

---

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA  
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO  
NEL TERRITORIO COMUNALE DI LESINA E POGGIO IMPERIALE (FG) LOC. S. SPIRITO  
POTENZA NOMINALE 66 MW

**PROGETTO DEFINITIVO - SIA**

---

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

dr.ssa Anastasia AGNOLI

ing. Giulia MONTRONE

STUDI SPECIALISTICI

IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Sabrina SCARAMUZZI

NATURA E BIODIVERSITÀ

dr. Luigi Raffaele LUPO

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr.ssa Lucia PESOLA

ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

---

**PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI**

REV. DATA DESCRIZIONE

**R.5 Relazione geotecnica e sismica**




## INDICE

1. PREMESSE	1
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	2
2.1. ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE	2
3. GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO	2
3.1. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	15
3.2. Uso DEL SUOLO	18
4. STRATIGRAFIA E CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI	21
5. CENNI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE	23
5.1. CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE	23
5.1.1. <i>Resistenza alla punta</i>	23
5.1.2. <i>Resistenza laterale del fusto</i>	24
5.2. CAPACITÀ PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI	24
6. COMBINAZIONI DI CALCOLO E VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	28
7. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	30



## 1. PREMESSE

Nella presente relazione vengono esaminati gli aspetti geotecnici di un'area interessata dalla costruzione di un Parco Eolico da realizzarsi all'interno dei territori comunali di Lesina e Poggio Imperiale in località S. Spirito (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.

Nello specifico sono state eseguite:

- n. 3 tomografie sismiche;
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie secondo la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Il progetto prevede la costruzione di n. 10 aerogeneratori della potenza unitaria di 6.6 MW (per una potenza complessiva di 66 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.

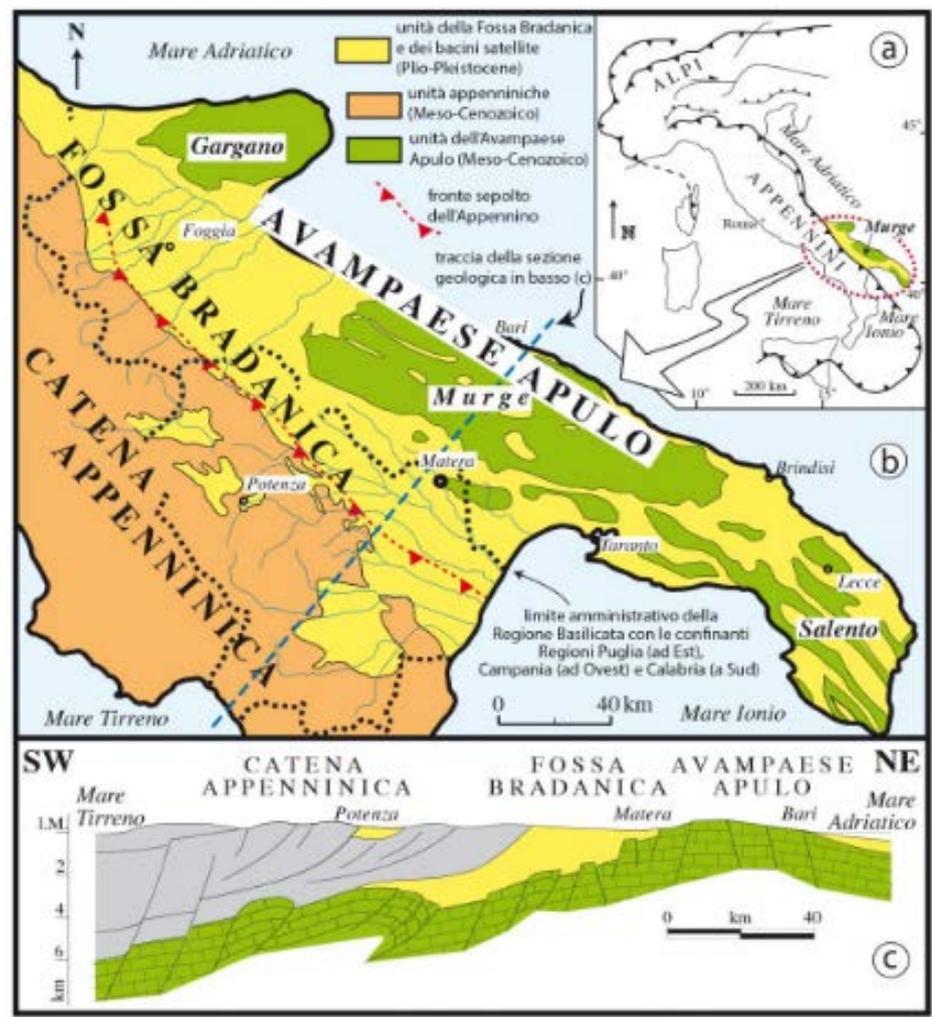
Per definire la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo e la scelta ottimale del tipo di fondazione delle opere del progetto sono stati utilizzati i dati geologici, geotecnici ed idrogeologici rilevabili anche dalla bibliografia disponibile per il territorio in esame.



## 2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

### 2.1. ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

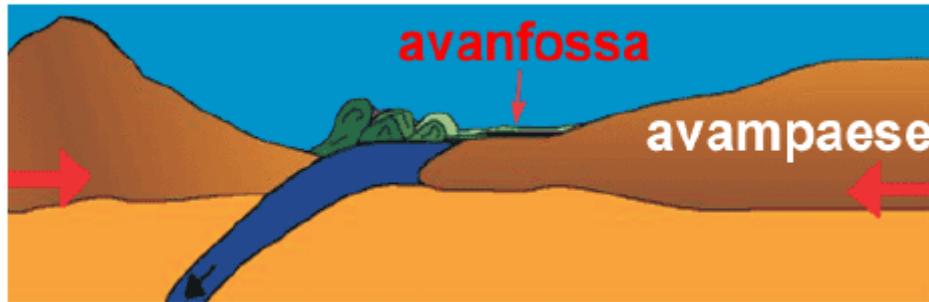
L'area in studio, ricade nella parte centro settentrionale del Tavoliere delle Puglie, delimitato a Nord dal torrente Candelaro, ad Est dall'Avampaese Apulo ( Promontorio del Gargano) a Sud dal Fiume Ofanto e ad Ovest dalla catena sud-appenninica. Il Tavoliere (Avanfossa Adriatica) è da ritenersi il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



Schema Tettonico

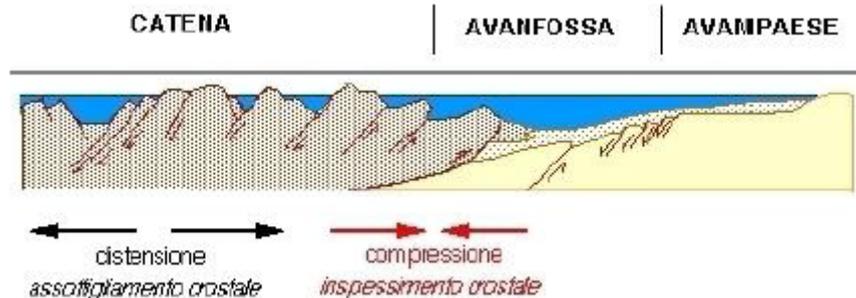
Al fine di considerare in un contesto regionale più ampio le unità presenti, è opportuno ricordare che la catena appenninica, strutturatasi sostanzialmente nel corso dell'Oligocene-Miocene, riflette le deformazioni subite dal margine occidentale della Placca Apula in subduzione verso Ovest, a seguito della convergenza Africa-Europa.





*Subduzione placca africana-placca europea*

Tale edificio orogenico costituisce l'ossatura della penisola italiana di cui l'Appennino meridionale fa parte. Nel sistema sud-orogenico da Est verso Ovest si distinguono tre domini strutturali sovrapposti. L'avampaese, rappresentato in affioramento dal blocco apulo-garganico, si estende dall'Adriatico fino all'avanfossa proseguendo verso Ovest sotto i thrust appenninici. È costituito da una successione autoctona formata prevalentemente da carbonati di età meso-cenozoica (Unità dell'Avampaese) sui quali sovrascorrono le unità alloctone della catena appenninica, costituite essenzialmente da depositi mesozoici-terziari sia di bacino di margine passivo che di avanfossa. Infine, interposta tra l'area di catena e l'area di avampaese è presente l'area di avanfossa plio-quadernaria (Unità della Fossa Bradanica).



La piattaforma apula, che in questo sistema costituisce l'avampaese, in un sistema orogenetico è la regione più stabile. L'avampaese, infatti, è la regione che si estende ai margini di una catena montuosa e verso la quale avanzano le falde di ricoprimento. In altre parole, la catena, sotto la spinta di forze orizzontali, si sposta verso l'avampaese che rimane un baluardo costituito da formazioni rocciose autoctone, in questo avanzare verso l'avampaese, il materiale roccioso che costituisce la catena montuosa in via di formazione, si piega, si frattura, le rocce si avallano, per cui rocce più antiche si vengono a trovare al di sopra di rocce più recenti (falde di ricoprimento)

Per meglio capire i concetti di seguito espressi si rende necessario un inquadramento geologico di carattere regionale.

L'area in studio occupa la parte centro settentrionale del Tavoliere, corrispondente al settore nord-occidentale dell'avanfossa della catena appenninica e l'avampaese garganico.

Ad Est il limite tra Tavoliere e Gargano è contrassegnato da un'importante dislocazione tettonica, corrispondente, all'incirca, con il corso del torrente Candelaro, che mette a contatto i depositi terrigeni plio-pleistocenici dell'avanfossa con le rocce carbonatiche dell'avampaese.

Questa ha dato luogo ad un sistema di faglie subverticali a direzione appenninica NO-SE accompagnato da due altri sistemi secondari di cui uno normale al precedente NE-SO e l'altro dei due in direzione Est-Ovest.

Di tutta la struttura geologica che costituisce l'ossatura dell'Italia meridionale, il promontorio del Gargano costituisce una caratteristica subunità geologica e morfologica della Piattaforma Carbonatica Apulo-Garganica, nettamente separata dalle basse pianure del Tavoliere da una ben individuata linea di faglia, decorrente da NW a SE lungo il corso del **torrente Candelaro**.



Le masse calcaree e dolomitiche che ne costituiscono l'ossatura, ascrivibili a cicli sedimentari che vanno dal Giurassico al Cretacico, sono generalmente ben stratificate, attraversate da un fitto reticolo di faglie e fratture e notevolmente interessate dal fenomeno carsico.

Esse hanno uno spessore pari a 4000 m e poggiano su rocce evaporitiche del Trias, a loro volta sovrapposte ad arenarie tipo "Verrucano", poggianti sul basamento cristallino, posto a circa 8-10 Km di profondità [MARTINIS e PAVAN, 1967].

Il Gargano come innanzi accennato rappresenta un *Horst*, appartenente all'avampaese adriatico, interessato da una piega a grande raggio di curvatura legata probabilmente al raccorciamento appenninico e/o successivamente deformatosi a seguito di possibili scorrimenti "superficiali" verso SE ed E con rotazioni antiorarie, prodotti dallo "scollamento" delle formazioni evaporitiche triassiche su un corpo vulcanico [GUERRICCHIO, 1996], individuato dall'AGIP mediante indagini aeromagnetiche [CASSANO et al., 1986], esistente a circa 6 Km al di sotto del livello marino.

I principali lineamenti tettonici, riconosciuti da osservazioni di campagna, dall'interpretazione di immagini da satellite Landsat, dall'esame di fotografie aeree e da dati ottenuti con prospezioni sismiche ad alta risoluzione, sono rappresentati da sistemi di faglie dirette, trascorrenti e inverse di direzione NW-SE (appenninica), ENE-WSW (antiappenninica) in parte trascorrenti, oltre a un sistema a direzione E-W (garganica), anch'esso trascorrente. Il sistema di faglie a direzione NW-SE è predominante nella zona centrale del promontorio, oltre alla struttura di tipo diretto che lo borda nel lato sudoccidentale, mettendo bruscamente a contatto, con una ripida scarpata, le rocce carbonatiche del Gargano con i depositi plio-pleistocenici del Tavoliere (Faglia del Candelaro).

Ad Ovest, invece, il limite è costituito dai terreni appenninici appartenenti alla Formazione della Daunia, costituita da una serie di falde di ricoprimento con vergenza adriatica, relative a più fasi tettoniche compressive mioceniche e plioceniche. La Formazione della Daunia costituisce la porzione esterna della catena appenninica, al confine appulo-molisano, essa poggia con contatto tettonico sui terreni plio-pleistocenici dell'avanfossa, in altre zone la Formazione della Daunia viene ricoperta trasgressivamente dai terreni del ciclo pliocenico che sono caratteristici dei coevi flysch del bacino lagonegrese-molisano. Il bacino apulo risulta coinvolto dalla tettonica appenninica dopo il Pliocene inferiore; infatti le coltri che provengono da questo bacino si accavallano in genere sul Pliocene inferiore, mentre al loro fronte sovrastano talvolta anche sedimenti più recenti.

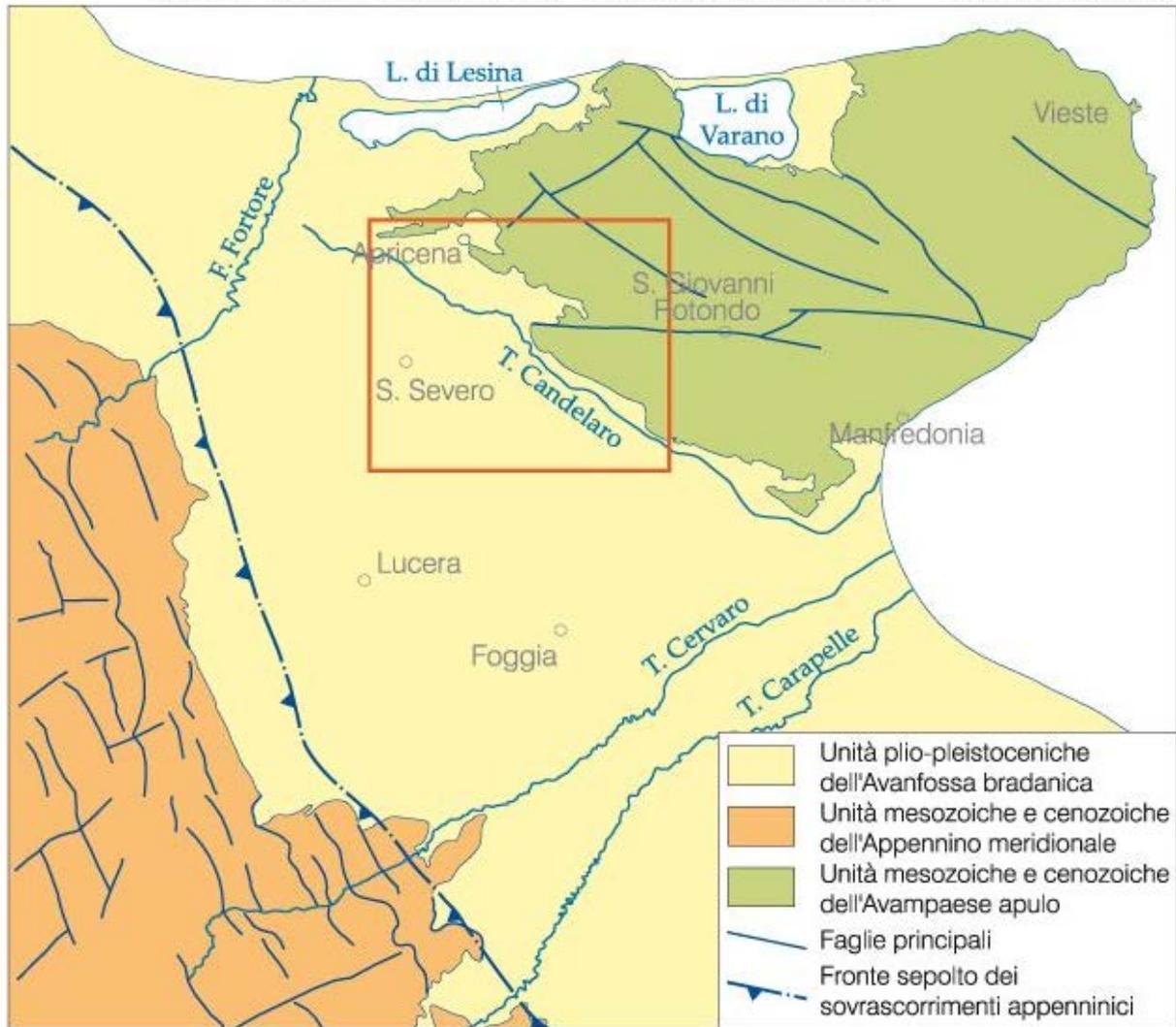
Il fronte sepolto dei terreni appenninici si rinviene intercalato tettonicamente nella parte occidentale della successione argillosa plio-pleistocenica. Quest'ultima poggia su un substrato carbonatico di età pre-pliocenica. La profondità del substrato carbonatico aumenta da Est verso Ovest, raggiungendo nella parte occidentale la profondità di circa 4000-5000 metri) mentre verso Nord-Est il substrato miocenico si rinviene ad una profondità molto inferiore di circa 300. In particolare i terreni affioranti nell'area in studio sono tutti di origine sedimentaria, del tipo alluvionale, trattasi di sabbie limose, limi, argille sabbiose provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici, a questo materiale si intercalano lenti di ciottoli grossolani di provenienza appenninica e garganica.

Sottostante a questi sedimenti si rinviene il substrato argilloso delle argille grigio-azzurre plioceniche.



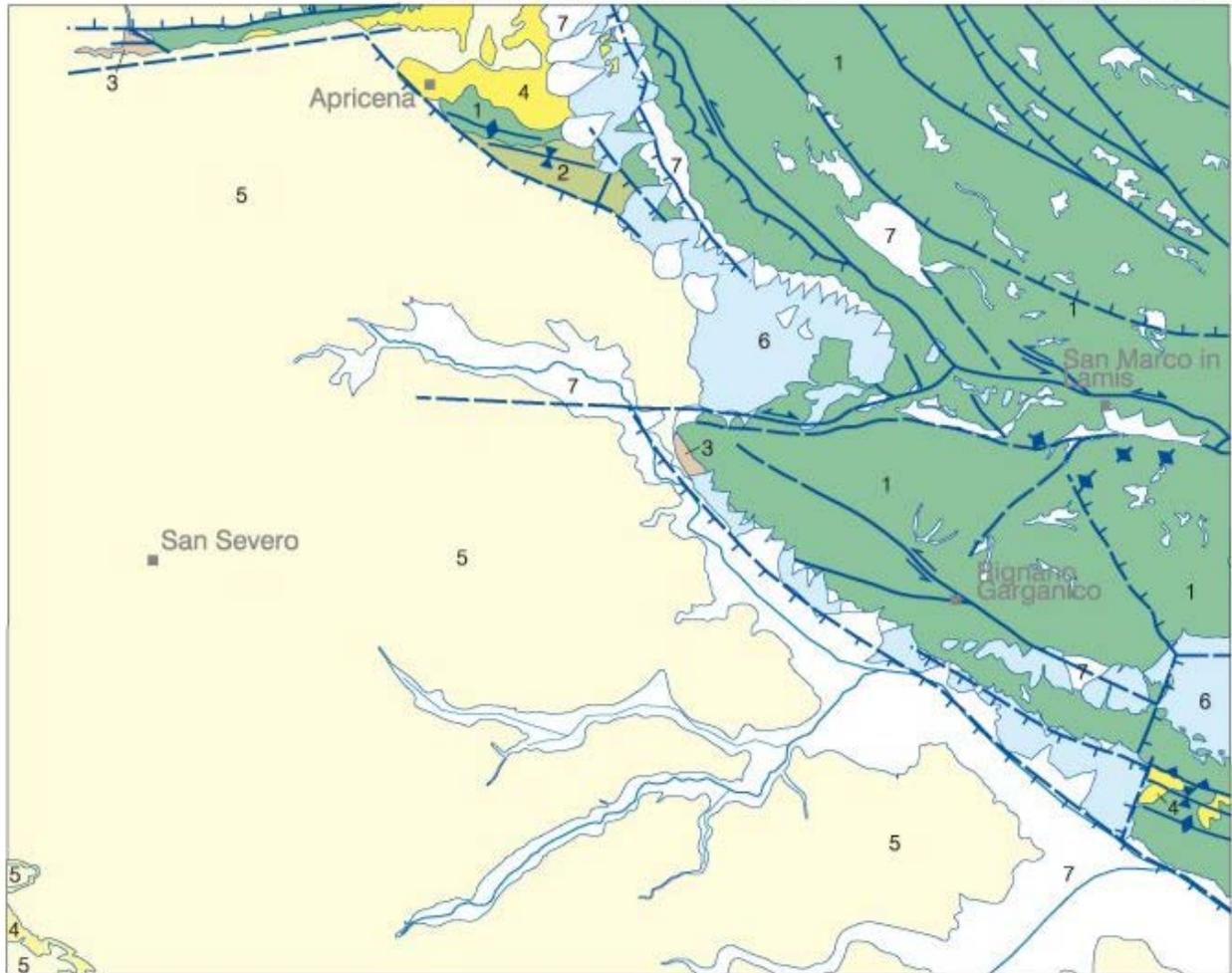
## SCHEMA TETTONICO DI INQUADRAMENTO

Scala 1:1.000.000



### SCHEMA TETTONICO

Scala 1:250000



Schema Tettonico Foglio 396



### 3. GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO



Gli aerogeneratori e parte del cavidotto insistono nei comuni di Lesina e Poggio Imperiale, mentre la SSE e la restante parte del cavidotto insistono nel comune di San Severo e ricadono entrambe nella parte nord orientale del **Foglio 155** "SAN SEVERO" della Carta Geologica 1:100.000.

FOGLIO 155 S. Severo  
Carta Geologica d'Italia  
1:100.000

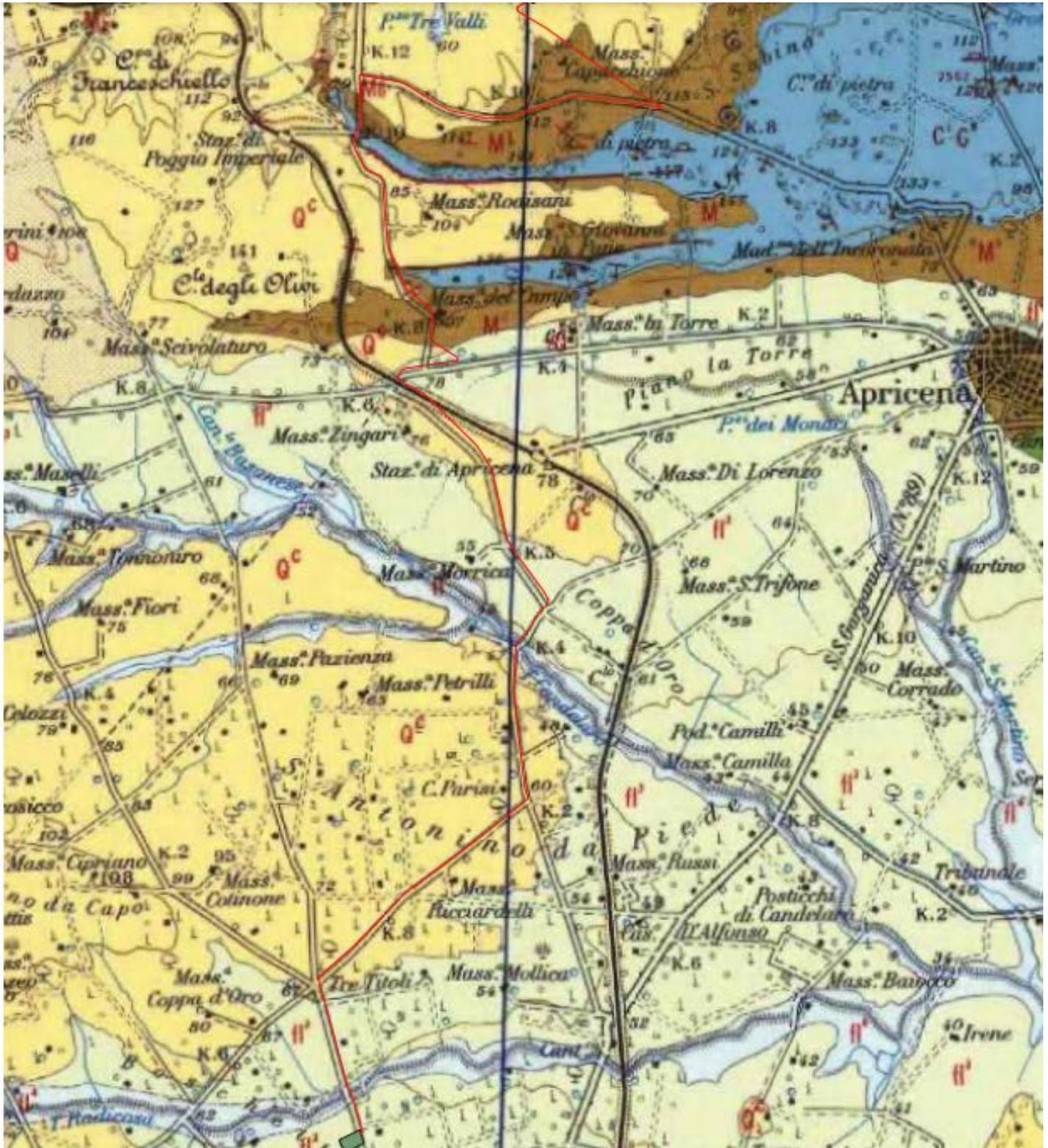


#### Inquadramento carta geologica Foglio 155 Area Aerogeneratori

L'Aerogeneratore LE01 e e l'Area della Sottostazione Elettrica SE ricadono sui terreni appartenenti **coperture fluvio-lacustri** dei pianalti (**ft<sup>1</sup>**), costituite da ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose, calcari pulvrulenti bianchi, spesso ricoperte da "terre nere" ad alto valore humico.

Gli Aerogeneratori LE02 - LE03 - LE04 - LE05 - LE06 - LE07 - LE08 - LE09 - LE10 ricadono sui terreni appartenenti alle SABBIE DI SERRACAPRIOLA (Q<sup>c</sup>) costituite essenzialmente da sabbie giallastre, a grana più o meno grossa, più o meno cementate, a stratificazione indistinta con intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani e argille.





Inquadramento carta geologica Foglio 155 Area cavidotto esterno + Sottostazione Elettrica



## LEGENDA CARTA GEOLOGICA (FOGLIO 155 della carta geologica in scala 1:100.000)

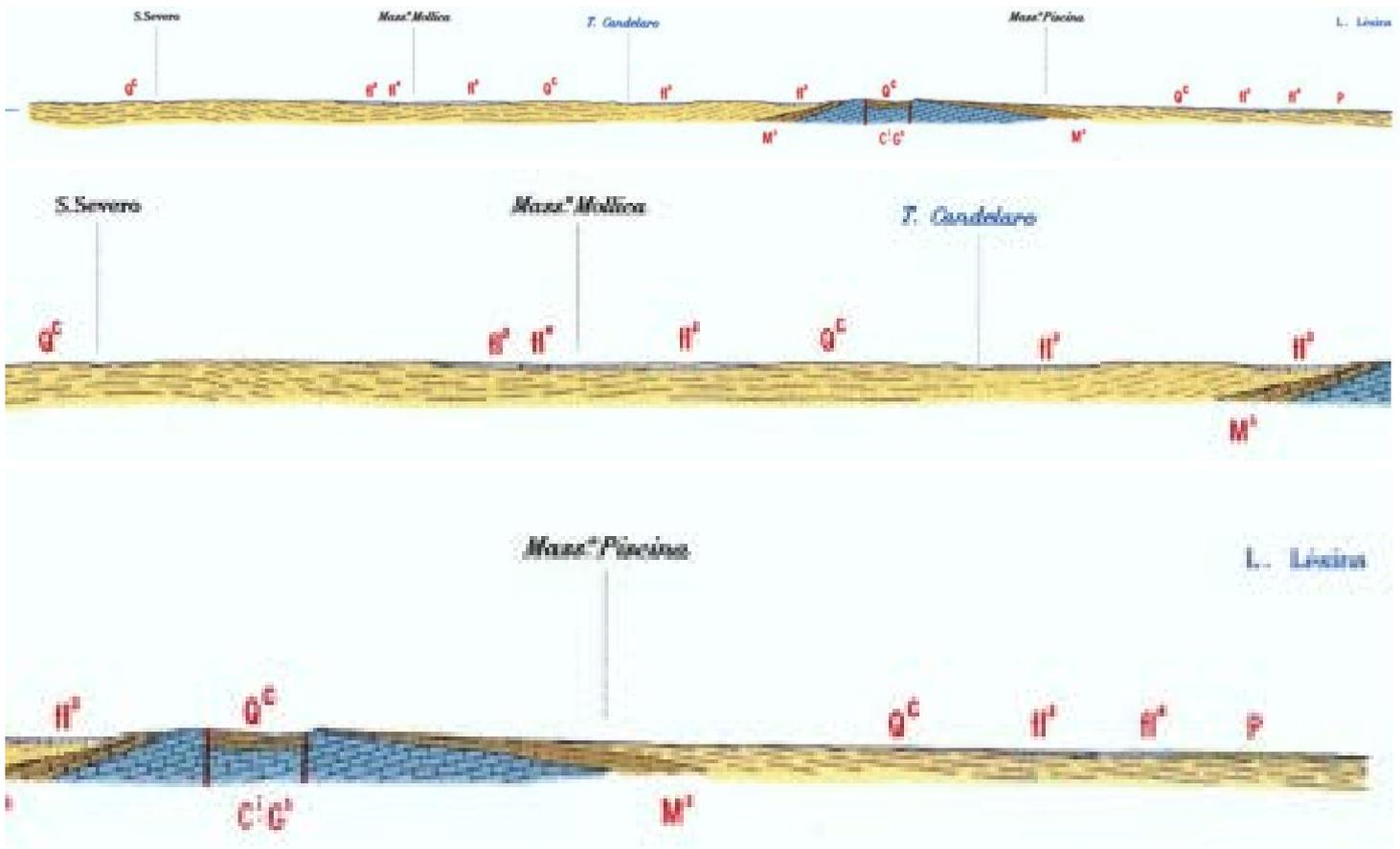
	Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali.
	Sabbie di spiaggia rimaneggiate dal vento.
	Depositi palustri.

	Alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi.
	Alluvioni ghiaioso-sabbioso-argillose del III ordine di terrazzi.
	Coperture fluviali (e lacustri?) del II ordine di terrazzi: ghiaie più o meno cementate, sabbie, argille sabbiose, spesso ricoperte da "terre nere" ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).
	Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi: ghiaie più o meno cementate, livelli lentiformi travertinosi con impronte di piante e di gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi, ricoperti in generale da «terre nere» ad alto tenore humico (paleosuolo forestale).





**SEZIONI GEOLOGICHE**



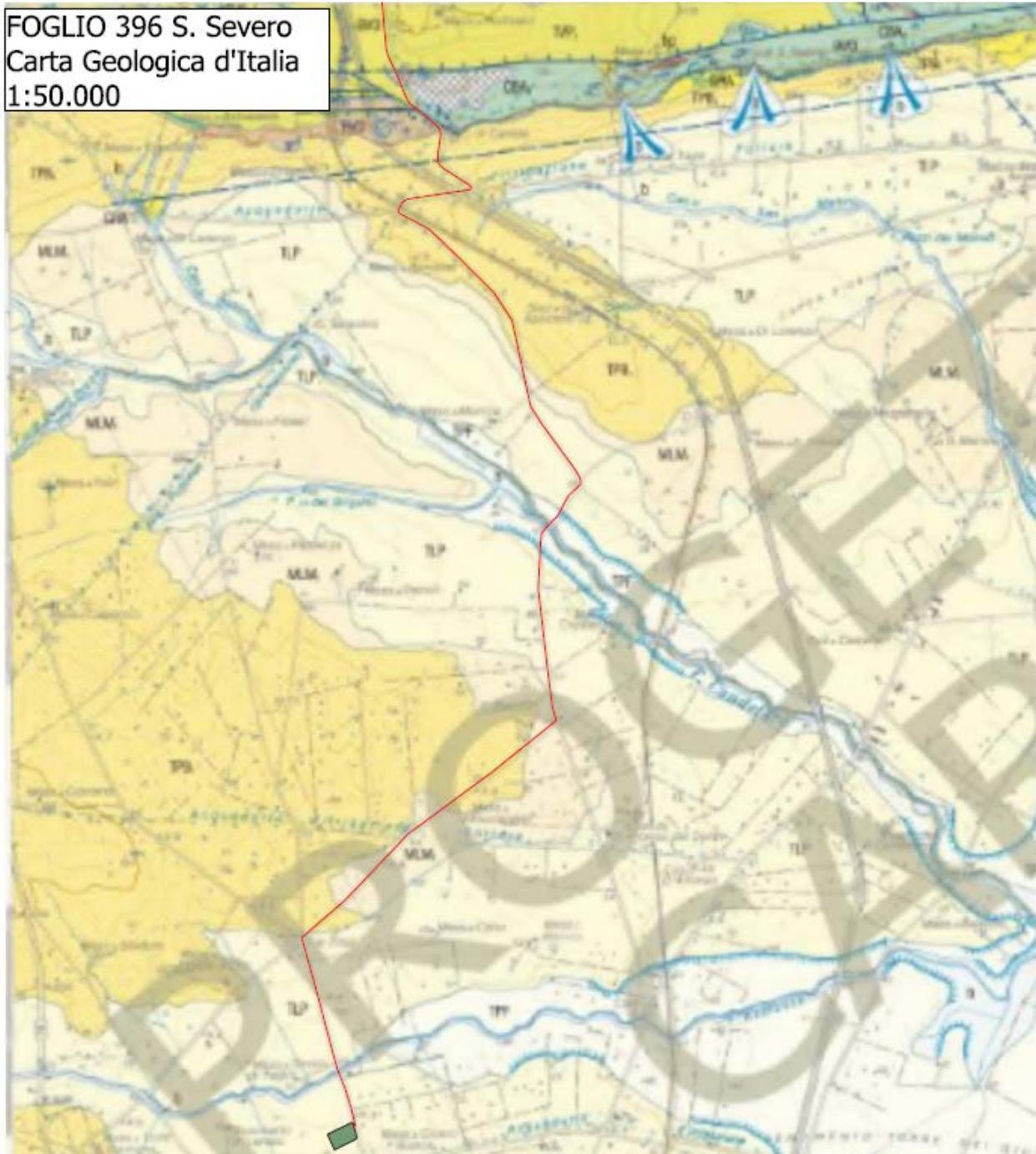
**FOGLIO 396**

**SAN SEVERO**



382 Campomarino	383 Sannicandro Garganico	384 Vico del Gargano
395 Tomsigliore	<b>396 San Severo</b>	397 Marfredonia
407 S. Bartolomeo in Galde	408 Foggia	409 Zapponeta

**FOGLIO 396 S. Severo**  
**Carta Geologica d'Italia**  
**1:50.000**

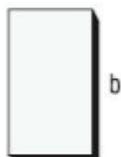


Inquadramento carta geologica Foglio 396 "SAN SEVERO" carta geologica 1:50.000 Area cavidotto esterno  
 + Sottostazione Elettrica

**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 conoide 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 siltosi 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 rinvergono 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 siltose (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 rinvergono 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 Bocola, 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

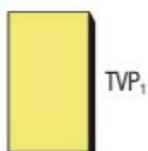


TVP<sub>2</sub>

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 rinvie 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

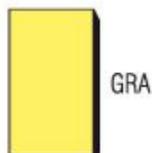


TVP<sub>1</sub>

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 rinvie 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



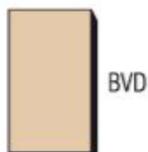
GRA

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, briozi, 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 pesfelis*, *C. flexuosa*, *Pallium incomparabile*, *Parvicardium roseum*, *Clanculus crociatus*, *C. jusseus*, *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, spicole 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*, *Globorotalia 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).

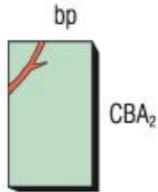
**SERRAVALLIANO MEDIO-SUPERIORE**



**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 biokovensis*, *S. melitae*, *S. muehlbergii*, *S. genevensis*, *Praturonella danilovae*.

VALANGINIANO P.P.-APTIANO P.P.



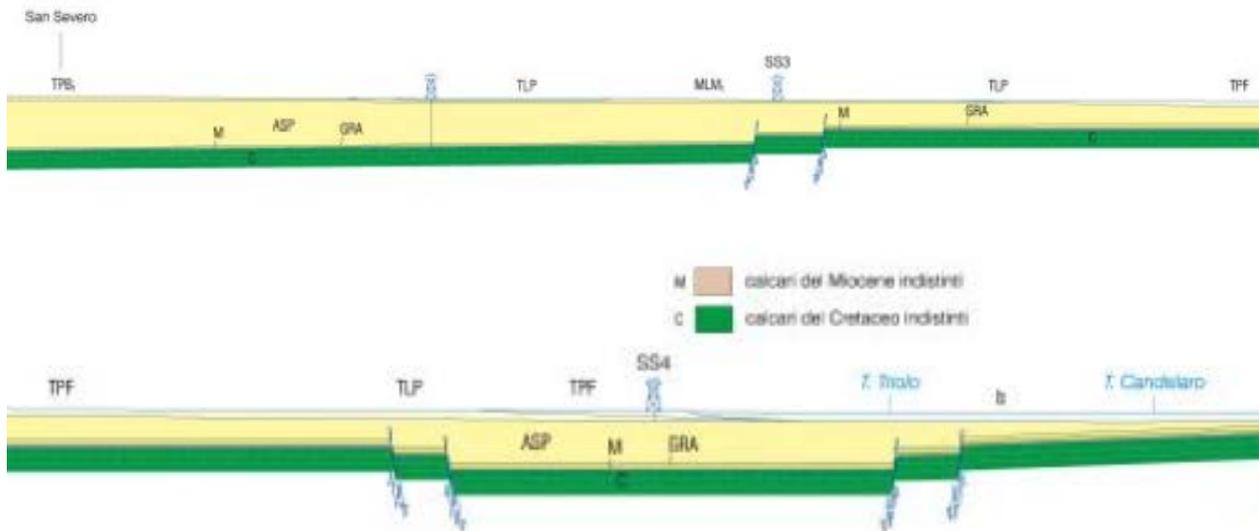
**basalti picritici di Masseria San Giovanni in Pane (bp)**

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 Calcere 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

**SEZIONE GEOLOGICA** ( Foglio 396 della carta 1:50.000)



Si precisa che parte del cavidotto esterno + la Sottostazione Elettrica è stato riportato anche sul Foglio 396 della carta geologica 1:50.000 in quanto risulta più dettagliato.

**3.1. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA**

Si illustra di seguito la Classificazione sismica del Comune di Lesina secondo l'O.P.C.M 3274 del 30.03-2003 aggiornata al 2006

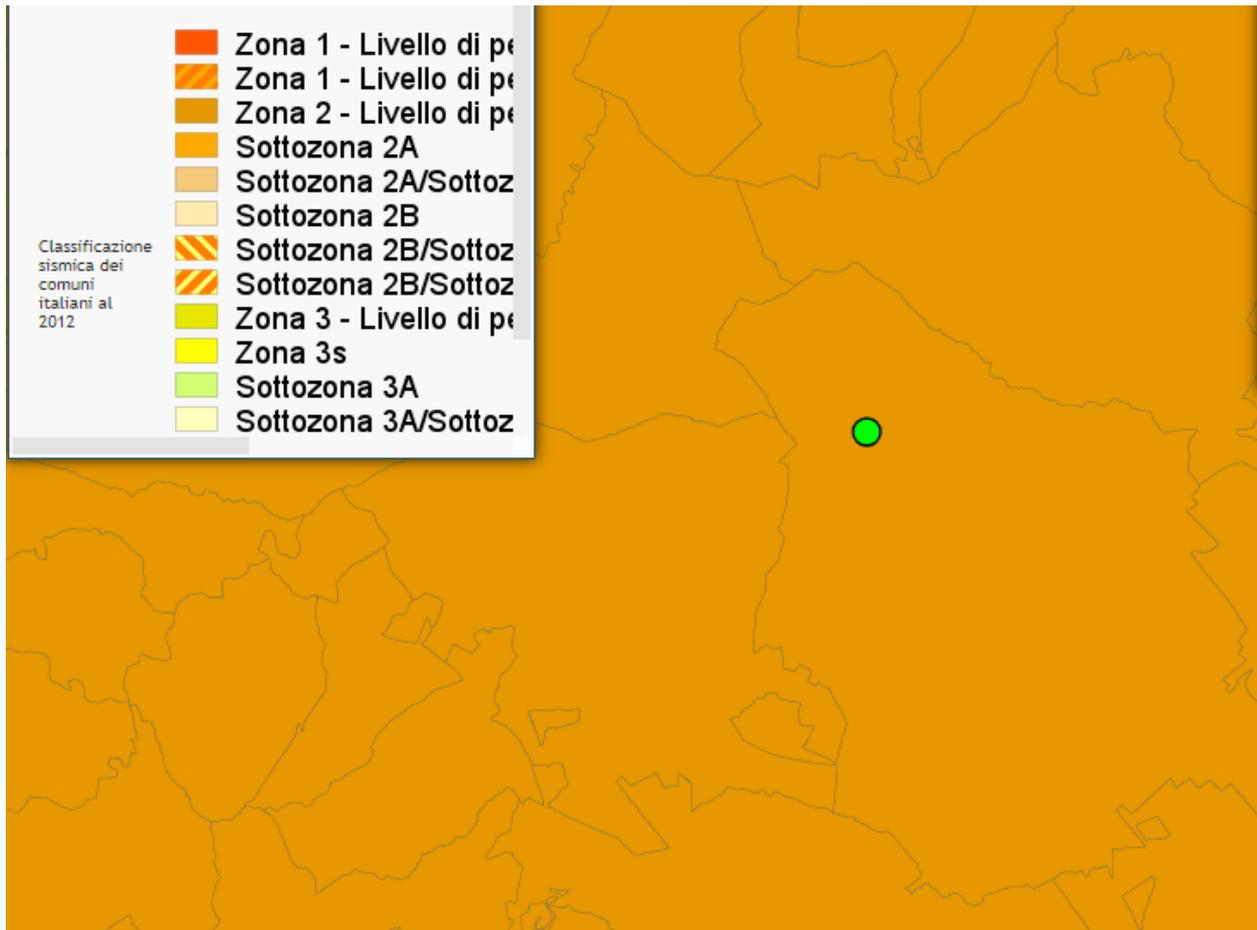




*Individuazione Area Aerogeneratori sita nei comuni di Lesina e Poggio Imperiale in funzione della classificazione sismica*

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





Individuazione Area Sottostazione Elettrica SSE sita nel Comune di San Severo in funzione della classificazione sismica

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

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguiti n. 3 profili MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). Sulla base dell'indagine sismica MASW è stato possibile stimare la categoria di suolo per il sito in esame.

Dalle risultanze della prospezione sismica, è emerso che il territorio in esame, dal punto di vista della caratterizzazione sismica, è classificato come categoria di suolo di fondazione di tipo "A", "B" e "C".



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 <b>C</b> o <b>D</b> per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $Vs > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $Vs_{30} < 100$ m/s
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.

### 3.2. USO DEL SUOLO

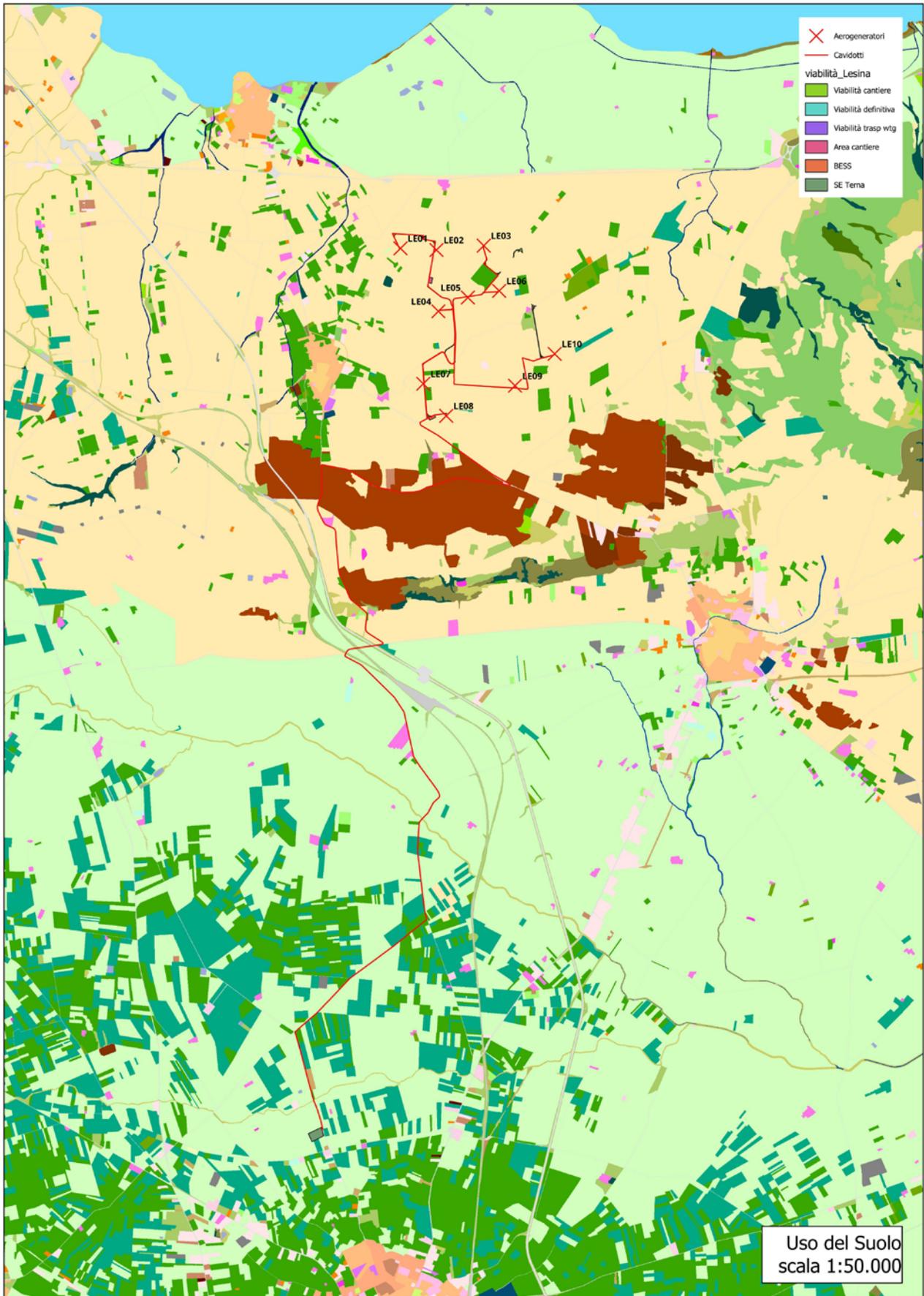
Per quanto riguarda l'uso del suolo, si è fatto riferimento alla banca dati georeferenziata costituita dalla "Carta Corine Land Cover" elaborata, nella sua prima versione, nel 1990 ed oggetto di successive modifiche ed integrazioni finalizzate ad assicurare l'aggiornamento continuo delle informazioni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

Le aree in cui rientra il progetto sono caratterizzate da un elevato utilizzo del suolo a **seminativo semplice** in aree non irrigue e in misura minore da vigneti ed uliveti. Dal punto di vista insediativo, è presente un tessuto residenziale rado e nucleiforme, vari insediamenti produttivi agricoli e insediamenti industriali o artigianali con spazi annessi. L'area di interesse è inoltre attraversata dal fiume Cervaro e costellato da bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui. Per l'analisi dettagliata dell'uso del suolo si richiama la carta dell'uso del suolo di cui si riporta uno stralcio in Figura.





Uso del Suolo (CLC 2011)



Uso del suolo 2011

- 1111 - tessuto residenziale continuo antico e denso
- 1112 - tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso
- 1113 - tessuto residenziale continuo, denso recente, alto
- 1121 - tessuto residenziale discontinuo
- 1122 - tessuto residenziale rado e nucleiforme
- 1123 - tessuto residenziale sparso
- 1211 - insediamento industriale o artigianale con spazi annessi
- 1212 - insediamento commerciale
- 1213 - insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati
- 1214 - insediamenti ospedalieri
- 1215 - insediamento dagli impianti tecnologici
- 1216 - insediamenti produttivi agricoli
- 1217 - insediamento in disuso
- 1221 - reti stradali e spazi accessori
- 1222 - reti ferroviarie comprese le superfici annesse
- 1223 - grandi impianti di concentrazione e smistamento merci
- 1224 - aree per gli impianti delle telecomunicazioni
- 1225 - reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia
- 123 - aree portuali
- 124 - aree aeroportuali ed elporti
- 131 - aree estrattive
- 1321 - discariche e depositi di cave, miniere, industrie
- 1322 - depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli
- 1331 - cantieri e spazi in costruzione e scavi
- 1332 - suoli rimaneggiati e artifiziali
- 141 - aree verdi urbane
- 1421 - campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili
- 1422 - aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)
- 1423 - parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)
- 1424 - aree archeologiche
- 143 - cimiteri
- 211 - seminativi semplici in aree non irrigue
- 2112 - colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue
- 2121 - seminativi semplici in aree irrigue
- 2123 - colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue
- 221 - vigneti
- 222 - frutteti e frutti minori
- 223 - uliveti
- 224 - altre colture permanenti
- 231 - superfici a copertura erbacea densa
- 241 - colture temporanee associate a colture permanenti
- 242 - sistemi colturali e particellari complessi
- 243 - aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali
- 244 - aree agroforestali
- 311 - boschi di latifoglie
- 312 - boschi di conifere
- 313 - boschi misti di conifere e latifoglie
- 314 - prati alberati, pascoli alberati
- 321 - aree a pascolo naturale, praterie, incolti
- 322 - cespuglieti e arbusteti
- 323 - aree a vegetazione sclerofilla
- 3241 - aree a ricolonizzazione naturale
- 3242 - aree a ricolonizzazione artificiale (rimboschimenti nella fase di novellato)
- 331 - spiagge, dune e sabbie
- 332 - rocce nude, falesie e affioramenti
- 333 - aree con vegetazione rada
- 334 - aree interessate da incendi o altri eventi dannosi
- 411 - paludi interne
- 421 - paludi salmastre
- 422 - saline
- 5111 - fiumi, torrenti e fossi
- 5112 - canali e idrovie
- 5121 - bacini senza manifeste utilizzazioni produttive
- 5122 - bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui
- 5123 - acquaculture
- 521 - lagune, laghi e stagni costieri
- 522 - estuari



#### 4. 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 40 m a partire dalla superficie topografica. Di seguito si riportano le risultanze di questa base sismica eseguita:

- ✓ **SSE:** si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	203	0,0 ÷ 2,0	<i>Terreno di alterazione superficiale e terreno vegetale</i>
2	330	2,0 ÷ 7,0	<i>Limi argillosi</i>
3	594	7,0 ÷ 36,0	<i>Sabbie con ghiaia con falde acquifere</i>

- ✓ **Aerogeneratori LE01, LE02, LE03, LE04, LE05 e LE06:** si individuano due sismostrati

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	326	1,0 ÷ 28,0	<i>Sabbia medio-grossa di colore giallastro</i>
2	591	28,0 ÷ 40,0	<i>Sabbie con ghiaia</i>

- ✓ **Aerogeneratori LE07, LE08, LE09 e LE10:** si individuano due sismostrati

	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	186	1,0 ÷ 2,0	<i>Sabbia medio-grossa di colore giallastro</i>
2	475	2,0 ÷ 40,0	<i>Argille limosa giallastra</i>

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

- ✓ **SSE**
  - Fino a 2 metri di profondità circa – Terreno di alterazione superficiale e terreno vegetale (Tab.1);
  - Da 2 a 7 metri di profondità - Limi argillosi (Tab.2);
  - Da 7 a circa 36 metri di profondità - Sabbie con ghiaia con falde acquifere (Tab.3).

Tab. 1 - Terreno di alterazione superficiale e terreno vegetale

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.75 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>1.8 kN/mc</b>
poisson	<b>0.49</b>
angolo di attrito	<b>16°</b>

Tab. 2 - Limi argillosi

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.85 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>1.95 kN/mc</b>
poisson	<b>0.48</b>
angolo di attrito	<b>30°</b>



Tab. 3 Sabbie con ghiaia con falde acquifere

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>19.50 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>20.60 kN/mc</b>
poisson	<b>0.45</b>
angolo di attrito	<b>30°</b>

- ✓ [Aerogeneratori LE01, LE02, LE03, LE04, LE05 e LE06](#)
- Fino a 28 metri di profondità circa – Sabbia medio-grossa di colore giallastro (Tab.4);
- Da 28 a 40 metri di profondità - Sabbie con ghiaia (Tab. 5);

Tab. 4 Sabbia medio-grossa di colore giallastro

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.8 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>1.85 kN/mc</b>
poisson	<b>0.33</b>
angolo di attrito	<b>28°</b>

- ✓ [Tab. 5 Sabbie con ghiaia](#)

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.95 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>2.01 kN/mc</b>
poisson	<b>0.33</b>
angolo di attrito	<b>33°</b>

- ✓ [Aerogeneratori LE07, LE08, LE09 e LE10](#)
- Fino a 2 metri di profondità circa – Sabbia medio-grossa di colore giallastro (Tab.6);
- Da 2 a 40 metri di profondità - Argille limosa giallastra (Tab.7);

Tab. 6 Calcarenite di Castiglione o tufo delle murge

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.80 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>1.85 kN/mc</b>
poisson	<b>0.49</b>
angolo di attrito	<b>18°</b>

Tab. 7 Argille siltose grigiastre con venature azzurrastre

<b>Parametri fisici</b>	
p.v. naturale	<b>1.95 kN/mc</b>
p.v. saturo	<b>2.01 kN/mc</b>
poisson	<b>0.46</b>
angolo di attrito	<b>24°</b>

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.



## 5. CENNI TEORICI SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE

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

### 5.1. CARICO LIMITE VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE

È prevista la realizzazione di strutture di fondazione di tipo profondo quali pali trivellati del diametro  $\phi$  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:

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

#### 5.1.1. 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) =  $(\pi * D^2/4)$

$\gamma$  = 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

$\eta$  = 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  $\epsilon_v$  è pari a:

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

e

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

### 5.1.2. 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  $\alpha$  proposto da Tomlinson (1971), ovvero attraverso la formula:

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

dove

$\alpha$  = 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 =  $\gamma H_{med}$

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

$\gamma$  = peso di volume del terreno

$\delta$  = angolo di attrito efficace calcestruzzo-terreno di fondazione =  $\phi$

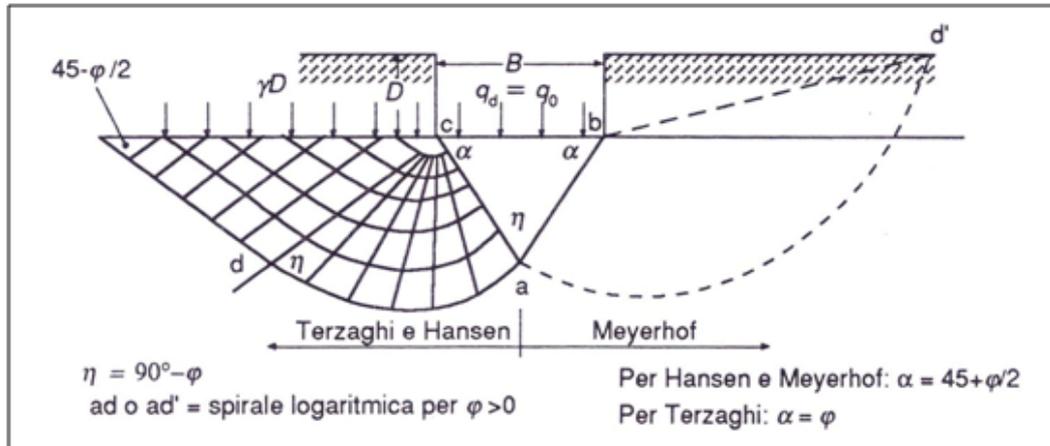
$K$  = coefficiente empirico dipendente dalla natura del terreno e dalle modalità costruttive del palo =  $k_0$  (coefficiente di spinta a riposo) (Ireland, 1957, Flates e Selnes, 1977, Tavenas, 1971)

## 5.2. 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:



$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_y \cdot s_y \cdot d_y \quad (1)$$



dove:

$c$  = coesione

$\gamma_1$  = peso volume del terreno posto al disopra del piano di fondazione;

$\gamma_2$  = peso volume del terreno di fondazione;

$D$  = profondità di incasso della fondazione;

$B$  = lato minore della fondazione

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

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

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

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

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

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

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

$$N_y = N_q + 1$$

$s_c$ ,  $s_q$  e  $s_y$ ,  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_y$  = fattori di forma, pari a:

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

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

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

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

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



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

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

nelle quali  $\theta$  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  $z_y$  = fattori che tengono conto degli effetti cinematici sul terreno di fondazione secondo il criterio di Paolucci e Pecker, pari a:

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

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

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  $\beta_m$  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
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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.<sup>2</sup>.

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/cm<sup>2</sup>) = modulo elastico del terreno (Young);

$E_f$  (daN / cm<sup>2</sup>) = modulo elastico della fondazione;

$I_f$  (cm<sup>4</sup>) = momento d'inerzia della fondazione;

$B$  (cm) = larghezza della fondazione;

$\nu$  = 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:

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



## 6. 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  $X_k/\gamma_M$  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  $\gamma_R$  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  $\gamma_R$  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  $\gamma_R$  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 $\gamma_F$ (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

**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 $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	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  $\gamma_R$  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  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali



## 7. 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.

