

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCO EOLICO "Foiano di Valfortore"

**ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING  
DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI**



**Edison Rinnovabili Spa**  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progettazione Coordinamento	<b>GEKO S.p.A.</b> Via Reno, 5 - 00198 Roma (RM) Tel. 06.88803910   Fax 06.45654740 E-Mail: gekospa@pec.gekospa.it  Energia & Ambiente		<b>GVC S.r.l. Società di Ingegneria</b> Via Nazionale Sauro, nr 126 - CAP 85100 Potenza (PZ) Tel. 09.71286145 E-Mail: gmr@gvcingegneria.it 		
Progettazione	<b>Seingim</b> Vicolo degli Olmi, nr 57 - 30022 Ceggia (VE) Tel. 04.21323007 E-Mail: info@seingim.it 		Studi Geologico-Idrologico Idraulico <b>Geol. Antonio Di Biase</b> Piazza Padre Prosperino Gallipoli, nr 9 75024 Montescaglioso (MT) Tel. 347.059 7967		
Studio Acustico Studio avifaunistico	<b>Teasistemi</b> Via Ponte Piglieri, nr 8 - 56122 Pisa (PI) Tel. 05.06396101 E-Mail: info@tea-group.com  ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGIES		Studi Naturalistici e Forestali <b>Dott. Agr. Paolo Castelli</b> Viale Croce Rossa, nr 25 - 90146 Palermo (PA) Tel. 334. 228 4087		
Opera	<p><b>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20 MW.</b></p>				
Nome Elaborato: GK-EN-C-FV-TB-ET-0043-00		Folder:			
Descrizione Elaborato: Relazione geotecnica					
00	Novembre 2023	Emissione per progetto definitivo	Seingim S.r.l.	Geko S.p.A.	Edison Rinnovabili S.p.A.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	/	Integrale Ricostruzione Foiano			
Formato:	A4	Codice progetto AU <input type="text"/>			

## **RELAZIONE GEOTECNICA**

**Progetto di integrale ricostruzione di n.1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel comune di Foiano di Valforte e relative opere di connessione alla località Monte Barbato – Piano del Casino**

## Sommario

1	Inquadramento topografico e geomorfologico del territorio e della zona interessata dall'intervento	3
2	Inquadramento idrografico ed idrogeologico del territorio .....	13
3	Caratterizzazione geologica di dettaglio dell'area .....	17
3.1	Indagini geotecniche eseguite in sito.....	19
3.2	Indagini geofisiche eseguite nell'area di studio .....	19
4	Modello geologico valido per l'area di studio.....	20
5	Verifiche di sicurezza .....	23
5.1	Azioni .....	24
6	Fondazioni superficiali .....	26
6.1	Verifiche agli stati limite ultimi .....	26
6.2	Verifiche agli stati limite di esercizio.....	27
7	Fondazioni profonde.....	28

## 1 Inquadramento topografico e geomorfologico del territorio e della zona interessata dall'intervento

L'area interessata dalla presente indagine geologico-tecnica, trovasi nel territorio comunale di FOIANO DI VAL FORTORE (BN), ad una quota variabile da 921 m s.l.m nel punto più elevato, ad una di 736m s.l.m nel punto meno elevato. Tale area risulta cartografata nel F. 174 "ARIANO IRPINO" e nel F. 163 "LUCERA" della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000. Lo studio geomorfologico, oltre che all'area direttamente interessata dall'opera in oggetto è stato esteso, in modo particolarmente accurato, ad un'ampia area ritenuta significativa ai fini della valutazione dei caratteri geomorfologici rilevanti per la stabilità dell'area stessa.

**A scala regionale** Il Comune di Foiano di Val Fortore si localizza geograficamente nelle zone interne della Regione Campania, nell'area dei Monti del Sannio ed occupa una superficie di circa 41 km<sup>2</sup>, prevalentemente montuosa, di cui una piccola parte urbanizzata e la rimanente parte occupata per lo più da terreni agricoli e da aree boschive. Confina con i comuni di Baseliçe e San Bartolomeo in Galdo a Nord; San Marco dei Cavoti ad Ovest; Molinara, San Giorgio la Molara e Montefalcone di Val Fortore a Sud; la provincia di Foggia ad Est con il comune di Roseto Val Fortore. Nel suo insieme il territorio assume una forma riconducibile ad un quadrilatero con un lato allungato in direzione Est- Ovest, i cui lati maggiori coincidono a Nord con una serie di rilievi formanti la dorsale che comprende il M. Barbato e a Sud con il corso del Vallone S. Pietro. Il territorio comunale di Foiano di Val Fortore (BN) è localizzato nella parte nord-orientale dell'Appennino campano, al margine esterno della catena sud appenninica. Esso è costituito, in affioramento, da varie unità stratigrafico – strutturali di età compresa tra il Cretacico Medio ed il Pliocene.

Nel territorio vengono distinte due principali unità tettoniche rappresentate dall'Unità del Sannio e dall'Unità del Fortore, oltre ai depositi sinorogenici rappresentati dal Flysch di San Bartolomeo. L'Unità del Sannio è composta, dal basso verso l'alto, dalle formazioni del Flysch Rosso, del Flysch Numidico e da una successione arenacea post-numidica, denominata formazione di Fragneto Monforte.

L'unità è interpretata come la successione superiore del Bacino lagonegrese-molisano e viene riferita al margine settentrionale interno (Di Nocera et alii, 2002) del bacino lagonegrese-molisano (Pescatore & Tramutoli, 1980; Pescatore et alii, 1996a, 2000; Di Nocera et alii, 2002, 2006). L'Unità del Fortore è costituita da depositi bacinali di natura argilloso-marnosa e calcarea, con prevalenti intervalli arenacei alla sommità, la cui età è compresa tra il Cretacico superiore ed il Tortoniano. È formata, dal basso verso l'alto, dal Gruppo delle Argille Variegate, dalla formazione di Corleto Perticara, dal Flysch Numidico e dalla formazione di San Giorgio. L'unità è riferibile da un punto di vista paleogeografico ad un dominio di bacino esterno alla Piattaforma sudappenninica, verosimilmente all'area nord-orientale del Bacino lagonegrese-molisano (Pescatore et alii, 2000; Di Nocera et alii, 2002).

**Alla meso-scala**, la morfologia del territorio, l'area dell'intero territorio comunale, nel suo insieme è caratterizzata da modesti dislivelli tipici di paesaggi di media collina, che danno luogo a pendenze generalmente dolci nelle aree distali delle aste torrentizie o dei valloni mentre, in prossimità delle linee di drenaggio, diventano improvvisamente accentuate. Tali anomalie morfologiche sono da correlarsi ai diversi meccanismi di evoluzione del paesaggio, a loro volta connessi con la particolare costituzione litologica dei siti e le caratteristiche climatologiche generali.

**Sotto il profilo geomorfologico**, l'area, in generale, è di tipo collinare con dolci pendii; nelle aree

dove affiorano le litologie morforesistenti la morfologia risulta più accidentata ed i valori delle pendenze superano il 15 — 20%. Le fasi tettoniche plio-quadernarie hanno determinato l'assetto morfostrutturale attuale della catena appenninica, all'interno della quale rientra il territorio di Foiano di Val Fortore, condizionando l'organizzazione dei reticoli fluviali, le incisioni e l'evoluzione dei versanti. I prodotti della dinamica morfogenetica, le frane, sono particolarmente sviluppati sia in corrispondenza di sedimenti ad alta percentuale pelitica, dove sono caratteristiche le frane di scivolamento o decorticamento superficiale o soliflusso, sia in corrispondenza di sedimenti vari (quarzareniti, conglomerati, calcari marnosi ecc.) ove prevalgono frane da crollo e/o distacco per degradazione. Nel territorio di Foiano V. F. sono presenti numerose aree caratterizzate da fenomeni di instabilità. Questa è legata essenzialmente ai fenomeni erosivi esercitati dalla rete idrografica, dalla natura litologica dei terreni, dalla eterogeneità delle litologie presenti, rappresentate prevalentemente da terreni di natura pelitica. Il reticolo idrografico è in approfondimento, come evidenziato dalla tipica sezione a "V" degli alvei. In particolare, sulle litologie argillose l'approfondimento dell'alveo, molto più accentuato rispetto alle litologie più rigide, comporta continui scalzamenti alla base dei versanti con conseguente richiamo di materiale dalle aree a monte e quindi l'insorgere di movimenti franosi lungo gli stessi. I terreni argillosi in presenza di acqua e con pendenze dei versanti anche di pochi gradi tendono ad imbibirsi dando luogo a fenomeni franosi di tipo scorrimento rotazionale o colamento. Infine anche il contatto, di natura stratigrafica o tettonica, tra litotipi arenaceo-calcareo-marnosi e terreni argillosi, con caratteristiche permeabili fortemente differenti, favorisce l'insorgere di fenomeni gravitativi causati dalla presenza di acqua.

Nell'ambito del territorio comunale i fenomeni di instabilità legati all'azione delle acque superficiali sono distribuiti prevalentemente lungo i principali impluvi. Infatti, lungo il Torrente Zuccariello, e soprattutto nell'area centrale del territorio in corrispondenza del centro abitato, sono presenti diverse aree in dissesto riconducibili a fenomeni scalzamento al piede ed erosione delle sponde.

**Dal punto di vista litologico**, quasi tutte le litologie presenti nel territorio comunale fanno parte di successioni sedimentarie di età meso-cenozoica che hanno avuto origine in ambienti di bacino e di scarpata. Oltre a queste sono presenti anche successioni sinorogene e tardorogene di avanfossa. A copertura delle suddette litologie si ritrovano vari lembi di depositi continentali di età quadernaria costituiti da depositi gravitativi di versante e da depositi alluvionali. Più in dettaglio, le successioni meso-cenozoiche sono ascrivibili, in riferimento all'inquadramento geologico regionale, all'Unità del Sannio e all'Unità del Fortore. Le successioni sinorogene e tardorogene sono rappresentate dal Flysch di San Bartolomeo. Le varie litologie presenti sono state raggruppate per ambiente deposizionale, e quindi come di seguito:

- depositi marini meso-cenozoici e cenozoici;
- depositi continentali recenti e attuali.

Nell'ambito dei **depositi marini meso-cenozoici** sono state distinte le seguenti formazioni:

- |                                          |   |                    |
|------------------------------------------|---|--------------------|
| ➤ Formazione di Corleto Perticara (CPA)  | } | UNITA' DEL FORTORE |
| ➤ Gruppo delle Argille Variegate (AV)    |   |                    |
| ➤ Formazione di San Giorgio (GGM)        |   |                    |
| ➤ Formazione del Flysch Rosso (FYR)      | } | UNITA' DEL SANNIO  |
| ➤ Formazione del Flysch Numidico (FYN)   |   |                    |
| ➤ Formazione di Fragneto Montforte (UFM) |   |                    |
| ➤ Flysch di San Bartolomeo (SBO)         |   |                    |

La **Formazione di Corleto Perticara (CPA)**, appartenente nell'ambito del territorio comunale all'Unita del Fortore, e costituita da argille e argille siltose grigie e giallastre, con intercalazioni di marne e marne calcaree di colore rosso, grigio e verde chiaro, calcilutiti e calcari marnosi di colore giallo marrone, in strati da sottili a spessi, a frattura concoide e prismatica. Affiora ampiamente nella zona meridionale del territorio comunale, dove costituisce l'ossatura del Toppo Venditto, e a nord dell'abitato, dove costituisce l'ossatura del M. Barbato, al confine con il territorio di San Bartolomeo in Galdo. A causa della natura prevalentemente argillosa e delle intercalazioni litoidi, che favorendo l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo determinano la plasticizzazione delle argille, le aree di affioramento di questa formazione geologica sono spesso interessate da fenomeni franosi. E il caso della frana in località Pisciarelli. Nel territorio è presente anche la litofacies pelitico – calcarea (CPAb), formata da argille e argille siltose, calcilutiti e da alternanze di argilliti, marne silicizzate, calcari marnosi, calcareniti grigio chiaro, argille scagliose rosse, marne selcifere rosse e violacee, marne calcaree, calcareniti e calcari arenacei, inglobanti olistoliti carbonatici.

Il **Gruppo delle Argille Variegate (AV)**, sempre appartenente all'Unita del Fortore, e rappresentata da una successione a prevalente componente argillitica, che si presenta con un generale assetto caotico. Litologicamente è costituita da argille di colore grigio, verde, rosso e violaceo, in strati sottili ed argille marnose scagliettate con intercalazioni di marne brune o rossastre, calcari marnosi, calcilutiti bioclastiche. Torbiditi calcaree e depositi emipelagici di ambiente di bacino e di scarpata. Questi terreni possono presentare spessori fino a 500 m. Le argille affiorano estesamente nella parte centro occidentale del comune, nel settore a nord del centro abitato e nella parte orientale al confine con la provincia di Foggia. Data la natura caotica e le pendenze morfologiche del territorio comunale, questo litotipo è spesso interessato da fenomeni franosi, che sono dovuti soprattutto alla plasticizzazione della parte più superficiale soggetta alla presenza di acqua. La maggior parte dei fenomeni di instabilità si concentra nelle aree dove affiorano le argille nella parte a Nord del centro abitato, dove è presente, ad esempio, la frana nota come "Argaria".

La **Formazione di San Giorgio (GGM1)** inserita nell'Unita del Fortore così come la Formazione di Corleto Perticara descritta in precedenza, e formata, nell'area in studio, da arenarie quarzo-feldspatiche e quarzose a grana media e fine, e subordinati micro conglomerati granulari in strati e banchi amalgamati, con intercalazioni di calcareniti, calcari marnosi e marne. Queste litologie affiorano in una ristretta

fascia, che presenta una direzione Nord-Sud a partire da Piano del Casino fino quasi alle sponde del torrente Zuccariello.

- La **Formazione del Flysch Rosso (FYR)**, associata all'Unità del Sannio, è costituita da successioni prevalentemente argilloso-marnose con frequenti intercalazioni calcareo-clastiche e subordinatamente calcareo-marnoso-pelitiche (**FYR**) e da un membro calcareo (**FYR2**). Si tratta di alternanze di argille e marne argillose di colore rosso, verde e grigio con intercalazioni di calcareniti e calcilutiti; localmente si rinvencono argille scagliose policrome, con giacitura caotica, inglobanti pezzame lapideo calcareo marnoso, diasprigno e arenaceo - marnoso. Il membro calcareo (FYR2) è costituito da calcareniti e calciruditi di colore biancastro e grigio chiaro, in strati anche di grosso spessore, con intercalazioni di brecciole calcaree ben cementate, marne rossastre e argille rosso-bruno e verdastre laminate; calcareniti fini, in strati medi e sottili, con inclusi liste e noduli di selce, alternate a strati di argille e marne rossastre e verdastre, a luoghi scagliettate.
- La litofacies pelitica (**FYRb**) è formata da argille marnose e siltose, argilliti, con stratificazione interna piano – parallela o ondulata; calcilutiti laminate, marne e marne calcaree in strati sottili.
- La **Formazione del Flysch Numidico (FYN)**, associata all'Unità del Sannio, è costituita da alternanze di quarzoareniti torbiditiche grigiastre, giallastre, in strati anche gradati, con clasti arrotondati e smerigliati di quarzo, a grana variabile da fine a grossolana, con intercalazioni di argille siltose e marnose. Alla base sottili intercalazioni di argille siltoso – marnose. Localmente alla base è presente una litofacies calcarea (FYNc), spessa fino a 50 – 100 m, costituita da alternanze di quarzo areniti, calcareniti con clasti di quarzo, argille siltose e marnose, calcareniti e brecciole calcaree con frammenti di lamellibranchi, peliti.
- La **Formazione Fragneto Monforte (UFM)**, associata all'Unità del Sannio, è costituita da strati e banchi massivi di arenarie quarzose e quarzoso-litiche-feldspatiche giallastre a grana media e fine, alternate ad argille ed argille siltose verdastre e grigie. Si tratta di depositi prevalentemente torbiditici, organizzati in strati e banchi massivi di ampia estensione laterale, in alternanza a marne ed argille di ambiente pelagico. Lo spessore è di circa 100 metri. Nel territorio comunale affiora nella parte occidentale nell'area del vallone S. Giovanni e in località Lamarello.
- Il **Flysch di San Bartolomeo (SBO)** nel territorio comunale è rappresentato da due membri: il membro Conglomeratico – Arenaceo (SBO1) e il membro Arenaceo – Pelitico (SBO2). Il primo è costituito da alternanze ritmiche di arenarie arcose e arcoseo-litiche e micacee, argille ed argille marnose. Il secondo è costituito da arenite feldspatiche immature, in strati e banchi massivi. Paraconglomerati poligenici con matrice sabbiosa e livelli di conglomerati poligenici clasto sostenuti, microconglomerati quarzoso litici ed arenarie grossolane. Nel territorio affiorano nella porzione centro – orientale e nella zona del centro storico di Foiano di Val Fortore.
- **Depositi alluvionali (ba)**: si tratta di sabbie e ghiaie poligeniche, paraconglomerati a matrice sabbioso-limosa, con livelli decimetrici di sabbie limose e limi argillificati. Depositi fluviali in alveo e si ritrovano lungo il letto del Torrente Zuccariello e lungo l'alveo del Fiume Fortore.
- **Coltre eluvio colluviale (b2)**: si tratta di limi argillosi bruni con piccoli ciottoli, sabbie e ghiaie arrossate.

- **Alluvioni attuali (bb):** si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi e limosi attualmente in formazione lungo l'alveo del Torrente Zuccariello e lungo l'alveo del Fiume Fortore.

- **Depositi di Frana (a1a):** terreni senza struttura, prevalentemente argillosi o argilloso-marnosi, con elementi litoidi provenienti dal substrato, con indizi nel caso di evoluzione in atto, ovvero, evoluzioni stagionali che si manifestano con deformazioni plastiche che generano nei versanti forme concavo-convexe e, a luoghi, con fenomeni di rottura del terreno. Sono presenti in modo abbastanza diffuso sul territorio comunale, anche se prevalgono in corrispondenza delle aree di affioramento delle litologie argillose e in prossimità degli impluvi in erosione. Per quel che concerne la caratterizzazione geomorfologica di dettaglio del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che le aree in esame sono caratterizzate dalla presenza di fenomeni di dissesto geomorfologico di versante. L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Unit of Management Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore.

Si riporta la cartografia relativa:

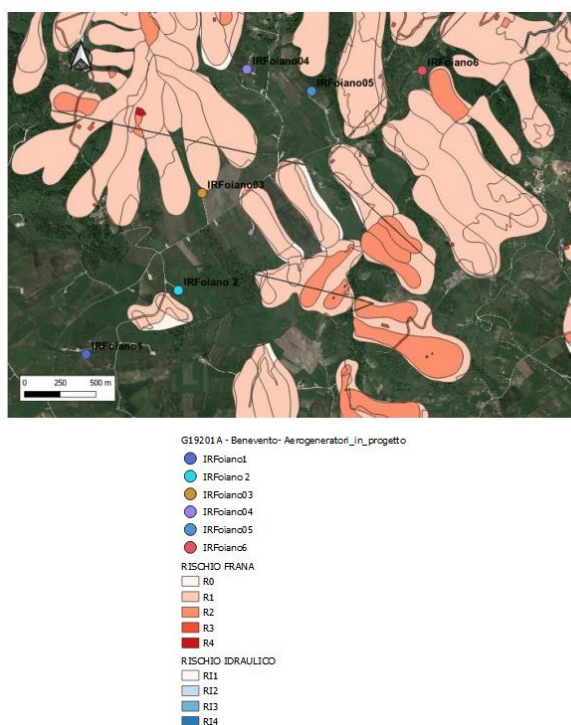


Figura 1 – Stralcio del P.S.A.I. – Rischio da frana e idraulico (Zona Sud)



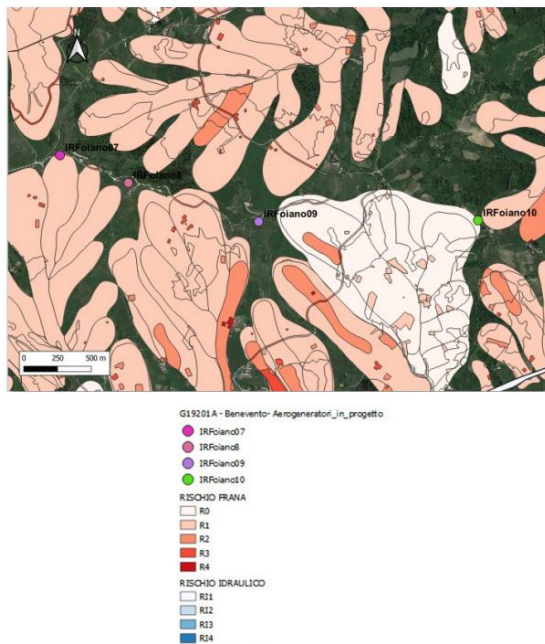


Figura 2 – Stralcio del P.S.A.I. – Rischio da frana e idraulico (Zona Nord)

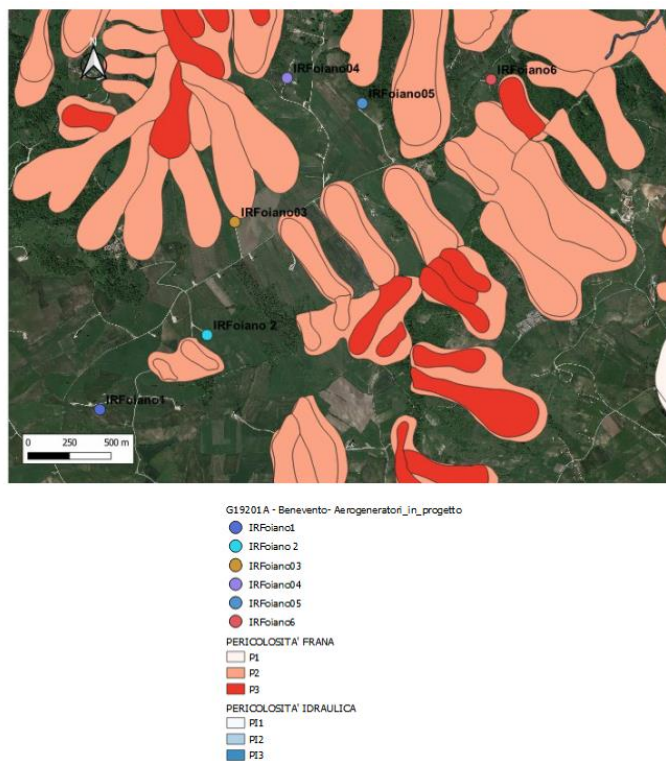


Figura 3 – Stralcio del P.S.A.I. – Pericolosità da frana e idraulico (Zona Sud)

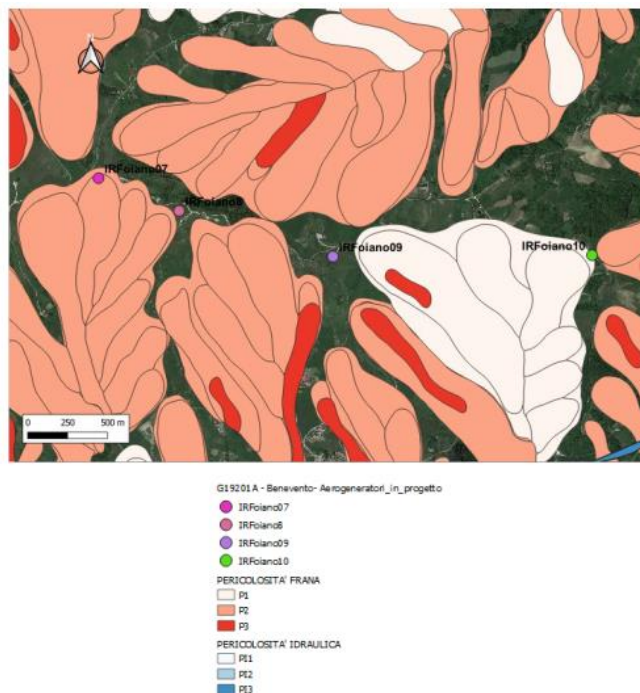


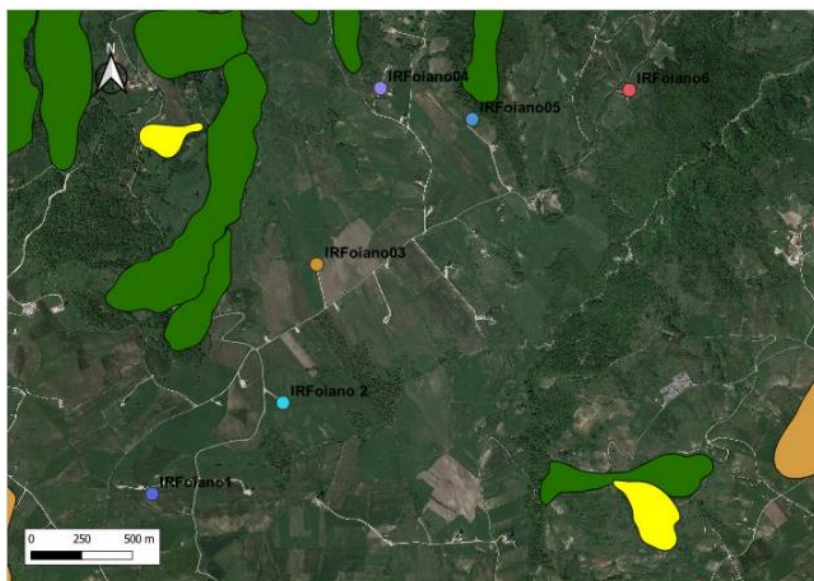
Figura 4 – Stralcio del P.S.A.I. – Pericolosità da frana e idraulico (Zona Nord)

Per quanto concerne i siti in esame, solamente **IR Foiano 07** e **IR Foiano 10** risultano essere interessati da perimetrazioni di rischio e pericolosità frana. Nessuno dei siti di indagine invece rientra in perimetrazioni di rischio e pericolosità idraulica definite dai Piani di Bacino.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i siti oggetto di indagine e le perimetrazioni Pai insistenti nelle aree esaminate:

SITO	RISCHIO	RISCHIO	PERICOLOSITA'	PERICOLOSITA'
	FRANA	IDRAULICO	FRANA	IDRAULICA
<b>IR Foiano 01</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 02</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 03</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 04</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 05</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 06</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 07</b>	PRESENTE R1	ASSENTE	PRESENTE P2	ASSENTE
<b>IR Foiano 08</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 09</b>	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
<b>IR Foiano 10</b>	PRESENTE R0	ASSENTE	PRESENTE P1	ASSENTE

Si riporta di seguito la cartografia relativa all'Inventario **Fenomeni Franosi in Italia (IFFI)**:



- G19201A - Benevento- Aerogeneratori\_in\_progetto
- IRFoiano01
  - IRFoiano 2
  - IRFoiano03
  - IRFoiano04
  - IRFoiano05
  - IRFoiano06
- Catalogo frane - Frane poligonali
- Crollo/ribaltamento
  - Scivolamento rotazionale
  - Espansione
  - Colamento lento
  - Colamento rapido
  - Sprofondamento
  - Complesso
  - n.d.

Figura 5 – Stralcio dell' Inventario Fenomeni Franosi dell'area di studi (Zona Sud)

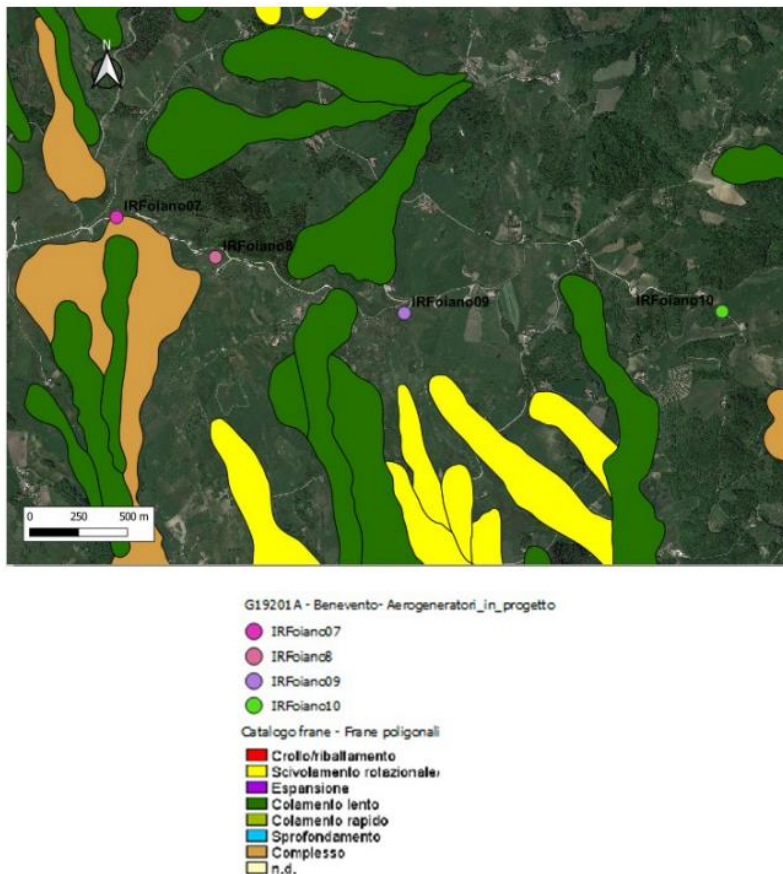


Figura 6 – Stralcio dell' Inventario Fenomeni Franosi dell'area di studi (Zona Nord)

Dalla cartografia sopra riportata si evince che tra i diversi siti oggetto d'esame solo **IR Foiano 07** ricade in una perimetrazione di frana complessa riportata dall'IFFI. Come mostrato dalla sottostante immagine, l'area oggetto di studi non è perimetrata in alcuna zona con presenza di **cavità naturali e/o antropiche**.



Figura 7 – Stralcio della carta delle cavità naturali

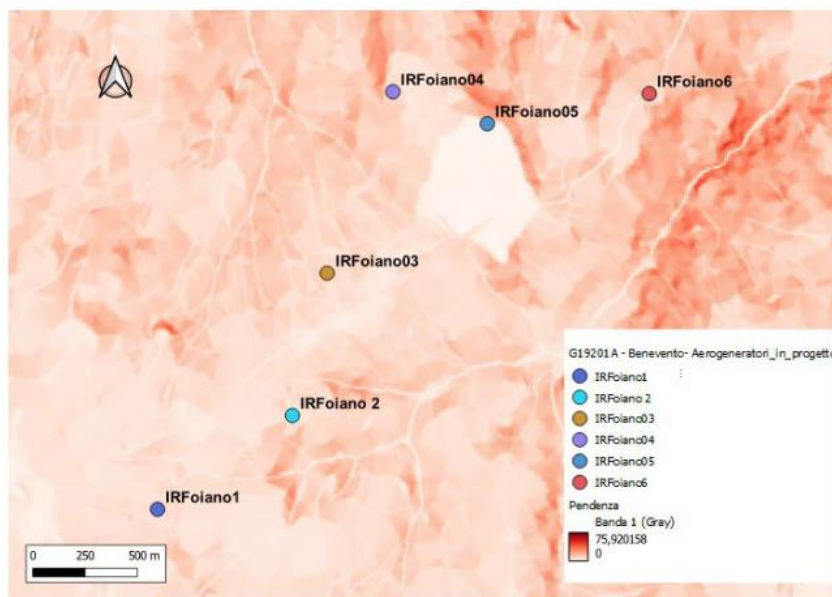


Figura 8 – Carta delle pendenze (zona Sud)

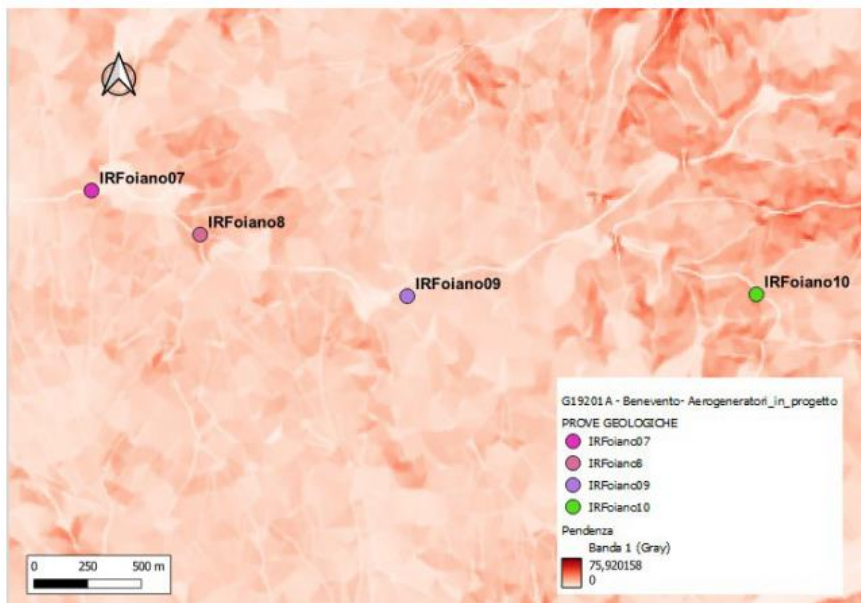


Figura 9 – Carta delle pendenze (zona Nord)

## 2 Inquadramento idrografico ed idrogeologico del territorio

Lo schema generale della circolazione idrica sotterranea dell'area di studio risulta strettamente

connessa alla natura litologica ed allo spessore dei depositi che ne costituiscono la sequenza stratigrafica tipo.

Dal punto di vista idrografico, il sistema compreso nel territorio comunale di Melito Irpino è costituito da una serie di valli e vallette variamente orientate con sezioni diverse a seconda dei terreni su cui esse sono impostate; le loro larghezze sono di pochi metri se sono impostate su sedimenti litoidi, mentre, se attraversano terreni "teneri" esse hanno una larghezza anche varie decine di metri. Il territorio comunale è diviso in due principali settori drenanti se si tiene conto dello spartiacque superficiale, uno con terminazione a sud in direzione della valle dell'Ufita e un in direzione NE all'interno del Vallone Losbergo. L'intero sistema drenante del settore che si estende da Nord - Est a Sud-Est fa capo ad un solo corso d'acqua principale: il Fiume Ufita. Le caratteristiche idrografiche del settore sono in ogni modo condizionate dalla quantità delle precipitazioni meteoriche annuali. Nell'ambito del bacino imbrifero del fiume Ufita, per la parte compresa nel territorio comunale di Melito Irpino, sono presenti numerosi rami secondari di modesta lunghezza (alcune centinaia di metri) e con stretti alvei.

Il fiume Ufita nasce dall'unione di diversi rami sorgentizi provenienti dalle alture della Baronia in provincia di Avellino, scorre per lunghi tratti in direzione nord-ovest attraversando l'ampia vallata omonima (ove riceve le acque del torrente Fiumarella), lambisce quindi la provincia di Benevento per poi penetrarvi riversandosi infine, qualche chilometro dopo aver ricevuto l'affluente Miscano, nel fiume Calore Irpino all'altezza di Apice - Sant'Arcangelo.

Il territorio regionale è interessato da formazioni con diverse caratteristiche di permeabilità. Le stesse formazioni sono inoltre diversificate e disperse in diversi sottotipi che rendono molto difficile una delimitazione delle aree potenzialmente sedi di circolazioni idriche sotterranee. L'assetto idrogeologico, inoltre, è condizionato dall'assetto stratigrafico-strutturale del settore di catena in esame. I complessi litologici a maggiore permeabilità sono quelli costituiti da successioni calcaree e da successioni dolomitiche. I primi sono contraddistinti da elevata permeabilità per fratturazione e per carsismo, i secondi da permeabilità medio-alta per fratturazione. I complessi litologici calcareo-marnosi-argillosi presentano permeabilità variabile da media ad alta laddove prevalgono i termini carbonatici in relazione al grado di fratturazione e di carsismo, da media a bassa ove prevalgono i termini pelitici. In quest'ultimo caso tali successioni svolgono un ruolo di impermeabile relativo a contatto con le strutture idrogeologiche carbonatiche. I complessi litologici arenaceo-argillosi presentano permeabilità variabile da media a bassa, in relazione alla prevalenza dei termini pelitici.

Al loro interno la circolazione idrica è modesta e avviene in corrispondenza dei livelli a permeabilità maggiore. Questo complesso litologico, a contatto con le strutture idrogeologiche carbonatiche svolge un ruolo di impermeabile. Nell'area in esame sono presenti, inoltre complessi litologici conglomeratici e sabbiosi, caratterizzati da permeabilità da media a bassa in relazione alla granulometria ed allo stato di addensamento e/o di cementazione del deposito. Questi complessi litologici presentano una circolazione idrica in genere modesta, frammentata in più falde con recapito in sorgenti di importanza locale.

A questi vanno aggiunti complessi litologici delle ghiaie, sabbie ed argille alluvionali, e dei detriti, che presentano un grado di permeabilità estremamente variabile da basso ad alto in relazione alle caratteristiche granulometriche, allo stato di addensamento e/o di cementazione del deposito. Il deflusso idrico ha luogo in corrispondenza dei livelli a permeabilità maggiore. Questi, allorché sono a contatto con idrostrutture carbonatiche possono ricevere cospicui travasi da queste ultime. In corrispondenza dei complessi vulcanici si rinvengono il complesso delle lave, il complesso dei tufi e quello delle piroclastiti. Il complesso delle lave è caratterizzato da permeabilità da medie ad alte in

relazione al grado di fessurazione; nel complesso dei tufi la permeabilità assume valori da bassi a medio bassi in relazione allo stato di fessurazione e/o allo stato di addensamento.

L'idrogeologia del territorio è alquanto complessa ed articolata a causa della forte eterogeneità dei terreni. Infatti, le litologie presenti sono caratterizzate da una permeabilità molto variabile in funzione delle variazioni di facies delle varie formazioni geologiche. La permeabilità, appunto, è variabile da strato a strato e dipende dalla granulometria e dal grado di fratturazione dei livelli lapidei.

In linea generale, i terreni sono caratterizzati da una permeabilità medio-alta nei livelli litoidi e sabbiosi e da una permeabilità bassa nelle varie intercalazioni argillose. In questo modo l'acqua, trovando vie preferenziali di infiltrazione e di percolazione nei livelli più permeabili, crea un sistema di livelli di falde sovrapposte variamente interconnesse.

Sul territorio questa caratteristica si esplicita attraverso la presenza di falde superficiali stagionali (profondità comprese tra 0 e 5 m dal piano campagna) e falde perenni, siano esse superficiali o profonde. Le prime, ovvero le stagionali, sono presenti in modo discontinuo su quasi tutto il territorio comunale, nei periodi invernali e primaverili, quando si ha il massimo apporto idrico ad opera delle piogge e dello scioglimento dei manti nevosi. Si formano nelle coltri superficiali di alterazione e nei primi metri dei terreni argillosi. Le seconde, ovvero le perenni, sono presenti nelle aree dove affiorano terreni a medio-alta permeabilità, che nel territorio comunale, generalmente, sono quelle che alimentano le sorgenti e i pozzi.

I depositi affioranti sono stati accorpati tenendo conto del comportamento assunto nei confronti dell'infiltrazione e delle modalità del deflusso idrico sotterraneo, al fine di facilitare la lettura delle problematiche idrogeologiche del territorio. Sono state riportate, inoltre le sorgenti (classificate in funzione della portata) e i pozzi. È stato possibile definire quindi i seguenti complessi idrogeologici.

- **Complesso detritico (Dt):** il complesso è costituito essenzialmente da un'alternanza di frammenti lapidei, di natura calcarea, marnosa ed arenacea. Il grado di permeabilità dell'intero complesso si può considerare medio-alto, anche se molto variabile da zona a zona, in funzione della granulometria dei depositi e della presenza e tipologia della matrice sottile. La capacità ricettiva dell'acquifero è piuttosto elevata sia nei confronti dell'alimentazione diretta che nei confronti dell'alimentazione proveniente dagli acquiferi adiacenti.

- **Complesso alluvionale (a):** il complesso è costituito da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limo-argillosi di fondovalle. Esso è permeabile per porosità ed il grado di permeabilità dell'intera associazione litologica si può considerare medio - alto, anche se in realtà, come per il complesso detritico, variabile da zona a zona in funzione della granulometria dei depositi.

La capacità ricettiva dell'acquifero alluvionale è complessivamente buona, sia nel caso dell'alimentazione diretta, sia nel caso dell'alimentazione proveniente dagli acquiferi adiacenti. A causa della sostanziale caoticità che caratterizza la giacitura dei vari litotipi (con lenti più o meno estese e tra loro interditate a depositi con differente grado di permeabilità), la circolazione idrica sotterranea è preferenzialmente basale.

- **Complesso arenaceo – molassico (Am):** il complesso è costituito da molasse ed arenarie grossolane, gradate ed alternate, particolarmente nei settori basali, a livelli di puddinghe. Caratteristica è la circolazione idrica sub superficiale, che si sviluppa con la superficie piezometrica a profondità di 5-6 m dal piano campagna, accolta prevalentemente entro le coltri superficiali, rese permeabili dall'alterazione subaerea, e generalmente limitata dalla roccia sottostante, che, più o



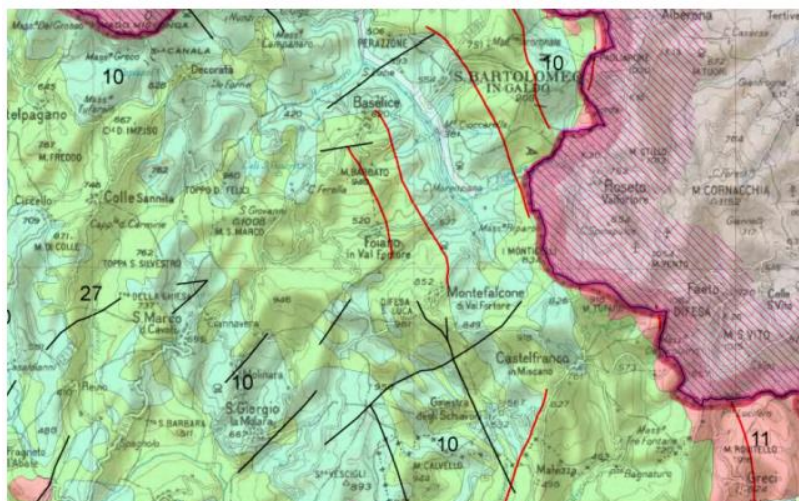
meno integra, funge da impermeabile relativo. Il complesso, diffusamente presente nel settore centrale del territorio e caratterizzato da un grado di permeabilità da basso a medio per porosità e fratturazione.

- **Complesso calcarenitico (cr)**: il complesso è costituito da brecce calcaree e calcareniti, con livelli di marne e argille policrome. La circolazione idrica è relativamente limitata ai livelli prevalentemente carbonatici più intensamente fratturati. Il grado di permeabilità oscilla tra il medio e l'alto proprio in funzione del diverso grado di fratturazione che caratterizza l'intero complesso.

- **Complesso argilloso – marnoso (Arm)**: il complesso è costituito da argille e marne siltose, grigie e varicolori, con intercalazioni di calcari e calcari marnosi, di calcareniti ed arenarie, talora grossolane. Generalmente la circolazione idrica sotterranea è relativamente superficiale e si sviluppa entro le coltri superficiali alterate ed è limitata inferiormente dal substrato, non alterato, che funge da impermeabile relativo. Il grado di permeabilità è basso, anche se talvolta può essere caratterizzato da un valore medio-basso in funzione del diverso grado di alterazione di cui si è detto in precedenza. Per questo motivo, tale complesso, diffusamente presente nel territorio di Foiano di Val Fortore, si comporta sempre da impermeabile relativo.

- **Complesso delle Argille Variegate (AV)**: il complesso è costituito da argille e argille siltose, generalmente con intercalazioni di calcari e di arenarie. La permeabilità è per porosità ed il grado di permeabilità relativo è complessivamente basso e/o pressoché nullo. L'infiltrazione efficace è pertanto di modesta entità, a causa della scarsa ricettività complessiva dell'acquifero, che anche si comporta come impermeabile.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici di dettaglio del territorio in cui è compresa l'area di studio, la circolazione delle acque superficiali risente fortemente delle caratteristiche litologiche di cui sopra, essendo condizionata essenzialmente dall'assetto litostratigrafico e tettonico. Per quel che concerne la caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del lotto in esame, durante le indagini eseguite non è stata rilevata la presenza di falda superficiale. L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Unit of Management Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore. Detta area risulta ESCLUSA da qualsiasi perimetrazione di RISCHIO IDRAULICO definito dai piani di bacino. L'area in esame, dal punto di vista idrogeologico risulta appartenere al Complesso arenaceo – conglomeratico e al Complesso argilloso – calcareo delle unità Sicilidi.



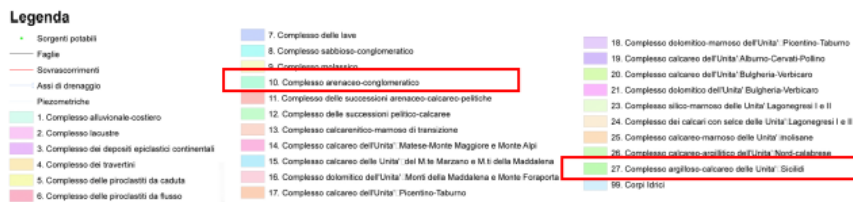


Figura 10 – Carta dei complessi idrogeologici della Campania.

### 3 Caratterizzazione geologica di dettaglio dell'area

Per la ricostruzione delle caratteristiche geologiche, geotecniche e geofisiche di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geotecniche in sito e geofisiche.

Le indagini geotecniche in sito sono consistite in:

- n. 04 prospezioni penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH),

Le indagini geofisiche in sito sono infine consistite in:

- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologie di indagine denominata "sismica a rifrazione" e "tomografia sismica" eseguite mediante installazione di n° 01 stendimento sismico denominato ss1;
- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine "MASW" m1.

Una corretta ubicazione delle indagini eseguite è riportata, di seguito, in figura 11.

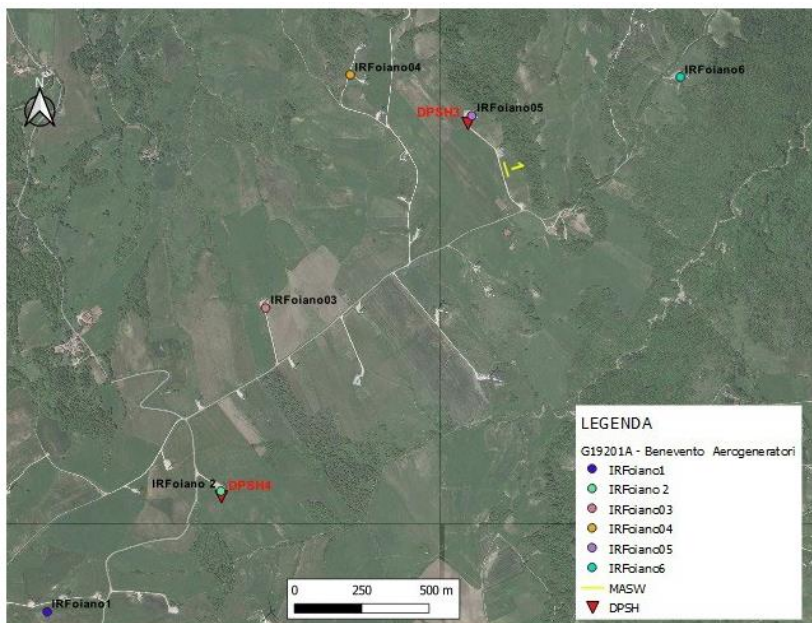


Figura 11 – Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite (Foiano di Val Fortore zona Sud)



Figura 12 – Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite (Foiano di Val Fortore zona Nord)

### 3.1 Indagini geotecniche eseguite in sito

In questo paragrafo sono descritte le indagini geotecniche in sito effettuate nell'area di studio, consistite precisamente in:

- N° 04 Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH, denominata DPSH1, DPSH2, DPSH3, DPSH4 e spinta rispettivamente fino ad una profondità pari a 5.80 metri, 5.60 metri, 4.80 metri, 4.60 metri dal p.c. L'indagine geotecnica in sito denominata DPSH1 è stata eseguita, nel mese di NOVEMBRE 2023, dalla Impresa Certificata SOA, attestazione N.° 712363/01 denominata GEOSECURE SRL.

La prova penetrometrica dinamica DPSH (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione. Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento. L'attrezzatura è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro con diametro di 32 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 60°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano campagna, ma in alcuni casi può essere anche condotta come proseguimento di una prova statica interrotta a causa di un livello ad elevata resistenza. Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

### 3.2 Indagini geofisiche eseguite nell'area di studio

È stata eseguita, nell'area allo studio, una campagna di indagini geofisiche in sito risultata costituita, nello specifico, da:

- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologie di indagine denominata "sismica a rifrazione" e "tomografia sismica" eseguite mediante installazione di n° 01 stendimento sismico denominato ss1;
- n° 02 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine "MASW" m1.

Le indagini geofisiche sono state eseguite dalla Ditta GEOSECURE SRL, nel mese di NOVEMBRE 2023: nell'ALLEGATO SISMICO (Allegato N. 2) sono riportati gli elaborati relativi alle indagini geofisiche eseguite e la corretta ubicazione delle indagini stesse. I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame: nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- Vs Equivalente M1 pari a 447 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B;
- Vs Equivalente M2 pari a 423 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B.

Calcolato, quindi il valore di Vs eq valido per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come "Rocce

tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s", secondo il D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

## 4 Modello geologico valido per l'area di studio

La consultazione dei dati di Letteratura disponibili per l'area di studio, la diretta osservazione di campo ottenuta durante il rilevamento geologico di dettaglio effettuato sia direttamente nell'area di intervento che nelle zone adiacenti (al fine di ampliare la visione dei terreni affioranti e delle strutture geologiche presenti) e le ricostruzioni lito-stratigrafiche derivanti dalla consultazione dei sondaggi geognostici eseguiti in passato nelle immediate vicinanze del lotto in esame, opportunamente verificati mediante le informazioni acquisite dalla lettura dei risultati provenienti dall'esecuzione della campagna di indagini geotecniche e geofisiche in sito, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame. Per il sito di specifico interesse è pertanto possibile definire i due seguenti modelli geologici di riferimento:

### **FOIANO DI VAL FORTORE - ZONA NORD (Aerogeneratori da 7 a 10)**

- 0 m ÷ 1,00 = Terreno vegetale;
- 1,00 ÷ 3,90 m = Depositi di argille e marne prevalentemente siltose poco consistenti;
- 3,90 ÷ 5,70 m = Depositi di argille e marne argillose con calcari, mediamente consistenti;

N.B. A seguire, fino a 30,00 mt= "Depositi torbiditici di argille e marne con calcari da mediamente a molto consistenti."

### **FOIANO DI VAL FORTORE - ZONA SUD (Aerogeneratori da 1 a 6)**

- 0 m ÷ 0,90 = Terreno vegetale;
- 0,90 ÷ 3,10 m = Depositi torbiditici di argille e marne poco consistenti;
- 3,10 ÷ 4,70 m = Depositi torbiditici di argille e marne con calcari e brecciole calcaree nella parte bassa, mediamente consistenti;

N.B. A seguire, fino a 30,00 mt= "Depositi torbiditici argillosi e argilloso calcarei con sabbie ed arenarie da mediamente a molto consistenti."

Dall'esecuzione della prospezione geotecnica in sito di tipo **DPSH** eseguita nell'area è stato possibile produrre differenti tabelle mostranti i parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione.

### **FOIANO DI VAL FORTORE - ZONA NORD (Aerogeneratori da 7 a 10)**

STRATO	Spessore dello strato (m)	N <sub>spt</sub>	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo φ	Coefficiente spinta a Riposo K <sub>0</sub>	Mod. Edometri co E <sub>co</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>c</sub> Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0.00 A METRI 1.20	2	Coesivo	0.13	1.37	1.85	20.57	0.65	25.00	20.00	4.00
2	DA METRI 1.20 A METRI 3.80	8	Coesivo	0.56	1.46	1.91	22.38	0.62	104.13	83.30	16.66
3	DA METRI 3.80 A METRI 5.80	35	Coesivo	2.38	1.74	2.08	30.05	0.50	351.90	351.90	70.38
4	DA METRI 5.80 A METRI 30.00	-	Coesivo	2.43	1.79	2.10	31.20	0.49	375.20	375.20	72.33

Figura 13 – Prova N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	N <sub>spt</sub>	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo φ	Coefficiente spinta a Riposo K <sub>0</sub>	Mod. Edometri co E <sub>co</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>c</sub> Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0.00 A METRI 1.00	2	Coesivo	0.13	1.37	1.85	20.6	0.65	26.38	21.10	4.22
2	DA METRI 1.00 A METRI 4.00	8	Coesivo	0.55	1.45	1.90	22.32	0.62	101.50	81.20	16.24
3	DA METRI 4.00 A METRI 5.60	34	Coesivo	2.32	1.74	2.08	29.83	0.50	344.10	344.10	68.82
4	DA METRI 5.60 A METRI 30.00	-	Coesivo	2.46	1.81	2.11	30.10	0.49	351.60	351.60	72.05

Figura 14 – Prova N.2

**FOIANO DI VAL FORTORE - ZONA SUD (Aerogeneratori da 1 a 6)**

STRATO	Spessore dello strato (m)	N <sub>spt</sub>	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo φ	Coefficiente spinta a Riposo K <sub>0</sub>	Mod. Edometrico E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>e</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>c</sub> Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0.00 A METRI 0.80	2	Coesivo	0.12	1.37	1.85	20.54	0.65	23.50	18.80	3.76
2	DA METRI 0.80 A METRI 3.00	7	Coesivo	0.48	1.45	1.90	22.19	0.62	95.75	76.60	15.32
3	DA METRI 3.00 A METRI 4.80	36	Coesivo	2.45	1.75	2.09	30.36	0.50	362.60	362.60	72.52
4	DA METRI 4.80 A METRI 30.00	-	Coesivo	2.61	1.84	2.12	30.95	0.49	396.80	396.80	75.22

Figura 15 – Prova N.3

STRATO	Spessore dello strato (m)	N <sub>spt</sub>	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo φ	Coefficiente spinta a Riposo K <sub>0</sub>	Mod. Edometrico E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>e</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>c</sub> Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0.00 A METRI 1.00	1	Coesivo	0.09	1.36	1.85	20.43	0.65	18.75	15.00	3.00
2	DA METRI 1.00 A METRI 3.20	8	Coesivo	0.56	1.46	1.91	22.39	0.62	104.38	83.50	16.70
3	DA METRI 3.20 A METRI 4.60	27	Coesivo	1.86	1.67	2.04	27.86	0.53	275.10	275.10	55.02
4	DA METRI 4.60 A METRI 30.00	-	Coesivo	1.98	1.73	2.08	28.09	0.51	302.20	302.20	59.55

Figura 16 – Prova N.4

## 5 Verifiche di sicurezza

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure indicate nelle NTC'18 al § 2.6. Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_d < R_d \quad [1]$$

essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni:

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ed  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione:



$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti. I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

## 5.1 Azioni

I coefficienti parziali relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. delle NTC2018. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità. Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel Capitolo 2.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G2}$

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2. II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_V$	$\gamma_V$	1,0	1,0

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono in funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera, come definito nel §2.4.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $TC^*$ : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) di cui al § 3.2.1; quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (SLD) di cui allo stesso § 3.2.1. Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 7, oppure con i  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 6 laddove non espressamente specificato.

## 6 Fondazioni superficiali

La profondità del piano di posa della fondazione deve essere scelta e giustificata in relazione alle caratteristiche e alle prestazioni della struttura in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali. Il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua. In situazioni nelle quali sono possibili fenomeni di erosione o di scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale, le fondazioni devono essere poste a profondità tale da non risentire di questi fenomeni o devono essere adeguatamente difese. In presenza di azioni sismiche, oltre a quanto previsto nel presente paragrafo, le fondazioni superficiali devono rispettare i criteri di verifica di cui alle NTC'18 § 7.11.5.3.1.

### 6.1 Verifiche agli stati limite ultimi

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni. Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa;
- stabilità globale.

- SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

**Tab. 6.4.I** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

## 6.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

Al fine di assicurare che le fondazioni risultino compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§ 2.2.2 e §2.6.2), si deve verificare il rispetto della condizione [6.2.7], calcolando i valori degli spostamenti e delle distorsioni nelle combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3, tenendo conto anche dell'effetto della durata delle azioni. Forma, dimensioni e rigidità della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

## 7 Fondazioni profonde

Per la verifica a carico limite si adotta l'approccio 2 con un'unica combinazione di carico A1+M1+R3, secondo le modalità espresse al §6.4.3 NTC 2018. La valutazione del carico limite verticale del palo è effettuata attraverso le formule statiche. Ai fini del calcolo, il carico limite di un palo  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta  $P$  e la resistenza laterale  $S$ :

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \int_0^L s(z) dz$$

dove con 'p' si indica la resistenza unitaria alla punta, con 's' la resistenza allo scorrimento all'interfaccia laterale palo-terreno, con 'd' il diametro e con 'L' la lunghezza del palo. La suddivisione è convenzionale in quanto gli sforzi laterali ed alla punta vengono mobilitati con il cedimento secondo leggi alquanto diverse, e non necessariamente mono tonicamente crescenti; pertanto non è detto che, a rottura, siano contemporaneamente agenti le resistenze massime  $P$  ed  $S$ . Nel calcolo di 'p' ed 's' si prescinde dall'interazione dei due fenomeni di rottura. Per la resistenza alla punta si pone:

$$P = N_q \sigma_{vl} + N_c c$$

dove  $\sigma_{vl}$  rappresenta la tensione litostatica verticale alla profondità  $L$ , e cioè quella che agisce sul piano orizzontale passante per la punta del palo. Per  $N_c$  vale la formula di trasformazione:

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

Il valore di  $N_q$  è dato dall' abaco di Berentzantzev valido per pali di piccolo diametro:

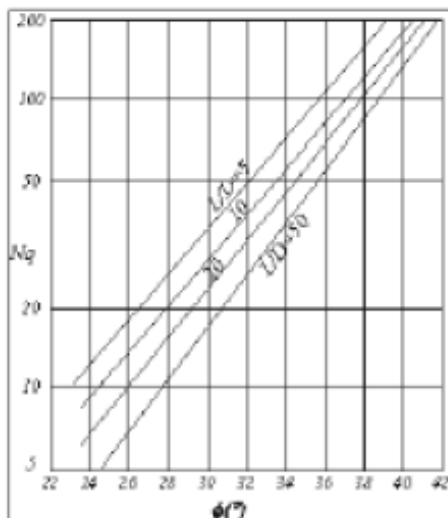


Figura 17 – Abaco di Berentzantzev

Per la resistenza laterale, detta  $s_h = k\sigma'_{vz}$  la tensione normale orizzontale agente alla profondità  $z$  si pone:

$$s = \alpha + k\mu\sigma'_{vz}$$

nella quale  $\alpha$  è un termine coesivo,  $\mu$  un coefficiente di attrito tra palo e terreno,  $k$  un coefficiente di spinta e  $\sigma'_{vz}$  la tensione effettiva litostatica alla profondità  $z$ . Il coefficiente  $\mu$  dipende dalla scabrezza dell'interfaccia tra palo e terreno ed ha come limite superiore  $\tan(\phi)$ . I valori di  $k$  adottati sono individuati nella tabella seguente:

Tipo di palo	Valori di $k$ per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	Sciolto	denso	
Prefabbricato	1	2	$\tan(3\phi/4)$
Gettato in opera	1	3	$\tan(\phi)$
Trivellato	0,5	0,4	$\tan(\phi)$
Trivellato - pressato con elica continua	0,7	0,9	$\tan(\phi)$

Per il termine coesivo si assume  $s = \alpha c$  con  $\alpha$  dato da:

Tipo di palo	Valori di $c$ (kPa)	Valori di $\alpha$
Battuto	$c \leq 25$	1,0
	$25 < c < 70$	$1 - 0,011(c - 25)$
	$c > 70$	0,5
Trivellato	$c \leq 25$	0,7
	$25 < c < 70$	$0,7 - 0,008(c - 25)$
	$c > 70$	0,35

Per pali trivellati di grande diametro si adotta l'abaco ridotto delle norme AGI. Si è osservato che la resistenza laterale dei pali raggiunge il suo valore limite in corrispondenza di cedimenti del palo relativamente ridotti dell'ordine di 1-2 cm ed indipendenti dal diametro del palo. La resistenza alla punta al contrario si mobilita per spostamenti proporzionali al diametro pari a circa il 10% di questo per pali battuti ed al 25% per i pali trivellati.

Nel caso di pali trivellati di grande diametro, pertanto, la resistenza alla punta si mobilita per spostamenti dell'ordine di 15-20 cm. In corrispondenza di spostamenti così elevati la resistenza laterale potrebbe addirittura assumere valori minori di quelli massimi, nel caso di andamento instabile. In ogni

caso, applicando gli usuali valori dei coefficienti di sicurezza al carico limite calcolato come somma di P + S sotto i carichi di esercizio il palo avrebbe dei cedimenti troppo elevati. Per questi motivi il progetto dei pali di grande diametro è basato sulla considerazione di uno stato limite di servizio e non di rottura. Pertanto il carico limite del palo di grande diametro, non è tanto quel carico che produrrebbe la rottura del terreno, ma quello che produrrebbe cedimenti troppo elevati incompatibili con la stabilità della struttura.

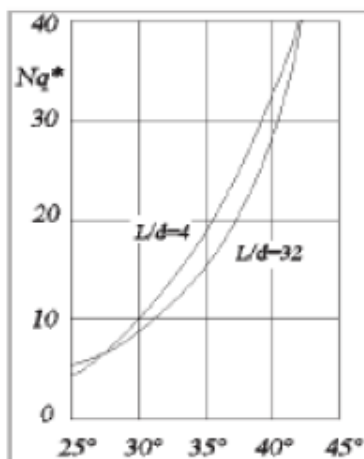


Figura 18 – Abaco ridotto delle norme AGI

Analogamente ai pali di piccolo diametro il valore di 'p' è dato dalla relazione:

$$p = N_q^* \sigma_{vl} + N_c c$$

In entrambi i casi, in condizioni non drenate, si porrà  $c = c_u$  e  $\phi = 0$ . Per pali trivellati il valore dell'angolo  $\phi$  da introdurre nei calcoli sarà  $\phi = \phi' - 3^\circ$ , dove  $\phi'$  rappresenta l'angolo di attrito del terreno.

Il calcolo del carico limite orizzontale del palo è condotto attraverso la trattazione di Broms, che assume che il comportamento dell'interfaccia palo terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico, inoltre il valore della pressione mobilitata è indipendente dalla forma della sezione ma dipenda solo dalla dimensione trasversale 'd' (diametro del palo, lato di una sezione quadrata ecc.). Immaginando di imprimere una traslazione orizzontale al palo per effetto della resistenza mobilitata nel terreno, lungo il fusto del palo si destano momenti flettenti e la rottura del complesso terreno palo può presentare diverse caratteristiche anche in funzione del vincolo che si ha in testa al palo. Se il momento di plasticizzazione del palo è talmente grande che in nessun punto del fusto viene superato dal valore massimo del momento flettente, il comportamento è di 'Palo Corto'; se il palo è libero di ruotare in testa e se il momento massimo supera il momento di plasticizzazione della sezione del palo, lungo il fusto si forma una cerniera plastica ed il comportamento del palo è quello di 'Palo Lungo'; per i pali impediti di ruotare in testa, invece, se si forma una sola cerniera plastica in testa, il palo ha comportamento di 'Palo Intermedio', mentre se si formano due cerniere plastiche una in testa e l'altra lungo il fusto si ha il comportamento di 'Palo lungo'.

La valutazione della pressione di contatto palo-terreno è valutata secondo la relazione:

$$p = 9cd + 3k_p \gamma d$$

il primo termine, costante, è esteso tra le profondità  $1,5d$  ed  $L$ ; il secondo variabile linearmente è esteso tra  $0$  ed  $L$ . Il valore di  $k_p$  (coefficiente di spinta passiva) è dato dalla relazione  $k_p = \tan(45 + \phi/2)$ . In condizioni non drenate si porrà  $c = c_u$  e  $\phi = 0$ .

**Relazione geotecnica**

Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20 MW