

# **COMUNE DI ENNA**

**- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI ENNA -**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da 18 aerogeneratori, di potenza 72 MW, denominato ENNA*

**Ditta: DEDRA S.r.l.**  
**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 ENNA**

## **- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI ENNA -**

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

*“Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da 18 aerogeneratori, di potenza 72 MW, denominato ENNA”*

#### **Premessa**

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto per la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “ENNA” di potenza 72 MW, nel Comune di ENNA, e relative opere di connessione, nel Comune di Pietraperzia (EN).

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dalla *DEDRA S.r.l.*

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 – Foglio 268 Caltanissetta*” E. Beneo - Servizio geologico Italiano 1955 e “*Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 631 – Caltanissetta*”, a cura di L. Tortorici, C. Monaco, A. Di Stefano, R. Maniscalco, G. De Guidi, G. Pappalardo, E. Curcuruto, M. Brescia – ISPRA 2014).

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 Imera Meridionale (072) e Area territoriale tra il Bacino Idrografico del Fiume 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 01.03.2007 e successive modifiche ed integrazioni.

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. 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*).



## 1. Inquadramento dell'area ed opere previste in progetto

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte centro meridionale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'area facente parte del territorio comunale di Enna e ricadente nelle contrade denominate: *Cannarella* (ENN01, ENN02, ENN03, ENN04, ENN05, ENN06), *Granci* (ENN07), *Nicola* (ENN08, ENN09), *Marcato dei Vitelli* (ENN10, ENN11), *Arcera* (ENN12, ENN13, ENN14, ENN15), *Aiuolo* (ENN16, ENN17, ENN18) e *Cucca* (opere di connessione), caratterizzate da una morfologia collinare talora interrotta da sporadici alti strutturali.



Topograficamente, il parco eolico, ricade nelle Tavole I.G.M.I. in scala 1:25.000, Foglio n° 268, quadrante I, orientamento S.O. “Enna”, Foglio n° 268, quadrante III, orientamento N.E. “Pietraperzia”, Foglio n° 268, quadrante II,



orientamento N.O. “*Friddani*” e Foglio n° 268, quadrante III, orientamento S.E. “*Barrafranca*”.

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

Inoltre l’impianto ricade nelle sezioni di seguito elencate: 631070 (ENN01, ENN02, ENN03, ENN04, ENN05, ENN06), 631110 (ENN07, ENN08, ENN09, ENN10, ENN11, ENN12, ENN13, ENN14, ENN15, ENN16, ENN17, ENN18), 631150, 631140 e 638020 (cavidotto) 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 Progetto prevede l’installazione di 18 aerogeneratori eolici tripala, di potenza nominale pari a 4 MW ciascuno (per un totale installato di 72 MW).

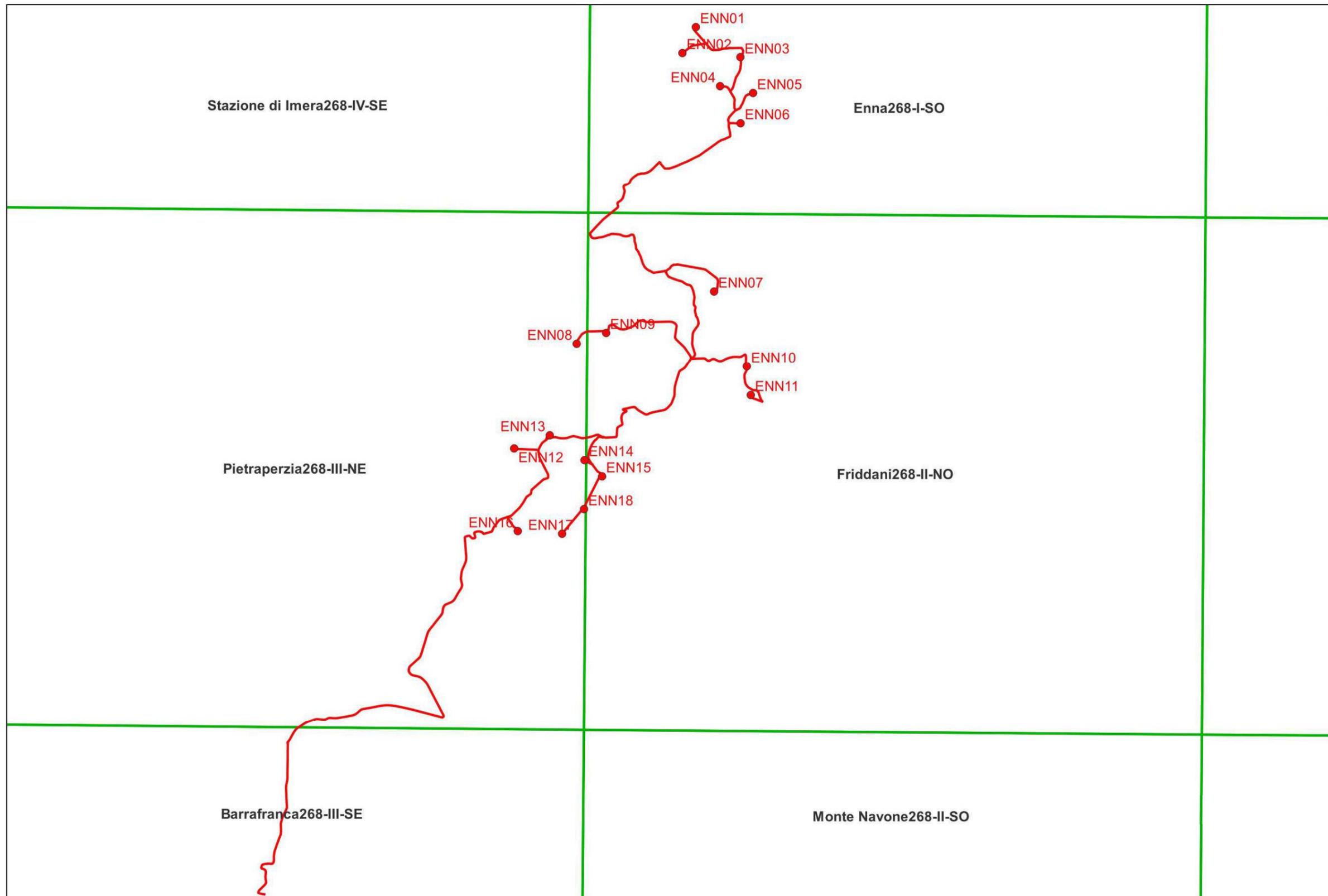
Gli aerogeneratori verranno collegati tra loro tramite cavi in MT a 36 kV che trasporteranno l’energia prodotta presso il punto di connessione alla rete elettrica.

Il progetto di realizzazione in oggetto, include i seguenti elementi:

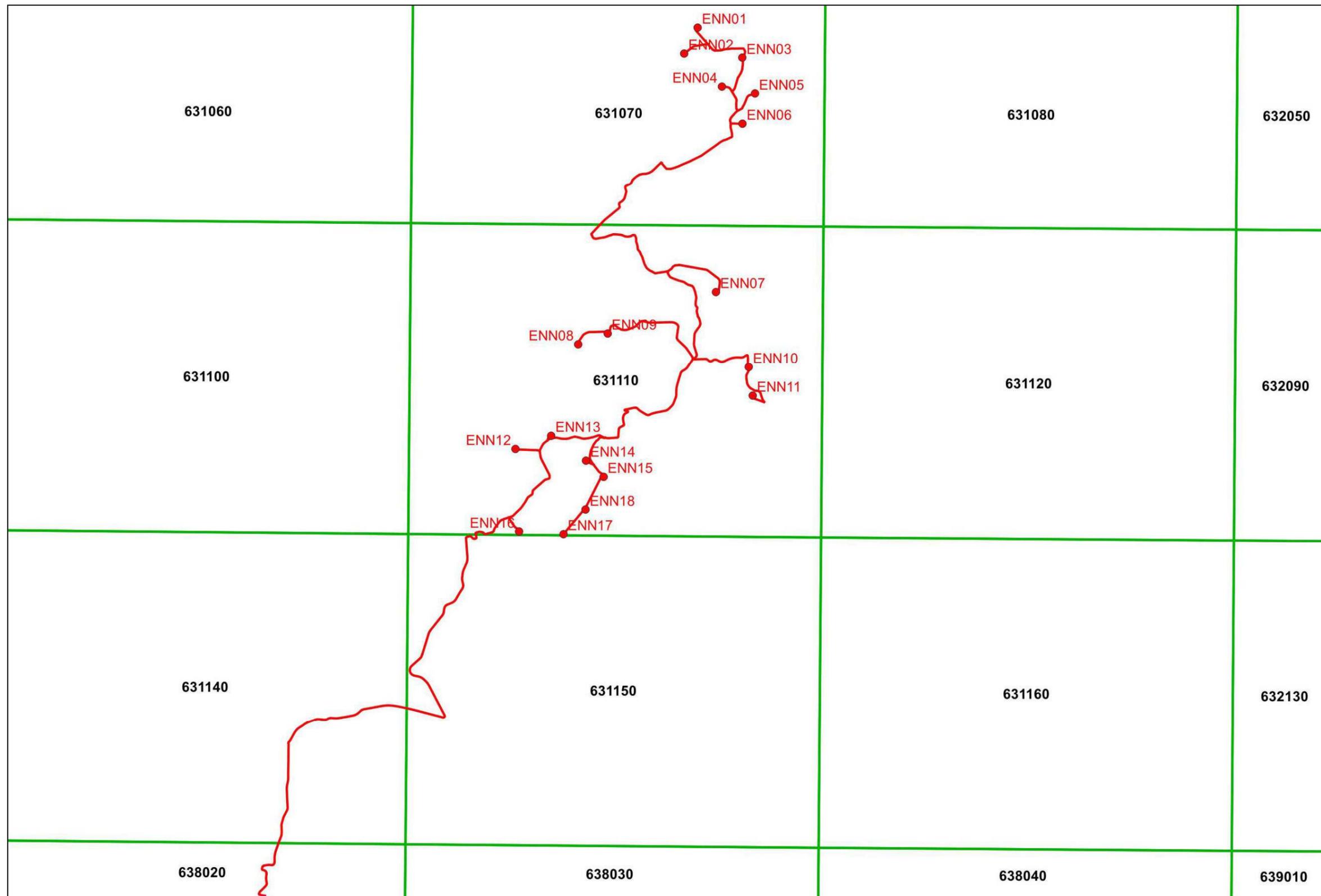
- *Aerogeneratori*: gli aerogeneratori eolici tripala preliminarmente scelti sono di potenza nominale pari a 4 MW ciascuno (per un totale installato di 72 MW) di altezza al mozzo di 117 m ed un diametro del rotore fino a 166 m per una altezza massima fuori terra di 200 m;
- *Piazzole*: piazzole per il montaggio degli impianti e la manovra dei mezzi d'opera, di dimensioni standard tra 70 x 40m variabili in funzione delle caratteristiche dell’orografia del territorio e della tipologia di piazzola;
- *fondazione degli aerogeneratori*: il pre-dimensionamento effettuato per la fondazione, nel caso dell’aerogeneratore preliminarmente scelto, ha portato ad ipotizzare una fondazione a plinto isolato a pianta circolare;
- *Aree di cantiere*: sono individuate delle aree e piazzole per lo stoccaggio temporaneo dei componenti dell’aerogeneratore e per il montaggio del traliccio della gru principale;



- *Viabilità*: verranno realizzate delle strade carrabili con finitura permeabile, al fine di favorire l'accesso dei mezzi, sia in fase di costruzione che di successiva manutenzione (l'apertura di nuove piste sarà comunque limitata in quanto si prevede di sfruttare la viabilità preesistente in situ);
- *Adeguamento viabilità esistente*: ove necessario al fine del passaggio dei mezzi di trasporto degli aerogeneratori nelle loro diverse componenti, si prevede l'adeguamento della viabilità esistente sul territorio;
- *Opere idrauliche*: ove necessario, al fine di consentire un corretto smaltimento e deflusso delle acque meteoriche, verranno realizzate delle opere idrauliche, consistenti in cunette, tombini e tubi drenanti;
- *Cavidotto*: la rete elettrica di raccolta dell'energia prodotta è prevista in cavidotto interrato in media tensione con una tensione di esercizio a 36 kV;
- *Impianti di connessione*: la connessione del presente impianto avverrà in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulle linee RTN a 150 kV "Terrapelata - Barrafranca" e "Caltanissetta CP – Butera SE". Si prevede di realizzare una stazione elettrica di utenza a 36 kV di 1800 mq ca. al fine di alloggiare le apparecchiature elettromeccaniche di controllo e regolazione



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

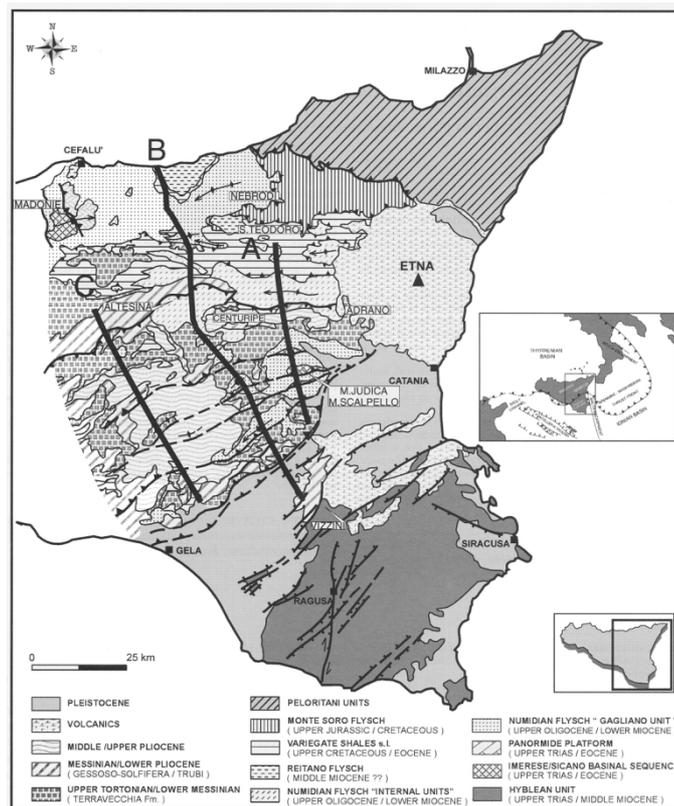


Quadro d'unione delle CTR 1:10.000 con ubicazione dell'impianto



## 2. Lineamenti geologici

Il settore in studio ed un suo ampio intorno ricadono nel dominio di avanfossa noto come *Bacino di Caltanissetta* (Catalano & D'Argenio, 1982). Attivamente subsidente durante il Neogene ed il Quaternario, tale bacino, impostato su unità alloctone del Complesso Sicilide (Ogniben, 1960), è colmato da terreni post-orogeni mio-pliocenici e pleistocenici (Roda, 1971). In realtà, esso rappresenta un sistema di bacini sedimentari contigui, sintettonici, migranti in concomitanza con gli eventi di traslazione e raccorciamento che hanno interessato la catena Appenninico - maghrebide (Lentini *et al.*, 1991).

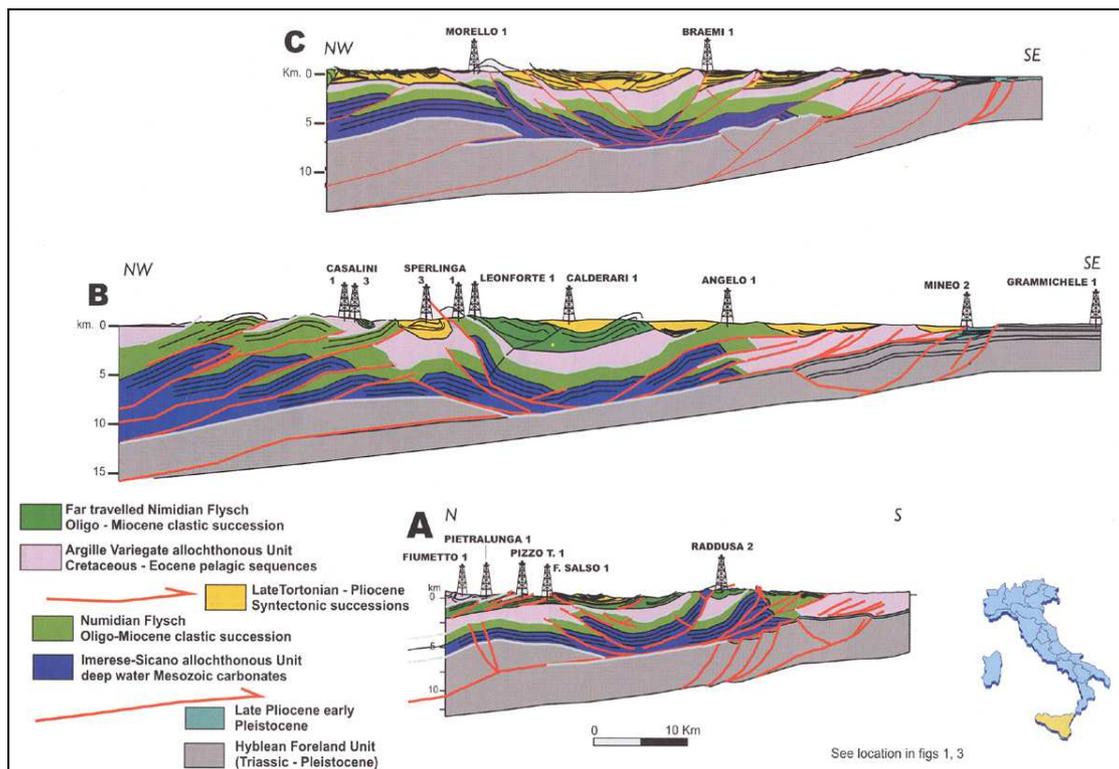


*Quadro strutturale schematico della Sicilia centro-orientale (da Bello et al., 2000)*

I terreni affioranti nell'area, di età compresa tra il Cretaceo superiore ed il Quaternario, sono rappresentati da complessi alloctoni, quali argille scagliose del



Cretaceo sup. - Eocene inf., lembi di argille marnoso - siltose e di calcari marnosi bianchi dell'Eocene (Formazione Polizzi), argille brune in alternanza con quarzareniti dell'Oligocene sup. - Miocene inf. (Flysch Numidico), argille varicolori con intercalazioni di siltiti e calcareniti dell'Oligocene-Miocene inferiore. Su questi complessi, poggiano in discordanza, termini terrigeni ed evaporitici, quali una successione argilloso - sabbioso - conglomeratica di età tortoniana (Formazione Terravecchia), delle *Argille Brecciate* di età variabile dal Tortoniano al Pliocene, in relazione alla posizione stratigrafica, da diatomiti bianche fogliettate del Messiniano (Tripoli), una sequenza di rocce evaporitiche di età Messiniana (Serie Gessoso Solfifera), costituita da Calcere di base e da Gessi, dei calcari marnosi biancastri del Pliocene inferiore (Trubi *Auct.*), marne e argille marnose grigio-azzurre del Pliocene.



*Profili geologici crostali attraverso la Sicilia orientale (da BELLO et al., 2000)*

Segue un complesso di calcareniti, sabbie e siltiti, di età compresa tra il Pliocene medio ed il Pleistocene inferiore, il quale rappresenta l'unità di maggiore interesse



idrogeologico dell'intera area esaminata. Esso è costituito da calcareniti giallastre, ben stratificate, in livelli di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro, con frequenti orizzonti fossiliferi, contenenti faune oligotipiche ad ostreidi e pettinidi, e da sabbie e limi argillosi, in livelli di vario spessore.

Sono inoltre presenti depositi lacustri limoso - sabbiosi di colore bruno nerastro del Pleistocene continentale e depositi alluvionali sabbioso-limosi con ciottoli che ricoprono i fondovalle dei corsi d'acqua principali.

Dall'analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell'area in esame (*"Carta geologica d'Italia – Foglio 268 Caltanissetta"* E. Beneo - Servizio geologico Italiano 1955 e *"Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 631 – Caltanissetta"*, a cura di L. Tortorici, C. Monaco, A. Di Stefano, R. Maniscalco, G. De Guidi, G. Pappalardo, E. Curcuruto, M. Brescia – ISPRA 2014) e da quanto osservato in superficie, l'area di stretto interesse è caratterizzata dall'alto verso il basso da:

- **h - Deposito Antropico** Accumuli antropici di materiale sciolto con caratteristiche di breccia grossolana ad elementi calcarei immerdi in una matrice sabbioso-limosa e derivanti dall'attività mineraria e dalla successiva raffinazione dei prodotti estratti.
- **a - Deposito di Versante** - Coperture detritiche accumulate per processi di versante, costituite da clasti litoidi in matrice pelitica e/o sabbiosa.
- **ba - Deposito Alluvionale Attuale** - Ghiaie, sabbie e limi argillosi costituenti i tratti recentemente abbandonati e l'alveo attuale dei principali corsi d'acqua. (Olocene)
- **bb - Deposito Alluvionale Terrazzato** - Sabbie medie e fini, con livelli di sabbie grossolane e ghiaie, spesse fino a una decina di metri, ubicati lateralmente all'alveo attuale dei corsi d'acqua principali e fissate dalla vegetazione. (Olocene)
- **e3 - Deposito Lacustre** - Depositi limoso-sabbiosi di colore bruno scuro o rossastro con rare intercalazioni di livelli decimetrici di conglomerati poligenici con clasti molto arrotondati. (Olocene)



- **NNL - Sabbie di Lannari** - Sabbie giallastre a granulometria medio-fine, talora siltose, di colore giallastro a stratificazione irregolare con intercalazioni arenacee e raramente calcarenitiche. Spessore massimo 200m. (Gelasiano-Calabriano)
- **GER - Argille marnose di Geracello** - Successione di argille marnose e siltose di colore grigio-azzurro, talora biancastro, a stratificazione in genere indistinta, contenenti sporadici livelli centri metrici di sabbie grigio-giallastre. Spessore di circa 200m. (Gelasiano)
- **GERa - Argille marnose di Geracello** - Intervallo di argille sabbiose e sabbie argillose contenenti frequenti intercalazioni lenticolari di banchi di sabbie ed arenarie. Spessore 70 - 80m. (Gelasiano)
- **ENNb - Formazione di Enna** - Sabbie e calcareniti di Capodarso costituiti da stratificazione incrociata. Si rivengono talora orizzonti ricchi in macrofauna caratterizzata dalla presenza di Pecten. Spessore di circa 70m. (Piacenziano)
- **ENNa - Formazione di Enna** - Marne e marne argillose di colore grigio-azzurro, grigio biancastre all'alterazione, a frattura concoide e a stratificazione poco evidente. Spessore fino a 250m. (Piacenziano)
- **TRB - Trubi**
- Alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici organizzati in strati decimetrici generalmente intesamente fratturati. Spessore di 100m. (Zancleano)
- **TRBa - Trubi** - Intercalazioni di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro, a giacitura caotica, contenenti blocchi di gessi, di calcari evaporiti e di argille varicolori. (Zancleano)
- **GPQ - Formazione di Pasquasia** - Sequenza di marne, marne argillose ed argille marnose di colore grigiastro con livelli di sabbie rosso brunastre, argille con fitte intercalazioni di lamine gessose con alternati strati e banchi con potenze metriche di geossareniti, torbiditi gessose e di gesso balatino. Spessore massimo 100m. (Messiniano superiore)
- **GTL1 - Formazione di Cattolica** - Calcari di Base. Calcari cristallini bianco-grigiastri, calcari laminati in banchi talora disarticolati contenenti livelli



lenticolari di calcari brecciati, separati a luoghi da livelli centimetrici di peliti grigiastre. Lo spessore è di circa 50m. (Messiniano inferiore)

- **GTL2 - Formazione Di Cattolica** - Membro Selenitico. Gessi selenitici sottilmente laminati in strati decimetrici, e gessi massivi ricristallizzati in grossi cristalli geminati in banchi di dimensione metriche. Spessore fino a 50m. (Messiniano inferiore)
- **TPL - Tripoli** - Diatomiti e marne diatomitiche laminate e fissili di colore biancastro con resti di pesci teleosteidi, alternate a marne laminate talora bituminose. Spessore massimo 30m. (Messiniano inferiore)
- **TRV - Formazione Terravecchia** - Marne argillose ed argille marnoso-siltose di colore grigio-azzurro a bruno con intercalazioni lenticolari di banchi di sabbie quarzose ed arenarie. Spessore affiorante 300 - 400m. (Tortoniano inferiore-Messiniano inferiore)
- **TRVb - Formazione Terravecchia** - Livelli di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro a giacitura caotica, contenenti blocchi di argille varicolori e Flysch Numidico. (Tortoniano inferiore - Messiniano inferiore)
- **TRVa - Formazione Terravecchia** - Livelli conglomeratici a clasti eterometrici, potenti alcune decine di metri. (Tortoniano inferiore - Messiniano inferiore)
- **FYN4 - Flysch Numidico** (membro di Nicosia) - Alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a bruno tabacco e di straterelli di quarzareniti torbiditiche di colore giallastro al taglio fresco e giallo-ocra tendente al marrone per alterazione. Spessore affiorante della formazione circa 300m. (Miocene inferiore)
- **AV - Gruppo delle Argille Variegate** – Argille di colore variabile dal bruno al verdastro, al rosso vinaccia fortemente tettonizzate e a giacitura caotica. Le argille includono blocchi di alternanze di marne e calcari marnosi (po), blocchi di arenarie glauconitiche, grigio verdastre con intercalati livelli di marne grigio brune (ag), blocchi di calcari marnosi biancastri e marne rosate di tipo Scaglia (sc). Spessore superiore a 300 m. (Cretacico – Oligocene superiore)



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



### **3. Lineamenti geomorfologici**

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 calcari e dei gessi.

L'area in esame è caratterizzata da 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 di montagna, ammantati da coperture di terreni plastici (argillosi) e detritici che meglio si adattano, dando luogo a morfologie continue e dolci.

Nelle formazioni arenacee 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 microdiscontinuità 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.

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.

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 osservata la prestanza 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, 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 Fiume 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 01.03.2007 e successive modifiche ed integrazioni e le aree ove si prevede di installare gli aerogeneratori, e la SSE, non ricadono né in area a rischio né in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..



Inoltre le torri ENN01, ENN02, ENN03, ENN04, ENN05, ed ENN06, ricadono in un **sito di attenzione**, codificato con sigla PAI **072-4EN-345**, relativo all'area di concessione mineraria per lo sfruttamento di sali potassici, della Miniera di Pasquasia, ormai dismessa da più di un ventennio.

Di seguito si riporta integralmente uno stralcio della relazione del PAI:

*“All'interno del bacino del F. Imera Meridionale ricadono 4 aree minerarie per lo sfruttamento di sali potassici, ormai dismesse, le cui perimetrazioni, fornite dal Distretto Minerario di Caltanissetta e dal Dipartimento Regionale di Protezione Civile, corrispondono alle aree date in concessione e non a quelle realmente sfruttate in sottosuolo. Sebbene le perimetrazioni delle aree in concessione non coincidano con le reali zone di pericolo, poiché al momento non si hanno informazioni sull'estensione ed ubicazione delle aree di sfruttamento delle miniere nel sottosuolo, sono state comunque inserite nella “Carta dei Dissesti” ed in quella della “Pericolosità” ed indicate come siti d'attenzione considerando la probabilità che si possano verificare fenomeni di dissesto quali crolli, sprofondamenti, voragini, etc.. I piani di messa in sicurezza, che forniranno le indicazioni puntuali sulle porzioni delle concessioni che presentano maggiore pericolo, saranno redatti dalle Amministrazioni Comunali a completamento dei Piani Comunali di Protezione Civile.”*

Si fa presente che ad oggi non risulta essere stato approvato il Piano Comunale di Protezione Civile per il Comune di Enna.

Si evince inoltre che la quota d'imbocco della Miniera di Pasquasia è posta ad una quota di circa 450 metri s.l.m. mentre i sei aerogeneratori che ricadono nell'area del sito di attenzione verranno realizzati ad una quota compresa tra i 600 ed i 700 metri s.l.m. ed inoltre ad oggi non ci sono evidenze in superficie, nei pressi delle aree in oggetto, di fenomeni di crollo o di cavità.

A titolo esemplificativo si riportano dei profili che mettono a confronto la quota di imbocco della miniera di Pasquasia con le torri eoliche da realizzare, che ricadono nel sul sito di attenzione.

Inoltre la torre n° 9, ricade al margine di un'area campita nella tavola *DI.15 - Suddivisione del territorio in zone territoriali omogenee* del P.R.G. vigente,

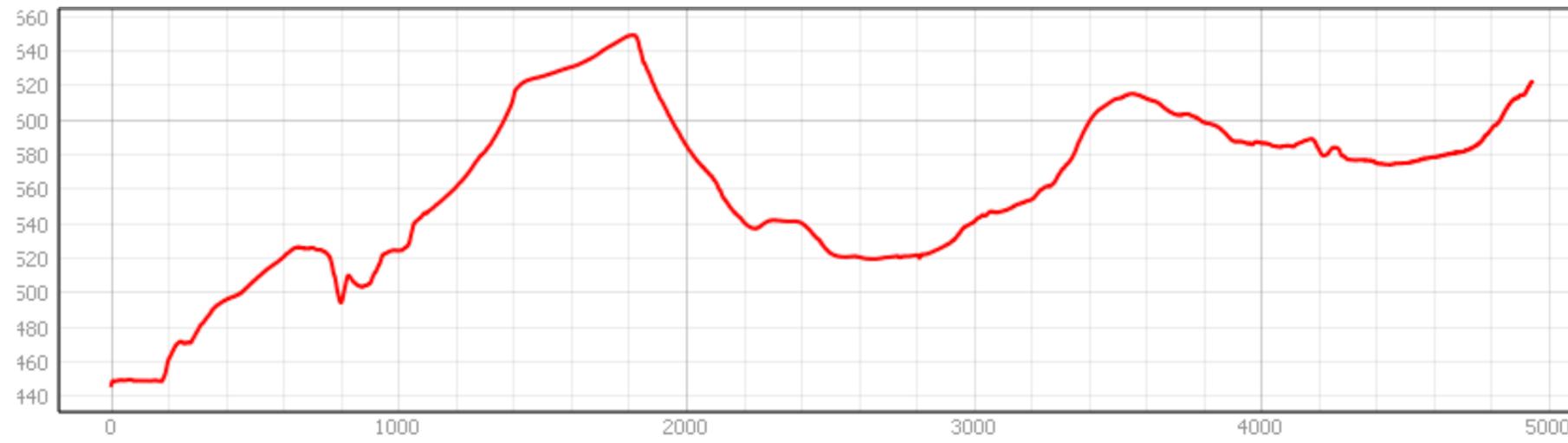


adeguamento alla Delibera di adozione del Commissario ad Acta n. 108 del 05 dicembre 2017, e classificata come “*aree instabili interessate da fenomeni di soliflusso, colamento, esondazione e crolli, non idonee a insediamenti antropici (studio geologico rielaborato)*”. Da un accurato rilevamento geologico eseguito nell’area in esame, in atto non sono stati riscontrati morfotipi attivi e/o quiescenti, che possano in alcun modo pregiudicare la realizzazione e la stabilità dell’opera.

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.



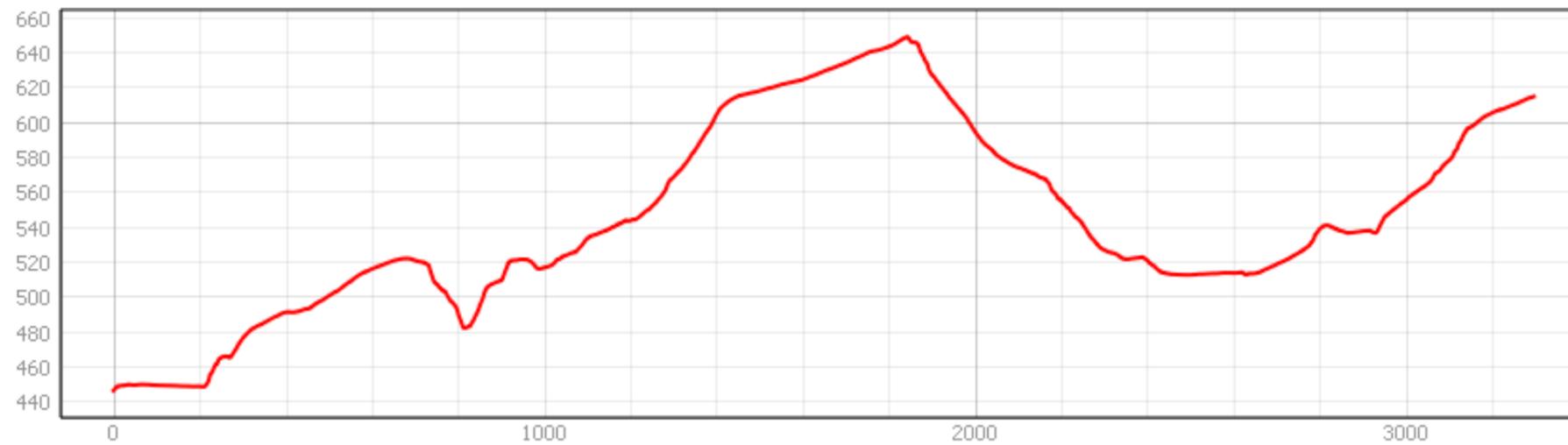
**Profilo Pasquasia-ENN01**



Quota imbocco miniera 449 m

Quota ENN01 - 620 m

**Profilo Pasquasia-ENN02**

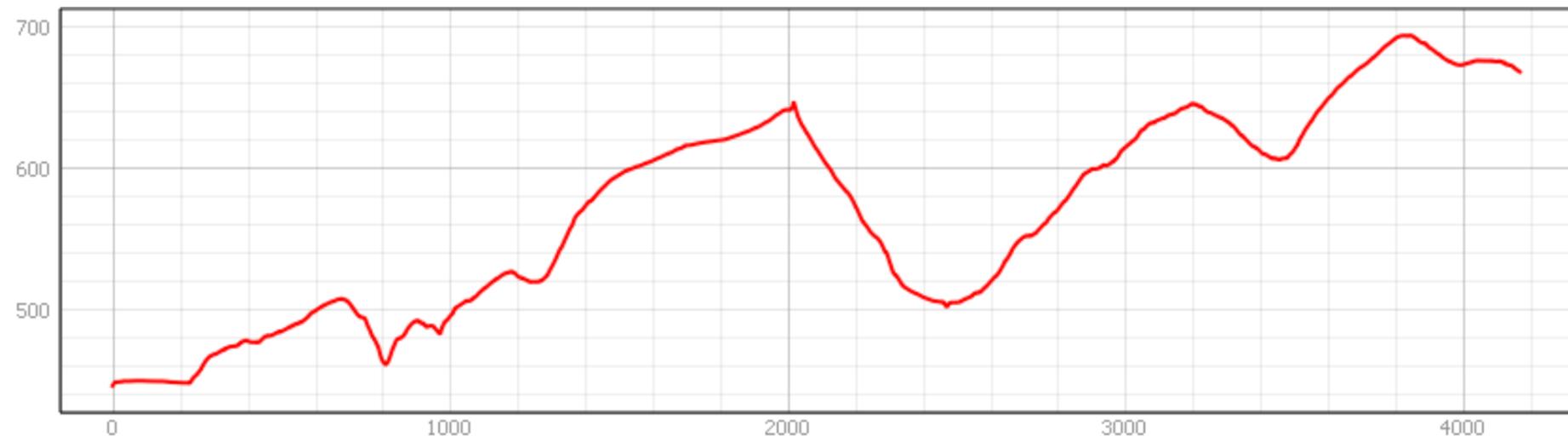


Quota imbocco miniera 449 m

Quota ENN02 - 613 m



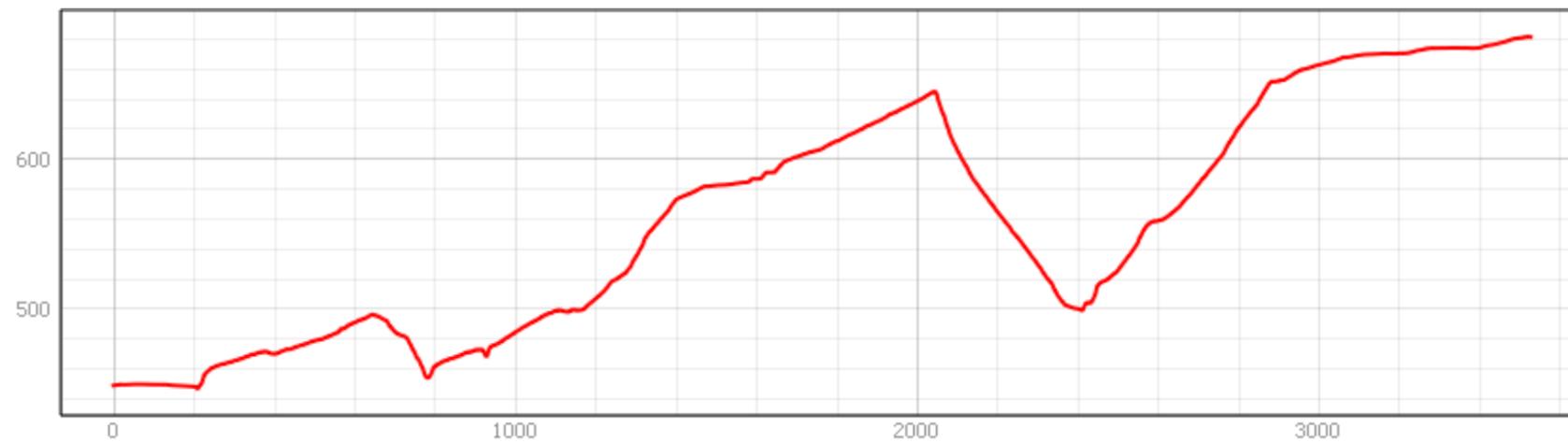
**Profilo Pasquasia-ENN03**



Quota imbocco miniera 449 m

Quota ENN03 - 667 m

**Profilo Pasquasia-ENN04**

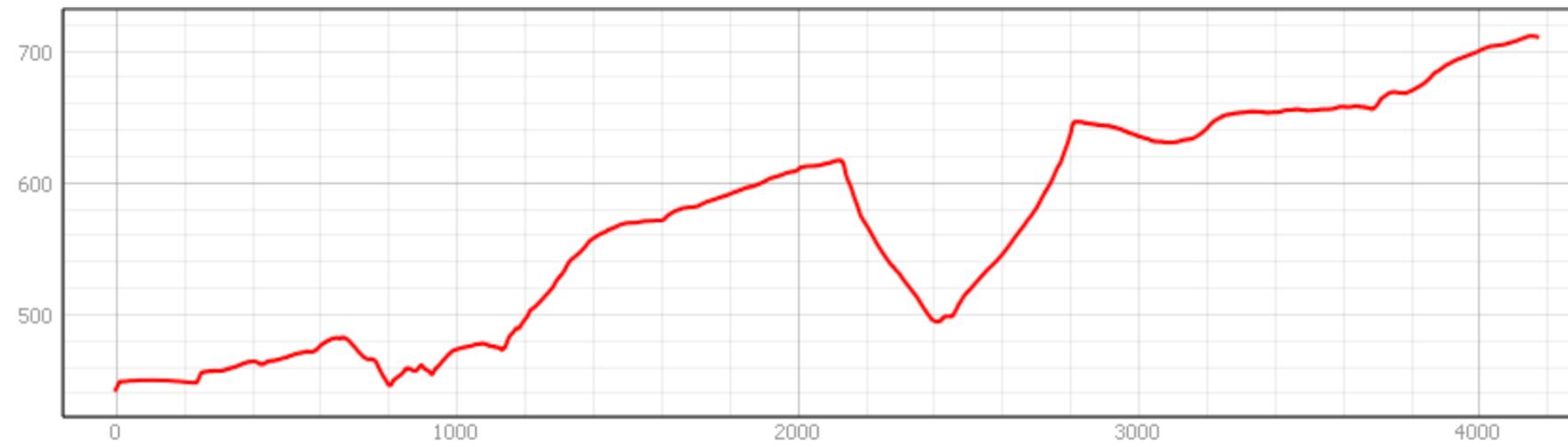


Quota imbocco miniera 449 m

Quota ENN04 - 687 m



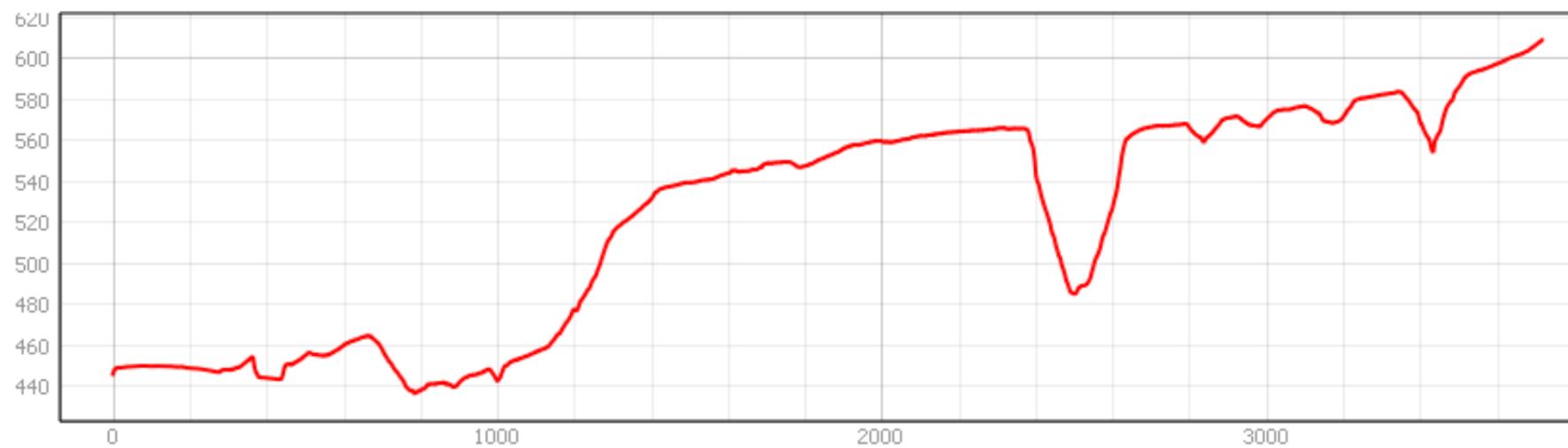
**Profilo Pasquasia-ENN05**



Quota imbocco miniera 449 m

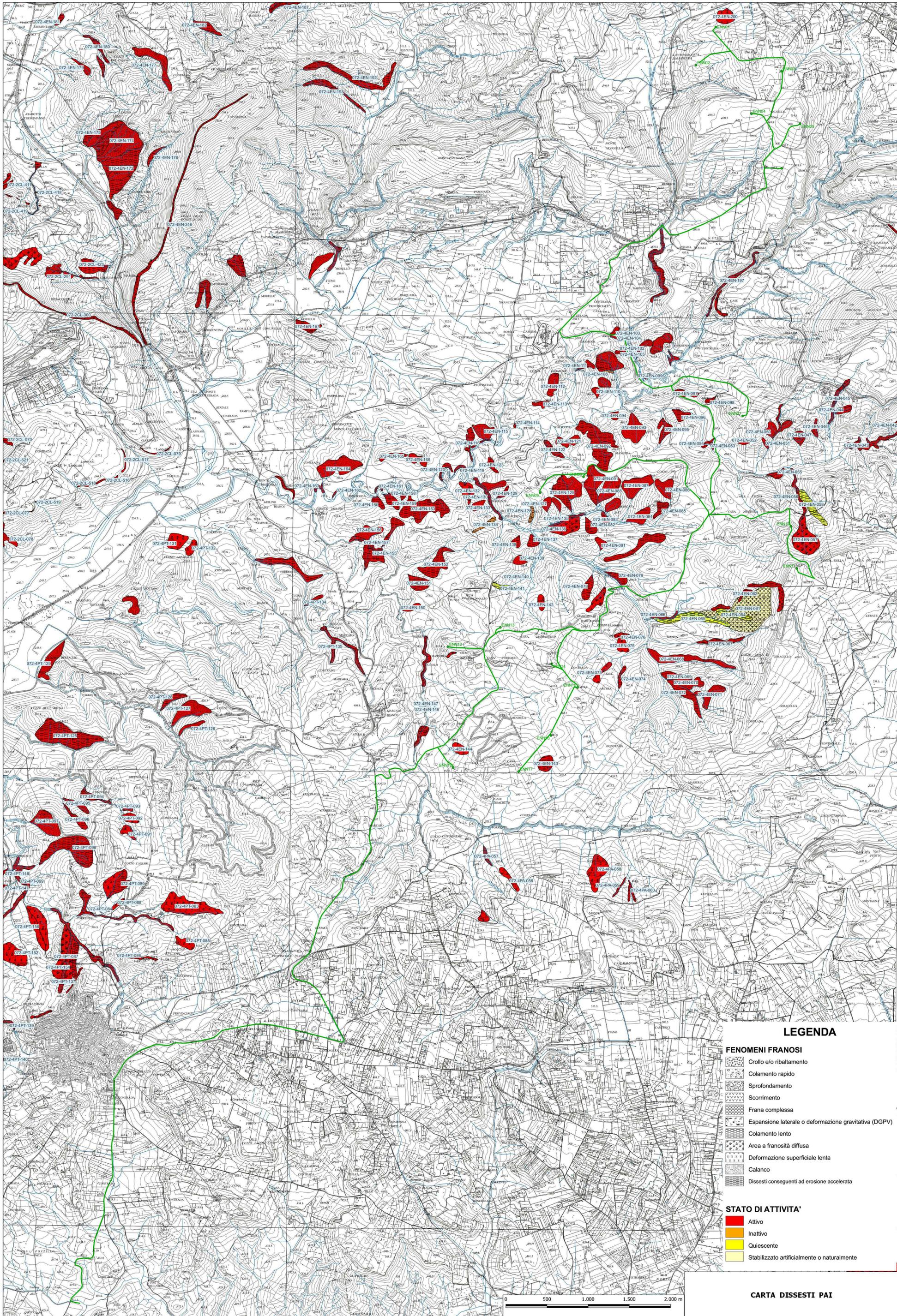
Quota ENN05 - 706 m

**Profilo Pasquasia-ENN06**



Quota imbocco miniera 449 m

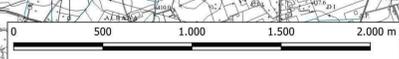
Quota ENN06 - 608 m

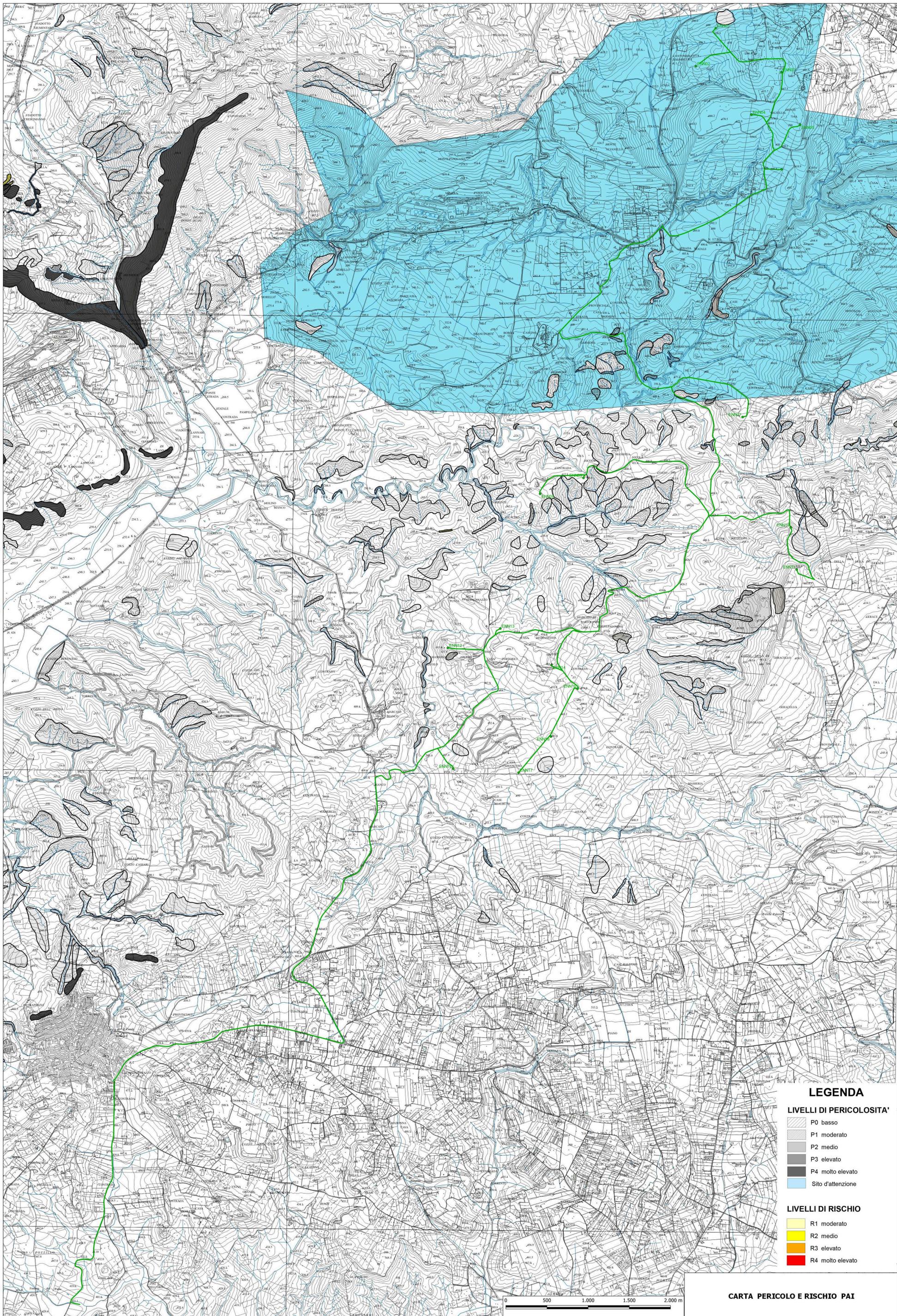


**LEGENDA**

- 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





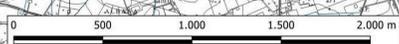
**LEGENDA**

**LIVELLI DI PERICOLOSITA'**

- P0 basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato
- Sito d'attenzione

**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 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 e/o formazioni di seguito elencati: **h** - *Deposito Antropico*, **a** - *Deposito di Versante*, **ba** - *Deposito Alluvionale Attuale*, **bb** - *Deposito Alluvionale Terrazzato*, **NNL** - *Sabbie di Lannari*, **ENNb** - *Formazione di Enna*, **TRVa** - *Formazione Terravecchia*.

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 stati inclusi i



sedimenti e/o formazioni di seguito elencati: **TRB** – *Trubi*, **GTL1** - *Formazione di Cattolica*, **GTL2** - *Formazione Di Cattolica*, **TPL** – *Tripoli*.

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:

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

Sono state incluse nella terza classe (*rocce impermeabili*), sono stati inclusi i sedimenti e/o formazioni di seguito elencati: **e3** - *Deposito Lacustre*, **GER** - *Argille marnose di Geracello*, **GERa** - *Argille marnose di Geracello*, **ENNa** - *Formazione di Enna*, **TRBa** – *Trubi*, **GPQ** - *Formazione di Pasquasia*, **TRV** - *Formazione Terravecchia*, **TRVb** - *Formazione Terravecchia*, **FYN4** - *Flysch Numidico (membro di Nicosia)*, **AV** - *Gruppo delle Argille Variegate*.

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>
<b>h</b> - Deposito Antropico, <b>a</b> - Deposito di Versante, <b>ba</b> - Deposito Alluvionale Attuale, <b>bb</b> - Deposito Alluvionale Terrazzato, <b>NNL</b> - Sabbie di Lannari, <b>ENNb</b> - Formazione di Enna, <b>TRVa</b> - Formazione Terravecchia	<b>Porosità</b>	<b>alta</b>	$10^{-1}-10^{-3}$
<b>TRB</b> - Trubi, <b>GTL1</b> - Formazione di Cattolica, <b>GTL2</b> - Formazione Di Cattolica, <b>TPL</b> - Tripoli	<b>Fessurazione, fratturazione e/o carsismo</b>	<b>da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure</b>	$10^{-3}-10^{-5}$
<b>e3</b> - Deposito Lacustre, <b>GER</b> - Argille marnose di Geracello, <b>GERa</b> - Argille marnose di Geracello, <b>ENNa</b> - Formazione di Enna, <b>TRBa</b> - Trubi, <b>GPQ</b> - Formazione di Pasquasia, <b>TRV</b> - Formazione Terravecchia, <b>TRVb</b> - Formazione Terravecchia, <b>FYN4</b> - Flysch Numidico (membro di Nicosia), <b>AV</b> - Gruppo delle Argille Variegate	<b>Impermeabili</b>	<b>da bassa a molto bassa</b>	$10^{-6}-10^{-9}$

*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'installazione degli aerogeneratori sono di seguito sotto elencati:

- **ENNa - *Formazione di Enna*** - Marne e marne argillose di colore grigio-azzurro, grigio biancastre all'alterazione, a frattura concoide e a stratificazione poco evidente (ENN01, ENN03)
- **GPQ - *Formazione di Pasquasia*** - Sequenza di marne, marne argillose ed argille marnose di colore grigiastro con livelli di sabbie rosso brunastre, argille con fitte intercalazioni di lamine gessose con alternati strati e banchi con potenze metriche di geossareniti, torbiditi gessose e di gesso balatino (ENN02)
- **ENNb - *Formazione di Enna*** - Sabbie e calcareniti di Capodarso costituiti da stratificazione incrociata. Si rivengono talora orizzonti ricchi in macrofauna caratterizzata dalla presenza di Pecten (ENN04, ENN05, ENN06, ENN07)
- **TRBa - *Trubi*** - Intercalazioni di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro, a giacitura caotica, contenenti blocchi di gessi, di calcari evaporiti e di argille varicolori (ENN08, ENN09)
- **GER - *Argille marnose di Geracello*** - Successione di argille marnose e siltose di colore grigio-azzurro, talora biancastro, a stratificazione in genere indistinta, contenenti sporadici livelli centrometrici di sabbie grigio-giallastre (ENN10)
- **NNL - *Sabbie di Lannari*** - Sabbie giallastre a granulometria medio-fine, talora siltose, di colore giallastro a stratificazione irregolare con intercalazioni arenacee e raramente calcarenitiche (ENN11)
- **GTL1 - *Formazione di Cattolica*** - Calcari di Base. Calcari cristallini bianco-grigiastri, calcari laminati in banchi talora disarticolati contenenti livelli lenticolari di calcari brecciati, separati a luoghi da livelli centimetrici di peliti grigiastre (ENN12, ENN14, ENN16)



- **TRB – Trubi** - Alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici organizzati in strati decimetrici generalmente intensamente fratturati (ENN13)
- **TRVb - Formazione Terravecchia** - Livelli di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro a giacitura caotica, contenenti blocchi di argille varicolori e Flysch Numidico (ENN15, ENN17, ENN18)

**ENNa - Formazione di Enna, GPQ - Formazione di Pasquasia, TRBa – Trubi, GER - Argille marnose di Geracello, TRVb - Formazione Terravecchia** (ENN01, ENN03, ENN02, ENN08, ENN09, ENN10, ENN15, ENN17, ENN18). 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 rinvencono 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:

- $\gamma = 19,12 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 19,61 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 24^\circ$  peso dell'unità di volume

**ENNb - Formazione di Enna, NNL - Sabbie di Lannari** (ENN04, ENN05, ENN06, ENN07, ENN11). 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  $d < 0.2 \text{ mm}$  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

**TRB - Trubi** (ENN13). Sono costituiti da un complesso litologico caratterizzato dall'alternanza di calcari marnosi e di marne biancastre in strati centi-decimetrici. 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.

In generale, è possibile stimare per i terreni in oggetto, i seguenti valori:

- $\gamma = 19.41 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 30^\circ$  peso dell'unità di volume

**GTL1 - Formazione di Cattolica** - Calcarea di Base (ENN12, ENN14, ENN16). 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<sup>2</sup>.

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:

- $\gamma = 20.05 \text{ KN/m}^3$  peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$  coesione
- $\phi' = 35^\circ$  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 ( $\phi'$ ) per i diversi spessori di terreno rilevati, potendo così ricostruire la seguente colonna geotecnica:

<b>LITOTIPO</b>	<b>TORRE</b>	<b>CARATTERISTICHE FISICO / MECCANICHE</b>	<b>VALORI</b>
<b>ENNa - Formazione di Enna</b> <b>GPQ - Formazione di Pasquasia</b> <b>TRBa - Trubi</b> <b>GER - Argille marnose di Geracello</b> <b>TRVb - Formazione Terravecchia</b>	ENN01, ENN03, ENN02, ENN08, ENN09, ENN10, ENN15, ENN17, ENN18	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	<b>19,12 KN/m<sup>3</sup></b> <b>19,61 KN/m<sup>2</sup></b> <b>24°</b>



<b>ENNb - Formazione di Enna NNL - Sabbie di Lannari</b>	ENN04, ENN05, ENN06, ENN07, ENN11	<i>peso dell'unità di volume</i> <i>coesione</i> <i>angolo di attrito interno</i>	<b>19,12 KN/m<sup>3</sup></b> <b>0 KN/m<sup>2</sup></b> <b>28°</b>
<b>TRB – Trubi</b>	ENN13	<i>peso dell'unità di volume</i> <i>coesione</i> <i>angolo di attrito interno</i>	<b>19,41 KN/m<sup>3</sup></b> <b>0 KN/m<sup>2</sup></b> <b>30°</b>
<b>GTL1 - Formazione di Cattolica - Calcare di Base</b>	ENN12, ENN14, ENN16	<i>peso dell'unità di volume</i> <i>coesione</i> <i>angolo di attrito interno</i>	<b>20,50 KN/m<sup>3</sup></b> <b>0 KN/m<sup>2</sup></b> <b>35°</b>

**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 presenti nel territorio ove si prevede di realizzare l'impianto, nella distinzione in unità litotecniche si hanno, per quanto riguarda le **unità di copertura**:

- **h - Deposito Antropico, a - Deposito di Versante.** 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**.
- **ba - Deposito Alluvionale Attuale, bb - Deposito Alluvionale Terrazzato, e3 - Deposito Lacustre.** 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**.

Relativamente alle **unità litotecniche di substrato** si distinguono le sotto elencate categorie:

- **GTL1 - Formazione di Cattolica** - Calcarea di Base, **GTL2 - Formazione Di Cattolica** - Membrò Selenitico. Si tratta di successioni carbonatiche e gessose - poliedri giustapposti volume medio oltre 0,1 mc. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **A2**.



- **NNL - Sabbie di Lannari, ENNb - Formazione di Enna, TRVa - Formazione Terravecchia.** Si tratta di sedimenti a grana medio fine, costituiti da sabbie, ghiaie e ciottoli, con elevato grado di cementazione. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **C2.3**.
- **GER - Argille marnose di Geracello, GERa - Argille marnose di Geracello, ENNa - Formazione di Enna, TRB - Trubi, TRBa - Trubi, GPQ - Formazione di Pasquasia, TPL - Tripoli, TRV - Formazione Terravecchia, TRVb - Formazione Terravecchia, FYN4 - Flysch Numidico (membro di Nicosia), AV - Gruppo delle Argille Variegata.** Si tratta di sedimenti a grana fine e finissima. Limi argillosi o argille. Tale complesso risulta caratterizzante l'unità litotecnica di copertura definita come **H1**.



## 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*).

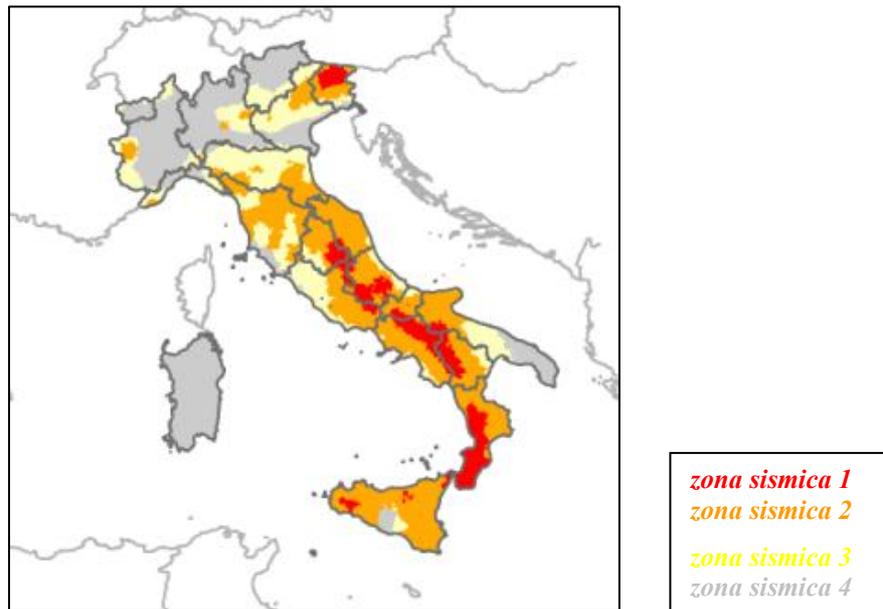
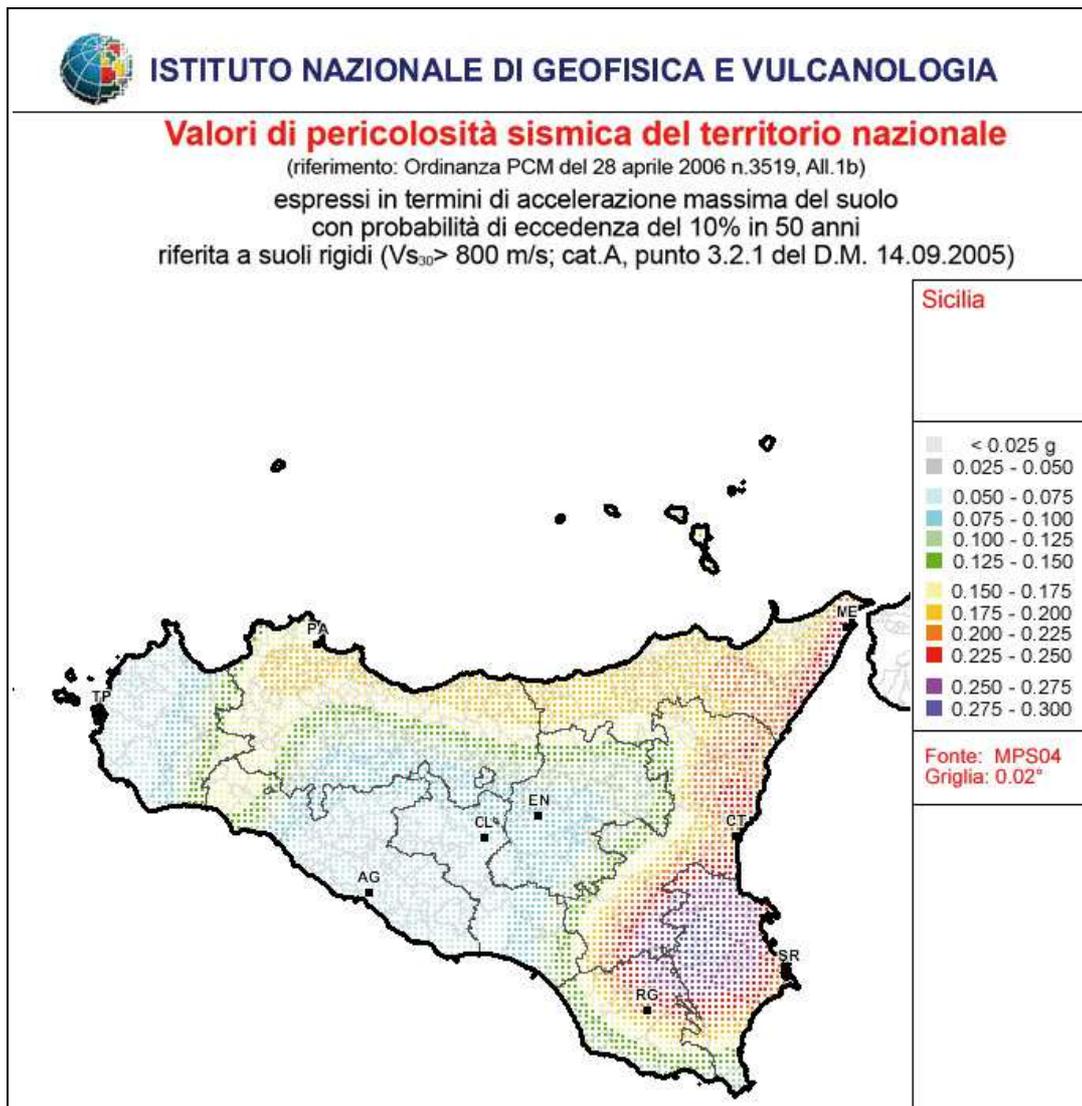


Figura 1

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 [<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 Enna, 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*" integrato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28.04.2006, aggiornata con la Delibera di Giunta Regionale Siciliana n° 64 del 11.03.2022, è stato classificato come **Zona Sismica 2**.



## **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.

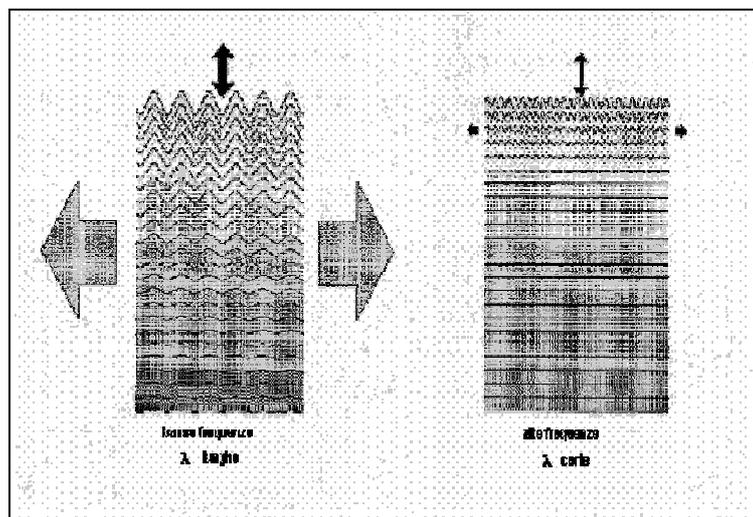
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza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

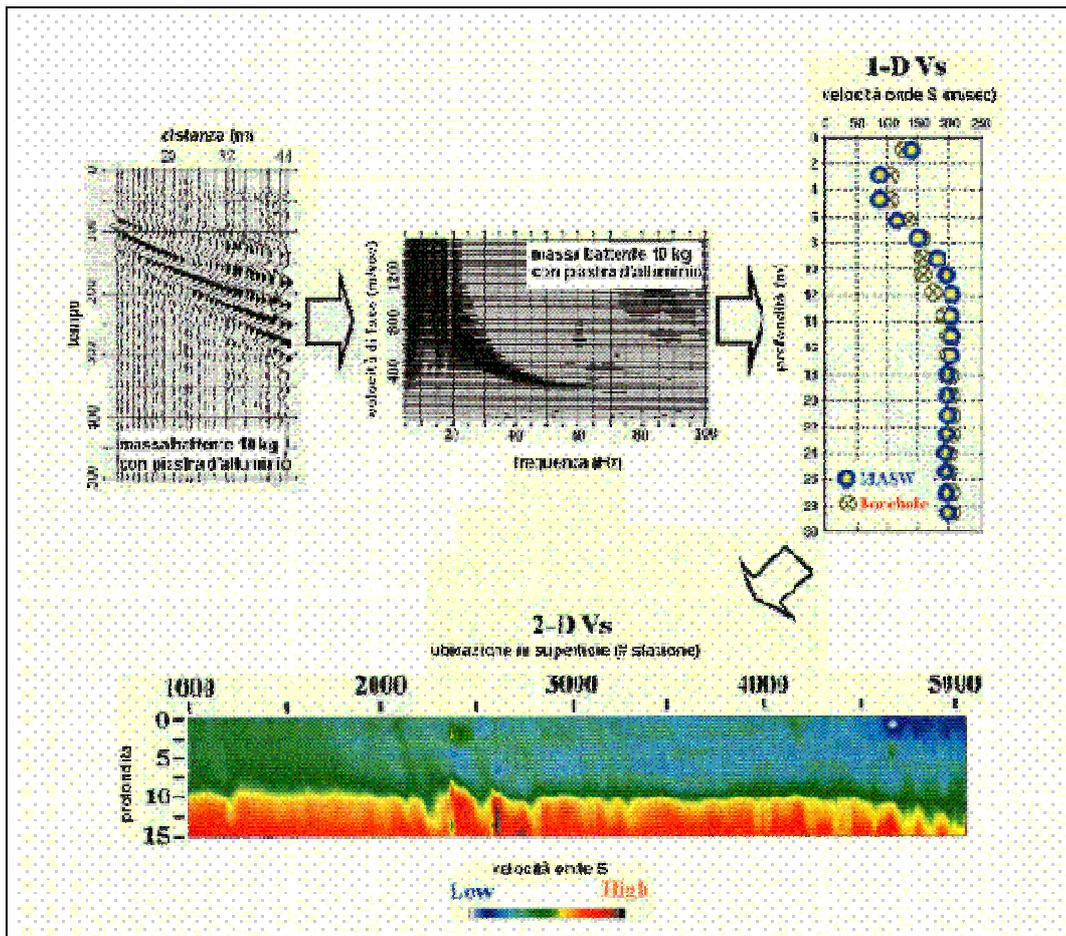
Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno,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

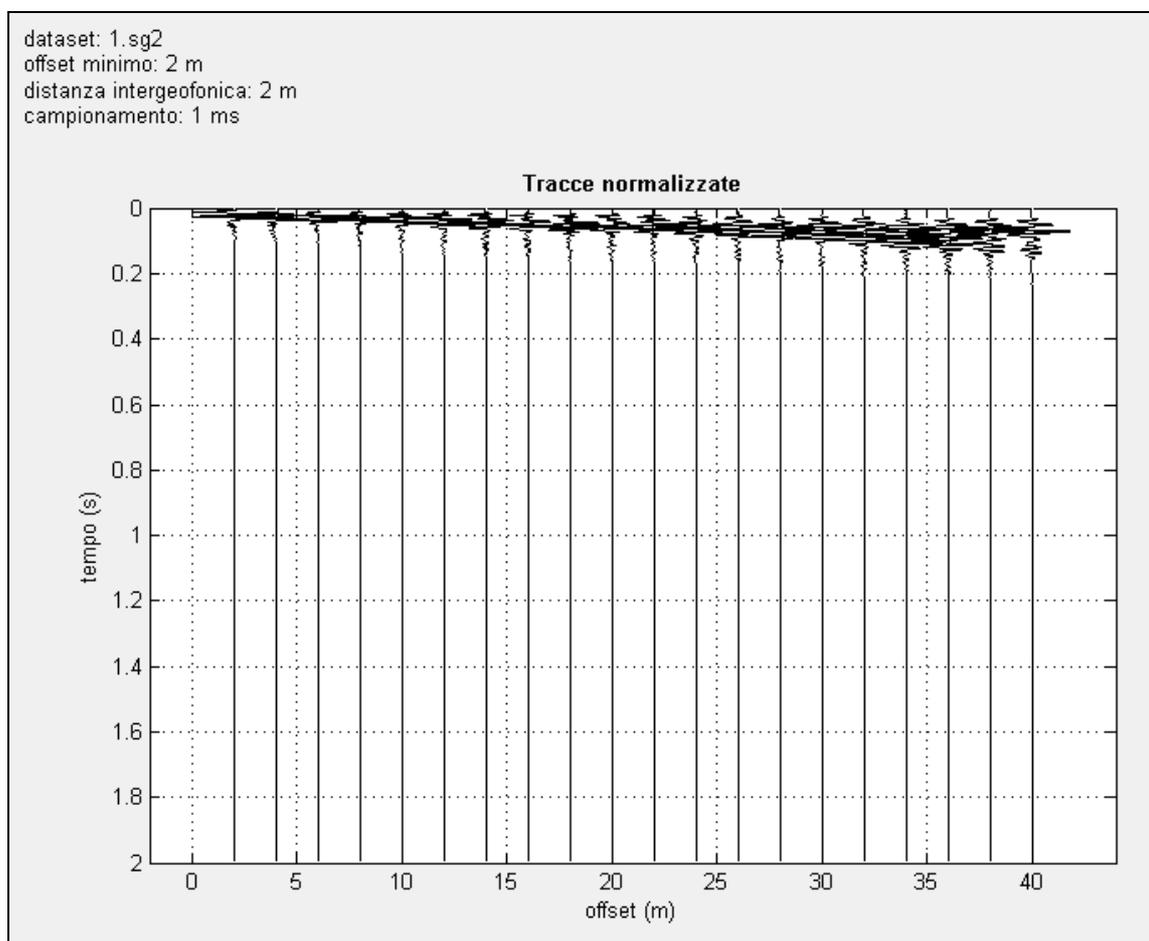
## **8.2. Risultati delle analisi MASW**

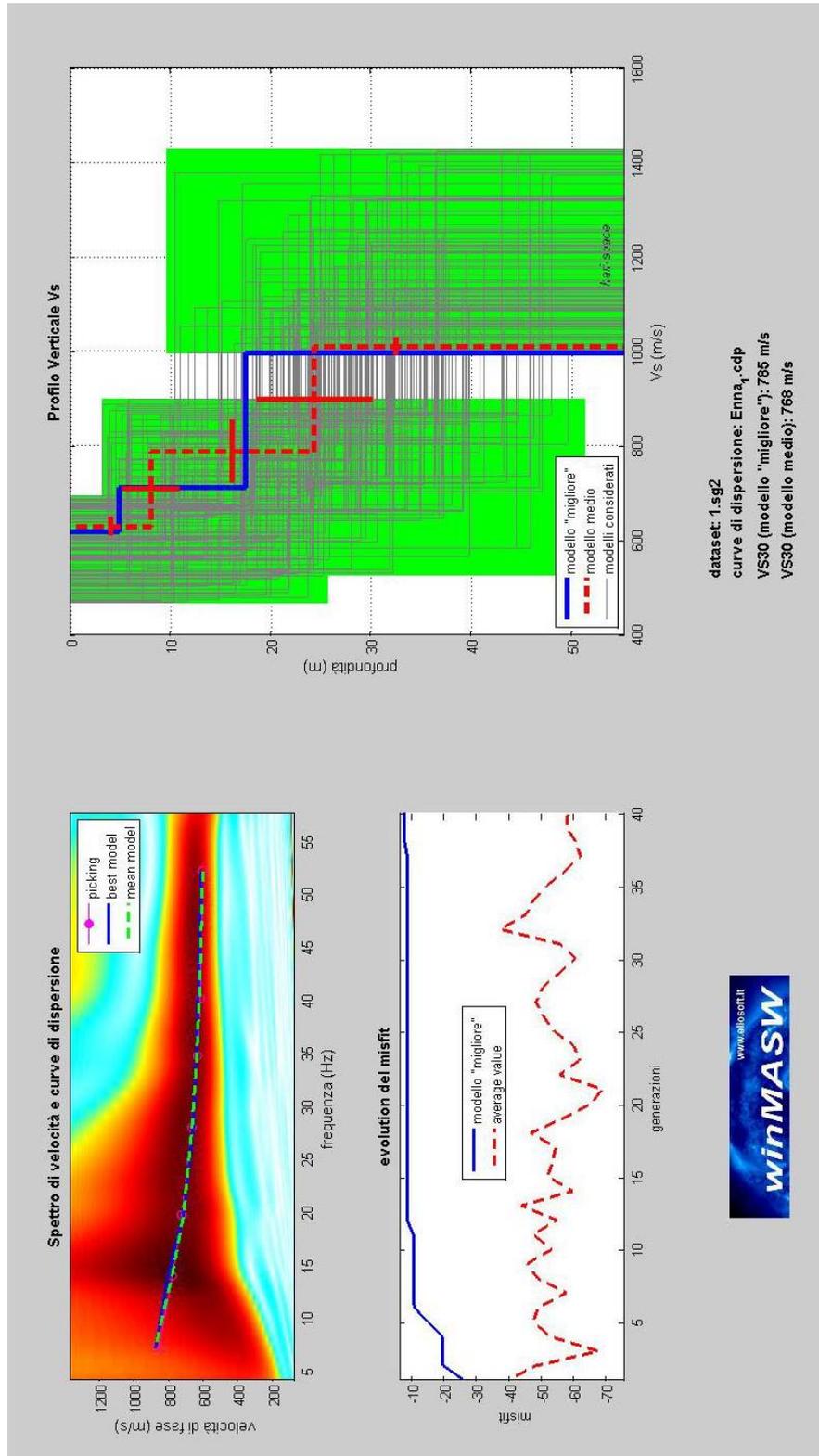
Nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico, sono state eseguite quattro stese sismiche interpretate con il metodo MASW; nel dettaglio sono state eseguite nei pressi delle torri ENN01, ENN06, ENN09 ed ENN15.



## MASW 1

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Latitudine sito:	37° 31' 55.56" N
Longitudine sito:	14° 13' 22.63" E



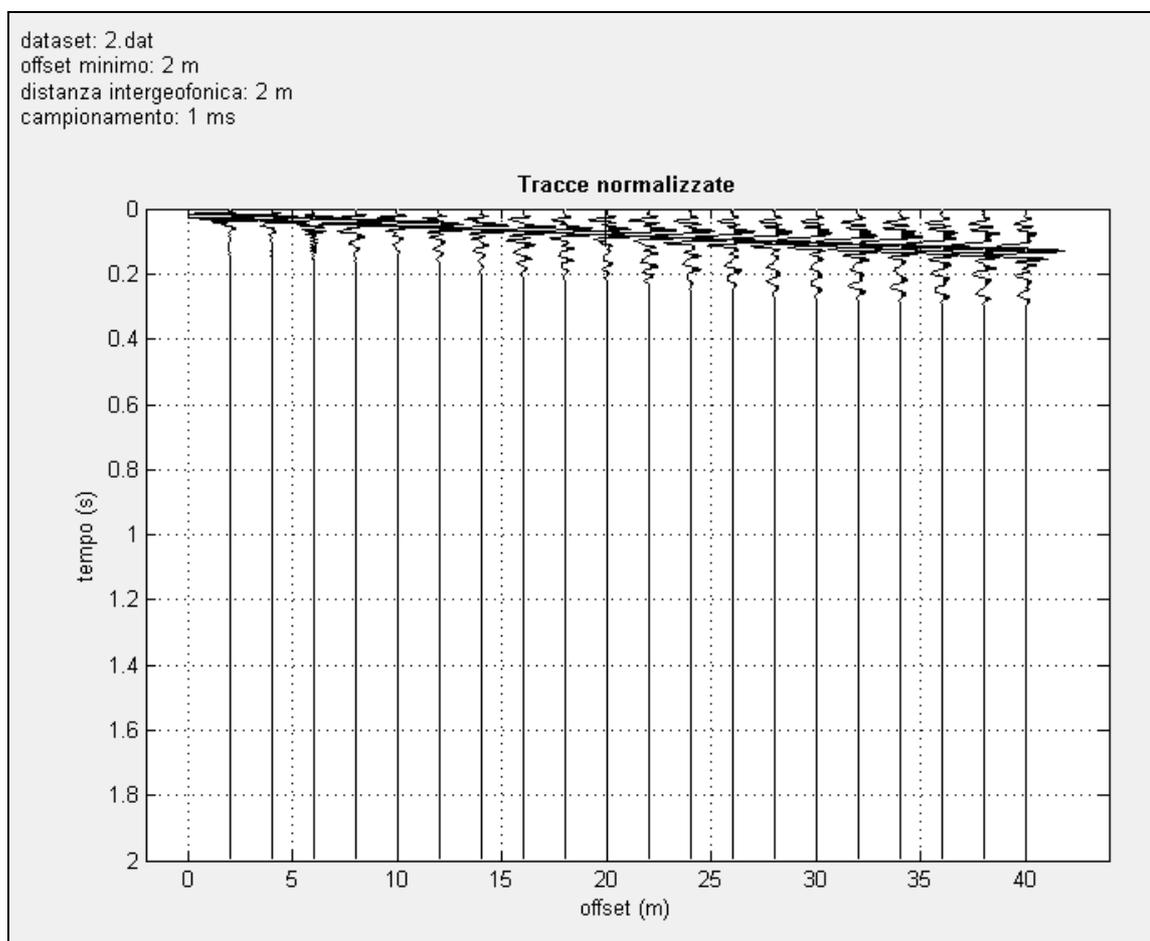


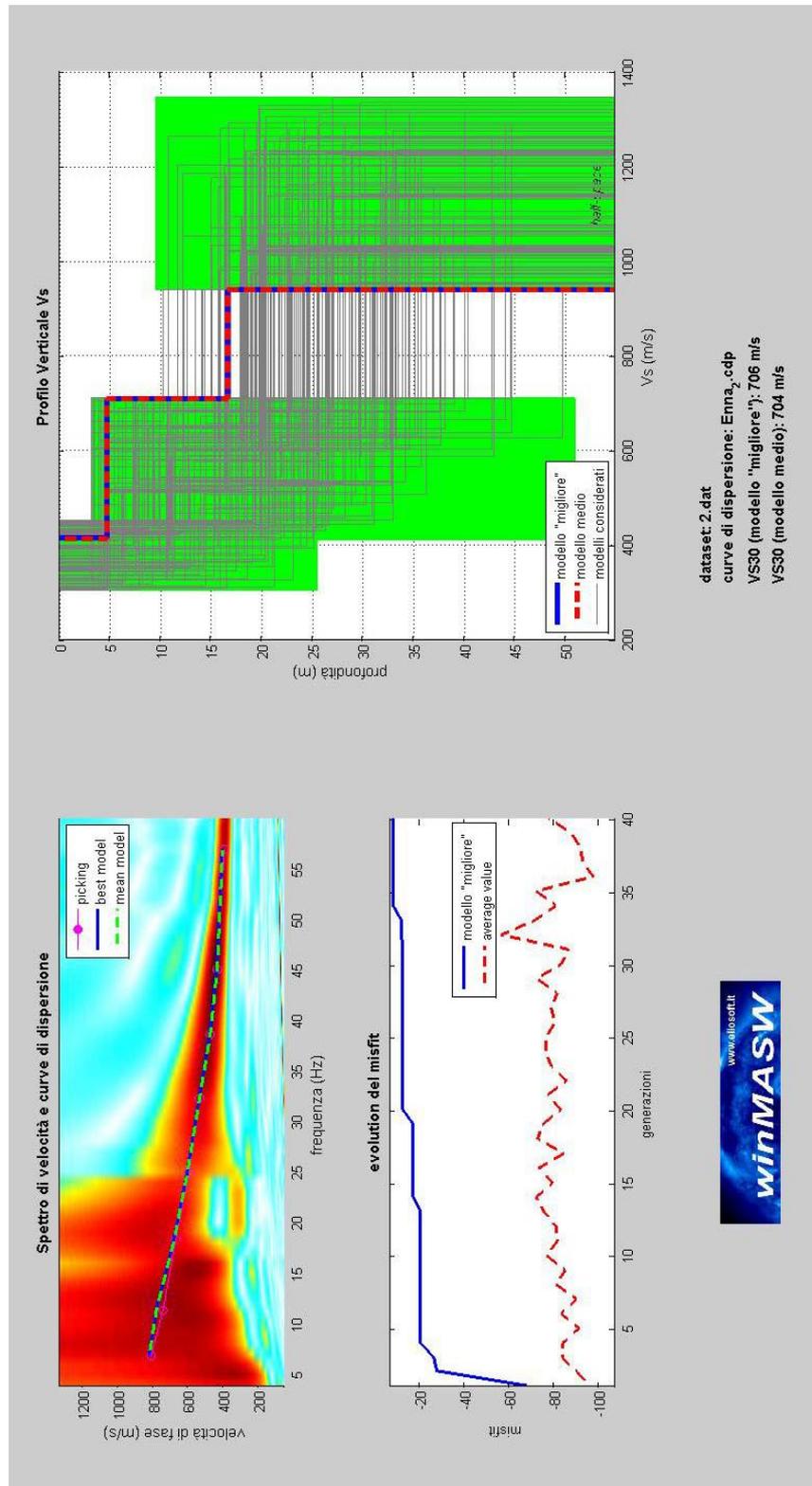
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### Dati sperimentali MASW 2

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Latitudine sito:	37° 31' 1.73" N
Longitudine sito:	14° 13' 54.82" E



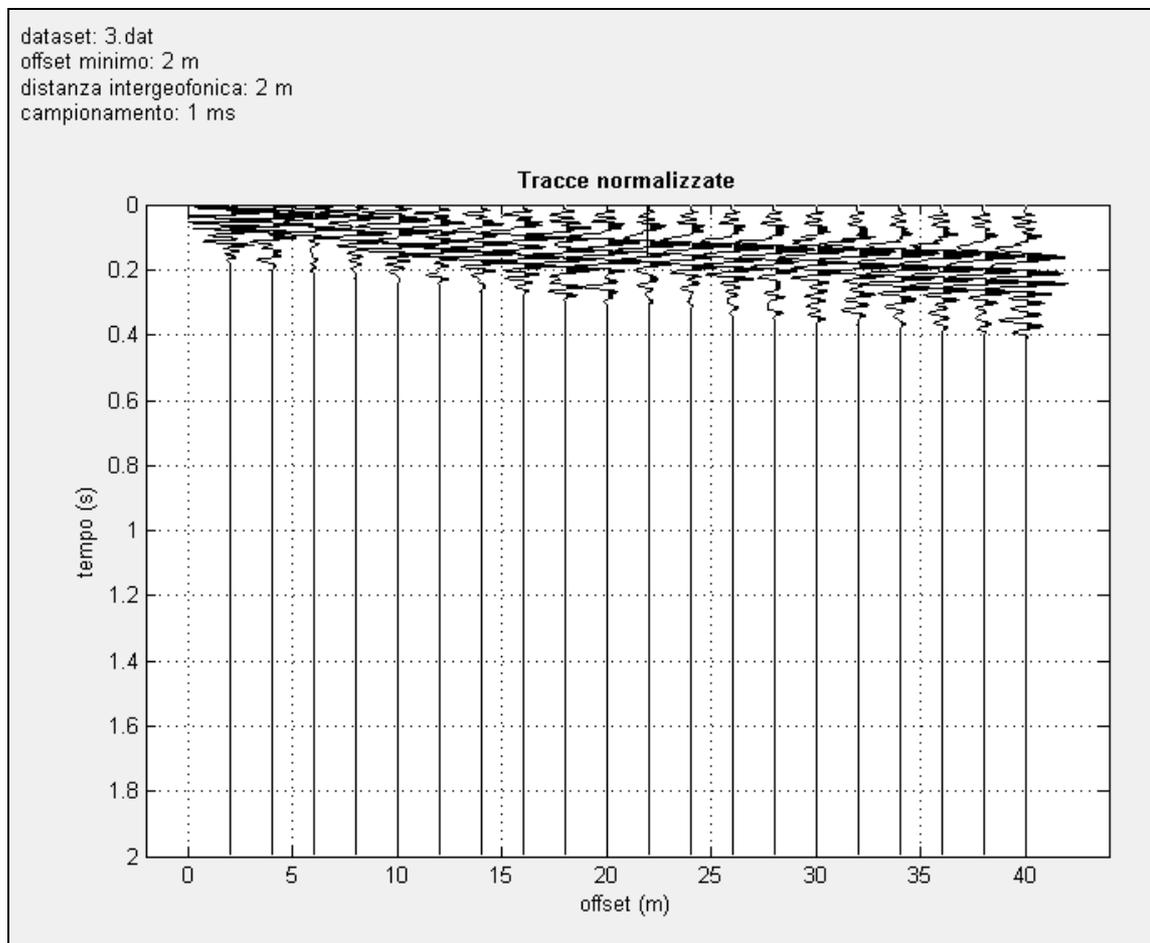


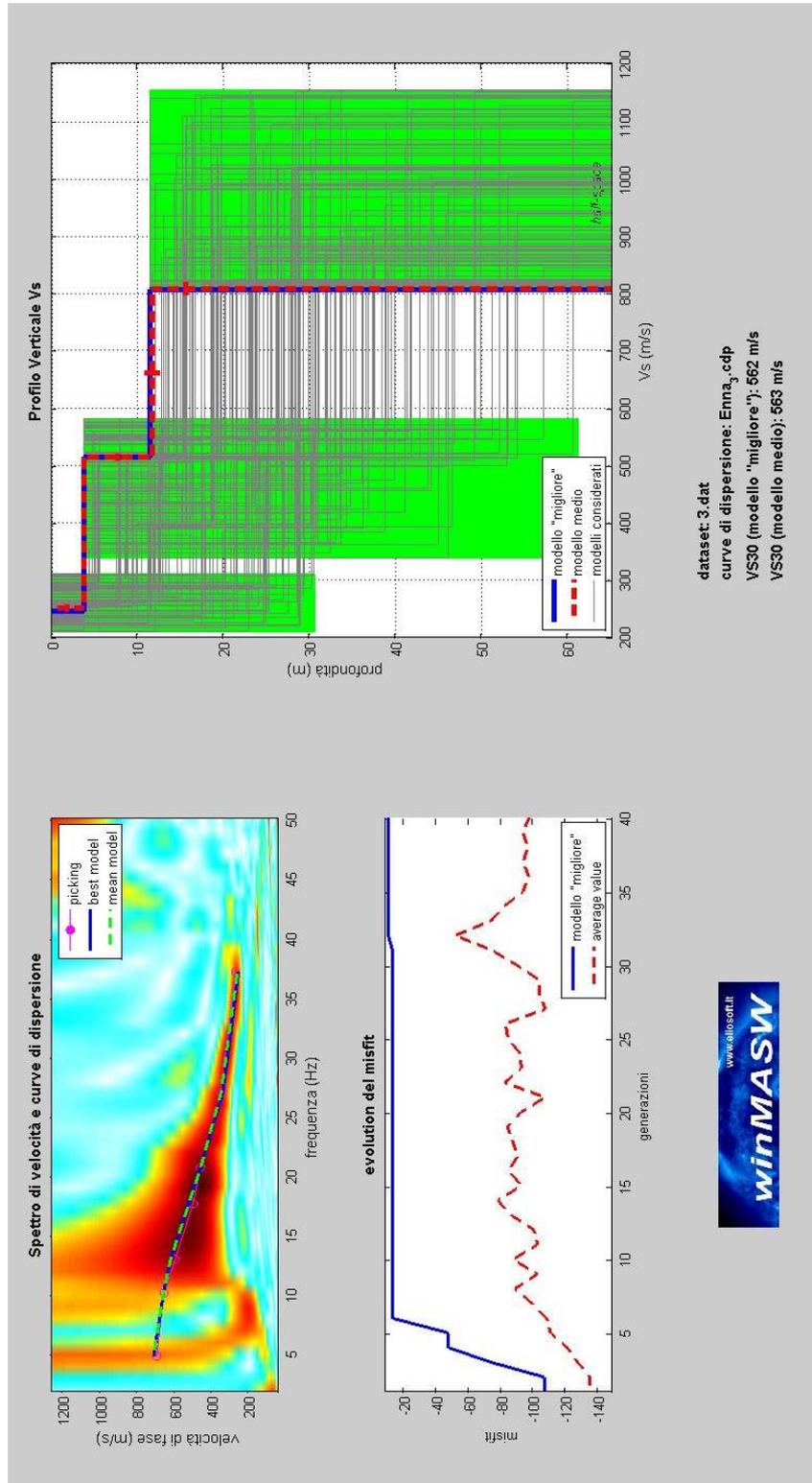
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### Dati sperimentali MASW 3

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Latitudine sito:	37° 28' 53.40" N
Longitudine sito:	14° 12' 17.54" E



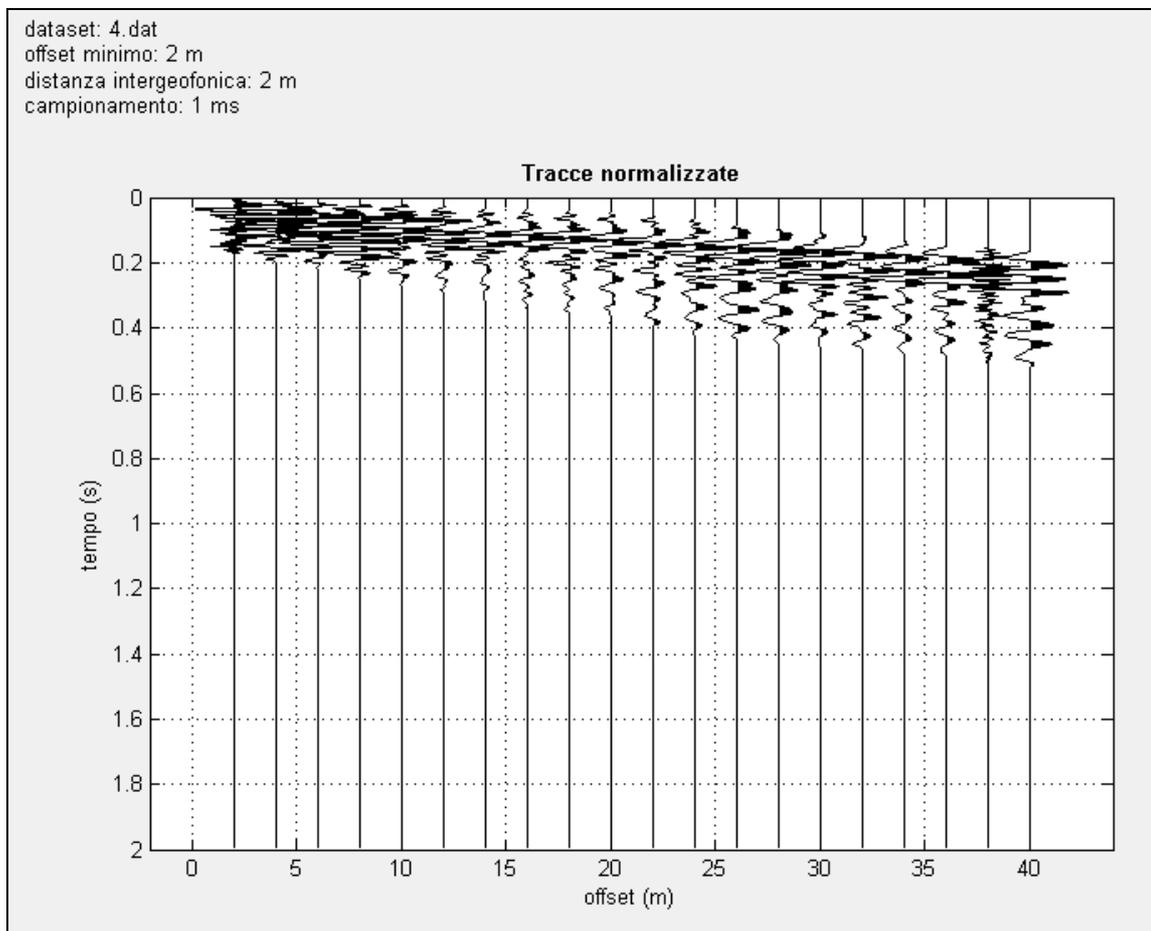


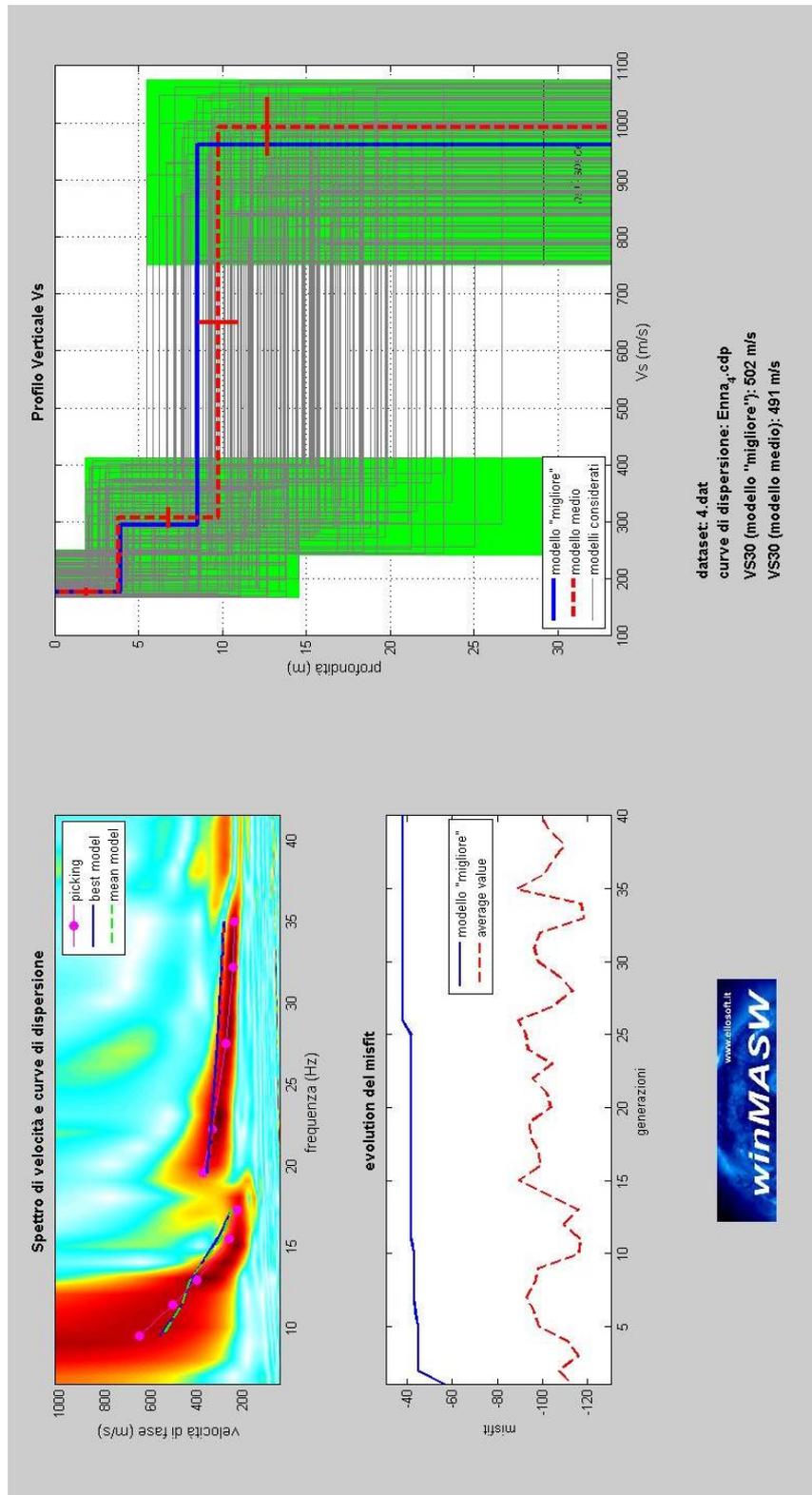
Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### Dati sperimentali MASW 4

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Latitudine sito:	37° 27' 31.76" N
Longitudine sito:	14° 12' 17.11" E





Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



### 8.3. Categorie di suolo individuata

L'elaborazione MASW delle quattro stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità  $V_{s30}$  dei terreni pari a **768** m/s per MASW\_1, **706** m/s per MASW\_2, **562** m/s per MASW\_3 e **502** m/s per MASW\_4.

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. Conclusioni

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte centro meridionale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'area facente parte del territorio comunale di Enna e ricadente nelle contrade denominate: *Cannarella* (ENN01, ENN02, ENN03, ENN04, ENN05, ENN06), *Granci* (ENN07), *Nicola* (ENN08, ENN09), *Marcato dei Vitelli* (ENN10, ENN11), *Arcera* (ENN12, ENN13, ENN14, ENN15), *Aiuolo* (ENN16, ENN17, ENN18) e *Cucca* (opere di connessione), caratterizzate da una morfologia collinare talora interrotta da sporadici alti strutturali.

Il Progetto prevede l'installazione di 18 aerogeneratori eolici tripala, di potenza nominale pari a 4 MW ciascuno (per un totale installato di 72 MW). Gli aerogeneratori verranno collegati tra loro tramite cavi in MT a 36 kV che trasporteranno l'energia prodotta presso il punto di connessione alla rete elettrica. La connessione del presente impianto avverrà in antenna a 36 kV con una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulle linee RTN a 150 kV "Terrapelata - Barrafranca" e "Caltanissetta CP - Butera SE". Si prevede di realizzare una stazione elettrica di utenza a 36 kV di 1800 mq ca. al fine di alloggiare le apparecchiature elettromeccaniche di controllo e regolazione

Dal punto di vista geologico i litotipi e/o formazioni che saranno interessati dall'impianto sono i seguenti:

- **ENNa - Formazione di Enna** - Marne e marne argillose di colore grigio-azzurro, grigio biancastre all'alterazione, a frattura concoide e a stratificazione poco evidente (ENN01, ENN03)
- **GPQ - Formazione di Pasquasia** - Sequenza di marne, marne argillose ed argille marnose di colore grigiastro con livelli di sabbie rosso brunastre, argille con fitte intercalazioni di lamine gessose con alternati strati e banchi con potenze metriche di geossareniti, torbiditi gessose e di gesso balatino (ENN02)
- **ENNb - Formazione di Enna** - Sabbie e calcareniti di Capodarso costituiti da stratificazione incrociata. Si rivengono talora orizzonti ricchi in macrofauna caratterizzata dalla presenza di Pecten (ENN04, ENN05, ENN06, ENN07)



- **TRBa - Trubi** - Intercalazioni di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro, a giacitura caotica, contenenti blocchi di gessi, di calcari evaporiti e di argille varicolori (ENN08, ENN09)
- **GER - Argille marnose di Geracello** - Successione di argille marnose e siltose di colore grigio-azzurro, talora biancastro, a stratificazione in genere indistinta, contenenti sporadici livelli centimetri di sabbie grigio-giallastre (ENN10)
- **NNL - Sabbie di Lannari** - Sabbie giallastre a granulometria medio-fine, talora siltose, di colore giallastro a stratificazione irregolare con intercalazioni arenacee e raramente calcarenitiche (ENN11)
- **GTL1 - Formazione di Cattolica** - Calcarea di Base. Calcari cristallini bianco-grigiastri, calcari laminati in banchi talora disarticolati contenenti livelli lenticolari di calcari brecciati, separati a luoghi da livelli centimetrici di peliti grigiastre (ENN12, ENN14, ENN16)
- **TRB - Trubi** - Alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici organizzati in strati decimetrici generalmente intensamente fratturati (ENN13)
- **TRVb - Formazione Terravecchia** - Livelli di breccie argillose ed argille brecciate di colore nerastro a giacitura caotica, contenenti blocchi di argille varicolori e Flysch Numidico (ENN15, ENN17, ENN18)

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 prestanza 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, 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 Fiume 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 01.03.2007 e successive modifiche ed integrazioni e le aree ove si prevede di installare gli aerogeneratori, e la SSE, non ricadono nè in area a rischio nè in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

Inoltre le torri ENN01, ENN02, ENN03, ENN04, ENN05, ed ENN06, ricadono in un **sito di attenzione**, codificato con sigla PAI **072-4EN-345**, relativo all'area di concessione mineraria per lo sfruttamento di sali potassici, della Miniera di Pasquasia, ormai dismessa da più di un ventennio.

Si sottolinea inoltre che la perimetrazione del sito di attenzione corrisponde all'area date in concessione e non a quelle realmente sfruttate in sottosuolo. Si evince inoltre che la quota d'imbocco della Miniera di Pasquasia è posta ad una quota di circa 450 metri s.l.m. mentre i sei aerogeneratori che ricadono nell'area del sito di attenzione verranno realizzati ad una quota compresa tra i 600 ed i 700 metri s.l.m. ed inoltre ad oggi non ci sono evidenze in superficie, nei pressi delle aree in oggetto, di fenomeni di crollo o di cavità.

L'elaborazione MASW delle quattro stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità  $V_{s30}$  dei terreni pari a **768** m/s per MASW\_1, **706** m/s per MASW\_2, **562** m/s per MASW\_3 e **502** m/s per MASW\_4.

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**.

Termini Imerese, Dicembre 2023

