

REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI FOGGIA



COMUNE DI FOGGIA



DENOMINAZIONE:

Comune di Foggia (FG)
Località "Torre Guiducci"

PROGETTO DEFINITIVO

per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico da ubicare in agro del comune di Foggia (FG) in località "Torre Guiducci", potenza nominale pari a 33,4062 MW DC e potenza in immissione pari a 30 MW AC, e delle relative opere di connessione alla RTN ricadenti nello stesso comune.

PROPONENTE



FORTORE ENERGIA S.p.A.
Piazza G. Marconi, 15 – 00144 Roma
PEC: fortoreenergia@pec.it
Part. IVA 03151540717

Codice Autorizzazione Unica

Z7FYM26

ELABORATO

Relazione Geologica

Tav. n°

3RG

Scala

Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Marzo 2022	Istanza per l'avvio del procedimento di rilascio del provvedimento di VIA nell'ambito del Provvedimento Unico in materia Ambientale ai sensi dell'art.27 del D.Lgs.152/2006 e ss.mm.ii.			

PROGETTAZIONE

Dott.ssa Ing. ANGELA LANCELOTTI
Via del Gallitello n.281
85100 Potenza (PZ)
Ordine degli Ingegneri di Potenza n.1702
Mail: esapro.studiotecnico@gmail.com
PEC: angela.lancellotti@ingpec.eu
Cell: 320 8683387



TECNICO

Dott. Geol. ANTONIETTA CILUMBRIELLO
Studio Tecnico Geologia, Energia & Ambiente
Via Delle Puglie, 24
85013 - Genzano di Lucania (PZ)
ggeo.lab@gmail.com
Cell: 347/1848562



Antonietta Cilumbriello



Spazio riservato agli Enti

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Dr Geol. Antonietta Cilumbriello

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	4
3.1. Geologia di dettaglio dell'area di progetto	6
4. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROLOGICHE.....	7
4.1 Caratteristiche morfologiche del sito di progetto.....	7
4.2 Idrografia ed Idrogeologia.....	8
4.3. Compatibilità Idrogeologica in conformità al P.A.I.....	9
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA	10
6.1. Normativa sismica di riferimento.....	10
6.2. Caratterizzazione sismica dell'area	14
6.3. Pericolosità sismica di base e categoria di suolo.....	17
6.4. Caratterizzazione dinamica	20
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE	21
8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	24
8.1. Stratigrafia.....	24
8.2. Caratterizzazione geotecnica	27
9. ANALISI DI STABILITÀ DEL VERSANTE.....	30
10. CONCLUSIONI	31

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla FORTORE ENERGIA S.p.A., la Dr Antonietta Cilumbriello, geologa, iscritta all'Albo dei Geologi di Basilicata al n° 452, ha eseguito lo studio geologico relativo al progetto definitivo per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico da ubicare in agro del comune di Foggia (FG) in località "Torre Guiducci", potenza nominale pari a 33,4062 MW DC e potenza in immissione pari a 30 MW AC, e delle relative opere di connessione alla RTN ricadenti nello stesso comune.

Nella presente Relazione si riferisce sulla caratterizzazione e modellazione geologica del sito di progetto, estesa ad un adeguato intorno, dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e sismici in modo da caratterizzare il contesto territoriale in cui si inseriscono le opere di progetto, con la finalità di verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi preposti.

Per la caratterizzazione geologico-tecnico del substrato di fondazione, sono stati utilizzati i risultati di una serie di indagini geognostiche e sismiche svolte dalla scrivente e da altri professionisti in aree limitrofe a quella di progetto e su terreni dalle medesime caratteristiche litotecniche, dalle quali è stato possibile ricostruire la stratigrafia dei terreni di progetto oltre che desumere le caratteristiche litotecniche degli stessi. Nello specifico, sono state consultate una campagna di indagini geognostiche, quali stratigrafie di sondaggio (per l'ubicazione si veda Elabor. 3RGe) ed indagini sismiche effettuate dalla scrivente in un'area contigua a quella di interesse.

I risultati delle indagini consultate sono riportati nella presente relazione, illustrati graficamente negli elaborati che accompagnano la stessa e consistenti in:

1. Carta Geologica – scala 1:2.500 (Elaborato 3RGa.)
2. Carta Geomorfologica – scala 1:2.500 (Elaborato 3RGb)
3. Carta Idrogeologica – scala 1:2.500 (Elaborato 3RGc)
4. Sezioni Geologiche – scala 1:2.000 (Elaborato 3RGd)
5. Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche – scala 1:5.000 (Elaborato 3RGe)
6. Carta della pericolosità geologica ed idraulica – scala 1 5.000 (Elaborato 3RGf)

Si ricorda, infine, che il Comune di Foggia, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio n°3274 del 20/03/2003 pubblicata sulla G.U. del 08/05/2003 e del Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", è legalmente riconosciuto e classificato come "Zona Sismica 2".

La presente relazione è stata redatta in osservanza delle "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*" del Ministero dei LL.PP. (D.M. 11/3/1988), della Legge n°64 del 02/02/74, del Decreto Ministeriale del LL.PP. del 16/01/1996, alla L.R. n°38 del 06/08/1997, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003, della Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 emanata dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale in data 04 giugno 2003, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3379 del 05/11/2004 art. 6, della Delibera Regionale n°26 del 05/12/2001 dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata e successive modifiche ed integrazioni, del Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "*Norme tecniche per le costruzioni*", il D.M. 14/02/2008 "*Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*", e il D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "*Norme Tecniche per le costruzioni*".

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La zona oggetto della presente indagine comprende terreni ricadenti in agro del comune di Foggia, in Contrada Guiducci. In particolare, l'area di progetto è ubicata a circa 7,5 km a est dell'abitato di Foggia, tra le quote di 40 m e 30 m s.l.m.. Si tratta di un'area sub-pianeggiante incisa lateralmente dal Torrente Faraniello Demani e dal Faraniello di Castiglione.



Fig. 1 – Riprese fotografiche aerea dell'area di progetto tratta da un'immagine da satellite

Da un punto di vista cartografico la zona oggetto della presente indagine ricade a cavallo delle Tavole I.G.M. in scala 1:25.000, I/N.E. "Arpinova", IV/N.W. "Lucera" e", III/S.W. "Borgo San Giusto"; ricade altresì a cavallo dei Fogli Geologici 164 "Foggia" e 163 "Lucera" in scala 1:100.000 e nel nuovo Foglio Geologico 408, in scala 1:50.000 "Foggia". Per quanto riguarda i principali vincoli esistenti, si può affermare che l'area oggetto dell'intervento non risulta sottoposta a vincoli per fini idrogeologici, ai sensi delle Norme del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale e non rientra altresì nell'ambito della perimetrazione del vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 2367/23.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Dal punto di vista geologico, il territorio oggetto del seguente studio ricade all'interno dell'estesa pianura alluvionale nota come "Tavoliere di Puglia". Geologicamente il tavoliere rappresenta il settore settentrionale della Avanfossa bradanica, ossia il bacino di sedimentazione plio-pleistocenico della Catena appenninica meridionale compresa tra la Catena appenninica ad ovest e l'Avampaese apulo ad est (Migliorini, 1937; Selli, 1962) (Fig. 2). Esso è anche noto come Bacino pugliese sensu Balduzzi *et al.*, 1982.

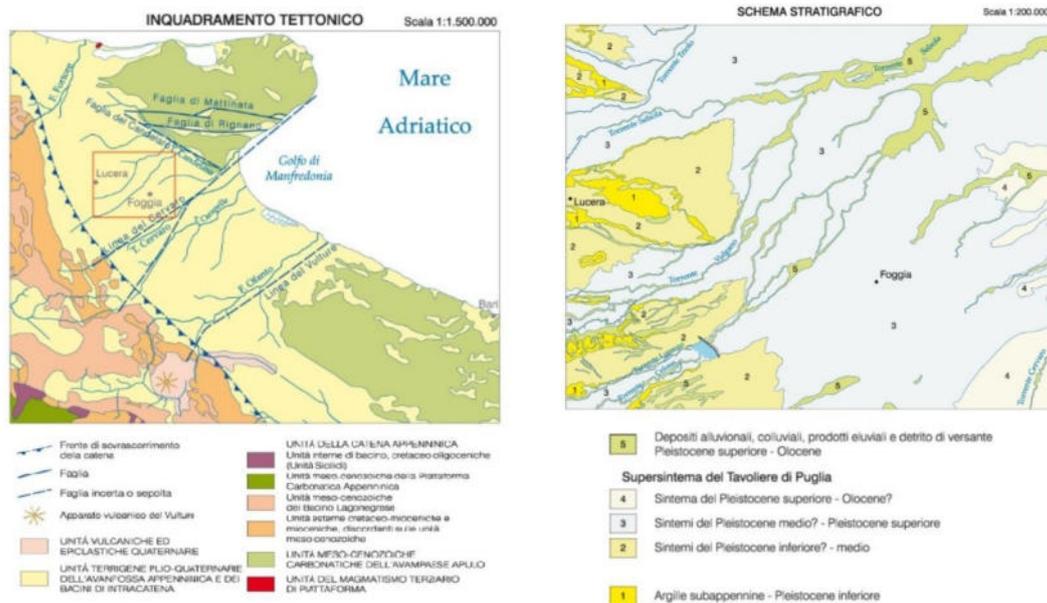


Fig. 2 – Carta geologica schematica dell'Appennino meridionale (a). Schema tettonico e stratigrafico (b) (Foglio Geologico 408 "Foggia")

I terreni affioranti sono costituiti essenzialmente da sedimenti marini (argille siltose e sabbie) e da depositi alluvionali (ghiaie, sabbie e limi). Questa spessa successione poggia su un substrato costituito dai calcari cretacei della piattaforma apula ribassati, verso SW, da un sistema di faglie ad andamento appenninico (Ciaranfi *et al.*, 1979). La storia geologica recente dell'area è stata condizionata dall'instaurarsi, durante il Neogene, di un sistema di catena-avanfossa-avampaese. A partire dal Pliocene, in seguito alla subduzione dell'avampaese apulo al di sotto delle falde appenniniche, l'avanfossa costituisce un'area bacinale a sedimentazione terrigena. Durante questo periodo in essa si accumulano depositi calcarenitici riferibili alla Formazione della Calcarenite di Gravina passanti verso l'alto e lateralmente ad una spessa successione siltoso-argilloso-sabbiosa riferibile alla Formazione delle argille subappennine (Valduga, 1973) o "Formazione dell'Ofanto" (Crostelli & Vezzani, 1964) o Argille di Montesecco (Boni *et al.*, 1969). Al limite Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, la migrazione verso NE

del fronte appenninico, che formava un angolo aperto a SE con il margine interno della placca apula in subduzione (Casnedi, 1988), determina, nel settore settentrionale del bacino, la convergenza tra queste due grandi unità del sistema orogenico meridionale (Pieri *et al.*, 1994; 1996). Questo motivo geodinamico segna l'inizio del colmamento del bacino con sedimentazione di mare poco profondo nell'area di convergenza, e la migrazione del depocentro dell'avanfossa verso NE. Verso la fine del Pleistocene inferiore, inoltre, l'area di avampaese apulo, insieme all'adiacente settore di avanfossa appenninica, è interessata da un sollevamento attribuito da alcuni autori a riaggiustamento isostatico o rebound (Ciaranfi *et al.*, 1979; Patacca *et al.*, 1990), da altri a buckling della placca adriatica (piegamento litosferico indotto dalla spinta relativa verso est del mantello astenosferico che agisce sul piano di subduzione al di sotto degli Appennini (Doglioni *et al.*, 1994; 1996). Si realizza una superficializzazione, determinata da una rapida ma progressiva regressione verso la linea di costa adriatica, con la costituzione ed il progressivo ampliamento di un'area emersa verso oriente. L'inversione del regime geodinamico produce la formazione di depositi sabbioso-conglomeratici regressivi in facies di spiaggia, progressivamente più recenti verso oriente: tali depositi sono conservati in lembi, altrove i loro residui spessori sono stati asportati dall'erosione in seguito all'emersione dell'area. Infine, sui depositi di riempimento della Fossa bradanica, in particolare sulle argille marine (argille subappennine), si rinvencono in discontinuità depositi alluvionali terrazzati (Supersintema del Tavoliere di Puglia) (Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000 "Foggia").

Nell'area di progetto si rinvencono principalmente due unità: l'Unità della Fossa bradanica e l'unità quaternarie del Tavoliere delle Puglie e/o Supersintema del Tavoliere di Puglia.

Lo stralcio del Foglio Geologico 408 "Foggia" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Fig. 3), mostra in sintesi la geologia dell'area investigata.

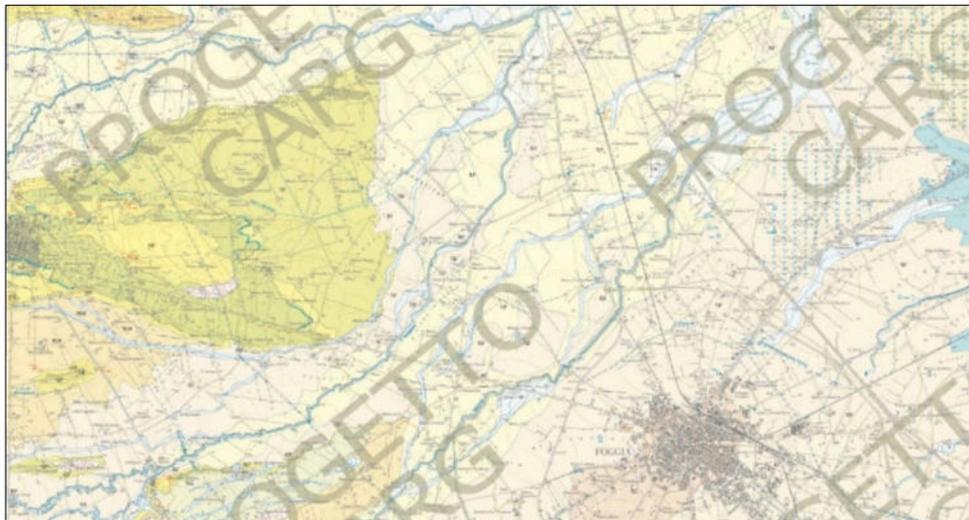


Fig. 3 – Stralcio Foglio Geologico n°408 "Foggia" in scala 1:50.000

3.1. Geologia di dettaglio dell'area di progetto

Da quanto si evince dalla lettura dei paragrafi precedenti, la geologia dell'area investigata si presenta relativamente semplice sia da un punto di vista litostratigrafico sia per i caratteri geostrutturali delle formazioni affioranti.

Il rilevamento geologico di superficie è stato esteso a gran parte delle superfici limitrofe a quelle di interesse ed ha permesso di riconoscere e cartografate diverse unità (vedi Carta Geologica e Sezione Geologica, ALLEGATO 1) che di seguito sono descritte a partire dall'unità più antica a quella più recente.

UNITÀ DELLA FOSSA BRADANICA

I depositi affioranti nell'area di progetto ed attribuibili all'unità della Fossa bradanica sono rappresentati da una successione terrigena Plio-quadernaria, comunemente indicata come ciclo della Fossa bradanica. Tale successione è costituita dal basso verso l'alto dalle unità di seguito descritte.

Le **Argille subappennine (ASP)** costituiscono una potente successione prevalentemente argilloso-limosa abbastanza compatte, di colore grigio-azzurro a cui, soprattutto nella parte alta della formazione si intercalano livelli sabbiosi con spessori variabili dal centimetro al metro. Lo spessore è estremamente variabile e dove affiora non supera complessivamente i 100 m. Dal punto di vista strutturale costituiscono una monoclinale immergente verso est con inclinazione di 10°/15°.

UNITÀ QUATERNARIE DEL TAVOLIERE DI PUGLIA – SUPERSINTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA

Sono rappresentati da un complesso di sedimenti di spessore massimo fino a qualche decina di metri e sono posti su varie superfici terrazzate a quote comprese fra i 280 m ed i 20 m s.l.m.. Le unità che costituiscono il supersintema del Tavoliere di Puglia costituiscono unità discordanti e/o in paraconcordanza sulle argille subappennine e/o sulle sequenze marine ad esse sovrastanti. Sono riferibili ad ambienti di piana alluvionale di tipo braided e ad estese piane di esondazione. Nell'area di studio affiorano i depositi riferibili al Sintema DEI TORRENTI Carapelle e Cervaro e al Sintema di Foggia.

Il Sintema dei torrenti Carapelle e Cervaro (RPL)

Depositi alluvionali terrazzati costituiti da silt argillosi, silt e sabbie fini con a luoghi sabbie grossolane e/o microconglomerati. Sono riferibili ad aree di piana alluvionale o ad aree di esondazione. Poggia in erosione sui depositi del Sintema di Foggia e sulle argille subappennine. Lo spessore varia da pochi metri ad un massimo di 10 m.

Il Sintema di Foggia (TGF)

Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose. Si rinvencono a diverse profondità depositi conglomeratici poligenici ed eterometrici con spessori che raggiungono anche i 40 m. Sono rappresentativi di ambienti di piana inondabile. Poggia in erosione sulle argille subappennine.

La **Carta Geologica** mostra la sintesi del rilevamento geologico effettuato nell'area di studio (ELABORATO 3RGa).

4. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE ED IDROLOGICHE

4.1 Caratteristiche morfologiche del sito di progetto

Dal punto di vista morfologico l'area di progetto ricade nella piana del Tavoliere di Puglia. L'area è caratterizzata da un paesaggio a debole immersione verso NE, inciso da una serie di corsi d'acqua ad andamento SO-NE. Questo paesaggio a debole energia del rilievo compreso fra le valli del Torrente Carapelle, fa parte di una vasta superficie che si estende da Foggia fino al Golfo di Manfredonia.

Tale superficie è caratterizzata dalla presenza di una serie di superfici terrazzate ubicate a quote decrescenti e a debole inclinazione verso NE. I depositi che costituiscono la base dei terrazzi alluvionali poggiano in discordanza angolare sui depositi marini prevalentemente siltosi di età suprapliocenica-infrapleistocenica delle argille subappennine (Tropeano *et al.* 2002) e sono costituiti da ghiaie poligeniche in genere poco organizzate, soprattutto nei settori prossimali, ed a luoghi intercalate a livelli sabbiosi e/o sabbioso-limosi. I bacini idrografici dell'area presentano una modesta organizzazione gerarchica e dimensioni areali abbastanza ridotte. La forma dei bacini è allungata con spartiacque poco distinguibili, soprattutto nel settore pedemontano con aste principali dei bacini idrografici organizzate secondo un pattern parallelo con un regime generalmente torrentizio ed alimentazione prevalentemente di tipo pluviale. L'impianto agrovoltico è ubicato in una zona sub-pianeggiante a quota di circa 40 m s.l.m.

Per quanto riguarda le prescrizioni dettate dal PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) della Regione Puglia, l'area di imposta dell'impianto agrovoltico ricade in zone a pericolosità geomorfologica medio-moderata mentre l'area dell'ampliamento della stazione elettrica TERNA e dello stallo così come il cavidotto esterno che collega l'impianto alla stazione elettrica non ricadono in zone a pericolosità geomorfologica né idraulica (cfr. Elaborato. 3RGf).

Lo studio qualitativo dell'area attraverso i rilievi di campo e l'analisi di fotoaeree e di aereofotogrammetrie (scala 1:10.000 della Cassa del Mezzogiorno e 1: 25.000 dell'I.G.M.) permettono di escludere che il sito in studio, allo stato attuale, possa essere interessato da fenomeni di dissesto in atto. Non sono state rilevate aree in frane né potenzialmente instabili.

Le caratteristiche topografiche dell'area di interesse fanno rientrare il sito nella **categoria topografica T1** (pendenza inferiori a 15°, ai sensi del D.M. 14/01/2008), come si evince dalla Sezioni Geologiche riportata nell'Elaborato 3RGd.

4.2 Idrografia ed Idrogeologia

Il corso d'acqua principale è rappresentato dal Canale Farano, che corre all'incirca da E a W e che nell'area di progetto si divide in due affluenti rappresentati dal Faraniello Demani e dal Faraniello di Castiglione. Solca con andamento circa rettilineo una valle pianeggiante con bassa pendenza. La rete idrografica è completata da una serie di corsi d'acqua minori, localmente denominati "marane", che rappresentano incisioni povere d'acqua con deflusso ormai effimero. I solchi erosivi sono percorsi soltanto da acque di precipitazione meteorica con portate molto variabili, in funzione dell'intensità e della durata stessa delle precipitazioni alimentatrici.

Dal punto di vista della circolazione idrica sotterranea l'area di studio ricade nel dominio strutturale del Tavoliere della Puglia (settore settentrionale della Fossa bradanica), dominato dalla presenza di un potente substrato impermeabile costituito dalla formazione delle argille subappennine, a cui si sovrappongono localmente terreni marini e alluvionali permeabili per porosità.

Tale situazione stratigrafica associata alla scarsa fratturazione delle rocce e a contatti stratigrafici suborizzontali determina l'esistenza di tre importanti tipi di acquifero.

L'acquifero principale è rappresentato dai depositi quaternari di copertura del tavoliere. Questi depositi ospitano una falda idrica generalmente frazionata su più livelli. Le stratigrafie di diversi pozzi per acqua realizzati nella zona evidenziano l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaiosi permeabili ed acquiferi, intercalati a livelli limo-argillosi a minore permeabilità, con ruolo di acquitardi. La base della circolazione idrica è rappresentata dalle argille grigio-azzurre, la cui profondità si rinviene intorno ai 40 m. le altre due unità acquifere distinguibili nel sottosuolo assumono un ruolo secondario soprattutto in termini di convenienza allo sfruttamento. La prima unità acquifera è costituita dagli interstrati di sabbie limose presenti nella successione argilloso plio-pleistocenica sulla quale poggiano i depositi di copertura. I livelli acquiferi localizzati a varie profondità sono costituiti da corpi discontinui e di forma lenticolare. Si tratta di falde quasi sempre di falde in pressione ed il livello di produttività risulta sempre molto basso. La terza unità acquifera è situata in corrispondenza del substrato calcareo-dolomitico della Piattaforma apula. Quest'ultimo presenta caratteristiche di permeabilità per fratturazione e carsismo, e ospita estese falde idriche alimentate da quelle contenute nelle porzioni più superficiali e in quelle affioranti con le quali sono in connessione idraulica

Nei terreni di progetto, dai rilievi effettuati, si ritiene non sia presente una circolazione idrica sotterranea importante e a profondità tali da interferire con le opere di progetto. Diversi pozzi sono stati rinvenuti nei dintorni dell'area di progetto, ed in corrispondenza degli antichi assi di deflusso: le loro stratigrafie (ubicazione dell'indagine nell'Elaborato 3RGe) confermano le indicazioni stratigrafiche e idrogeologiche desunte dal rilevamento geologico.

4.3. Compatibilità Idrogeologica in conformità al P.A.I.

L'area in esame, come riportato nell'ALLEGATO 1 "Carta di Pericolosità geomorfologica ed idraulica" del Piano Stralcio per la difesa dal Rischio Idrogeologico vigente dell'Autorità di Bacino del distretto meridionale, in zone in cui sono state cartografate aree a pericolosità geomorfologica medio-moderata; il cavidotto esterno che collega l'impianto alla stazione elettrica TERNA e l'area dell'ampliamento della stazione elettrica e dello stallo non ricadono invece in area perimetrata dall'Adb distrettuale (Fig. 4).

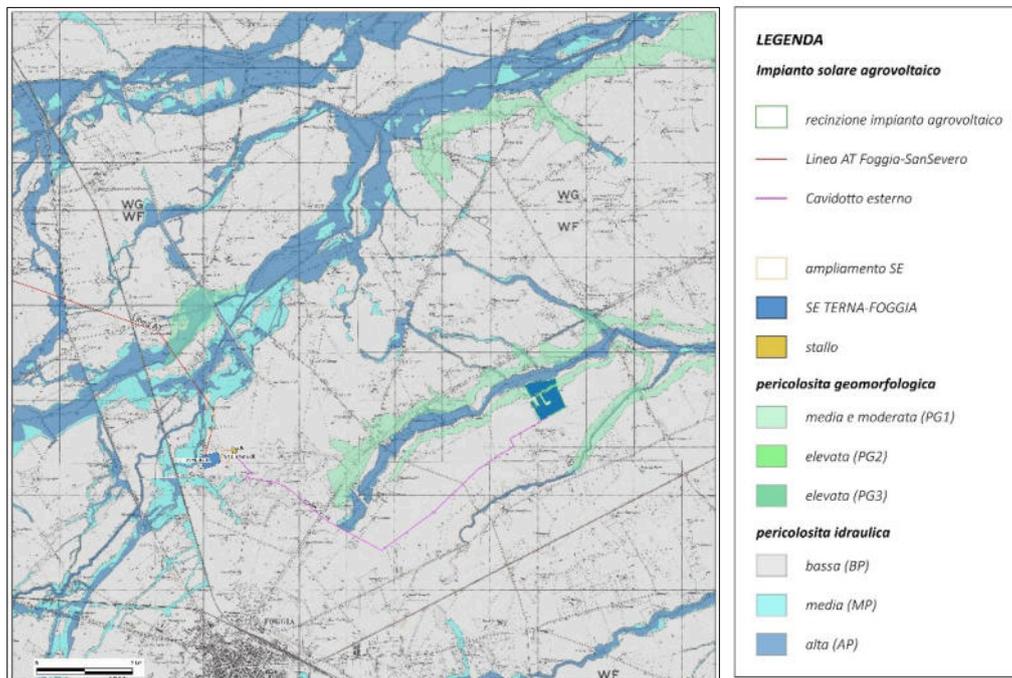


Fig. 4 –Carta della pericolosità geomorfologica ed idraulica

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la ricostruzione della successione stratigrafica dei terreni oggetto di intervento e la determinazione dei parametri geotecnici ci si è serviti di dati di letteratura provenienti da indagini eseguite dalla scrivente in un'area adiacente a quella di interesse e dalle analoghe caratteristiche stratigrafiche rispetto all'area di ingombro dell'impianto e dell'ampliamento della stazione elettrica TERNA e dello stallo, oltre alla consultazione di indagini pregresse eseguite in aree contermini a quella di progetto e su terreni con caratteristiche simili. In particolare, sono state consultate alcune stratigrafie di pozzi derivanti dall'archivio nazionale

delle indagini del sottosuolo dell'ISPRA; sono state altresì consultate indagini sismiche eseguite dalla scrivente in aree adiacenti a quelle dell'impianto agrovoltico, al fine della determinazione delle caratteristiche sismiche e dalla categoria di suolo (ubicazione nell'All.3RGe).

6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA

6.1. Normativa sismica di riferimento

La legislazione antisismica italiana prescrive norme tecniche in base alle quali un edificio debba sopportare senza gravi danni i terremoti meno forti e senza crollare i terremoti più forti, salvaguardando prima di tutto le vite umane.

I riferimenti legislativi relativi ai terreni di fondazione nella legislazione sismica vigente sono:

- l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 vengono emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, considerato che ante OPCM 3274, il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. Tali criteri sono basati sugli studi di pericolosità sismica del territorio nazionale, 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, e prevedono una riclassificazione in quattro zone dell'intero territorio italiano. In virtù di tale provvedimento tutte le Regioni 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.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti
Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti
Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari
Zona 4 - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari

Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", e viene introdotta la zona 4, nella 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).

Inoltre, l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274, recepita dal Decreto Interministeriale del 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media (V_{s30}) delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo o dalla resistenza penetrometrica NSPT o dalla coesione non drenata c_u . La classificazione viene effettuata principalmente sulla base del valore di V_{s30} valutato dalla seguente espressione

$$V_{s30} = 30 / \sum(h_i/V_i)$$

con h_i e V_i rispettivamente spessore e velocità dello strato i esimo degli N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo. In assenza di informazioni sulle velocità delle onde di taglio, potranno essere presi in considerazione i valori di NSPT o di c_u .

Categorie	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento della proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	<i>Terreni di sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} < 800$ m/s).

Tab. I – Categorie di sottosuolo

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

Categorie	Descrizione
S1	<i>Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s</i>
S2	<i>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Tab. II – Categorie di sottosuolo

In seguito è stata emanata la l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 che 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. Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

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	$a_g \leq 0.05$

L'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008), invece, ha modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto ed in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Attualmente, il Decreto Ministeriale del 17/01/2018 - Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”, che sostituiscono le NTC 2008, introduce, limitatamente all'approccio semplificato per la definizione della categoria di sottosuolo, la cosiddetta velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

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

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. III.

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

Tab. III – Categorie di sottosuolo ai sensi del DM 17/01/2018

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

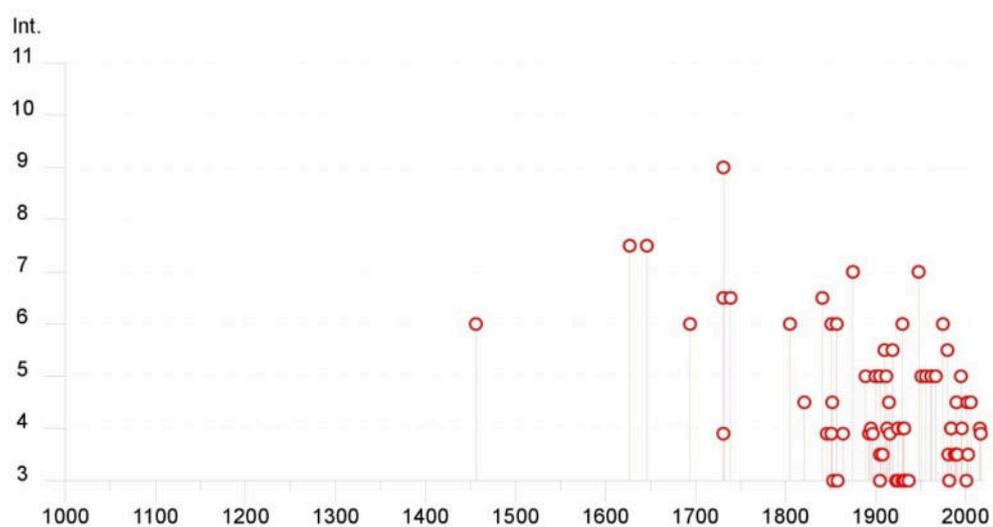
6.2. Caratterizzazione sismica dell'area

Dal punto di vista della sismicità l'area dell'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più importanti d'Italia, sia in termini di intensità che di frequenza dei terremoti. Le zone maggiormente interessate da eventi sismici sono quelle ubicate prevalentemente in corrispondenza del fronte della catena appenninica. In un raggio di circa 60 Km da Foggia ed in particolare dall'area di progetto ricadono diverse zone sismogenetiche: in particolare vi ricade la zona 927 che rappresenta l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da circa 0,7 Ma, ha interessato l'Appennino meridionale; a circa 10 Km vi ricade la zona 924 mentre a circa di 20 km si ritrova la zona 925 (Ofanto); queste ultime due sono dotate di cinematica trascorrente destra ed orientazione generale circa E-W.

A completamento di questo paragrafo in tabella IV si riportano i risultati di uno studio eseguito su tutto il territorio nazionale, che considera la ricorrenza dei forti terremoti dall'anno 1000 al 2000 (Fonte INGV DBMI15). I terremoti che hanno interessato il territorio di Foggia di provenienza appenninica o garganica sono indicati nella tabella sotto riportata.

Foggia

PlaceID IT_62146
 Coordinate (lat, lon) 41.462, 15.545
 Comune (ISTAT 2015) Foggia
 Provincia Foggia
 Regione Puglia
 Numero di eventi riportati 86



ID dell'osservazione	In occasione del terremoto di:		MAGN	In M
	Anno	Mese		
1	1962	11	11	1,9
2	1962	11	11	1,9
3	1962	11	11	1,9
4	1962	11	11	1,9
5	1962	11	11	1,9
6	1962	11	11	1,9
7	1962	11	11	1,9
8	1962	11	11	1,9
9	1962	11	11	1,9
10	1962	11	11	1,9
11	1962	11	11	1,9
12	1962	11	11	1,9
13	1962	11	11	1,9
14	1962	11	11	1,9
15	1962	11	11	1,9
16	1962	11	11	1,9
17	1962	11	11	1,9
18	1962	11	11	1,9
19	1962	11	11	1,9
20	1962	11	11	1,9
21	1962	11	11	1,9
22	1962	11	11	1,9
23	1962	11	11	1,9
24	1962	11	11	1,9
25	1962	11	11	1,9
26	1962	11	11	1,9
27	1962	11	11	1,9
28	1962	11	11	1,9
29	1962	11	11	1,9
30	1962	11	11	1,9
31	1962	11	11	1,9
32	1962	11	11	1,9
33	1962	11	11	1,9
34	1962	11	11	1,9
35	1962	11	11	1,9
36	1962	11	11	1,9
37	1962	11	11	1,9
38	1962	11	11	1,9
39	1962	11	11	1,9
40	1962	11	11	1,9
41	1962	11	11	1,9
42	1962	11	11	1,9
43	1962	11	11	1,9
44	1962	11	11	1,9
45	1962	11	11	1,9
46	1962	11	11	1,9
47	1962	11	11	1,9
48	1962	11	11	1,9
49	1962	11	11	1,9
50	1962	11	11	1,9
51	1962	11	11	1,9
52	1962	11	11	1,9
53	1962	11	11	1,9
54	1962	11	11	1,9
55	1962	11	11	1,9
56	1962	11	11	1,9
57	1962	11	11	1,9
58	1962	11	11	1,9
59	1962	11	11	1,9
60	1962	11	11	1,9
61	1962	11	11	1,9
62	1962	11	11	1,9
63	1962	11	11	1,9
64	1962	11	11	1,9
65	1962	11	11	1,9
66	1962	11	11	1,9
67	1962	11	11	1,9
68	1962	11	11	1,9
69	1962	11	11	1,9
70	1962	11	11	1,9
71	1962	11	11	1,9
72	1962	11	11	1,9
73	1962	11	11	1,9
74	1962	11	11	1,9
75	1962	11	11	1,9
76	1962	11	11	1,9
77	1962	11	11	1,9
78	1962	11	11	1,9
79	1962	11	11	1,9
80	1962	11	11	1,9
81	1962	11	11	1,9
82	1962	11	11	1,9
83	1962	11	11	1,9
84	1962	11	11	1,9
85	1962	11	11	1,9
86	1962	11	11	1,9
87	1962	11	11	1,9
88	1962	11	11	1,9
89	1962	11	11	1,9
90	1962	11	11	1,9
91	1962	11	11	1,9
92	1962	11	11	1,9
93	1962	11	11	1,9
94	1962	11	11	1,9
95	1962	11	11	1,9
96	1962	11	11	1,9
97	1962	11	11	1,9
98	1962	11	11	1,9
99	1962	11	11	1,9
100	1962	11	11	1,9

Tab IV - Tabella delle Osservazioni sismiche disponibili per l'area di Foggia.

Per una completa comprensione della tabella si consideri che la colonna "effetti" riporta, in termini di intensità (I), quanto forte è stato avvertito il terremoto a Foggia e nell'immediato circondario, mentre la colonna in occasione del terremoto di:" riporta, oltre al toponimo

dell'area epicentrale, quanto "forte" è stato il terremoto sia in termini di intensità sia di magnitudo.

6.3. Pericolosità sismica di base e categoria di suolo

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta elastica che va riferita e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono in base alla pericolosità sismica del sito di costruzione che a sua volta è definita, ai sensi delle NTC, in termini di accelerazione orizzontale massima a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

La stima dei parametri spettrali necessarie per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata direttamente per il sito in esame, sulla base delle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tabella 1 dell'allegato B del D.M. 14 Gennaio 2008. I tre parametri spettrali sono:

a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascuno dei nodi del reticolato sono forniti i tre parametri spettrali.

Per un punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p (a_g , F_0 , T^*c) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenete il punto in esame, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p è il parametro di interesse nel punto in esame;

- p_i è il valore del parametro di interesse nell'i-esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall'i-esimo punto della maglia suddetta.

Se il tempo di ritorno considerato non coincide con nessuno dei 9 tempi di ritorno forniti in Tabella 1, il valore del generico parametro $p(a_g; F_0; T^*_c)$ ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno che comprendono quello di calcolo) con la formula seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Dove:

- p è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno T_R considerato
- T_{R1} e T_{R2} sono i valori del tempo di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori di p_1 e p_2

Ubicazione dell'opera di progetto (Coord. ED 50)	Latitudine	Longitudine
Foggia Contrada Guiducci	41,513803	15,625645

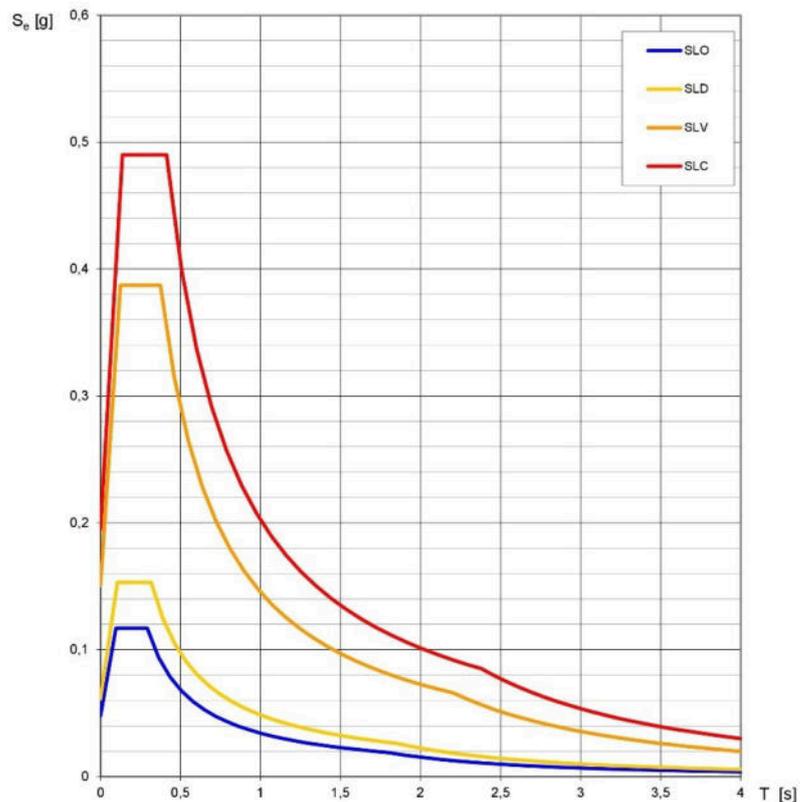
Da progetto				
Classe dell'edificio	II			
Vita nominale	50			
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			
Caratteristiche sismiche				
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,048	2,441	0,293
Danno (SLD)	50	0,061	2,570	0,317
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,151	2,514	0,376
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,195	2,514	0,413

Coefficienti sismici

Stato Limite	Ss	Cc	St	kh	kv	Amax	Beta
Operatività (SLO)	1,50	1,57	1,00	0,013	0,006	0,704	0,180
Danno (SLD)	1,50	1,53	1,00	0,017	0,008	0,900	0,180
Salvaguardia vita (SLV)	1,47	1,45	1,00	0,053	0,027	2,173	0,240
Prevenzione collasso (SLC)	1,41	1,41	1,00	0,066	0,033	2,696	0,240

Otteniamo così 4 spettri di risposta validi per roccia affiorante e superficie topografica pianeggiante, che costituiscono nell'insieme la cosiddetta risposta sismica di base, ossia relativa ad un sito con roccia affiorante e con superficie topografica orizzontale (il segnale sismico è privo di amplificazioni). Abbiamo individuato la pericolosità sismica di base (Fig. 5). A questo punto la risposta sismica di base va ulteriormente sviluppata considerando l'amplificazione sismica in funzione delle condizioni litostratigrafiche e topografiche. L'effetto di amplificazione delle onde sismiche dovuto alla successione stratigrafica e alla presenza di alture viene applicato tramite opportuni coefficienti, che variano la risposta sismica in intensità e frequenza (periodo). Nella normativa europea ed italiana esistono 5 principali categorie di sottosuolo A, B, C, D, E. la categoria A coincide con la risposta sismica di base, in mancanza di amplificazione topografica.

Elaborazioni effettuate con "Spettri-NTCver.1.0.3.xls"

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Fig. 5 - Spettri di risposta elastico per lo stato SLV

6.4. Caratterizzazione dinamica

La normativa prevede la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo definendo cinque tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m di terreno (V_{s30}).

Per la determinazione delle V_s sono state utilizzate profili di V_s relativi ad indagini sismiche di tipo MASW eseguite nei pressi dell'area di progetto e in analoghe situazioni stratigrafiche. Facendo riferimento al profilo verticale delle onde S elaborato con le indagini MASW consultate, i terreni di copertura presentano una velocità equivalente pari a $V_{s,eq} = 351$ m/s. In

riferimento alla tabella 3.2.II del DM 17/01/2018 il sito in esame è attribuibile alla categoria di **sottosuolo C: [Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s].**

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE

I caratteri del moto sismico, in un determinato sito, dipendono sostanzialmente da tre fattori: il meccanismo focale del terremoto, la trasmissione delle onde dall'epicentro al sito con relative trasformazioni ed attenuazioni, la trasmissione del segnale sismico da una formazione rocciosa di base (*bedrock*) alla superficie attraverso le stratificazioni di terreni sciolti che ricoprono il *bedrock*.

Schematizzando il problema, la risposta sismica locale si riferisce alle caratteristiche del moto sismico in fase di affioramento in superficie, modificato in relazione alle proprietà geotecniche dei terreni attraversati e delle condizioni morfologiche del sito.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire **le modifiche che un segnale sismico subisce**, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

Le norme NTC2008 al Paragrafo 3.2.2 recitano: " Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi In assenza di tali analisi, per la valutazione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento".

APPROCCIO SEMPLIFICATO

Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot a_g$$

dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Amplificazione topografica

Per la progettazione o la verifica di opere e sistemi geotecnici realizzati su versanti e per l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, la valutazione dell'amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

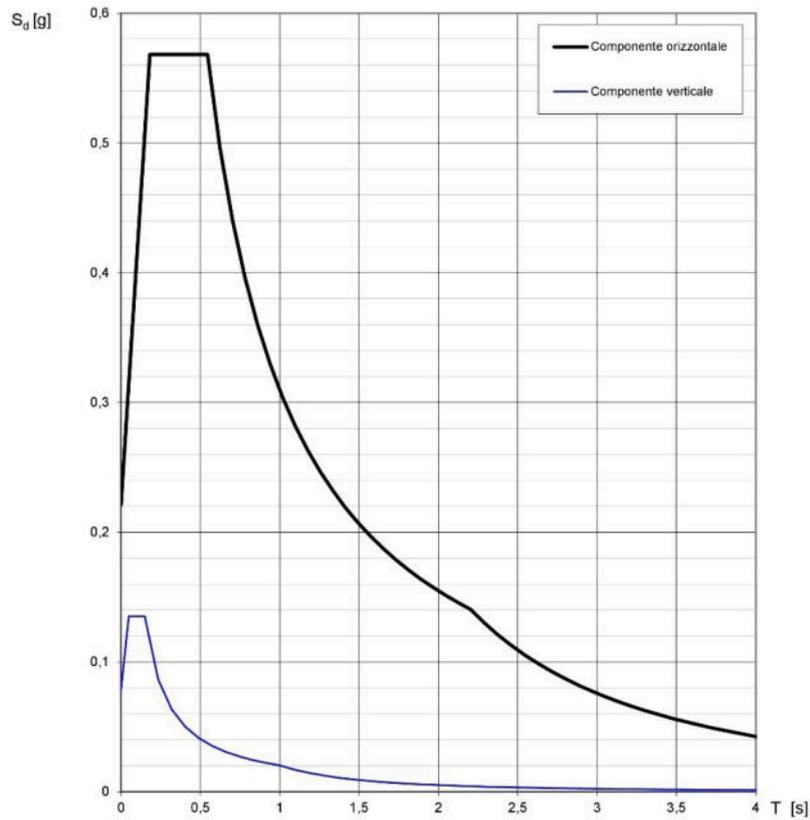
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Il parametro S_T deve essere applicato nel caso di configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, di altezza superiore a 30 m. Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Nell'area di progetto, nello stato limite per la salvaguardia (SLV), vengono riconosciute le caratteristiche evidenziate di seguito.

Caratteristiche stratigrafiche e topografiche del sito	
Categoria di suolo	C
Condizioni topografiche	T₁
Amplificazione stratigrafica (S_s) per terreni di categoria C	1,50
Amplificazione topografica (S_t)	1,0

Elaborazioni effettuate con "Spettri-NTCver. 1.0.3.xls"

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

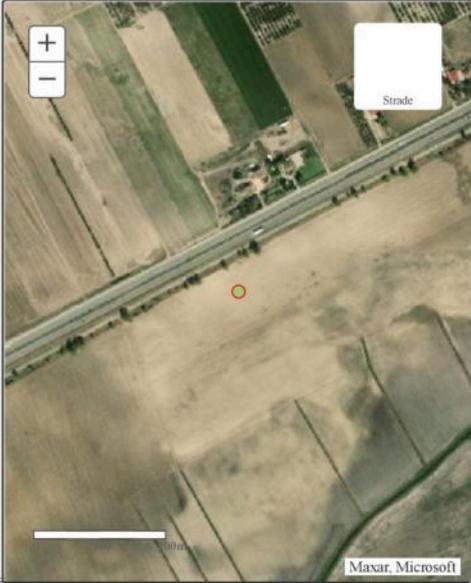
Fig. 6- Spettro di risposta elastico allo stato limite per la salvaguardia.

8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

8.1. Stratigrafia

In base alle stratigrafie dei sondaggi consultati effettuate nei pressi dell'area di progetto, scaricate dall'archivio nazionale delle indagini del sottosuolo dell'ISPRA (Fig. 7), integrate dai rilievi di terreno, è stato possibile ricostruire il modello geologico-tecnico dell'area dell'impianto agrovoltaico, del cavidotto esterno, dell'area di ampliamento della stazione elettrica e dello stallo. In particolare, si osserva la seguente stratigrafia:

- copertura pedologica costituita da terreno limoso e limoso-sabbioso con clasti sparsi e ghiaie sciolte e spessore intorno ad 1 m, di colore marrone brunoastro;
- deposito costituito ghiaia eterometrica, poligenica, subarrondata, frammisto ad argilla e sabbia; spesso le argille e le sabbie hanno spessori anche notevoli fino a una 10 m, in quanto le ghiaie e i depositi sabbioso-argillosi sono eteropici. Lo spessore delle ghiaie è invece fino a 30/40 m anche se è estremamente variabile lateralmente, proprio per eteropia;
- sabbie e arenarie compatte;
- argille grigio-azzurre.

 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale			
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)					
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
<p> Codice: 200807 Regione: PUGLIA Provincia: FOGGIA Comune: FOGGIA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 40,00 Quota pc slm (m): ND Anno realizzazione: ND Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 2,500 Portata esercizio (l/s): 2,000 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): SI Numero strati: 4 Longitudine WGS84 (dd): 15,608361 Latitudine WGS84 (dd): 41,516231 Longitudine WGS84 (dms): 15° 36' 30.10" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 30' 58.44" N </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	40,00	40,00	300	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	28,00	36,00	8,00		
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
gen/2002	5,00	32,00	27,00	2,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	4,00	4,00		TERRENO VEGETALE
2	4,00	28,00	24,00		ARGILLA GIALLA A TRATTI SILTOSA
3	28,00	36,00	8,00		CIOTTOLI A TRATTI CEMENTATI
4	36,00	40,00	4,00		ARGILLA AZZURRA

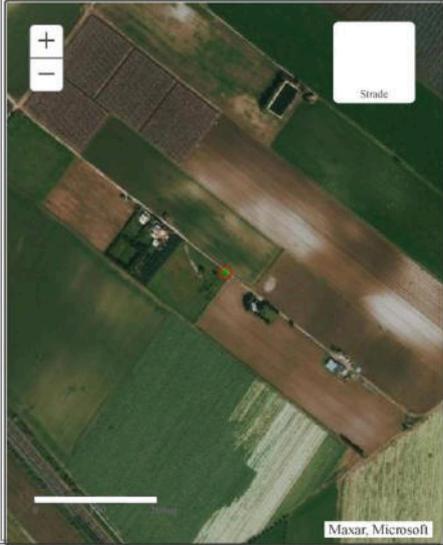
 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale			
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)					
Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
<p> Codice: 200682 Regione: PUGLIA Provincia: FOGGIA Comune: FOGGIA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 54,00 Quota pc slm (m): 52,00 Anno realizzazione: 2001 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 2,000 Portata esercizio (l/s): 1,000 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 6 Longitudine WGS84 (dd): 15,587800 Latitudine WGS84 (dd): 41,490939 Longitudine WGS84 (dms): 15° 35' 16,09" E Latitudine WGS84 (dms): 41° 29' 27,39" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia </p>					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	54,00	54,00	400	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	44,00	50,00	6,00		
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
ott/2001	38,00	45,00	7,00	1,000	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	28,00	27,00		TERRENO ARGILLOSO CON QUALCHE CIOTTOLO
3	28,00	30,00	2,00		BRECCIA SCIOLTA NON ACQUIFERA
4	30,00	44,00	14,00		ARGILLA GIALLA
5	44,00	50,00	6,00		ARENARIA GIALLA COMPATTA CON ACQUA
6	50,00	54,00	4,00		ARGILLA BLU

Fig. 7 - Stratigrafia di pozzo da archivio nazionale delle indagini del sottosuolo dell'ISPRA

8.2. Caratterizzazione geotecnica

Le caratteristiche geologiche e geotecniche specifiche per i terreni di fondazione del campo agrovoltaioco, dei terreni di posa del cavidotto, dell'area di ampliamento della stazione elettrica e dello stallo sono state desunte da indagini eseguite dalla scrivente, in aree che presentano le stesse caratteristiche litotecniche dei terreni di progetto. Si precisa che i depositi ghiaioso-conglomeratici sono eteropici con i depositi sabbioso-argillosi e parte dell'impianto è ubicato su terreni prevalentemente sabbioso-argillosi. Di seguito si riportano le proprietà geotecniche dei terreni di progetto.

Si evidenzia che la caratterizzazione geomeccanica dei terreni ghiaioso è stata ottenuta attraverso l'applicazione della classificazione di BIENIAWSKY (1973, 1976, 1989) che tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

$$\text{RMR} = (\text{R1} + \text{R2} + \text{R3} + \text{R4} + \text{R5}) - \text{Ic}$$

I parametri sono:

- R1 – resistenza a compressione uniassiale;
- R2 – RQD;
- R3 – spaziatura delle discontinuità;
- R4 – condizioni delle discontinuità;
- R5 – condizioni idrauliche;
- Ic – Indice di correzione

Ciascuno di questi parametri è valutato quantitativamente sul terreno, e ad essi è attribuito il relativo indice numerico. I parametri sono raggruppati in cinque intervalli di valori la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in altrettante cinque classi di qualità. La somma dei cinque indici parziali fornisce il BRMR (Basic RMR). Per applicare il sistema RMR si considera l'ammasso roccioso come suddiviso in regioni strutturali in modo che al loro interno alcune caratteristiche siano sufficientemente uniformi. Identificate tali regioni, i parametri di classificazione per ognuna di esse sono determinate dalle misure in situ.

Per quanto riguarda la resistenza alla compressione uniassiale R1 essa si ritiene, da letteratura, abbia un valore dell'ordine di 150 MPa; l'indice sarà pari a 12. Per quanto riguarda l'RQD (*rock quality designation*), si ritiene che per i depositi ghiaiosi in oggetto tale parametro sia in percentuale compreso tra 50 e 75%, cioè la roccia è dotata di una qualità discreta; l'indice R2 sarà quindi pari a 13.

Per quanto riguarda gli indici R3 e R4 si ritiene, da rilievi effettuati in aree contigue, che non siano presenti discontinuità, ma considerato che si tratta di un deposito ghiaioso con matrice tra i clasti si ritiene che R3 ed R4 possano assumere rispettivamente i valori di 10 e 20.

Per quanto riguarda invece le condizioni idrauliche possiamo dire che si tratta di depositi permeabili per porosità quindi non si suppone siano presenti circolazioni al loro interno; R5 sarà pari a zero.

PARAMETRI		INTERVALLI DI VALORI							
R1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile		
		Compressione monoassiale	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	0
	Indice		15	12	7	4	2	1	0
R2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Indice		20	17	13	8	3		
R3	SPAZIATURA GIUNTI (m)		>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06		
	Indice		32	15	10	8	5		
R4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia non alterate	Superfici scabre. Apertura < 1mm. Pareti roccia legg. alterate	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia molto alterate	Superfici lisce o laminate o riempimento <5mm o apertura 1-5mm. Giunti continui	Riempimento tenero con spessore > 5mm o giunti aperti > 5 mm. Giunti continui.		
	Indice		30	25	20	10	0		
R5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m di lunghezza del tunnel (litri/mm)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pression e naturale in sito	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condizioni generali	Giunti Asciutti	Umidi	Bagnati	Stillicidio	Venute d'acqua		
	Indice		15	10	7	4	0		

Per la stima dell'indice di correzione **Ic** si deve fare riferimento alla tabella seguente:

Orientamento dei giunti		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie e miniere	Indice	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni		0	-2	-7	-15	-25
Versanti		0	-5	-25	-50	-60

Applicando la correzione Ic si ottiene l'indice RMR, correlato alla qualità dell'ammasso roccioso e alle sue caratteristiche meccaniche secondo la tabella seguente:

RMR	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITÀ	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima
Coesione (MPa)	<0,1	0,1-0,15	0,15-0,20	0,20-0,30	>0,30
ϕ (°)	<30	30-35	35-40	40-45	>45

Sulla base dell'indice RMR, che assume valori compresi tra 50 e 70 sono stati ottenuti i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso (angolo di attrito e coesione).

Ghiaia poligenica in matrice sabbioso-limosa

peso di volume	18,5 KN/m ³
angolo di attrito	35°
coesione	1,5 – 2,0 KPa

Sabbiose-argillose

peso di volume	19 KN/m ³
angolo di attrito	28°
coesione	17 KPa

9. ANALISI DI STABILITA' DEL VERSANTE

Le condizioni di stabilità del pendio oggetto di intervento sono state analizzate nel dettaglio attraverso un rilievo geomorfologico che ha permesso di escludere la presenza di fenomeni di instabilità. L'analisi geomorfologica qualitativa del sito d'imposta dell'impianto agrovoltico non ha messo in evidenza segni di instabilità. Infatti, l'area di sedime insiste in una porzione di versante, stabile sia per posizione morfologica sia per condizioni litologiche con pendio caratterizzato da pendenze poco acclivi, inferiore ai 10°, senza forme di movimenti gravitativi in atto né in preparazione.

Dalla consultazione della Carta di Pericolosità geomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino Distrettuale si evince che una parte dell'area occupata dall'impianto agrovoltico è perimetrata come area a pericolosità media e moderata. I rilievi effettuati hanno permesso di escludere la presenza di aree in frana o potenzialmente instabili.

10. CONCLUSIONI

Lo studio riportato nella seguente relazione ha fornito un quadro dettagliato delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, litotecniche e sismiche dei terreni presenti nell'area di progetto.

In particolare, dallo studio effettuato, risulta che:

- Il campo agrovoltico in progetto si estende su terreni ghiaiosi, sabbiosi e argillosi riferibili a sistemi di piana inondabile e attribuiti al Supersintema del Tavoliere di Puglia ed in particolare si riconoscono due sintemi e cioè il Sintema dei torrenti Carapelle e Cervaro e al Sintema di Foggia. Questi terreni poggiano in discordanza e/o paraconcordanza su depositi prevalentemente argillosi riferibili alla formazione delle argille subappennine,
- Da un punto di vista geomorfologico l'area di progetto ricade su un'area pianeggiante, stabile sia per posizione morfologica che per condizioni litologiche: le formazioni affioranti hanno assetto sub-orizzontale ed il pendio di progetto è caratterizzato da pendenze mediamente acclivi con pendenze inferiori ai 10°. Si sottolinea che parte dell'area occupata dall'impianto agrovoltico ricade in un'area perimetrata dall'AdB distrettuale come aree a pericolosità geomorfologica media e moderata. Si ritiene dai rilievi effettuati che, attualmente, non sono presenti aree in frana o potenzialmente instabili. Sono consigliate comunque verifiche di stabilità a seguito di indagini geognostiche più dettagliate del sito
- Da un punto di visto idrogeologico, le rocce affioranti sulla base delle caratteristiche di permeabilità, si distinguono in:
 - ✓ rocce permeabili medio-bassa permeabilità
 - ✓ rocce permeabili a bassa permeabilità e/o impermeabili

Appartengono alla prima classe i depositi ghiaioso e sabbioso-argillosi riferibili al supersintema del tavoliere di Puglia; appartengono alla seconda classe i depositi riferibili ai depositi argilloso-marnosi riferibili alla formazione delle argille subappennine.

- Le caratteristiche geologiche e geotecniche specifiche per i terreni di fondazione sono desunte da numerose indagini geognostiche e sismiche effettuate dalla scrivente e consistite scavi geognostici e indagini sismiche in condizioni stratigrafiche analoghe a quelle osservate nell'area di progetto.
- Sulla base di indagini geofisiche consultate ed eseguite, è possibile attribuire al sito d'interesse progettuale, la seguente tipologia di suolo: **"C" - "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"**. In relazione al D.M. 17-01-2018, i parametri sismici del sito di progetto da adottare per la verifica relativa alla salvaguardia della vita umana, sono quelli riportati nella tabella riportata nel par. 6.3.

In fase di progettazione esecutiva si rende necessario approfondire il presente studio geologico con un adeguato piano d'investigazione costituito da:

- Indagini penetrometriche che consentano di evidenziare la successione litologica. Durante l'esecuzione della prova penetrometrica sarà opportuno prelevare dei campioni significativi dei terreni incontrati da analizzare tramite prove geotecniche di laboratorio.
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati
- Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P per la determinazione dei parametri sismo-stratigrafici ed elastodinamici dei terreni oggetto di studio.

Vengono suggeriti alla D.L. i seguenti criteri esecutivi:

- Il materiale di sterro deve essere accuratamente allontanato a discarica ovvero se utilizzato per terrazzamenti, messo in opera per strati non superiori a 30 cm debitamente compattati; eventuali opere di contenimento, devono essere fondate sul substrato non degradato;
- le acque di ruscellamento devono essere regimentate con appositi sistemi di drenaggio superficiale, senza alterare il normale deflusso, al fine di garantirne l'allontanamento ed evitare che siano intercettate dalle opere in questione;
- le acque di dilavamento dovranno essere controllate con apposite opere di raccolta e smaltimento, così come le strutture interrato devono essere provviste di adeguate sistemazioni idrauliche a tergo.

Genzano di Lucania 15/04/2022

La Geologa

Dr Antonietta Cilumbriello



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AZZAROLI A., RADINA B., RICCHETTI G. & VALDUGA A. (1968) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 del F° 188 "Gravina"*. Serv. Geol. d'Italia, 22 pp.
- BALDUZZI A., CASNEDI R., CRESCENTI U., MOSTARDINI F. & TONNA M. (1982a) - *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del bacino lucano (Avanfossa appenninica)*. Geol. Rom., **21**: 89-111.
- CARISSIMO L., D'AGOSTINO O., LODDO C. & PIERI M. (1962) – *Le ricerche petrolifere dell'Agip mineraria e nuove informazioni geologiche nell'Italia centro-meridionale dall'Abruzzo al Golfo di Taranto*. In: *Proceeding of VI Congresso Mondiale del Petrolio*, Francoforte, Germany, I, AGIP Report, san Danato Milanese, Italy.
- CASNEDI R. (1988) - *La Fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 439-448.
- CIARANFI N., LOIACONO F., MORETTI M. (2011) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000 del F° 408 "Foggia"*. Serv. Geol. d'Italia, 76 pp.
- CIARANFI N., GHISSETTI F., GUIDA M., IACCARINO G., LAMBIASE S., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G., TORRE M., TORTORICI L. & VEZZANI L. (1983) – *Carta neotettonica dell'Italia meridionale*. Prog. Fin. Geod. del CNR, **515**, 62 pp.
- CIARANFI N., MAGGIORE M., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G. & WALSH N. (1979) – *Considerazioni sulla neotettonica della Fossa Bradanica*. P. F. Geodinamica. Pubbl. **515**, 1-63.
- CILUMBRIELLO A., SABATO L. & TROPEANO M. (2008). *Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari di chiusura del ciclo della Fossa bradanica: l'area chiave di Banzi e Genzano di Lucania (Basilicata)*. MEMORIE DESCRITTIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. Volume Speciale in ricordo di Iacobacci, APAT, in corso di stampa. ISSN: 0536-0242.
- D'ARGENIO, PESCATORE & SCANDONE (1973) – *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Acc. Naz. Lincei, Pubbl. N°280; 49-72
- DE CELLES P. G. & GILES K. A. (1996) - *Foreland basin systems*. Basin Research, **8**, 105-123.
- DOGLIONI C. MONGELLI F. & PIERI P. (1994) – *The Puglia uplift (SE-Italy): an anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, **13**, 1309-1321.
- DOGLIONI C. TROPEANO M., MONGELLI F. & PIERI P. (1996) - *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an "anomaly" in the Apenninic foreland*. Mem., Soc., Geol., It., **51**: 101-117.
- GALLICCHIO S. & MAIORANO P. (1999) – *Revised stratigraphy of the Serra Palazzo Formation, a Miocene foredeep turbidite succession of the Southern Apennines (Italy)*. Riv. It. Paleont. E Stratig., **105**, n° 2, 287-302.
- LAZZARI M. & PIERI P. (2002) - *Modello stratigrafico-deposizionale della successione regressiva infra-pleistocenica della Fossa bradanica nell'area compresa fra Lavello, Genzano e Spinazzola*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 231-237.
- MERLIN, LA VOLPE, NAPPI, PICCARRETA, REDINI, & SANTAGATI (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 186, 187 Sant'Angelo de' Lombardi, Melfi*.
- MIGLIORINI C. (1937) – *Cenno sullo studio e sulla prospezione petrolifera di una zona dell'Italia meridionale*. In: 2nd Petroleum world Congress. Paris. ASGIP Report, Roma: 1-11.
- OGNIBEN (1969) – *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. MEM. SOC. GEOL. IT., **35**: 177-202.
- PALMER, D. (1982) – *An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation*. Geophysics, **46**, 1508-1518.
- PARK, C.B. XIA J., MILLER R.D. (1999) - *Multichannel analysis of surface waves*. Geophysics, **64**, 800-808.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2001) - *Late thrust propagation and sedimentary response in the thrust belt-foredeep system of the Southern Apennines (Pliocene-Pleistocene)*. In: G.B. VAI & I.P. MARTINI (Eds.): «Anatomy of an Orogen». Kluwer Academic Publ.: 401-440.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2004) – *The Plio-Pleistocene thrust belt-foredeep system in the southern Apennines and Sicily (Italy)*. Soc. Geol. It., Vol. Spec., IGC 32 Florence.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M. (1994) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria della Fossa bradanica a sud dell'Ofanto nel Pleistocene*. In: "Guida alle escursioni". 77° Cong. Naz. Soc. Geol. It., Bari. Quad. Bibl. Prov. Matera, **15**, 35-54.
- PIERI P., SABATO L. & TROPEANO M. (1996) - *Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 501-515.
- PIERI P., GALLICCHIO S., SABATO L. & TROPEANO M. – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*. Foglio 471 IRSINA.
- RICCHETTI G. (1965) - *Alcune osservazioni sulla serie della Fossa bradanica. Le "Calcareni di M. Castiglione"*. Boll. Soc. Nat. in Napoli **74**: 3-11.
- RICCHETTI G. (1967) - *Lineamenti geologici e morfologici della media valle del Fiume Bradano*. Boll. Soc. Geol. It., **86**: 607-622.
- RICCHETTI G. & MONGELLI F. (1980) – *Flessione e campo gravimetrico della micropiastrella apula*. Boll., Soc., Geol., It., **99**, 431-436.
- SABATO L., TROPEANO M. & PIERI P. (2004) - *Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari del F° 471 "Irsina". Il Conglomerato di Irsina: mito o realtà? Il Quaternario* **17**(2/1): 391-404.
- SELLI R. (1962) – *Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **3**: 737-789.
- VALDUGA A. (1973) - *Fossa bradanica*. In: A. DESIO: «Geologia dell'Italia», U.T.E.T., Torino: 692- 695.