

COMUNI DI CAMPOBELLO DI LICATA E LICATA

- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI AGRIGENTO -

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico e relative opere di
connessione composto da 9 aerogeneratori della potenza complessiva di 54 MW,
denominato Portella di Naro*

Comm: DDC S.r.l.

Per conto di: Edison Rinnovabili S.p.a.

Data: Dicembre 2023



Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

Via Mazzini, 9 - 90018 Termini Imerese (PA) Tel. 338.4373063
P. IVA: 04698200823 E Mail – ignazio.giuffre@gmail.com



COMUNI DI CAMPOBELLO DI LICATA E LICATA

- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI AGRIGENTO -

RELAZIONE GEOLOGICA

*“Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico e relative opere di
connessione composto da 9 aerogeneratori della potenza complessiva di 54 MW,
denominato Portella di Naro”*

Premessa

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto definitivo, progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico e relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Campobello di Licata e Licata (AG) composto da 9 aerogeneratori della potenza complessiva di 54 MW.

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dalla *DDC S.r.l., Development Consulting Company*, per conto di *Edison Rinnovabili S.p.a.*



In tale ottica e per fornire al progettista, gli elementi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, in ottemperanza alle norme riportate nelle *N.T.C. 2018 - Norme tecniche per le costruzioni* (D.M. 17 Gennaio 2018), sono stati eseguiti diversi sopralluoghi, in modo da acquisire quanti più elementi possibili per una esatta ricostruzione delle condizioni generali caratterizzanti l'area in studio.

Il presente studio viene redatto in conformità all'art. 15 della L. R. 16/2016 ex art. 13 L. 64/74, per la richiesta di parere di compatibilità geomorfologica.

Lo studio geologico è stato inoltre redatto in conformità alla Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – “*Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici*” (G.U.R.S. n° 28 del 11.7.2014) e Decreto 14.07.2021 “*Approvazione del documento “Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici”*” (G.U.R.S. n° 35 del 13.08.2021).

I dati rilevati unitamente a quelli noti allo scrivente, per essersi interessato in passato a studi su terreni di analoga facies petrografica, sono stati in ultimo correlati con quanto indicato in merito dalla letteratura specializzata esistente (“*Carta geologica d'Italia – 271 Agrigento*” E. Beneo, S. Catalisano, F. Francaviglia, P. Mezzadri, S. Motta, F. Rigo, G. Segre - Servizio Geologico Italiano 1951 - 1954).

Molte informazioni di carattere geologico e stratigrafico sono state desunte dall'analisi dei numerosi fronti di scavo naturali ed artificiali presenti nell'area in studio, e da dati ottenuti dall'esecuzione di pozzetti esplorativi realizzati per il lavoro in oggetto.

Tuttavia, è da tenere in considerazione che per la realizzazione dell'impianto eolico occorrerà programmare e realizzare indagini in sito puntiformi, così come previsto dalla normative vigenti.

Inoltre sono state eseguite indagini geofisiche con sismica a rifrazione applicando il metodo *MASW*, al fine di approfondire le conoscenze sui terreni oggetto di studio, ed in particolare per la definizione della categoria di suolo di fondazione ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri, ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e dalla Circolare 21/01/2019, n. 7 “*Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*” di cui al



D.M. 17 gennaio 2018” (G. U. Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).

In ultimo, relativamente all’impianto, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l’Assetto Idrogeologico) relativo al *Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (072) e Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (071)*, redatto a cura dell’Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 27.03.2007, sulla G:U.R.S. n° 25 del 1.6.2007.

Sarà compito del progettista, sulla scorta dei dati di seguito riportati e da quelli emersi dalle indagini eseguite, effettuare le verifiche e le scelte progettuali così come previsto dalle norme vigenti (*parere del Consiglio di Stato n°154 del 02.06.1994*).

Il lavoro è stato quindi, articolato sviluppando il seguente schema:

1. inquadramento dell’area ed opere previste in progetto;
2. lineamenti geologici;
3. lineamenti geomorfologici;
4. lineamenti idrogeologici;
5. considerazioni geotecniche;
6. considerazioni litotecniche;
7. pericolosità sismica locale;
8. sismica a rifrazione - tecnica MASW;
 - 8.1. classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW;
 - 8.2. risultati delle analisi MASW;
 - 8.3. categoria di suolo individuata;
9. zonizzazione del territorio;
10. conclusioni.

Risultano allegati alla presente relazione i seguenti elaborati:

- carta dell’inquadramento territoriale in scala 1:25.000 (*Tav. 1*);
- carta geologica in scala 1:10.000 (*Tav. 2*);
- carta geomorfologica in scala 1:10.000 (*Tav. 3*);
- carta idrogeologica in scala 1:10.000 (*Tav. 4*);



- carta litotecnica in scala 1:10.000 (*Tav. 5*);
- carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000 (*Tav. 6*);
- carta della pericolosità sismica locale in scala 1:10.000 (*Tav. 7*).

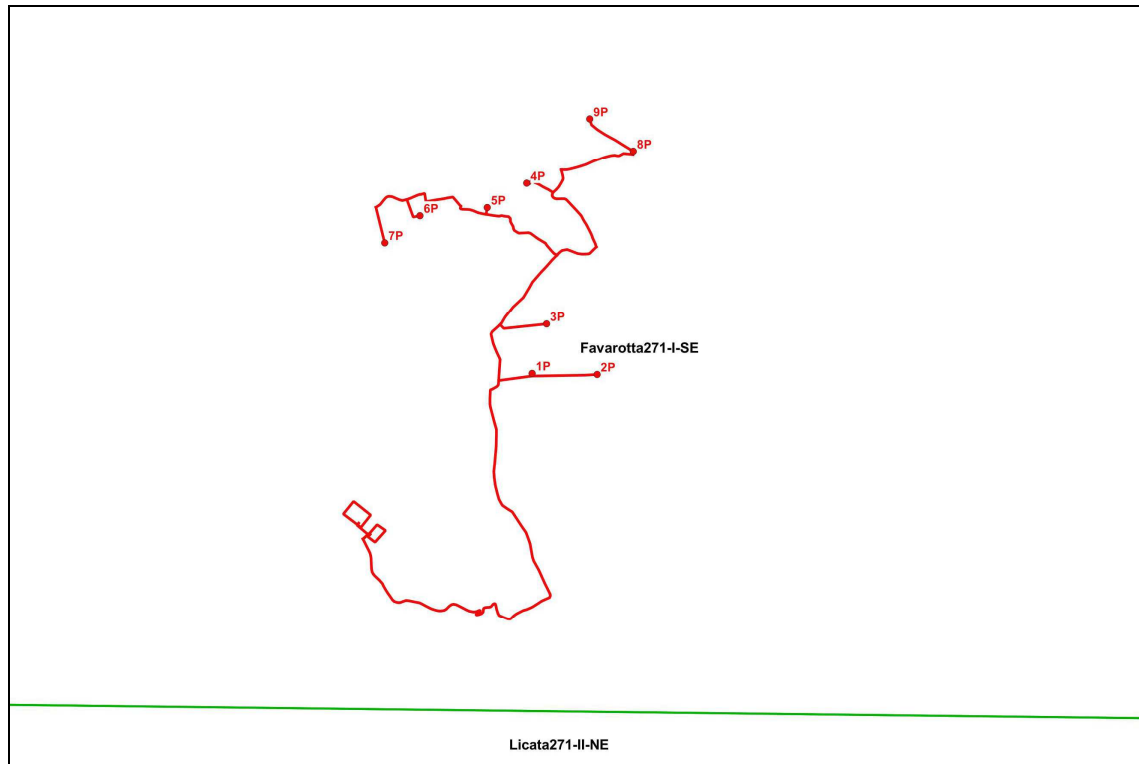
1. Inquadramento dell'area ed opere previste in progetto

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte centro meridionale della Sicilia, in provincia di Agrigento; in dettaglio gli aerogeneratori verranno installati su un'area collinare ricadente nel territorio comunale di Campobello di Licata, sulle contrade denominate: *Cardello, Sconfitta e La Catena*.



Topograficamente, il parco eolico, ricade nella Tavoleta I.G.M.I. in scala 1:25.000, Foglio n° 271, quadrante I, orientamento S.E. “*Favarotta*”.

Per una più minuziosa ubicazione dell'area in questione, si rimanda alla tavola di inquadramento territoriale (*Tav. 1*) in scala 1:25.000 allegata.



Quadro d'unione delle tavolette IGMI 1:25.000 con ubicazione dell'impianto

Inoltre l'impianto ricade nelle sezioni di seguito elencate: 637150 (T04, T05, T06, T07, T08, T09, cavidotto), 642030 (T01, T02 e T03, cavidotto e connessione RTN) della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000.

Tale settore comunale è caratterizzato dalla presenza di sporadiche masserie sparse per le contrade e colture estensive.

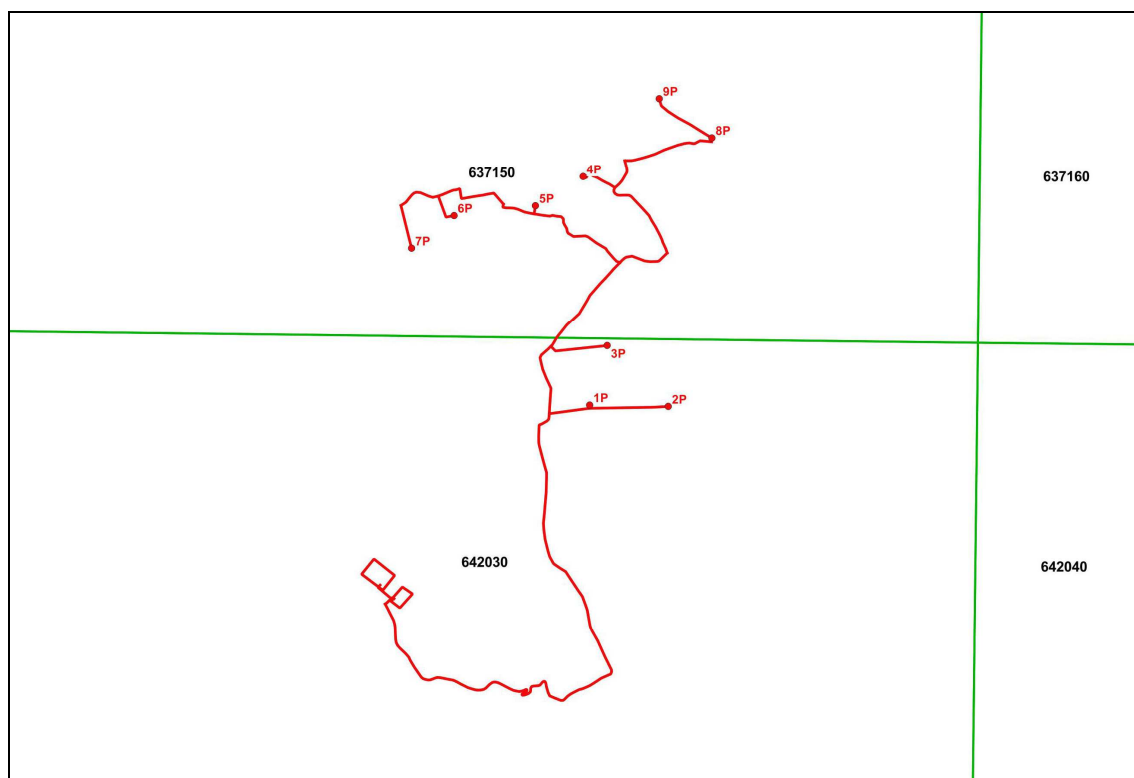
Il parco eolico in oggetto è costituito da 9 aerogeneratori disposti in un'area con lievi pronunce collinari a Sud-Ovest del Comune di Campobello di Licata, collegati tra di loro attraverso una linea interrata in Media Tensione a 30kV che termina alla SE di Utenza, ubicata nel territorio di Licata, presso la contrada *Marotta*.

In particolare l'impianto di generazione di energia elettrica da fonte eolica in progetto prevede l'istallazione di aerogeneratori su di una superficie ad una quota media di 300 m s.l.m. e mai superiore ai 400 m s.l.m.

Il sito è facilmente raggiungibile dalla SS 123, (uscendo dal centro di Campobello di Licata in direzione sud verso Licata, e viceversa);



Vi sono inoltre elementi di viabilità provinciale e comunale minore che, con i passaggi agricoli possono, riabilitati e potenziati, costituire la maggior parte della futura viabilità di servizio, senza sostanziali mutamenti della morfologia dell'area.



Quadro d'unione delle Sezioni della CTR 1:10.000 con ubicazione dell'impianto

La sottostazione di trasformazione 30/220kV dell'impianto sarà localizzata in prossimità della futura Stazione 220 kV della RTN, da inserire in entra – esce su entrambe le terne della linea RTN kV “Favara – Chiamonte Gulfi”.

Il sito scelto per la realizzazione dell'impianto eolico *Portella di Naro* è particolarmente adatto allo sfruttamento dell'energia del vento mediante aerogeneratori. Il posizionamento degli stessi è stato definito per alcuni lungo le linee ortogonali alle direzioni prevalenti del vento e altri sono stati posti nella direzione prevalente del vento, opportunamente distanziati tra loro per limitare i fenomeni di interferenza tra le macchine lungo tali direzioni.



Stralcio Ortofoto ARTA volo 2019, in scala 1:10.000



2. Lineamenti geologici

I caratteri geologici e litologici generali dell'area oggetto delle osservazioni, saranno di seguito riportati, allo scopo di mettere in evidenza gli aspetti di maggiore importanza quali la natura, la giacitura e la struttura dei litotipi presenti.

Ci troviamo nel settore centro-meridionale della Sicilia che è costituito da quattro gruppi di terreni, dei quali tre di essi rappresentano dei complessi tettonici, mentre l'ultimo è costituito da successioni di *piggy-back* depositatesi sul dorso dei tre complessi tettonici.

I tre complessi tettonici rappresentano, dal basso verso l'alto:

1. la prosecuzione occidentale dell'avampaese ibleo, in parte deformato, costituito da successioni prevalentemente carbonatiche di età mesozoico-pliocenica, che in quest'area si inflette al di sotto della catena siciliana;
2. un gruppo di unità tettoniche derivanti dalla deformazione del dominio sicano, organizzate tettonicamente secondo prevalenti geometrie di duplex;
3. un gruppo di unità tettoniche, largamente affioranti nell'area in studio, costituite da successioni prevalentemente argillose, conglomeratiche ed arenacee, che sono indicate dagli Autori con il termine di "Falda di Gela".

Nel prosieguo del capitolo saranno esposte le indicazioni bibliografiche relative a quest'ultimo gruppo di unità, sia perché esse rappresentano la quasi totalità degli affioramenti del settore in studio, perché all'interno di esse si trovano la gran parte dalle evaporiti messiniane.

Le unità tettoniche che compongono nel loro complesso la Falda di Gela sono generalmente costituite da:

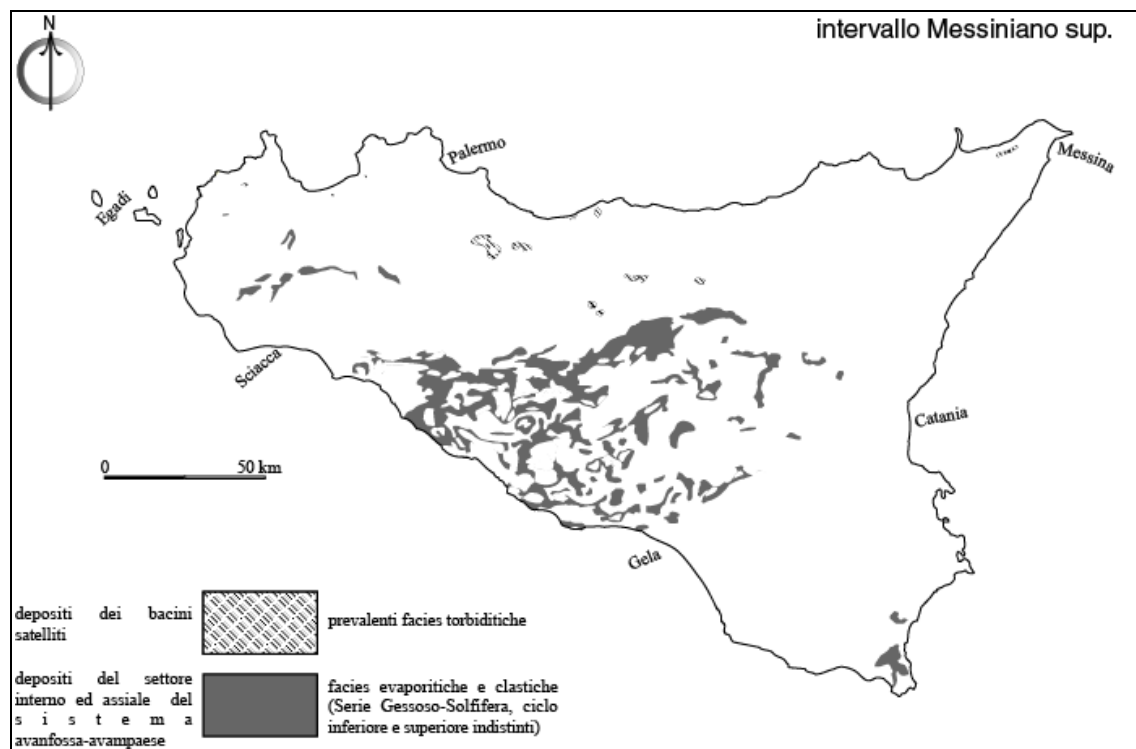
1. successioni di tipo flysch (Flysch Numidico) di età Oligocene sup.-Miocene;
2. successioni prevalentemente argillose (unità Sicilidi) di età Cretaceo-Paleogene;
3. seguono, tramite una superficie di discordanza ad estensione regionale:
4. successioni conglomeratiche-arenaceo-argillose (Formazione Terravecchia) di età Tortoniano;
5. successioni evaporitiche messiniane;
6. successioni carbonatico-marnose pelagiche ("Trubi") di età Pliocene inf.



I terreni dei tre complessi tettonici sono ricoperti in discordanza dalle successioni argilloso-sabbioso-calcarenitiche plioleistoceniche.

Al tetto del Flysch Numidico si ritrovano in sovrascorrimento delle successioni argillose, con termini appartenenti ad età diverse; ulteriori successioni argillose di età diverse sono spesso intercalate anche nelle formazioni sovrastanti. Sulla genesi di queste ultime successioni molti Autori hanno prodotto le proprie interpretazioni.

BENEO (1949) chiama "A.S." le grandi unità tettoniche costituite da argille scagliose, messe in posto per un meccanismo spiegato anche da altri Autori col nome di frane orogeniche, masse alloctone.



Distribuzione delle evaporiti in Sicilia

OGNIBEN (1953) e MEZZADRI (1962-63) riconoscono regionalmente cinque orizzonti di A.B. I due però non trovano accordo sull'attribuzione temporale: Ogniben attribuisce i primi tre gruppi al Miocene e gli altri al Pliocene (A.B.). Intercalate tra i sedimenti tortoniani; A.B. II direttamente sottoposte alla Serie Solfifera; A.B. III intercalate ai gessi; A.B. IV intercalate ai "Trubi" e A.B. V intercalate nei sedimenti



pliocenici sovrastanti i “Trubi”; Mezzadri ritiene invece che due di questi livelli appartengano al Miocene superiore e tre al Pliocene inferiore e medio. La Formazione Terravecchia, studiata in quest’area da RIGO DE RIGHI (1956), FLORES (1959), CHEVALIER (1961), SCHMIDT DI FRIEDBERG (1962, 1967).

La Formazione Terravecchia è oggi interpretata come prodotto di smantellamento dell’orogene, allora in sollevamento, essendosi formato durante la fase tettogenetica serravalliano-tortoniana, che forma una sequenza regressiva ricoprendo con discordanza marcata le aree più settentrionali (M.ti di Palermo, M.ti di Trapani, Madonie) e con minor discordanza le zone più meridionali (attuale zona di Caltanissetta-Gela).

I sedimenti depositatisi nel Messiniano sono rappresentati dalla Serie Gessoso-Solfifera, prevalentemente evaporitica, compresa tra le argille marnose del Tortoniano sup. e i “Trubi” del Pliocene basale, depositatisi in corrispondenza della crisi di salinità che ha interessato il Mediterraneo.

La Serie Gessoso-Solfifera (OGNIBEN, 1957; SELLI, 1960) è costituita, dal basso verso l’alto, dalle seguenti unità litologiche: 1) “*Tripoli*”; 2) “*Calcere di Base*”; 3) gessi e gessareniti con lenti di sale che nel complesso costituiscono successioni assai variabili lateralmente, distinte dagli Autori in due cicli.

Dall’analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell’area in esame (“*Carta geologica d’Italia – 271 Agrigento*” E. Beneo, S. Catalisano, F. Francaviglia, P. Mezzadri, S. Motta, F. Rigo, G. Segre - Servizio Geologico Italiano 1951 - 1954)) e da quanto osservato in superficie, l’area di stretto interesse è caratterizzata dall’alto verso il basso da:

- **(AB3) Argille Brecciate** - Argille talvolta intercalate alle calcareniti sottostanti
- **(Qc) Calcari Pleistocenici** - Calcarenti più o meno grossolane a stratificazione incrociata con intercalazioni sabbiose attribuibili alla Formazione Agrigento. (Pleistocene)
- **(Pa) Marne Argillose Azzurre** - Marne argillose grigio-azzurre più o meno siltose attribuibili alla Formazione di Monte Narbone. (Pliocene Medio - Superiore)



- **(Pi) Trubi** - Marne e marne calcaree a globigerine inglobanti clasti di varia natura ed età. (Pliocene Inferiore)
- **(Mg) Gessi, Gessi I Ciclo e Gessi II Ciclo** - Gessi macrocristallini di aspetto massiccio e con lenti calcaree intercalate. Sono quasi completamente assenti le intercalazioni marnose. (Messiniano)
- **(Mc) Calcare di Base** - Calcari compatti, vacuolari con stratificazione più o meno evidente. (Messiniano)
- **(Md) Tripoli** - Marne fogliettate bianche a Diatomee ricche di resti di pesci, eteropiche a marne bianche caratterizzate dalla presenza di una fauna nana a Lamellibranchi. (Messiniano)
- **(Maa) Terravecchia** - Complesso prevalentemente argilloso con lembi marnosi e argillosi indistinti. (Tortoniano Superiore)
- **(AS) Argille Variegate** - Argille di colore variabile dal bruno al verdastro, al rosso vinaccia fortemente tettonizzate e a giacitura caotica. (Tortoniano)

Nel dettaglio le torri 1P, 3P e 9P ricadono sui **Trubi (Pi)**, le torri 2P e 6P ricadono sul **Tripoli (Md)**, le torri 4P e 5P ricadono sulla **Formazione Terravecchia (Maa)**, la torre 7P ricade sul **Calcare di Base (Mc)** e la torre 8P ricade sulle **Argille Brecciate (AB3)**.

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata carta geologica (**Tav. 2**) a scala 1:10.000.



3. Lineamenti geomorfologici

La morfologia dell'area in oggetto è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, hanno interessato l'intero settore.

In dettaglio i litotipi che caratterizzano l'area hanno comportamento fisico meccanico differente; si passa da un comportamento plastico delle argille e delle marne argillose ad un comportamento rigido dei gessi, e dei calcari di base.

Osservando il macroareale, ci troviamo su una superficie topografica "mossa" e a luoghi interessata da brusche variazioni di pendenza con la presenza di pizzi e creste; ciò è dovuto, come detto precedentemente alla diversità litologica dei litotipi che caratterizzano l'area. L'aspetto morfologico così diversificato dell'area in studio, è legato inoltre al netto dimorfismo esistente tra i diversi litotipi presenti.

Ove affiorano in preponderanza i litotipi a comportamento rigido, questi dominano nettamente il paesaggio dando origine a vari morfotipi sovente dirupati ed aspri, intervallati da ampi pianori, ammantati da coperture di terreni plastici (argillosi) e detritici che meglio si adattano, dando luogo a morfologie continue e dolci.

Nelle formazioni rigide le discontinuità planari, quali la stratificazione e la maglia di fratturazioni legate agli stress tettonici, che hanno nel tempo interessato tali rilievi, vengono poi progressivamente ampliate da lenti processi di degradazione meccanica (degradazione a blocchi) e da fenomeni di alterazione chimica, con formazione di suoli residuali e grossi spessori di detrito.

Al contrario, le zone caratterizzate dai litotipi plastici, composte prevalentemente da argille, presentano un'evoluzione geomorfologica prettamente subordinata ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque di precipitazione meteorica, le quali non potendosi infiltrare nel sottosuolo impermeabile per la presenza di detti litotipi, scorrono superficialmente modellando la superficie topografica. Per quanto attiene alla risposta degli agenti esogeni su tali litotipi, è da rilevare una resistenza bassa all'erosione e quindi un grado di erodibilità elevato. Si rilevano, infatti, impluvi e solchi sia allo stato maturo sia allo stato embrionale, i quali si articolano in forme geometriche, dal tipico andamento "meandriforme".



I versanti costituiti da terreni di natura argillosa, rientrano in una dinamica evolutiva caratterizzata, laddove le pendenze risultano più accentuate, privi di assenze arboree ed erbacee, (il cui duplice effetto sarebbe regimante e fissante), da localizzati fenomeni di dissesto, erosione di sponda ed erosione per dilavamento diffuso ad opera delle acque meteoriche.

L'evoluzione geomorfologica di tali versanti, è quindi subordinata prevalentemente ai processi di dilavamento del suolo, legati alle acque piovane, il cui scorrimento superficiale può produrre un'azione erosiva della coltre di alterazione.

Si possono distinguere vari fenomeni ad intensità crescente, che vanno dall'impatto meccanico delle gocce d'acqua di precipitazione sul terreno (*splash erosion*), ad un'azione di tipo laminare (*sheet erosion*) legata alla "lama" d'acqua scorrente che dilava uniformemente la superficie topografica. Si può altresì passare ad un'azione legata alle acque di ruscellamento embrionale in solchi effimeri (*rill erosion*) ad un'erosione concentrata in solchi già stabilizzati che tendono progressivamente ad approfondirsi (*gully erosion*).

Nella loro generalità, i litotipi argillosi sono costituiti da uno strato di alterazione di spessore variabile e da uno strato sottostante inalterato caratterizzato da una colorazione diversa dal precedente, generalmente più scuro ed intenso; inoltre, le loro caratteristiche meccaniche tendono a migliorare con la profondità.

In generale, quindi, si può affermare che tali tipi di terreni sono soggetti a fenomeni di riassetto di entità variabile, specie nelle zone più acclivi e nelle parti più superficiali.

Trattandosi di terreni argillosi per lo più interessati da una fitta rete di micro discontinuità di forme irregolari, la resistenza dei singoli elementi è influenzata in modo rilevante, a parità di altre condizioni, dalle pressione dei fluidi interstiziali. In particolare, la resistenza lungo i giunti è fortemente condizionata dalla pressione dei fluidi contenuti nelle discontinuità; sono, quindi, sufficienti anche modeste variazioni dell'ambiente tensionale per produrre variazioni nei caratteri fisici di tali materiali. Inoltre, è da notare come il rilascio tensionale provoca una sostanziale modifica della struttura che rende possibile il rigonfiamento, con assorbimento di notevole quantità d'acqua, laddove il terreno venga a trovarsi in contatto con essa.



In tali terreni oltre a vere e proprie frane, si hanno lenti movimenti del terreno, quali il “soliflusso” e il “*soil creep*”, dovuti principalmente ad un assestamento del tutto normale e naturale, ed in un certo senso continuo, della copertura vegetale.

Le aree caratterizzate da tali morfotipi, poiché gli stessi interessano le coltri superficiali, sono da considerarsi stabili.

Per quanto attiene le frane esse appaiono ben localizzate e con geometrie ben definite. Si tratta in preponderanza di movimenti di massa classificabili come scorrimenti rotazionali che evolvono al piede in colamenti.

L’andamento della rete idrografica è di tipo “*dendritico*” nei terreni argillosi e segue linee ad andamento “sub-rettilineo” nei terreni rigidi; infatti, in questi litotipi, le acque di ruscellamento si incanalano naturalmente nelle fratture presenti, le quali, appunto, presentano un andamento pressoché rettilineo.

Durante le fasi di sopralluogo, l’area ove si prevede di realizzare l’impianto fotovoltaico e la stazione elettrica, risultano interessate da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti.

Viceversa in alcune aree, esterne all’area d’impianto, sono stati individuati e riportati in apposita carta geomorfologica, movimenti franosi.

In ultimo, relativamente all’impianto, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l’Assetto Idrogeologico) relativo al *Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (072)* e *Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (071)*, redatto a cura dell’Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 27.03.2007, sulla G:U.R.S. n° 25 del 1.6.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade ne in aree in dissesto, ne in aree a rischio, ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

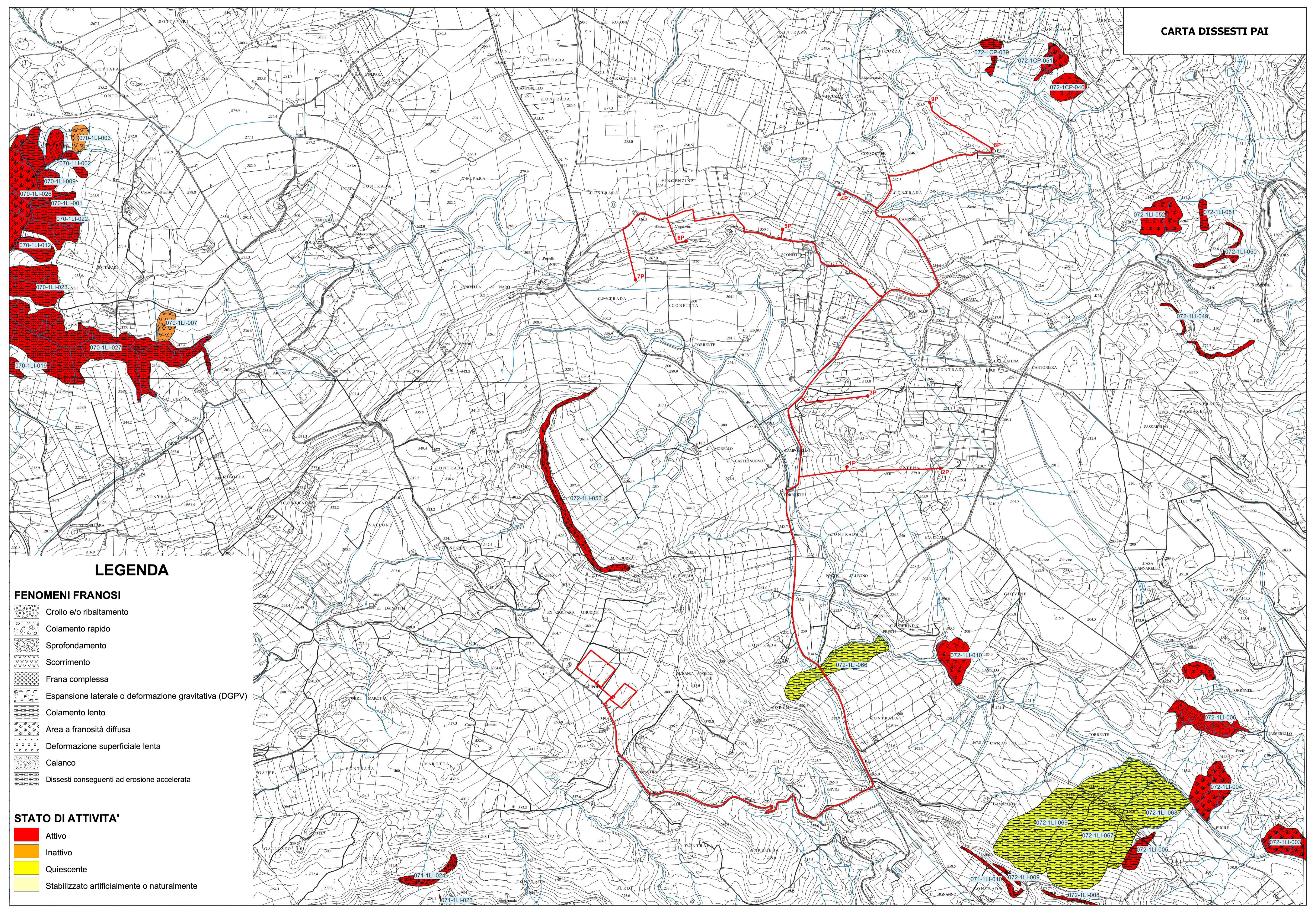
Pertanto, da quanto osservato, si desume che l’area è stabile e che l’installazione delle torri eoliche, non comporterà l’innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

Quanto fin qui detto è stato riportato nell’allegata carta geomorfologica in scala 1.10.000 (*Tav. 3*).



Di seguito si allegano inoltre i seguenti stralci, relativi al bacino idrografico in esame, con l'ubicazione delle aree di intervento:

- *Carta dei dissesti ;*
- *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico .*



LEGENDA






- FENOMENI FRANOSI**
- Crollo e/o ribaltamento
 - Colamento rapido
 - Sprofondamento
 - Scorrimento
 - Frana complessa
 - Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
 - Colamento lento
 - Area a franosità diffusa
 - Deformazione superficiale lenta
 - Calanco
 - Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

- STATO DI ATTIVITA'**
- Attivo
 - Inattivo
 - Quiescente
 - Stabilizzato artificialmente o naturalmente

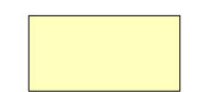





LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 molto basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato

LIVELLI DI RISCHIO

-  R1 moderato
-  R2 medio
-  R3 elevato
-  R4 molto elevato



4. Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista della “*permeabilità*”, cioè dell’attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d’acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;
- *rocce permeabili*, nelle quali l’acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (*permeabilità per porosità e/o primaria*), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (*permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria*).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità “*mista*”, dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Le formazioni litologiche affioranti nell’area rilevata, in base alle loro caratteristiche strutturali ed al loro rapporto con le acque di precipitazione, sono state classificate in una scala di permeabilità basata sulle seguenti quattro classi:

1. *rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*;
2. *rocce impermeabili*.

Per quanto riguarda i materiali ricadenti nella prima classe (*rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*), sono da includersi le sotto elencate formazioni: **(Qc) Calcari Pleistocenici** - Calcarenti più o meno grossolane a stratificazione incrociata con intercalazioni sabbiose attribuibili alla Formazione Agrigento, **(Pi) Trubi** - Marne e marne calcaree a globigerine inglobanti clasti di varia natura ed età, **(Mg) Gessi, Gessi I Ciclo e Gessi II Ciclo** - Gessi macrocristallini di aspetto massiccio e con lenti calcaree intercalate. Sono quasi completamente assenti le intercalazioni marnose **(Mc), Calcare di Base** - Calcari compatti, vacuolari con stratificazione più o meno evidente, **(Md) Tripoli** - Marne fogliettate bianche a



Diatomee ricche di resti di pesci, eteropiche a marne bianche caratterizzate dalla presenza di una fauna nana a Lamellibranchi

In generale, i litotipi appartenenti a questa classe, presentano, una permeabilità primaria da media a bassa, mentre hanno una buona, e spesso elevata, permeabilità secondaria dovuta agli stress tettonici che detti litotipi hanno subito nei vari tempi geologici, con fessure e fratture di dimensioni ed orientazioni variabili.

La distanza tra i diversi sistemi fessurativi presenti nella compagine della roccia, condizionano in modo determinante la circolazione idrica nel sottosuolo, come pure la permeabilità secondaria, come riportato nel seguente schema:

<i>DESCRIZIONE DELLA ROCCIA</i>	<i>INTERVALLO (m)</i>	<i>GRADO DI PERMEABILITA'</i>	
		<i>Qualitativo</i>	<i>K (m/s)</i>
<i>Discontinuità da molto ad estremamente ravvicinate</i>	<i>< 0.20</i>	<i>molto permeabile</i>	<i>10⁻³-1</i>
<i>Discontinuità da ravvicinate a moderatamente spaziate</i>	<i>0.20-0.60</i>	<i>mediamente permeabile</i>	<i>10⁻⁴-10⁻³</i>
<i>Discontinuità da largamente a molto largamente spaziate</i>	<i>0.60-2.00</i>	<i>poco permeabile</i>	<i>10⁻⁹-10⁻⁴</i>
<i>Nessuna discontinuità</i>	<i>>2.00</i>	<i>impermeabile</i>	<i><10⁻⁹</i>

Sono state incluse nella seconda classe (*rocce impermeabili*), le sotto elencate formazioni: **(AB3) Argille Brecciate** - Argille di colore variabile dal bruno al verdastro, al rosso vinaccia fortemente tettonizzate e a giacitura caotica, **(Pa) Marne Argillose Azzurre** - Marne argillose grigio-azzurre più o meno siltose attribuibili alla Formazione di Monte Narbone, **(Maa) Formazione Terravecchia** - Complesso prevalentemente argilloso con lembi marnosi e argillosi indistinti, **(AS) Argille Variegate** - Argille di colore variabile dal bruno al verdastro, al rosso vinaccia fortemente tettonizzate e a giacitura caotica.

Tali terreni presentano una permeabilità primaria da bassa a nulla ed una assenza di falde acquifere; al contrario, in particolari zone d'alterazione, può esistere una lenta circolazione idrica organizzata in filetti discontinui che dipende esclusivamente dal regime pluviometrico variabile nelle stagioni.



Solitamente, come detto prima, tali terreni sono il substrato impermeabile dei litotipi prima citati costituendo il limite inferiore di tali elementi idrogeologici e permettendo, così, l'accumulo sotterraneo delle acque di infiltrazione efficace.

Quanto detto finora, viene accuratamente riassunto nella tabella allegata, riportante, tra l'altro, il range di valori del coefficiente di permeabilità (**K**) dei diversi litotipi presenti.

LITOTIPO	TIPO DI PERMEABILITÀ	GRADO DI PERMEABILITÀ	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ
<i>(Qc) Calcari Pleistocenici, (Pi) Trubi, (Mg) Gessi, Gessi I Ciclo e Gessi II Ciclo, (Mc) Calcare di Base, (Md) Tripoli</i>	<i>Fessurazione, fratturazione e/o carsismo</i>	<i>da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure</i>	$10^{-3}-10^{-5}$
<i>(AB3) Argille Brecciate, (Pa) Marne Argillose Azzurre, (Maa) Terravecchia, (AS) Argille Variegate</i>	<i>Impermeabili</i>	<i>da bassa a molto bassa</i>	$10^{-6}-10^{-9}$

Schema riepilogativo

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da installare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

Quanto fin qui descritto è stato rappresentato nell'allegata carta idrogeologica (*Tav. 4*) in scala 1:10.000.



5. Considerazioni geotecniche

Dall'osservazione degli elementi di superficie e da quanto riportato in letteratura geologica specializzata i litotipi presenti nel territorio che saranno interessati dall'istallazione degli aerogeneratori sono di seguito sotto elencati:

- **Trubi (Pi)** - Marne e marne calcaree a globigerine inglobanti clasti di varia natura ed età (le torri 1P, 3P e 9P);
- **Calcarea di Base (Mc)** - Calcari compatti, vacuolari con stratificazione più o meno evidente. (torre 7P);
- **Tripoli (Md)** - Marne fogliettate bianche a Diatomee ricche di resti di pesci, eteropiche a marne bianche caratterizzate dalla presenza di una fauna nana a Lamellibranchi. (torri 2P, e 6P).
- **Formazione Terravecchia (Maa)** - Complesso prevalentemente argilloso con lembi marnosi e argillosi indistinti (torri 4P e 5P);
- **Argille Brecciate (AB3)** - Argille talvolta intercalate alle calcareniti sottostanti (torre 8P)

I **Trubi (Pi)** ed il **Tripoli (Md)**, sono costituiti da un complesso litologico caratterizzato dall'alternanza di calcari marnosi e di marne biancastre in strati centidecimetrici. La irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare parametri geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione. Pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è opportuno riferirsi alla componente marnosa dotata di caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla componente calcarea.

I parametri geotecnici ricavati dalla letteratura su tali materiali possono così essere riassunti:

- $\gamma = 2.10 \text{ t/m}^3$ peso dell'unità di volume
- $c' = 0.00 \text{ t/m}^2$ coesione
- $\phi' = 28^\circ$ peso dell'unità di volume



Si evidenzia che tutti i valori dei parametri geotecnici precedentemente riportati sono abbastanza rappresentativi per i litotipi analizzati; tuttavia, anche in questo caso, qualsivoglia intervento nell'ambito territoriale dovrà essere preceduto da analisi e prove a verifica di quanto citato.

Il **Calccare di Base (Mc)** è costituita da un complesso litologico caratterizzato da rocce sedimentaria a predominante taglia lutitica.

Tali complessi sono rappresentati da rocce lapidee stratificate e sovente fratturate e fessurate, dotate singolarmente di buone caratteristiche meccaniche (resistenza al taglio elevata e compressibilità praticamente nulla). Però a causa dell'intensa fratturazione, specialmente nelle porzioni più prossime alla superficie, le caratteristiche tecniche di tali litotipi possono decadere tanto da poter essere assimilati, prevalentemente, a quelle di un terreno dotato di attrito interno elevato e, subordinatamente, un valore di coesione molto contenuto. Appare quindi evidente che, il valore dell'angolo d'attrito interno risulta legato anche alle discontinuità presenti nella roccia (fessure e fratture). Skempton e Petley (1967) hanno mostrato come la resistenza lungo le fratture e fessure si avvicina molto alla resistenza al taglio; in effetti, come prima detto, le discontinuità privano tali materiali dell'elemento di coesione, mentre per quanto attiene l'angolo di resistenza al taglio rimane pressoché inalterato rispetto alla formazione delle discontinuità.

Prove meccaniche di compressione semplice a carico puntuale fanno rientrare tali materiali come rocce dalla resistenza molto bassa, bassa e media. Il carico unitario di rottura si attesta per la massima parte tra 83.00 e 92.00 N/mm^2 .

L'irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare elementi geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione, pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è possibile stimare i seguenti valori:

- $\gamma = 2.40$ t/m^3 peso dell'unità di volume
- $c' = 0.00$ t/m^2 coesione
- $\phi' = 35^\circ$ peso dell'unità di volume

La **Formazione Terravecchia (Maa)** e le **Argille Brecciate (AB3)**. Tralasciando le eventuali intercalazioni litoidi che influenzano in maniera del tutto locale il



comportamento meccanico globale dei terreni in oggetto, è da notare come la struttura dei sopraddetti terreni sia l'effetto combinatorio a cui sono state soggette durante gli eventi tettonici nelle varie ere geologiche.

Dal punto di vista geotecnico, tali tipi di sedimenti vengono definiti "pseudocoerenti", per il diverso comportamento che mostrano al variare del contenuto d'acqua.

In generale, tali argille si presentano, come detto, nella parte più superficiale con un certo grado di alterazione che tende con la profondità a ridursi fino ad annullarsi, allorquando le argille si presentano grigiastre, asciutte e consistenti.

Nel caso specifico, quindi, escludendo la coltre di terreno vegetale, si ha un livello di argille mediamente plastiche, umide colore giallastro e/o tabacco e da poco a moderatamente consistenti; la profondità media è variabile dai 5.00 ai 6.00 metri.

Successivamente si rinvengono argille limose grigie a struttura scagliettata, moderatamente consistenti, con patine e venature di calcite; queste hanno uno spessore prossimo a 1.50-2.00 metri e rappresentano il termine di passaggio alle sottostanti argille e argilliti grigie consistenti a struttura prevalentemente scagliettata, a luoghi indifferenziata con superfici lucide di discontinuità, untuose al tatto e con spalmature e vene di calcite o talco. Dal punto di vista geotecnico è da rilevare che i suddetti materiali presentano una certa variabilità anche su campioni prelevati a brevi distanze.

La struttura a scaglie di tali materiali rende complessa la caratterizzazione geomeccanica poiché i risultati delle prove geotecniche sono fortemente influenzati dalle caratteristiche fisico - geometriche delle singole scaglie oltre che dal grado di alterazione e dalle modalità di esecuzione delle prove.

In generale, i valori di angolo d'attrito interno (ϕ') risultano elevati e quelli di coesione (c') modesti e a luoghi nulli. E' possibile stimare per i terreni in oggetto, i seguenti valori:

- $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ peso dell'unità di volume
- $c' = 2,0 \text{ t/m}^2$ coesione
- $\phi' = 23^\circ$ peso dell'unità di volume

Da un confronto dei dati sperimentali ottenuti sui campioni indisturbati, e da quanto riportato in letteratura specializzata, cautelativamente, sono stati assunti i



seguenti valori di coesione (c') ed angolo d'attrito interno (ϕ') per i diversi spessori di terreno rilevati, potendo così ricostruire la seguente colonna geotecnica:

LITOTIPO	TORRE	CARATTERISTICHE FISICO / MECCANICHE	VALORI
Trubi (Pi) - Tripoli (Md)	1P - 3P - 9P - 2P - 6P	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	2.10 t/m³ 0.0 t/m² 28°
Formazione Terravecchia (Maa) - Argille Brecciate (AB3).	4P - 5P - 8P	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	1.90 t/m³ 2.0 t/m² 23°
Calcarea di Base (Mc)	7P	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	2.40 t/m³ 0.0 t/m² 35°

Colonna geotecnica riepilogativa



6. Considerazioni litotecniche

Relativamente alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni ricadenti nell'area in studio, oltre ai dati in possesso dello scrivente e quelli tratti dalla letteratura tecnica specializzata per analoghe facies petrografiche, si sono potuti suddividere i litotipi costituenti l'intero territorio in esame, in "unità litotecniche", che sono state opportunamente riportate nell'allegata cartografia (**Tav. 5**) redatta in scala 1:10.000.

Tali unità, secondo quanto riportato nella Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – "Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici", vengono distinte in due insiemi, di cui uno relativo ai litotipi che costituiscono in "substrato" e l'altro a quelli caratterizzanti i terreni di "copertura".

Passando in rassegna i terreni che saranno interessati dalle opere di progetto, nella distinzione in unità litotecniche si hanno, per quanto riguarda le **unità di substrato**:

- (AB3) Argille Brecciate, (Pa) Marne Argillose Azzurre, (Pi) Trubi, (Md) Tripoli, (Maa) Terravecchia, (AS) Argille Variegate. Si tratta di sedimenti a grana fine e finissima, limi argillosi od argille. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di substrato definita come **H1**.
- (Qc) Calcari Pleistocenici, (Mg) Gessi, Gessi I Ciclo e Gessi II Ciclo, (Mc) Calcicare di Base. Si tratta di successioni carbonatiche e gessose - poliedri giustapposti volume medio oltre 0,1 mc. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di substrato definita come **A.2**.



7. Pericolosità sismica locale

La pericolosità sismica di un territorio va intesa come la stima dello scuotimento del suolo previsto in un certo sito durante un certo periodo di tempo a causa dei terremoti.

La progettazione di strutture in zona sismica, a parità di criteri progettuali e metodi di verifica, assume, per una stessa costruzione, una forte differenziazione a seconda del sito dove viene edificata. Appare evidente infatti che la progettazione sia influenzata in maniera determinante dalla probabilità che ha il sito, in un determinato periodo di tempo, di essere soggetto ad eventi sismici di una certa magnitudo. Per poter eseguire una corretta progettazione strutturale è allora necessario conoscere questo livello di pericolosità sismica della zona dove si andrà ad edificare la struttura. Operativamente le informazioni che quantificano le probabilità che i terremoti di una certa magnitudo, con specifico periodo di ritorno, colpiscano le varie zone di un territorio, costituiscono la classificazione sismica. Per essa si intende appunto una suddivisione del territorio nazionale in zone alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità, atti a definire il livello di rischio sismico per le costruzioni che in esse sono edificate. Per questo motivo la classificazione sismica viene anche chiamata mappa della pericolosità sismica.

In Italia la normativa in merito è stata aggiornata con l'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 è costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di "accelerazioni massime" al suolo (*Figura 1*).

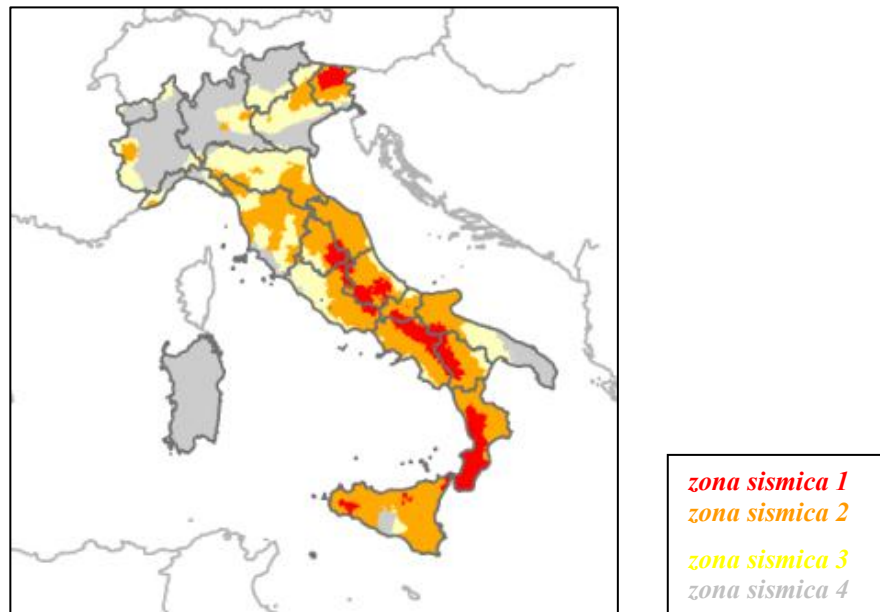
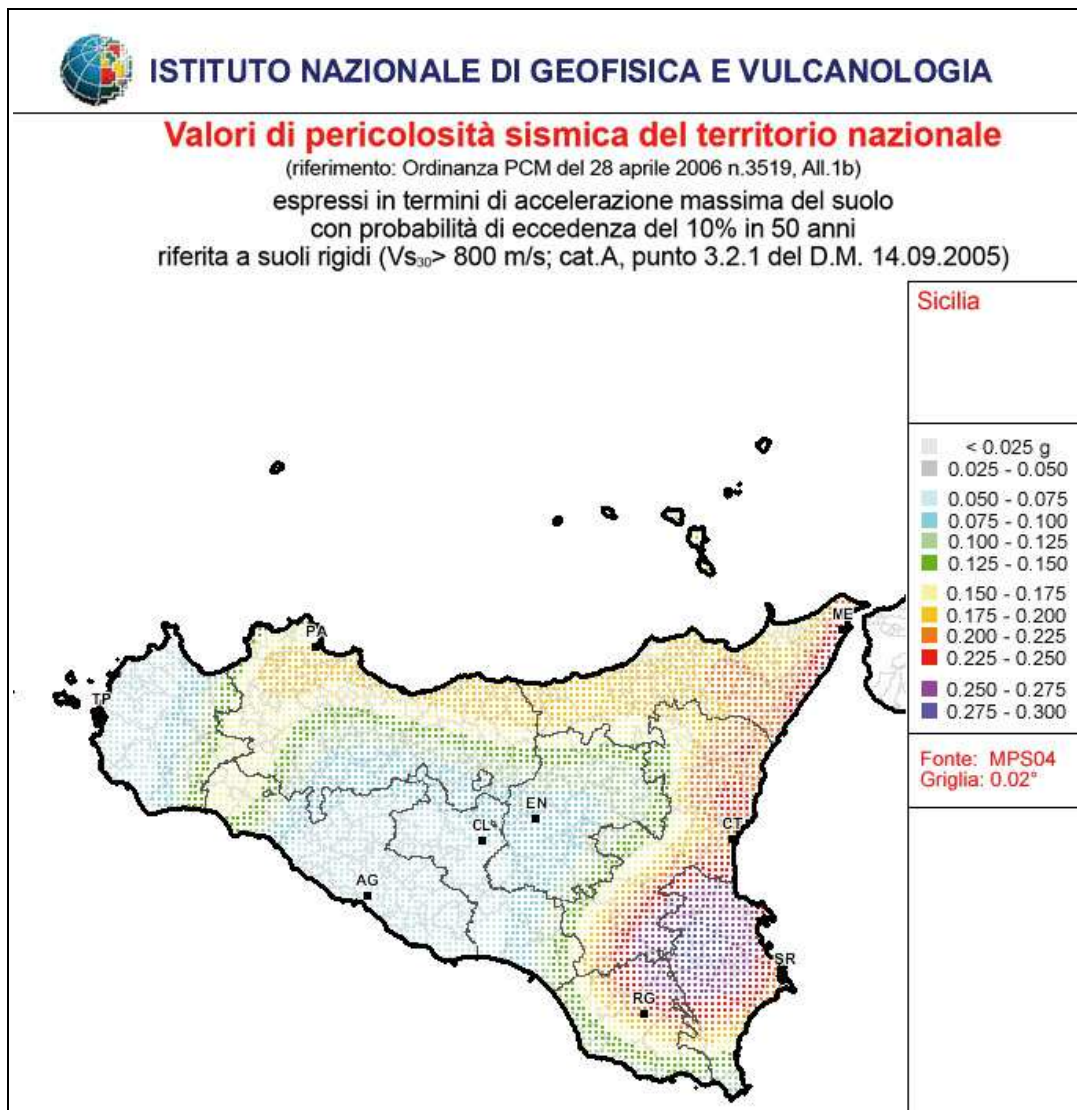


Figura 1

Per queste zone le norme indicano quattro valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. In particolare ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo la tabella seguente:

<i>Zona Sismica</i>	<i>Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]</i>
<i>1</i>	<i>> 0,25</i>	<i>0,35</i>
<i>2</i>	<i>0,15 – 0,25</i>	<i>0,25</i>
<i>3</i>	<i>0,05 – 0,15</i>	<i>0,15</i>
<i>4</i>	<i>< 0,05</i>	<i>0,05</i>

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone suddette avviene mediante le valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g.



L'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azione sismica, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. L'obiettivo fondamentale della norma è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi della Protezione Civile. Rispetto alla normativa nazionale precedente, basata su concetti di carattere convenzionale e puramente prescrittivi, l'Ordinanza 3274 punta a favore di una impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge



vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati. A tal fine, novità di assoluto rilievo, è l'adozione di un solo e unico metodo per le procedure di calcolo e verifica strutturale, il "metodo agli stati limite", con il conseguente abbandono definitivo del "metodo delle tensioni ammissibili".

I territori di Campobello di Licata e Licata, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" è stato definito di classe "4".



8. Sismica a rifrazione - Tecnica MASW

La sismica a rifrazione classica considera i tempi di propagazione delle onde elastiche generate al suolo da impatti con una mazza battente su un piatto rigido. Le onde generate si rifrangono su superfici di discontinuità, condizione necessaria affinché se ne abbia la rifrazione lungo tali superfici, incrementando la velocità di propagazione con l'aumentare della profondità. Dalla misura dei tempi di percorso esistenti tra la stazione energizzante ed una successione di stazioni riceventi (geofoni) è possibile dedurre la velocità delle Onde Sismiche Primarie (V_P) e/o le Secondarie (V_S) e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche generate e quindi ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo. Le velocità delle onde sismiche possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali tipo di roccia, porosità, fessurazioni ed elasticità, per ottenere tramite formule empiriche grandezze utili.

Nel caso in questione, per risalire alle velocità delle onde orizzontali o di taglio V_s nei primi trenta metri dal p.c., si è invece finalizzata l'indagine per l'applicazione del metodo "MASW" (Multichannel Analysis of Surface Waves) che è una tecnica non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s basandosi sulla misura delle onde superficiali in termini di onde di Rayleigh. Queste onde viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh hanno la caratteristica di essere "dispersive", cioè si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo in dipendenza alla frequenza di propagazione. In base alla necessità d'indagine abbiamo usato la configurazione del metodo masw "attivo", che sfrutta l'alta frequenza (5 Hz – 70 Hz) delle onde propagate che, con lunghezza d'onda corta, sono adatte a studi entro i primi 30-50 m dal p.c.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

1. l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll) con sismografo e sensori adatti e nella configurazione corretta;
2. la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) che si ottiene con programmi di sviluppo;
3. l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .



Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi, ma questa è giudicata quanto di meglio utilizzabile per l'attendibilità del risultato, i costi limitati e la tecnica non invasiva.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Il valore del rapporto di Poisson e la stima della densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

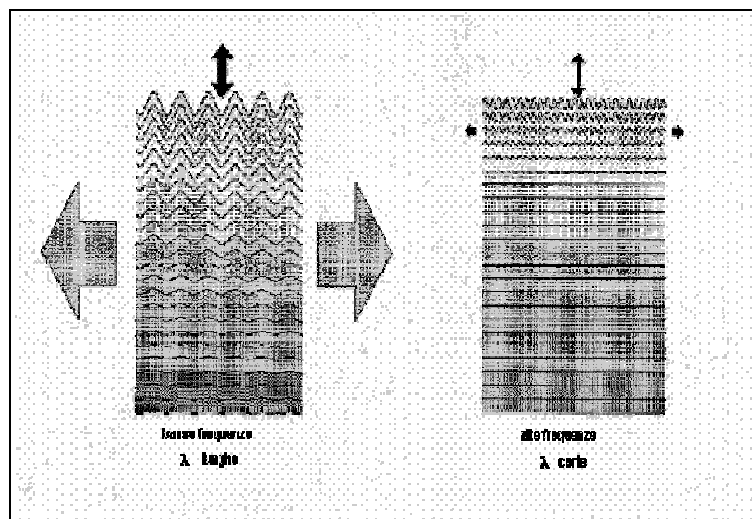
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione



della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.



Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di



acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di V_s con la profondità

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

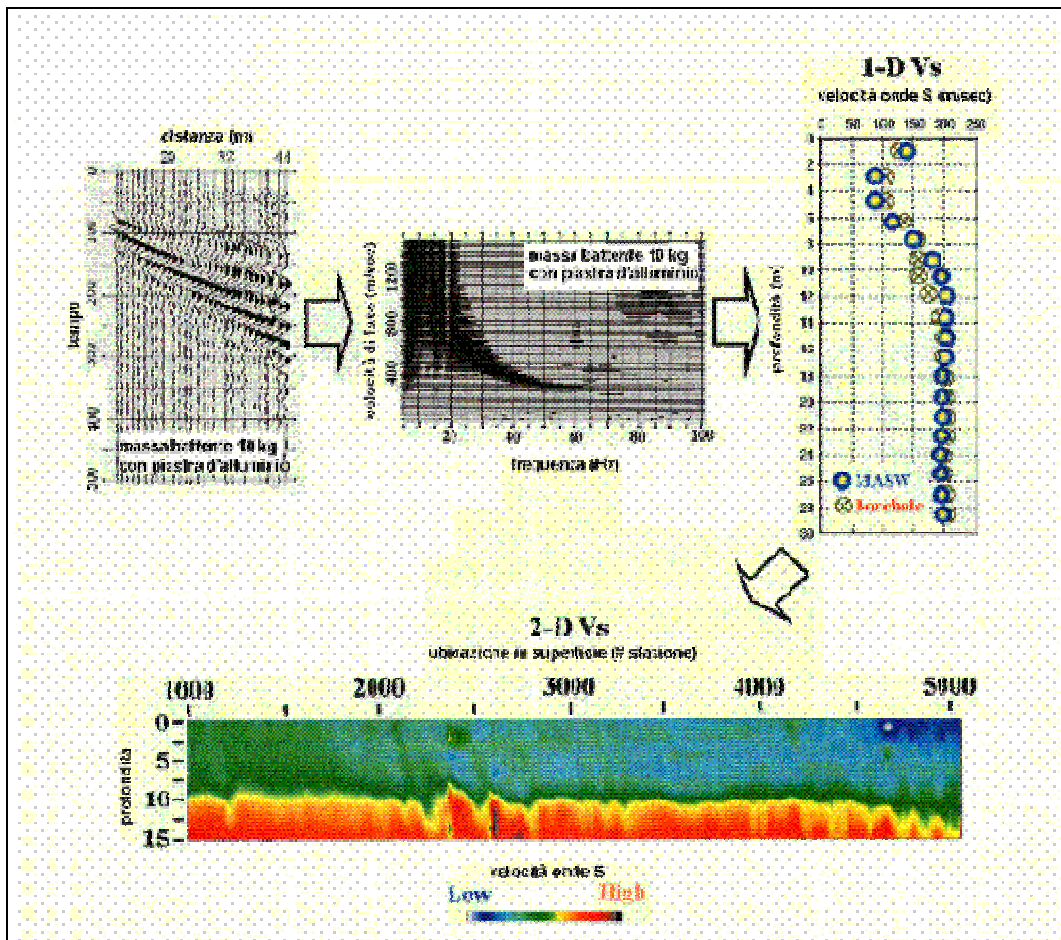
Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Con le apparecchiature usate è stato possibile ottenere i primi impulsi sufficientemente netti anche quando i rumori di fondo erano elevati. Questo si è potuto realizzare in quanto la registrazione veniva immagazzinata da una memoria elettronica e



successivamente tracciata su un display con la possibilità di discernere i segnali veri da quelli spuri.

Le misure rilevate hanno consentito di costruire le curve tempi/distanze (Dromocrone) relative allo scoppio di andata, di ritorno e di determinare gli spessori dei vari rifrattori elaborando colonne sismostratigrafiche.



Descrizione generale della procedura MASW

Per l'interpretazione dei sondaggi, si è riportato sulle ordinate di un diagramma cartesiano i tempi di percorrenza impiegati dai fronti d'onda generati dalla massa battente, mentre sulle ascisse si sono disposte le distanze tra il punto in cui è avvenuto lo scoppio e la posizione in cui si trovano i geofoni che hanno rilevato le onde sismiche.

8.1. Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW



L'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la OPCM n. 3519/2006, integrata con le NTC 2008 e le NTC 2018 ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo (Eurocodice 8).

Infatti nel caso in cui si ha contezza delle condizioni stratigrafiche e delle proprietà dei terreni, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S , ottenuti mediante specifiche prove.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

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



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono di seguito rappresentate:

<i>Categoria</i>	<i>Descrizione</i>
<i>A</i>	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 m.
<i>B</i>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<i>C</i>	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.
<i>D</i>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
<i>E</i>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

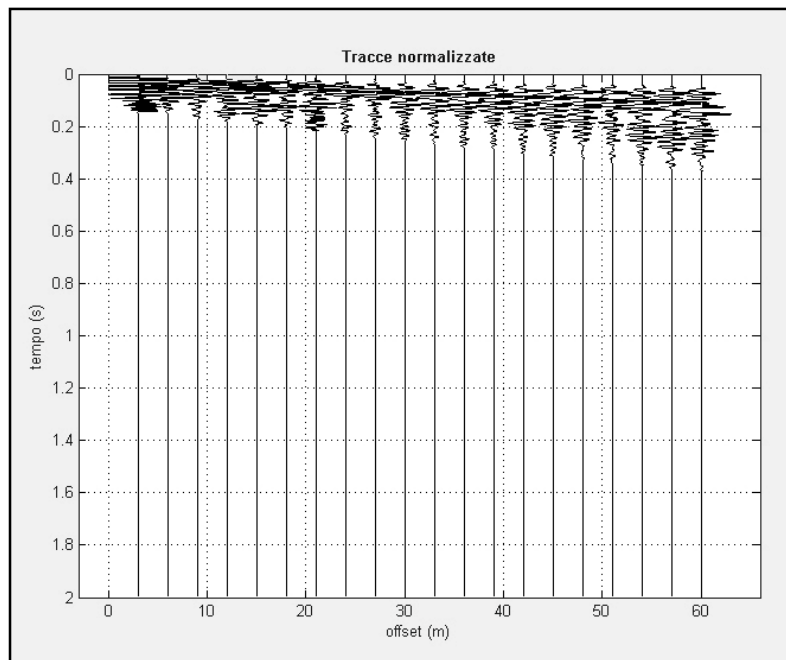
8.2. Risultati delle analisi MASW

Nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico, sono state eseguite due stese sismiche interpretate con il metodo MASW; nel dettaglio sono state eseguite nei pressi delle torri 4P, ed 1P.

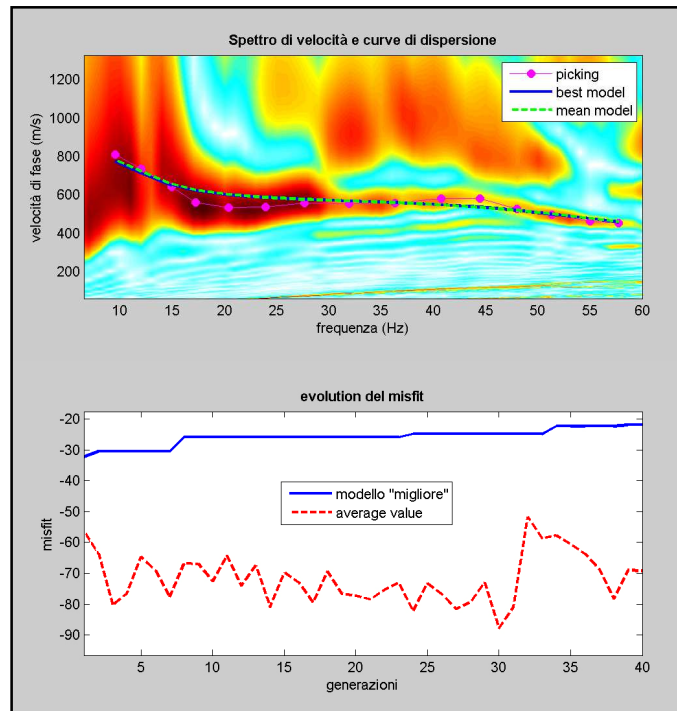


Dati sperimentali MASW ST 1

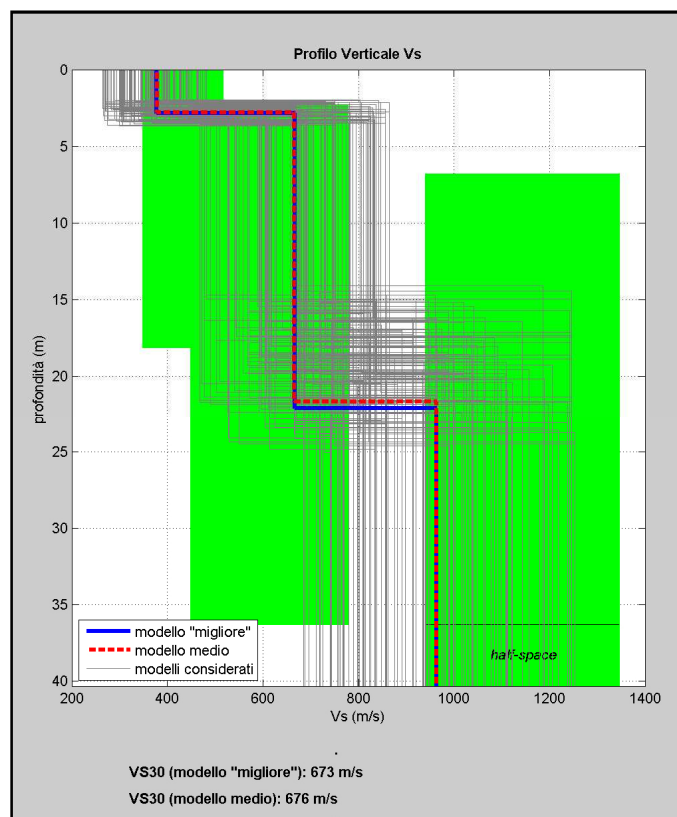
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



Curva di dispersione

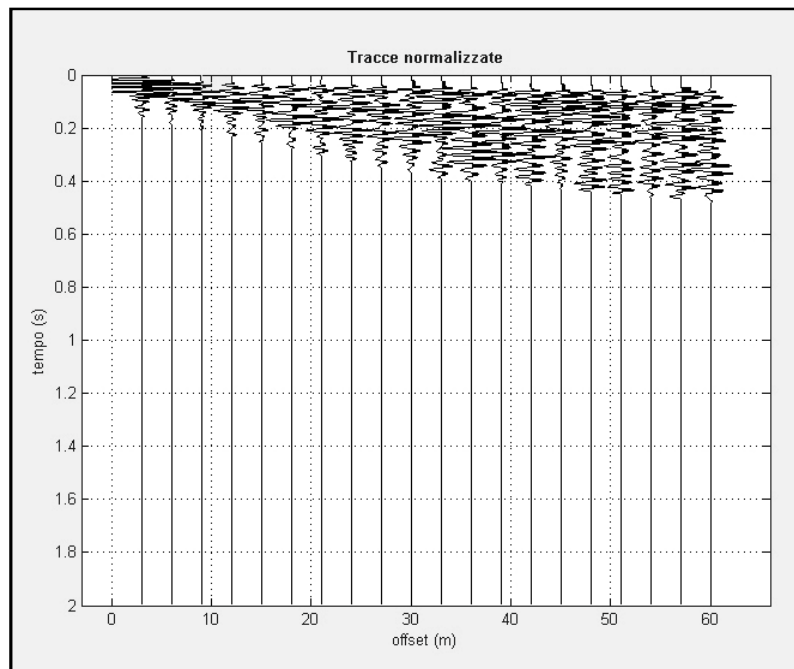


Elaborazione modelli equivalenti

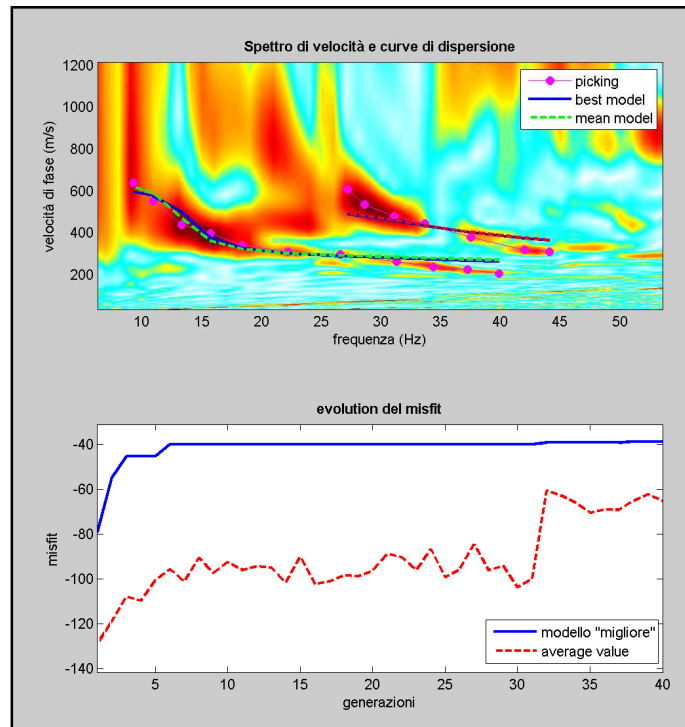


Dati sperimentali MASW ST 2

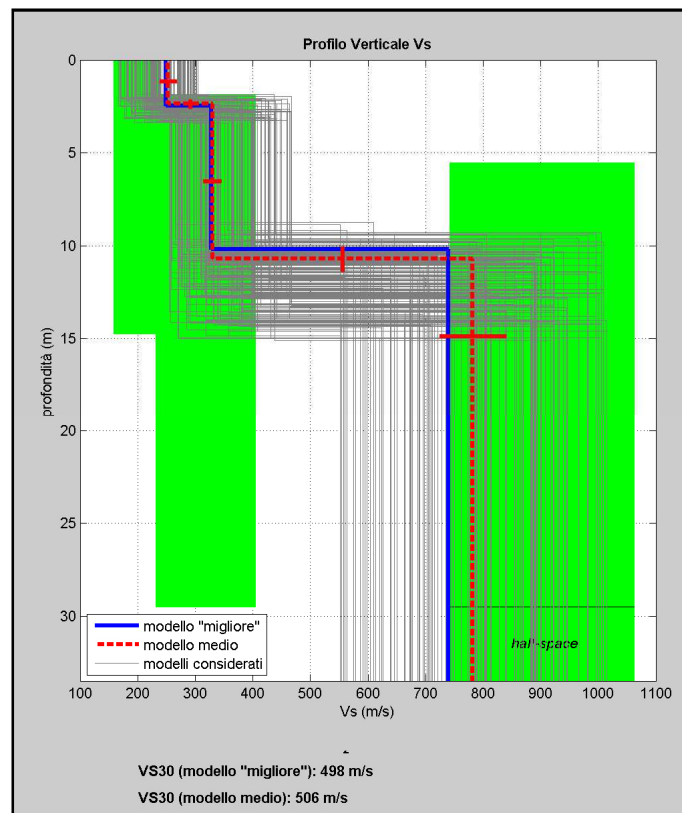
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



Curva di dispersione



Elaborazione modelli equivalenti



8.3. Categorie di suolo individuata

L'elaborazione MASW delle tre stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità V_{s30} dei terreni pari a, **676** m/s per MASW_1 e **506** per MASW_2.

Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 17.01.2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo **B** (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s).



9. Zonizzazione del territorio

La zonizzazione del territorio è stata effettuata così come previsto dalla Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – “*Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici*” (G.U.R.S. n° 28 del 11.7.2014), attraverso lo sviluppo di una cartografia di analisi ed una cartografia di sintesi così come rappresentato nei diagrammi a blocco di seguito riportati.

In tale ottica sono state redatte le seguenti carte:

- *carta delle pericolosità geologiche;*
- *carta della pericolosità sismica;*

La *carta delle pericolosità geologiche (Tav. 6)*, è una carta di sintesi che tende ad evidenziare, attraverso la rappresentazione grafica, le aree di un determinato territorio che sono interessate da pericolosità geologiche (frane, erosioni, esondazioni, vulnerabilità dell’acquifero, colate laviche, fenomeni di fratturazione al suolo cosismico e/o per creep asismico, tipici nelle aree vulcaniche etnee, etc.).

Nello specifico sono state individuate due classi;

- *Classe 1 - Pericolosità nulla* - Riguarda le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico tecniche e morfologiche. In essa ricadono le aree pianeggianti e/o debolmente acclivi, caratterizzate dalla presenza di litotipi con buone caratteristiche geotecniche e le aree caratterizzate dalla presenza di litotipi prevalentemente rigidi ((*Qc*) *Calcari Pleistocenici*, (*Pi*) *Trubi*, (*Mg*) *Gessi*, *Gessi I Ciclo* e *Gessi II Ciclo*, (*Mc*) *Calcari di Base*, (*Md*) *Tripoli*).
- *Classe 2 - Pericolosità bassa* – Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi fenomeni di dissesto. In essa ricadono le aree da poco a moderatamente acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata ((*AB3*)).



Argille Brecciate, (Pa) Marne Argillose Azzurre, (Maa) Terravecchia, (AS) Argille Variegate).

- *Classe 3 - Pericolosità elevata* – In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. *(Aree in frana)*

Nel dettaglio tutti e la Stazione elettrica ricadono in area a pericolosità nulla.

La **Carta della pericolosità sismica (Tav. 7)** è una carta dove devono essere individuate sia le problematiche geologiche che gli effetti di sito attendibili nell'area in studio in cui devono essere distinte le zone interessate prevalentemente da: fenomeni franosi in atto e quiescenti, aree potenzialmente franose, aree di fondovalle, aree suscettibili a potenziali fenomeni di liquefazione, etc.

Nello specifico sono state individuati due gruppi:

- *I Gruppo* - Assenza di pericolosità sismica locale. Zone stabili ove ricadono aree da pianeggianti a moderatamente acclivi, caratterizzate da litotipi pelitici, e/o sabbiosi e calcarei, a volte tettonizzati. *((AB3) Argille Brecciate, (Qc) Calcari Pleistocenici, (Pa) Marne Argillose Azzurre, (Pi) Trubi, (Mg) Gessi, Gessi I Ciclo e Gessi II Ciclo, (Mc) Calcare di Base, (Md) Tripoli, (Maa) Terravecchia, (AS) Argille Variegate);*
- *II Gruppo* - Zone instabili ove si possono verificare o riattivare fenomeni franosi preesistenti in caso di sisma. *(Frane)*

Nel dettaglio tutti gli aerogeneratori ricadono nell'area classificata come I Gruppo.



10. Conclusioni

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte centro meridionale della Sicilia, in provincia di Agrigento; in dettaglio gli aerogeneratori verranno installati su un'area collinare ricadente nel territorio comunale di Campobello di Licata, sulle contrade denominate: *Cardello, Sconfitta e La Catena*.

Il parco eolico in oggetto è costituito da 9 aerogeneratori disposti in un'area con lievi pronunce collinari a Sud-Ovest del Comune di Campobello di Licata, collegati tra di loro attraverso una linea interrata in Media Tensione a 30kV che termina alla SE di Utenza, ubicata nel territorio di Licata, presso la contrada *Marotta*.

Dal punto di vista geologico nell'area in studio è caratterizzata dalla presenza dei sotto elencati litotipi:

- torri 1P, 3P e 9P ricadono sui *Trubi (Pi)*;
- la torre 7P ricade sul *Calcere di Base (Mc)*;
- la torre 8P ricade sulle *Argille Brecciate (AB3)*
- la torre 8M ricade sul *Tripoli (Md)*.
- le torri 2P e 6P ricadono sul *Tripoli (Md)*
- le torri 4P e 5P ricadono sulla *Formazione Terravecchia (Maa)*.

Dal punto di vista idrogeologico non sono stati individuati punti d'acqua significativi. Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dei pali a vento da installare e si può inoltre asserire che l'intero impianto da realizzare non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione dei pali non interferiranno con le eventuali falde presenti.

Durante le fasi di sopralluogo si è osservata la presenza di fenomeni gravitativi (frane) e di fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti.

In ogni caso nell'area ove si dovranno realizzare i pali a vento, ed un intorno significativo di essa, non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto e/o instabilità né in atto né potenziale. Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area ove si prevede di installare le torri è stabile e che l'installazione dei pali non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.



In ultimo, relativamente all'impianto, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (072) e Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (071)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 27.03.2007, sulla G:U.R.S. n° 25 del 1.6.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade ne in aree in dissesto, ne in aree a rischio, ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che l'installazione delle torri eoliche, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

L'elaborazione MASW delle tre stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità V_{s30} dei terreni pari a, **676** m/s per MASW_1 e **506** per MASW_2.

Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 17.01.2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Termini Imerese, Dicembre 2023

