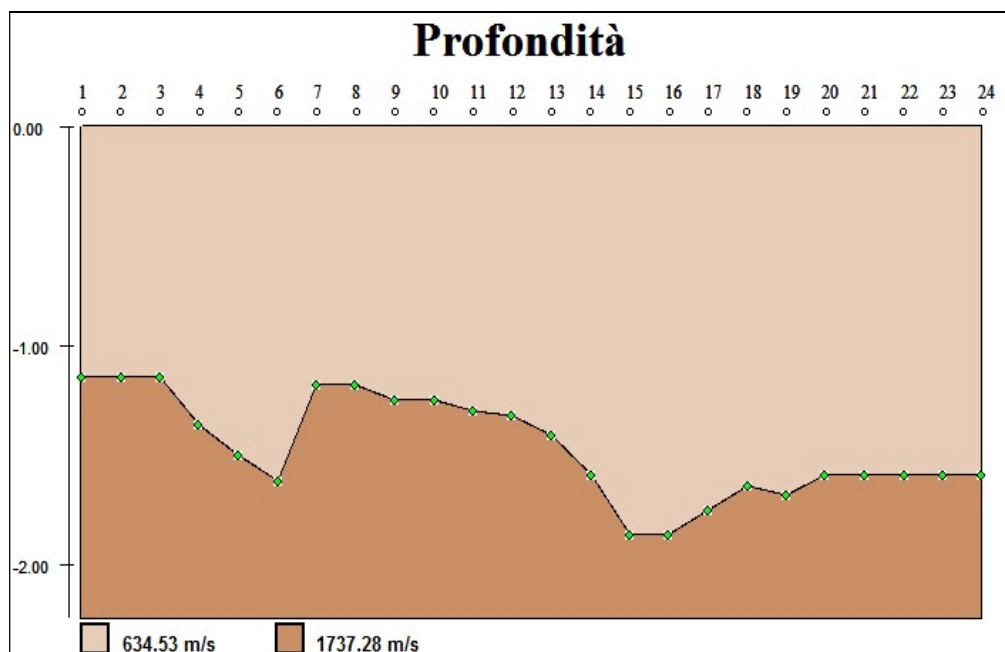
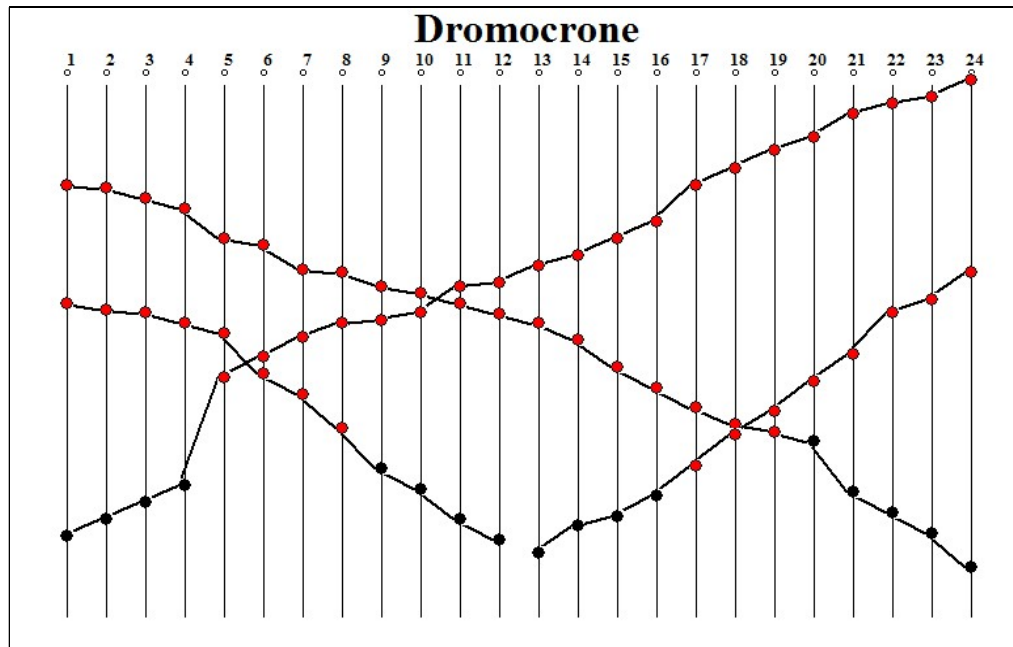
Geofoni	2° strato
1	-0.81 mt
2	-0.81 mt
3	-0.81 mt
4	-0.91 mt
5	-1.00 mt
6	-1.03 mt
7	-0.82 mt
8	-0.82 mt
9	-0.84 mt
10	-0.84 mt
11	-0.86 mt
12	-0.89 mt
13	-0.94 mt
14	-1.00 mt
15	-1.27 mt
16	-1.27 mt
17	-1.16 mt
18	-1.10 mt
19	-1.13 mt
20	-1.06 mt
21	-1.06 mt
22	-1.06 mt
23	-1.06 mt
24	-1.06 mt

- VELOCITA' STRATI -

Velocità strato n.1	439.43 m/s
Velocità strato n.2	1737.28 m/s



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

MODULI SISMICI

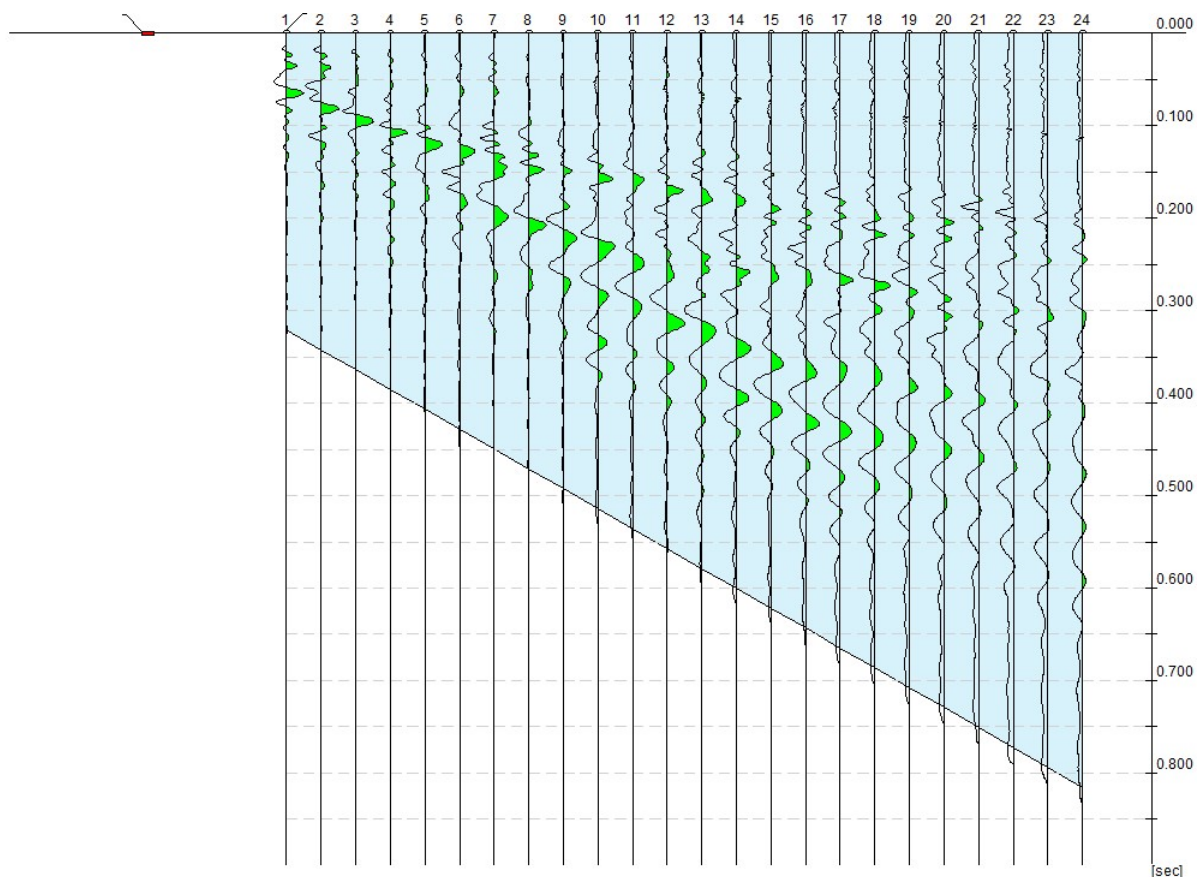
Sismostrati	Gamma dinamico	Poisson	Vp	Vs	E dinamico YOUNG	E statico	Gd modulo di taglio
1	1800	0.43	634	200.00	2.59E+03	8.63E+02	7.55E+02
2	2000	0.44	1737	600.00	1.90E+04	6.33E+03	5.52E+03
	Kg/m ³		m/s	m/s	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²

R rigidità sismica	Porosità (Rzhesvky e Novik)	ε coefficiente di fondazione	Indice di qualità per rocce
360.00	44.82	1.16	12.68
1200.00	34.51	1.03	34.74
t/m ² *s	%		



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

REPORT MASW S4

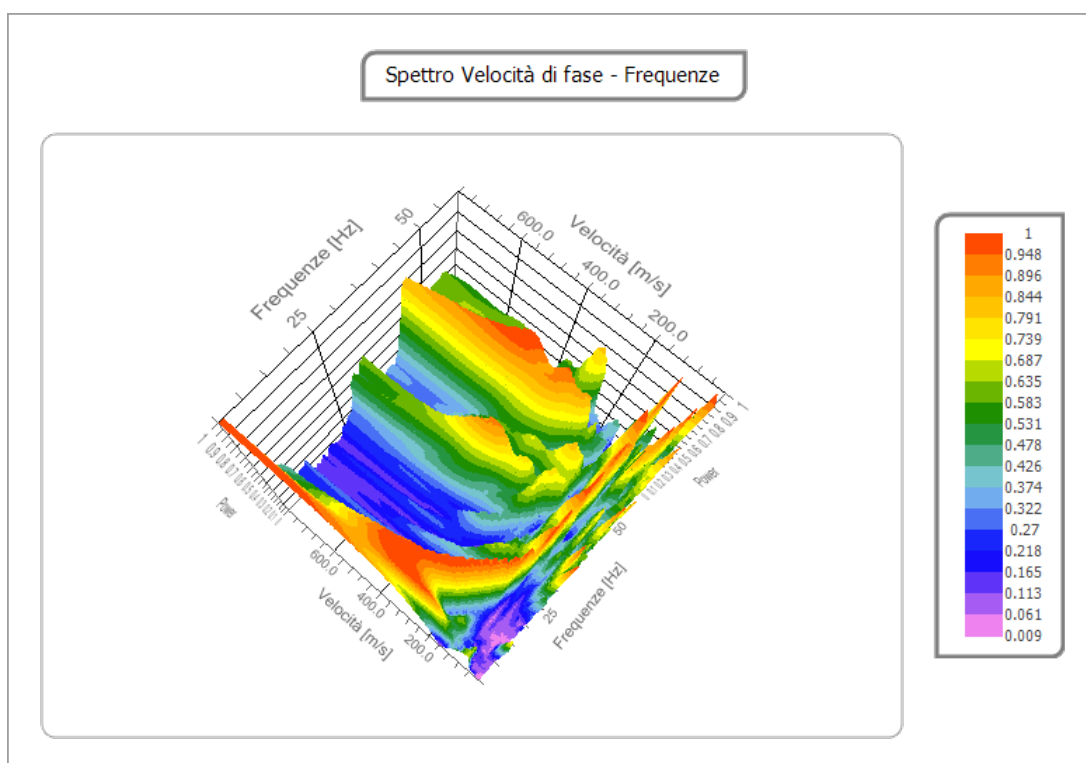




Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 5
 Frequenza massima di elaborazione [Hz] 60
 Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1
 Velocità massima di elaborazione [m/sec] 800
 Intervallo velocità [m/sec] 1

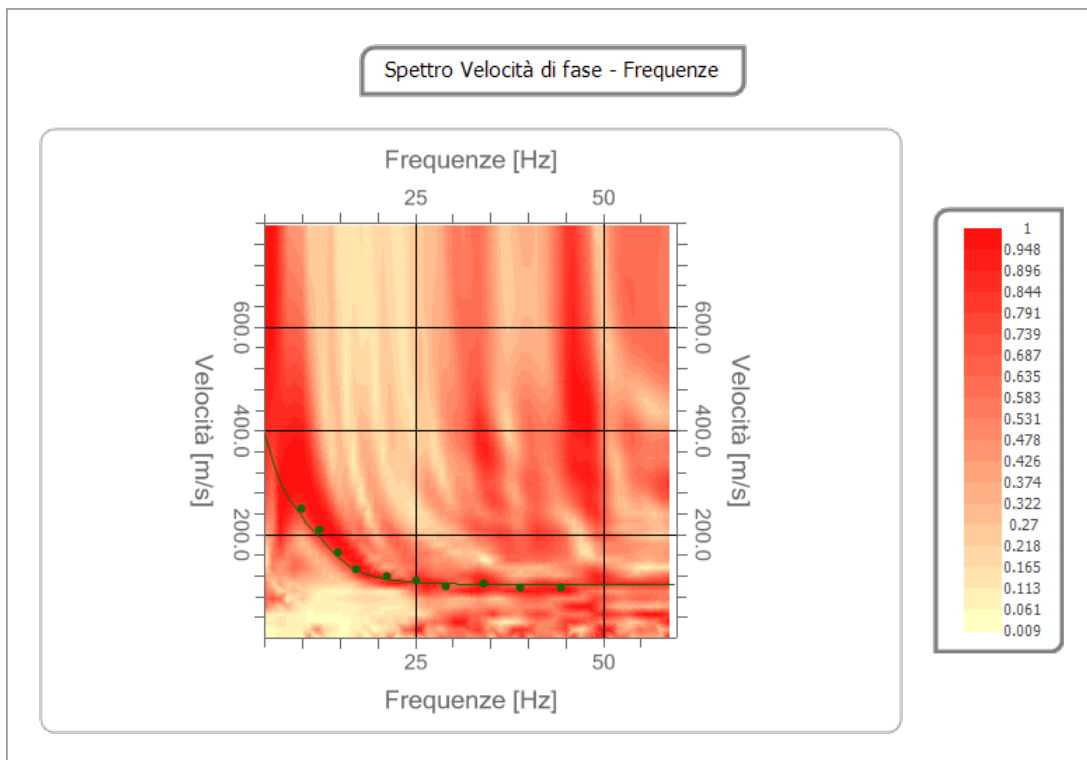


Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9.8	249.8	0
2	12.2	208.8	0
3	14.6	164.9	0
4	17.2	132.7	0
5	21.2	118.1	0
6	25.2	109.3	0
7	29.0	100.5	0
8	34.0	103.4	0
9	39.1	97.6	0
10	44.5	97.6	0



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.



Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.87	1.87	1850.0	0.3	No	181.2	104.6
2		4.24	2.37	1850.0	0.3	No	267.9	154.7
3		5.31	1.06	1950.0	0.3	No	596.9	319.0
4		6.44	1.14	2000.0	0.3	No	650.8	347.9
5		7.72	1.28	2000.0	0.3	No	701.5	375.0
6		15.09	7.37	2000.0	0.3	No	702.8	375.7
7		18.79	3.71	2100.0	0.3	No	731.3	390.9
8		oo	oo	2200.0	0.3	No	1012.7	541.3

Percentuale di errore

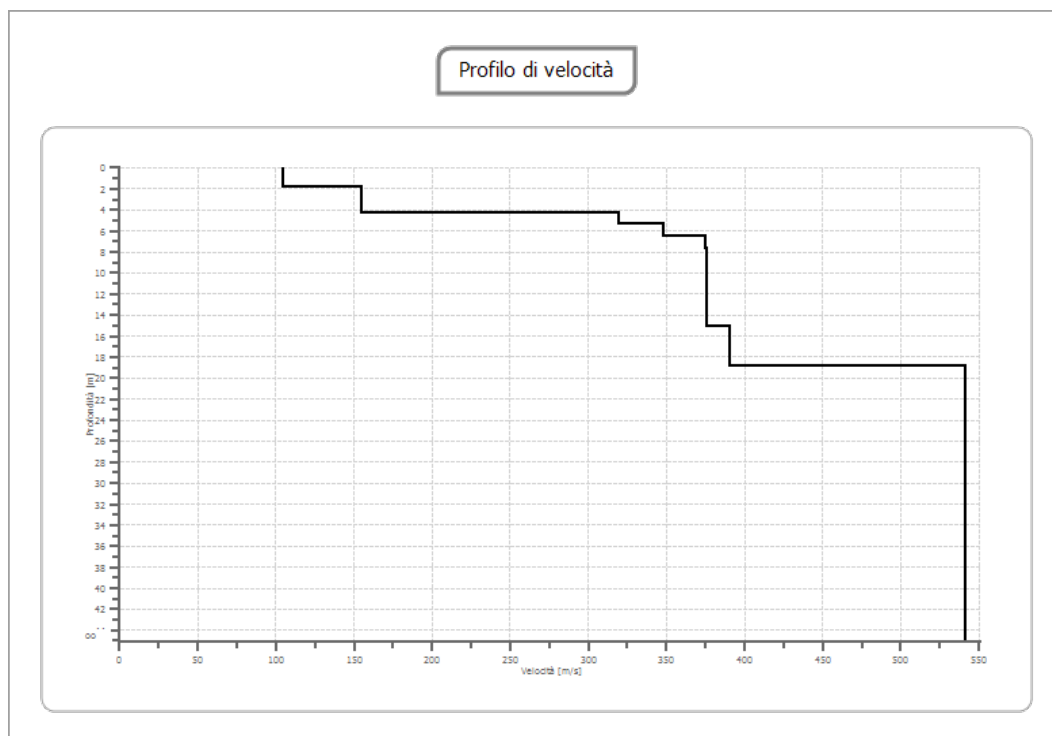
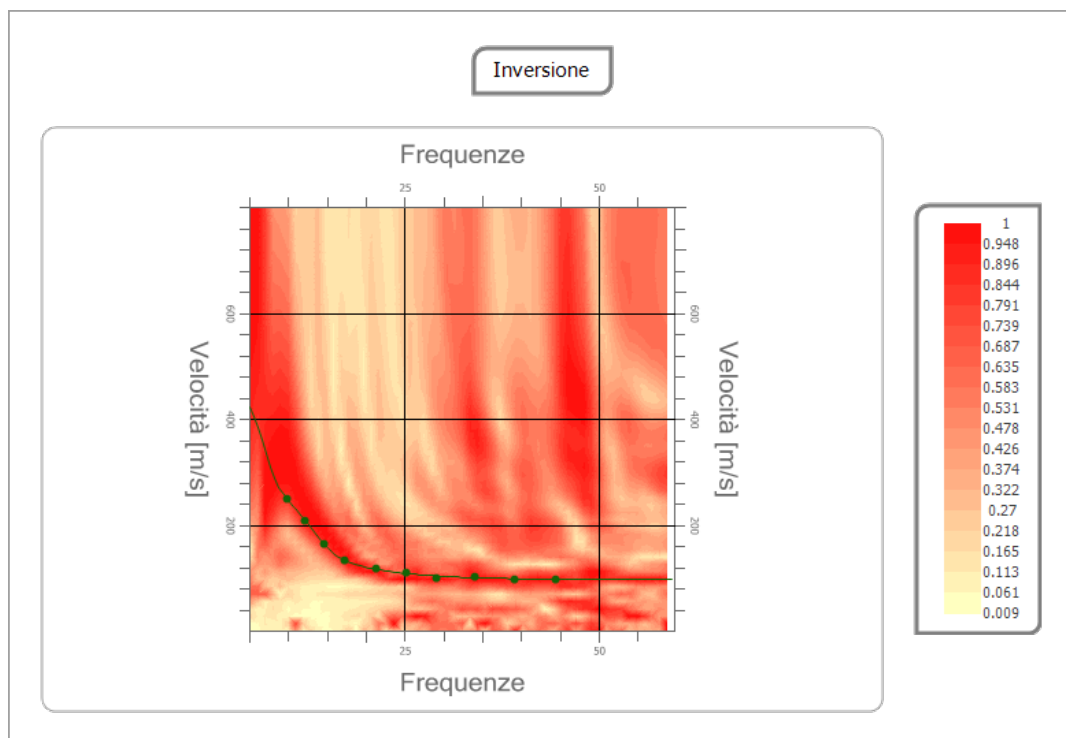
0.014 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.016



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	382.50
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

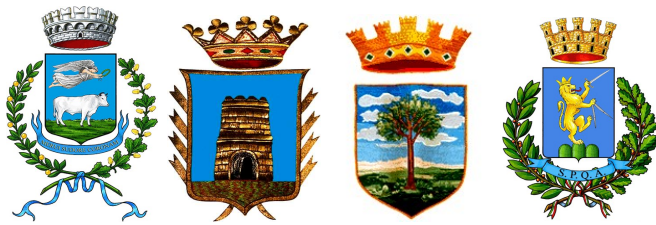
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.87	1.87	104.63	181.22	1800.00	0.25	19.70	59.11	32.84	49.26	13	29.32
2	4.24	2.37	154.68	267.92	1850.00	0.25	44.27	132.80	73.78	110.66	32	209.11
3	5.31	1.06	319.05	596.89	1900.00	0.30	193.41	676.92	419.04	502.85	N/A	N/A
4	6.44	1.14	347.89	650.84	1950.00	0.30	236.00	826.02	511.34	613.61	N/A	N/A
5	7.72	1.28	374.97	701.50	1950.00	0.30	274.17	959.59	594.03	712.84	N/A	N/A
6	15.09	7.37	375.68	702.83	1950.00	0.30	275.21	963.25	596.30	715.55	N/A	N/A
7	18.79	3.71	390.88	731.26	2000.00	0.30	305.57	1069.49	662.06	794.48	N/A	N/A
8	oo	oo	541.33	1012.73	2100.00	0.30	615.37	2153.81	1333.31	1599.97	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

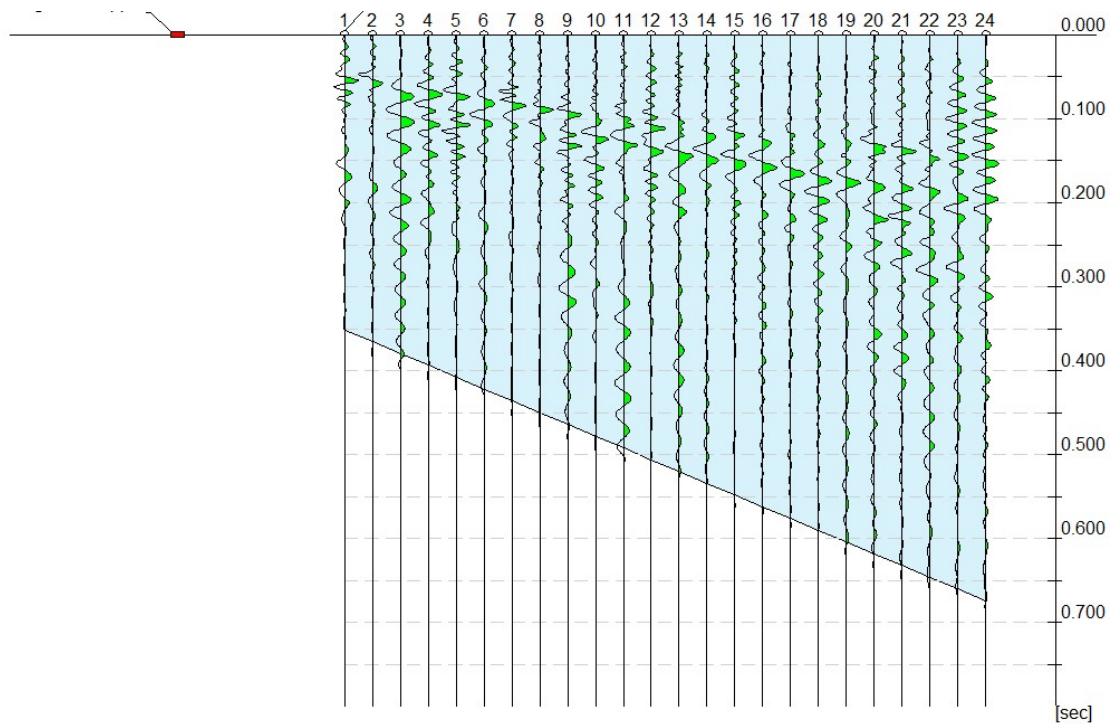
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

REPORT MASW S5

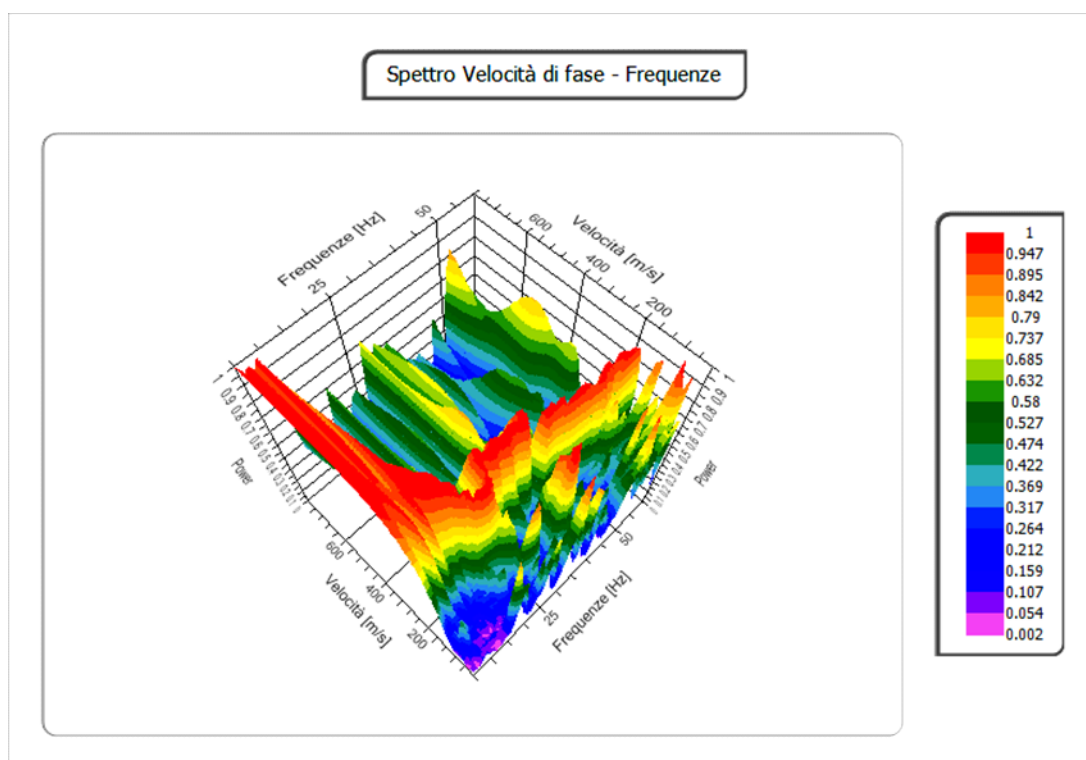




Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 5
Frequenza massima di elaborazione [Hz] 60
Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1
Velocità massima di elaborazione [m/sec] 800
Intervallo velocità [m/sec] 1





Progetto Impianto agrivoltaico da realizzare nel Comune di Bovino (FG) in località "Lamia" e nel Comune di Castelluccio dei Sauri località "Posta Contessa" e relative opere di connessione.

Risultati

Profondità piano di posa	0.00
[m]	
Vs30 [m/sec]	409.52
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.04	2.04	122.04	211.38	1800.00	0.25	26.81	80.43	44.68	67.03	28	63.55
2	3.80	1.76	167.65	313.64	1800.00	0.30	50.59	177.07	109.61	131.54	54	313.34
3	5.56	1.76	301.56	627.74	1800.00	0.35	163.69	709.31	491.06	441.95	N/A	N/A
4	8.66	3.09	385.19	801.84	1850.00	0.35	274.49	1189.45	823.47	741.12	N/A	N/A
5	10.60	1.95	482.07	1003.50	1900.00	0.35	441.54	1913.33	1324.62	1192.15	N/A	N/A
6	13.41	2.81	510.60	1062.90	1950.00	0.35	508.39	2203.04	1525.18	1372.67	N/A	N/A
7	19.18	5.76	653.55	1360.48	2000.00	0.35	854.26	3701.79	2562.78	2306.50	N/A	N/A
8	26.86	7.68	770.34	1603.60	2000.00	0.35	1186.86	5143.05	3560.58	3204.52	N/A	N/A
9	oo	oo	818.68	1704.23	2100.00	0.35	1407.51	6099.21	4222.53	3800.28	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

PALI DI FONDAZIONE

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

NTC2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» - D.M. 17 gennaio 2018

NTC2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)

Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

Carico limite verticale

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno. A riguardo, poiché la realizzazione di un palo, sia esso infisso o trivellato, modifica sempre le caratteristiche del terreno nell'intorno dello stesso, si propone di assumere un angolo di resistenza a taglio pari a:

$$\begin{aligned}\phi' &= \frac{3}{4}\phi + 10^\circ \text{ nei pali infissi} \\ \phi' &= \phi - 3^\circ \text{ nei pali trivellati}\end{aligned}$$

dove ϕ è l'angolo di resistenza a taglio prima dell'esecuzione del palo. Di seguito indicheremo con ϕ il parametro di resistenza scelto.

Ai fini del calcolo, il carico limite Q_{lim} viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta Q_p e la resistenza laterale Q_l .

Resistenza unitaria alla punta

Formula di Terzaghi

La soluzione proposta da Terzaghi assume che il terreno esistente al disopra della profondità raggiunta dalla punta del palo possa essere sostituito da un sovraccarico equivalente pari alla tensione verticale efficace (trascurando pertanto il fatto che l'interazione tra palo e terreno di fondazione possa modificare tale valore) e riconduce l'analisi al problema di capacità portante di una fondazione superficiale.

La formula di Terzaghi può essere scritta:

$$Q_p = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

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

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

Metodo di Berezantzev

Fondamentalmente Berezantzev fa riferimento ad una superficie di scorrimento “alla Terzaghi” che si arresta sul piano di posa (punta del palo); tuttavia egli considera che il cilindro di terreno coassiale al palo ed avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento, sia in parte “sostenuto” per azione tangenziale dal rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base

inferiore a γD , e tanto minore quanto più questo “effetto silo” è marcato, cioè quanto più grande è il rapporto D/B ; di ciò tiene conto il coefficiente N_q , che quindi è funzione decrescente di D/B .

La resistenza unitaria Q_p alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito (ϕ) e di coesione (c), è data dall'espressione:

$$Q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q$$

Avendo indicato con:

γ peso unità di volume del terreno;
 L lunghezza del palo;
 N_c e N_q sono i fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

Metodo di Vesic

Vesic ha assimilato il problema della rottura intorno alla punta del palo a quello di espansione di una cavità cilindrica in mezzo elasto-plastico, in modo da tener conto anche della compressibilità del mezzo.

Secondo Vesic i coefficienti di capacità portante N_q e N_c si possono calcolare come segue:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left\{ \exp \left[\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right] \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) I_{rr}^{(4 \sin \phi) / [3(1 + \sin \phi)]} \right\}$$

L'indice di rigidezza ridotto I_{rr} nella precedente espressione viene calcolato a partire dalla deformazione volumetrica ε_v .

L'indice di rigidezza I_r si calcola utilizzando il modulo di elasticità tangenziale G' e la resistenza a taglio s del terreno.

Quando si hanno condizioni non drenate o il suolo si trova in uno stato addensato, il termine ε_v può essere assunto pari a zero e si ottiene $I_{rr} = I_r$.

E' possibile fare una stima di I_r con i valori seguenti:

TERRENO	I_r
Sabbia	75-150
Limo	50-75
Argilla	150-250

Il termine N_c della capacità portante viene calcolato:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (a)$$

Quando $\phi = 0$ (condizioni non drenate)

$$N_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

Metodo di Janbu

Janbu calcola N_q (con l'angolo ψ espresso in radianti) come segue:

$$N_q = \left(\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi} \right)^2 \exp(2\psi \tan \phi)$$

N_c si può ricavare dalla (a) quando $\phi > 0$.

Per $\phi = 0$ si usa $N_c = 5.74$

Formula di Hansen

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 $L/D > 1$:

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

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

Nel caso $\phi = 0$

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 $\phi = 0$.

Fattore di forma:

$$s'_c = 0.2 \cdot \frac{D}{L}$$

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

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \cdot \tan \phi$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \cdot \tan \phi$$

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

Fattore di profondità:

$$d'_c = 0.4 \cdot k$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi) \cdot k$$

$$d_\gamma = 1 \text{ per qualsiasi } k$$

$$k = \tan^{-1} \frac{L}{D} \text{ se } \frac{L}{D} > 1$$

Resistenza del fusto

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo α , proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$Q_1 = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_l \cdot f_w$$

A_l = superficie laterale del palo;

f_w = fattore di correzione legato alla tronco-conicità del palo, ossia la diminuzione percentuale del diametro del palo con

c = valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate);

σ = pressione verticale efficace del terreno;

K = coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione del palo e dal precedente stato di addensamento, viene calcolato come segue:

Per pali infissi

$$K = 1 - \tan^2 \phi$$

o, nel caso specifico, è possibile assegnare i seguenti valori proposti in tabella:

Palo	K	
	Terreno sciolto	Terreno denso
Acciaio	0.5	1
Calcestr. Pref.	1	2
Legno	1	3

Per pali trivellati

$$K = 1 - \sin \phi$$

δ = attrito palo-terreno funzione della scabrezza della superficie del palo;

Per pali infissi

$$\delta = 3/4 \tan \phi$$

Per pali trivellati

$$\delta = \tan \phi$$

α = coefficiente d'adesione ricavato come di seguito riportato:

Pali trivellati:

$$\text{Caquot - Kerisel} \quad \alpha = \frac{100 + c^2}{100 + 7c^2}$$

Meyerhof - Murdock (1963)

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 - 0.1 \cdot c \quad \text{per } c < 5 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.525 - 0.005 \cdot c \quad \text{per } c \geq 5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Whitaker - Cooke (1966)

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.9 \quad \text{per } c < 2.5 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.8 \quad \text{per } 2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.6 \quad \text{per } 5 \leq c \leq 7.5 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.9 \quad \text{per } c > 7.5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Woodward (1961)

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.9 \quad \text{per } c < 4 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.6 \quad \text{per } 4 \leq c < 8 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.5 \quad \text{per } 8 \leq c < 12 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.4 \quad \text{per } 12 \leq c \leq 20 \text{ t/m}^2 \\ \alpha &= 0.20 \quad \text{per } c > 20 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Pali infissi

Coefficiente α per palo infisso	
$2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$	$\alpha = 1.00$
$5 \leq c < 10$	$\alpha = 0.70$
$10 \leq c < 15$	$\alpha = 0.50$
$15 \leq c < 20$	$\alpha = 0.40$
$c \geq 20$	$\alpha = 0.30$

Attrito negativo

Quando un palo viene infisso o passa attraverso uno strato di materiale compressibile prima che si sia esaurito il processo di consolidazione, il terreno si muoverà rispetto al palo facendo insorgere sforzi attritivi tra palo e terreno che inducono al cosiddetto fenomeno dell'attrito negativo. L'effetto dell'attrito negativo è quello di aumentare il carico assiale sul palo, con conseguente aumento del cedimento, dovuto all'accorciamento elastico del palo stesso per effetto dell'aumento di carico. La forza che nasce per effetto dell'attrito negativo è stimata pari alla componente attritiva della resistenza laterale (vedi Resistenza del fusto) lungo la superficie laterale a contatto con lo strato in cui si genera tale fenomeno, ma di verso opposto all'attrito positivo. La risultante così determinata non viene detratta dal carico limite, ma da quello di esercizio.

Fattore di correzione in condizioni sismiche.

Criterio di Vesic

Secondo questo autore per tenere conto del fenomeno della dilatanza nel calcolo della capacità portante è sufficiente diminuire di 2° l'angolo d'attrito degli strati di fondazione. Il limite di questo suggerimento è nel fatto che non tiene conto dell'intensità della sollecitazione sismica (espressa attraverso il parametro dell'accelerazione sismica orizzontale massima). Questo criterio pare però trovare conferma nelle osservazioni fatte in occasione di diversi eventi sismici.

Criterio di Sano

L'autore propone di diminuire l'angolo d'attrito degli strati portanti di una quantità data dalla relazione:

$$D_p = \arctg \left(\frac{a_{\max}}{\sqrt{2}} \right)$$

dove $a_{\max}$ è l'accelerazione sismica orizzontale massima.

Questo criterio, rispetto a quello di *Vesic*, ha il vantaggio di prendere in considerazione anche l'intensità della sollecitazione sismica. L'esperienza però dimostra che l'applicazione acritica di questa relazione può condurre a valori eccessivamente cautelativi di *Qlim*.

Le correzioni di *Sano* e di *Vesic* si applicano esclusivamente a terreni incoerenti ben addensati. È errato applicarle a terreni sciolti o mediamente addensati, dove le vibrazioni sismiche producono il fenomeno opposto a quello della dilatanza, con aumento del grado di addensamento e dell'angolo d'attrito.

Cedimenti metodo di Davis-Poulos

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo di *Davis-Poulos*, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo-terreno sia costante a tratti lungo n superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo.

Il cedimento della generica superficie i per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie j -esima può essere espresso:

$$W_{i,j} = (\tau_j / E) \cdot B \cdot I_{i,j}$$

Avendo indicato con:

τ_j = Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia

E = Modulo elastico del terreno

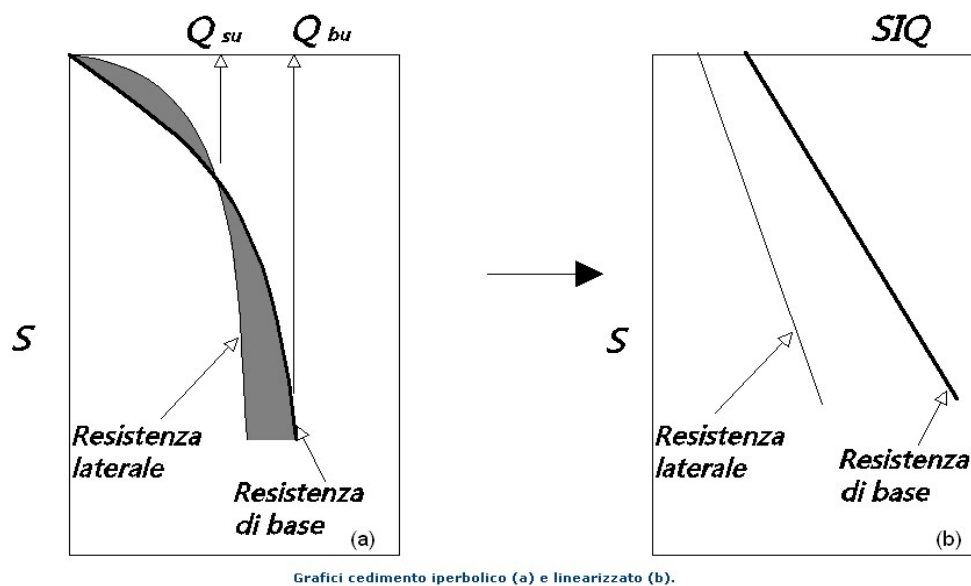
B = Diametro del palo

$I_{i,j}$ = Coefficiente di influenza

Il cedimento complessivo si ottiene sommando $W_{i,j}$ per tutte le j aree

Cedimento Metodo Iperbolico

Il metodo iperbolico modificato rappresenta uno sviluppo dello studio di Chin (1970,1972,1983) che consente di stimare il cedimento di pali singoli partendo dall'idea che il diagramma carico-cedimento, per il corpo di un palo e la sua base, abbia un andamento iperbolico. I valori del *carico ultimo laterale* (Q_{su}) e la *resistenza di base ultima* (Q_{bu}) rappresentano i termini asintotici della curva (figura a) (*Terzaghi, 1943*). Sotto queste ipotesi è possibile giungere ad una rappresentazione linearizzata del problema considerando la variazione della quantità S/Q rispetto allo spostamento S (figura b).



Grafici cedimento iperbolico (a) e linearizzato (b)

Lo studio di *Fleming* ha dimostrato che gli spostamenti totali stimati col metodo di *Chin* erano distorti dall'*accorciamento elastico* del corpo del palo e suggerì una tecnica semplificata per la quale la deformazione elastica del palo può essere determinata, con sufficiente accuratezza, sottraendo alla stima di *Chin* l'*accorciamento* del palo.

Considerando lo schema in figura l'*accorciamento elastico* del palo dipende dal carico applicato Q in rapporto all'*attrito laterale ultimo* Q_{su} . In particolare se $Q \leq Q_{su}$ la deformazione elastica del corpo del palo corrisponde alla somma dell'*accorciamento elastico* lungo la zona ad *attrito basso o nullo* e quello che si sviluppa lungo la parte *attiva* del fusto:

$$S_e = \frac{4}{\pi} \frac{Q(L_o + K_e L_a)}{d_s^2 E_c}$$

Se, invece, si ha che $Q > Q_{su}$ bisogna considerare un ulteriore accorciamento legato alla parte attiva del palo che deve essere aggiunta alla deformazione elastica:

$$S_e = \frac{4}{\pi} \frac{1}{d_s^2 E_c} [Q(L_o + L_a) - L_a Q_{su}(1 - k_e)]$$

I parametri della formula sono:

- d_s : diametro testa del palo.
- E_c : modulo di elasticità del materiale del palo il cui valore può essere ricavato da una interpolazione lineare tra i valori di $E_c = 26 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$ per calcestruzzo con forza specifica di 20 N/mm^2 e il valore di $E_c = 40 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$ per calcestruzzo da 40 N/mm^2 .
- L_o : lunghezza del palo ad attrito basso o nullo.
- L_a : lunghezza attiva del palo.
- k_e : rapporto della lunghezza equivalente del fusto del palo rispetto alla lunghezza attiva L_a . Si può considerare un valore di 0.5 quando si ha un attrito che si sviluppa uniformemente lungo L_a oppure quando il palo è inserito in sabbia o ghiaia. Per pali in argilla caratterizzati da uno sforzo che cresce in profondità si può usare un valore di 0.45.

Lo spostamento del *palo rigido* può essere calcolato sapendo che la somma dell'*attrito laterale* e della *resistenza di base* corrisponde al carico totale applicato alla testa del palo.

$$Q=Q_s+Q_b$$

Considerando il palo rigido lo spostamento totale in testa è uguale a quello che si ottiene lungo il fusto ed è uguale a quello misurato alla base del palo:

$$S_t=S_s=S_b$$

Dal grafico linearizzato si può vedere che lo spostamento lungo il fusto del palo può essere calcolato come:

$$S_s = \frac{M_s d_s Q_s}{Q_{su} - Q_s}$$

In cui

- M_s : fattore adimensionale di flessibilità terreno/fusto.
- d_s : diametro testa.
- Q_s : attrito.
- Q_{su} : attrito ultimo determinato col metodo statico (condizione drenata)

L'equazione dello spostamento alla base del palo ricavata da Fleming è:

$$S_b = \frac{0.6 Q_{bu} Q_b}{d_b E_b (Q_{bu} - Q_b)}$$

dove

- d_b : diametro della base del palo.
- Q_b : resistenza alla base.
- Q_{bu} : resistenza ultima alla base
- E_b : modulo di taglio corrispondente a $Q_{bu}/4$

Infine, ponendo la condizione di uguaglianza $S_s=S_b$ e considerando il carico totale applicato Q si ottiene lo spostamento totale di un palo rigido considerando solo i valori positivi della relazione:

$$S_t = \frac{-g \pm \sqrt{g^2 - 4fh}}{2f}$$

In cui le variabili sono così definite:

- $f = \eta(Q - \alpha) - \beta$
- $g = Q(\delta + \lambda\eta) - \alpha\delta - \beta\lambda$
- $h = \lambda\delta Q$
- $\alpha = Q_{su}$
- $\beta = d_b E_b Q_{bu}$
- $\lambda = M_s d_s$
- $\delta = 0.6 Q_{bu}$

$$\bullet \quad \eta = d_b E_b$$

Lo spostamento complessivo del palo comprende la componente di spostamento rigido e quella di accorciamento elastico.

Il modulo elastico del terreno E_b al di sotto della base del palo è legato alle caratteristiche del terreno ed è fortemente influenzato dalla tecnica di costruzione del palo. Fleming sostiene che è consigliabile che questo parametro di progetto sia determinato da un insieme accurato di prove in cui i pali sono caricati fino al punto in cui viene mobilitata una sostanziale quota della resistenza di punta. In mancanza di questi dati si può scegliere, cautelativamente, il valore di E_b da range di valori relativi al tipo di terreno e alla tecnica di costruzione del palo.

CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Il carico limite orizzontale è stato calcolato secondo la teoria sviluppata da Broms il quale assume che il comportamento dell'interfaccia palo-terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobilita interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento a rimanga costante al crescere dello spostamento stesso.

Si assume che il comportamento flessionale del palo sia di tipo rigido-perfettamente plastico, vale a dire che le rotazioni elastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non raggiunge il valore M_y di plasticizzazione.

Per i terreni coesivi Broms propone di adottare una reazione del terreno costante con la profondità pari a:

$$p = 9 \cdot c_u \cdot B$$

con reazione nulla fino alla profondità di 1.5 d; avendo indicato con:

c_u = Coesione non drenata,

B = Diametro del palo

p = Reazione del terreno per unità di lunghezza del palo.

Per i terreni incoerenti si assume che la resistenza vari linearmente con la profondità secondo la legge:

$$p = 3K_p \gamma z \cdot B$$

avendo indicato con:

p = Reazione del terreno per unità di lunghezza del palo;

K_p = Coefficiente di spinta passiva;

γ = Peso unità di volume del terreno;

z = Profondità;

B = Diametro del palo.

Palo in condizioni d'esercizio

Analisi del palo in condizioni di esercizio: **Metodo degli elementi finiti.**

Il metodo degli elementi finiti modella il palo di fondazione, sottoposto a carichi trasversali, in modo realistico in quanto fa uso sia degli spostamenti che delle rotazioni ai nodi per definire la linea elastica del palo, pertanto rappresenta il metodo più razionale ed efficace attualmente disponibile per analizzare questo tipo di strutture.

Di seguito si richiamano i fondamenti teorici del metodo indicando con **P** la matrice delle forze nodali esterne, con **F** quella delle forze interne e con **A** la matrice dei coefficienti di influenza che, per l'equilibrio tra forze esterne ed interne, lega le prime due secondo la ben nota forma:

$$\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{F}$$

Gli spostamenti interni **e** (traslazioni e rotazioni) dell'elemento nel generico nodo sono legati agli spostamenti esterni **X** (traslazioni e rotazioni) applicati ai nodi, dalla seguente relazione:

$$\mathbf{e} = \mathbf{B}\mathbf{X}$$

dove la matrice **B** è dimostrato essere la trasposta della matrice **A**.

D'altra parte, le forze interne **F** sono legate agli spostamenti interni **e** dalla seguente espressione:

$$\mathbf{F} = \mathbf{S}\mathbf{e}$$

Applicando le consuete sostituzioni, si ottiene:

$$\mathbf{F} = \mathbf{SA}^T \mathbf{X}$$

e quindi

$$\mathbf{P} = \mathbf{AF} = \mathbf{A SA}^T \mathbf{X}$$

Pertanto, calcolando l'inversa della matrice $\mathbf{A SA}^T$ si ricava l'espressione degli spostamenti esterni $\mathbf{X}$:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A SA}^T)^{-1} \mathbf{P}$$

Noti, quindi, gli spostamenti $\mathbf{X}$ è possibile ricavare le forze interne $\mathbf{F}$ necessarie per il progetto della struttura.

La matrice $\mathbf{A SA}^T$ è nota come matrice di rigidezza globale in quanto caratterizza il legame tra spostamenti e forze esterni nodali.

Il metodo ad elementi finiti ha, tra l'altro, il vantaggio di consentire di mettere in conto, come condizioni al contorno, rotazioni e spostamenti noti.

Le reazioni nodali delle molle che schematizzano il terreno vengono considerate come forze globali legate al modulo di reazione e all'area d'influenza del nodo. Nella soluzione ad elementi finiti per pali soggetti a carichi trasversali, il modulo di reazione viene considerato nella forma:

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

o, non volendo far crescere illimitatamente il k_s con la profondità, nella forma:

$$k_s = A_s + B_s \tan^{-1}(Z/B)$$

nella quale Z è la profondità e B è il diametro del palo.

I valori di A_s e $B_s Z^n$ sono ottenuti dall'espressione della capacità portante (Bowles) con fattori correttivi s_i , d_i , e i_i pari a 1:

$$k_s = q_{ult}/\Delta H = C(cN_c + 0.5\gamma B N_\gamma)$$

$$B_s Z^n = C(\gamma N_q Z^1)$$

Dove $C = 40$ è ottenuto in corrispondenza di un cedimento massimo di 25 mm.

Momenti cinematici

In presenza dell'azione sismica la risposta del palo è il risultato di una complessa interazione terreno-palo, resa di difficile interpretazione a causa dei fenomeni di non linearità nel terreno e degli effetti cinematici associati al moto del terreno.

Generalmente, alle sollecitazioni trasmesse dalla sovrastuttura si aggiungono, applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, quelle derivanti dall'interazione cinematica che produce nei pali sollecitazioni aggiuntive dipendenti principalmente dalla rigidezza relativa palo-terreno.

Dalla letteratura esistente in merito a questo tipo di studi, emerge che nel caso di palo immerso in terreni stratificati, la sollecitazione flettente subisce un pronunciato incremento in prossimità dell'interfaccia fra strati di differente rigidezza e tale incremento è tanto maggiore quanto più elevato è il contrasto di rigidezza. In alcuni casi il valore del momento prodotto da questo effetto potrebbe superare quello che insorge nei pali in testa in presenza di incastro.

Da un'analisi di numerosi risultati, *Nikolaou et al. 2001*, ha proposto una relazione che consente di calcolare, in maniera approssimata, il momento flettente massimo in corrispondenza dell'interfaccia tra due strati di differente rigidezza, in condizioni di moto stazionario con frequenza prossima alla frequenza fondamentale del deposito in cui è immerso il palo:

Comune di Castelluccio dei Sauri

Dati Generali										
Località					Dati opera					
Indirizzo Castelluccio dei Sauri					Tipo opera 2 - Opere ordinarie					
Lat. Long. 41.902783 12.496365					Classe d'uso Classe II					
					V. Nominale 50 V. Rif. 50					
Parametri sismici su sito di riferimento										
SL	TR [Anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec.]	Categoria sottosuolo B					
SLO	30.00	0.422	2.527	0.257	Categoria topografica T1					
SLD	50.00	0.539	2.504	0.270						
SLV	475.00	1.177	2.620	0.297						
SLC	975.00	1.471	2.615	0.307						
Coefficienti sismici orizzontali e verticali										
Opera Muri di sostegno (NTC 2018)					SL	amax [m/s ²]	Beta	khk [-]	kvk [-]	Khi [-]
					SLO	0.5064	1.0	0.0516	0.0258	0.0
					SLD	0.6468	0.47	0.031	0.0155	0.0
					SLV	1.4124	0.38	0.0547	0.0274	0.0
					SLC	1.7652	1.0	0.18	0.09	0.0
					Stato limite di riferimento SLO					

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,633	1,0	0,0646	0,0323
S.L.D.	0,8085	0,47	0,0388	0,0194
S.L.V.	1,7655	0,38	0,0684	0,0342
S.L.C.	2,1545	1,0	0,2197	0,1099

Archivio materiali

Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Kg/cm ²]	Ec [Kg/cm ²]	fck [Kg/cm ²]	fcd [Kg/cm ²]	fctd [Kg/cm ²]	fctm [Kg/cm ²]
1	C20/25	250	299600	200	113,3	10,1	22,1
2	C25/30	300	314750	250	141,6	11,4	25,6
3	C28/35	350	323080	280	158,6	12,6	27,6
4	C40/50	500	352200	400	226,6	16,3	35

Acciai:

Nr.	Classe Acciaio	Es [Kg/cm ²]	fyk [Kg/cm ²]	fyd [Kg/cm ²]	ftk [Kg/cm ²]	ftd [Kg/cm ²]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 in.	β1*β2 fin.
1	B450C	2000000	4500	3913	4500	3913	.075	.0675	1	0,5
2	B450C*	2000000	4500	3913	5400	4500	.075	.0675	1	0,5
3	B450C* *	2000000	4500	3913	4582	3985	.012	.01	1	0,5
4	S235H	2141370	2447,28	2128,11	3670,92	2128,11	0,012	0,01	1	0,5
5	S275H	2141370	2855,16	2482,97	4384,71	2482,97	0,012	0,01	1	0,5
6	S355H	2141370	3670,92	3191,66	5200,47	3670,92	0,012	0,01	1	0,5

Stratigrafia

Nr.: Numero dello strato. Hs: Spessore dello strato. Fi: Angolo di attrito. c: Coesione Alfa: Coefficiente adesione attrito laterale. Vs: Velocità onde di taglio.

Strat. 1 – Bovino

Caratteristiche geotecniche dell'unità litotecnica "A"	
<i>Spessore variabile</i>	$h = 0 \div 10 \text{ m}$
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 21,0 \text{ KN/m}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$\varphi_m = 28^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$c'_m = 9,8 \text{ kN/m}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_m = 19,61 \text{ kN/m}^2$
<i>Modulo di Edometrico medio</i>	$E_m = 6,86 - 14,41 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0.41$
<i>Modulo di Young dinamico</i>	$E_{din} = 25,50 \text{ MPa}$

Strat. 2 – Castelluccio dei Sauri

Caratteristiche geotecniche dell'unità litotecnica "B"	
<i>Spessore variabile</i>	$h = 0 \div 20 \text{ m}$
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 21,0 \text{ KN/m}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$\varphi_m = 30^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$c'_m = 10,1 \text{ kN/m}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_m = 15,79 \text{ kN/m}^2$
<i>Modulo di Edometrico medio</i>	$E_m = 24,30 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0.41$
<i>Modulo di Young dinamico</i>	$E_{din} = 97 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Taglio dinamico</i>	$G_d = 11 \text{ MPa}$

Carico limite

Stratigrafia	Nq	Nc	Fi/C strato punta Palo (°)/[kg/c m²]	Peso palo [kg]	Carico limite punta [kg]	Carico limite laterale [kg]	Carico limite [kg]	Attrito negativo [kg]	Carico limite orizzontale [kg]
A1+M1+R3	27,16	38,78	34/0,00	19634,95	0,00	92708,34	73073,39	--	--

RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione: A1+M1+R3			
Numero verticali di indagine			
			1
Fattore correlazione verticale indagate media (xi3)			1,00
Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4)			1,00
	Rc, Min [kg]	Rc, Media [kg]	Rc, Max [kg]
Base	--	--	--
Laterale	92708,34	92708,34	92708,34
Totale	73073,39	73073,39	73073,39
Coefficiente parziale resistenza caratteristica			R3
Laterale			2,50
Resistenza di progetto laterale			37083,34 kg
Resistenza di progetto			17448,38 kg

Modello ad elementi finiti

Max spostamento lineare del terreno	0,013 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	1,00
Fattore di riduzione molla fondo scavo	1,00
Numero di elementi	9,00
Nodo sulla superficie del terreno [< n° nodi]	3,00
Modulo di reazione Ks	Bowles

ANALISI AD ELEMENTI FINITI [Stratigrafia di riferimento...1]

El. No	Lunghezza a [m]	Ks [kg/cm³]	Sforzo normale [kg]	Momento [kgm]	Taglio [kg]	Reazione terreno [kg]	Rotazione (°)	Spostamento [m]	Pressione terreno [kg/cm²]
1	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,25	0	490,87	0	0	0	0	0	0
3	1,43	0,087	981,75	0	0	0	0	0	0
4	1,43	0,087	3786,74	0	0	0	0	0	0
5	1,43	1,038	6591,73	0	0	0	0	0	0
6	1,43	1,038	9396,73	0	0	0	0	0	0
7	1,43	1,038	12201,72	0	0	0	0	0	0
8	1,43	1,038	15006,71	0	0	0	0	0	0
9	1,43	1,038	17811,71	0	0	0	0	0	0
10		1,038	20616,7	0	0	0	0	0	0

ARMATURE

Nodo	Z [m]	Nd [kg]	Md [kgm]	Td [kg]	Nr. Barre Diametro	Nu [kg]	Mu [kgm]	Cond. Verifica	Ver. Presso-Fless	Def. Max Cls	Def. Max Fe	Asse Neutro [cm]	Passo Staffe [cm]	Res. Taglio [kg]	Sicurezza taglio	Cond. Verifica
------	-------	---------	----------	---------	--------------------	---------	----------	----------------	-------------------	--------------	-------------	------------------	-------------------	------------------	------------------	----------------

								Flessione								Taglio
1	0	--	--	--	12Ø16	0,91	42069,26	4206,93	Verificata	3,50 E-03	- 2,38 E-02	37,16	--		--	Verificata
2	0,25	490,87	--	--	12Ø16	491,05	42264,18	4226,42	Verificata	3,50 E-03	- 2,36 E-02	37,10	--		--	Verificata
3	0,5	981,75	--	--	12Ø16	981,30	42459,15	4245,91	Verificata	3,50 E-03	- 2,35 E-02	37,02	--		--	Verificata
4	1,93	3786,74	--	--	12Ø16	3787,25	43570,98	4357,10	Verificata	3,50 E-03	- 2,26 E-02	36,61	--		--	Verificata
5	3,36	6591,73	--	--	12Ø16	6590,92	44672,90	4467,29	Verificata	3,50 E-03	- 2,19 E-02	36,19	--		--	Verificata
6	4,79	9396,73	--	--	12Ø16	9397,64	45766,13	4576,61	Verificata	3,50 E-03	- 2,11 E-02	35,78	--		--	Verificata
7	6,21	12201,72	--	--	12Ø16	12201,06	46847,21	4684,72	Verificata	3,50 E-03	- 2,04 E-02	35,38	--		--	Verificata
8	7,64	15006,71	--	--	12Ø16	15005,93	47919,73	4791,97	Verificata	3,50 E-03	- 1,98 E-02	34,97	--		--	Verificata
9	9,07	17811,71	--	--	12Ø16	17811,03	48970,65	4897,06	Verificata	3,50 E-03	- 1,91 E-02	34,53	--		--	Verificata
10	10,5	20616,70	--	--	12Ø16	20616,09	50003,03	5000,30	Verificata	3,50 E-03	- 1,85 E-02	34,07	--		--	Verificata

Geologo Giovanna Amedei