



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
PROVINCIA DI AGRIGENTO
COMUNE DI CASTELVETRANO
COMUNE DI MENFI

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,6 MW CIASCUNO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 33 MW SITO NEL COMUNE DI CASTELVETRANO (TP) IN LOCALITÀ C.DA CASE NUOVE E DA UN SISTEMA DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO DA 18 MW SITO NEL COMUNE DI MENFI (AG) IN LOCALITÀ C.DA GENOVESE E OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI CASTELVETRANO (TP) MENFI, SAMBUCA DI SICILIA E SCIACCA (AG).

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE



SKI 34 S.r.l.
*Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento di Statkraft AS*
Partita IVA 12417100968
Gruppo IVA 11412940964
C.F. 12417100968
Via Caradosso 9
20123 Milano

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

Geologo

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

CODICE ELABORATO

SK_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 CASTELVETRANO

- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -

RELAZIONE GEOLOGICA

“Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6MW ciascuno, per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro, Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca”

Comm.: Ing. Girolamo Gorgone per conto di
Stratkraft

Data: Agosto 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 CASTELVETRANO

- CITTÀ METROPOLITANA DI TRAPANI -

RELAZIONE GEOLOGICA

Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 5 aerogeneratori da 6,6MW ciascuno, per una potenza complessiva di 33 MW sito nel comune di Castelvetro in località C.da Case Nuove e da un sistema di accumulo elettrochimico da 18 MW sito nel comune di Menfi in località C.da Genovese e opere connesse nei comuni di Castelvetro, Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca

Premessa

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto definitivo, relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, ricadente nel territorio comunale di Castelvetro.

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dall'Ing. Girolamo Gorgone, per conto della *Statkraft*.

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 d'Italia – Foglio 265 Mazara del Vallo*” Servizio geologico d'Italia 1955).

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 normativa vigente.

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 Belice (057)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 07.10.2005, sulla G.U.R.S. n° 56 del 23.12.2005 ove ricadono le cinque torri e del *bacino idrografico del fiume Carboj (059) e area territoriale tra il bacino del fiume Belice e il bacino del Fiume Carboj (058)*, 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;
- carta geologica in scala 1:10.000;
- carta geomorfologica in scala 1:10.000;

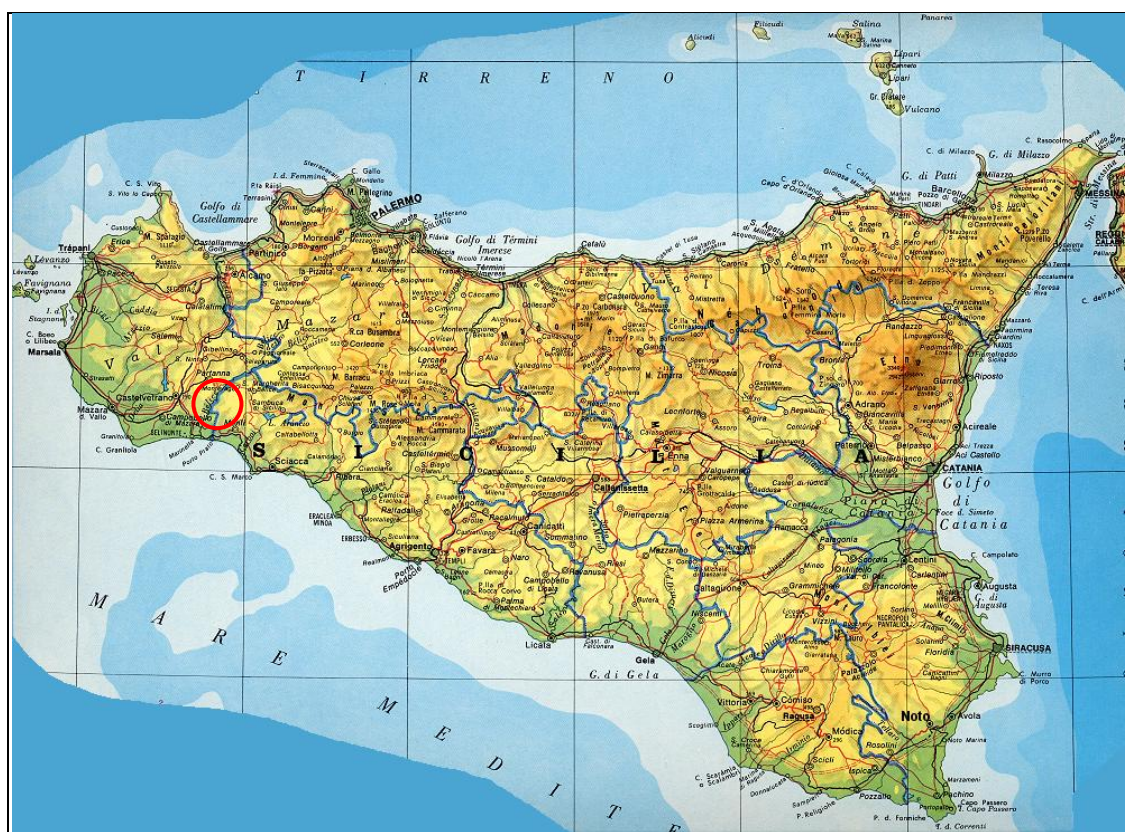


- carta idrogeologica in scala 1:10.000;
- carta litotecnica in scala 1:10.000;
- carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000;
- carta della pericolosità sismica locale in scala 1:10.000.

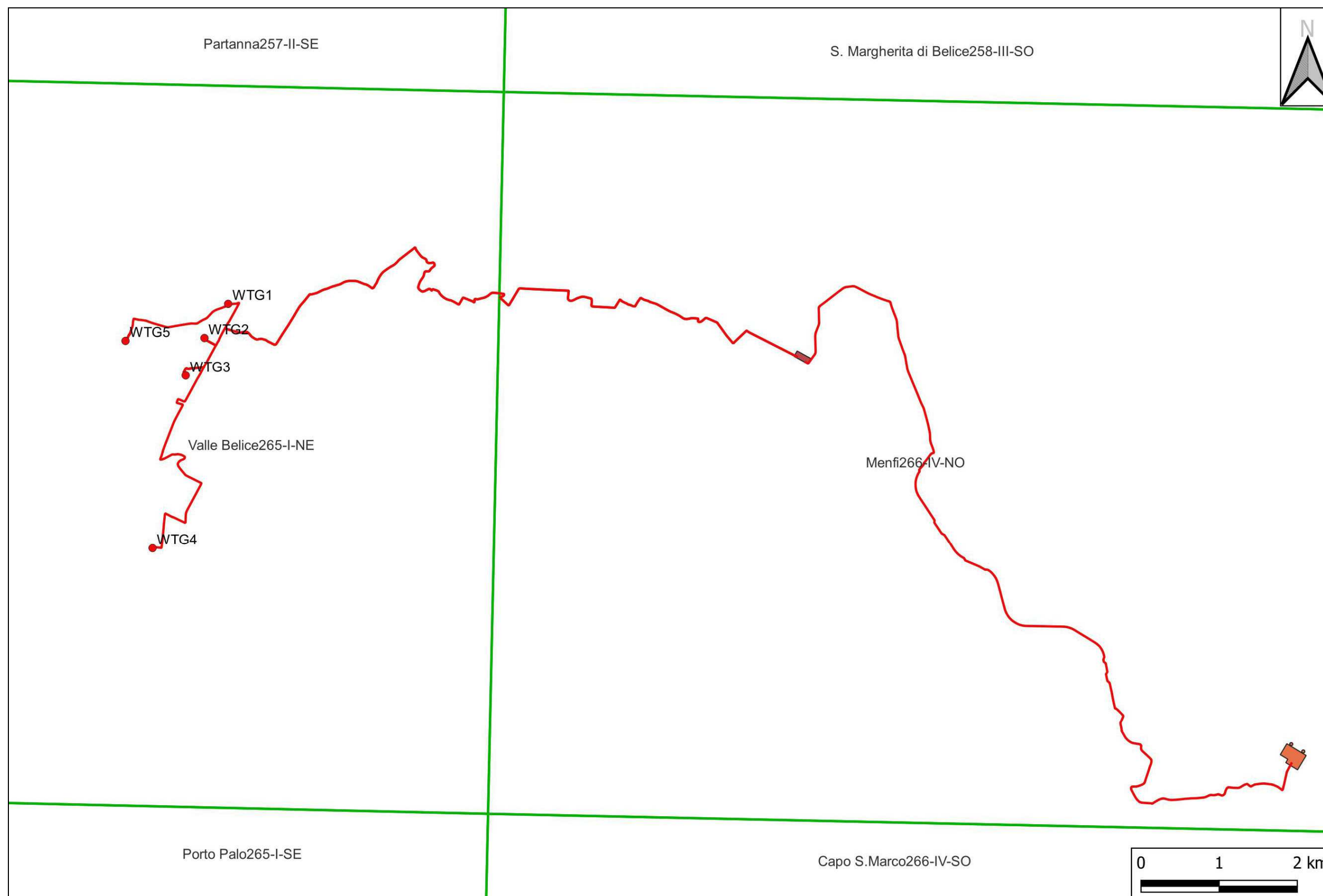
1. Inquadramento dell'area ed opere previste in progetto

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 Castelvetro, e ricadente nella contrada denominata: *Case Nuova*.

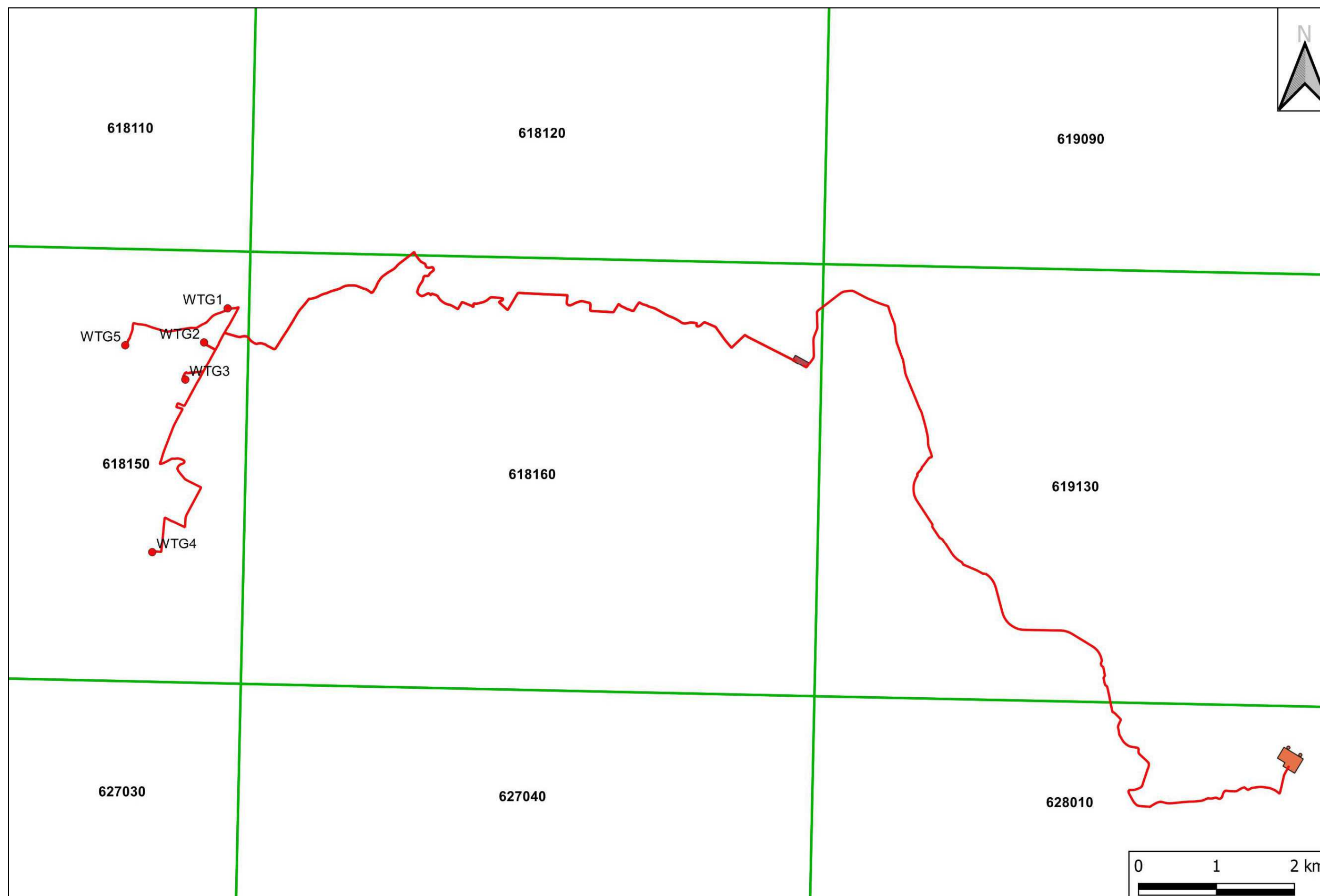
L'impianto include anche una stazione di connessione e trasformazione 30/36 kV con annesso sistema di accumulo elettrochimico (BESS) da 18 MW sito nel comune di Menfi in contrada *Genovese*.



Topograficamente, il parco eolico, ricade nella Tavoleta I.G.M.I. in scala 1:25.000, Foglio n° 265, quadrante I, orientamento N.E. "*Valle Belice*", mentre la stazione di trasformazione ricade nelle Tavoleta, Foglio n° 266, quadrante IV, orientamento N.E. "*Menfi*".



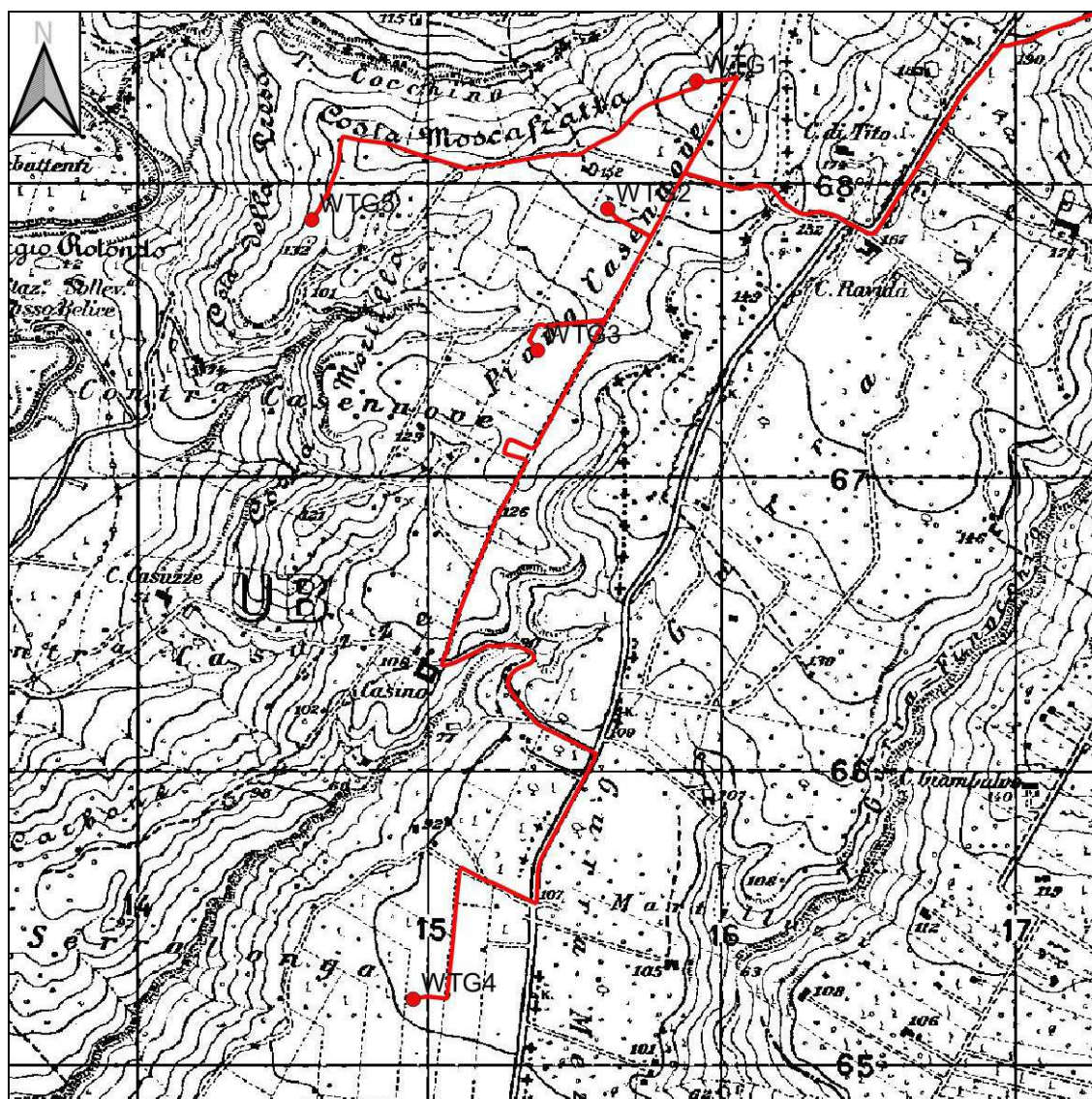
Quadro unione tavolette in scala 1:25.000



Quadro unione fogli carta tecnica regionale in scala 1:10.000



L'area destinata all'impianto eolico, compresa di stazione di trasformazione con area BESS, ricade nei Fogli 618150, 618160, 619130 e 628010 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000.



Stralcio topografico in scala 1:25.000

Il progetto nella sua interezza è composto da:



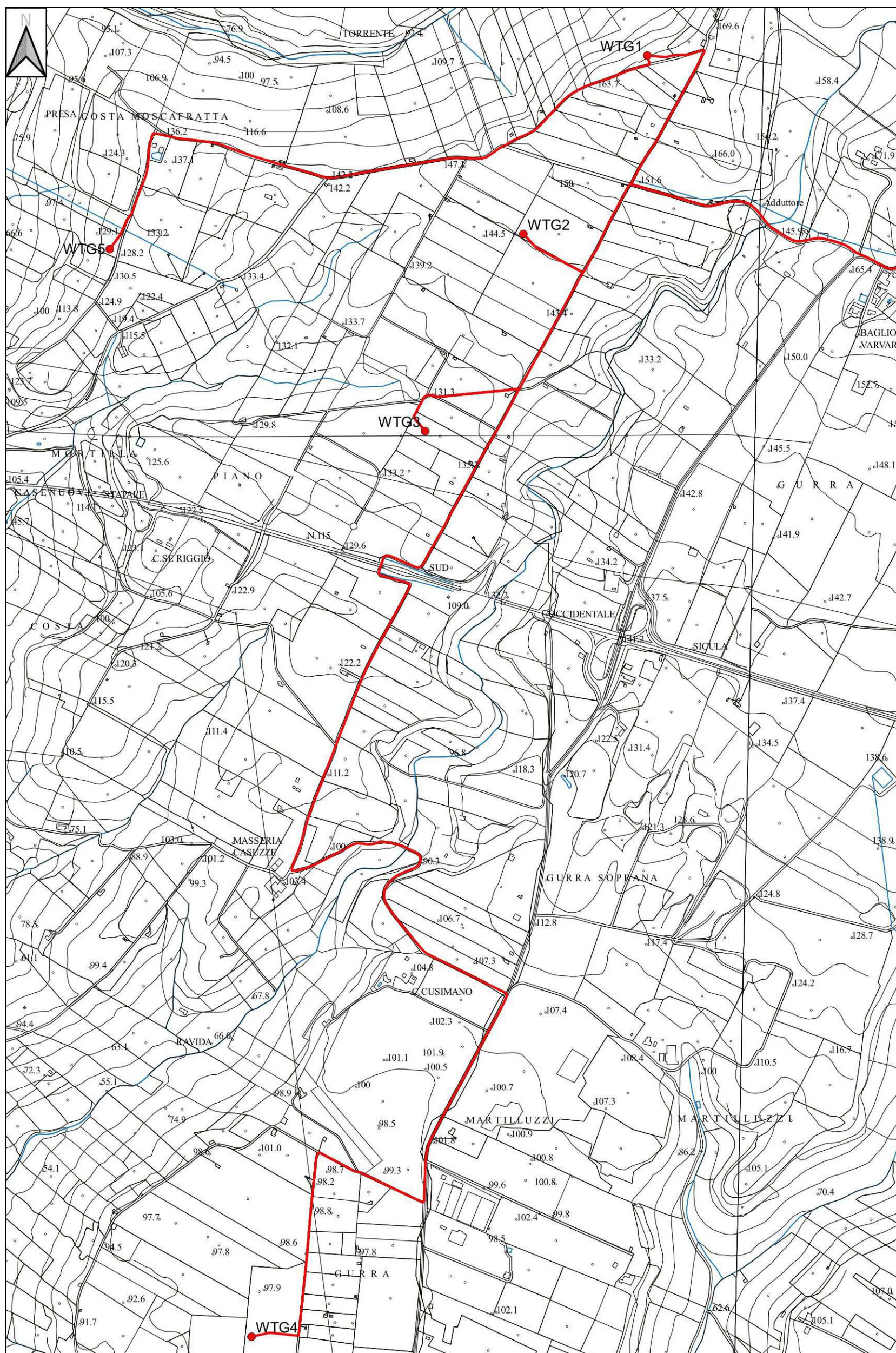
- un parco eolico di 5 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 33 MW, sito nel comune di Castelvetro (TP) in località Contrada Case Nuove;
- una stazione di connessione e trasformazione 30/36 kV con annesso sistema di accumulo elettrochimico (BESS) da 18 MW sito nel comune di Menfi (AG) in località Contrada Genovese;
- un cavidotto a 30 kV interrato di connessione tra gli aerogeneratori e la Stazione di trasformazione nei comuni di Castelvetro (TP) e Menfi (AG);
- un cavidotto a 36 kV interrato di connessione tra la Stazione di trasformazione e il punto di connessione alla RTN sito in località Piana Grande di Misilifurme nel Comune di Sciacca (AG), che attraversa i territori di Castelvetro (TP), Menfi, Sambuca di Sicilia e Sciacca (AG).

L'accessibilità degli aerogeneratori è assicurata dalla rete viaria esistente (che in parte necessiterà di adeguamenti), da cui si dipartiranno brevi tratti di strada bianca che consentono l'accesso ai piazzali di servizio delle turbine. L'area interessata dal progetto presenta infatti una fitta rete viaria costituita da strade statali, provinciali e comunali, oltre che da piste interpoderali che consentono l'ottimale connessione dell'impianto di progetto alle vie di comunicazione.

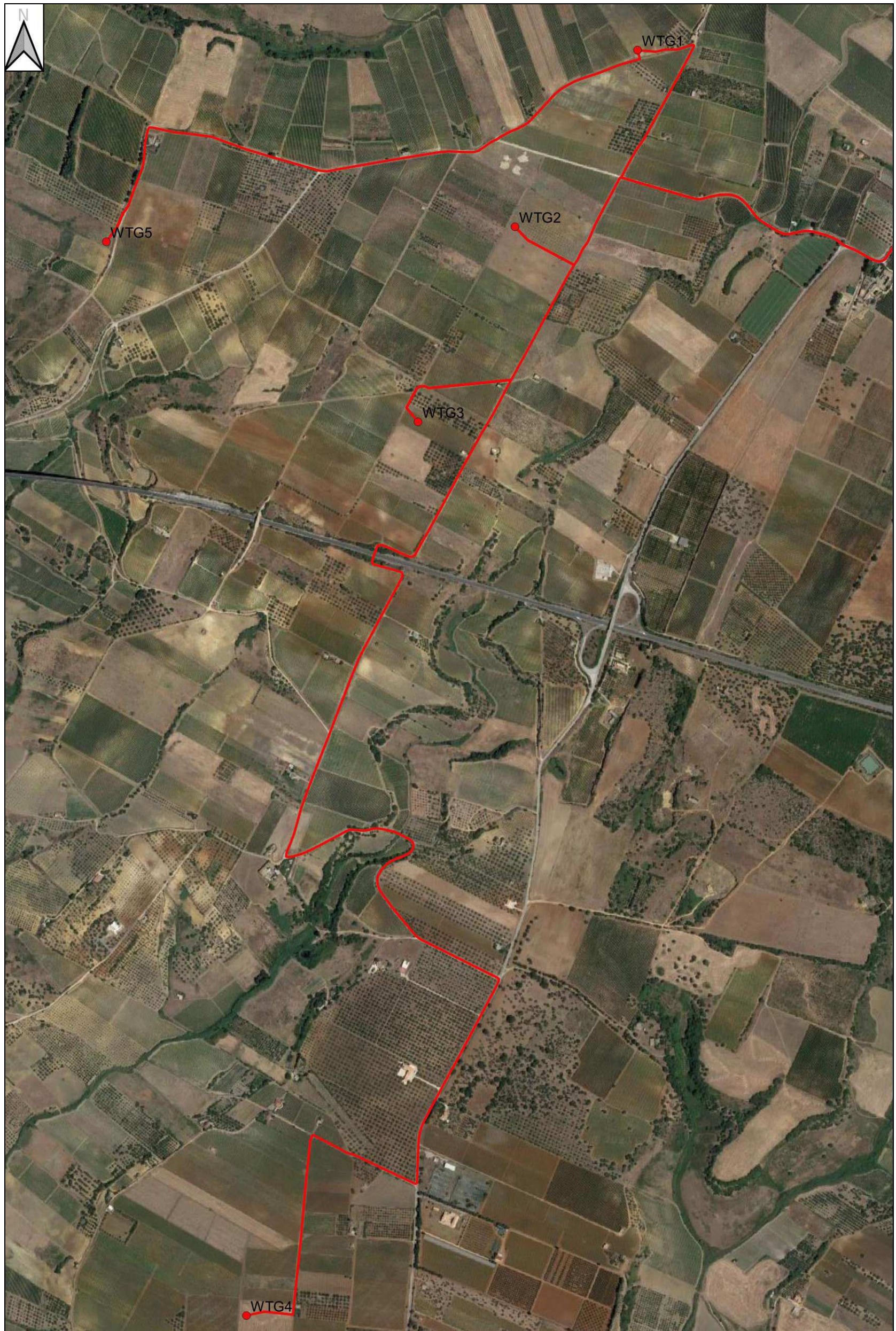
Si riportano di seguito le coordinate in formato WGS84 e gli estremi catastali degli aerogeneratori ed a seguire uno stralcio della corografia di inquadramento.

Identificativo	Coordinate WGS84		Identificativo Catastale			Quote m s.l.m.
	Latitudine	Longitudine	Comune	Foglio	Particella	
WTG01	37°38'31.92"	12°54'45.60"	Castelvetro	119	109	169
WTG02	37°38'17.59"	12°54'33.88"	Castelvetro	119	71	148
WTG03	37°38'1.75"	12°54'24.53"	Castelvetro	131	158	135
WTG04	37°36'50.14"	12°54'10.05"	Castelvetro	132	49	99
WTG05	37°38'16.04"	12°53'52.36"	Castelvetro	119	540	122

Inquadramento geografico catastale del parco eolico



Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10.000



Ortofoto in scala 1:10.000



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.).

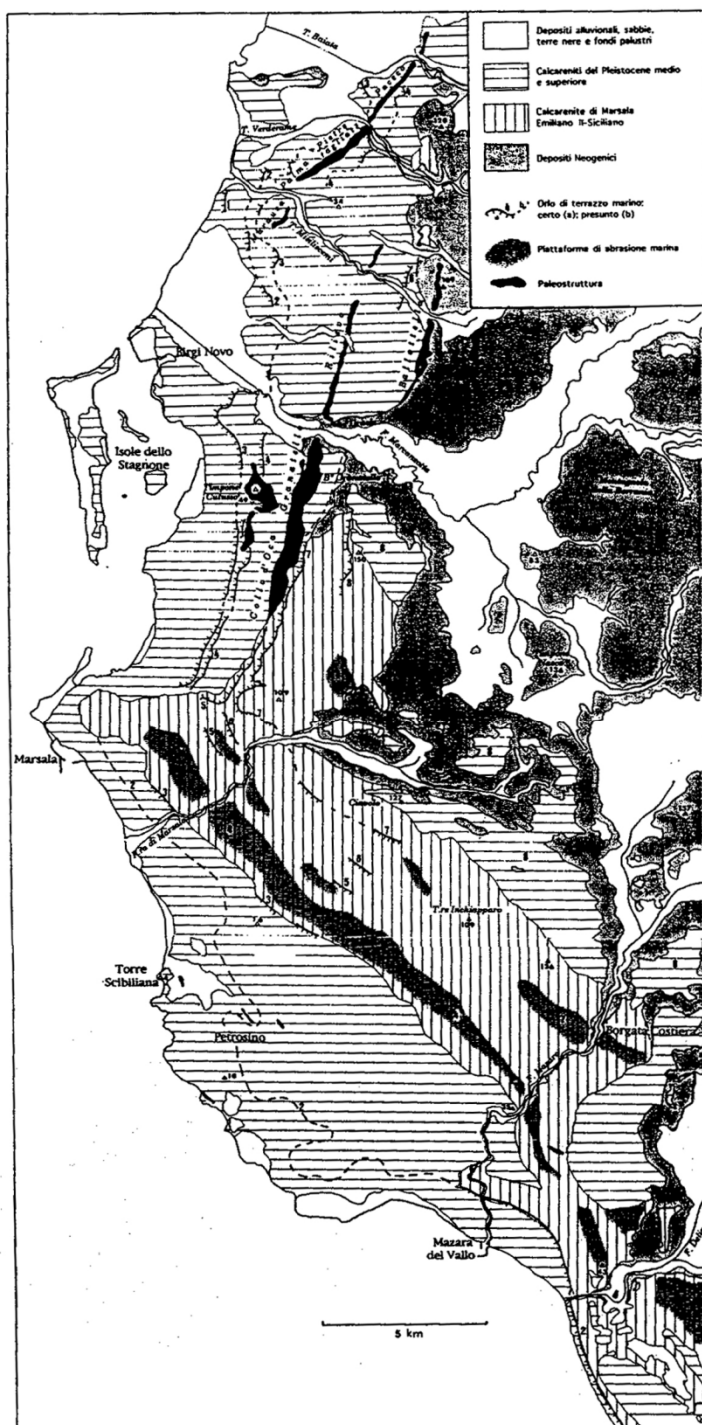
Infine nel tardo Pleistocene (Pre Tirreniano - Tirreniano), caratterizzato da un sostanziale abbassamento del livello marino, si assiste alla formazione di numerosi terrazzi, la cui geometria è stata anche modellata dalla periodica intermittenza delle oscillazioni eustatiche.

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:

- **q3f** - Alluvioni recenti e antiche terrazzate in più ordini (*Olocene*)
- **Al** – Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali (*Olocene*)
- **Tm** – Depositi terrazzati martini costituiti da calcareniti sabbie e ciottoli (*Pleistocene medio – Tirreniano*)



- **Cm** - Calcarenite di Marsala (*Emiliano sup. - Siciliano*)
- **AS** – Argille e argille sabbiose (*Emiliano*)
- **PCB** – Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice (*Pliocene medio – superiore*)

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata carta geologica a scala 1:10.000.



Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 1



Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 2



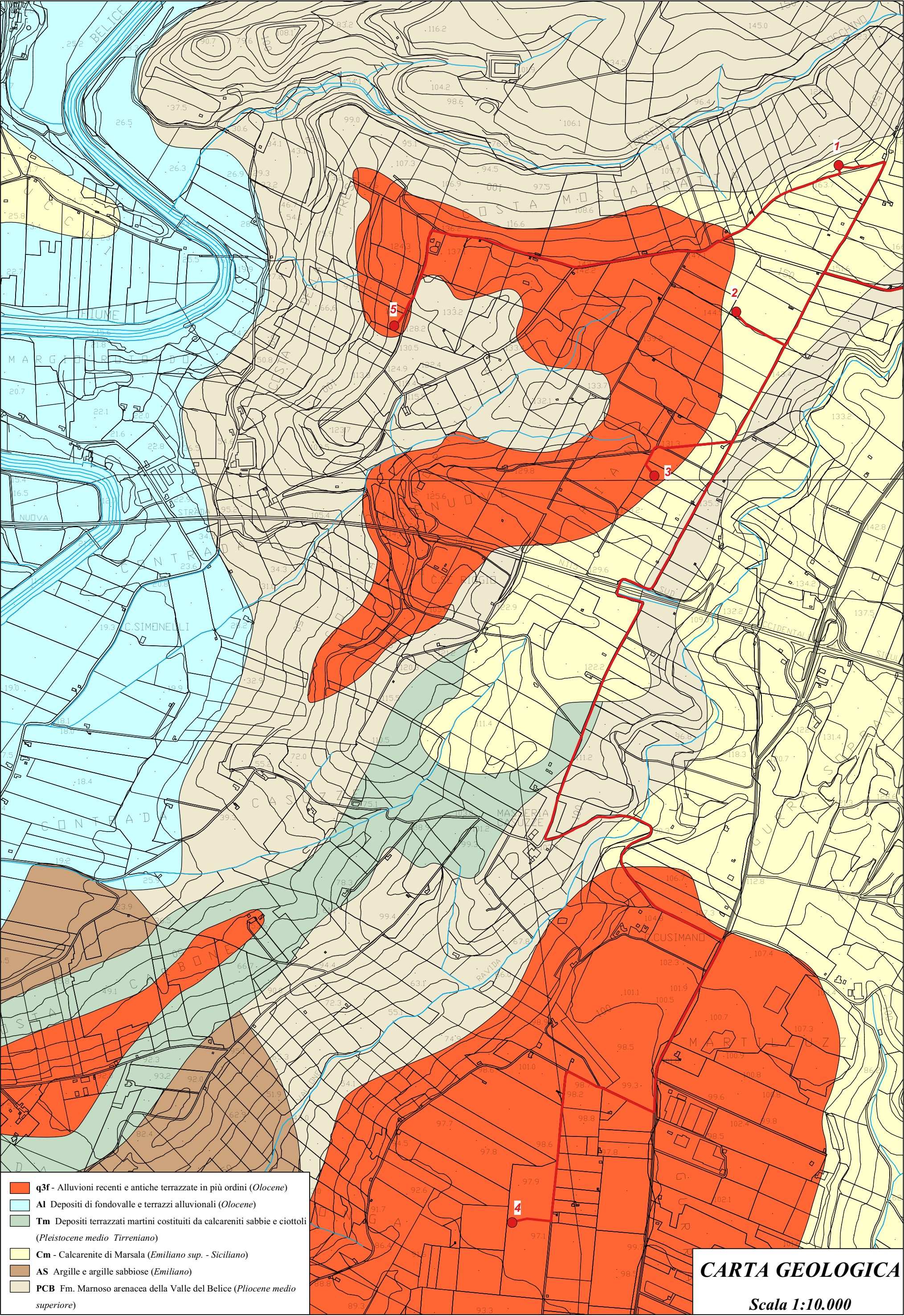
Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 3



Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 4



Scavo a pozzo in corrispondenza della Torre 5



CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10.000



3. Lineamenti geomorfologici

La morfologia dell'area in oggetto è in stretta relazione con la natura dei terreni affioranti e con le vicissitudini tettoniche che, nel tempo, 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 calcareniti e dei calcari.

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 in scala 1:10.000.

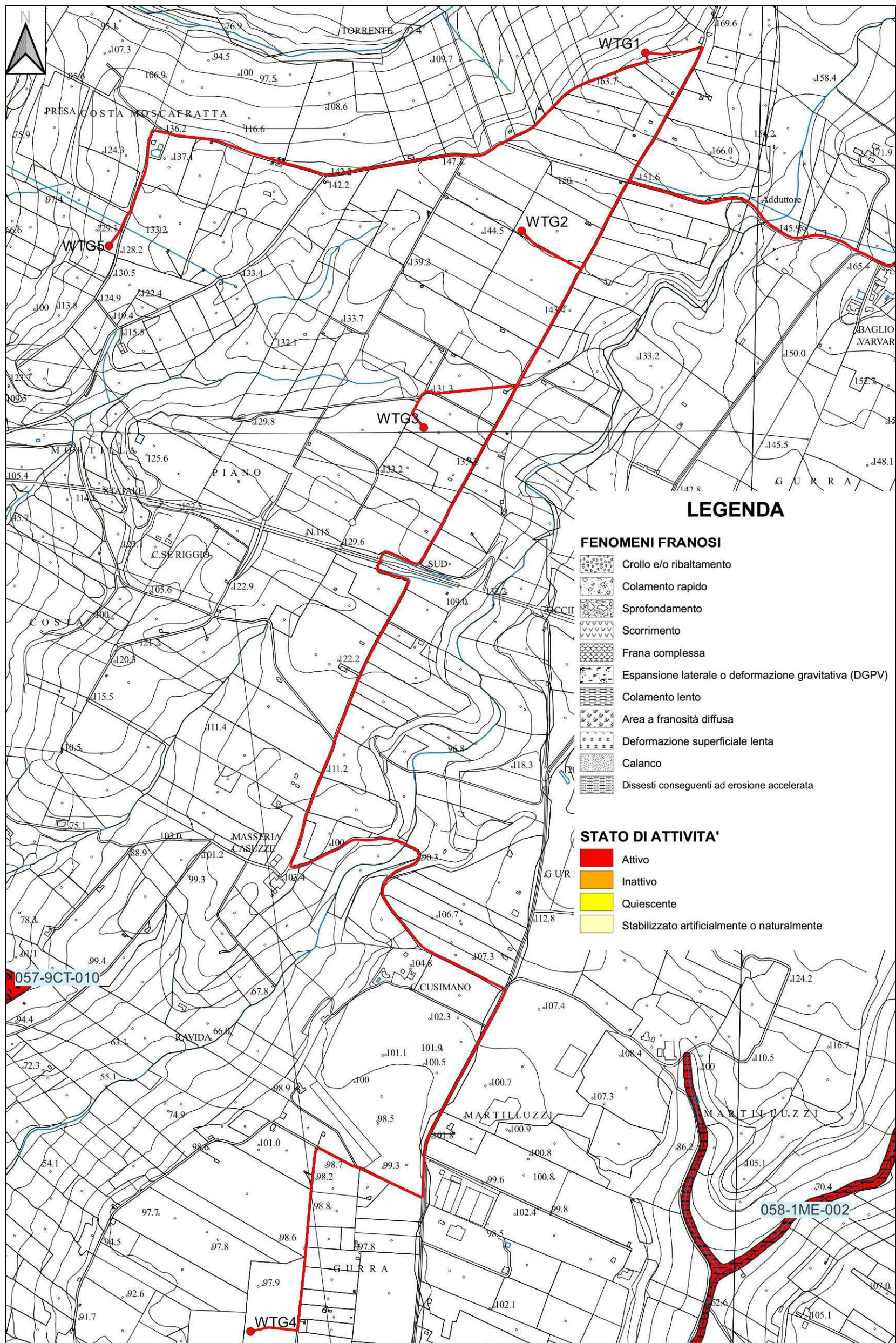
Durante le fasi di sopralluogo si è osservato che l'area in esame, risulta interessata da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti. In ogni caso nell'area ove si dovranno realizzare i pali a vento e la sottostazione, 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.



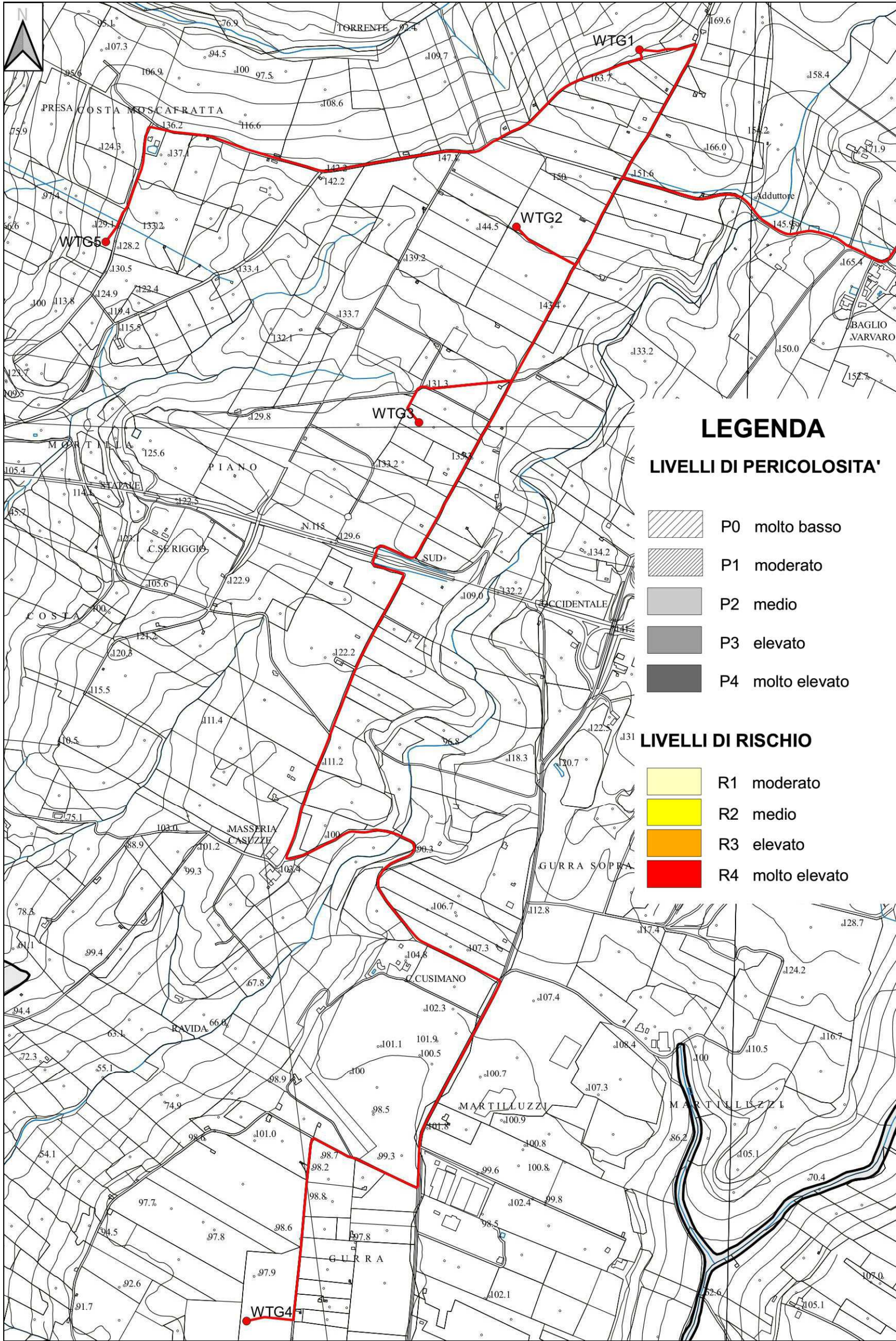
In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume Belice (057)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 07.10.2005, sulla G.U.R.S. n° 56 del 23.12.2005 ove ricadono le cinque torri e del *bacino idrografico del fiume Carboj (059) e area territoriale tra il bacino del fiume Belice e il bacino del Fiume Carboj (058)*, 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.

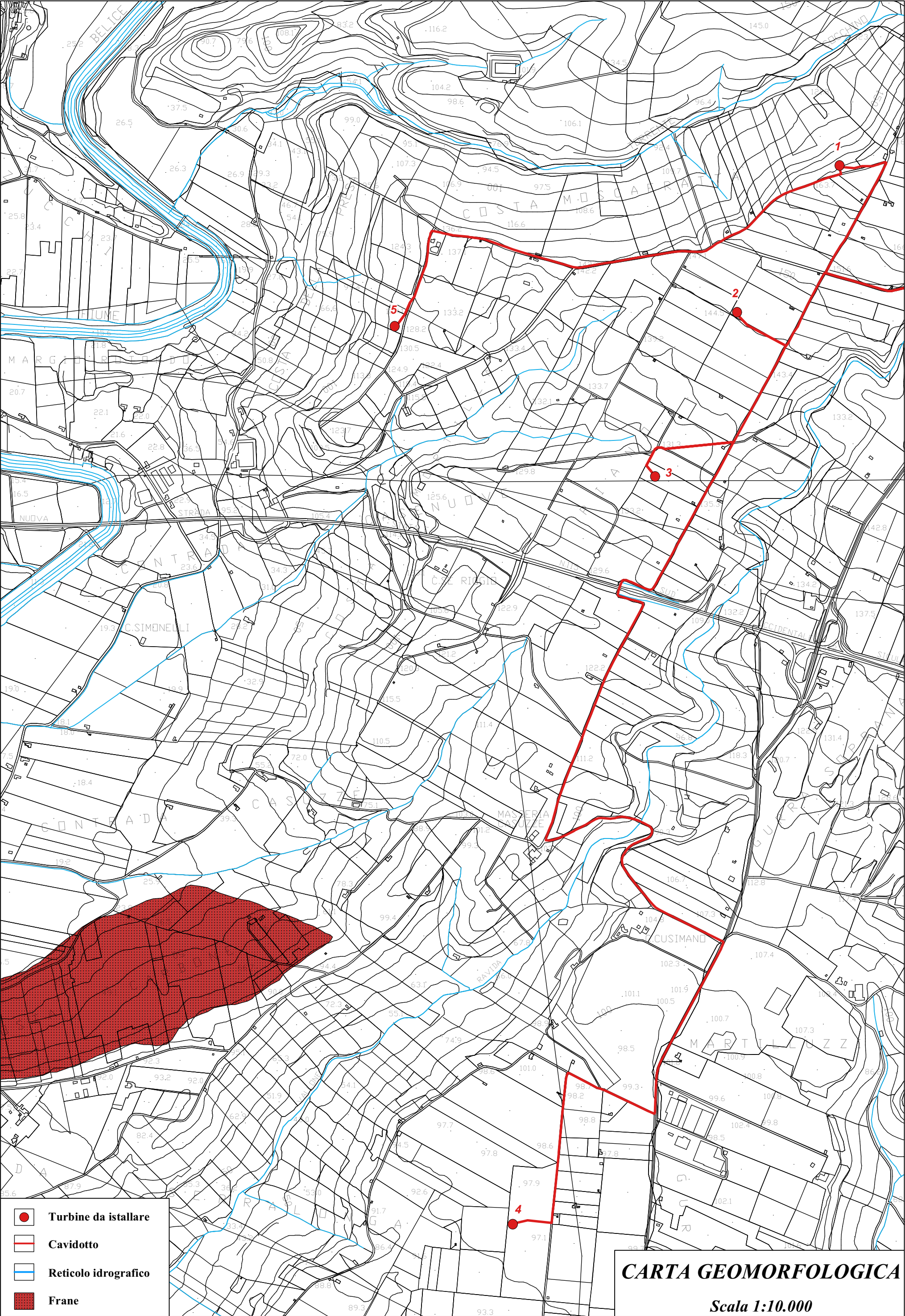
Di seguito si allegano inoltre, uno stralcio della *Carta dei dissesti*, e uno stralcio della *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico*, relativa al PAI delle aree sopra indicate, con l'ubicazione delle opere da realizzare.



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 le *Alluvioni recenti e antiche terrazzate in più ordini (q3f)*, i *depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali (Al)* ed i *Depositi terrazzati martini (Tm)*. 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 le *Calcareni di Marsala (Cm)*.

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)
Discontinuità da molto ad estremamente ravvicinate	< 0.20	molto permeabile	10^{-3} -1
Discontinuità da ravvicinate a moderatamente spaziate	0.20-0.60	mediamente permeabile	10^{-4} - 10^{-3}
Discontinuità da largamente a molto largamente spaziate	0.60-2.00	poco permeabile	10^{-9} - 10^{-4}
Nessuna discontinuità	>2.00	impermeabile	< 10^{-9}

Sono state incluse nella terza classe (*rocce impermeabili*), sono stati inclusi i sedimenti e/o formazioni di seguito elencati: *Argille e argille sabbiose (AS) e Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice (PCB)*.

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.

<i>LITOTIPO</i>	<i>TIPO DI PERMEABILITÀ</i>	<i>GRADO DI PERMEABILITÀ</i>	<i>COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ</i>
<i>Alluvioni recenti e antiche terrazzate in più ordini (q3f)</i> <i>Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali (Al)</i> <i>Depositi terrazzati martini (Tm)</i>	<i>Porosità</i>	<i>alta</i>	$10^{-1}-10^{-3}$
<i>Calcareniti di Marsala (Cm)</i>	<i>Fessurazione, fratturazione e/o carsismo</i>	<i>da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure</i>	$10^{-3}-10^{-5}$
<i>Argille e argille sabbiose (AS)</i> <i>Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice (PCB)</i>	<i>Impermeabili</i>	<i>da bassa a molto bassa</i>	$10^{-6}-10^{-9}$

Schema riepilogativo

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

Quanto fin qui descritto è stato rappresentato nell'allegata carta idrogeologica in scala 1:10.000.

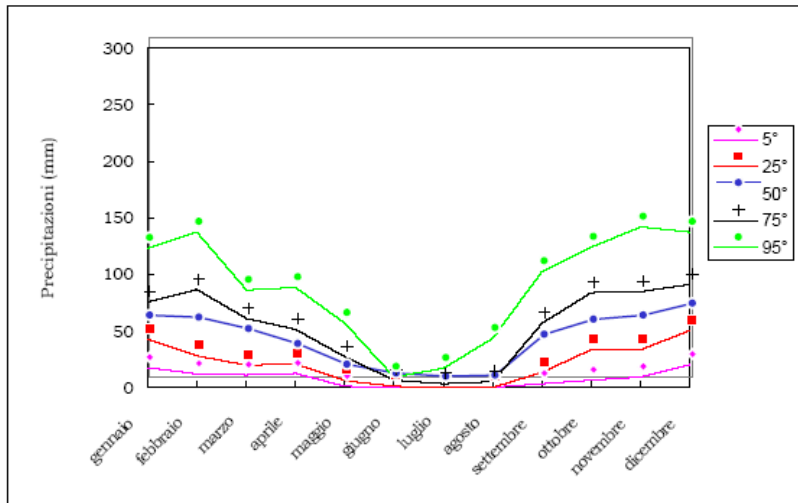


5. Considerazioni climatiche

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.

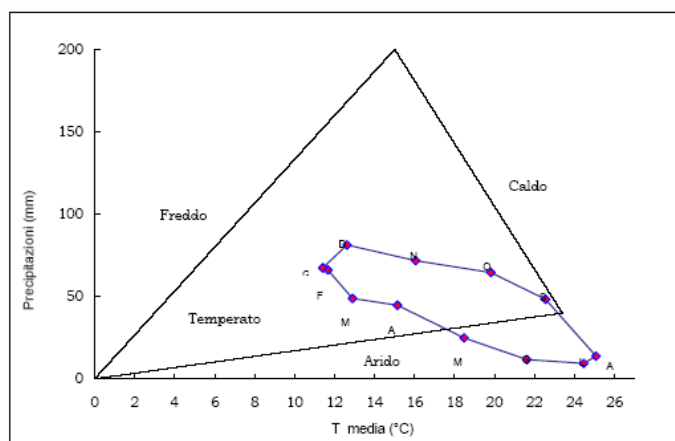


Andamento delle precipitazioni per la stazione di Marsala



Marsala m 12 s.l.m.

me	se	T max	T min	T med	P
g	e	15,0	7,7	11,3	61
f	e	15,3	7,9	11,6	60
m	a	16,8	8,9	12,8	43
a	p	19,1	11,0	15,1	39
m	a	22,9	13,9	18,4	19
g	i	26,3	16,8	21,6	6
l	u	29,3	19,5	24,4	3
a	g	29,9	20,1	25,0	8
s	e	26,7	18,2	22,5	42
o	t	24,0	15,5	19,7	58
n	o	19,9	12,0	16,0	66
d	i	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:

- *Alluvioni recenti ed antiche terrazzate (q3f)*
- *Calcareniti di Marsala (Cm)*

Le *alluvioni recenti e antiche terrazzate (q3f)*, (torri 3, 4, 5) fanno rilevare, relativamente alla componente fine, fusi granulometrici che rientrano, in termini di percentuale, nel campo dei limi, sabbie fini, sabbie limose e/o argillose, ed argille sabbiose con frazione minima di materiale ghiaioso. Anche tali litotipi, dal punto di vista geotecnico, vengono classificati come “*rocce incoerenti*”, il cui stato varia da sciolto ad addensato. Questi materiali, inoltre, possono presentare una coesione (c') derivante dalla presenza di minerali argillosi nel fino. Quindi, l'argilla, anche in bassa percentuale (5% - 8%), può conferire a tali terreni una certa coesione, variabile a seconda della dimensione dei granuli e del tipo di minerale argilloso presente. Inoltre, laddove prevale la componente sabbiosa, la coesione (c') è da ritenersi nulla.

Nelle linee generali, è possibile caratterizzare, dal punto di vista geotecnico, i materiali descritti, attribuendo loro il seguente range di valori:

- $\gamma = 18,00 \text{ KN/m}^3$ peso dell'unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$ coesione
- $\phi' = 25^\circ$ peso dell'unità di volume

Le *Calcareniti di Marsala (Cm)*, (torri 1 e 2) sono costituite da alternanze di calcareniti di colore da giallo ocre a giallo paglierino, da moderatamente cementate a cementate e sabbie limose e limi bianco giallastri. 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 $d < 0,20$ 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 specializzata.

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.).

Dai dati di letteratura, le prove di rottura per compressione triassiale forniscono valori dell’angolo di attrito che hanno raggiunto anche i 45° 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:

- $\gamma = 19,45 \text{ KN/m}^3$ peso dell’unità di volume
- $c' = 0 \text{ KN/m}^2$ coesione
- $\phi' = 32^\circ$ peso dell’unità di volume

Da un confronto dei dati sperimentali ottenuti sui campioni indisturbati, e da quanto riportato in letteratura specializzata, cautelativamente, sono stati assunti i seguenti valori di coesione (c') ed angolo d’attrito interno (ϕ') per i diversi spessori di terreno rilevati, potendo così ricostruire la seguente colonna geotecnica:

LITOTIPO	TORRE	CARATTERISTICHE FISICO / MECCANICHE	VALORI
Cm Calcarenite di Marsala	1 - 2	peso dell’unità di volume coesione angolo di attrito interno	19,45 KN/m³ 0 KN/m² 32°
q3f Alluvioni recenti e antiche terrazzate in più ordini	3 - 4 -5	peso dell’unità di volume coesione angolo di attrito interno	18,00 KN/m³ 0 KN/m² 25°

Colonna geotecnica riepilogativa



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 redatta in scala 1:10.000.

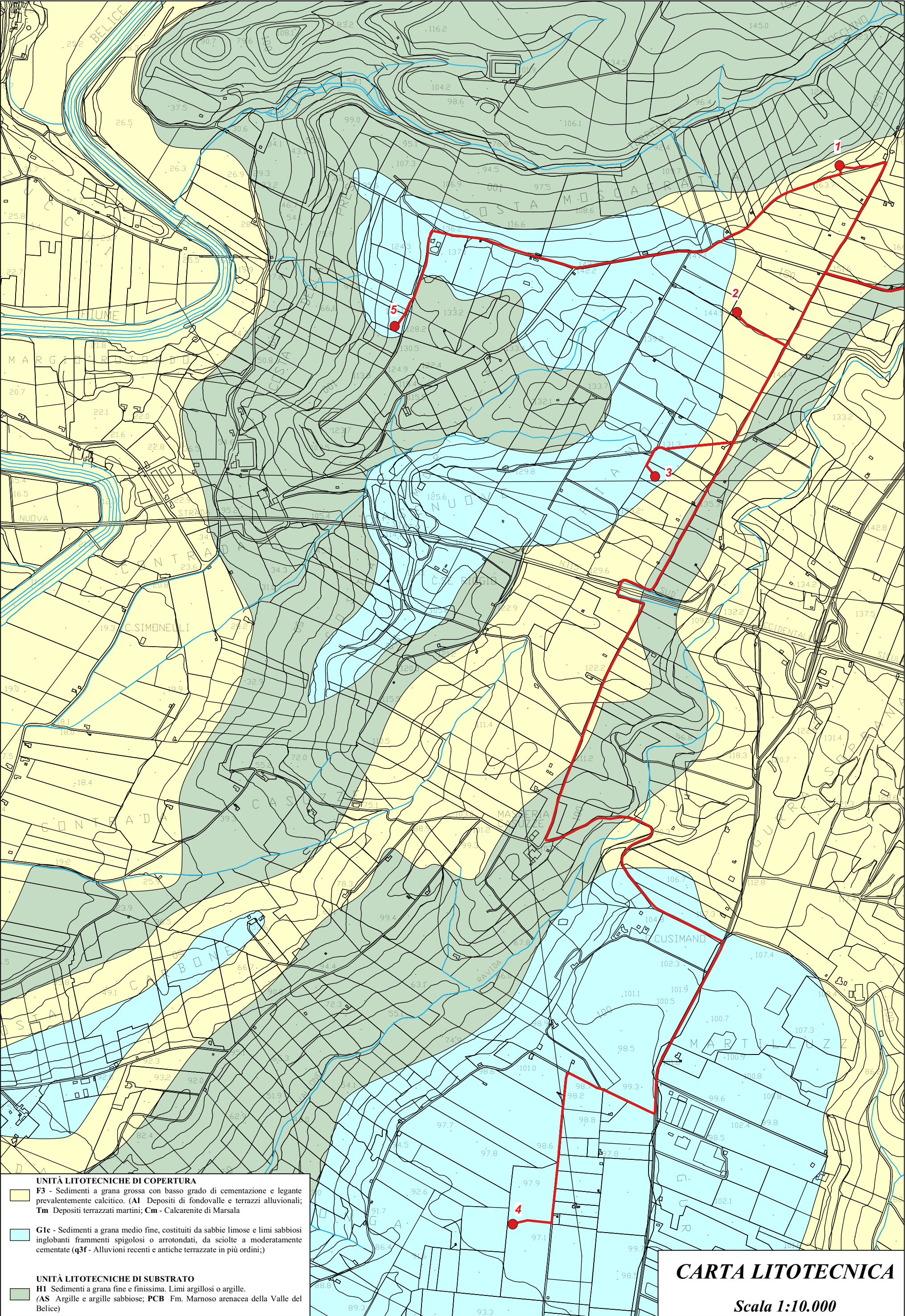
Tali unità, secondo quanto riportato nella Circolare n. 3 DRA del 20.06.2014 - Prot. n. 28807 del 20.06.2014 – “*Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici*”, vengono distinte in due insiemi, di cui uno relativo ai litotipi che costituiscono in “*substrato*” e l'altro a quelli caratterizzanti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

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

- Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali (**Al**); Depositi terrazzati martini (**Tm**); Calcarene di Marsala (**Cm**): 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**.
- alluvioni recenti ed antiche terrazzate (**q3f**): 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**.

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

- Argille e argille sabbiose (**AS**); Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice (**PCB**). 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**.





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*).

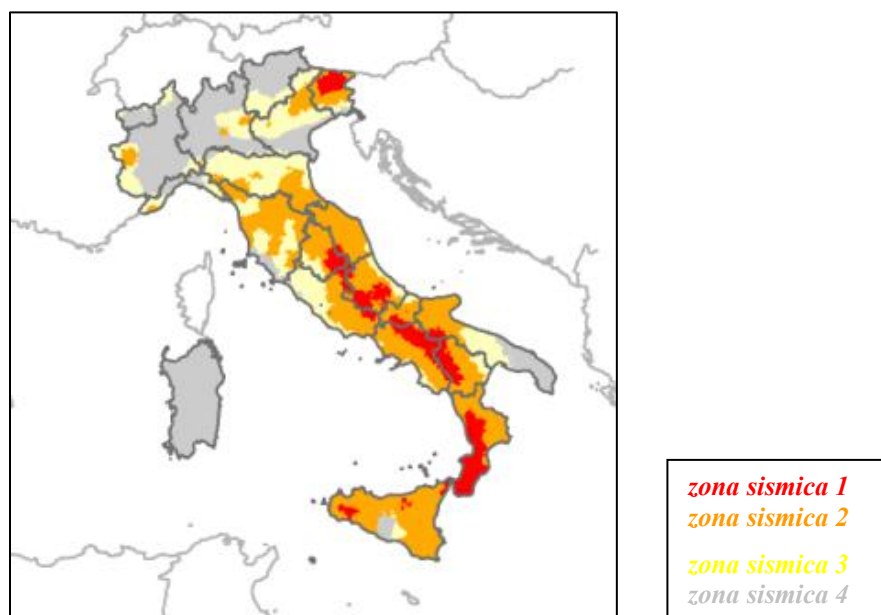
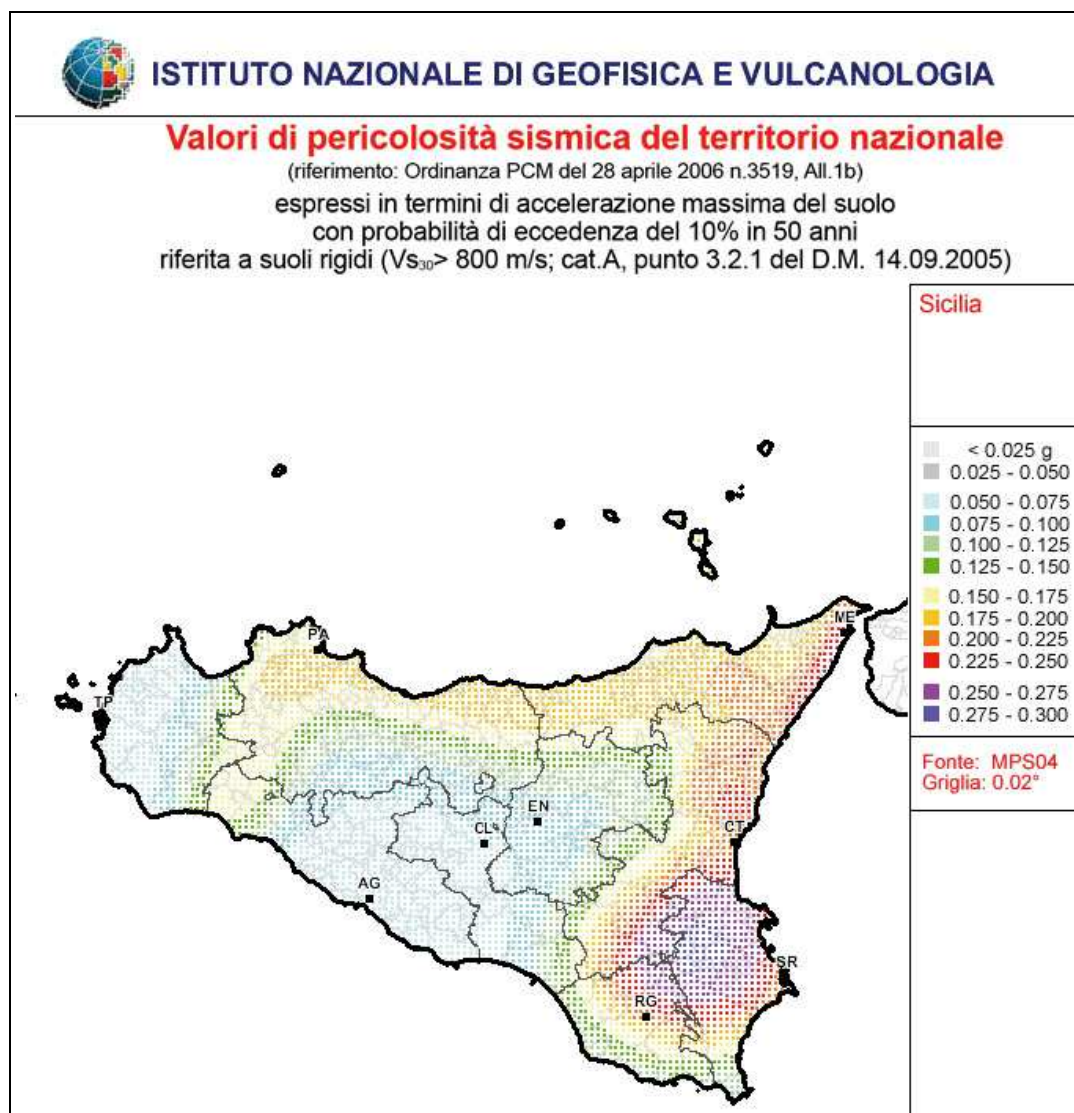


Figura 1

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 [a_g/g]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]</i>
<i>1</i>	<i>$> 0,25$</i>	<i>0,35</i>
<i>2</i>	<i>$0,15 - 0,25$</i>	<i>0,25</i>
<i>3</i>	<i>$0,05 - 0,15$</i>	<i>0,15</i>
<i>4</i>	<i>$< 0,05$</i>	<i>0,05</i>

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



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



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

Il territorio comunale di Castelvetro, 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" aggiornata 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 11.03.2023, come Zona Sismica "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 Vs 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 Vs 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.

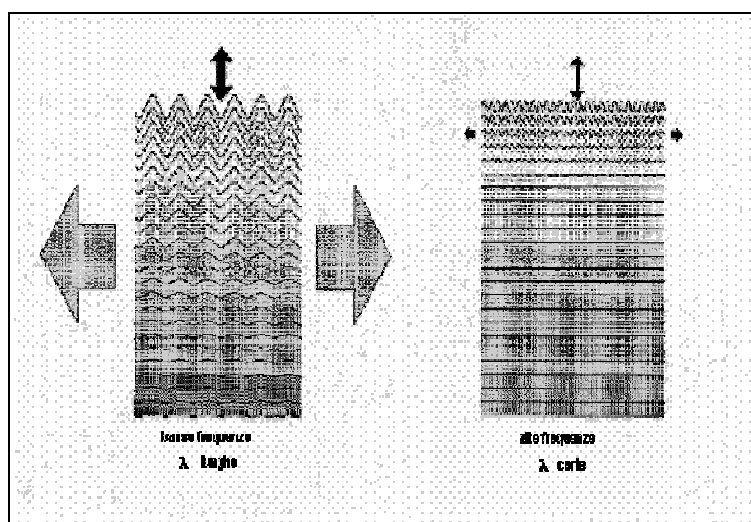
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza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

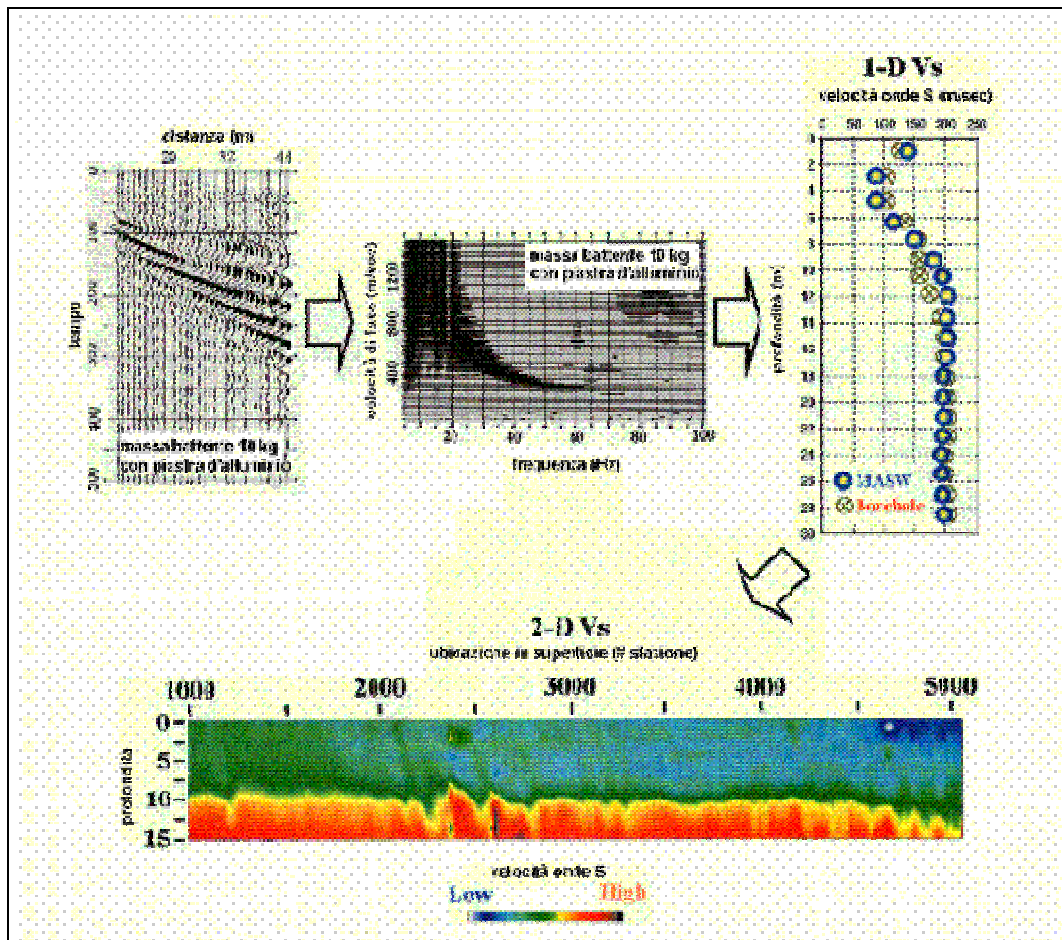
Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

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>Categoria</i>	<i>Descrizione</i>
<i>A</i>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<i>B</i>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<i>C</i>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<i>D</i>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<i>E</i>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

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

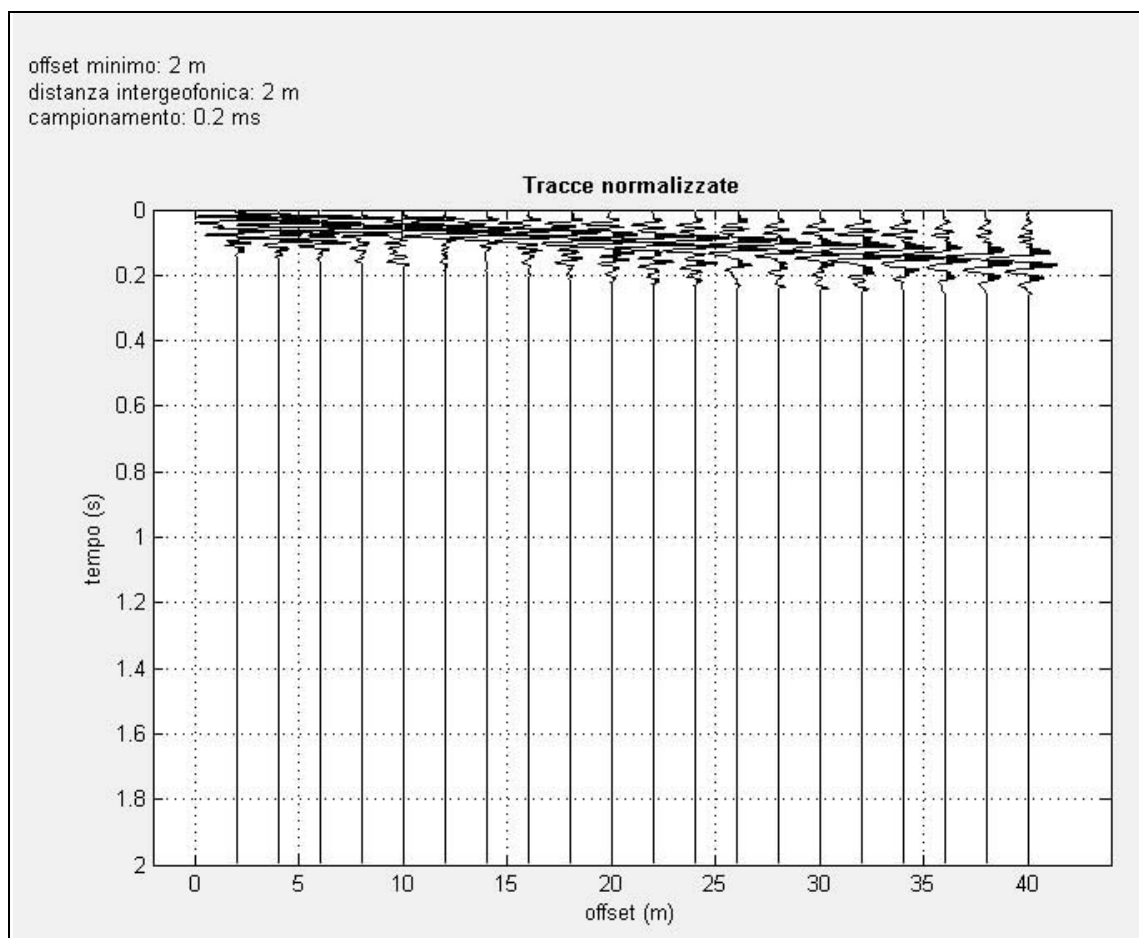
9.2. Risultati delle analisi MASW

Nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto eolico, sono state eseguite due stese sismiche interpretate con il metodo MASW ed esattamente la prima in corrispondenza della torre 4 e la seconda in corrispondenza della torre 5.

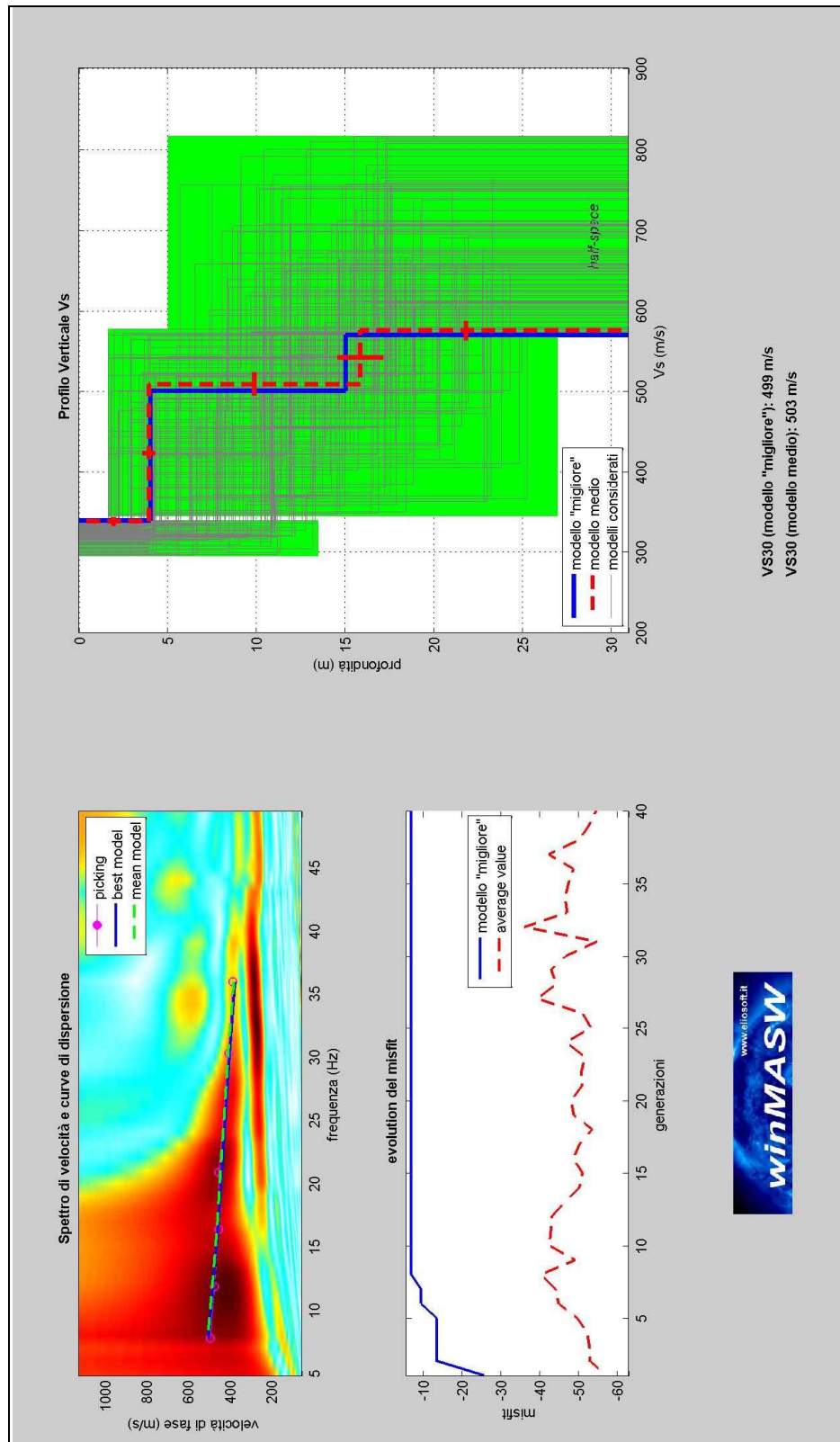


MASW 1

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



Tracce sperimentali

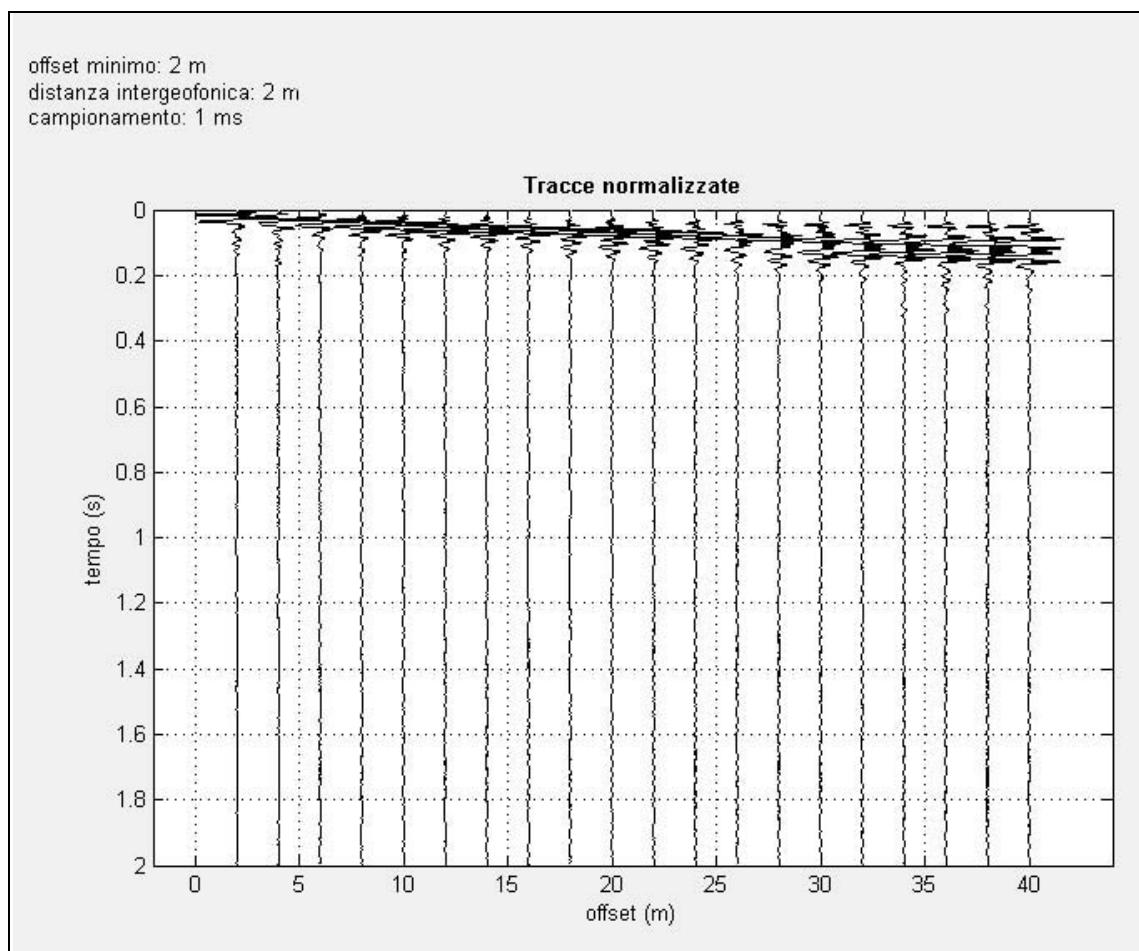


Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti

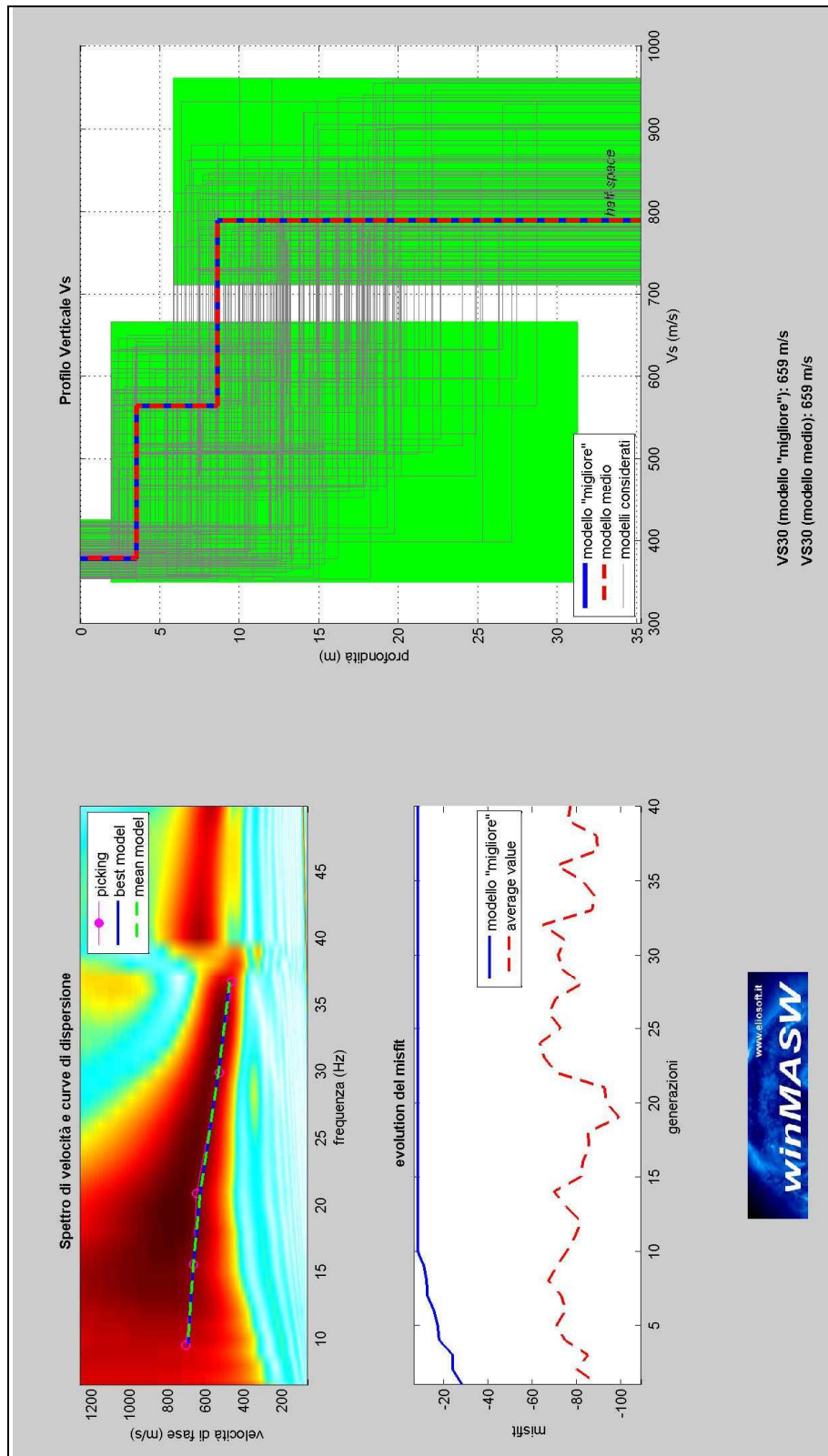


MASW 2

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



Tracce sperimentali



Curva di dispersione - Elaborazione modelli equivalenti



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 **499** m/s nel MASW_1, e **659** m/s nel MASW_2. 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*, 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 (*Calcareniti di Marsala, Cm*).
- *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 (**q3f** - Alluvioni recenti e antichi, **Al** – Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali, **Tm** – Depositi



terrazzati martini, **AS** – Argille e argille sabbiose, **PCB** – Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice).

- *Classe 3 - Pericolosità elevata* – In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto ed aree soggette ad esondazione censiti nel PAI. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*frane*)

Nel dettaglio gli aerogeneratori 1 e 2 ricadono in area a pericolosità nulla, mentre gli altri in area a pericolosità bassa.

Corrisponde a situazioni geologico - tecniche e morfologiche stabili.
(Cm - Calcareni di Marsala)

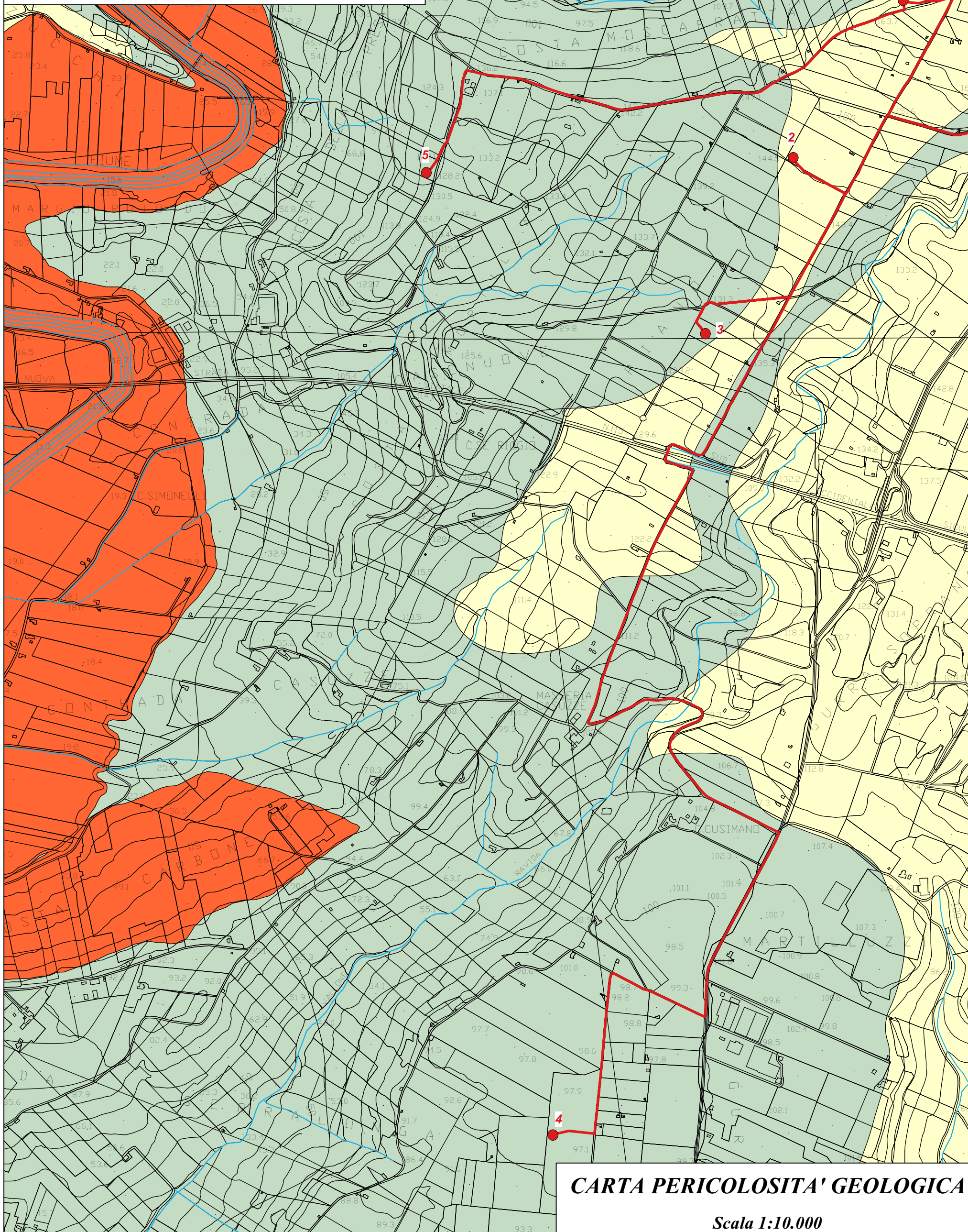
Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi fenomeni di dissesto.

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

(q3f - Alluvioni recenti e antichi, **AI** Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali, **Tm** Depositi terrazzati martini, **AS** Argille e argille sabbiose, **PCB** Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice)

In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto.

Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (frane, aree soggette ad esondazione censiti nel PAI)



CARTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Scala 1:10.000

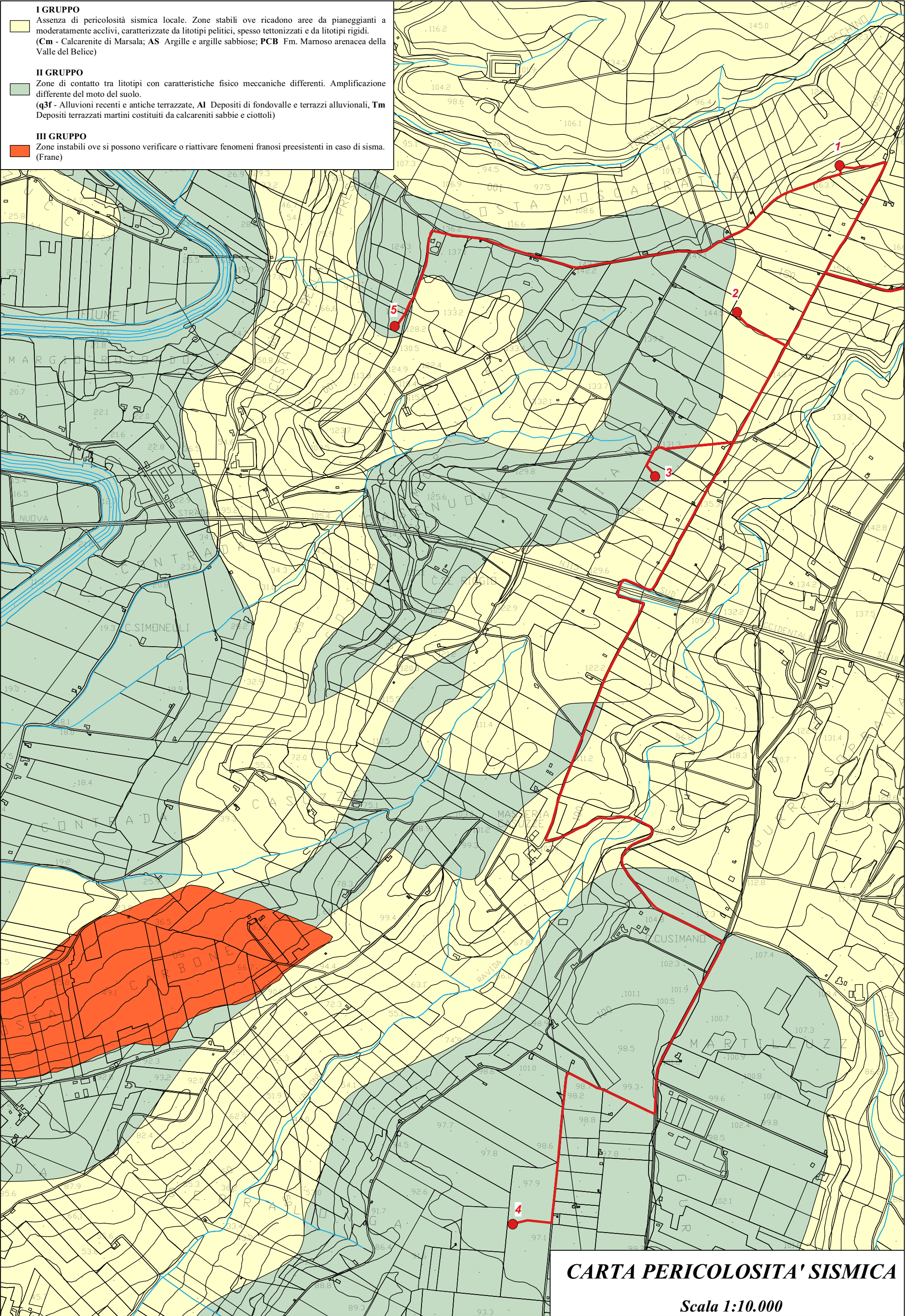


La *Carta della pericolosità sismica* è una carta dove devono essere individuate sia le problematiche geologiche che gli effetti di sito attendibili nell'area in studio in cui devono essere distinte le zone interessate prevalentemente da: fenomeni franosi in atto e quiescenti, aree potenzialmente franose,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

Nello specifico sono state individuati due gruppi:

- *I Gruppo* - Zone stabili ove ricadono aree da pianeggianti a moderatamente acclivi, caratterizzate da litotipi pelitici, spesso tettonizzati e da litotipi rigidi. (**Cm** - *Calcarenite di Marsala*; **AS** - *Argille e argille sabbiose*; **PCB** - *Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice*);
- *II Gruppo* - Zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche differenti. Amplificazione differente del moto del suolo. (**q3f** - *Alluvioni recenti e antiche terrazzate*, **Al** - *Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali*, **Tm** - *Depositi terrazzati martini costituiti da calcareniti sabbie e ciottoli*);
- *III Gruppo* - Zone instabili ove si possono verificare o riattivare fenomeni franosi preesistenti in caso di sisma. (*frane*).

Nel dettaglio gli aerogeneratori 3, 4 e 5 ricadono nel II Gruppo, e gli aerogeneratori 1 e 2.





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 Castelvetro, e ricadente nella contrade denominata: *Case Nuove*.

L'impianto include anche una stazione di connessione e trasformazione 30/36 kV con annesso sistema di accumulo elettrochimico (BESS) da 18 MW sito nel comune di Menfi in contrada *Genovese*.

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

- **q3f** - Alluvioni recenti e antiche terrazzate in più ordini;
- **Al** – Depositi di fondovalle e terrazzi alluvionali;
- **Tm** – Depositi terrazzati martini costituiti da calcareniti sabbie e ciottoli;
- **Cm** - Calcarenite di Marsala;
- **AS** – Argille e argille sabbiose;
- **PCB** – Fm. Marnoso arenacea della Valle del Belice.

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 né in atto né potenziale.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al *bacino idrografico del Fiume Belice (057)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 07.10.2005, sulla G.U.R.S. n° 56 del 23.12.2005 ove ricadono le cinque torri e del *bacino idrografico del fiume Carboj (059)* e area territoriale tra il bacino del fiume Belice e il



bacino del Fiume Carboj (058), 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, eseguite sull'area in esame, ha definito un valore della velocità V_{s30} dei terreni pari **499** m/s nel MASW_1 e **659** m/s nel MASW_2. 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, Agosto 2023

