



# REGIONE SICILIA PROVINCIA DI TRAPANI

COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA  
COMUNE DI SANTA NINFA  
COMUNE DI GIBELLINA

## OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 8 AEROGENERATORI DA 6 MW CIASCUNO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 48 MW DENOMINATO "BORGO EREDITA" SITO NEL COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA (TP) IN LOCALITÀ BORGO EREDITA E DELLE OPERE CONNESSE E INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALL'ESERCIZIO DELLO STESSO SITE NEI COMUNI DI SANTA NINFA (TP) E GIBELLINA (TP)

## PROGETTO DEFINITIVO

### PROPONENTE



### TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

### PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

#### Geologo

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

### CODICE ELABORATO

ERIN-BE\_R\_01\_A\_G

SCALA

n°.Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

### Rif. PROGETTO

N. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE

# **COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA**

**- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 48 MW denominato "Borgo Eredita" sito nel comune di Calatafimi Segesta (TP) in località Borgo Eredita e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso site nei comuni di Santa Ninfa (TP) e Gibellina (TP)*

**Comm.: Ing. Girolamo Gorgone** per conto di  
**Edison Rinnovabili S.p.A.**

**Data: Luglio 2023**



**Dott. Geol. Ignazio Giuffrè**

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



# COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA

- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -

## RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 48 MW denominato "Borgo Eredita" sito nel comune di Calatafimi Segesta (TP) in località Borgo Eredita e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso site nei comuni di Santa Ninfa (TP) e Gibellina (TP)*

### **Premessa**

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto definitivo, per la realizzazione di un impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6 MW ciascuno per una potenza complessiva di 48 MW denominato *Borgo Eredita* sito nel comune di Calatafimi Segesta (TP) in località Borgo Eredita e delle opere connesse e infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso site nei comuni di Santa Ninfa (TP) e Gibellina (TP).

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dall'Ing. Girolamo Gorgone, per conto della *Edison Rinnovabili S.p.A.*



Il 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 acquisiti durante i sopralluoghi ed i rilevamenti geologici di superficie, sono stati integrati con quanto riportato nella letteratura tecnica specializzata (“*Carta geologica d'Italia – Foglio 257 Castelvetro*” e “*Carta geologica Alcamo – Foglio 606 - Università degli studi di Palermo*”).

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, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume San Bartolomeo (045)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 04.06.2007, sulla G:U.R.S. n° 36 del 10.08.2007 ove ricadono le otto torri e del *bacino idrografico del fiume Modione e dell'area territoriale tra il bacino idrografico del fiume Arena e il bacino del fiume Modione (056)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 16.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007, ove ricade la sottostazione elettrica.

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 climatiche;
6. considerazioni geotecniche;
7. considerazioni litotecniche;
8. pericolosità sismica locale;
9. sismica a rifrazione - tecnica MASW;
  - 9.1. classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW;
  - 9.2. risultati delle analisi MASW;
  - 9.3. categoria di suolo individuata;
10. zonizzazione del territorio;
11. 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 sud-occidentale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'ampia spianata facente parte del territorio comunale di Calatafimi Segesta, e ricadente nella contrade denominata: *Borgo Eredità*.

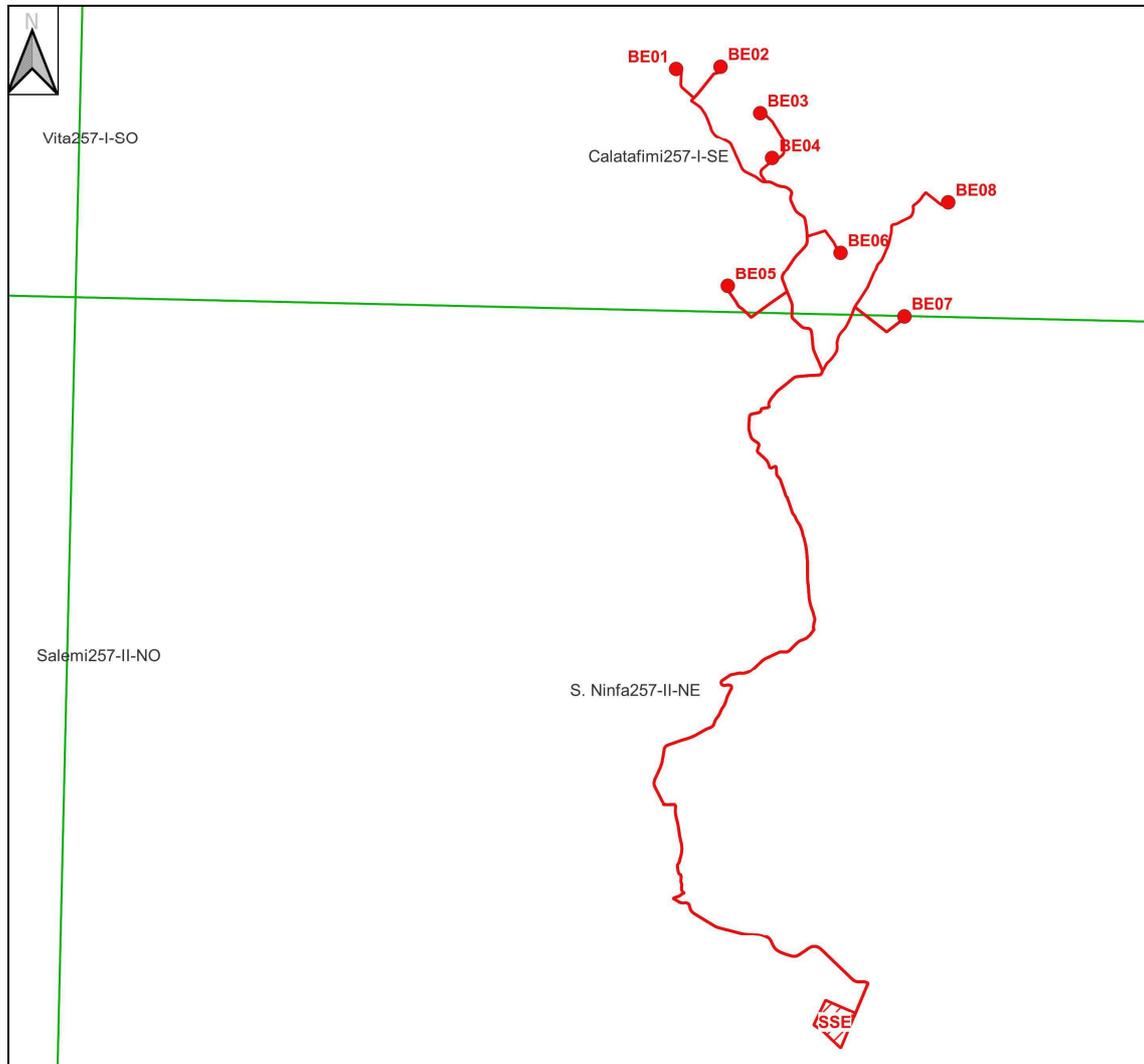
L'impianto include anche una stazione di connessione, sita nel comune di Santa Ninfa (TP), in località *Rampinzeri - Case Pantano* a Gibellina Nuova.



Topograficamente, il parco eolico, ricade nella Tavoletta I.G.M.I. in scala 1:25.000, Foglio n° 257, quadrante I, orientamento S.E. “*Calatafimi*”, mentre la stazione di trasformazione ricade nelle Tavolette, Foglio n° 257, quadrante II, orientamento N.E. “*Santa Ninfa*”.



L'area destinata all'impianto eolico, compresa di stazione di trasformazione con area BESS, ricade nei Fogli 618030, 606160, 606120, 606150 e 606110 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000.



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

L'area d'interesse è caratterizzata da una morfologia collinare e da pendenze relativamente modeste; la quota altimetrica media dei siti interessati è compresa tra 194 m s.l.m. (in corrispondenza dell'aerogeneratore BE07) e 306 m s.l.m. (in corrispondenza dell'aerogeneratore BE01).

Tale settore comunale è caratterizzato dalla presenza di sporadiche masserie sparse per le contrade ed una serie di vigneti.

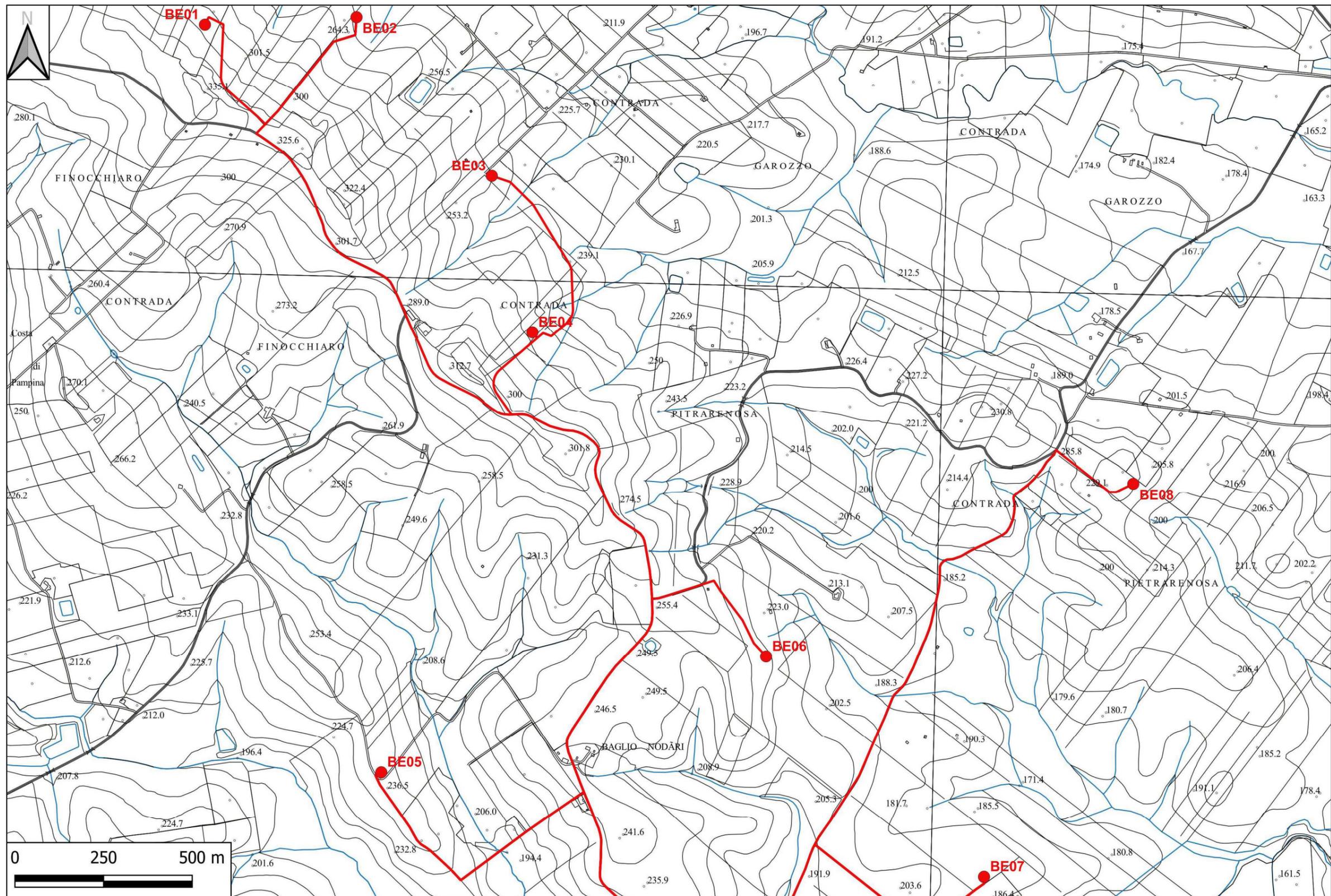


Nel dettaglio è prevista l'installazione di 8 aerogeneratori di grande taglia (fino a 6 MW ciascuno) per una potenza totale installata di 48 MW.

Per poter immettere sulla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) l'energia prodotta dal suddetto parco eolico, si rende necessario la realizzazione delle seguenti opere elettriche:

- rete in cavo interrato a 30 kV interna al parco e di collegamento dei n. 8 aerogeneratori con la Stazione Utente di Trasformazione 30/150 kV da ubicare lungo il tratto di cavidotto in progetto;
- il parco eolico verrà collegato in antenna a 150 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV della RTN, da inserire in entra-esce sul futuro riclassamento a 380 kV di una delle due terne della esistente linea in doppia terna 220 kV RTN "Partanna - Partinico". L'energia elettrica prodotta dall'impianto, a meno della quantità necessaria all'alimentazione degli ausiliari dell'impianto, sarà quindi interamente immessa nella rete elettrica nazionale

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



Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:110.000



Aerofoto in scala 1:11.000



## **2. Lineamenti geologici**

La geologia dell'area in esame e di un suo ampio intorno, è rappresentata, nella sua porzione più superficiale, quasi esclusivamente dalla presenza di sedimenti costieri, di tipo calcarenitico, d'età quaternaria, modellati dalle periodiche oscillazioni eustatiche. In particolare, nel tardo Pleistocene inferiore si sono depositati sedimenti costieri, noti come Calcarenite di Marsala (Emiliano II - Siciliano), disposti in discordanza sui depositi più antichi. In seguito ad una fase trasgressiva del Pleistocene medio si assiste alla deposizione di una placca calcarenitico - sabbiosa alla quale Ruggieri & Unti (1974) diedero il nome di Grande Terrazzo Superiore (G. T. S.).

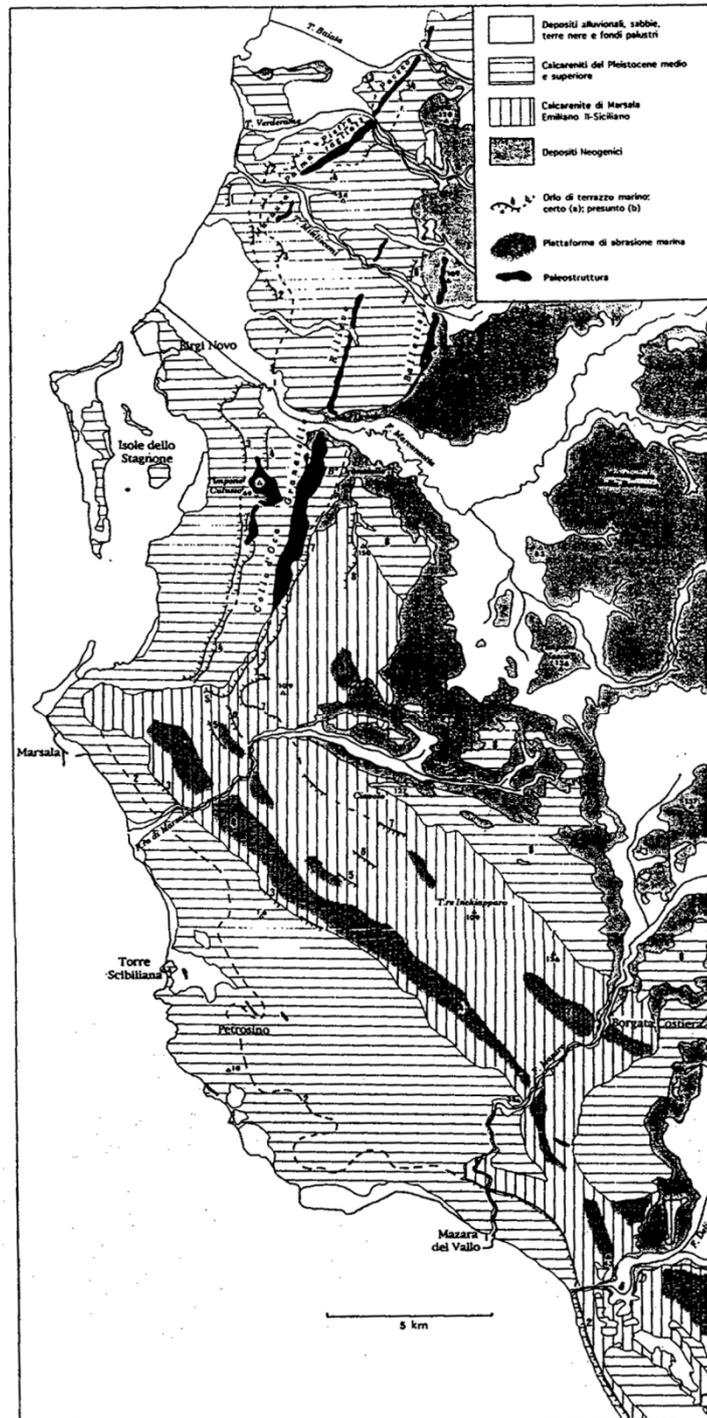
Infine nel tardo Pleistocene (Pre Tirreniano - Tirreniano), caratterizzato da un sostanziale abbassamento del livello marino, si assiste alla formazione di numerosi terrazzi, la cui geometria è stata anche modellata dalla periodica intermittenza delle oscillazioni eustatiche.

D'Angelo & Vernuccio (1994) distinguono ben otto ordini di terrazzi che si rinvencono a diverse altezze topografiche fino a quote prossime a quelle del livello del mare.

I depositi calcarenitici, antichi e recenti, poggiano in discordanza su sequenze prevalentemente terrigene che, con spessori notevoli (superiori spesso ai 500 metri e fino a 1500 metri), hanno colmato una depressione tettonica di vaste dimensioni che interessa la struttura geologica profonda caratteristica di tutta l'area Trapanese.

Dal punto di vista tettonico, gli aspetti più evidenti si osservano nel settore nord-est caratterizzato da un sistema di pieghe con asse disposto NE-SW. I depositi quaternari presentano una giacitura sub-orizzontale, avendo subito soltanto un sollevamento post-siciliano.

In particolare, le rocce che caratterizzano l'area trapanese sono rappresentate da dolomie e calcari dolomitici del Mesozoico, non affioranti nell'area, ma rinvenuti in alcuni pozzi trivellati dall'AGIP a profondità superiori ai 500 m, ed in particolare nel sondaggio Triglia, in cui i calcari vengono rinvenuti ad una profondità di circa 2000 m.



Schema geologico dell'estremità occidentale della Sicilia (da D'ANGELO & VERNUCCIO, 1996).

Al di sopra dei depositi carbonatici del Mesozoico, la serie stratigrafica del dominio carbonatico trapanese procede verso l'alto con una successione di sedimenti



carbonatici caratterizzati da calcilutiti, calcari marnosi e marne, calcareniti glauconitiche e marne ed argille marnose (*Marne di San Cipirrello* del Langhiano sup. – Tortoniano). Questa successione, non affiorante nell'area in esame, è stata rinvenuta nella trivellazione AGIP – Triglia, a profondità comprese tra i 1500 e 2000 metri.

A partire dal Tortoniano sup. fino al Messiniano inf. si depositano sedimenti terrigeni costituiti da argille sabbiose, sabbie e conglomerati noti come *Formazione Terravecchia*, prodotti a seguito di intensi processi di sollevamento e successive erosioni ed accumulo di materiali detritici.

Nella perforazione AGIP – Triglia, questi sedimenti si rinvencono a partire da circa 185 m e fino a 1500 m di profondità. Si tratta quindi di depositi terrigeni di notevole spessore.

Alla Formazione Terravecchia seguono, in discordanza, calcari massicci a Porites in grossi banchi, affioranti in sinistra del F. Delia, noti con nome di *Fm. Baucina*.

Nel Messiniano superiore inizia la fase di sedimentazione della serie evaporitica con deposizione di gessi selenitici, affioranti soltanto localmente in destra idrografica del Fiume Arena e rinvenuti in alcuni pozzi dell'ESA.

In discordanza sui terreni della Serie evaporitica si rinvencono i calcari marnosi e marne *Trubi* del Pliocene inf., affioranti e delimitanti, a nord-est, l'acquifero in studio.

Generalmente, in continuità sui Trubi, si ritrovano depositi pelitico arenacei afferenti alla *Fm. Marnoso - Arenacea della Valle del Belice* ascrivibile al Pliocene sup., formati da marne e marne argillose intercalati a livelli arenacei, aventi uno spessore di circa 200 m.

Dall'analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell'area in esame e da quanto osservato in superficie, l'area di stretto interesse è caratterizzata dall'alto verso il basso da:

- **AFL<sub>a3</sub>** - Detrito di falda  
Accumuli di materiali eterometrici di spessore variabile. (*Attuale*)
- **AFL<sub>b</sub>** - Depositi fluviali di fondovalle (*Attuale*)
- **BLC** - **Formazione Marnoso Arenacea del Belice**



Argille e marne grigio-azzurre con plancton calcareo e rari molluschi. A luoghi e verso l'alto intercalazioni di livelli sabbiosi a laminazione incrociata. Spessore fino a 50m, ambiente di piattaforma esterna-scarpata. (*Piacenziano - Gelasiano*)

- **GTL<sub>2</sub> - Formazione di Cattolica** (Membro selenitico)

Gessi selenitici stratificati in grossi banchi con spessori di 1-3m. Sono visibili cristalli di selenite di grossa taglia; vi si intercalano laminiti algali e peliti gessose. Spessore 50-100m, ambiente evaporitico. (*Messiniano*)

- **CII - Formazione di Ciminna**

Alternanze di marne bianco-grigiastre e marne diatomitiche con tracce di idrocarburi e calcari marnosi ricoperti in discordanza da breccie gessose, gessi laminati e torbiditi gessose. Spessore 60-100m, ambiente marino-lacustre evaporitico. (*Messiniano Inferiore*)

- **Formazione Terravecchia**

Conglomerati, sabbie, peliti e marne

**TRV<sub>2</sub>** - (Membro sabbioso)

Arenarie sabbiose da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata alternate a peliti sabbiose. Spessori 50-250m, ambiente lagunare a volte salmastro, di piattaforma costiera e di scarpata

**TRV<sub>2a</sub>** - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma

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



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 1*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 2*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 3*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 4*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 5*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 6*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 7*



*Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 8*



### 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, l'hanno interessata.

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

L'area in esame è caratterizzata da una superficie topografica piuttosto regolare e a luoghi interessata da lievissime variazioni di pendenza con la presenza di affioramenti calcarenitici.



L'aspetto morfologico diversificato dell'area in studio, è legato inoltre al netto dimorfismo esistente tra i diversi litotipi presenti.



Ove affiorano i litotipi a comportamento rigido, questi dominano 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.

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 microdiscontinuità di forme irregolari, la resistenza dei singoli elementi è influenzata in modo rilevante, a parità di altre condizioni, dalle pressioni dei fluidi interstiziali.

Le considerazioni svolte scaturiscono dai rilievi superficiali effettuati, la cui sintesi è riportata in una carta geomorfologica (*Tav. 3*) in scala 1:10.000.

Durante le fasi di sopralluogo si è osservato che l'area in esame, risulta interessata da 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 e la sottostazione, 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 realizzare l'impianto eolico è stabile e che l'installazione dei pali non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume San Bartolomeo (045)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 04.06.2007, sulla G:U.R.S. n° 36 del 10.08.2007 ove ricadono le otto torri e del *bacino idrografico del fiume Modione e dell'area territoriale tra il bacino idrografico del fiume Arena e il bacino del fiume Modione (056)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 16.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007, ove ricade la sottostazione elettrica.

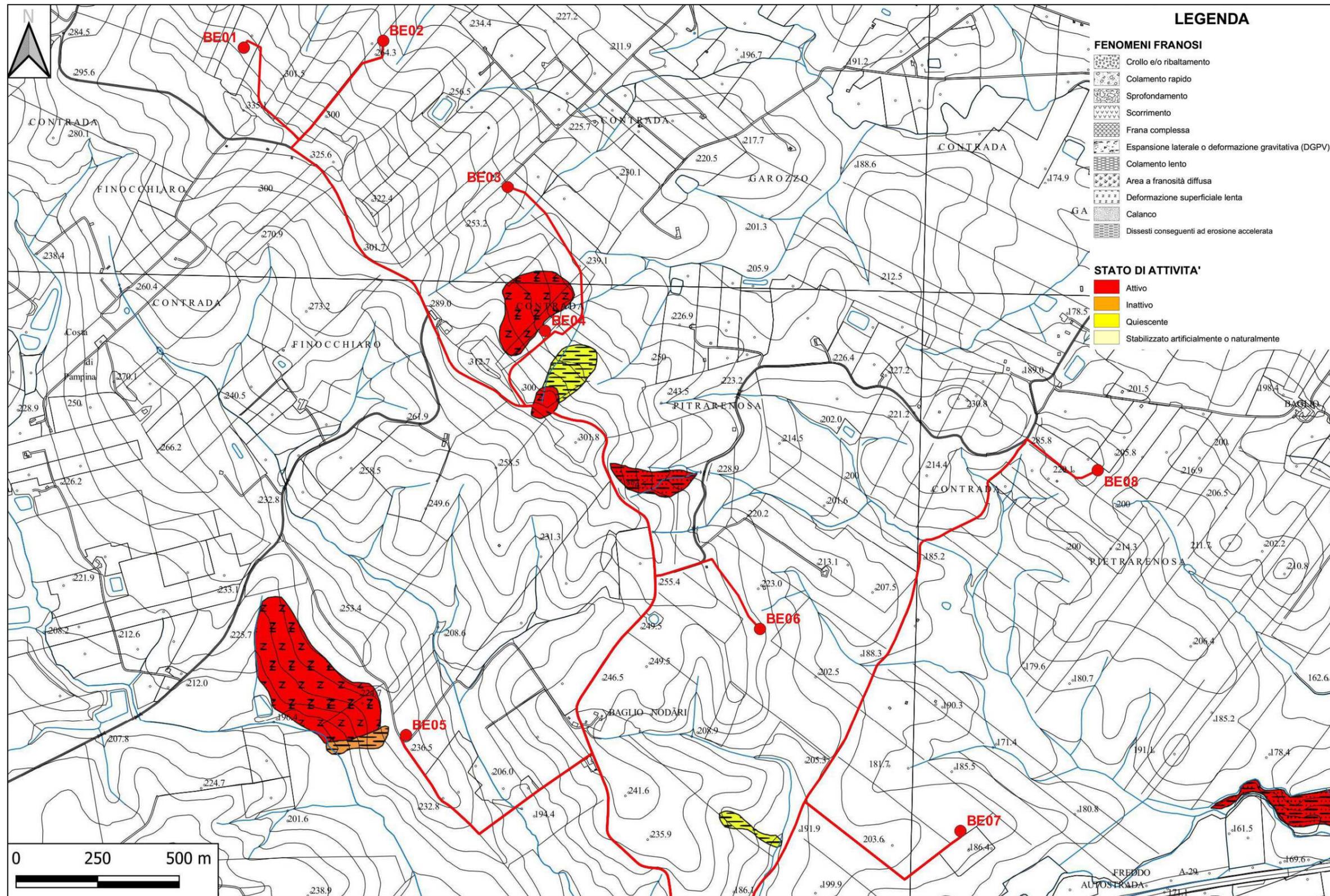
Pertanto le aree ove si prevede di installare gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica, non ricadono né in area a rischio né in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I.



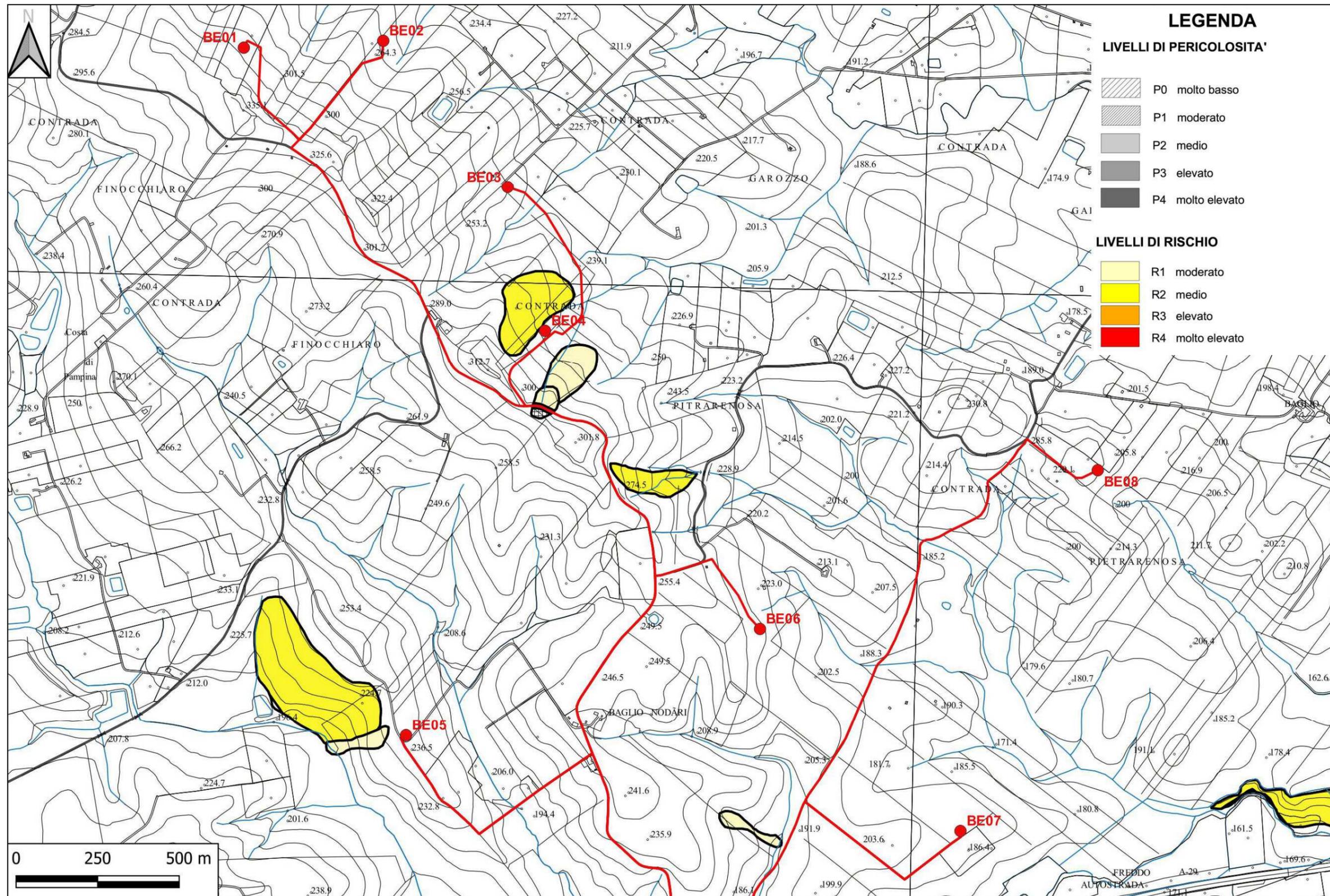
Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che le opere da realizzare non comporteranno l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

Di seguito si allegano inoltre, uno stralcio della *Carta dei dissesti*, e uno stralcio della *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico*, relativa al PAI delle aree sopra indicate, con l'ubicazione delle opere da realizzare.





Stralcio Carta dei Dissesti PAI in scala 1:10.000



Stralcio Carta dei della pericolosità e del rischio geomorfologico PAI in scala 1:10.000



#### 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 ad elevata permeabilità per porosità;*
2. *rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo;*
3. *rocce impermeabili.*

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (*rocce permeabili per porosità*), sono stati inclusi i sedimenti che costituiscono il *Detrito di falda AFLa3; Depositi fluviali di fondovalle AFLb; Fm. Terravecchia. - Membro sabbioso. TRV2*). In generale, tali litotipi costituiscono facili vie d’accesso alle acque di precipitazione, le quali in tempi relativamente brevi si infiltrano (“infiltrazione efficace”) ed accumulano nel sottosuolo (“falde freatiche”).

A causa dei loro spessori, sovente variabili, tali litotipi costituiscono adunamenti idrici di spessore e potenza variabile.



Per quanto riguarda i materiali ricadenti nella seconda classe (*rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*), sono da includersi *Fm. Terravecchia. - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma TRV2a; Formazione di Ciminna. CII; Formazione di Cattolica Membro selenitico. GTL2.*

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:

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

Sono state incluse nella terza classe (*rocce impermeabili*), i sedimenti facenti parte della *Formazione Marnoso Arenacea del Belice. BLC.*

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.

<b>LITOTIPO</b>	<b>TIPO DI PERMEABILITÀ</b>	<b>GRADO DI PERMEABILITÀ</b>	<b>COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ</b>
<i>Detrito di falda <b>AFLa3</b>; Depositi fluviali di fondovalle <b>AFLb</b>; Fm. Terravecchia. - Membro sabbioso. <b>TRV2</b></i>	<b>Porosità</b>	<b>alta</b>	<b><math>10^{-1}-10^{-3}</math></b>
<i>Fm. Terravecchia. - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma <b>TRV2a</b>; Formazione di Ciminna. <b>CII</b>; Formazione di Cattolica Membro selenitico. <b>GTL2</b></i>	<b>Fessurazione, fratturazione e/o carsismo</b>	<b>da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure</b>	<b><math>10^{-3}-10^{-5}</math></b>
<i>Formazione Marnoso Arenacea del Belice. <b>BLC</b></i>	<b>Impermeabili</b>	<b>da bassa a molto bassa</b>	<b><math>10^{-6}-10^{-9}</math></b>

*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. 4a e 4b**) in scala 1:10.000.

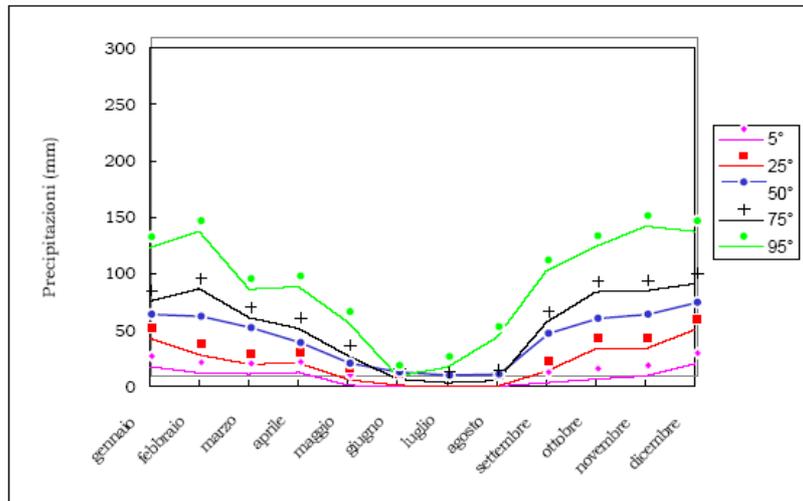


## 5. Considerazioni climatiche

Le caratteristiche climatiche di una determinata area, sono legate all'insieme complessivo delle condizioni atmosferiche che si riscontrano in quell'area nel corso di un anno e su un periodo di diversi anni (valori medi climatici calcolati in periodi di 35 anni).

In generale, le condizioni atmosferiche di una data area, come pure quelle climatiche, sono il risultato di un'incessante circolazione generale di masse d'aria nell'atmosfera, della latitudine a cui è posta l'area, della natura della superficie terrestre e dei suoi rapporti con le acque circostanti, sia che siano terrestri, sia che siano marine, oltre che dalla vegetazione presente.

In dettaglio, nell'area in studio la stazione pluviotermometrica che meglio rappresenta il regime climatico nella zona è la stazione di Marsala. Questa è gestita dal Servizio Tecnico Idrografico Regionale della Sicilia.

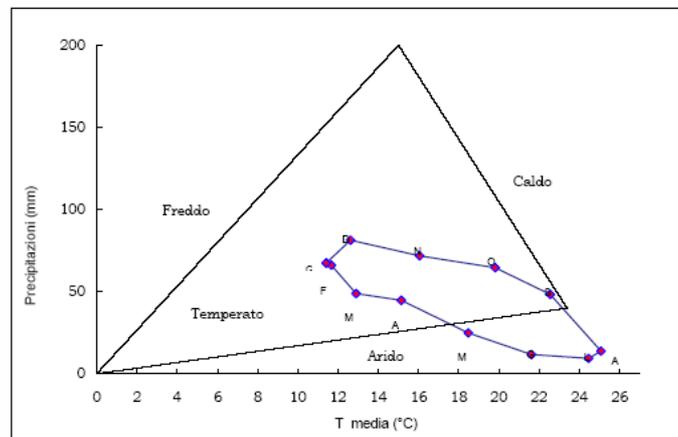


*Andamento delle precipitazioni per la stazione di Marsala*



Marsala m 12 s.l.m.

mese	T max	T min	T med	P
gennaio	15,0	7,7	11,3	61
febbraio	15,3	7,9	11,6	60
marzo	16,8	8,9	12,8	43
aprile	19,1	11,0	15,1	39
maggio	22,9	13,9	18,4	19
giugno	26,3	16,8	21,6	6
luglio	29,3	19,5	24,4	3
agosto	29,9	20,1	25,0	8
settembre	26,7	18,2	22,5	42
ottobre	24,0	15,5	19,7	58
novembre	19,9	12,0	16,0	66
dicembre	16,2	8,8	12,5	75



*Climogramma di Peguy riferito alla stazione di Castelvetro*

I climogrammi di *Peguy* riassumono sinteticamente le condizioni termopluviometriche delle diverse località considerate. Essi sono costruiti a partire dai dati medi mensili di temperatura media e precipitazioni cumulate. Sulle ascisse è riportata la scala delle temperature (°C), mentre sulle ordinate quella delle precipitazioni (mm). Dall'unione dei 12 punti relativi a ciascun mese, si ottiene un poligono racchiudente un'area, la cui forma e dimensione rappresentano bene le caratteristiche climatiche di ciascuna stazione. Sul climogramma è anche riportata un'area triangolare di riferimento che, secondo *Peguy*, distingue una situazione di clima temperato (all'interno dell'area stessa), freddo, arido, caldo (all'esterno del triangolo, ad iniziare dalla parte in alto a sinistra del grafico, in senso antiorario). Il triangolo è costruito sulla base delle seguenti coordinate dei vertici: (0°C, 0 mm); (23,4°C, 40 mm); (15°C, 200 mm). La posizione



dell'area poligonale, rispetto a quella triangolare di riferimento fornisce una rappresentazione immediata delle condizioni climatiche della stazione.

Dall'esame del climogramma di *Peguy* riferito alla stazione di Marsala si evince che il clima è temperato dal mese di settembre al mese di aprile, e che il clima è arido da aprile a settembre.

La precipitazione media annua per la serie temporale 1965-1994 è pari a circa 480 mm/a.

In base agli studi disponibili, alle caratteristiche geomorfologiche, alla letteratura internazionale esistente, l'infiltrazione media annua si stima attorno al 60-70% per gli affioramenti arenacei.



## 6. Considerazioni geotecniche

Dall'osservazione degli elementi di superficie e da quanto riportato in letteratura geologica specializzata i litotipi presenti nel territorio in esame sono i seguenti:

- Depositi fluviali di fondovalle (**AFL<sub>b</sub>**);
- Formazione Terravecchia - Membro sabbioso argilloso (**TRV<sub>2</sub>**);
- Formazione Terravecchia - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma (**TRV<sub>2a</sub>**);
- Formazione di Ciminna (**CII**).

I *Depositi alluvionali di fondovalle (AFL<sub>b</sub>)*, sono caratterizzati da un'estrema variabilità granulometrica dovuta alla presenza di materiali grossolani (ghiaie e ciottoli) in matrice argillosa - limosa - sabbiosa. Tali depositi sono da definire rocce “*incoerenti*” o “*sciolte*” e sono costituite, nel loro insieme, da sabbie miste a silt con inclusi ghiaie e ciottoli, argille limose ed argille sabbiose.

Trattasi di rocce esogene (sedimentarie) di natura meccanica (rocce elastiche), provenienti dal disfacimento di formazioni calcaree, dolomitiche, arenacee ed in parte da formazioni argillose fortemente preconsolidate.

Relativamente ai valori di resistenza al taglio di tali materiali, questi aumentano con il costipamento e con un gradiente che risulta essere tanto maggiore quanto minore è la porosità.

Da tali studi specializzati effettuati su tali materiali risulta che il comportamento meccanico di tali terreni dipende principalmente dalla loro composizione granulometrica, dalla forma e natura dei grani, dalla tessitura del deposito, “dall'indice di addensamento”  $D_r$  e dal “contenuto d'acqua”.

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

- $\gamma = 18,2 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 25^\circ$  peso dell'unità di volume



La Formazione Terravecchia - Membro sabbioso argilloso (TRV<sub>2</sub>). 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 ( $\phi'$ ) risultano elevati e quelli di coesione ( $c'$ ) modesti e a luoghi nulli. E' possibile stimare per i terreni in oggetto, i seguenti valori:

- $\gamma = 18,63 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 24^\circ$  peso dell'unità di volume



La Formazione Terravecchia - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma (TRV<sub>2a</sub>). Sono caratterizzati da una serie di lenti e/o livelli aventi caratteristiche granulometriche differenti le une dalle altre.

I fusi granulometrici nel settore in oggetto non appaiono uniformi. Tale variabilità è legata alla genesi deposizionale dei sedimenti in oggetto, denotata dalle eteropie di facies tra elementi più grossolani ed elementi meno grossolani, diversificando così sia le fasi deposizionali.

Trattasi di rocce esogene (sedimentarie) di natura meccanica (rocce clastiche), provenienti dal disfacimento di formazioni calcaree, dolomitiche, arenacee ed in parte da formazioni argillose fortemente preconsolidate.

Studi effettuati su tali materiali (A. Pellegrini “*Proprietà geotecniche dei materiali a grana grossa*” e R. Jappelli “*Proprietà geotecniche di tipiche rocce sciolte a grana media e grossa della Sicilia*”), dimostrano che dal punto di vista granulometrico, la frazione  $d < 0.2$  mm è presente in percentuale assai modesta e che all’interno di ciascun deposito è stata riscontrata una elevata variabilità della granulometria sia in senso verticale che orizzontale.

Per avere utili indicazioni sul comportamento meccanico di tali materiali si è fatto riferimento ai risultati delle sperimentazioni eseguite in materiali simili, riportati nella letteratura tecnica.

Le ricerche effettuate si riferiscono all’esecuzione di prove di laboratorio su campioni ricostituiti ed a prove e misure in sito su rocce sciolte a grana grossa di varia origine (depositi fluviali, glaciali, conglomeratici ecc.).

Da tali studi risulta che il comportamento meccanico di tali materiali dipende principalmente dalla loro composizione granulometrica, dalla forma e natura dei grani, dalla tessitura del deposito, “dall’indice di addensamento”  $D_r$  e dal “contenuto d’acqua”.

In particolare le prove di rottura per compressione triassiale hanno fornito valori dell’angolo di attrito che hanno raggiunto anche i  $45^\circ$  in funzione del grado di addensamento  $D_r$ , mentre la coesione è risultata praticamente nulla.

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

- $\gamma = 19.41 \text{ KN/m}^3$                       peso dell’unità di volume



- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 28^\circ$  peso dell'unità di volume

Infine, è stato dimostrato che i valori dell'angolo di attrito interno risultano strettamente legati al grado di addensamento  $D_r$  dei litotipi detti.

Pertanto, tenendo presente quanto detto è bene precisare che relativamente ai valori di taglio diretto CD, si sono attribuiti, cautelativamente, i seguenti valori di coesione ( $c'$ ) ed angolo d'attrito interno ( $\phi'$ ) per i diversi spessori di terreno rilevati, potendo così ricostruire la seguente colonna geotecnica:

La Formazione di Ciminna (CII) è costituita da alternanze di marne bianco-grigiastre e marne diatomitiche con tracce di idrocarburi e calcari marnosi ricoperti in discordanza da breccie gessose, gessi laminati e torbiditi gessose

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.

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.

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

- $\gamma = 21.18 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 28^\circ$  peso dell'unità di volume



## 7. 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 presenti nel territorio in progetto, nella distinzione in unità litotecniche si hanno, per quanto riguarda le **unità di copertura**:

- *Detrito di falda (AFLa<sub>3</sub>)*: Si tratta di sedimenti a grana grossa con basso grado di cementazione e legante prevalentemente calcitico. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **F3**.
- *Depositi fluviali di fondovalle (AFLb)*: si tratta di sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati, da sciolte a moderatamente cementate. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **G1c**.

Passando in rassegna i terreni presenti nel territorio in progetto, nella distinzione in unità litotecniche si hanno, per quanto riguarda le **unità di substrato**:

- *Formazione di Cattolica Membro selenitico (GTL<sub>2</sub>)*; *Formazione di Ciminna (CII)*; *Fm. Terravecchia. - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma (TRV<sub>2a</sub>)*: Si tratta di successioni carbonatiche - poliedri giustapposti volume medio oltre 0,01 mc. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **A3**.
- *Fm. Terravecchia. - Membro sabbioso (TRV2)*. Si tratta di sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti



spigolosi o arrotondati, da sciolte a moderatamente cementate. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **C2.1**.

- *Formazione Marnoso Arenacea del Belice. (BLC)*. Si tratta di sedimenti a grana fine e finissima. Limi argillosi o argille. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **H.1**.



## 8. 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*).

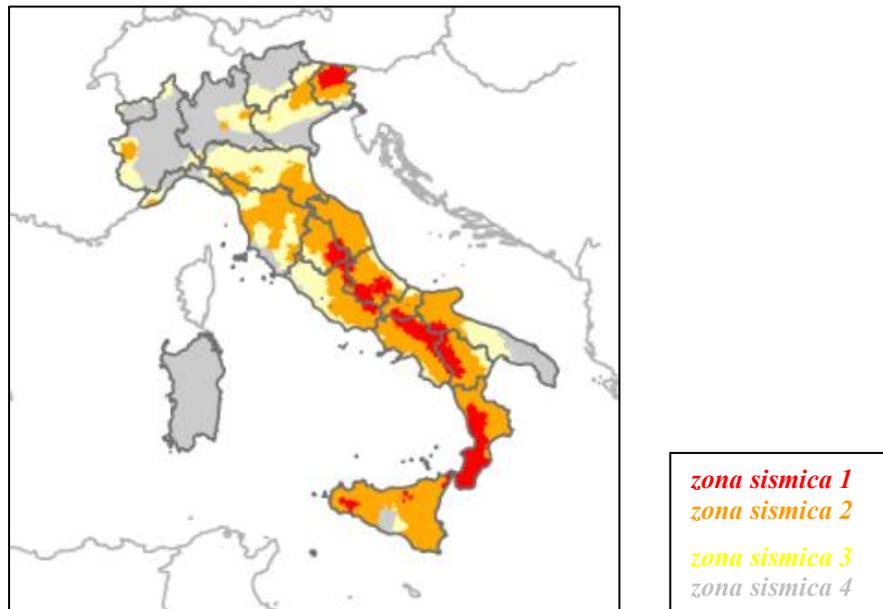
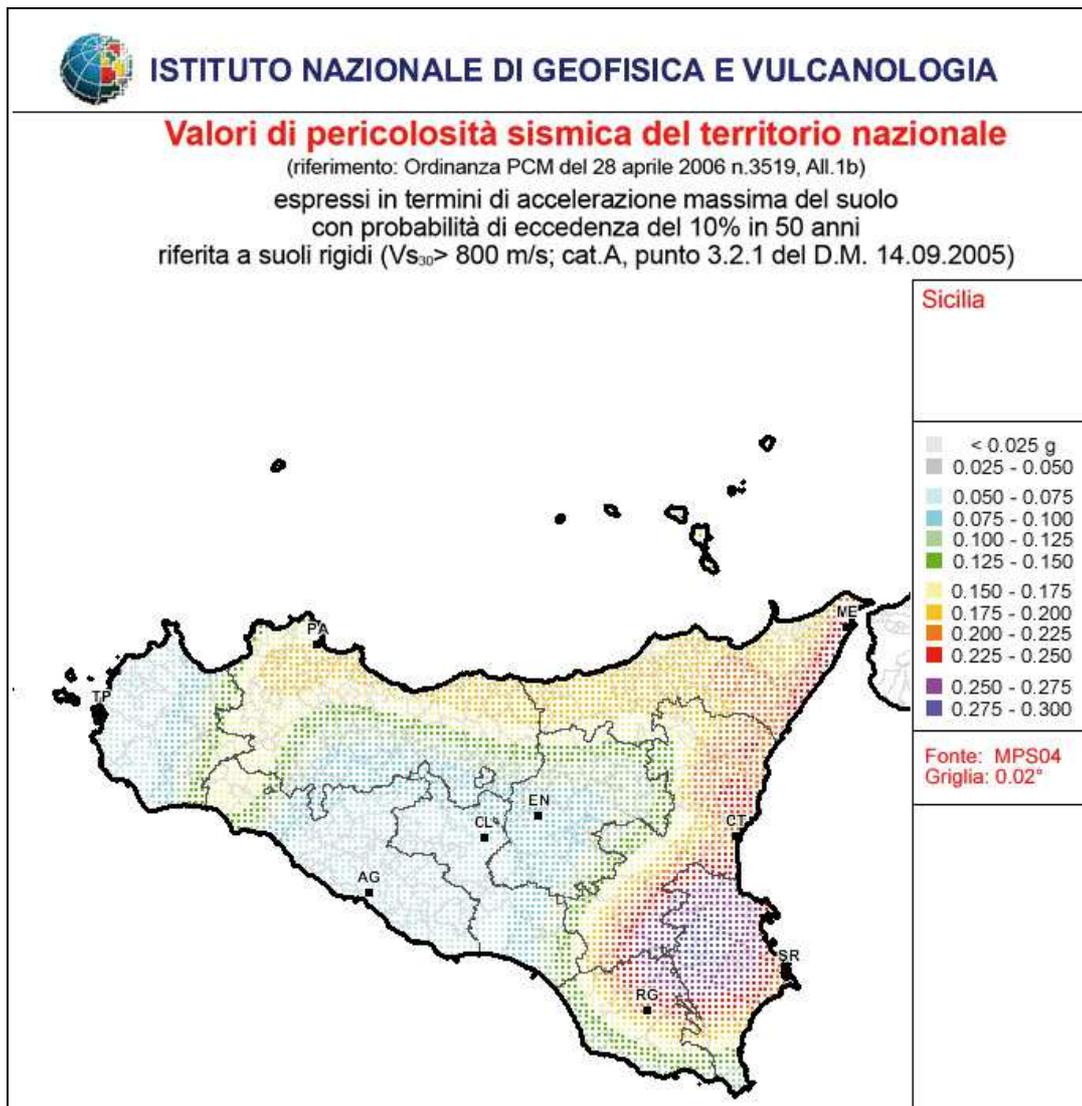


Figura 1

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 [<math>a_g/g</math>]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [<math>a_g/g</math>]</i>
<i>1</i>	<i>&gt; 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>&lt; 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".

Il territorio di Calatafimi Segesta, 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 "2".



## **9. 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.

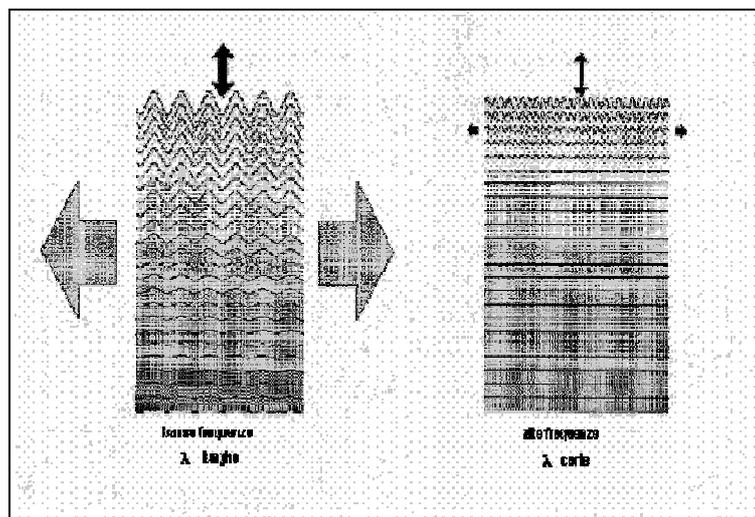
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza 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.

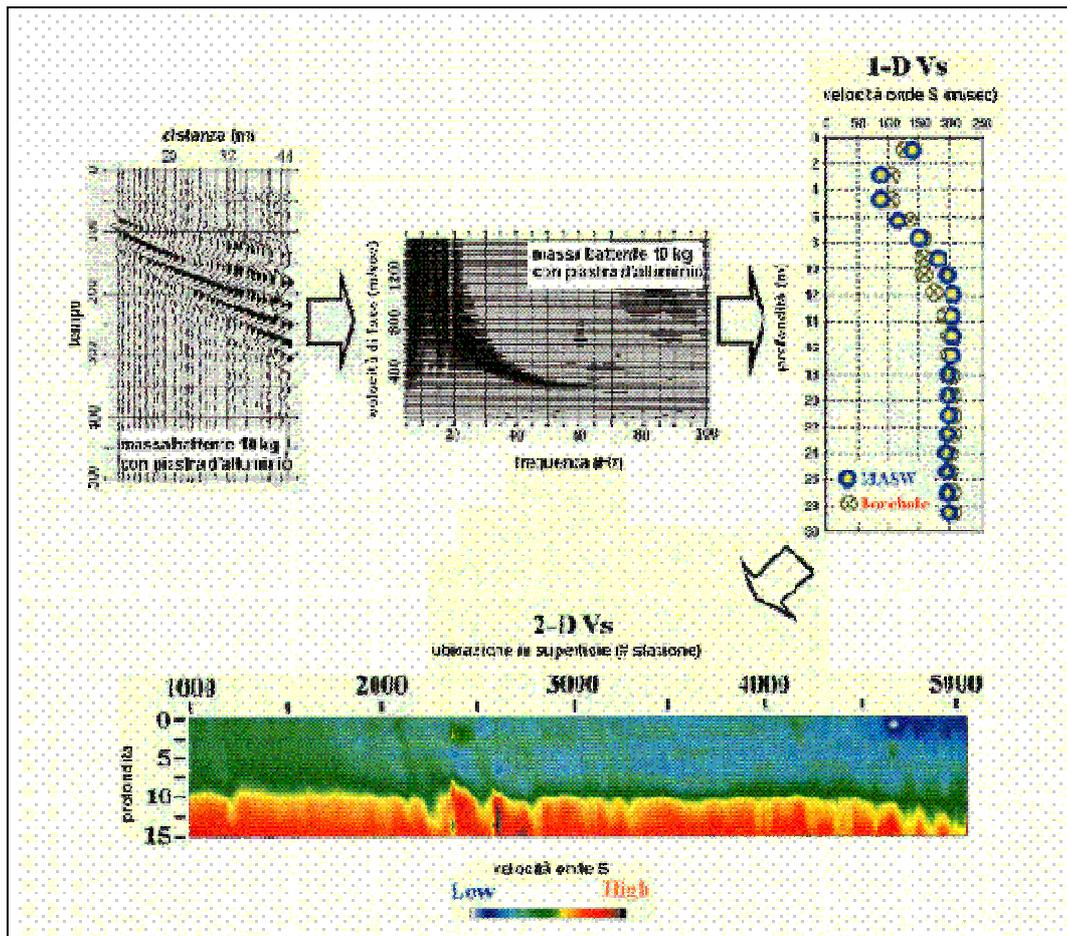
Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, 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.

### 9.1. 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><b>Categoria</b></i>	<i><b>Descrizione</b></i>
<i><b>A</b></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>B</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><b>C</b></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><b>D</b></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><b>E</b></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.

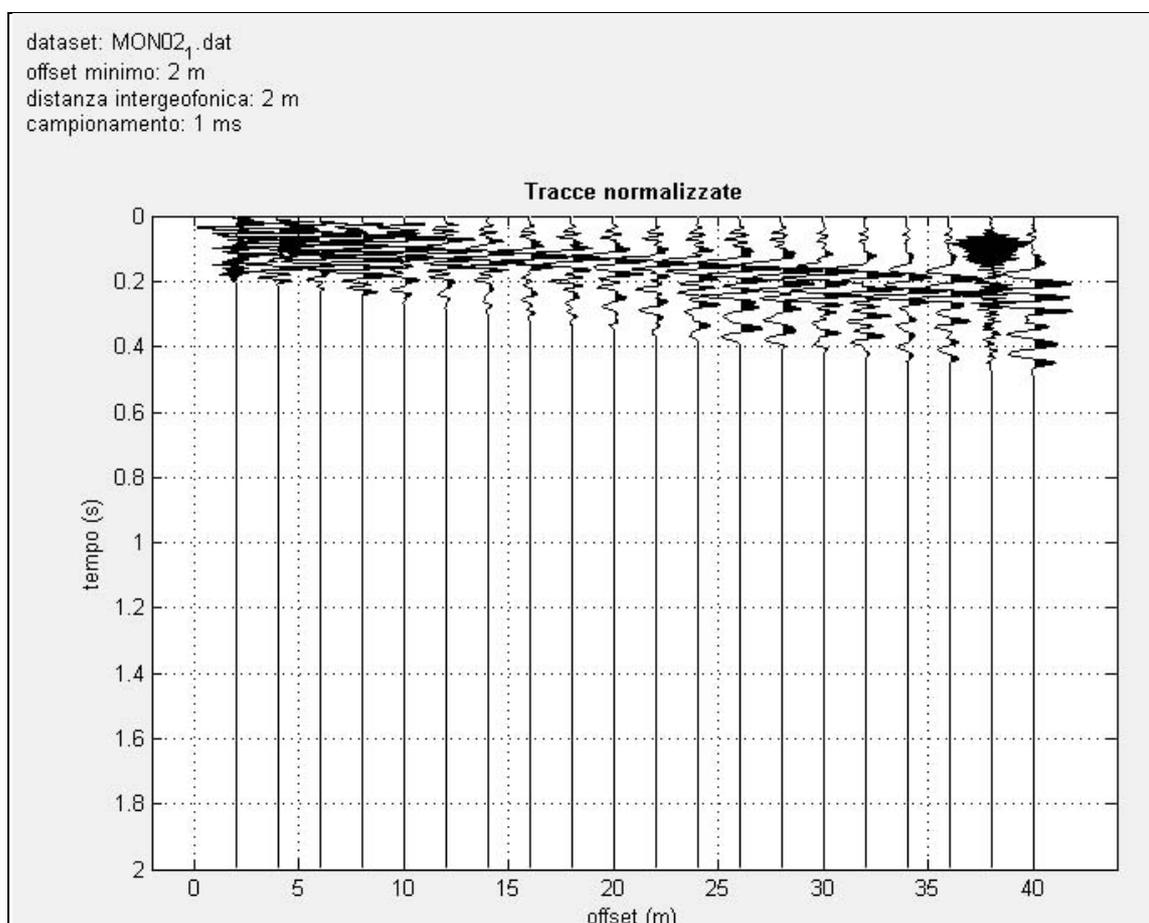
## **9.2. Risultati delle analisi MASW**

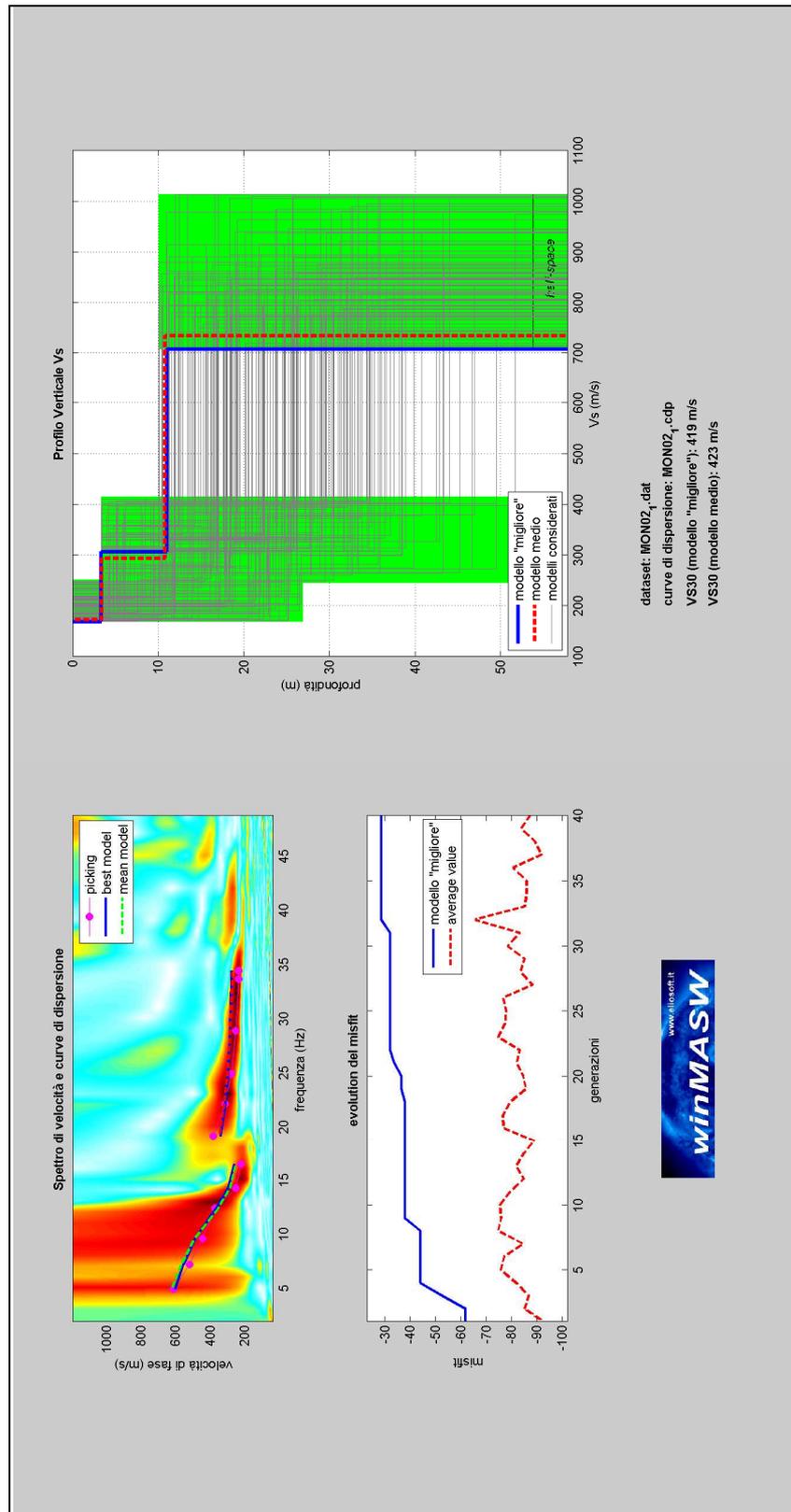
Nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico, sono state eseguite tre stese sismiche interpretate con il metodo MASW ed esattamente la prima in corrispondenza della torre 1 e la seconda in corrispondenza della torre 3 e la terza in corrispondenza della torre 5.



### 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
Curva di dispersione analizzata	MON02_1_2.cdp



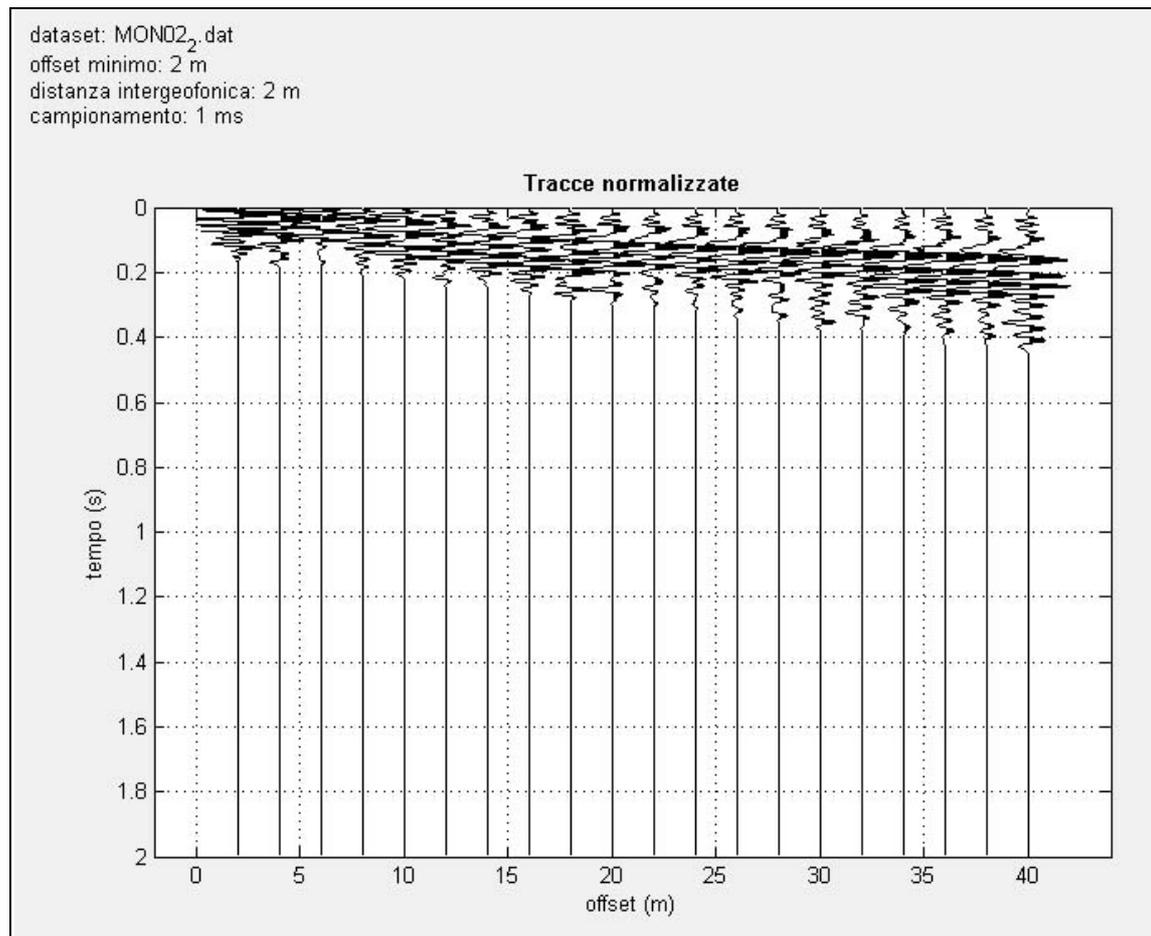


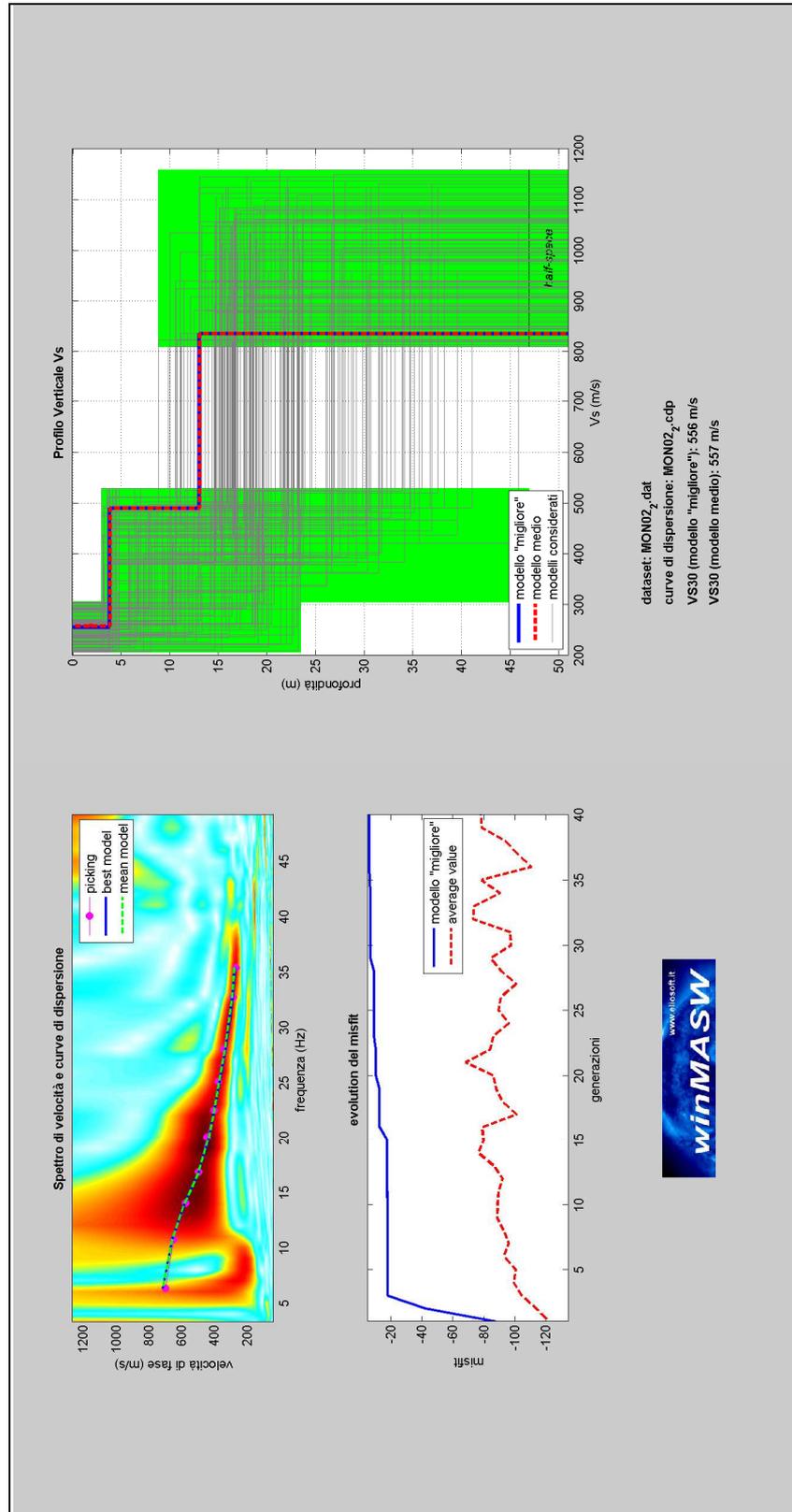
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### 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
Curva di dispersione analizzata	MON02_2.cdp



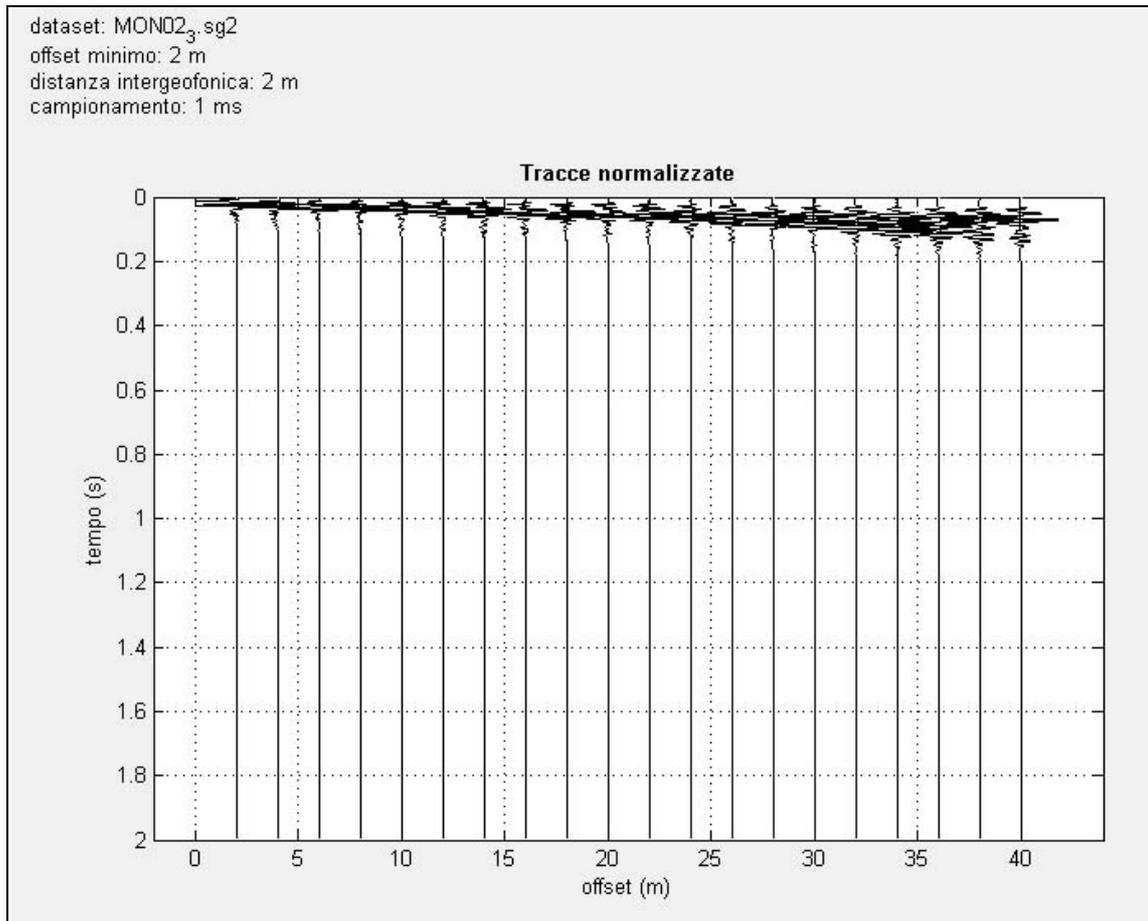


Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

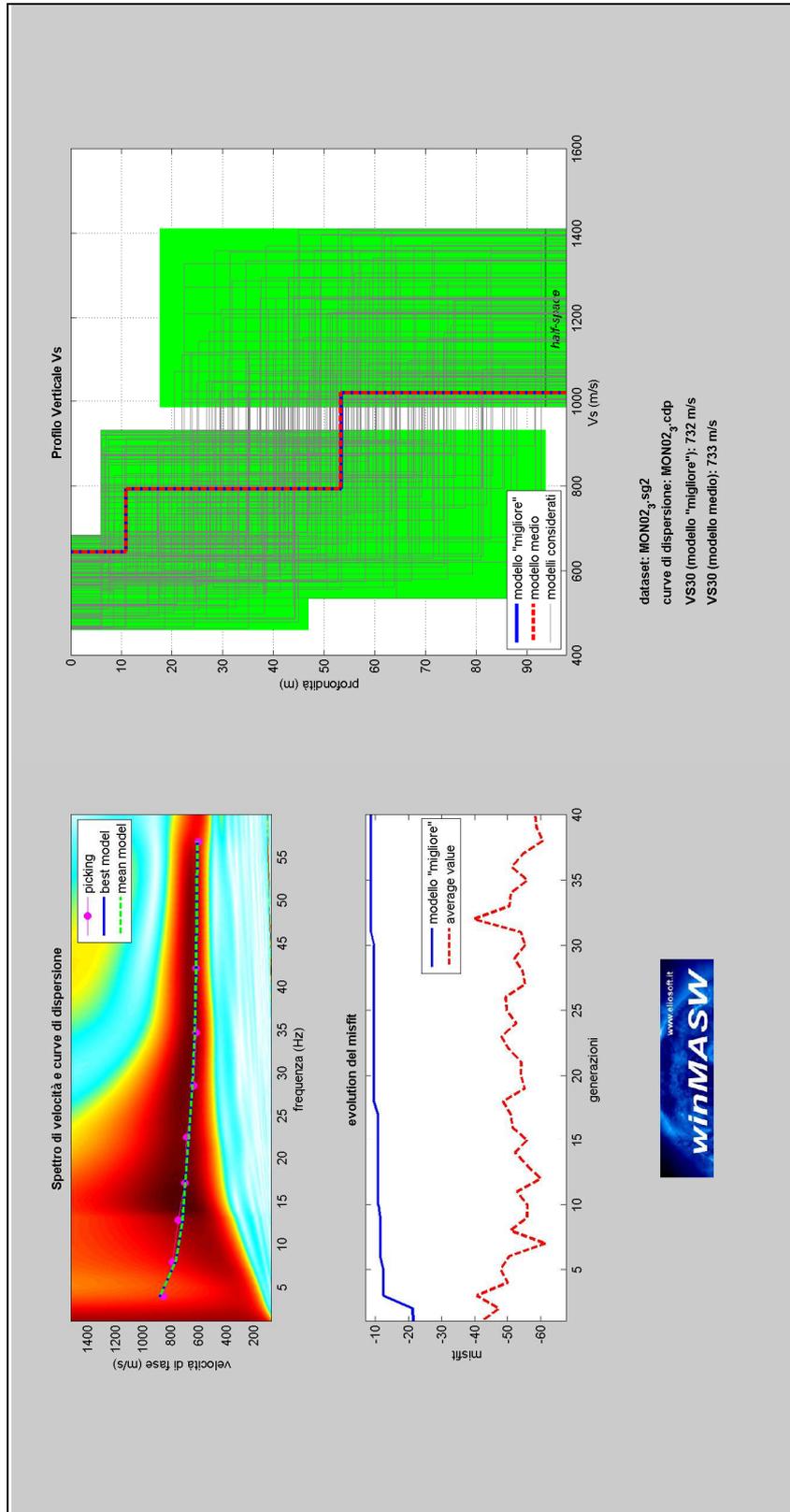


### Dati sperimentali MASW ST 3

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	MON02_3.cdp



*Tracce sperimentali*



Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### 9.3. categoria di suolo individuata

Pertanto l'elaborazione dell'indagine sismica MASW, eseguita sull'area in esame, ha definito un valore della velocità  $V_{s30}$  dei terreni pari **419** m/s nel MASW\_1, **557** m/s nel MASW\_2 e **733** m/s nel MASW\_3. Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 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.*)



## 10. 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 caratterizzate dalla presenza di litotipi con buone caratteristiche geotecniche e le aree caratterizzate dalla presenza di litotipi prevalentemente rigidi (*AFLb - Depositi fluviali di fondovalle; TRV2 - (Membro sabbioso) Arenarie sabbiose da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata alternate a peliti sabbiose; TRV2a - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma; GTL2 - Formazione di Cattolica Membro selenitico; CII - Formazione di Ciminna*).
- *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 limitati fenomeni di dissesto.

In essa ricadono le aree poco acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche, ove possono manifestare localizzati fenomeni di



degradazione superficiale del suolo. Si possono manifestare inoltre fenomeni di soliflusso e/o di ruscellamento diffuso ed irregolare (**BLC**. *Formazione Marnoso Arenacea del Belice*).

- *Classe 3 - Pericolosità elevata* – In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*frane; AFLa3 - Detrito di falda*)

Nel dettaglio tutti gli aerogeneratori e la sottostazione ricadono nell'area a pericolosità geologica 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, spesso tettonizzati e da litotipi rigidi. (*Depositi fluviali di fondovalle AFLb; Formazione Marnoso Arenacea del Belice. BLC; Formazione di Cattolica Membro selenitico. GTL2; Formazione di Ciminna. CII; Fm. Terravecchia. - Membro sabbioso. TRV2; Fm. Terravecchia. - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma TRV2a*);
- *II Gruppo* - Zone instabili ove si possono verificare o riattivare fenomeni franosi preesistenti in caso di sisma. Amplificazione differente del moto del suolo. (*Frane, AFLa3 - Detrito di falda*);

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



## 11. Conclusioni

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte sud-occidentale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'ampia spianata facente parte del territorio comunale di Calatafimi Segesta, e ricadente nella contrade denominata: *Borgo Eredità*.

L'impianto include anche una stazione di connessione, sita nel comune di Santa Ninfa (TP), in località *Rampinzeri - Case Pantano* a Gibellina Nuova.

L'area d'interesse è caratterizzata da una morfologia collinare e da pendenze relativamente modeste; la quota altimetrica media dei siti interessati è compresa tra 194 m s.l.m. (in corrispondenza dell'aerogeneratore BE07) e 306 m s.l.m. (in corrispondenza dell'aerogeneratore BE01).

Dal punto di vista geologico nell'area in studio ed in un intorno significativo di essa affiorano i seguenti litotipi:

- **AFL<sub>b</sub>** - Depositi fluviali di fondovalle;
- **TRV<sub>2</sub>** - Formazione Terravecchia - Membro sabbioso argilloso;
- **TRV<sub>2a</sub>** - Formazione Terravecchia - Intercalazioni di areniti costiere di piattaforma;
- **CII** - Formazione di Ciminna.

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 osservato che l'area in esame, risulta interessata da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano nella normale dinamica evolutiva dei versanti.

In ogni caso nell'area ove si dovranno realizzare i pali ed un intorno significativo di essa, non sono stati riscontrati fenomeni di dissesto e/o instabilità ne in atto ne potenziale.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume San Bartolomeo (045)*, redatto a cura



dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 04.06.2007, sulla G:U.R.S. n° 36 del 10.08.2007 ove ricadono le otto torri e del *bacino idrografico del fiume Modione e dell'area territoriale tra il bacino idrografico del fiume Arena e il bacino del fiume Modione (056)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 16.07.2007, sulla G:U.R.S. n° 47 del 5.10.2007, ove ricade la sottostazione elettrica. Pertanto le aree ove si prevede di installare gli aerogeneratori e la sottostazione elettrica, non ricadono ne in area 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 le opere da realizzare non comporteranno l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

L'elaborazione dell'indagine sismica MASW, eseguita sull'area in esame, ha definito un valore della velocità  $V_{s30}$  dei terreni pari **419** m/s nel MASW\_1, **557** m/s nel MASW\_2 e **733** m/s nel MASW\_3. Quindi, ai sensi dell'N.T.C. 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, Luglio 2023

