

0	Luglio 2023	PRIMA EMISSIONE	MG	VF	EG
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

**REGIONE SICILIA**  
**Provincia di Catania**  
**COMUNE DI CALTAGIRONE**

PROGETTO

**PARCO EOLICO "CALTAGIRONE"**  
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DI POTENZA NOMINALE PARI A 54,00 MW**  
**INTEGRATO CON UN SISTEMA DI ACCUMULO DA 36,00MW**  
**E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE**



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMITTENTE :



Via Caravaggio, 125 - 65125 Pescara  
P.I. 02349170684

PROGETTISTA :



**Hydro Engineering s.s.**  
di Damiano e Mariano Galbo  
via Rossotti, 39  
91011 Alcamo [TP] Italy




OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE GEOTECNICA**

CODICE ELABORATO	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE COMMITTENTE
<b>CAL-PD-R12</b>	/	1 di 23	A4	
ID ELABORATO (HE): CAL-PD-R12		NOME FILE: CAL-PD-R12_Relazione geotecnica		

Wind energy Caltagirone S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

---

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>8</b>
4.1	RIFERIMENTI CARTOGRAFICI .....	8
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE.....</b>	<b>18</b>
<b>9</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO AI SENSI DEL DM</b>	
<b>17.01.2018.....</b>		<b>20</b>
<b>10</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>23</b>

## 1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "Parco eolico Caltagirone" con potenza nominale pari a 54 MW, integrato con un sistema di accumulo da 36 MW, per una potenza totale di 90 MW.

L'impianto eolico sarà composto da nove aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,00 MW, per una potenza complessiva di 54 MW, ubicato nel Comune di Caltagirone, Provincia di Catania e proposto dalla società Wind Energy Caltagirone S.r.l. con sede in Pescara nella via Caravaggio 125. Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 6,00 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questa tipologia di aerogeneratore è allo stato attuale quella ritenuta più idonea per il sito di progetto dell'impianto.

Inoltre, si intende realizzare un sistema di accumulo elettrochimico di potenza ed energia nominale rispettivamente pari a 36MW-72MWh accoppiato all'impianto eolico. Il sistema di accumulo si compone di dodici sottosistemi ciascuno dei quali dotato di tre interruttori MT, un trasformatore MT/BT a doppio secondario e due inverter. A ciascun inverter sono connessi in parallelo 15 battery rack, sul bus DC, ognuna composta dalla serie di 15 moduli batteria.

Oltre agli aerogeneratori e al sistema di accumulo (BESS), il progetto si compone delle seguenti opere:

- un elettrodotto interrato con cavi a 36 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori;
- un edificio di consegna;
- una nuova Stazione Elettrica di Terna 380/150/36 "Raddusa 380" da inserire in entra – esce sulla futura linea RTN a 380 kV "Chiaromonte Gulfi -Ciminna";
- raccordi di connessione AT a 380 kV, tra la stazione 380/150/36kV "Raddusa 380" e la linea RTN a 380 kV "Chiaromonte Gulfi -Ciminna".

La richiesta di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) è stata accettata per un impianto di generazione da fonte rinnovabile (eolica) con potenza nominale pari a 54 MW e integrato con un sistema di accumulo da 36 MW. La potenza totale richiesta ai fini della connessione è di 90 MW in immissione e 36 MW in prelievo.

Si precisa che la progettazione della futura stazione elettrica di Terna 380/150/36 "Raddusa 380", e dei relativi raccordi aerei 380 kV di collegamento alla RTN che interessano i Comuni di

Ramacca (CT), sono oggetto di procedimento autorizzativo che fa capo ad un altro proponente definito “Capofila”, che ha partecipato alle attività di coordinamento organizzate da Terna spa. Il seguente documento riguarda la relazione geotecnica.

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA DI FONDAZIONE

Nella attuale fase di progettazione definitiva, si eseguiranno dei calcoli basati sullo studio geologico “*Relazione geologica, geomorfologica e sismica*” CAL PD R13.

Durante la fase di progettazione esecutiva a seguito di indagini geologiche più approfondite saranno valutate eventuali alternative alle fondazioni indirette.

Come risulta dal calcolo di pre-dimensionamento, la fondazione indiretta proposta sarà costituita da un plinto circolare, di diametro 20,00 m e spessore variabile su pali di adeguata lunghezza. All'interno del plinto di fondazione sarà annegata una gabbia di ancoraggio metallica cilindrica dotata di una piastra superiore di ripartizione dei carichi ed una piastra inferiore di ancoraggio. Entrambe le piastre sono dotate di due serie concentriche fori che consentiranno il passaggio di barre filettate ad alta resistenza di diametro 36 mm, che, tramite dadi, garantiscono il corretto collegamento delle due piastre.

Dietro ai lati del manufatto dovrà essere realizzato uno strato di drenaggio dello spessore di 60 cm, munito di tubazione di drenaggio forata per l'allontanamento delle acque dalla fondazione. Nella fondazione, oltre al sistema di ancoraggio della torre, saranno posizionate le tubazioni passacavo in PVC corrugato, nonché gli idonei collegamenti alla rete di terra

Il dimensionamento finale delle fondazioni sarà effettuato sulla base dei parametri geotecnici derivanti dalle prove in sito e di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso di appositi sondaggi in fase di progettazione esecutiva.

L'analisi dei terreni e il predimensionamento delle fondazioni è riportato nel documento Relazione sul predimensionamento delle fondazioni CAL PDR04 mentre la relazione geotecnica è riportata nel documento CAL PDR14.

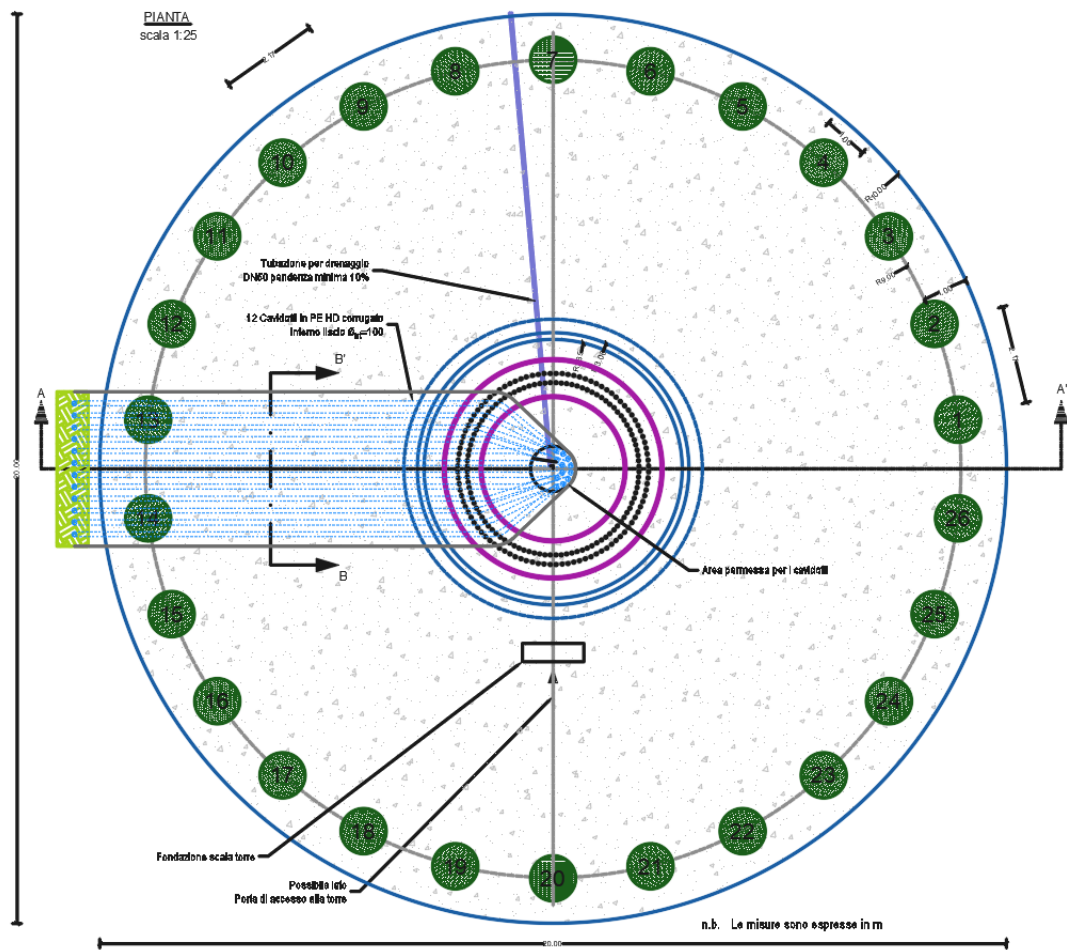


Fig. 5 Pianta del plinto con indicazione dei pali di fondazione (n.26 del diametro 100 cm)



### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la normativa tecnica nazionale in vigore: “Norme Tecniche per le Costruzioni”, D.M. 17/01/2018.

Si farà, inoltre, riferimento alle seguenti normative:

Legge n. 1086 del 05.11.1971 “Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso, ed a struttura metallica”;

Legge n. 64 del 02.02.1974 – “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

IEC 60400-1 “Wind Turbine safety and design”;

Eurocodice 2 “Design of concrete structures”.

Eurocodice 3 “Design of steel structures”.

Eurocodice 4 “Design of composite steel and concrete structures”.

Eurocodice 7 “Geotechnical design”.

Eurocodice 8 “Design of structures for earthquake resistance”.



## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 4.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori in numero di nove ricadono nelle contrade Serra di Frasca (T01, T02 e T03), La Piccionara (T04), Poggio Spadalucente (T05 e T07), Poggio Finocchio (T06 e T08), Santa Chiara (T09) tutte nel Comune di Caltagirone, provincia di Catania.

Di seguito cartografie e fogli di mappa catastali interessati dalle opere:

#### **IGM 25 K:**

- 273\_IV\_NE-Mineo
- 273\_IV\_NO-Monte Frasca

#### **CTR 10K:**

- 639110

#### **Catastali**

Comune di Caltagirone fogli:

- 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 48, 49

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 degli aerogeneratori:

WTG	EST	NORD	Riferimenti catastali
T01	459307.45	4127118.40	Caltagirone Foglio 17, p.la: 15
T02	460362.39	4126929.97	Caltagirone Foglio 17, p.la: 55
T03	461777.69	4127321.17	Caltagirone Foglio 18, p.la: 182
T04	462552.00	4125392.00	Caltagirone Foglio 23, p.la: 68
T05	460179.65	4125375.32	Caltagirone Foglio 27, p.la: 59
T06	461801.31	4124966.43	Caltagirone Foglio 25, p.la: 65
T07	460570.15	4125032.03	Caltagirone Foglio 17, p.la: 15
T08	461316.78	4124794.43	Caltagirone Foglio 25, p.la: 56
T09	460058.00	4124164.00	Caltagirone Fogli 48, p.la: 28

Tabella 1 – Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 33 WGS84



Fig. 1 Ubicazione area di impianto da satellite

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in studio si inquadra in una zona di transizione tra il margine nord-occidentale del plateau ibleo ed il margine sud-occidentale della struttura geologica nota come Avanfossa Gela-Catania. Quest'ultima rappresenta la porzione sud-orientale della più ampia Fossa di Caltanissetta, incuneata tra l'Avampaese Ibleo-Ragusano e la Catena Appenninico-Maghrebide. L'Avanfossa Gela-Catania, il cui substrato è dato da depositi carbonatici del Plateau Ibleo ribassati fa parte quindi di quell'ampio bacino attivamente subsidente durante il Neogene ed il Pleistocene inf. comprendente tutta la Sicilia centro-meridionale. In essa, infatti, associati all'episodio gravitativo della Falda di Gela, sono presenti ingenti coperture di materiali terrigeni a tendenza regressiva con al tetto arenarie o conglomerati.

L'area interessata dal Plateau Ibleo, che occupa l'estremità sud-orientale della Sicilia, si presenta come un altopiano sub-circolare culminante al centro con Monte Lauro (987 m s.l.m.), dal quale si dipartono a raggiera numerose propaggini; la propaggine che punta a N-O in direzione Caltagirone, passando per Vizzini e Grammichele, fa da raccordo con i monti Erei, nella Sicilia centro-orientale. L'altopiano ibleo è dapprima ribassato da sistemi di faglie ad orientazione NE-SW le quali danno luogo ad una depressione strutturale che assume il significato di avanfossa esterna e nella quale si collocano le depressioni strutturali di Vittoria ed il graben di Scordia-Lentini, riempiti da sedimenti quaternari. Verso NW poi un ulteriore ribassamento fa sì che il Plateau venga definitivamente ribassato, sempre al di sotto delle coperture quaternarie, fino ad immergersi sotto il fronte della Falda di Gela a profondità molto elevate, deducibili dall'elaborazione di dati geofisici. Tale falda è costituita da terreni prepliocenici e pliocenici, e rappresenta il fronte più avanzato della Falda della Catena Appenninico-Maghrebide, inserita a cuneo entro orizzonti da medio-pliocenici a quaternari della Fossa di Gela-Catania, pertanto, generalmente non visibile in affioramento perché coperta dai depositi quaternari ed accertata solo attraverso perforazioni.

Nell'area oggetto degli interventi si rinvengono in affioramento depositi ascrivibili alla Falda di Gela, che nelle restanti aree della Sicilia centro meridionale, sono invece quasi sempre occultate da più o meno potenti coperture quaternarie.

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito di progetto, e successivamente integrato con le indagini geognostiche

eseguite, ha permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata.

Le formazioni geologiche che affiorano nell'area in studio (si veda la carta geologica allegata), procedendo da quelle di deposizione più recente verso quelle più antiche, sono le seguenti:

- Depositi alluvionali (Olocene)
- Argille grigio-azzurre (Pleistocene)
- Calcari marnosi e marne biancastre (Trubi - Pliocene inf.)
- Calcari di base e gessi della serie evaporitica (Miocene superiore - Messiniano)
- Marne grigie argillose e sabbiose (Miocene superiore - Tortoniano)

### **Depositi alluvionali**

Si riscontrano all'interno degli alvei fluviali e all'interno dei solchi torrentizi di maggiore entità. In particolare, nell'area in studio, si ritrovano a formare la piana alluvionale sulla quale scorre il fiume Caltagirone, che scorre poco a valle del sito di impianto.

Tali depositi sono prevalentemente incoerenti, costituiti da limi, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose e ghiaie con giacitura sub orizzontale ed assetto lenticolare embriciato.

I limi sono costituiti in prevalenza da minerali argillosi e sono privi di tessitura; le sabbie, che presentano granulometria variabile da fine a grossa, sono costituite per la maggior parte da elementi quarzosi e calcarei.

### **Argille grigio-azzurre**

Affiorano nel settore più meridionale dell'area interessata dal progetto.

Fanno parte di una potente successione bioclastica depositatasi nel Pleistocene Inferiore, avente nel suo complesso uno spessore di oltre 300 metri, caratterizzata da quattro diverse facies. Alcune di esse sono di natura arenitico-sabbiosa ed altre di natura pelitica. Il sito in esame risulta composto da argille marnose e marne argillose di colore grigio-azzurro (AA), a luoghi ad elevato contenuto sabbioso, con abbondanti fossili tra cui citiamo la *Artica Islandica*.

Nella porzione più superficiale appaiono di colore beige-giallastro perché ossidate dagli agenti atmosferici mentre in profondità assumono la colorazione tipica grigiastrea.

Localmente presentano un elevato contenuto in sabbie e ghiaie, quest'ultime costituite da elementi lapidei a spigoli vivi o sub angolari di natura calcarea immersi in una matrice limo-sabbiosa. La matrice limo-sabbiosa presenta una colorazione marrone chiaro-beige.

Il periodo di deposizione risale al Pleistocene inferiore.

**Calcarei marnosi e marne biancastre** (Trubi - Pliocene inf.), si tratta di marne e calcari marnosi a microforaminiferi planctonici, di colore generalmente bianco-crema, a frattura concoide. Tali depositi segnano al tetto la fine della serie evaporitica ed il ritorno a condizioni di mare profondo, come evidenziato dalla ricca fauna fossile. Gli spessori possono raggiungere anche i 100 metri. Si presentano alterati in superficie e variano molto dal punto di vista litologico in base alla percentuale di argilla presente, passando così da terreni calcareo marnosi duri e tenaci a marne consistenti ad argille marnose tenere.

### **Calcare di base (Messiniano)**

La *formazione calcareo-solfifera* è costituita da un calcare bianco e grigio chiaro, talora ben stratificato o, più frequentemente, massivo, brecciato, fratturato, cavernoso e poroso. Non sono rare, a vari livelli, intercalazioni di spessore decimetrico di natura argillosa o argilloso-marnosa. Tale orizzonte calcareo si trova alla base della serie gessoso solfifera e la sua posizione stratigrafica normale è interposta tra il Tripoli al letto ed i gessi al tetto. Di norma il calcare si trova disposto in banchi grossolani, mal distinguibili, di spessore metrico, e la stratificazione è segnata quasi sempre da intercalazioni di marne grigie o di sottili livelli argillosi. Nell'area in esame si presenta piuttosto degradato, pulverulento, facilmente disaggregabile.

### **Marne grigie argillose e sabbiose**

Tali depositi affiorano estesamente nell'area di intervento.

Costituiscono il substrato sul quale si è depositata la successione evaporitica presente in maniera diffusa in Sicilia, rappresentata nel sito in esame soltanto dai calcari di base.

Si tratta di argille, argille sabbiose, siltose o marnose di colore grigio-azzurro e grigio-verdastro quando inalterate, superficialmente assumono una colorazione giallastra, rossastra o marrone chiaro. Contengono spesso cristalli di gesso, si presentano dure e compatte, a frattura concoide e con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione. Dal punto di vista mineralogico sono costituite da un abbondante scheletro sabbioso in cui prevalgono quarzo, gesso, calcite, tracce di dolomite, feldspati, pirite, ossidi di ferro, mentre la frazione argillosa è costituita da kaolinite, illite, montmorillonite e scarsa clorite, cui si aggiungono in minori quantità interlami-nazioni illitiche-montmorillonitiche. La tessitura è brecciata e talora a scaglie; la

stratificazione è marcata dai sottili livelli sabbiosi intercalati. Le argille spesso si presentano piuttosto tettonizzate con giunti variamente orientati caratterizzati da superfici lucide. Il grado di erodibilità è elevato.

Il periodo di deposizione risale al Tortoniano (Miocene superiore).

Per quanto concerne i dettagli degli affioramenti si rimanda alla carta geologica (All. 1 alla relazione geologica).

## 6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in studio ricade all'interno del territorio comunale di Caltagirone (Provincia di Catania), a monte della SS417, direzione Caltagirone-Catania.

Dal punto di vista cartografico il sito ricade nelle tavole della CTR n°639110 e 639100 (SSE), nella cartografia IGM al foglio 273 IV NO – Tav. "MONTE FRASCA".

L'assetto geomorfologico di un territorio è determinato dall'interazione tra le caratteristiche geologico-strutturali dei terreni presenti in affioramento e gli agenti morfogenetici predominanti in quella particolare area.

Una prima notevole differenza si ha a seconda che siano presenti in affioramento rocce lapidee, coerenti, pseudocoerenti o incoerenti.

Partendo dalla tettonica, che deforma i corpi litologici di un'area dando luogo a forme cosiddette "strutturali", la risposta di queste due grandi categorie di terreni agli agenti morfodinamici esterni risulta profondamente diversa.

Le litologie di tipo pseudocoerente e incoerenti si conformano secondo rilievi dall'andamento spesso mammellonare, regolari, interrotti localmente da forme geomorfologiche legate ad attività erosiva intensa; mentre le litologie coerenti e/o lapidee danno luogo a forme più acclivi, dall'andamento più accidentato ed irregolare.

Questa marcata differenziazione di origine "strutturale" viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta "erosione selettiva", ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale viene esercitata essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica.

Le litologie coerenti vengono erose in misura ridotta e tendono quindi a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudocoerenti che, differentemente, vengono maggiormente aggredite dagli agenti esogeni.

Il sito in esame è caratterizzato dalla presenza di depositi prevalentemente argillosi ed argilloso-marnosi (facilmente erodibili); procedendo verso monte tali terreni lasciano il posto, in affioramento, a terreni di natura calcarea (maggiormente resistenti agli agenti atmosferici). Dal punto di vista geomorfologico il risultato è quello di un'area caratterizzata nel tratto di monte da pendenze più accentuate, mentre nel tratto medio basso si hanno pendenze meno accentuate. II

sito oggetto di intervento ricade in una porzione del territorio ad andamento collinare con quote che vanno dai 440 a 600 m s.l.m..

Il parco eolico ricade in un'area litologicamente composta da depositi argillo-sabbiosi e argillo-marnosi, caratterizzata da deboli pendenze, che degrada dolcemente in direzione sud-est verso il corso del F. Margi e il centro abitato di Caltagirone.

Le buone condizioni di stabilità dell'area in cui andranno ad insistere le opere in progetto sono garantite in prima analisi dalle deboli pendenze dei versanti ed altresì dall'assenza di agenti morfodinamici attivi che possano turbare l'attuale equilibrio morfologico. Per tali motivi non è stato ritenuto opportuno eseguire verifiche della stabilità dell'area in quanto le stesse avrebbero fornito valori del coefficiente di sicurezza di gran lunga superiori rispetto a quello minimo previsto dalla vigente legge.

Ciò è confermato dal **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia che non inserisce il sito di progetto in nessuna delle tipologie di rischio previste.**

Si rimanda alla carta dei dissesti edita dall'A.R.T.A. nell'ambito del P.A.I. La cartografia consultata è quella relativa al *“Bacino idrografico del Fiume Simeto (094), area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A), Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C) - anno 2005”*.

Nella carta Geomorfologica allegata le linee di impluvio, i corsi d'acqua e i laghetti collinari sono evidenziati con il colore blu.

Si rimanda alla carta geomorfologica (All. 1).



## 7 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Sulla base delle considerazioni di carattere geologico-strutturale, l'area in esame può essere suddivisa, dal punto di vista idrogeologico, in tre complessi principali; infatti, la circolazione idrica sotterranea presenta aspetti e caratteristiche differenti in relazione soprattutto ai litotipi affioranti, ma anche al loro particolare assetto.

### *1) Rocce permeabili per porosità*

Appartengono a questa categoria i depositi alluvionali.

I terreni di tale complesso idrogeologico presentano una permeabilità variabile da medio-bassa ad alta, in funzione del prevalere della classe granulometrica più minuta su quella grossolana. Generalmente i pori intergranulari dei depositi clastici aventi una scarsa matrice limosa tendono a saturarsi durante la circolazione delle acque di infiltrazione consentendo la formazione di un acquifero. Tuttavia, quando la componente pelitica prevale in percentuale su quella sabbio-ghiaiosa, la permeabilità tende a diminuire perché i pori si occludono rendendo difficoltosa la circolazione idrica.

### *2) Rocce permeabili per fratturazione e carsismo*

Rientrano in questa categoria il Calcarea di base appartenente alla formazione gessoso-solfifera e i Calcari marnosi e marne biancastre a foraminiferi planctonici (Trubi - Pliocene inf.).

Si tratta di rocce dotate di bassa permeabilità primaria ma elevata permeabilità secondaria dovuta all'intenso grado di fratturazione e degrado dei suddetti litotipi. Tali rocce sono interessate da circolazione idrica sotterranea in particolare per i fenomeni di fratturazione e carsismo che li interessano. I processi carsici, infatti, sono piuttosto diffusi all'interno, in particolare, dei gessi che hanno subito e subiscono processi di dissoluzione operati dall'azione fisico-chimica delle acque di infiltrazione.

### *3) Rocce da poco permeabili ad impermeabili*

Appartengono a questa categoria i depositi composti da argille siltoso-marnose grigio-azzurre e dalle marne argillose grigie.

Tali litotipi presentano una permeabilità così bassa da essere, ai fini del presente studio, considerati impermeabili. Tuttavia, all'interno della coltre superficiale piuttosto alterata e degradata non è raro rinvenire modesti adunamenti idrici superficiali, di carattere prevalentemente stagionale, non sfruttabili dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico.

Nell'area in studio, localmente, le argille siltoso-marnose passano a limi sabbiosi detritici. In questo caso la permeabilità tende ad aumentare a causa del prevalere di una classe granulometrica più grossolana su quella fine (pelitica) che consente una più facile infiltrazione delle acque percolanti.

Si rimanda alla Carta idrogeologica (All. 2 della relazione geologica ).

## 8 ANALISI SISMICA DELLA ZONA DI INTERESSE

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica locale, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003.

Con tale provvedimento lo Stato ha delegato le Regioni per l'adozione della classificazione sismica del territorio, le quali hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

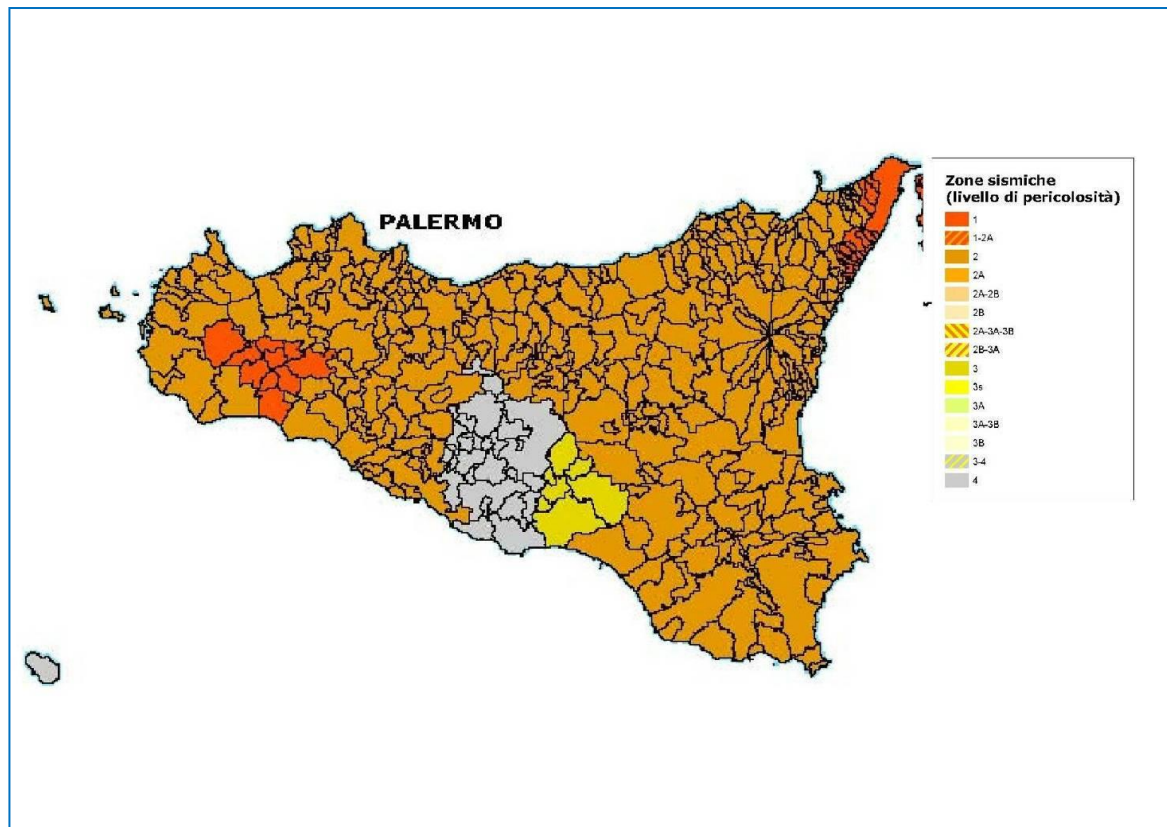
Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale, previsto dall'O.P.C.M. 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Per la zona sismica 1, l'accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ ) è maggiore di 0,25; Per la zona sismica 2,  $a_g$  è compresa tra 0,15 e 0,25; Per la zona sismica 3,  $a_g$  è compresa tra 0,05 e 0,15; Per la zona sismica 4,  $a_g$  è minore di 0,05.

L'area in esame ricade, secondo la descritta classificazione aggiornata al mese di gennaio 2019, nella seconda categoria.

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018 e ss.mm.ii) hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali, riferendo ad ogni costruzione una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).



In particolare, l'esame della risposta sismica locale consente di affermare che nell'area interessata dal progetto, di cui al presente studio, si può escludere "la presenza di aree soggette a fenomeni di liquefazione".

In definitiva si osserva che l'area strettamente oggetto di interventi risulta sismicamente stabile in relazione alle caratteristiche geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche e sismiche. Inoltre, non si riscontrano aree nelle quali durante un evento sismico si possano creare fenomeni di amplificazione sismica locale.

## 9 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO AI SENSI DEL DM 17.01.2018

Nel sito in esame sono stati acquisiti N° 5 profili sismici secondo la metodologia MASW.

Tale indagine ha avuto lo scopo di individuare le velocità di propagazione delle onde sismiche secondarie (onde S) all'interno dei terreni che costituiscono i primi 30 metri di sottosuolo, secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018 e ss.mm.ii.)

Il sondaggio è stato realizzato posizionando lungo un allineamento definito, 12 geofoni prodotti dalla PASI s.r.l. aventi una frequenza di 4,5 hz, con equidistanza pari a 3 metri. L'offset (scoppio) è stato posto a cinque metri dal primo geofono.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismografo digitale 16SG24N a 24 canali della PASI srl ad alta risoluzione, matricola n° 09036062N.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza di battuta del peso di 8 kg con interruttore starter battente su una piastra metallica che è stata utilizzata come dispositivo in grado di generare onde sismiche.

### **Metodo d'indagine:**

Quando un terreno viene sollecitato elasticamente, lungo l'interfaccia terreno-aria, si generano onde di Rayleigh attraverso l'interazione tra le onde di compressione P e le onde di taglio S. È noto che la propagazione delle onde superficiali, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) è pari a  $0,91V_s$  e ai fini pratici ciò si traduce nel fatto che misurando la  $V_r$  si ottiene la  $V_s$  con un errore di calcolo del tutto trascurabile. I metodi basati

sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici è stata eseguita con l'ausilio del software "Easy Masw", prodotto dalla "Geostru", che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio) ed effettuare la classificazione del suolo ( $V_{s,30}$  e  $V_{s,eq}$ ) secondo le normative tecniche nazionali ed internazionali e la stima dei principali parametri geotecnici.

Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in tre operazioni svolte in successione:

1. acquisizione multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo costituito da 12 geofoni ed una sorgente sismica;
2. estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (un profilo verticale posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico).

Entrando nel merito della elaborazione, per la determinazione del profilo verticale della Vs (e quindi la  $V_{seq}$ ), il primo passo riguarda la "Determinazione dello Spettro di Velocità" ed il "picking" della curva di dispersione. Successivamente si procede con la modellazione diretta o l'inversione della curva di dispersione interpretata dall'utente.

Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità, e quindi si effettua il picking della curva di dispersione cioè la selezione dei punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale. Successivamente, per ottenere il profilo verticale della VS, è necessario eseguire l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer. La contropartita

è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (deviazioni standard).

Grazie alle conoscenze geologiche dell'area in esame, si è stabilito per l'interpretazione dei dati acquisiti una modellistica a 3 strati. Le curve di dispersione relative al sondaggio sismico eseguito sono mostrate di seguito.

Le analisi del profilo sismico MASW ha permesso la definizione di modelli 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabili nei baricentri dello stendimento.

Poiché la profondità H del substrato (definito come quella formazione di roccia o terreno molto rigido) caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s è maggiore di 30 metri, di seguito si fornisce come velocità equivalente delle onde di taglio il parametro  $V_{s30}$ , così come descritto nel paragrafo 3.2.2. delle NTC 2018.

Nella pagina successiva si allegano gli elaborati ottenuti dal processo di elaborazione dei cinque sondaggi Masw effettuati denominati Masw T1, Masw T3, Masw T4, Masw T6 e Masw T9. La  $V_{s30}$  misurata nelle Masw T1-T3-T6 e T9 risulta compresa tra 370 e 403 m/s per cui il sottosuolo ricade nella categoria sismica B ovvero: Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Per la Masw T4 è stato misurato un valore della  $V_{s30}$  di 303 m/s per cui il sottosuolo rientra nella categoria C ovvero: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Il coefficiente topografico è il T1.

## 10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

A seguito delle indagini eseguite nella presente fase progettuale, risulta che l'area in studio è composta da depositi di natura calcareo marnosa.

La definizione dei parametri fisico-meccanici del sottosuolo investigato è stata effettuata, in via del tutto preliminare, in parte tramite l'acquisizione di prove geotecniche di laboratorio eseguite su campioni indisturbati prelevati in aree limitrofe nel corso di altri lavori su terreni della stessa natura ed in parte sono stati acquisiti parametri desunti dalla letteratura geotecnica.

Le litologie riscontrate all'interno dell'area sono raggruppabili in tre tipologie:

**Tipo 1** Calcari evaporitici (Calcere di Base), sui quali verranno realizzati gli aerogeneratori T01-T03, T05, T07 e T09.

**Tipo 2** marne grigie, sulle quali verranno realizzati gli aerogeneratori T02 e T04,

**Tipo 3** marne biancastre (Trubi) sulle quali verrà realizzato l'aerogeneratore T06.

Le prove geotecniche di laboratorio acquisite hanno fornito i seguenti parametri:

**Tipo 1: Calcari evaporitici.** Si tratta di rocce lapidee di natura carbonatica caratterizzate da un grado di cementazione compreso tra basso e medio. In superficie risultano degradate dagli agenti atmosferici, in generale si presentano fratturate, a giacitura massiva, raramente stratificate in banchi, soggetti a fenomeni di erosione indotti da fenomeni di dissoluzione causati da processi carsici. Pertanto, non è raro riscontrare all'interno di tali ammassi rocciosi carature e cavità.

- Il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) è compreso tra 19 e 22 KN/m<sup>3</sup>
- Coesione ( $c$ ) = 30-55 KPa
- Angolo di attrito ( $\phi$ ) = 30°-34°
- Resistenza alla compressione variabile in funzione del grado di cementazione, compresa tra 5 e 10 MPa

**Tipo 2, Marne grigie.** Si tratta di rocce pseudocoerenti costituite da depositi marnosi molto consistenti che lateralmente ed in profondità passano a depositi argillo-marnosi con struttura a scaglie. In superficie, per uno spessore variabile tra 3 e 6-7 metri si presentano alterate, localmente plastiche, di colore marrone-giallastro. In profondità assumono la colorazione grigia, sono molto consistenti e non plastiche.

- Il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) è compreso tra 17.2 e 19.03 KN/m<sup>3</sup>



- Coesione drenata ( $c'$ ) = 10-24.0 KPa
- Angolo di attrito in condizioni drenate ( $\phi'$ ) = 19°-32°
- Coesione non drenata ( $c_u$ ) = 80-160 KPa

**Tipo 3 Marne biancastre (Trubi).** Sono composti da calcari marnosi e marne calcaree di colore beige-biancastro. La struttura è solitamente omogenea, si presentano stratificati in banchi di spessore metrico ed in subordinate decimetrico. Sono rocce con un grado di cementazione medio anche se localmente si presenta piuttosto argillificate con comportamenti da rocce pseudocoerenti.

- Il peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) è pari 18.0-20 KN/m<sup>3</sup>
- Coesione drenata ( $c'$ ) = 15.0-25.0 KPa
- Angolo di attrito in condizioni drenate ( $\phi'$ ) = 20°-28°
- Coesione non drenata ( $c_u$ ) = 110-200 KPa
- Resistenza alla compressione variabile in funzione del grado di cementazione, compresa tra 0.5 e 2.5 MPa