

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
CON IMPIANTO DI ACCUMULO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
APRICENA LOC. MEZZANA DELLA QUERCIA (FG)
POTENZA NOMINALE 64,8 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

ing. Giulia MONTRONE

geom. Rosa CONTINI

dott. Pietro Paolo LOPETUSO

STUDI SPECIALISTICI

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

STUDIO FAUNISTICO

dott. nat. Fabio MASTROPASQUA

VINCA, STUDIO BOTANICO VEGETAZIONALE

E PEDO-AGRONOMICO

dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

R.5 Relazione geotecnica e sismica

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	03/24	Istanza VIA nazionale



INDICE

1. PREMESSE	1
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	2
2.1. ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE	2
2.2. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	2
2.3. USO DEL SUOLO	9
3. STRATIGRAFIA E CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI	11
4. CENNI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE	13
4.1. CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE	13
4.1.1. <i>Resistenza alla punta</i>	13
4.1.2. <i>Resistenza laterale del fusto</i>	14
4.2. CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI	14
5. COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	18
6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	20



1. PREMESSE

Nella presente relazione vengono esaminati gli aspetti geotecnici di un'area interessata dalla costruzione di un Parco Eolico e relative opere di connessione da realizzarsi all'interno del territorio comunale di Apricena (FG) per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (vento) e l'immissione dell'energia prodotta, attraverso un'opportuna connessione, nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

Lo studio ha avuto lo scopo, attraverso indagini indirette, di identificare, classificare e definire puntualmente le caratteristiche geotecniche delle unità litostratigrafiche delle aree di sedime interessate dalle opere in progetto.

Il progetto prevede la costruzione di n. 9 aerogeneratori della potenza unitaria di 7.2 MW (per una potenza complessiva di 64.8 MW) sorrette da una platea di fondazione circolare in calcestruzzo armato gettato in opera del diametro di 29 m (altezza variabile da 130 cm a 260 cm) su n. 16 pali trivellati di profondità di circa 25 m e diametro pari a 120 cm.

Per definire la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e la scelta ottimale del tipo di fondazione delle opere del progetto sono stati utilizzati i dati geologici, geotecnici ed idrogeologici rilevabili anche dalla bibliografia disponibile per il territorio in esame.



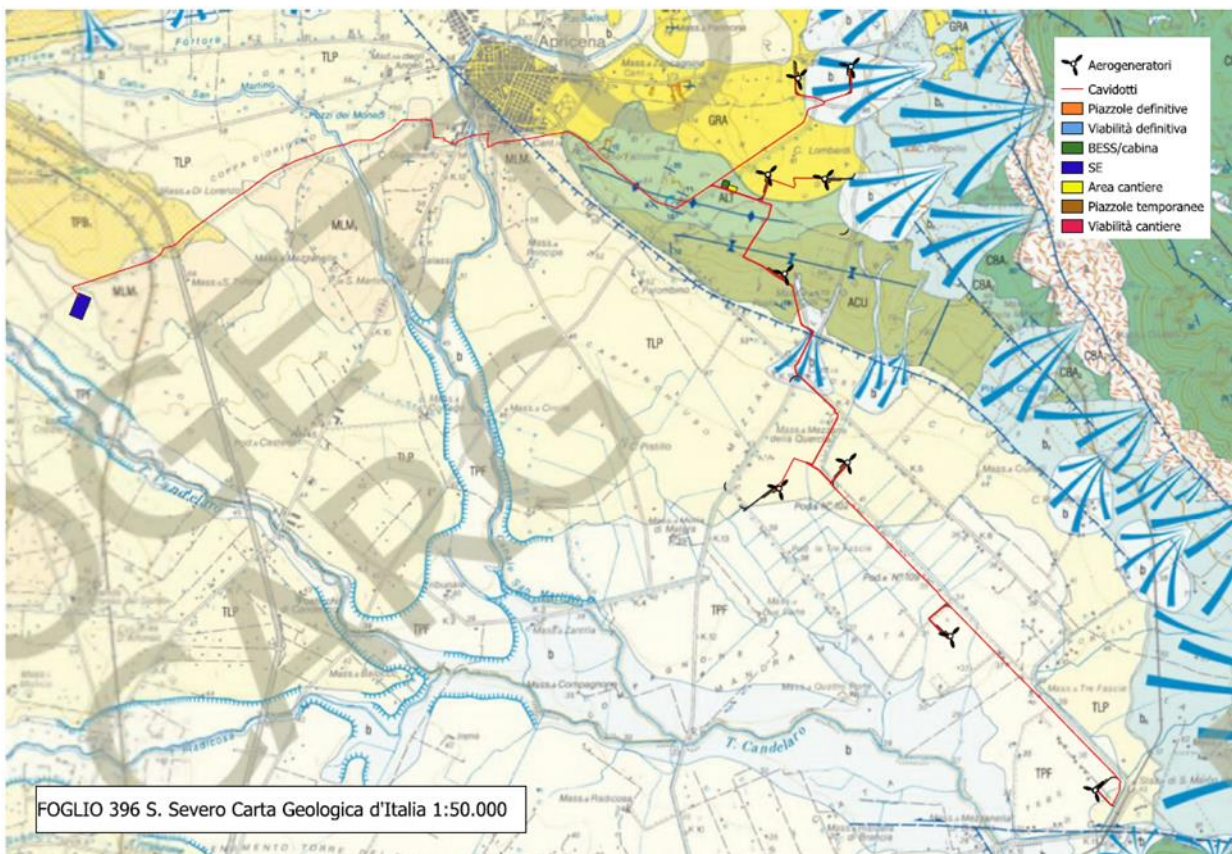
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

2.1. ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

La genesi della Catena dell'Appennino Meridionale inizia nell'Oligocene Superiore-Miocene e deriva dall'evoluzione del margine continentale passivo mesozoico e dalla sua inversione in margine attivo durante la subduzione della placca Adriatica verso ovest. La tettonica compressiva è stata quindi la causa dell'impilamento delle diverse unità di derivazione differente e della geometria a pieghe e sovrascorrimenti (fold-and-thrust belt) est-vergente che la catena possiede attualmente. La struttura profonda dell'Appennino meridionale è definita, come ben noto, da un sistema duplex sepolto di carbonati mesozoico-terziari derivanti dal margine interno della Piattaforma Apula ricoperto da un sistema di falde di provenienza occidentale. Il sistema di falde comprende unità di piattaforma, scarpata e bacino la cui ricostruzione palinspastica è tuttora oggetto di discussione.

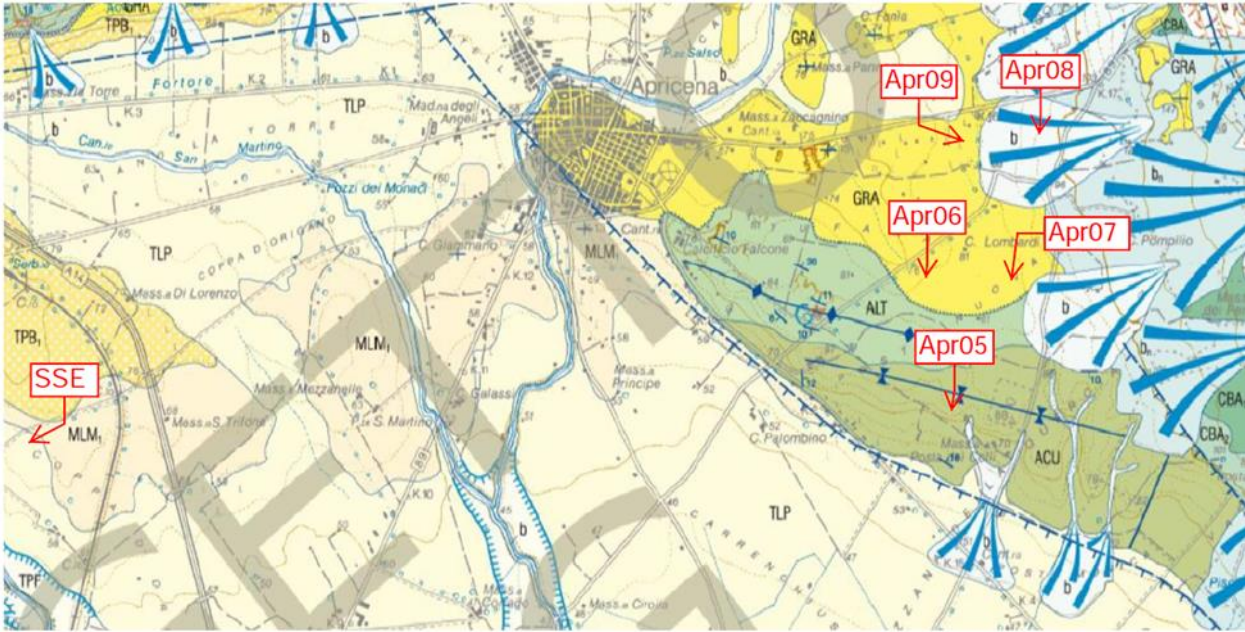
L'area in studio ricade nella parte centro settentrionale del Tavoliere delle Puglie, delimitato a Nord dal torrente Candelaro, ad Est dall'Avampaese Apulo (Promontorio del Gargano) a Sud dal Fiume Ofanto e ad Ovest dalla catena sud-appenninica. Il Tavoliere (Avanfossa Adriatica) è da ritenersi il naturale proseguimento verso Nord-Ovest della Fossa Bradanica.

L'area in studio è compresa nel foglio geologico della carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 396 "SAN SEVERO".

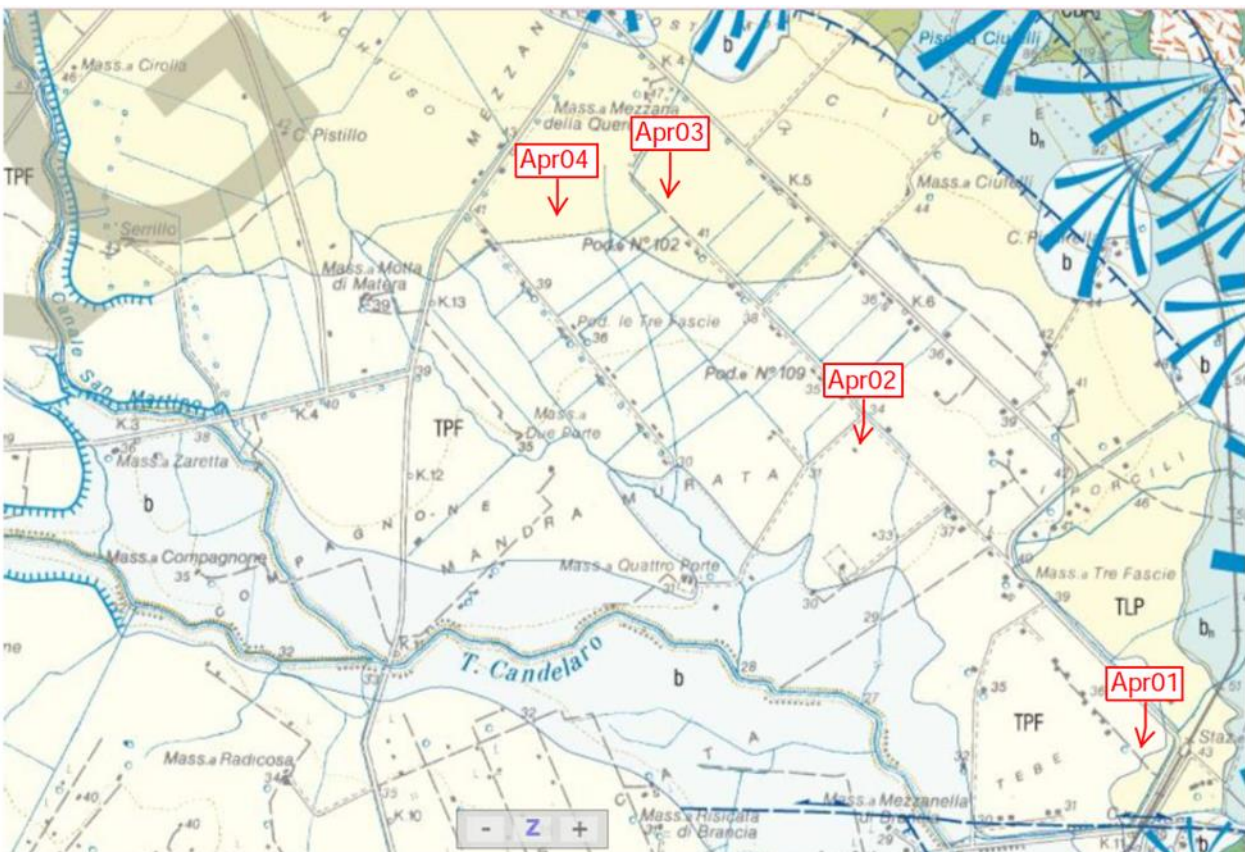


Impianto Eolico su carta geologica Foglio 396 "San Severo" della carta geologica 1:50.000





Particolare Area Aerogeneratori **APR05-APR06-APR07-APR08-APR09** e **SSE** su carta geologica 1:50.000 **Foglio 396 S. Severo**



Particolare Area Aerogeneratori **APR01-APR02-APR03** e **APR04** su carta geologica 1:50.000 **Foglio 396 S. Severo**



LEGENDA CARTA GEOLOGICA (FOGLIO 396 della Carta Geologica 1:50.000)

Deposito alluvionale recente ed attuale



Sabbie, limi e argille nerastre all'interno delle principali incisioni. In prossimità del Promontorio del Gargano ed all'interno delle valli fluvio-carsiche sono presenti clasti carbonatici con diametro variabile da 2 mm a 5-10 cm, diffusi o concentrati in lenti. Le conoidi alluvionali sono formate da sedimenti limoso-sabbiosi bruni e rossastri poco o per nulla diagenizzati con clasti carbonatici eterometrici a tessiture variabili da fango-sostenuta a clasto-sostenuta. Poggiano sui depositi alluvionali di conoidi terrazzati ed in copertura sulle unità più antiche. Spessore: massimo 5 metri.

OLOCENE

SUPERSINTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA (TP)

SINTEMA DI MASSERIA FINAMONDO



Argille grigie e nerastre. E' costituito, dal basso verso l'alto, da: - sabbie ben selezionate a laminazione piano parallela ed incrociata a basso angolo (2 m); - alternanze ghiaioso-sabbiose (circa 2 m di spessore); - argille brune ben laminate con abbondante contenuto in terra rossa (circa 8 m di spessore); - argille brune (13 m) con livelli sabbiosi e siltsi presenza di materia organica; - argille nerastre cementatissime e silt con abbondanti concrezioni calcaree di origine diagenetica. Dal punto di vista paleoambientale, la base (primi 2 m) è ascrivibile ad ambienti marini di transizione (tipo baia). In erosione, si rinvengono sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale che passano via via verso l'alto prima ad argille nerastre di palude con abbondante contenuto in materia organica ed infine ad argille e silt di ambiente alluvionale (probabilmente connessi ad aree marginali di esondazione). In erosione sul sintema di Motta del Lupo, sui sintemi e sui depositi più antichi (formazione di Masseria Belvedere e probabilmente argille subappennine). Spessore di circa 27 m.

PLEISTOCENE SUPERIORE

SINTEMA DI MOTTA DEL LUPO



Alternanze di silt brunastri ed argille verdastre. E' costituito, dal basso verso l'alto da: - argille e silt di colore verdastro a laminazione piano-parallela (8 m); - argille brune e verdi con rare lamine siltsi (circa 22 m di spessore). E' interpretabile come un deposito di piana alluvionale; nella porzione inferiore dominano argille, sabbie e subordinatamente ghiaie di ambiente alluvionale con condizioni idrodinamiche anche di moderata energia; verso l'alto si rinvengono argille brune e verdi di ambienti alluvionali associati ad aree marginali di esondazione o paludose con acqua stagnante. In discordanza sulle seguenti unità: Calcari di Monte Acuto, formazione di Masseria Belvedere, Calcarenite di Gravina, sintema di Cava Petrilli, sintema di Vigna Boccola, sintema di Masseria la Motticella e sintema di Foggia. Spessore di circa 30 m.

PLEISTOCENE SUPERIORE

Subsintema di San Severo



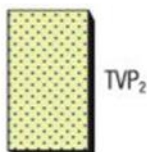
Sabbie e arenarie giallastre ed argille grigie e verdastre. Si tratta di una successione marina e di transizione con un chiaro *trend* regressivo. La base trasgressiva è rappresentata da circa 5 m di alternanze argilloso-siltoso-sabbiose deposte in una laguna costiera. Verso l'alto si passa repentinamente a sabbie da grossolane a fini di ambienti marini relativamente profondi (*shoreface* inferiore) in un contesto di baia aperta. Verso l'alto si torna a condizioni di baia ristretta e ad ambienti via via più prossimali fino a sabbie a laminazione incrociata ed argille brunastre superiori che rappresentano già ambienti di transizione al continentale. Si rinviene in erosione sulle argille subappennine e sul sintema di Cava Petrilli a circa 55-60 m s. l. m. Spessore circa 40 m.

PLEISTOCENE MEDIO



SINTEMA DI CAVA PETRILLI

Subsistema di Masseria Casillo

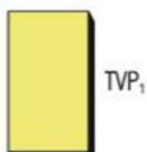


TVP₂

Ghiaie poligeniche con abbondante matrice sabbiosa di colore rossastro. Si presenta mal stratificato e, solo a luoghi, è possibile riconoscere superfici erosive canalizzate. L'ambiente di sedimentazione è riferibile ad una piana *braided*. Si rinviene in discordanza, sul subsistema di Colle degli Ulivi, al di sopra di una superficie di erosione molto irregolare. Spessore 10-15 m.

PLEISTOCENE MEDIO

Subsistema di Colle degli Ulivi



TVP₁

Ghiaie poligeniche e sabbie silicoclastiche di colore grigio. Si tratta di un complesso di depositi sabbioso-ghiaiosi con *trend* regressivo, che si è depositato in un ambiente marino transizionale di delta passante lateralmente ad ambienti di mare sottile. I corpi ghiaiosi caratterizzavano i canali attivi del delta e passavano lateralmente e distalmente a corpi sabbiosi progradanti sui depositi prevalentemente argillosi di prodelta. Si rinviene in erosione sulle unità più antiche (Calcarea di Bari, formazione di Masseria Belvedere, Calcarenite di Gravina ed argille subappennine) a circa 110 m s.l.m. Spessore circa 35 m.

PLEISTOCENE MEDIO

CALCARENITE DI GRAVINA



GRA

Brecce calcaree derivanti dall'erosione del substrato calcareo immerse in *packstone/grainstone* bioclastici passanti gradualmente verso l'alto a calcareniti e calciruditi di colore giallo paglierino organizzate in banchi di spessore metrico con tessitura che varia da *grainstone* a *wackestone* in cui si distinguono grossi frammenti di lamellibranchi, briozoi, balanidi, echinidi, coralli, serpulidi, alghe calcaree coralline. Abbondante il contenuto in foraminiferi bentonici mentre i planctonici sono rari o assenti.

Limite inferiore: poggia in discordanza sulle formazioni giurassico-cretaciche e sulla formazione di Masseria Belvedere. Il limite superiore è inconforme. La Calcarenite di Gravina è ricoperta in discordanza dai depositi del subsistema di San Severo, del sistema di Motta del Lupo e dai depositi continentali terrazzati di conoide. Da dati di pozzo si ricava che il limite superiore è concordante con le argille subappennine. L'ambiente di sedimentazione è nel complesso neritico e tende gradualmente ad approfondirsi verso l'alto dove affiorano le facies meno grossolane attribuibili ad ambienti più tranquilli depositi al di sotto del limite di base del moto ondoso. Spessore affiorante: circa 30-40 m. Contenuto macropaleontologico: *Pecten jacobaeus*, *P. bipartitus*, *Chamys pesfells*, *C. flexuosa*, *Palliolium incomparabile*, *Parvicardium roseum*, *Clanculus crociatus*, *C. jusseuis*, *Rissoa ventricosa*, *Diacria trispinosa*, *Scala pulchella*, *Spatangus purpureus*, *Isognomon maxillatus*, *Lutraria lutraria* e *Astraea rugosa*. Contenuto micropaleontologico: *Globigerinoides obliquus extremus*, *Globigerina pachyderma*, *Globorotalia crassaformis*, *G. hirsuta aemiliana* *Elphidium sp.*, amfistegine ed operculine.

PIACENZIANO-GELASIANO

FORMAZIONE DI MASSERIA BELVEDERE



BVD

Calcareniti bioclastiche grigie ben cementate gremite di macroforaminiferi bentonici (heterostegine, operculine e amfistegine) passanti gradualmente sia lateralmente sia verso l'alto a calcari micritici variegati ricchi in coralli e balanidi costituenti degli aggregati con tessiture *floatstone/bafflestone* immersi in una matrice micritica e arenitica fine in cui si riconoscono abbondanti foraminiferi planctonici, frammenti bioerosi di coralli e balanidi, spicule di spugne ed ostracodi. Localmente la base di questa unità è marcata da depositi di terre rosse residuali con ciottoli carbonatici e frammenti di vertebrati che riempiono le numerose incisioni carsiche presenti nei sottostanti calcari mesozoici. Il limite inferiore è a luoghi discordante e a luoghi paraconcordante sui soggiacenti calcari mesozoici; il limite superiore è netto, sui calcari di questa unità poggiano in discordanza la formazione di Masseria Spagnoli, la Calcarenite di Gravina, il subsistema di San Severo e il subsistema di Colle degli Ulivi. Spessore stimato: 15-20 m. Contenuto paleontologico: amfistegine, operculine, miogipsinoidi, eterostegine, *Globigerinoides subquadratus*, *Globigerinoides obliquus obliquus*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinita glutinata* *Globigerina bulloides Hastigerina praesiphoniphera*, *Orbulina suturalis*, *Orbulina universa*. *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globigerinoides obliquus obliquus*, *Globoturborotalia druryi* *Paragloborotalia siakensis*, *Orbulina universa*, *Globigerinoides sacculifer*, *Neogloboquadrina acostaensis* con avvolgimento destrorso, *Neogloboquadrina atlantica praeatlantica* e *Catapsidrax parvulus* (zone a foraminiferi planctonici *Paragloborotalia partimlabiata* MMi7 e *Neogloboquadrina atlantica praeatlantica* MMi8).

SERRAVALLIANO MEDIO-SUPERIORE



UNITÀ CARBONATICHE MESOZOICHE DELLA PIATTAFORMA APULA

CALCARI DI MONTE ACUTO

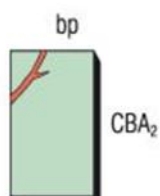


Calcari micritici bianchi a tratti poco cementati e farinosi alternati a calcareniti laminate a luoghi con intercalazioni di liste e noduli di selce organizzati in strati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche decimetro. Alla base dell'unità si rinvencono irregolari intercalazioni di breccie calcaree a rudiste provenienti dal calcare di Altamura. Gli strati possono presentarsi ondulati, a luoghi convoluti (*slump*). Il limite inferiore è netto con il sottostante calcare di Altamura; il limite superiore è inconforme con i depositi del subsistema di Amendola e con il sistema di Motta del Lupo. L'ambiente di sedimentazione è attribuibile al settore di base scarpata. Spessore stimato: 50-60 m.

Contenuto in foraminiferi planctonici: *Heteroelix navarroensis*, *H. reussi*, *Hedbergella delrioensis*, *H. planispira*, *H. flandrini*, *Schackoia* sp., *Globigerinelloides ultramicrus*, *G. caseyi*, *G. prairiehillensi*, *Archeoglobigerina cretacea*, *A. blowi*, *Marginotruncana carenata*, *Globotruncana arca*, *G. bulloides*, *G. linneiana*, *Dycarinella* cf. *asymetrica*, *D. concavata*. Zona a *Dycarinella asymetrica*. Contenuto in nannoplancton: *Calculites obscurus*, *Cretarhabdus crenulatus*, *Eiphellitus eximius*, *Glaukolithus diplogrammus*, *Lithraphidites carniolensis*, *Microrhabdulus decoratus*, *Prediscosphaera cretacea*, *Reinardhites antophorus*, *Quadrum gartneri*, *Watznaueria barnesae*. Zona CC17 a *Calculites obscurus*.
 SANTONIANO P.P.

membro di Borgo Celano

Wackestone/packstone con foraminiferi bentonici, alghe verdi e gusci bioerosi di requienie e gasteropodi; *packstone/grainstone* con noduli di *Cayeuxia* sp., intraclasti micritici, rari foraminiferi bentonici; *grainstones* oolitici laminati e gradati; *mudstone/wackestone* con rari foraminiferi bentonici e peloidi; laminiti stromatolitiche con strutture da disseccamento; livelli ad argille verdi costituiti da illiti, smectiti e montmorilloniti e con cristalli di dolomia microcristallina. Spessore stimato: 500-600 m. Contenuto paleontologico: *Trocholina delphinensis*, *T. molesta*, *T. elongata*, *Pseudotextulariella è salevensis*, *Campanellula capuensis*, *Vercorsella scarsellai*, *V. camposauri*, *V. tenuis*, *Debarina haourenensis*, *Salpingoporella katzeri*, *S. annulata*, *Clypeina solkani*, *Salpingoporella biokovenski*, *S. melitae*, *S. muehlbergii*, *S. genevensis*, *Pratulonella danilovae*.
 VALANGINIANO P.P.-APTIANO P.P.



basalti picritici di Masseria San Giovanni in Pane (bp)

Affiorano nei pressi di Masseria San Giovanni in Pane nel settore nord-occidentale del foglio. Sono costituiti da ciottoli decimetrici di basalti picritici a grana fine derivanti probabilmente dall'erosione di corpi filoniani intrusi all'interno del membro di Borgo Celano del Calcare di Bari su cui localmente poggiano. La roccia è molto ricca di cristalli (anche > 90% del volume roccioso) e scarso vetro bruniccio a luoghi zeolitizzato. I cristalli sono rappresentati da clinopirosseni (40-45% del volume roccioso), olivine iddingsizzate (10-15%), plagioclasti picilitici ben geminati e ben sviluppati (20%), ossidi di ferro ed apatite.

POST-CRETACEO INFERIORE (PALEOGENE?)

Legenda carta geologica Foglio 396 Catta Geologica 1:50.000

Gli Aerogeneratori **APR01**, **APR02** ricadono sui terreni appartenenti al **SUPERSISTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA** costituite da argille grigie e nerastre da sabbie a laminazione piano parallela ed incrociata, alternanze ghiaioso-sabbiose, argille brune ben laminate con abbondante contenuto in terra rossa, argille brune con livelli sabbiosi e siltosi con presenza di materiale organico, argille nerastre cementatissime e silt con abbondanti concrezioni calcaree di origine diagenetica. (TPF)

Gli aerogeneratori **APR03**, **APR04** e l'Area della **Sottostazione Elettrica SE** ricadono sui terreni appartenenti al **SUPERSISTEMA DEL TAVOLIERE DI PUGLIA** costituite da alternanze di silt brunastri ed argille verdastre a laminazione piano parallela, argille brune e verdi con rare lamine siltosi derivanti come deposito di piana alluvionale (TLP)



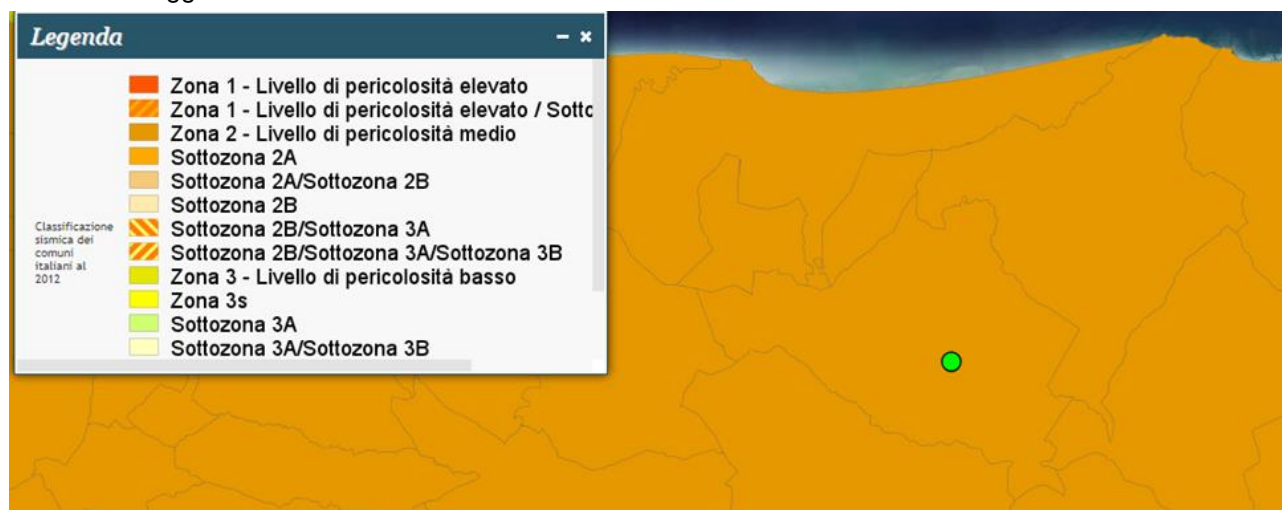
L'Aerogeneratore **APR05** ricade sui terreni appartenenti alle **UNITA' CARBONATICHE DELLA PIATTAFORMA APULA**, Calcari di Monte Acuto (**ACU**) costituiti da calcari micritici bianchi a tratti poco cementati e farinosi alternati a calcareniti laminate a luoghi con intercalazioni di liste e noduli di selce organizzati in strati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche decimetro

Gli Aerogeneratori **APR06**, **APR07** e **APR09** ricadono sui terreni appartenenti **alle calcareniti di Gravina (GRA)** costituite da brecce calcaree derivanti dall'erosione del substrato calcareo, passanti gradualmente verso l'alto a calcareniti di colore giallo paglierino organizzate in banchi dallo spessore di circa un metro

L'Aerogeneratore **APR08** ricade sui terreni appartenenti ai **depositi alluvionali recenti e attuali** costituiti da sabbie, limi e argille nerastre all'interno delle principali incisioni. In prossimità del Promontorio del Gargano ed all'interno delle valli fluvio-carsiche con presenza di clasti carbonatici, spessore massimo 5-7 metri. (*R.4 Relazione Geologica*).

2.2. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Si illustra di seguito la Classificazione sismica del comune di Apricena (FG) secondo l'O.P.C.M 3274 del 30.03-2003 aggiornata al 2004.



Individuazione Area Aerogeneratori e Area Sottostazione Elettrica sit1 nel comune di Apricena in funzione della classificazione sismica

Classificazione sismica specifica	a_g (*)
2A	$a_g \geq 0.20$
2B	$a_g < 0.20$
3A	$a_g \geq 0.10$
3B	$a_g < 0.10$



Classificazione 2003	PGA (g)
Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g

I territori comunali di Lesina (FG), Poggio Imperiale (FG) e San Severo (FG) ricadono in un distretto geografico sicuramente sismico, è da ricordare il terremoto del 1627 che rase al suolo la cittadina di San Severo e Lesina, è il terremoto più devastante della zona con conseguente maremoto con circa 4500 morti ed tra l'altro anche il terremoto più dimenticato della storia. Nel territorio in oggetto, infatti, si risentono i terremoti con epicentri garganici, molisani, sanniti ed irpini. L'attività recente delle strutture discusse nel paragrafo precedente o di alcune di esse è dimostrata sia dai forti terremoti storici del passato (1627 D.C., 1646 D.C., 1731 D.C.) sia dalla sismicità strumentale attuale (Del Gaudio et al., 2007; CPTI Gruppo di lavoro, 2004).

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguiti specifiche indagini, in base alle quali è stato possibile stimare la categoria di suolo per il sito in esame (cfr elaborato R.4).

Per gli **Aerogeneratori APR01 e APR02**, l'area è classificata come **Categoria "C"** Depositi di ghiaia e sabbia poco addensate o di argille di media consistenza con **Vs30** pari a **350.2 m/s**.

Per gli **Aerogeneratori APR03 e APR04**, l'area è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia molto addensate o di argille molto consistenti con **Vs30** pari a **457.8 m/s**.

Per l'**Aerogeneratori APR05**, l'area è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia molto addensate o di argille molto consistenti con **Vs30** pari a **729 m/s**.

Per gli **Aerogeneratori APR06, APR07, APR08 e APR09** le aree sono classificate come **Categoria "A"** **Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri con Vs30 compreso tra 1043.3 e 1176.5 m/s.**

Per la **Stazione Elettrica**, le aree sono classificate come **Categoria "C"** Depositi di ghiaia e sabbia poco addensate o di argille poco consistenti con **Vs30 = 340.1 m/s**.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $Vs_{30} > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < Vs_{30} < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < Vs_{30} < 360$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $Vs_{30} < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $Vs > 800$ m/s



S1	Terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100/\text{ms}$
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

Si rimanda all'allegato *PD.R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica* per i necessari approfondimenti.

2.3. USO DEL SUOLO

Per quanto riguarda l'uso del suolo, si è fatto riferimento alla banca dati georeferenziata costituita dalla "Carta Corine Land Cover" elaborata, nella sua prima versione, nel 1990 ed oggetto di successive modifiche ed integrazioni finalizzate ad assicurare l'aggiornamento continuo delle informazioni contenute.

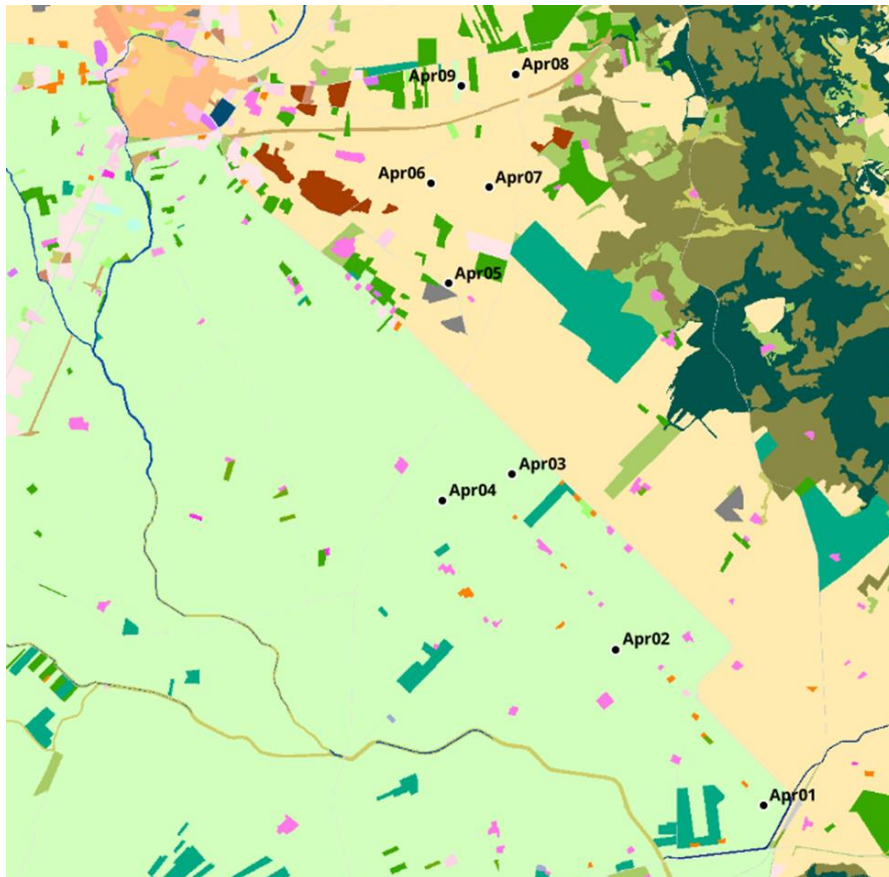
La carta Corine Land Cover suddivide il territorio in sottosistemi, particolareggiando sempre più nel dettaglio le diverse tipologie di paesaggi urbani, agrari, naturali e delle relative attività svolte dall'uomo:

- i territori modellati artificialmente sono suddivisi in zone: urbano, industriali, commerciali, estrattive e aree verdi urbane e agricole.
- i territori agricoli sono articolati in: seminativi, colture permanenti, prati stabili, zone agricole eterogenee;
- i territori boscati e ambienti semi-naturali sono classificati come: zone boscate, zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e erbacea, zone aperte con vegetazione rada o assente;
- le zone umide in interne e marittime;
- i corpi idrici in acque continentali e marittime.

Analizzando le categorie di uso del suolo dell'area vasta, si nota come la maggior parte del territorio è adibito a seminativi semplici in aree irrigue e seminativi semplici in aree non irrigue, dove ricadono anche gli aerogeneratori.

Nell'intorno dell'area del parco, oltre ai seminativi semplici, sono presenti vigneti e uliveti. Le aree urbanizzate sono costituite principalmente dal tessuto urbano sparso e sporadico, da reti stradali e spazi accessori; seguono cantieri, reti ferroviarie, reti per la distribuzione di energia, aree sportive e le aree commerciali.





Uso del suolo



3. STRATIGRAFIA E CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI

Il modello geologico locale è stato ricostruito attraverso le attività di rilevamento geologico, l'analisi dei dati pregressi disponibili e i risultati delle indagini geofisiche effettuate in situ.

Il sottosuolo investigato è stato distinto, in tre sismostrati ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione. Generalmente, data la lunghezza dello stendimento eseguito, è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità di 35 m a partire dalla superficie topografica. Di seguito si riportano le risultanze di questa base sismica eseguita:

- ✓ Aerogeneratori Apr1 e Apr2: si individuano tre sismostrati:

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	229	1,0 ÷ 3,0	<i>Terreno di alterazione superficiale di natura limosa argillosa</i>
2	478	3,0 ÷ 19,0	<i>Argilla limosa giallastra</i>
3	657	19,0 ÷ 35,0	<i>Argilla siltosa grigio azzurra</i>

- ✓ Aerogeneratori Apr3, Apr4 e Apr5: si individuano tre sismostrati:

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	277	1,0 ÷ 4,0	<i>Limo sabbioso giallastro con fenomeni di alterazione superficiale</i>
2	341	4,0 ÷ 14,0	<i>Argilla limosa giallastra</i>
3	657	14,0 ÷ 35,0	<i>Argille siltosa grigio azzurra</i>

- ✓ Aerogeneratori Apr6, Apr7, Apr8 e Apr9: si individua un sismostrato:

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	1'718	1,5 ÷ 35,0	<i>Calcareniti di gravina costituite da calcareniti di colore giallo paglierino organizzate in banchi dello spessore di circa un metro. Nella parte alta si presentano abbondantemente fratturate per uno spessore di circa 7,5 – 8,0 m</i>

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite è possibile asserire che in corrispondenza delle opere in progetto, sono presenti i seguenti terreni:

- Area installazione aerogeneratori Apr1 e Apr2:
 Terreno di alterazione superficiale di natura limosa argillosa (Tab.1)
 Argilla limosa giallastra (Tab.2)
 Argilla siltosa grigio azzurra (Tab.3)
- Area installazione aerogeneratori Apr3, Apr4 e Apr5:
 Limo sabbioso giallastro con fenomeni di alterazione superficiale (Tab.4)
 Argilla limosa giallastra (Tab.2)
 Argilla siltosa grigio azzurra (Tab.3)
- Area installazione aerogeneratori Apr6, Apr7, Apr8 e Apr9:



- Calcareniti di gravina costituite da calcareniti di colore giallo paglierino organizzate in banchi dello spessore di circa un metro. Nella parte alta si presentano abbondantemente fratturati per uno spessore di circa 7,5 – 8,0 m (Tab.5)

Tab. 1 - Terreno di alterazione superficiale di natura limosa argillosa

Parametri fisici	
p.v. naturale	18.0 kN/mc
p.v. saturo	18.9 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	19°

Tab. 2 - Argilla limosa giallastra

Parametri fisici	
p.v. naturale	19.6 kN/mc
p.v. saturo	20.02 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	23°

Tab. 3 - Argilla siltosa grigio azzurra

Parametri fisici	
p.v. naturale	20.35 kN/mc
p.v. saturo	21.01 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	25°

Tab. 4 - Limo sabbioso giallastro con fenomeni di alterazione superficiale

Parametri fisici	
p.v. naturale	17.5 kN/mc
p.v. saturo	18.25 kN/mc
poisson	0.33
angolo di attrito	20°

Tab. 5 -

Parametri fisici	
p.v. naturale	22.0 – 23.0 kN/mc
p.v. saturo	22.1 – 23.1 kN/mc
poisson	0.30

I valori di cui sopra saranno validati in sede di progettazione esecutiva, mediante esecuzione di specifiche indagini geognostiche funzionali a una più dettagliata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica di ogni singolo sito di installazione degli aerogeneratori.



4. CENNI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riportano nel seguito le formulazioni teoriche che saranno adottate per le verifiche geotecniche del progetto esecutivo.

4.1. CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE

È prevista la realizzazione di strutture di fondazione di tipo profondo quali pali trivellati del diametro ϕ 1200 e lunghezza pari a 25 m.

La valutazione del carico limite verticale a **compressione** del palo viene effettuata facendo riferimento alle condizioni drenate per i materiali incoerenti ed alle condizioni non drenate per i materiali coerenti.

La portanza è espressa come somma di due contributi indipendenti:

- resistenza alla punta (alla base) Q_P ;
- resistenza lungo il fusto per attrito laterale Q_L ;

ovvero dalla formula:

$$Q_{lim} = Q_P + Q_L$$

Anche la valutazione del carico limite verticale a **trazione** del palo viene effettuata facendo riferimento alle condizioni drenate per i materiali incoerenti ed alle condizioni non drenate per i materiali coerenti.

La portanza è espressa come somma di due contributi indipendenti:

- peso proprio del palo W_P ;
- resistenza lungo il fusto per attrito laterale Q_L ;

ovvero dalla formula:

$$Q_{lim} = W_P + Q_L$$

4.1.1. Resistenza alla punta

La resistenza alla punta del palo è fornita dall'espressione:

$$P_{pu} = A_P(cN'_c + \eta\bar{q}N'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma s_\gamma)$$

dove

A_P (superficie della punta del palo) = $(\pi * D^2/4)$

γ = peso di volume del terreno

c = coesione

B = larghezza della punta del palo

L = lunghezza del palo

D = diametro del palo

q = sforzo verticale efficace agente (pressione geostatica) alla profondità a cui è posta la punta del palo

N_q, N_c = fattori di capacità portante

η = coefficiente che assume la seguente formulazione (Vesic)

$$\eta = \frac{1 + 2k_0}{3}$$

nella quale k_0 è il coefficiente di spinta a riposo.

Pertanto, la resistenza alla punta del palo è fornita dalla seguente espressione:

$$P_{pu} = A_P(cN'_c + \eta\bar{q}(N'_q - 1))$$



Secondo Vesic, i fattori di capacità portante assumono le seguenti formulazioni:

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

nella quale l'indice di rigidezza ridotto I_{rr} è pari a:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \epsilon_v I_r}$$

l'indice di rigidezza I_r è pari a:

$$I_r = \frac{G}{c + \bar{q} \tan \phi} = \frac{G}{s}$$

ed ϵ_v è pari a:

$$\epsilon_v = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)\sigma_z}{E(1 - \nu)}$$

e

$$N'_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

4.1.2. Resistenza laterale del fusto

Il valore della capacità portante laterale del fusto del palo si ricava tramite la formula:

$$Q_L = \sum A_s * f_s$$

nella quale:

A_s = area della superficie laterale efficace del palo

f_s = resistenza che si sviluppa sulla superficie laterale del palo

\sum = sommatoria dei contributi dovuti ai diversi strati geotecnici in cui è suddiviso il palo.

La resistenza laterale f_s si calcola con il metodo α proposto da Tomlinson (1971), ovvero attraverso la formula:

$$f_s = \alpha c + K q \tan \delta$$

dove

α = coefficiente di adesione terreno-pali (pari a 0,40 per i terreni coesivi ed a 1,25 per i terreni incoerenti)

q = pressione efficace agente al centro dello strato di terreno considerato = γH_{med}

H_{med} = quota in mezzeria del tratto considerato rispetto alla sommità del palo

γ = peso di volume del terreno

δ = angolo di attrito efficace calcestruzzo-terreno di fondazione = ϕ

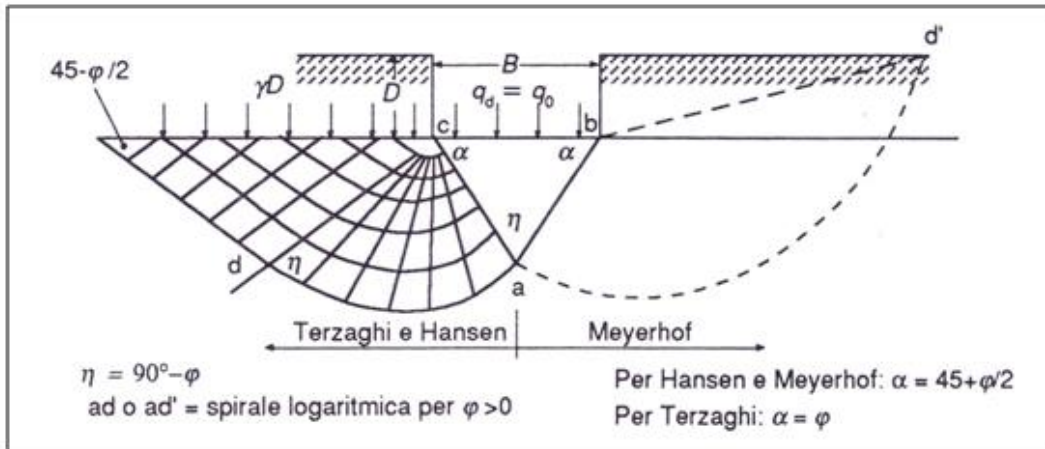
K = coefficiente empirico dipendente dalla natura del terreno e dalle modalità costruttive del palo = k_0 (coefficiente di spinta a riposo) (Ireland, 1957, Flates e Selnes, 1977, Tavenas, 1971)

4.2. CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Per il calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione è stata utilizzata la relazione di **Meyerhof** (1951, 1963), per le piastre di base con carico verticale, che riprende la formulazione di Terzaghi opportunamente modificata mediante l'introduzione di coefficienti correttivi dipendenti dalla forma, profondità ed inclinazione della fondazione:



$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \quad (1)$$



dove:

c = coesione

γ_1 = peso volume del terreno posto al disopra del piano di fondazione;

γ_2 = peso volume del terreno di fondazione;

D = profondità di incasso della fondazione;

B = lato minore della fondazione

N_c , N_q e N_γ = fattori di capacità portante, pari, nel caso di terreni:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

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

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4 \cdot \varphi)$$

N_c , N_q e N_γ = fattori di capacità portante, pari, nel caso di roccia:

$$N_q = \tan^6 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_c = 5 \cdot \tan^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_\gamma = N_q + 1$$

s_c , s_q e s_γ , d_c , d_q e d_γ = fattori di forma, pari a:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1 \cdot K_p \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_c = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{K_p} \cdot \frac{D}{B}$$

i_c , i_q e i_γ = fattori di inclinazione dei carichi dovuti alle forze orizzontali indotte dal sisma, pari a:



$$i_c = i_q = 1 - \frac{\theta}{90}$$

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

nelle quali θ è l'angolo di inclinazione del carico = arctang(Khi) ove Khi nello spettro di progetto orizzontale corrisponde al valore delle ordinate al periodo T1 lungo l'asse delle ascisse, pari a

$$K_{hi} = S_S \cdot S_T \cdot \frac{a_g}{g}$$

z_c , z_q e z_γ = fattori che tengono conto degli effetti cinematici sul terreno di fondazione secondo il criterio di Paolucci e Pecker, pari a:

$$z_q = z_\gamma = \left(1 - \frac{K_{hk}}{\tan \varphi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot K_{hk}$$

nelle quali k_{hk} è il coefficiente sismico orizzontale pari a:

$$K_{hk} = \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot \frac{a_g}{g}$$

dove β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, come indicato dalla tabella 7.11.I del D.M. 14.01.2008, di seguito riportata:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel caso di fondazioni su roccia il valore del q_{lim} è moltiplicato per R.Q.D.².

Per quanto concerne il valore del **coefficiente di sottofondo** (K di Winkler), è stata utilizzata la relazione proposta dal Vesic (1961) che correla K con il modulo di elasticità del terreno e della fondazione:

$$k'_s = 0,65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_d \cdot B^4}{E_f \cdot I_f}} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu^2} \quad (2)$$

dove:

E_d (daN/cm²) = modulo elastico del terreno (Young);

E_f (daN/cm²) = modulo elastico della fondazione;

I_f (cm⁴) = momento d'inerzia della fondazione;

B (cm) = larghezza della fondazione;

ν = rapporto di Poisson.

Poiché il prodotto dei primi due fattori della (2) ha generalmente un valore prossimo all'unità, l'espressione può essere semplificata come segue:



$$k'_s = \frac{E_d}{B \cdot (1 - \nu^2)} \quad (3)$$

Nel caso di fondazione unitaria ($B = 1,00$ m) la costante elastica di sottofondo può essere assunta pari a:

$$k'_s = \frac{E_d}{(1 - \nu^2)} \quad (4)$$



5. COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

In accordo con quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

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

ovvero

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

con $\gamma_E = \gamma_F$, e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

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

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$. Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione 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) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle fondazioni (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni. L'analisi può essere condotta:

- con l'**approccio 1** attraverso la **Combinazione 2 (A2+M2+R2)**, nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti del gruppo M2 e la resistenza globale del sistema tramite i coefficienti γ_R del gruppo R2. Nell'uso di questa combinazione, le azioni di progetto in fondazione derivano da analisi strutturali che devono essere svolte impiegando i coefficienti parziali del gruppo A2;
- con l'**approccio 2** attraverso la **Combinazione unica (A1+M1+R3)**, nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti γ_R del gruppo R3. Tali coefficienti si applicano solo alla resistenza globale del terreno, che è costituita, a seconda dello stato limite considerato, dalla forza normale alla fondazione che produce il



collasso per carico limite, o dalla forza parallela al piano di scorrimento della fondazione che ne produce il collasso per scorrimento.

La verifica agli stati limite ultimi (SLU) sarà effettuata tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I di cui al D.M. 17/01/2018

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

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

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.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

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

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



6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Saranno presi in considerazione almeno i seguenti stati limite di esercizio, quando pertinenti:

- eccessivi cedimenti o sollevamenti;
- eccessivi spostamenti trasversali.

Specificamente, saranno calcolati i valori degli spostamenti e delle distorsioni nelle combinazioni caratteristiche previste per gli stati limite di esercizio di cui al § 2.5.3 del DM 17.01.2018, per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, come prescritto dalla condizione [6.2.7]. La geometria della fondazione (numero, lunghezza, diametro e interasse dei pali) sarà stabilita nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base, soprattutto in presenza di pali di grande diametro.

