



**REGIONE SICILIA**  
PROVINCE DI PALERMO E TRAPANI  
COMUNI DI CALATAFIMI E MONREALE

**PROGETTO:**

*Progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili denominato "Pergole"*

**Progetto Definitivo**

**PROPONENTE:**

Renantis Sicilia S.r.l.  
(già Falck Renewables Sicilia S.r.l.)  
P.iva e C.f. 10531600962  
Sede legale in Viale Monza, 259 - 20126  
Milano



**ELABORATO:**

**RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA**

**GEOLOGO:**

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

**Scala:**

-

**Tavola:**

*RGT*

**Data:**

31/01/2024

**Rev.**

**Data**

**Descrizione**

00

10/02/2022

prima emissione

01

31/01/2024

seconda emissione



## Sommario

1.1	Inquadramento dell'area .....	7
2	Lineamenti geologici .....	18
3	Lineamenti geomorfologici .....	23
4	Lineamenti idrogeologici .....	33
4.1.1	Porosità.....	34
5	Considerazioni di carattere climatico .....	37
6	Considerazioni geologico - tecniche .....	39
7	Considerazioni litotecniche .....	42
8	Sismica a rifrazione .....	44
8.1	Profilo sismico a rifrazione – Linea di tomografia sismica .....	47
8.2	Tecnica MASW .....	56/
8.2.1	Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW .....	60
8.2.2	Risultati delle analisi MASW .....	62
8.2.3	Categorie di suolo individuata.....	68
8.3	Rilievo dei microtremiti – Metodo HVSR.....	69
9	Pericolosità sismica locale .....	78
10	Zonizzazione del territorio .....	82
11	Conclusioni .....	89



**COMUNI DI CALATAFIMI SEGESTA E  
MONREALE  
- PROVINCE DI PALERMO E TRAPANI -**

**RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA**

**Progetto definitivo**

*Progetto di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili, denominato “Pergole”*

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica, della potenza di picco di 51,263 MWp, denominato “Pergole”, nel territorio comunale di Calatafimi Segesta (TP), con connessione alla rete elettrica nazionale nel territorio del comune di Monreale, su incarico dello *Studio Bordonali S.r.l.*, in nome e per conto di Renantis Sicilia 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. 16/16 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 Alcamo*” in scala 1:50.000 - F. 606, Università di Palermo – Dipartimento di Geologia e Geodesia - a cura di S. Bommarito, R.M. Bonni, R. Di Pietro, 1995).

Molte informazioni di carattere geologico e stratigrafico sono state desunte dall'analisi dei numerosi fronti di scavo presenti nei pressi dell'area di interesse e da dati ottenuti dall'esecuzione di campagne geognostiche eseguite dallo scrivente in aree limitrofe a quelle in esame.

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).



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*).

Risultano allegati alla presente relazione i seguenti elaborati:

- stralcio topografico in scala 1:25.000;
- aerofotogrammetria in scala 1:10.000;
- carta geologica in scala 1:10.000;
- carta geomorfologica in scala 10.000;
- carta idrogeologica in scala 1:10.000;
- carta litotecnica in scala 1:10.000;
- carta delle indagini in scala 1:10.000;
- carta delle pericolosità geologiche in scala 1:10.000;
- carta della pericolosità sismica in scala 1:10.000;
- carta della suscettività all'edificazione in scala 1:10.000;
- indagini sismiche;
- documentazione fotografica.

In particolare, il progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco del generatore di 51,263 MWp ca. e prevede l'installazione di n° 1222 inseguitori solari ad un asse (tracker orizzontali monoassiali a linee indipendenti) e 384 strutture fisse di supporto ai moduli fotovoltaici. Il presente progetto agrovoltaiico prevede pertanto il posizionamento di pannelli fotovoltaici per 39,009 MWp su tracker con montaggio dei moduli elevati di 2.65 m da terra, in condizione di rotazione dei moduli stessi paralleli al terreno, e per 12,257 MWp con montaggio su struttura fissa con altezza massima 2,9 m da terreno e altezza minima 0,9 m da terreno, in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale.

L'impianto, sarà di tipo grid-connected in modalità trifase (collegata direttamente alla rete elettrica di distribuzione). L'impianto di generazione fotovoltaica in progetto sarà installato direttamente a terra con struttura in acciaio zincato e l'energia elettrica da essi prodotta verrà convogliata ai gruppi di conversione (inverters) ed ai trasformatori di tensione distribuiti all'interno dell'area di impianto.



La consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto avverrà conformemente alla Soluzione Tecnica Minima Generale trasmessa da Terna S.p.a. al proponente in data 19/03/2021. In particolare l'energia sarà vettoriata, a mezzo di un cavidotto interrato in MT, sino alla trasformazione e da questa, a mezzo di un cavidotto interrato in AT, ad una nuova stazione elettrica della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 220 kV "Partinico - Partanna" in contrada Volta di Falce nel Comune di Monreale (PA).

L'iniziativa s'inquadra nel piano di sviluppo di impianti per la produzione d'energia da fonte rinnovabile che la società "Renantis Sicilia S.r.l." intende realizzare nella Regione Sicilia per contribuire al soddisfacimento delle esigenze d'energia pulita e sviluppo sostenibile sancite sin dal Protocollo Internazionale di Kyoto del 1997, ribadite nella "Strategia Energetica Nazionale 2017" e successivamente dal Piano nazionale integrato per l'energia e il clima per gli anni 2021-2030.

L'applicazione della tecnologia fotovoltaica consente: la produzione d'energia elettrica senza emissione di alcuna sostanza inquinante, il risparmio di combustibile fossile, nessun inquinamento acustico e disponibilità dell'energia anche in località disagiate e lontane dalle grandi dorsali elettriche.



## 1.1 Inquadramento dell'area

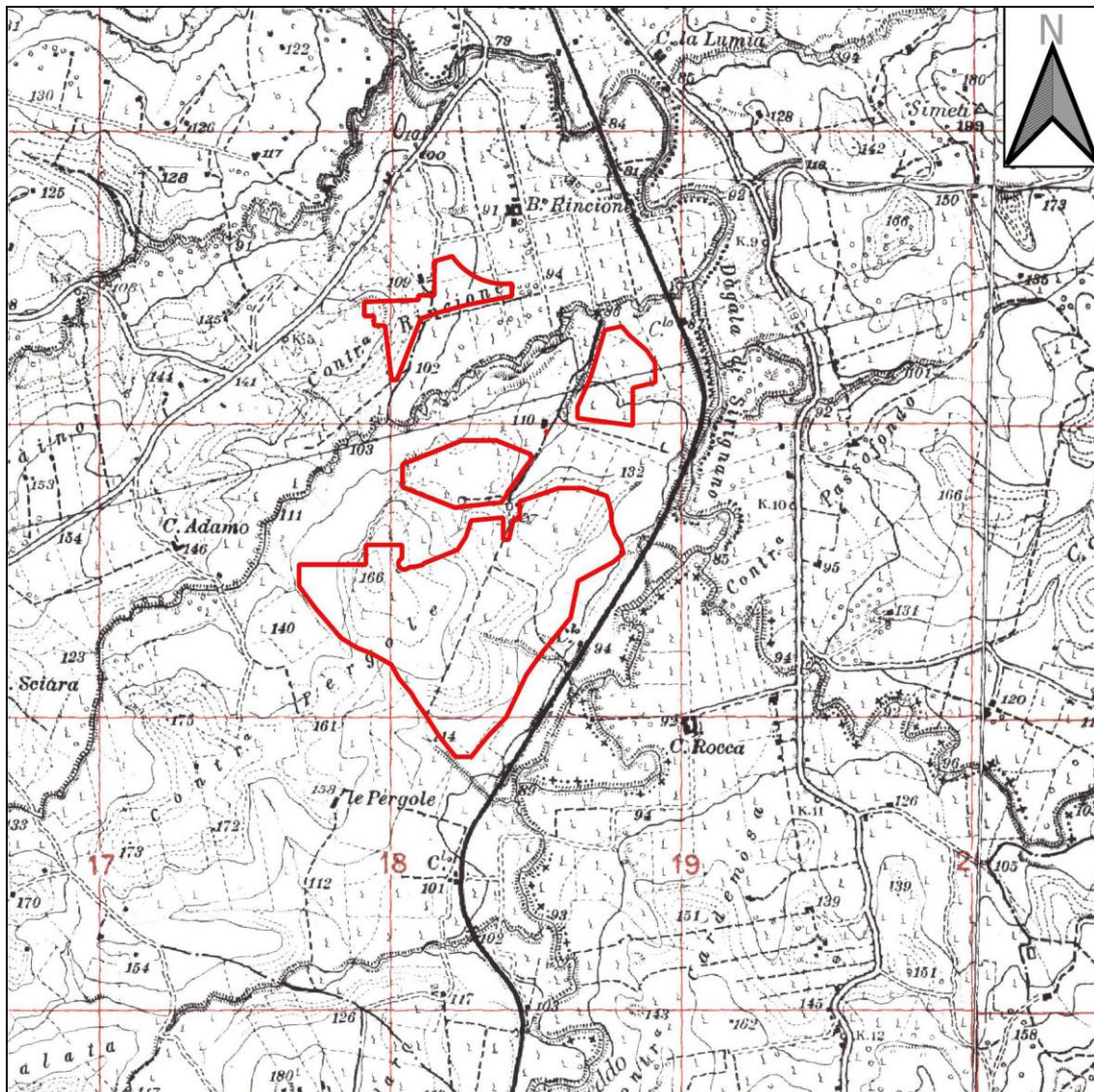
L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte occidentale della Sicilia; a cavallo tra le provincie di Trapani e Palermo. In dettaglio ci troviamo su un'area degradante in direzione sud ovest, facente parte del territorio comunale di Calatafimi Segesta, e ricadente nella contrada denominata *Pergole*. Inoltre si prevede di realizzare una cabina di consegna per la connessione alla rete elettrica nazionale nel territorio del comune di Monreale, in contrada *Volta di Falce*.



Topograficamente, l'impianto rientra nella Tavoleta "Calatafimi", Foglio n° 257, Quadrante I, Orientamento S.E., redatta dall'I.G.M.I. alla scala 1:25.000, mentre la cabina di consegna rientra nella Tavoleta "Monte Pietroso", Foglio n° 258, Quadrante IV, Orientamento S.O., redatta dall'I.G.M.I. alla scala 1:25.000; inoltre l'impianto ricade nella Sezione 606080 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000.



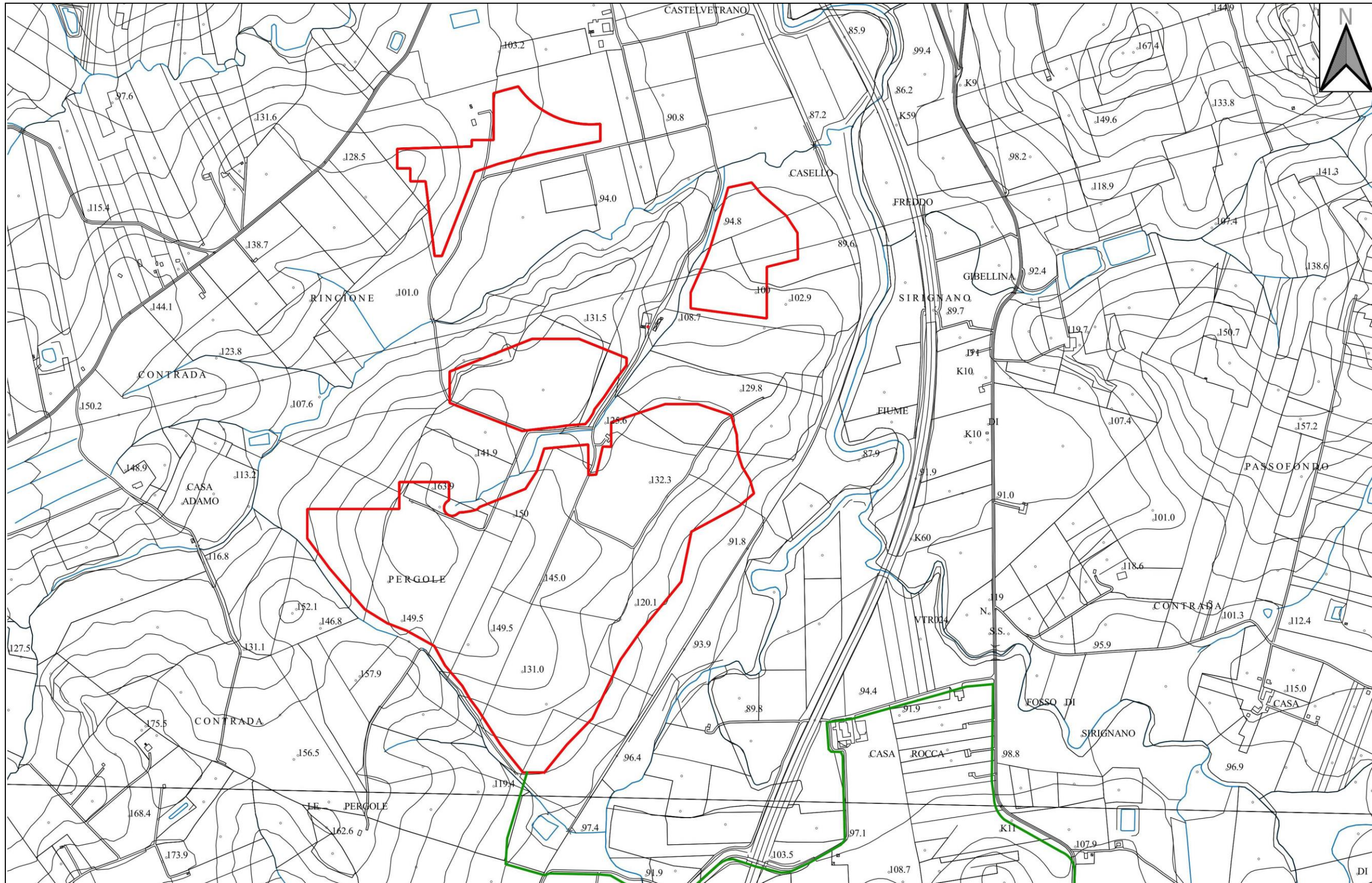
Come prima detto, si prevede di costruire una cabina di consegna elettrica che verrà realizzata sul territorio comunale di Monreale, in contrada *Volta di Falce*, e ricadrà nella Sezione 606120 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000.



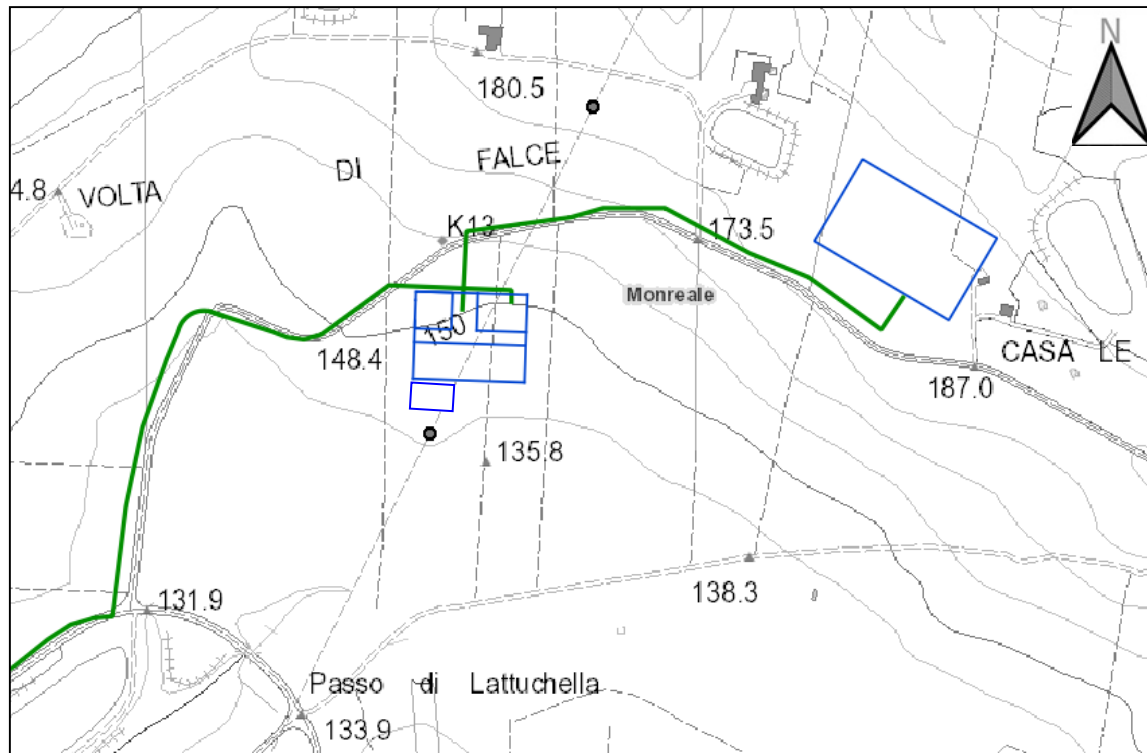
*Stralcio topografico in scala 1:25.000*

L'area, oggetto di studio, è un terreno rurale, attualmente caratterizzato in parte dalla presenza di impianti di vigneti, e circondato in parte da terreni agricoli prevalentemente sfruttati anch'essi a vigneti.





Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10.000 - Area impianto



**1.1.1.1 Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10.000 – Area impianto**

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco del generatore di 51,263 MWp ca. e prevede l'istallazione di n° 1222 inseguitori solari ad un asse (tracker orizzontali monoassiali a linee indipendenti) e 384 strutture fisse di supporto ai moduli fotovoltaici. L'impianto, di tipo grid-connected in modalità trifase (collegata direttamente alla rete elettrica di distribuzione). L'impianto di generazione fotovoltaica in progetto sarà installato direttamente a terra con struttura in acciaio zincato e l'energia elettrica da essi prodotta verrà convogliata ai gruppi di conversione (inverters) ed ai trasformatori di tensione distribuiti all'interno dell'area di impianto.

La consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto avverrà conformemente alla Soluzione Tecnica Minima Generale trasmessa da Terna S.p.a. al proponente in data 19/03/2021. In particolare l'energia sarà vettoriata, a mezzo di un cavidotto interrato in MT, sino alla trasformazione e da questa, a mezzo di un cavidotto interrato in AT, ad



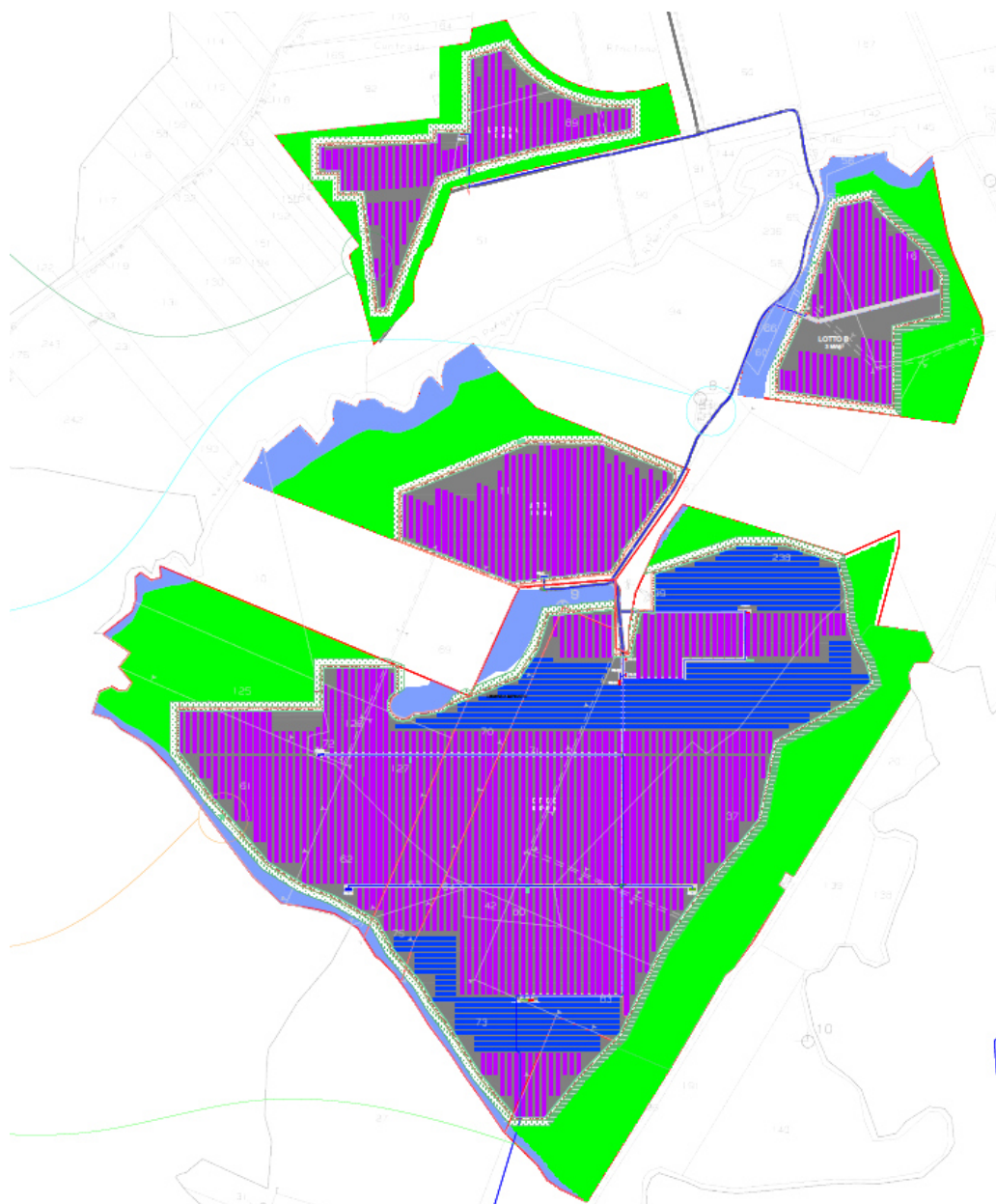
una nuova stazione elettrica della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 220 kV “Partinico - Partanna” in contrada Volta di Falce nel Comune di Monreale (PA).

Il progetto di parco fotovoltaico prevede la realizzazione di n° 4 lotti, tutti siti in c.da Pergole e limitrofi, così caratterizzati:

- lotto A: 11 ha ca.
- lotto B: 11 ha ca.
- lotto C: 14.4 ha ca.
- lotto D: 71.6 ha ca.

L'estensione totale dell'area di interesse è pari a 108 ha ca., su di essa si prevedono:

- Area impianto fotovoltaico (strutture sostegno pannelli, viabilità, cabine, etc.): 62.47 ha ca. entro cui ricadono, come previsto dal Progetto Agrovoltaiico, le seguenti colture/allevamenti:
  - Coltivazione di specie foraggere poliennali: 18.6ha ca.;
  - Coltivazione ortive da pieno campo per il consumo fresco: 12.4 ha ca.;
  - Coltivazione di foraggere annuali per la produzione di fieno: 6.2 ha ca.;
  - Coltivazione di leguminose per la produzione di mangimi: 3.1ha ca.;
  - Coltivazione di cereali per la produzione di mangimi: 3.1ha ca.;
  - Coltivazione di piante officinali per l'estrazione di principi attivi: 3.1 ha ca.;
  - Allevamento estensivo semibrado di ovini per la produzione di agnelli da carne: 18.6 ha ca. per 350 capi ca.;
  - Allevamento di api per la produzione di miele e altri prodotti dell'alveare: n° 14 apiari.



*Figura 1 lotti impianto fotovoltaico su base catastale con colture di cui alla Relazione progetto agrovoltaico (elaborazione interna)*

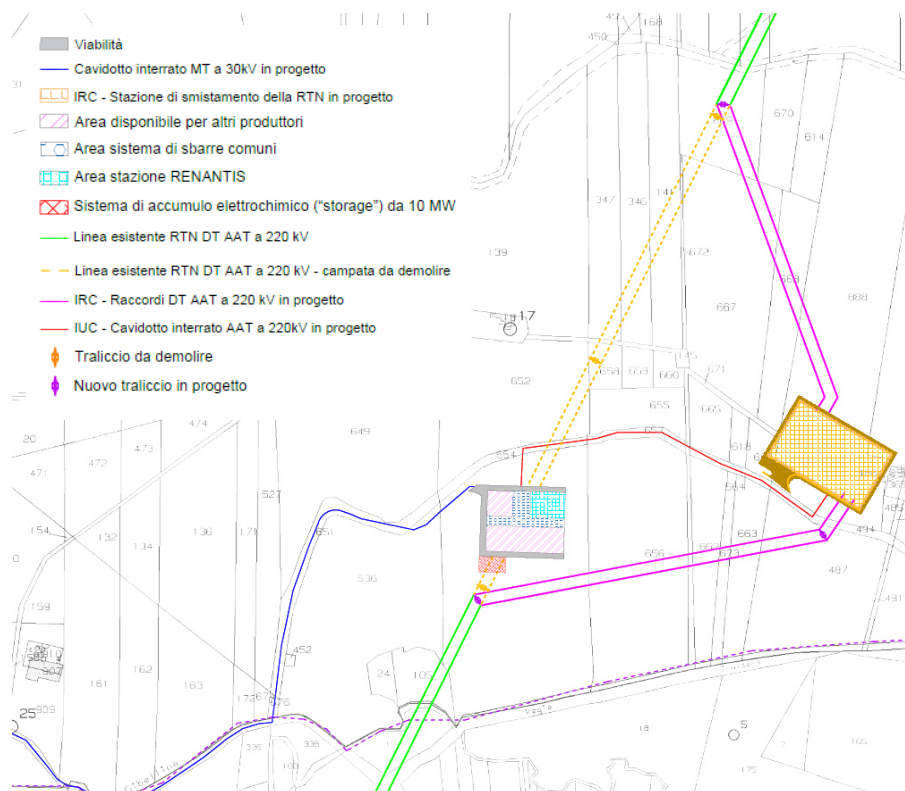
- Area fascia tagliafuoco: 3,56 ha ca.;
- Area fascia arborata di 10 m. di separazione e protezione dell'impianto fotovoltaico: 6,52 ha ca.;



- Aree esterne: 35,44 ha ca. entro cui ricadono, come previsto dal Progetto Agrovoltaico, le seguenti colture:
  - Area fasce di 10 m contermini agli impluvi: 6,19 ha ca.;
  - Aree colture esterne (uliveti): 29,25 ha ca..

Pertanto, dei complessivi 108 ha ca., si prevede di lasciare incolte soltanto le aree strettamente non coltivabili al di sotto delle strutture di sostegno pannelli, in corrispondenza della viabilità e cabine, pari a 16.1 ha ca..

Le stazioni elettriche di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in progetto su area agricola in c.da Volta di Falce nel comune di Monreale (PA), occuperanno complessivamente 2 ha ca..



*Stazioni elettriche per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) su base catastale*

Entrando nel dettaglio il parco fotovoltaico, includerà i seguenti elementi:



- *Moduli fotovoltaici in silicio monocristallino:* Il modulo fotovoltaico trasforma la radiazione solare incidente sulla sua superficie in corrente continua che viene poi convertita in corrente alternata dal gruppo di conversione. Per il progetto si prevede di utilizzare dei moduli monocristallini con tecnologia bifacciale da 570 Wp.
- *Inverter fotovoltaici e trasformatori BT/MT– Power station:* Il gruppo di conversione o inverter sarà idoneo al trasferimento della potenza dal generatore fotovoltaico alla rete, in conformità ai requisiti normativi tecnici e di sicurezza applicabili. Si è previsto di impiegare delle soluzioni chiavi in mano per l'alloggio dei trasformatori BT/MT e delle apparecchiature di campo ivi compresi gli inverter.
- *Strutture di supporto dei moduli:* le strutture di sostegno dei pannelli saranno sia del tipo fisso che del tipo ad inseguimento monoassiale. Queste ultime saranno dotate di un sistema meccanico che permetterà la rotazione del piano dei pannelli nella direzione est-ovest. L'interasse tra due strutture vicine sarà tale da evitare fenomeni di ombreggiamento ed è pari a 10.9 m. per quelle ad inseguimento e di 8.8 m. per quelle fisse.
- *Recinzione:* Ogni lotto sarà dotato di una recinzione in pali e rete metallica, di circa 2,50 m di altezza, e di un cancello carrabile di circa 10 m in ferro, scorrevole, con trave e pilastri in cls armato.
- *Viabilità:* All'interno di ogni lotto verranno realizzate delle strade carrabili di 5 m, al fine di favorire l'accesso dei mezzi, sia in fase di costruzione che di successiva manutenzione.
- *Opere idrauliche:* Dove 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 30 kV.



- *Cabine di smistamento*: All'interno dell'impianto sono previste delle cabine elettriche di smistamento che hanno il compito di raccogliere le linee elettriche provenienti dalle power station e l'ottimizzazione delle stesse.
- *Locale guardiania*: Sarà realizzato un locale guardiania con sala comandi e dotato di servizi.
- *Stazioni elettriche*: l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico verrà elevata di tensione presso una stazione di trasformazione (area impegnata 2000 mq ca.) collegata ad un sistema di sbarre (area impegnata 3000 mq ca. -di cui si prevede la possibilità di prolungamento per la condivisione con altri produttori) e da questo, vettoriata alla stazione di smistamento della rete di trasmissione nazionale (area impegnata 16000 mq ca.); dette stazioni elettriche sono previste in c.da Volta di Falce nel Comune di Monreale (PA).
- *Edifici stazioni elettriche*: le stazioni elettriche in progetto saranno dotate di idonei edifici per l'alloggio dei quadri BT ed MT, degli impianti ausiliari, dei sistemi di controllo ed antincendio.
- *Accumulo elettrochimico*: A servizio dell'impianto si è previsto di realizzare un opportuno sistema di accumulo elettrochimico ("storage") di potenza totale 10 MW ca., capacità della batteria: 20 MWh, area impiegata: 1900 mq ca..



Foto aerea in scala 1:10.000 impianto





*Foto aerea in scala 1:10.000 SSE*



## **2 Lineamenti geologici**

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

Le fasi tettoniche di questo settore siciliano, a partire dal Miocene medio, hanno un ruolo importante nella distribuzione delle litofacies in Sicilia.

La tettonica verificatasi nel Tortoniano inferiore provoca un notevole accorciamento delle aree di sedimentazione, generando pieghe allungate secondo la direzione NW-SE, faglie direzionali e accavallamenti. In relazione a tale fase si verifica il sollevamento con erosione di aree della Sicilia e tirreniche e deposizione di terreni clastico-detritici della Formazione di Cozzo Terravecchia, le cui modalità di trasporto e di sedimentazione sono dovute talora a correnti di torbida a partire da originari depositi fluvio-deltizi.

A questo evento, inoltre, è da attribuire la modificazione fisiografica dell'area mediterranea con la sedimentazione del Tripoli e della parte inferiore della serie evaporitica.

La tettonica inframessiniana, che separa il ciclo inferiore della serie evaporitica da quello superiore, è preceduta dal sollevamento con erosione di parte del calcare di base e dei gessi inferiori e deposizione delle torbiditi gessose .

Con l'inizio della deposizione dei gessi del secondo ciclo si ha l'interruzione delle comunicazioni tra il Mediterraneo e l'Atlantico.

Tali comunicazioni si ristabiliscono con l'inizio del Pliocene e quindi con la deposizione dei Trubi.

Nella parte alta del Pliocene inferiore una intensa fase tettonica di importanza regionale provoca la formazione di pieghe allungate secondo la direzione NE-SW ed il sollevamento con erosione di parte dei Trubi e formazione di depositi torbiditici.

Con la tettonica postsiciliana i movimenti sono in prevalenza verticali.



Nell'area in esame i segni lasciati da questo evento tettonico sono poco evidenti, mentre sono apprezzabili nelle aree dove dominano rocce rigide, in corrispondenza delle quali le dislocazioni possono raggiungere parecchie centinaia di metri.

Sulla base di un rilevamento geologico ampiamente esteso e dei dati desunti da alcune sezioni naturali ed artificiali, dai dati scaturiti dalle indagini dirette, dai dati della letteratura tecnica specializzata (*“Carta geologica Alcamo”* in scala 1:50.000 - F. 606, Università di Palermo – Dipartimento di Geologia e Geodesia - a cura di S. Bommarito, R.M. Bonni, R. Di Pietro, 1995), oltre ai dati in possesso dello scrivente per studi eseguiti in aree limitrofe, l'area di stretto interesse è caratterizzata dall'alto verso il basso da:

- *Depositi alluvionali attuali (28).*

Sono costituiti da depositi essenzialmente ghiaioso – sabbioso - ciottolosi, spesso con abbondante matrice argilloso - siltosa giallastra e con lenti argillose allungate intercalate a più altezze (Pleistocene sup. - Olocene);

- *Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27).*

Sono costituiti da depositi essenzialmente ghiaioso - ciottolosi, spesso con abbondante matrice argilloso - siltosa giallastra e con lenti argillose allungate intercalate a più altezze (Pleistocene sup. - Olocene);

- *Formazione Terravecchia*

Si tratta di *“terreni tardorogeni”* cioè di età compresa tra il Miocene superiore ed il Pliocene, discordanti sui terreni più antichi deformati dalla tettonica terziaria. Dopo le fasi tectogenetiche del Miocene medio, la paleogeografia dell'area siciliana è caratterizzata da una catena in sollevamento a Nord, con produzione di grandi volumi di sedimenti clastici che si vanno a depositare in discordanza sui terreni antistanti deformati. I prodotti di questo smantellamento (conglomerati, arenarie ed argille), si presentano con una marcata discordanza nelle aree più settentrionali dell'isola, e con discordanze sempre meno marcate, fino alla paraconcordanza, nelle aree più meridionali. La Formazione Terravecchia (Schmidt Di Friedberg, 1964), ascrivibile al Tortoniano superiore – Messiniano, è caratterizzata da un'alternanza



di argille, argille marnose, marne, sabbie e conglomerati, variamente associati tra di loro con prevalenza a volte della frazione argillosa, a volte di quella arenacea o di quella conglomeratica con graduali passaggi sia laterali che verticali. Questi terreni sono molto diffusi in tutta la Sicilia settentrionale e centrale e sono noti in letteratura con diverse denominazioni (Baldacci, 1886; Crescenzi & Gaffurini, 1955; Rigo De Righi, 1957; Ogniben, 1960; Marchetti, 1960; Broquet, 1968; Catalano & Sprovieri, 1970; Ruggieri *Et Alii*, 1969; Sprovierj, 1969; Aruta & Buccheri, 1971; 1978; Di Stefano & Catalano, 1978). Questa Formazione, sul terreno, è stata suddivisa in tre principali associazioni litologiche:

- Sabbie argillose giallastre (**13**) e grigiastre, talora micacee, gradate ed a laminazione parallela a grande scala ed obliqua, in strati da centimetrici a decimetrici con frequenti strutture da corrente e da carico alla base degli strati. A luoghi si rinvencono livelli di pochi centimetri, con abbondanti frammenti di molluschi e gasteropodi indeterminabili. Associate a tali depositi, ma in subordinate, argille siltose e siltiti laminate con sequenze del tipo Tb-c Tb-e di Bouma. A più altezze si rinvencono lenti conglomeratiche caratterizzate da modesta continuità laterale e da spessori compresi tra qualche decimetro e qualche metro. Frequente è la gradazione verticale, mentre la base di tali lenti è di norma erosiva, talora marcata da sciami di ciottoli di argilla. Lo spessore è compreso tra qualche decina di metri e trecento metri.
- Argille ed argille sabbiose grigiastre ed azzurre (**14**), argille siltose e siltiti laminate, marne grigio-verdastre in strati da centimetrici a decimetrici. Le argille di norma presentano la laminazione parallela a piccola scala mentre frequente è la laminazione obliqua e/o convoluta nelle siltiti. Il contenuto faunistico, assai ricco, è dato da: lamellibranchi, gasteropodi, ostracodi e foraminiferi per la maggior parte bentonici.

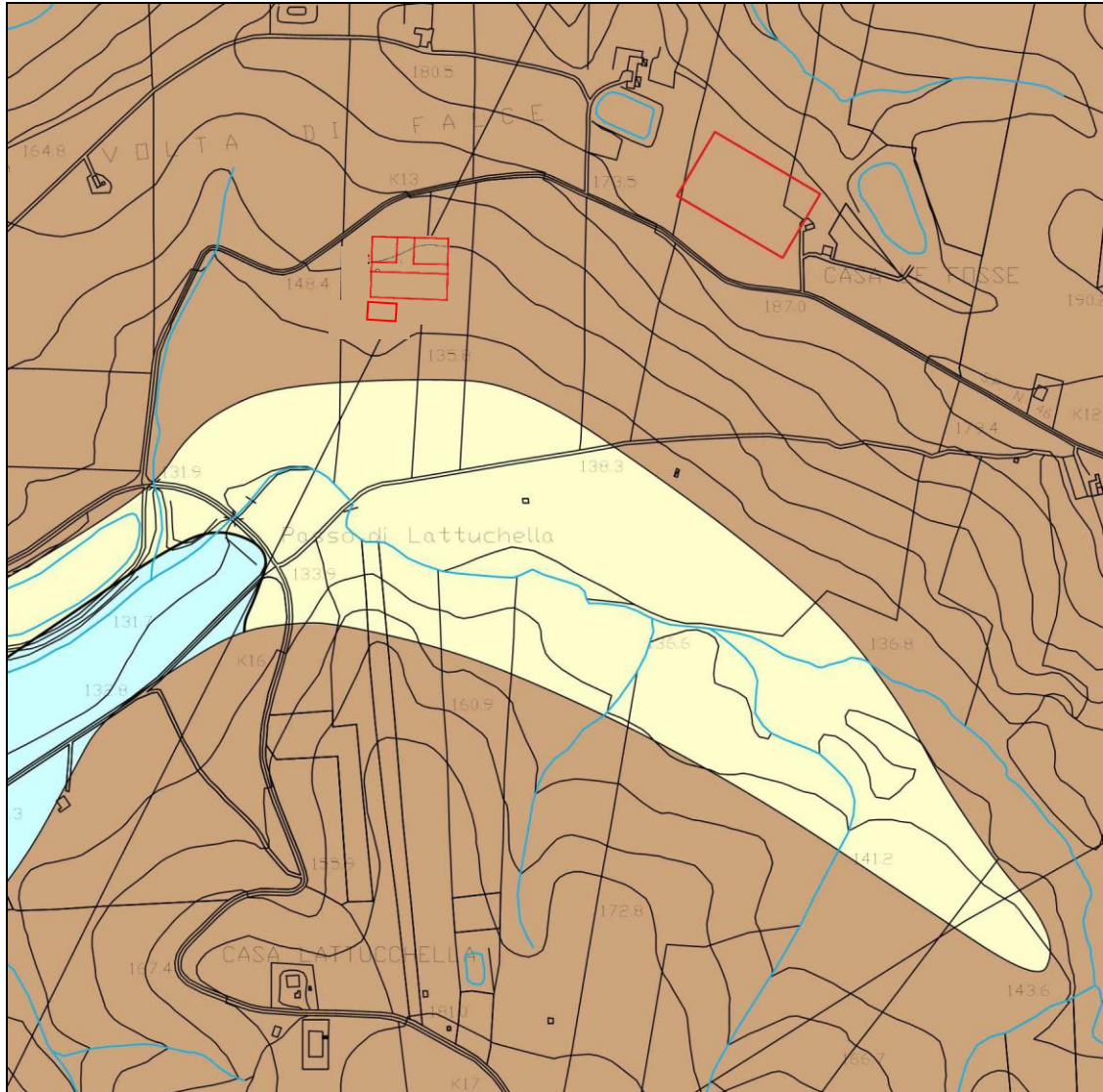
Tra i foraminiferi stratigraficamente più significativi sono stati riconosciuti ammonioide, elphididi, miliolidi, discorbidi, bulivinidi con *Bolivina spp.*, *Bulilnina sp.*, tra i foraminiferi planctonici *Globigerina spp.*, *Orbulina universa*



D'orbigny, *Orbulina suturalis* Bronniman, *Globorotalia acostensis* Blow. Lo spessore varia tra 100 e 400 metri.

Il parco da realizzare e la sottostazione, ricadono in parte sulle argille ed argille sabbiose della *Fm Terravecchia (14)* ed in parte sui *Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27)*.

Quanto fin qui descritto, è stato rappresentato nelle allegate **carte geologiche** in scala 1:10.000.



*Carta geologica area SSE in scala 1:10.000*



### 3 Lineamenti geomorfologici

La superficie topografica dell'area è caratterizzata da un andamento ondulato ed a tratti mammellonare, tipico dei versanti argillosi, ed i terreni degradano con valori variabili di pendenza, da bassi a medi, degradanti in direzione sud-ovest. Tali pendenze, vengono talora interrotte da terrazzamenti effettuati per sfruttare al meglio la zona dal punto di vista agricolo e/o per l'insediamento di opere ad uso abitativo.

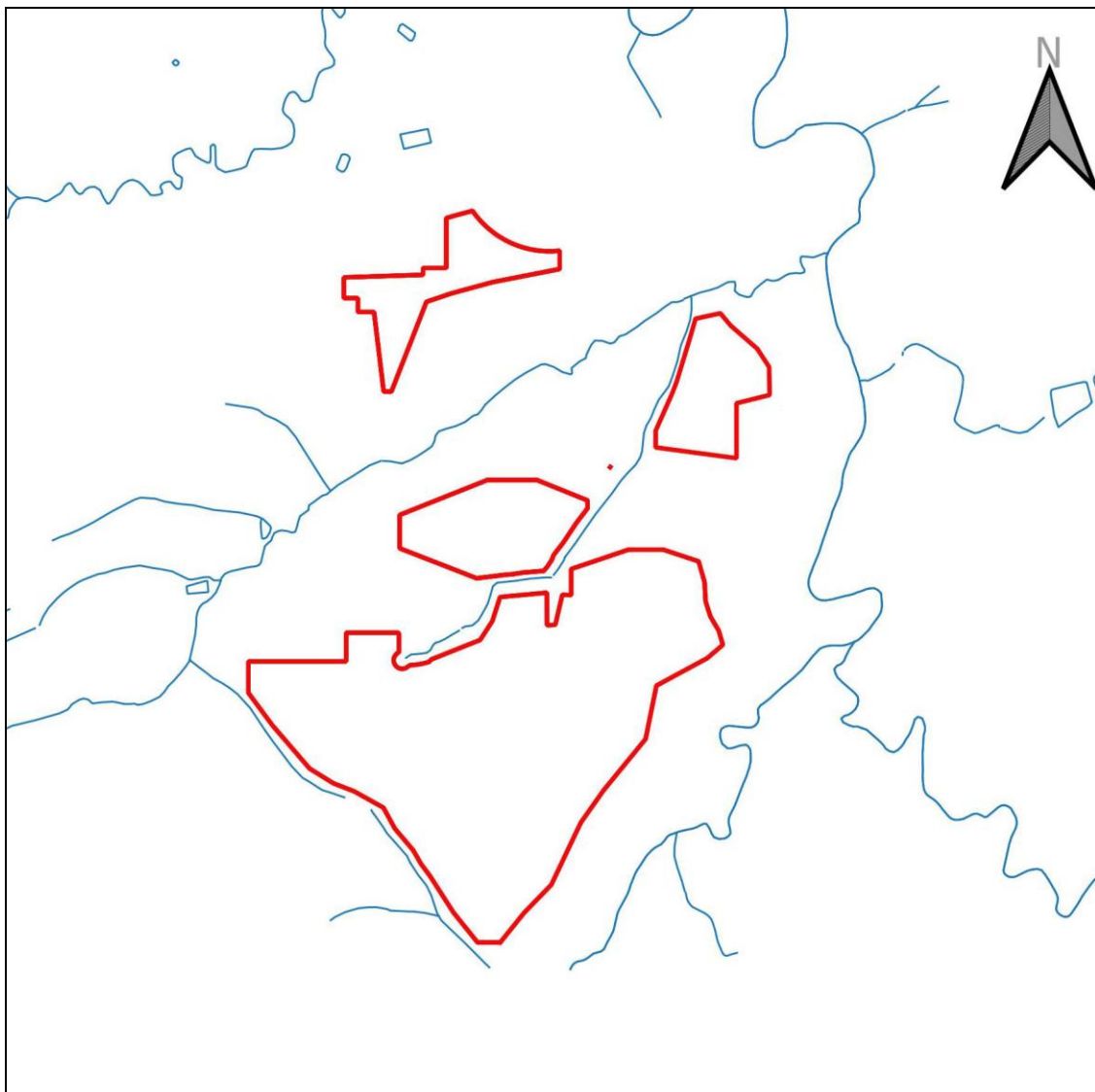


Come detto precedentemente, i terreni che compongono l'area in studio sono costituiti, nella loro generalità, da litotipi argillosi e sabbiosi (*Fm. Terravecchia*) che conferiscono ai versanti forme tipicamente mammellonari, ben raccordate, ondulate con superfici mosse ma non aspre, con salti di quota dove le pendenze risultano più elevate.



Per quanto attiene la 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.

Infatti l'area in oggetto è attraversata da due piccolissimi impluvi, privi di denominazione. Alla luce della presenza di tale morfotipo e come prescritto dal Regio Decreto 533/1904, non sono stati installati i pannelli sull'impluvio ed è stato rispettato un buffer maggiore di 10 metri rispetto alle sponde dello stesso.

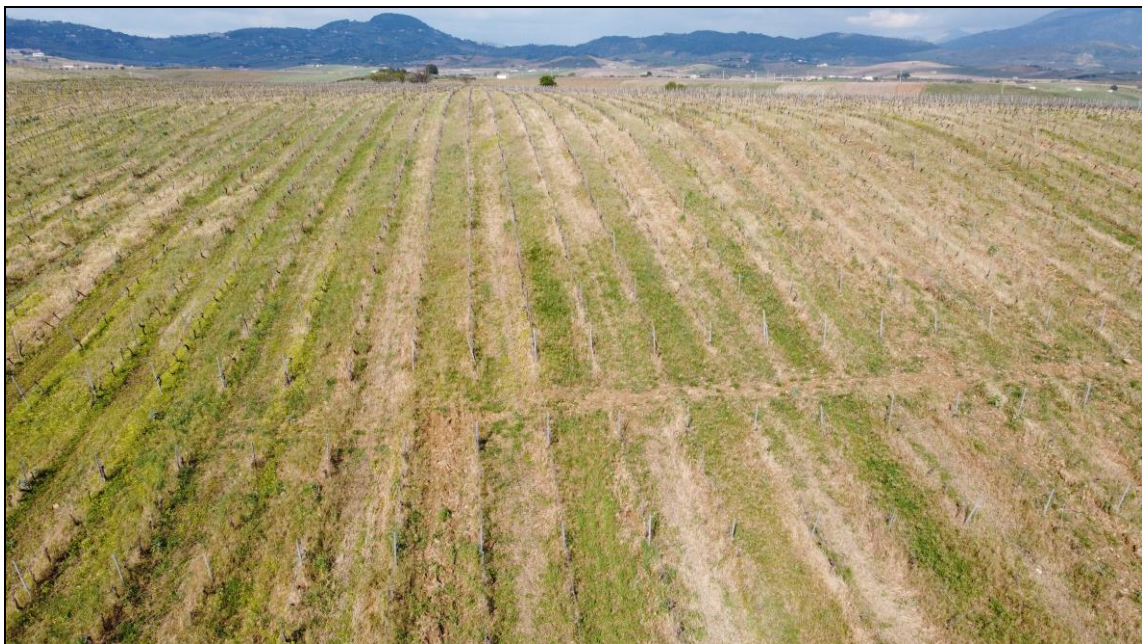


*Carta del reticolo idrografico in scala 1:15.000*





I versanti costituiti da terreni di natura argillosa, ampiamente diffusi nella zona, rientrano in una dinamica evolutiva caratterizzata, dove le pendenze risultano più accentuate, da localizzati e circoscritti fenomeni di dissesto, erosione di sponda ed erosione per dilavamento diffuso ad opera delle acque meteoriche. Nella loro generalità, detti litotipi sono costituiti da uno strato di alterazione di spessore variabile e da uno sottostante inalterato caratterizzato da una colorazione diversa. In generale, le caratteristiche fisico - meccaniche di tali materiali tendono a migliorare con la profondità.



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*).

In generale, quindi, i lineamenti morfologici essenziali dell'area sono in stretta relazione con le caratteristiche reologiche dei terreni affioranti; pertanto, le forme assunte dal paesaggio in seguito all'azione degli agenti geodinamici dipendono rigorosamente dalla resistenza all'erosione offerta da tali terreni.

Tenendo presente che nell'ambito della stessa formazione possono verificarsi sensibili differenze agli agenti esogeni, è possibile affermare che la resistenza dei litotipi presenti, in generale bassa, predispone il materiale ad essere facilmente disgregato ed alterato nelle porzioni più superficiali, predisponendo detti litotipi a fenomeni di riassetto.

Tali litotipi, spesso sono interessati all'interno della loro compagine, da una fitta maglia di microdiscontinuità di forme irregolari, che condiziona in modo rilevante la presenza di fluidi interstiziali, i quali a loro volta modificano fortemente la resistenza d'attrito dei singoli elementi e lungo i giunti di questi.

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

In sintesi sono stati osservati i seguenti morfotipi:

- ***alveo in approfondimento*** – si registra un'evoluzione piuttosto rapida in seguito a precipitazioni di forte intensità e lunga durata, in considerazione della natura argillosa del letto dei piccolissimi valloni presenti, caratterizzati da carattere torrentizio, con portate elevate solo nei periodi piovosi; tali dissesti sono localizzati al di fuori dell'impianto da realizzare.
- ***frane*** – sono stati localizzati dei dissesti superficiali, posti al di fuori del parco da realizzare, classificabili come colamenti lenti e deformazioni superficiali lente.

Durante le fasi di sopralluogo di un ampio areale dell'area in studio, si sono osservati sporadici 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 le opere di progetto 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



fotovoltaico è stabile e che l'installazione dei pannelli e delle strutture ad essi collegati, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In merito all'invarianza idraulica è importante sottolineare che, nel progetto in oggetto si prevede di impermeabilizzare solo ed esclusivamente le aree di sedime delle opere di fondazione delle apparecchiature elettromeccaniche e le aree riservate ai locali dalle opere di connessione alla rete; inoltre va sottolineato che la viabilità interna all'impianto non verrà asfaltata o comunque impermeabilizzata.

Inoltre è previsto l'inerbimento tra i filari costituiti dalle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici, che consentirà di mantenere inalterate le caratteristiche di permeabilità del terreno; quindi l'inerbimento e la manutenzione della superficie di impatto dell'acqua nonché la limitazione della superficie captante e dell'accelerazione delle particelle d'acqua, consentirà di arginare sia il fenomeno dello *splash erosion* che quello dello *sheet erosion* connessi alla installazione dei pannelli fotovoltaici.

Dalle considerazioni sin qui esposte, i previsti lavori per la realizzazione di quanto in progetto, non porteranno alcuna modifica al deflusso superficiale delle acque meteoriche né alcuna interferenza con l'assetto idrogeologico delle acque di circolazione profonda.

Si può concludere pertanto che, non si ravvede la possibilità del manifestarsi di condizioni di pericolosità idraulica con effetti diretti sia sui manufatti che sulle aree interessate dalle opere sia sui corpi recettori posti a valle del progetto. Pertanto, vista la sostanziale assenza di modifiche geomorfologiche, la mancanza di modifica delle aree dei bacini scolanti e l'inalterata permeabilità delle aree oggetto di installazione dei pannelli fotovoltaici, si può concludere che il progetto garantisce un risultato di invarianza idraulica sui recettori naturali posti a valle delle opere.

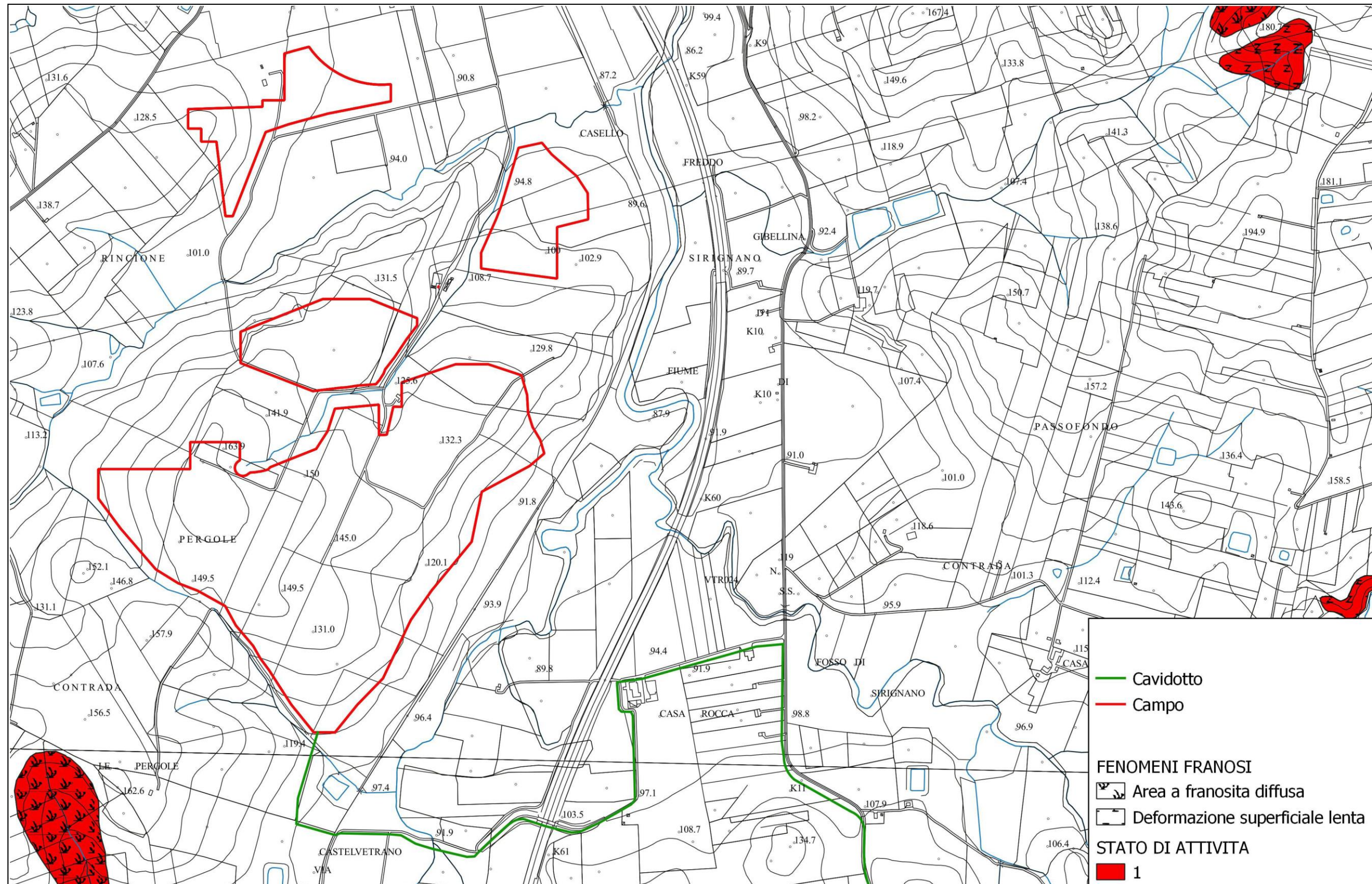
In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al bacino idrografico relativo al *Bacino Idrografico del F. San Bartolomeo (045)*, *Area territoriale tra il bacino del F. Jato e il F. San Bartolomeo (044)*, *Area territoriale tra il bacino del F. San Bartolomeo e Punta di Solanto (046)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto Presidenziale del 04.06.2007, sulla G.U.R.S. n° 36 del 10.08.2007, e la zona di stretto

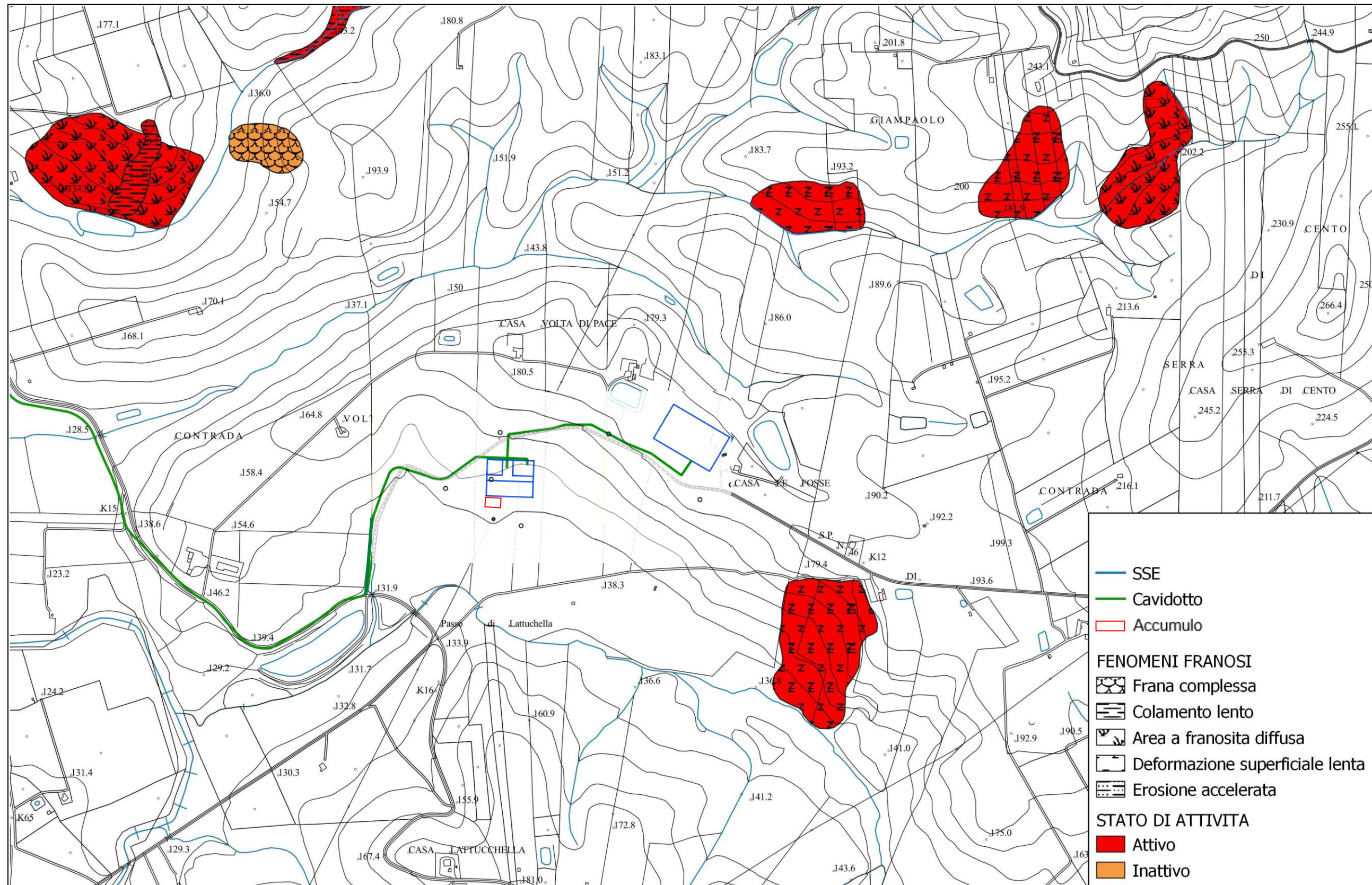


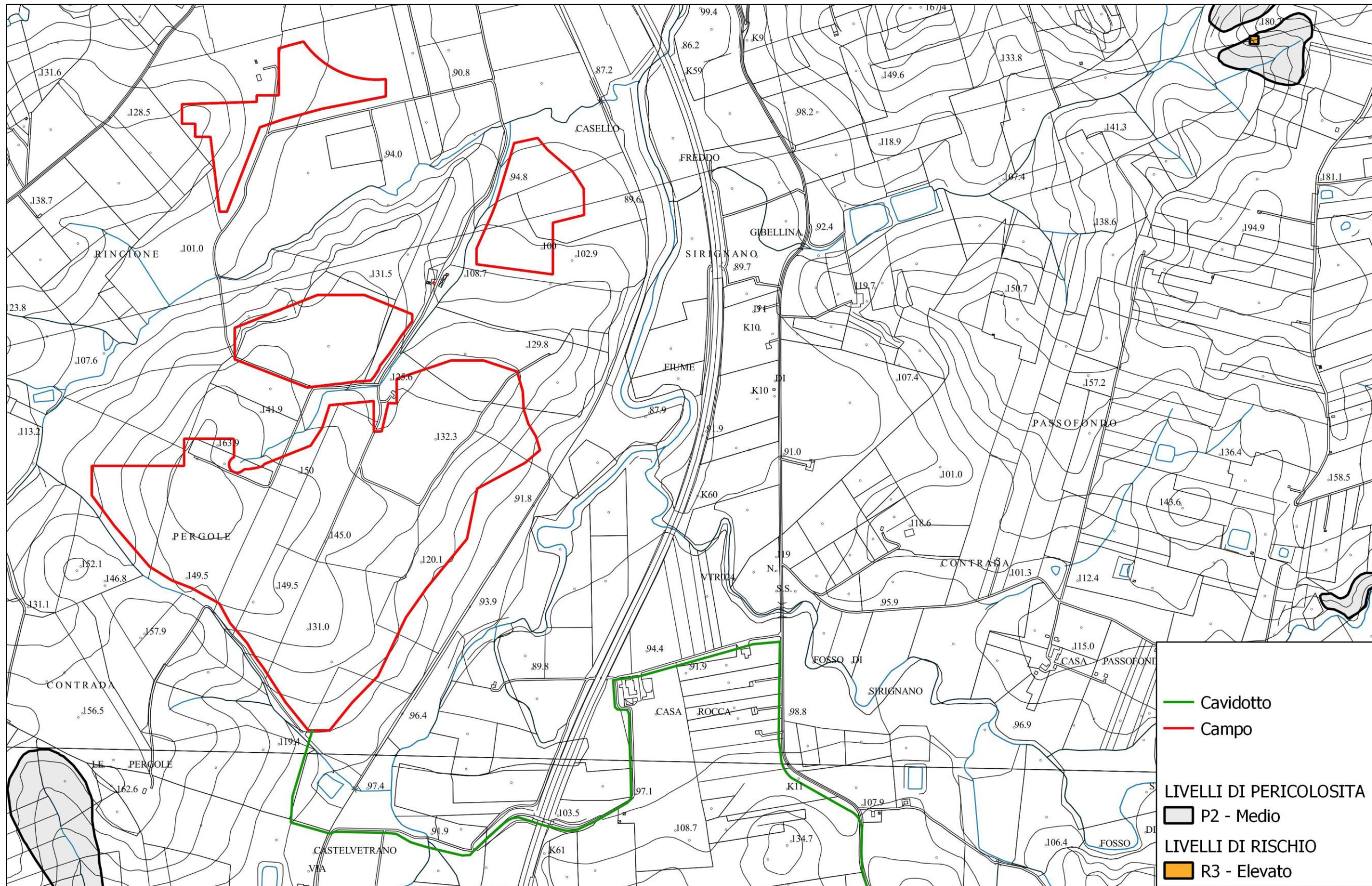
interesse, non ricade ne in aree in dissesto, ne in aree a rischio, ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

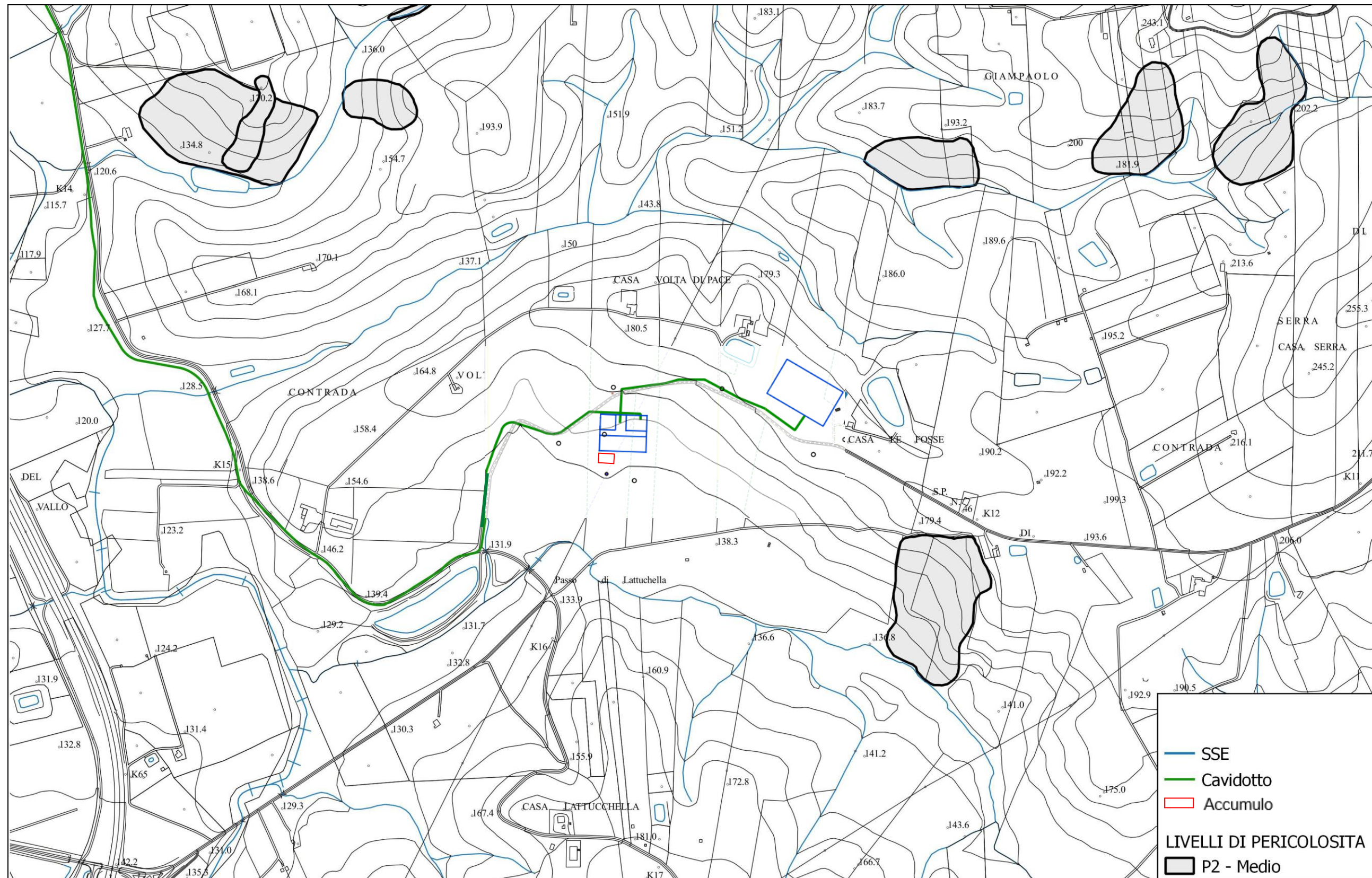
Di seguito si allegano inoltre i seguenti stralci, relativi al bacino idrografico in esame, con l'ubicazione delle aree di intervento:

- *Carta dei dissesti (area impianto);*
- *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico (area impianto);*
- *Carta dei dissesti (area sottostazione);*
- *Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico (area sottostazione).*













## 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 permeabili per porosità e/o fratturazione e/o fessurazione*;
3. *rocce impermeabili*.

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (*rocce permeabili per porosità*), sono stati inclusi i sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27), i sedimenti che costituiscono depositi alluvionali attuali (28).



Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella seconda classe (*rocce permeabili per porosità e/o fratturazione e/o fessurazione*), sono stati inclusi i sedimenti sabbiosi ed arenacei della *Formazione Cozzo Terravecchia (14)*.

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.

E' stato incluso nella terza classe (*rocce impermeabili*), il membro argilloso della *Formazione Terravecchia (13)*.

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

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

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

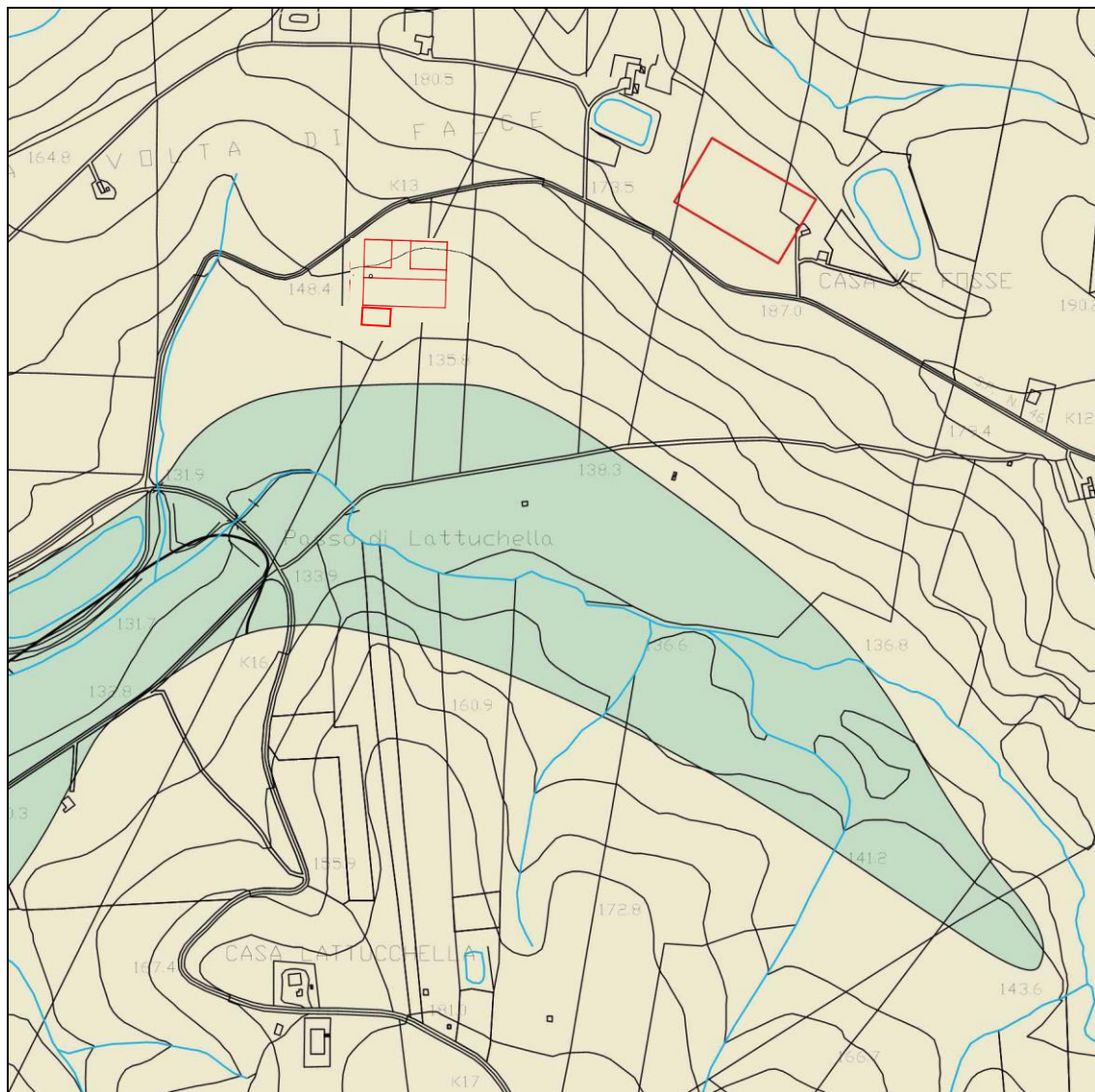
<b>LITOTIPO</b>	<b>TIPO DI PERMEABILITÀ</b>	<b>GRADO DI PERMEABILITÀ</b>	<b>COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ</b>
<i>Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27); Sedimenti alluvionali ed eluvio colluviali (28)</i>	4.1.1 Porosità	alta	$10^{-1}-10^{-3}$
<i>Membro sabbioso ed arenaceo della Formazione Terravecchia (13)</i>	Porosità e/o fratturazione e/o fessurazione	alta	$10^{-2}-10^{-4}$
<i>Membro argilloso della Formazione Terravecchia (13)</i>	Impermeabili	da bassa a molto bassa	$10^{-6}-10^{-9}$



*Schema riepilogativo*

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

Quanto fin qui detto è stato riportato nelle allegate **carte idrogeologiche** in scala 1.10.000.



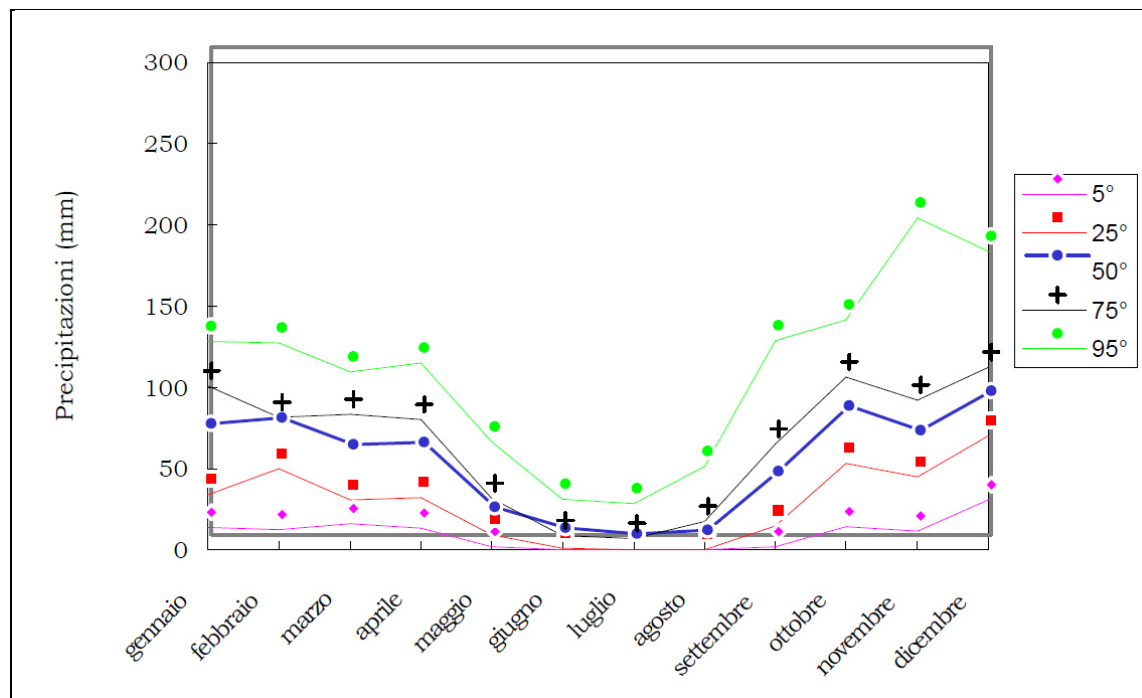
*Carta idrogeologica in scala 1:10.000 – Area SSE*



## 5 Considerazioni di carattere climatico

La stazione pluviometrica presente nell'area è Gibellina (410 m s.l.m.); tale stazione, gestita dal Servizio Tecnico Idrografico Regionale della Sicilia, ha permesso la registrazione di una serie completa di dati pluviometrici e termometrici trentennali e che ben rappresenta il regime climatico nella zona.

Dai dati dell'Atlante climatologico del Servizio Informativo Agrometeorologico del Dipartimento Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia sono stati desunti alcune informazioni di carattere climatico che di seguito vengono riportati.



Andamento delle precipitazioni per la stazione di Gibellina

	<i>min</i>	5°	25°	50°	75°	95°	<i>max</i>	<i>c.v.</i>
<i>gennaio</i>	8	14	34	68	101	128	172	59
<i>febbraio</i>	5	13	50	72	82	127	141	46
<i>marzo</i>	0	16	31	55	84	109	147	58
<i>aprile</i>	3	14	32	57	80	115	146	57



<i>maggio</i>	0	2	9	17	32	66	105	97
<i>giugno</i>	0	0	1	4	9	31	51	147
<i>luglio</i>	0	0	0	1	7	28	38	177
<i>agosto</i>	0	0	0	3	18	51	72	153
<i>settembre</i>	1	2	15	39	65	129	142	90
<i>ottobre</i>	11	14	53	79	106	141	195	55
<i>novembre</i>	2	11	45	64	92	204	289	80
<i>dicembre</i>	23	31	70	89	112	184	234	50

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

In base all'indice climatico di De Martonne ( $I_a = 19$ ), determinato in uno studio della Regione Sicilia, il clima dell'area è stato classificato semiarido. Dai dati dell'Atlante climatologico del Servizio Informativo Agrometeorologico del Dipartimento Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia la precipitazione media annua per l'anno idrogeologico 1965-1994 è pari a circa 520 mm/a.



## 6 Considerazioni geologico - tecniche

Da quanto osservato dal rilevamento geologico, e da quanto rilevato durante l'esecuzione delle indagini geognostiche, si può affermare che i terreni affioranti nell'area ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico e l'area della sottostazione, sono caratterizzati da una copertura di suolo che sormonta litotipi afferenti alla *Formazione Terravecchia* ed in piccola parte da .

Ricapitolando i due orizzonti che caratterizzano l'intero versante sono:

- *suolo agrario (SA)*;
- *Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (SAAR)*;
- *Fm. Terravecchia (FTA - FTB)*.

I *sedimenti alluvionali antichi e recenti (SAAR)*, sono caratterizzati da un'estrema variabilità granulometrica dovuta alla presenza di materiali grossolani (ghiaie e ciottoli) in matrice argillosa - limosa - sabbiosa.

I *depositi quaternari*, sono definite rocce “*incoerenti*” o “*sciolte*” e sono costituite, nel loro insieme, da sabbie miste a silt con inclusi ghiaie e ciottoli, argille limose ed argille sabbiose.

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

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

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



Con riferimento ai risultati delle prove di laboratorio eseguite su campioni di analoga facies petrografica, si fa riferimento alla seguente caratterizzazione meccanica:

- $\gamma = 18.2 \text{ KN/m}^3$ .
- $c' = 0.0 \text{ KN/m}^2$ ;
- $\phi' = 23^\circ$ ;

I litotipi appartenenti alla formazione *Terravecchia*, sono caratterizzati da sabbie argillose, argille sabbiose con inclusi rari ciottoli, che nella parte superficiale presentano un certo grado di alterazione che tende con la profondità a ridursi fino ad annullarsi, allorquando le argille si presentano grigiastre, asciutte e consistenti.

Tralasciando tali intercalazioni, costituite da materiale lapideo con caratteristiche geotecniche migliori rispetto alle argille, che influenzano in maniera del tutto locale il comportamento globale di tali terreni, è da annoverare come la struttura acquisita dai sopraddetti terreni sia l'effetto combinatorio delle diverse pressioni sviluppatesi nel corso degli eventi tettonici a cui sono stati sottoposti tali materiali durante le diverse ere geologiche.

Infatti, tali argille sono sovraconsolidate ed interessate da una fitta rete di discontinuità che le suddivide in "scaglie" dalla forma irregolare e dalle dimensioni variabili dal millimetro a qualche centimetro.

Dal punto di vista geotecnico, tali materiali sono classificati come "*rocce pseudocoerenti*" e si rileva una certa variabilità anche su campioni prelevati a brevi distanze, sia per l'orientamento delle scaglie, sia per le dimensioni e l'entità del sistema fessurativo presente.

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.

Inoltre, appare non indifferente il problema del disturbo arrecato a tali terreni durante le fasi di campionamento.

Per la parametrizzazione geotecnica si è fatto riferimento a indagini geognostiche eseguite su terreni di analoga facies petrografica.





Con riferimento ai risultati delle prove di laboratorio eseguite su campioni di analoga facies petrografica, si fa riferimento alla seguente caratterizzazione meccanica:

- $\gamma = 18.3 \text{ KN/m}^3$ .
- $c' = 2.94 \text{ KN/m}^2$ ;
- $\phi' = 25^\circ$ ;

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>CARATTERISTICHE FISICO / MECCANICHE</b>	<b>VALORI</b>
<b>Suolo agrario (SA)</b>	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	<b>17.8 KN/m<sup>3</sup></b> <b>0.0 KN/m<sup>2</sup></b> <b>18°</b>
<b>Sedimenti alluvionali (SAAR)</b>	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	<b>18.02 KN/m<sup>3</sup></b> <b>0.00 KN/m<sup>2</sup></b> <b>23°</b>
<b>Argille sabbiose della Formazione Terravecchia (FTA - FTB)</b>	peso dell'unità di volume coesione angolo di attrito interno	<b>18.3 KN/m<sup>3</sup></b> <b>2.94 KN/m<sup>2</sup></b> <b>25°</b>

*Colonna geotecnica riepilogativa*

Lo spessore del suolo agrario è in media di circa 80 centimetri.



## 7 Considerazioni litotecniche

Relativamente alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni ricadenti nell'area in studio, oltre ai dati in possesso dello scrivente, alle indagini dirette eseguite e quelli tratti dalla letteratura tecnica specializzata per analoghe facies petrografiche, si sono potuti suddividere i litotipi costituenti l'intero territorio da oggetto di variante urbanistica ed un suo ampio intorno in, "unità litotecniche", che sono state opportunamente riportate nell'allegata cartografia litotecnica redatta in scala 1:5.000.

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

Passando in rassegna i terreni presenti nel territorio in esame, relativamente alle unità litotecniche di copertura queste sono rappresentate dai *Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27)* ed i *Depositi alluvionali attuali (28)*; 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. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **G1c**.

I terreni presenti nel territorio in esame, relativamente alle unità litotecniche di substrato, sono rappresentate da *Argille, argille sabbiose e marne grigie, grigio verdastre o azzurrognole, (14)* della **Fm. Terravecchia**. Si tratta di successioni conglomeratico – sabbioso – argillose; sedimenti a grana fine e finissima; limi argillosi od argille. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **CH1**.

Altri terreni di substrato sono le *Argille sabbiose, sabbie e arenarie da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata, alternate con peliti e lenti conglomeratiche (13)* della **Fm. Terravecchia**. Si tratta di successioni conglomeratico – sabbioso – argillose; sedimenti a grana medio fine; materiali coesivi, sabbie limose e limi sabbiosi. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **CG2**.

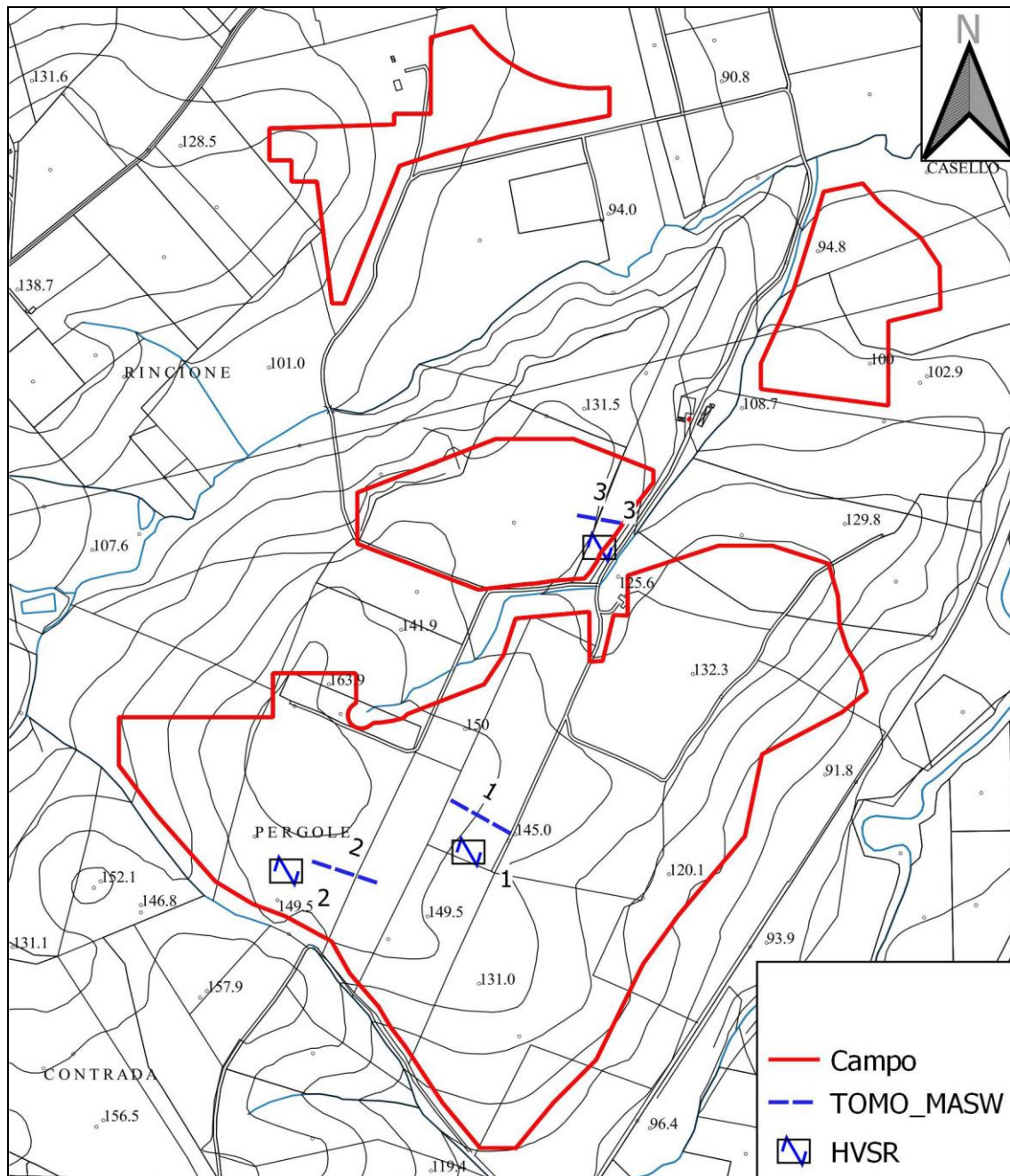


Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nell'allegata **carta litotecnica** in scala 1:10.000.



## 8 Sismica a rifrazione

Sull'area ove si propone la realizzazione dell'impianto fotovoltaico, sono state eseguite 3 stese sismiche a rifrazione utilizzando un array di n. 20 geofoni con interasse di 2 m.





*Carta delle indagini in scala 1:10.000*

Tutte le indagini sismiche eseguite sono state rappresentate nell'allegata carta delle indagini in scala 1:10.000.

Le indagini effettuate hanno consentito l'acquisizione di valori di velocità sismiche, del primo strato di terreno e dei "rifrattori" successivi, al fine di valutarne lo spessore, l'assetto geometrico - giaciturale e di effettuare una caratterizzazione sismostratigrafica dei litotipi presenti.

Inoltre è stata eseguita un'indagine geofisica 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.



*Stesa sismica ST 1*



*Stesa sismica ST 2*



*Stesa sismica ST 3*



## **8.1 Profilo sismico a rifrazione – Linea di tomografia sismica**

Sono state eseguite, per procedere ad una ricostruzione bidimensionale delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo con lo scopo di evidenziare eventuali anomalie di velocità sismica dei terreni ad integrazione dei dati ottenuti dall'esecuzione di indagini dirette eseguite in aree limitrofe a quelle in studio.

In dettaglio sono state eseguite n. 3 stese sismiche a rifrazione con interpretazione tomografica. Le sezioni tomografiche sono state disposte, come rappresentato nella planimetria allegata.

I quattro stendimenti sono stati eseguiti utilizzando, n° 20 geofoni distribuiti con le seguenti geometrie:

- spaziatura intergeofonica fissata in 2 metri;
- n° 8 punti di energizzazione, di cui n° 4 all'esterno dello stendimento con distanza pari all'equispaziatura geofonica e n°4 all'interno della stesa sismica;
- lunghezza massima complessiva degli stendimenti pari a 40 + 4 metri.

Per il rilievo delle velocità sismiche è stata utilizzata una strumentazione multicanale dotata di microprocessore e convertitore A/D a 64 bit, caratterizzata da un'alta frequenza di campionamento (da 100 a 1.000 microsec), da una lunghezza record dati da 50 ms a 60 s, nonché da sistemi di acquisizione ad incremento di segnale, preview, possibilità di congelamento delle tracce, sistema di filtri per la riduzione del noise, sistema di amplificazione a virgola fluttuante, AGC, ecc..

L'energizzazione del terreno è stata ottenuta tramite una massa da 10 kg battente verticalmente su una piastra metallica di accoppiamento al terreno, mentre per il rilievo delle onde sismiche sono stati utilizzati geofoni ad alto guadagno a 4.5 Hz di tipo verticale.

Le registrazioni delle tracce sismiche sono state visualizzate direttamente in sito, dove sono state eseguite le letture preliminari dei tempi di arrivo ed il controllo di qualità dei dati; tali registrazioni, successivamente, sono state trasferite e memorizzate su supporto magnetico per la seguente fase di trattamento ed elaborazione al computer. I dati così conservati, in fase di interpretazione hanno consentito comunque un'accurata



analisi dei tempi di arrivo, nonché uno studio delle fasi successive al primo impulso, al filtraggio del noise, ecc..

Nei diagrammi delle dromocrome si è tuttavia riscontrato un notevole “scattering” dei dati, con “anticipi” e/o “ritardi”, non sempre assimilabile ad un modello pian-parallelo con strati ben definiti e limiti netti. I segnali, comunque, opportunamente filtrati e ripuliti dagli effetti transienti, hanno permesso un’attendibile ricostruzione sismostratigrafica dei terreni presenti nel sottosuolo dell’area oggetto dell’indagine, con una buona omogeneità e congruità dei risultati tra i diversi profili e il modello stratigrafico locale ricavato dalle perforazioni, almeno fino alla profondità massima raggiunta dalla prospezione.

Le registrazioni sismiche sono state elaborate mediante un processo d’inversione per la ricostruzione della propagazione del fronte d’onda sismica. La procedura di interpretazione tomografica è stata suddivisa in 2 fasi:

- applicazione di una tecnica di pseudo-inversione bidimensionale che realizza per ogni geofono un profilo continuo di velocità in funzione della profondità (metodo Delta-t-v - Gebrande e Miller, 1985), seguita dal calcolo di un profilo medio di “velocità-profondità” (media dei singoli profili di velocità alle profondità comuni), che, esteso lateralmente per tutta la lunghezza dello stendimento, consente la stima di un modello continuo monodimensionale di velocità in funzione della profondità (gradiente monodimensionale di velocità sismica);
- assumendo come dato di partenza il modello di velocità valutato in precedenza, si avvia il processo di inversione iterativo utilizzando un algoritmo tomografico che permette la ricostruzione della propagazione del fronte d’onda sismica, in maniera fisicamente significativa, attraverso una modellazione che utilizza il percorso dei raggi sismici.

Tale procedura consente di manipolare parecchie situazioni geologiche reali, quali distribuzioni discontinue della velocità sismica con brusche variazioni dei gradienti di velocità sia in senso verticale che laterale causate da zone di deformazione.

Il modello calcolato viene in seguito comparato con il modello sperimentale e se l’adattamento è considerato soddisfacente, sia dal punto di vista dell’errore matematico





(residui temporali) sia considerando eventuali informazioni note riguardo le caratteristiche fisiche del sottosuolo indagato (dati geologici, geognostici o di precedenti indagini geofisiche), tale risultato viene ufficializzato, rappresentando il modello attraverso una mappa a colori della distribuzione della velocità in funzione della profondità.

Il controllo di qualità dei modelli sismostratigrafici è eseguito dalla diretta comparazione grafica tra i tempi di percorso valutati sperimentalmente e quelli calcolati dalla soluzione del modello.

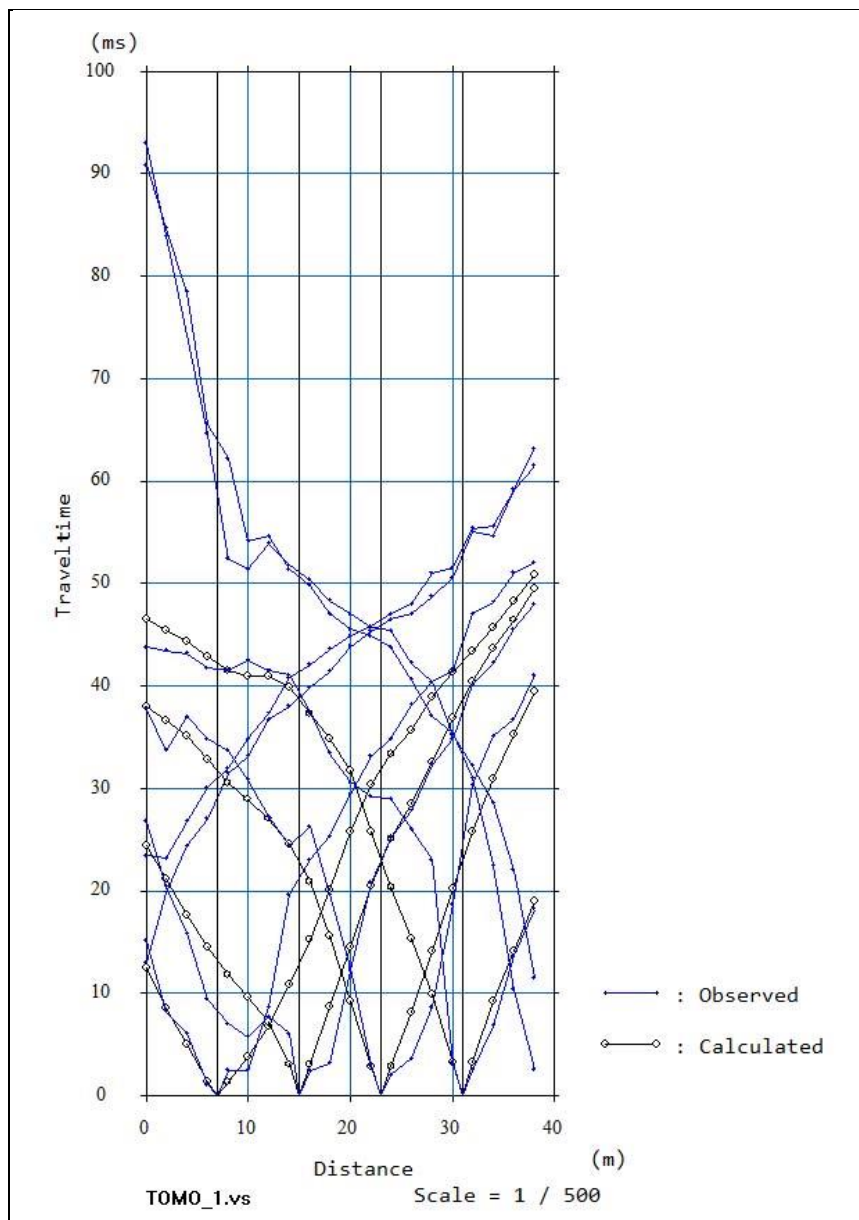
Gli elaborati precedentemente citati sono forniti nelle tavole grafiche relative alle sezioni tomografiche in onda P eseguite. In particolare sono state riportate, i singoli sismogrammi riferiti agli scoppi effettuati, il diagramma delle dromocrone sperimentali e interpretate e le sezioni sismo-stratigrafica, prendendo anche come taratura le indagini geognostiche dirette eseguite

In generale il modello interpretativo prescelto ha individuato un andamento delle velocità sismiche crescente con una certa regolarità con l'approfondimento.

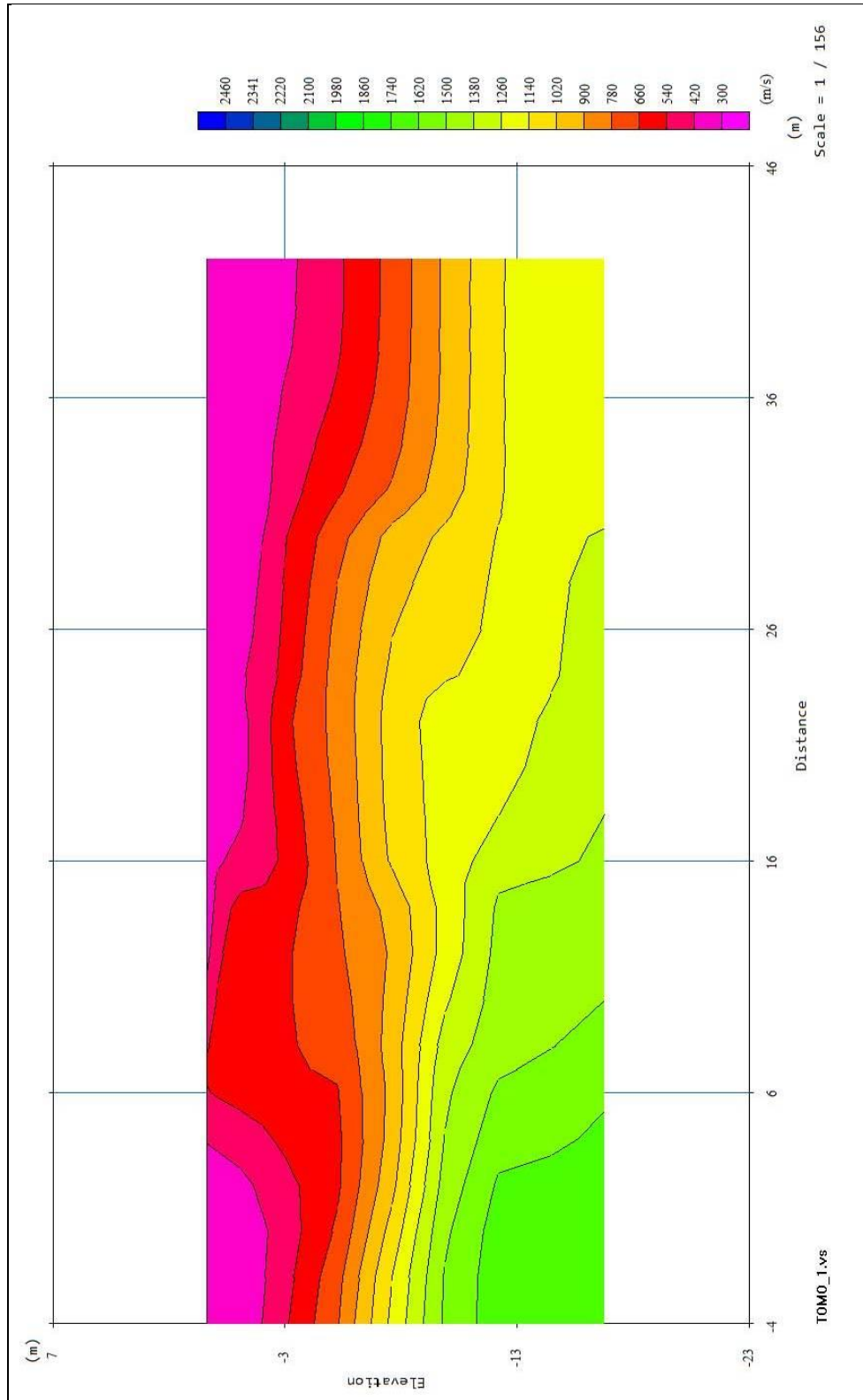
Analizzando in dettaglio individualmente le linee tomografiche acquisite si possono trarre le seguenti considerazioni:



**ST1** – L'intervallo di valori di  $V_p$ , entro la profondità raggiunta dall'indagine (circa 16 m), è compreso tra 300 m/s e 1800 m/s. Sono stati individuati tre strati differenti, il primo rappresentato da una copertura piuttosto omogenea e di spessore molto esiguo e gli altri due che rappresentano, il primo la porzione alterata ed il secondo la formazione di base.



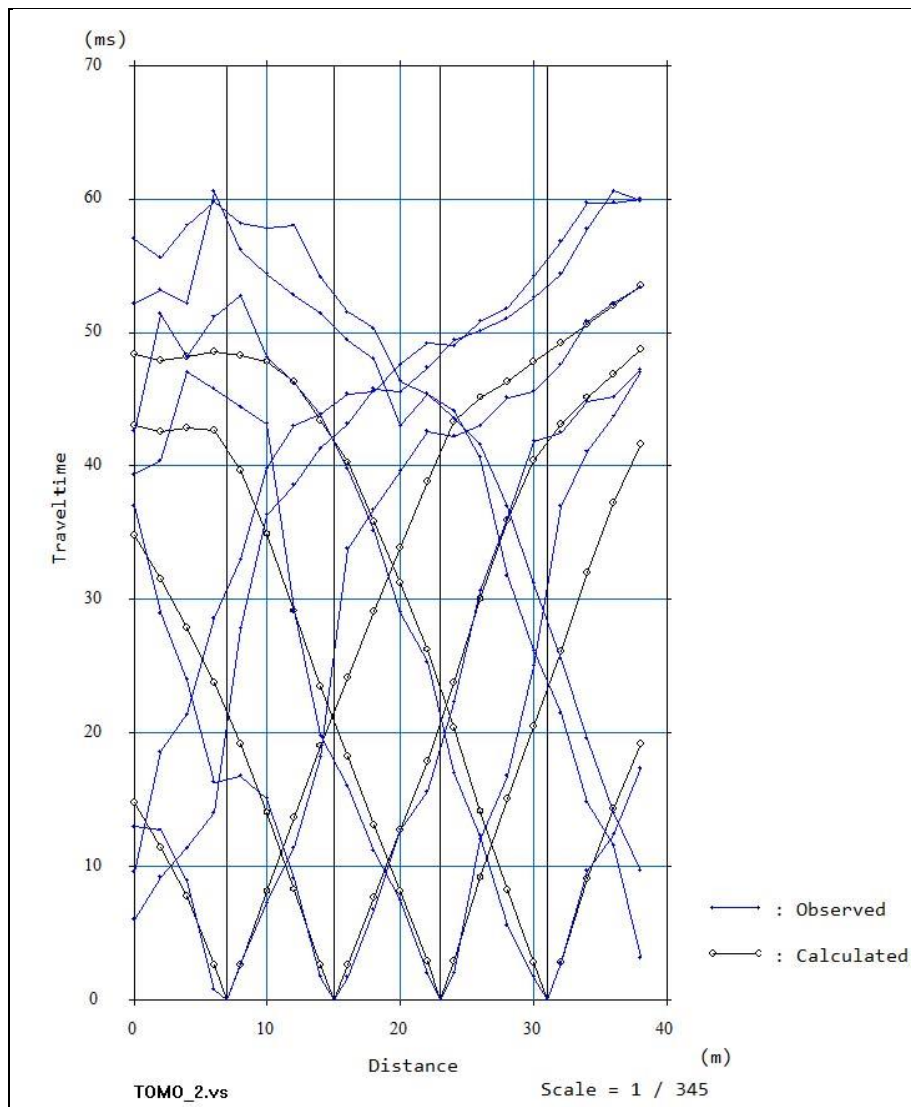
*Stesa sismica ST 1 – Dromocrone sperimentali e interpretate*



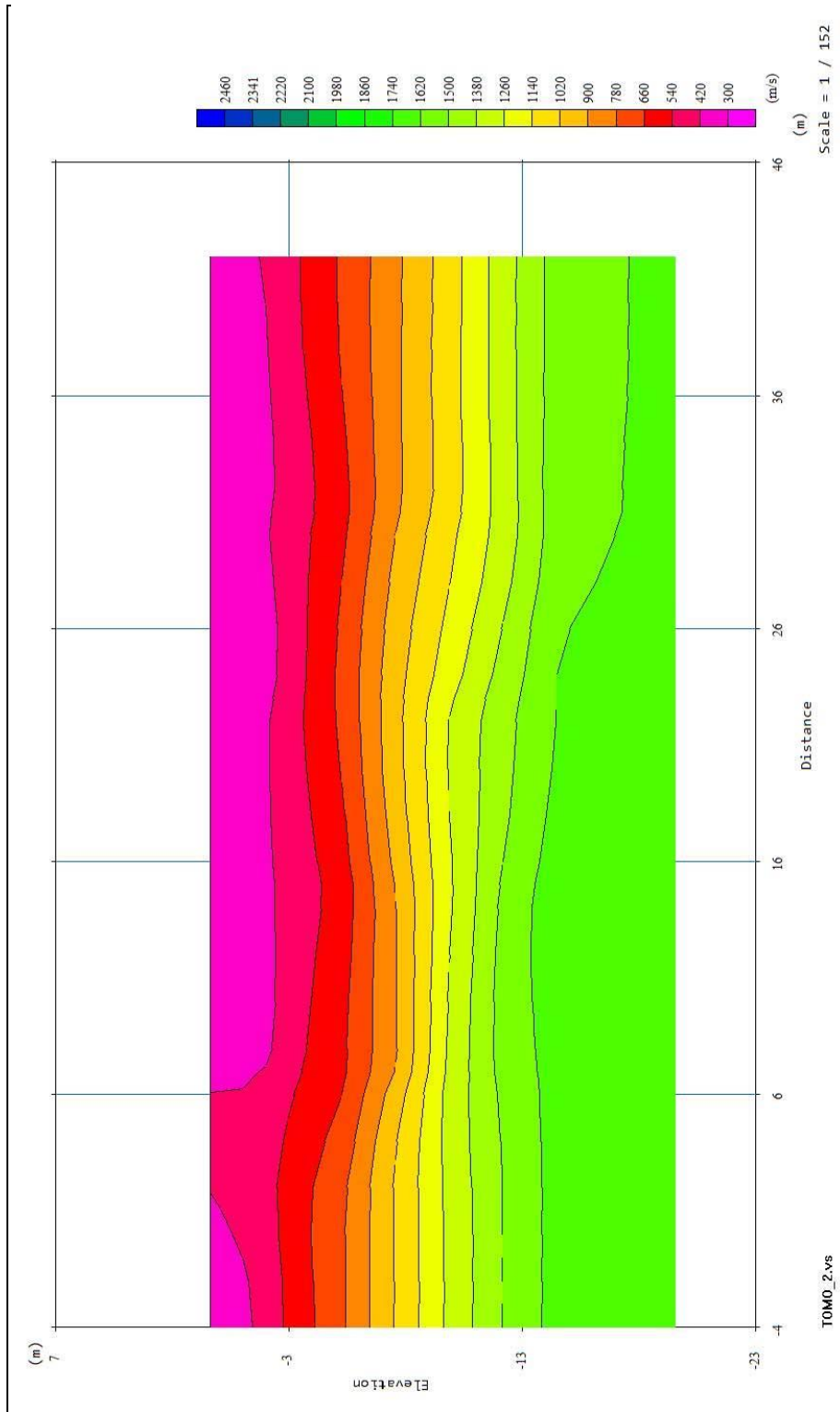
Sezione tomografica ST 1



**ST2** – L'intervallo di valori di  $V_p$ , entro la profondità raggiunta dall'indagine (circa 19 m), è compreso tra 300 m/s e 1900 m/s. Sono stati individuati tre strati differenti, il primo rappresentato da una copertura piuttosto omogenea e di spessore molto esiguo e gli altri due che rappresentano, il primo la porzione alterata ed il secondo la formazione di base.



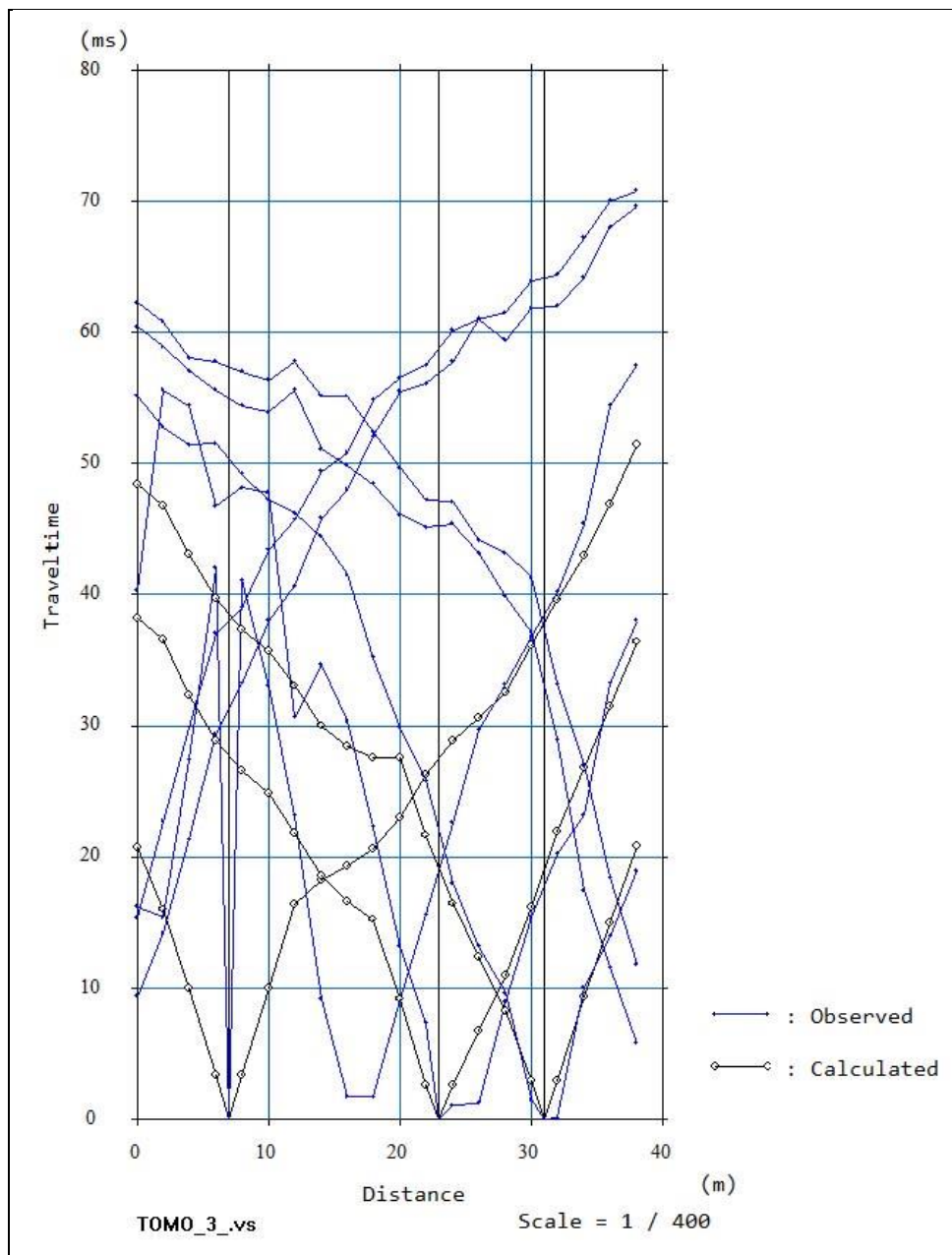
*Stesa sismica ST 2 – Dromocrone sperimentali e interpretate*



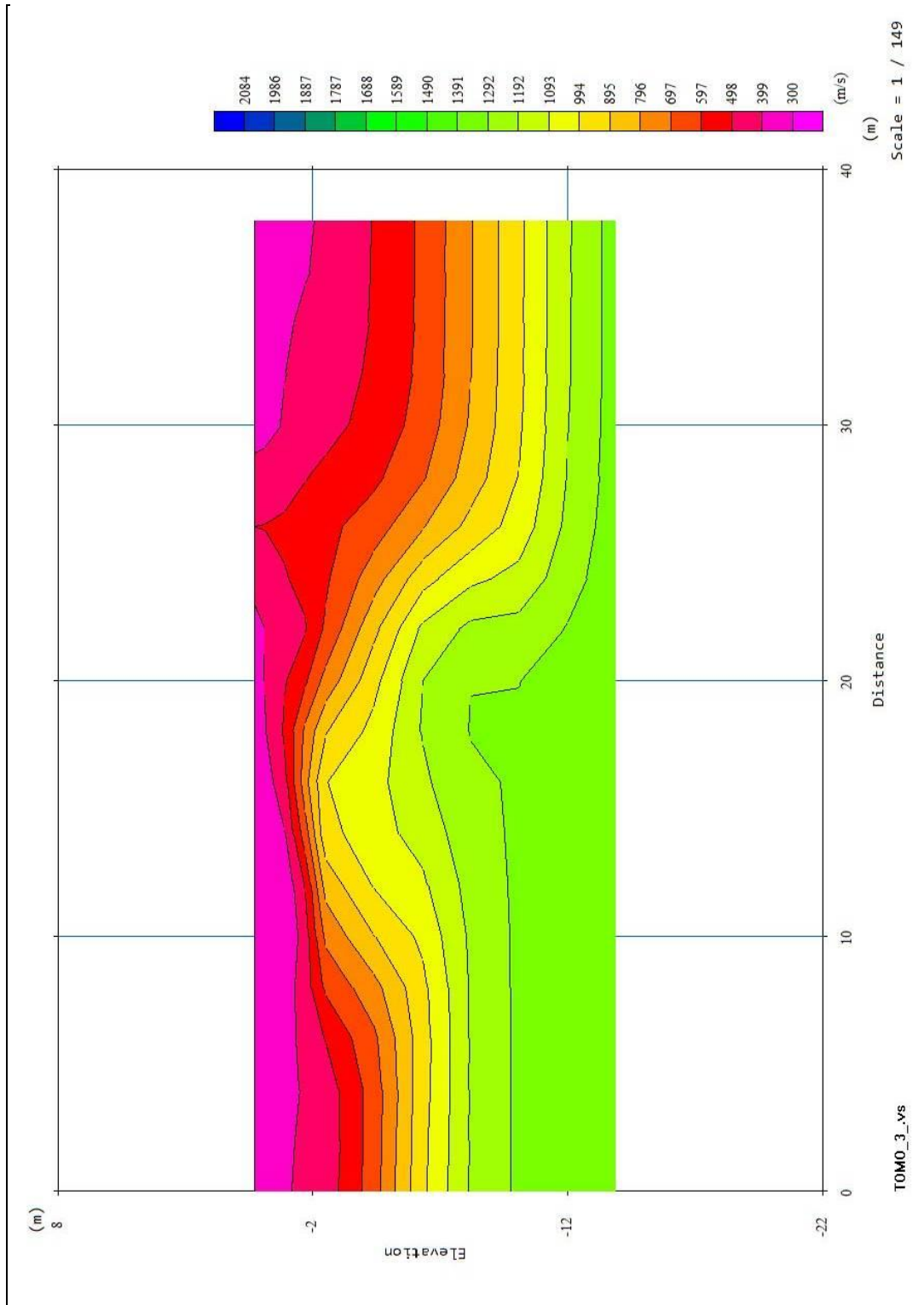
Sezione tomografica ST 2



**ST3** – L'intervallo di valori di  $V_p$ , entro la profondità raggiunta dall'indagine (circa 13 m), è compreso tra 300 m/s e 1500 m/s. Sono stati individuati tre strati differenti, il primo rappresentato da una copertura piuttosto omogenea e di spessore molto esiguo e gli altri due che rappresentano, il primo la porzione alterata ed il secondo la formazione di base.



*Stesa sismica ST 3– Dromocrone sperimentali e interpretate*



Sezione tomografica ST 3



## **8.2 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.

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.

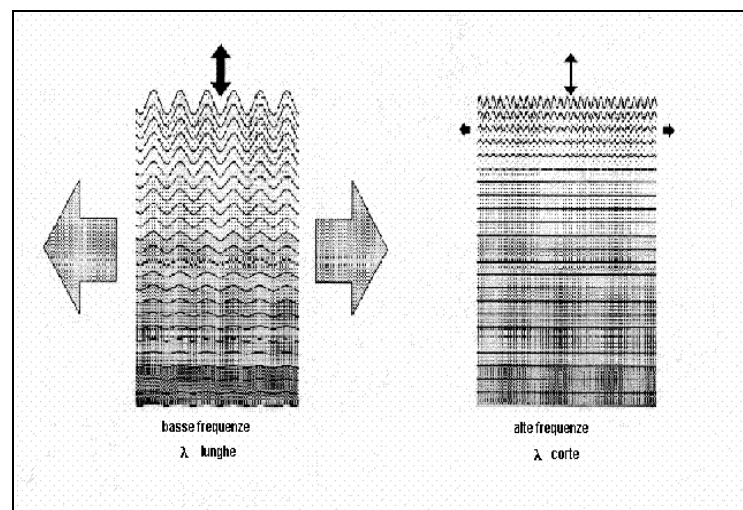
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza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



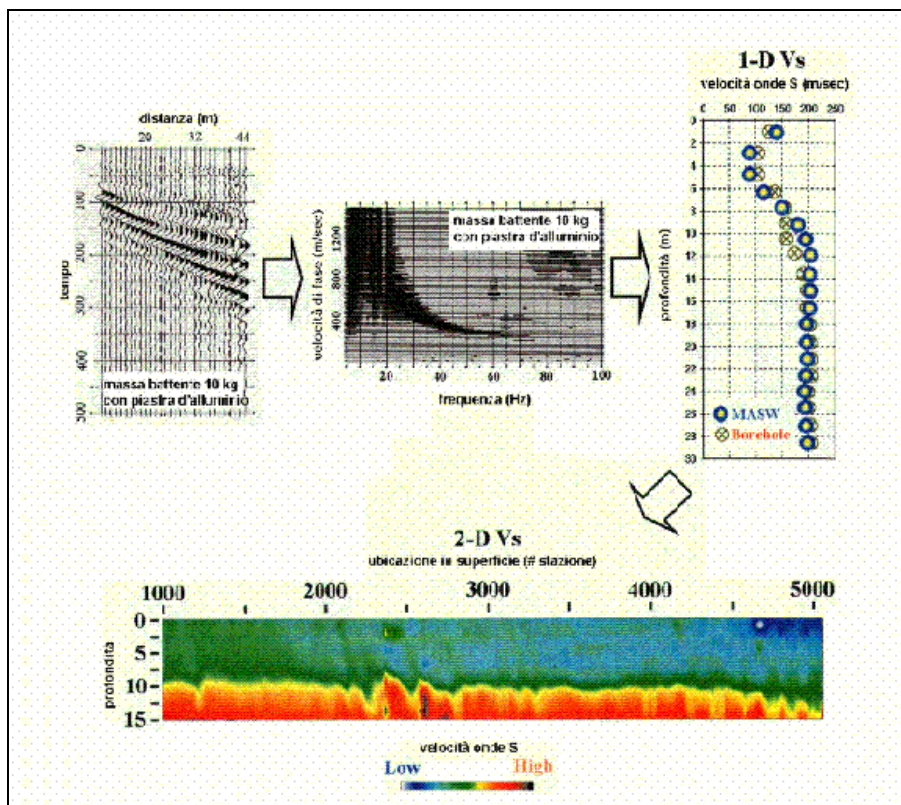
L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione 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



Descrizione generale della procedura MASW

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.

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.

### 8.2.1 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>
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori $V_S$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.



<b>B</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.
<b>C</b>	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.
<b>D</b>	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.
<b>E</b>	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.

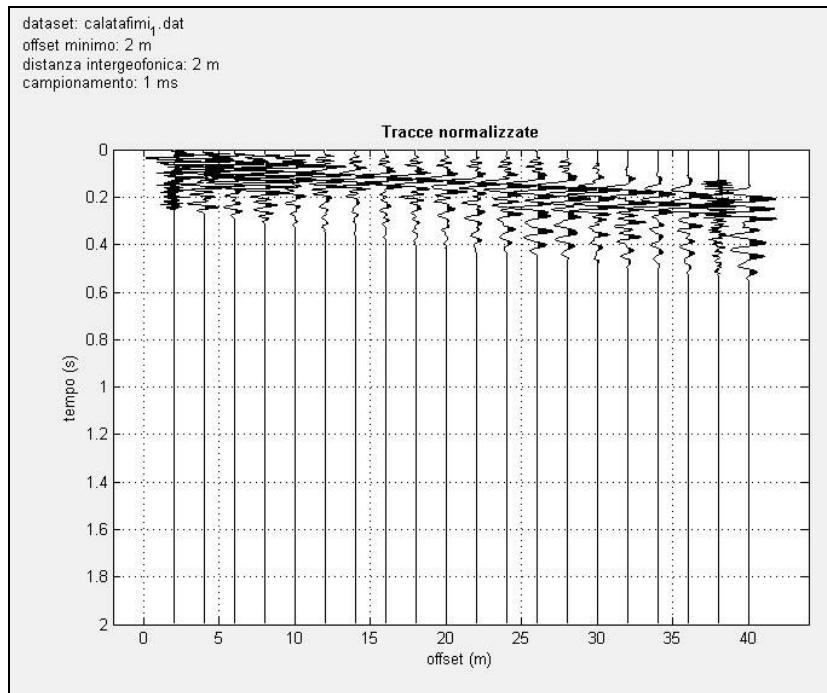
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

### 8.2.2 Risultati delle analisi MASW

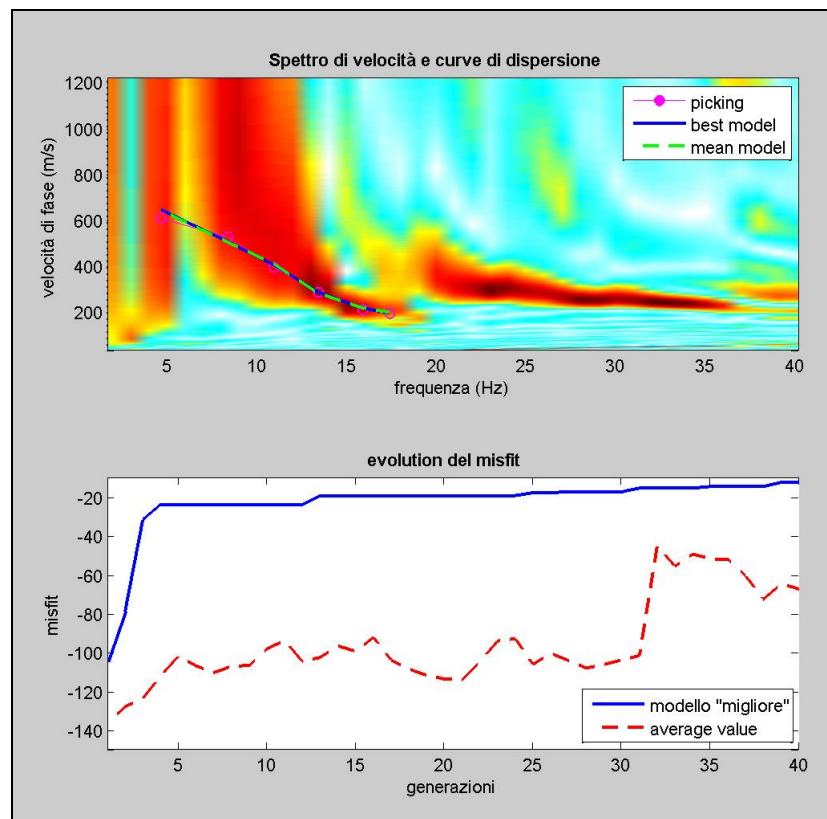
Nel sito in esame in dettaglio sono state eseguite tre stese sismiche a rifrazione interpretate con tecnica MASW e di seguito vengono riportati i dati ottenuti.

#### **Dati sperimentali MASW ST 1**

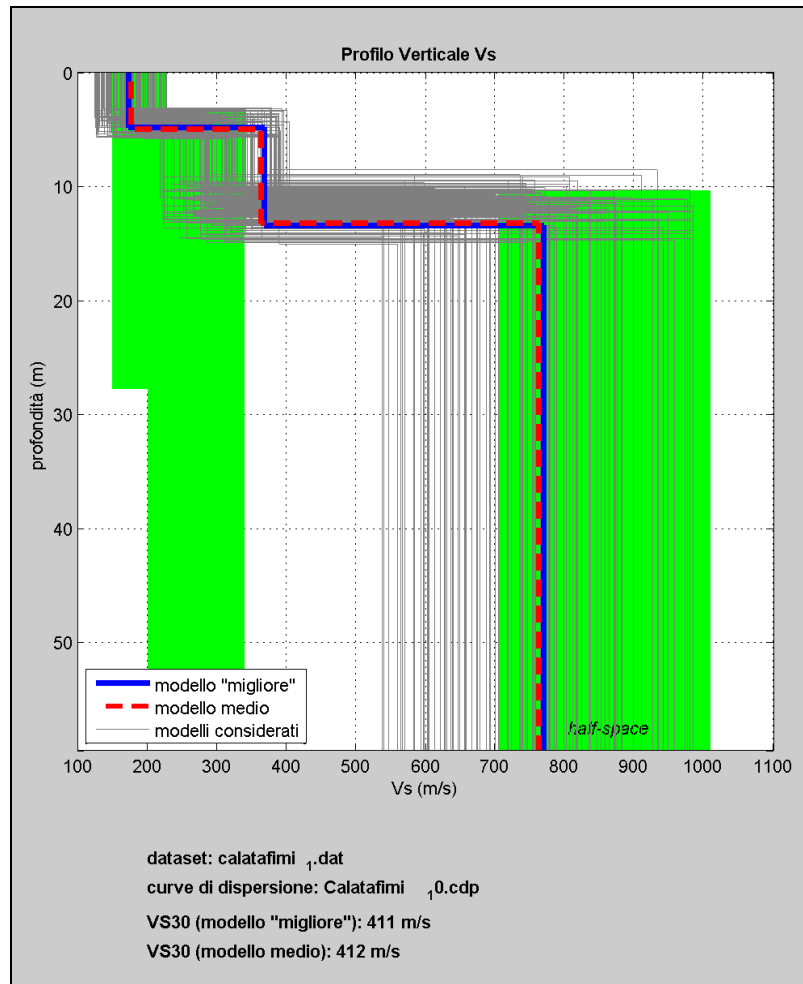
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	calatafimi_1.cdp



Tracce sperimentali



Curva di dispersione

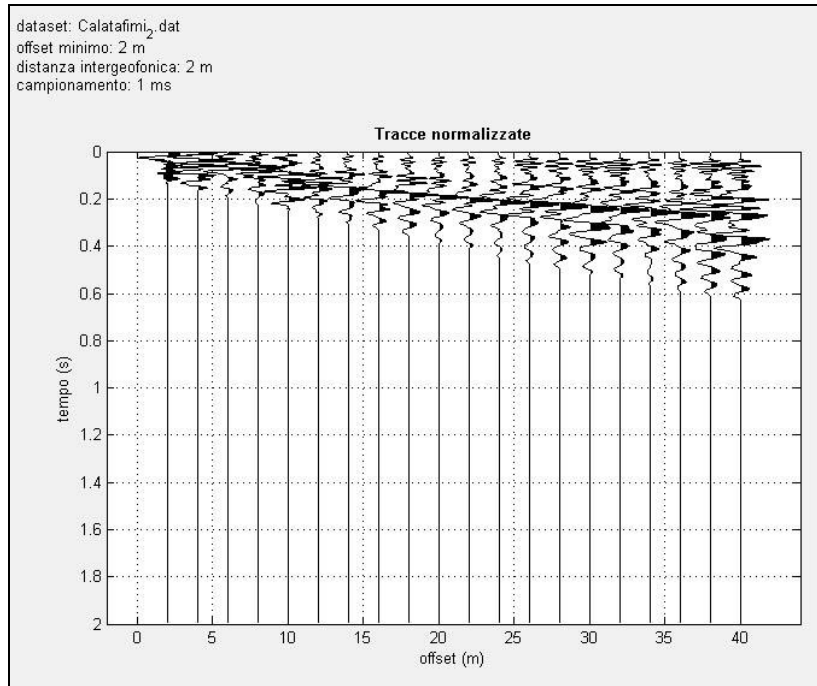


*Elaborazione modelli equivalenti*

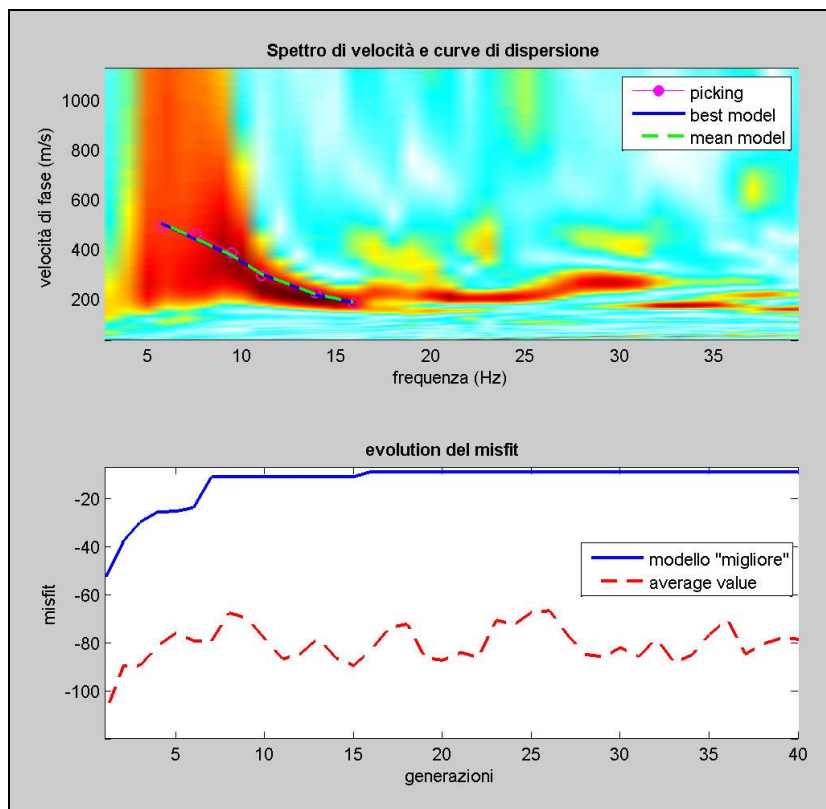
### Dati sperimentali MASW ST 2

Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	calatafimi_2.cdp

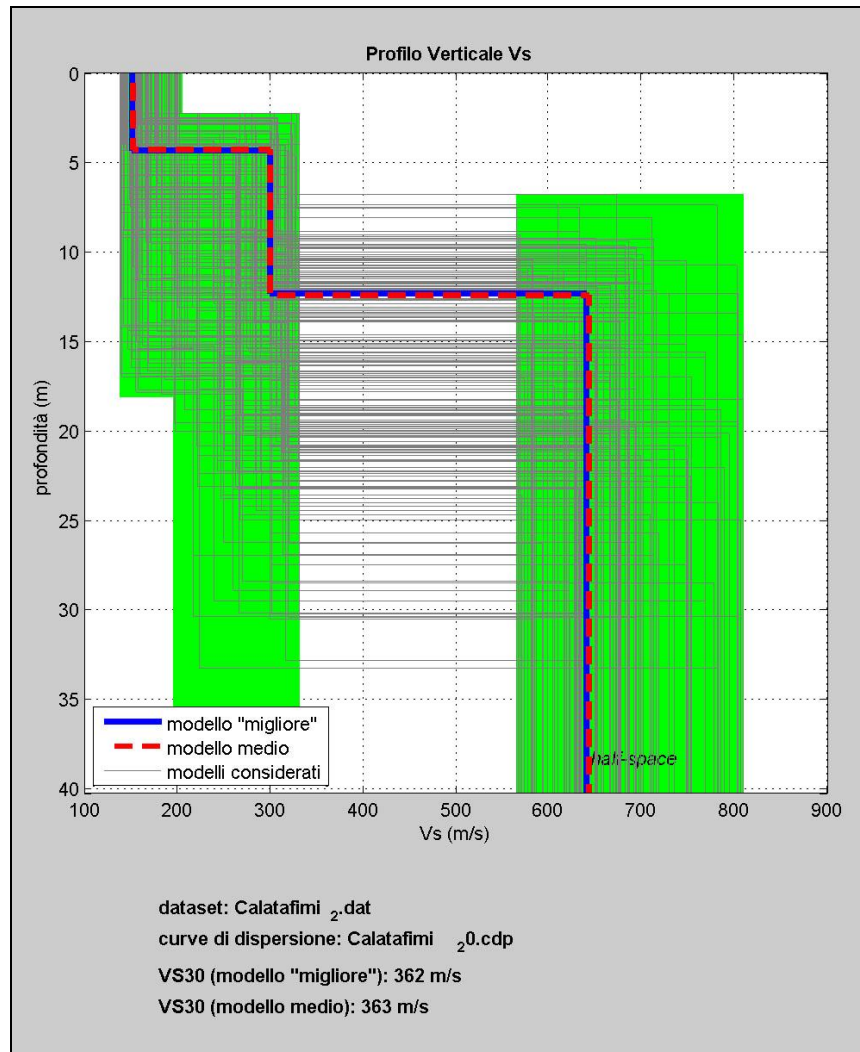




Tracce sperimentali



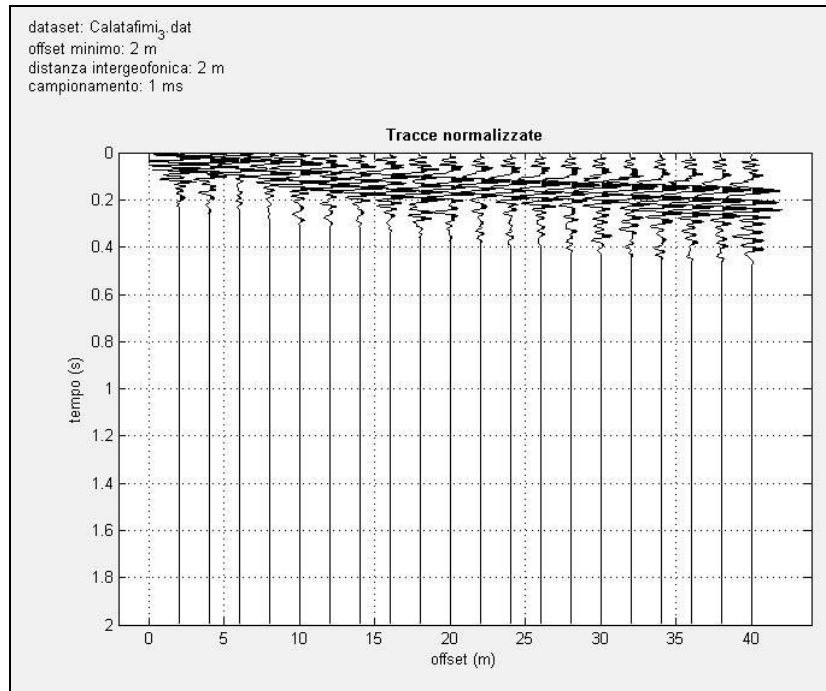
Curva di dispersione



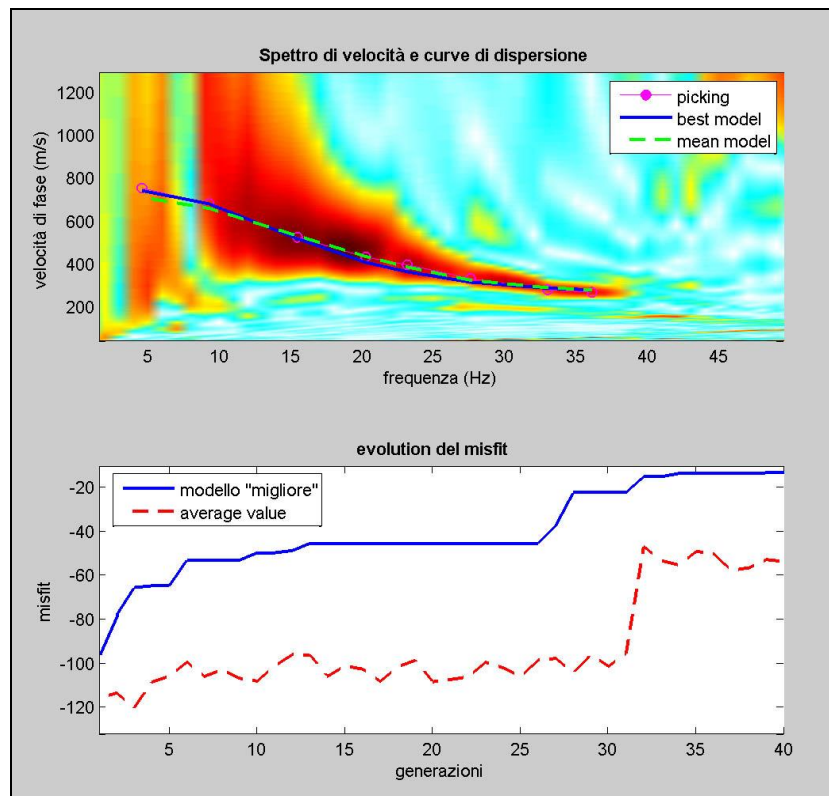
*Elaborazione modelli equivalenti*

### Dati sperimentali MASW ST 3

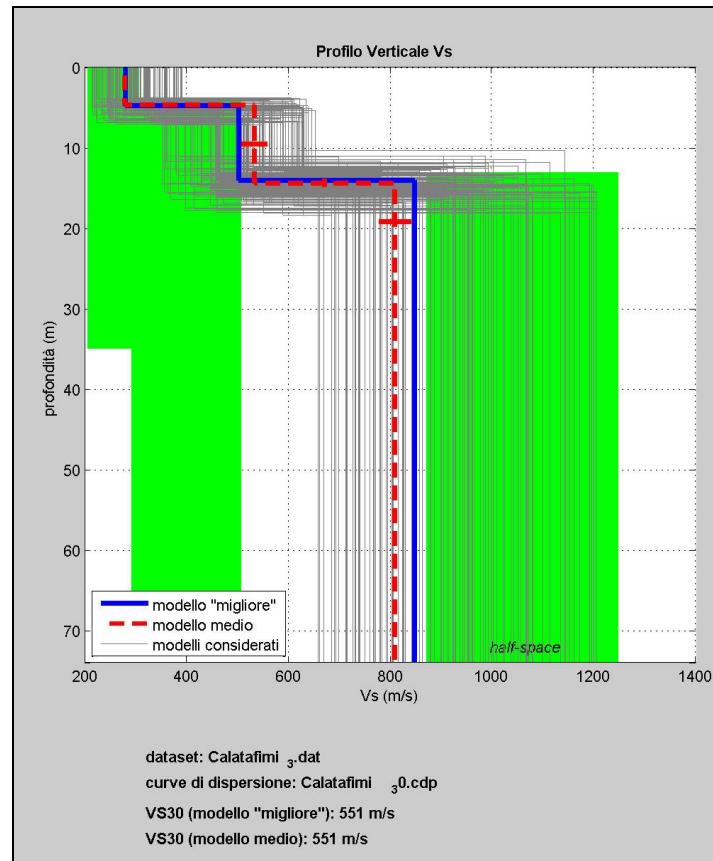
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg
Curva di dispersione analizzata	calatafimi_3.cdp



*Tracce sperimentali*



*Curva di dispersione*



*Elaborazione modelli equivalenti*

### 8.2.3 Categorie di suolo individuata

L'elaborazione MASW delle tre stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità  $V_{S30}$  dei terreni pari a **412** m/s per MASW\_1, **363** m/s per MASW\_2, **551** m/s per MASW\_3.

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*).



### 8.3 Rilievo dei microtremori – Metodo HVSR

Ad integrazione delle indagini sismiche espletate, sono state eseguite tre indagini sismiche passive HVSR di microtremore ambientale con stazione singola.



*HVSR 1*





*HVSR 2*



*HVSR 3*

Per l'elaborazione finale è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del *SESAME*, acronimo di *Site Effect Assessment Using Ambient Excitations* un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di micro zonazione sismica attraverso le misure del *noise* ambientale.

Lo strumento utilizzato per le acquisizioni in situ è un sismografo digitale a tre canali dotato delle seguenti caratteristiche:

- Numero canali: 3
- Convertitore A/D: 24 bit (SD)
- Range dinamico: 124dB @ 100SPS
- Campionamento: simultaneo sui tre canali
- Sampling rates: 10, 20, 25, 50, 100, 200, 600;
- Impedenza d'ingresso: 300 kOhm
- Sensibilità: 2V p-p (119nV/count)
- Real Time Clock: +/-10ppm (-20/+50°C)
- Sincron. Real Time Clock: da GPS via PPS modulato
- Precisione rispetto a UTC: <50ms



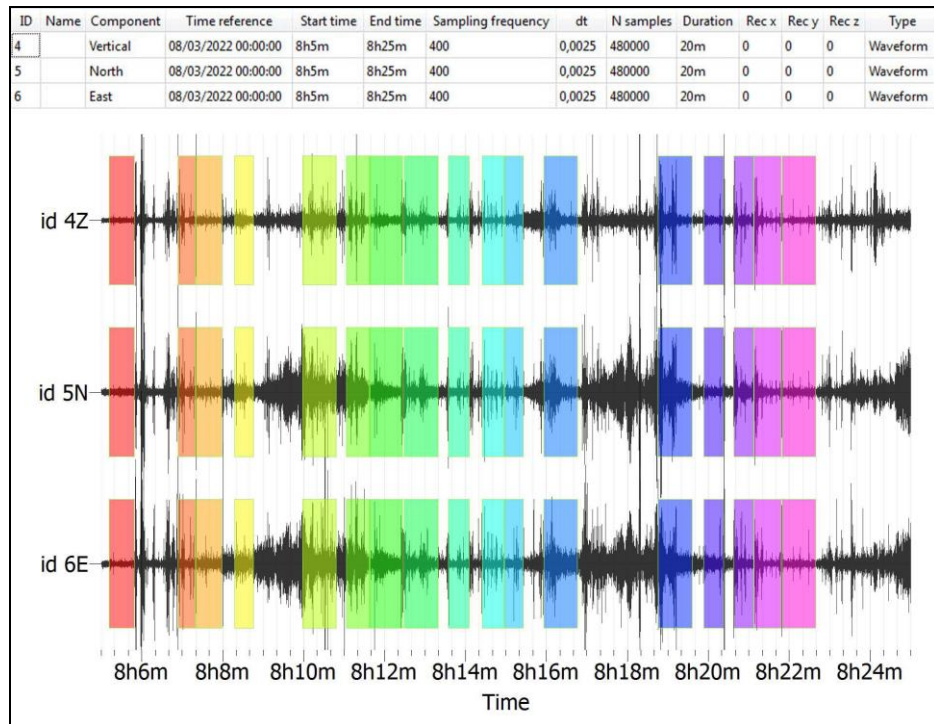
- Antenna GPS: amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC
- CPU: AVR RISC processor @ 11.592MHz

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

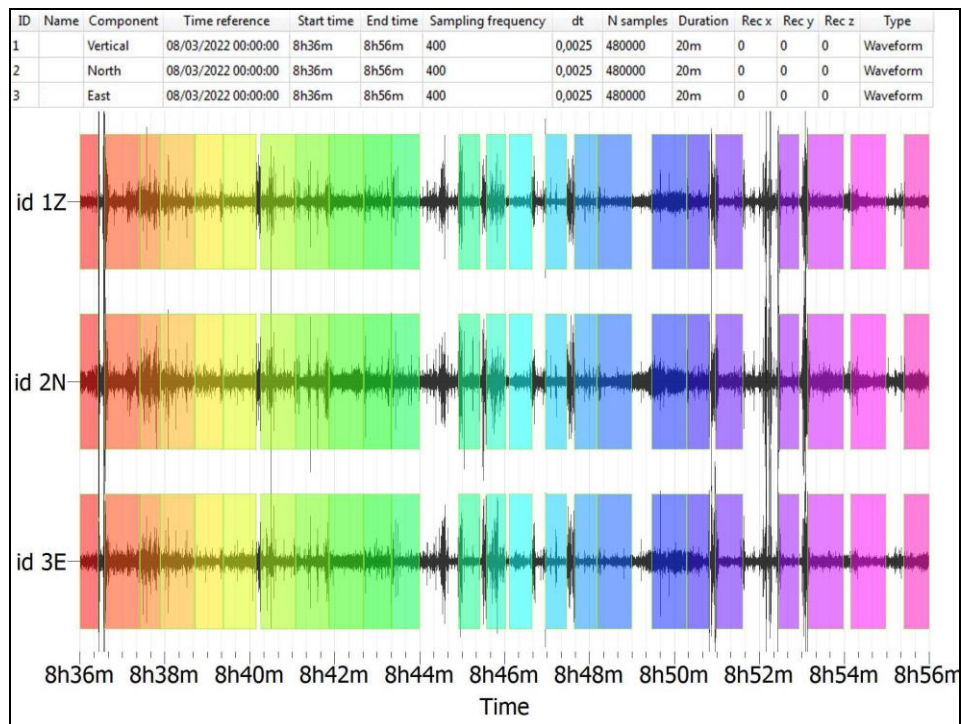
Per valutare gli effetti di sito dovuti alla risonanza prodotta dai depositi di superficie sono stati calcolati i rapporti spettrali tra la componente orizzontale e la componente verticale del moto (HVSR).

È noto come la frequenza di picco di tale funzione sperimentale possa predire la frequenza fondamentale di risonanza dei sedimenti (Haghshenas et al., 2008). Per il calcolo degli HVSR è stato utilizzato il software GEOPSY. L'algoritmo è basato su una selezione automatica delle finestre d'analisi (anti-trigger) al fine di mantenere la parte stazionaria del segnale ed escludere i transienti. Per ciascuna registrazione sono state selezionate almeno 70 finestre di analisi di durata pari a 16 secondi.

A ciascuna finestra sono stati applicati: una funzione di tapering tipo coseno al 5%, la FFT, lo smoothing dello spettro mediante funzione logaritmica proposta da Konno e Ohmachi (1998), con coefficiente  $b=20$ ; quindi sono stati calcolati la media quadratica delle componenti orizzontali ed il rapporto spettrale H/V (HVSR) per ciascuna finestra; infine la media HVSR con deviazione standard.

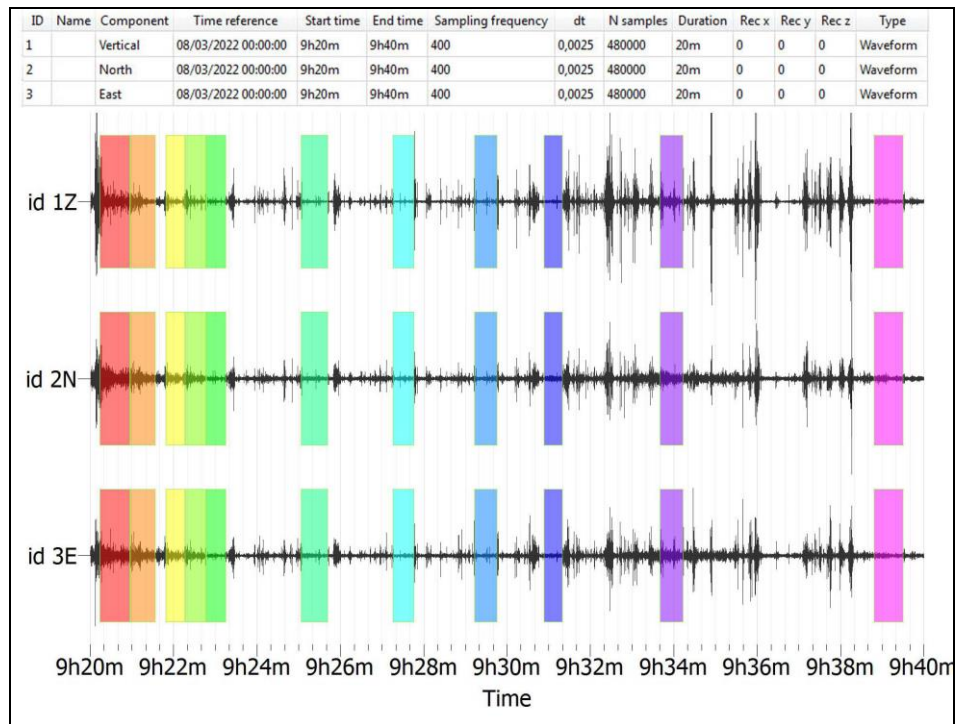


*Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSr 1*

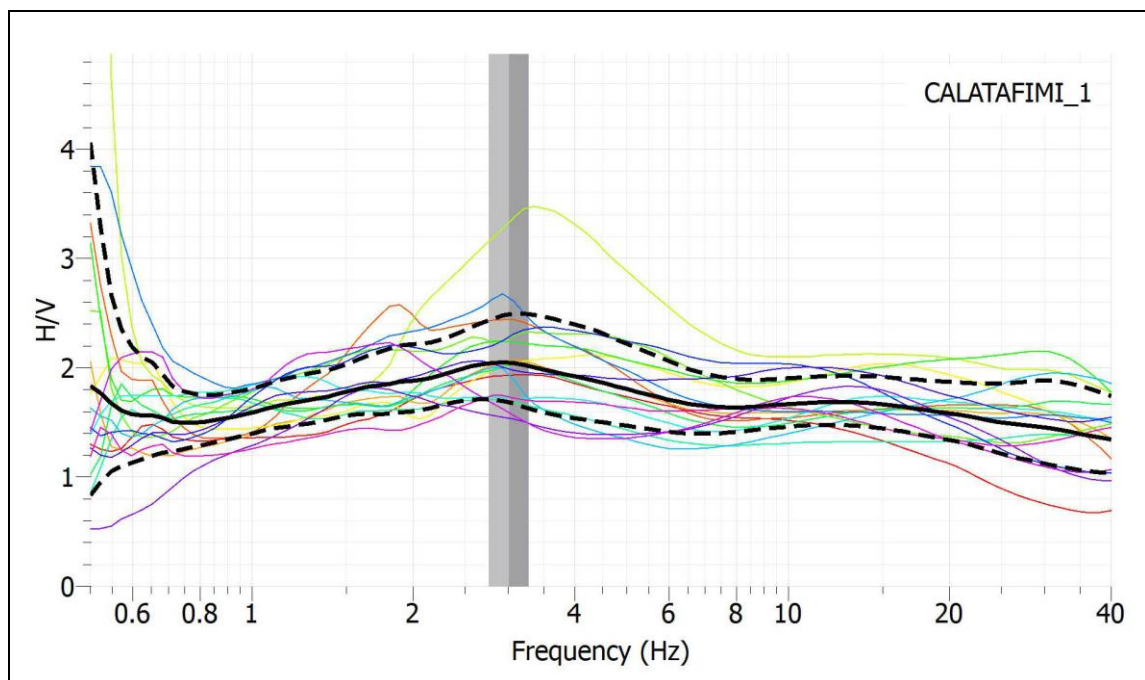


*Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSr 2*

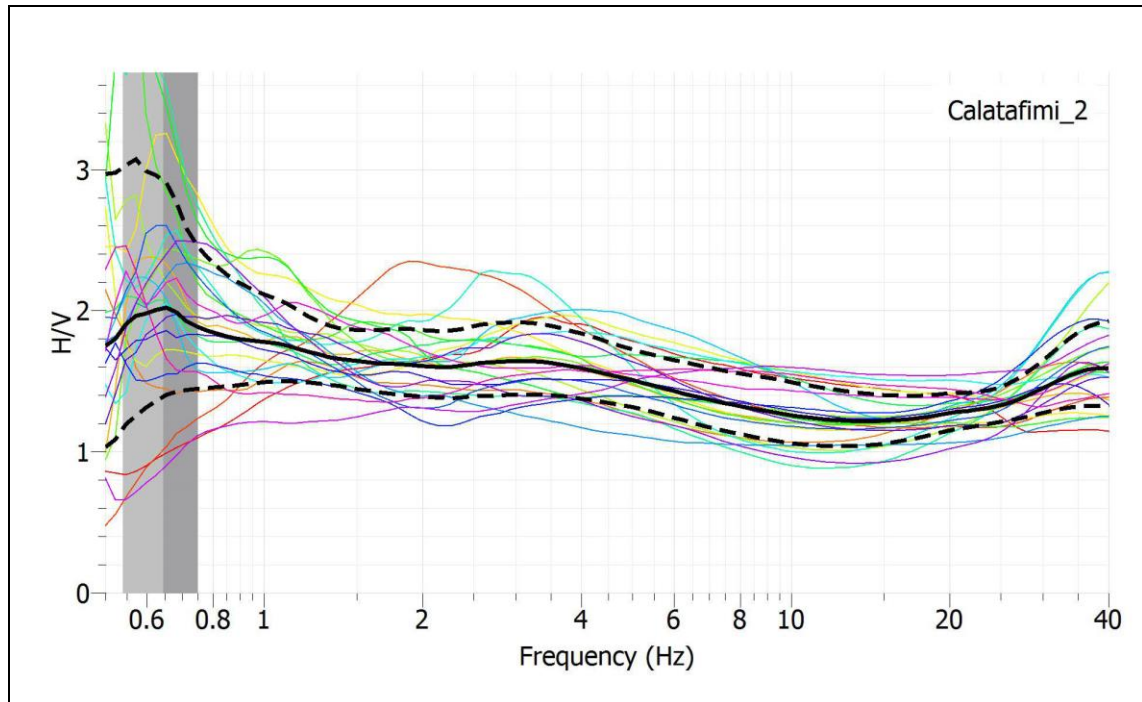




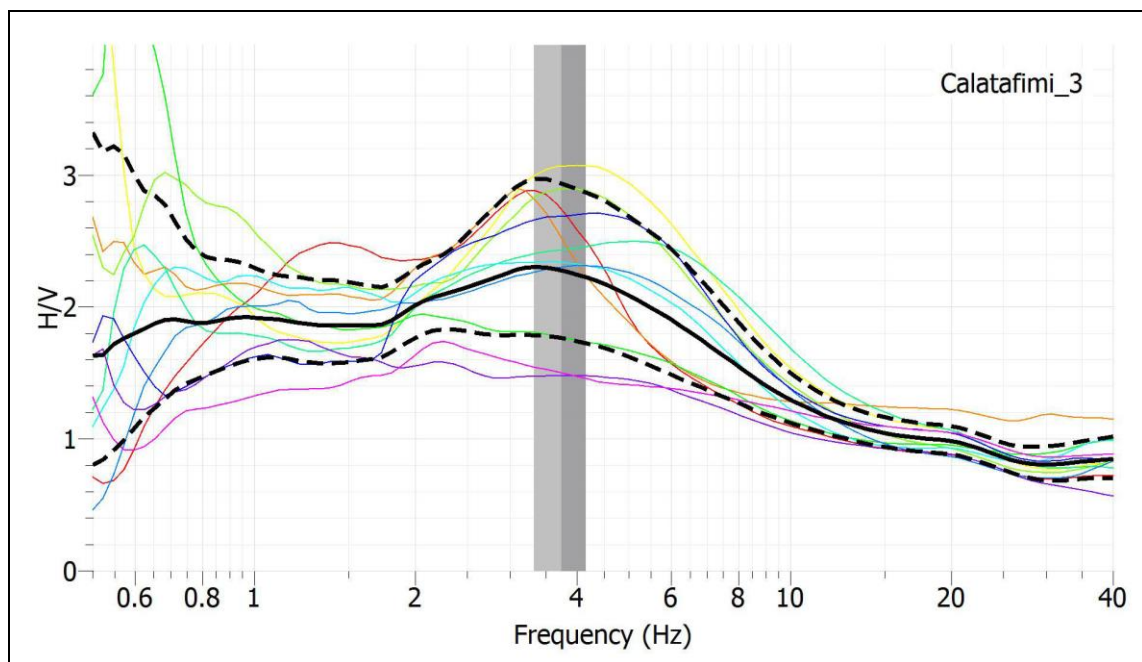
*Time history – registrazioni sulle componenti di analisi HVSR 3*



*Rapporti spettrali delle componenti orizzontali e verticali HVSR 1*



*Rapporti spettrali delle componenti orizzontali e verticali HVSR 2*



*Rapporti spettrali delle componenti orizzontali e verticali HVSR 3*



La frequenza di picco misurata è pari a **3,02226** Hz in HVSR 1, a **0,644292** Hz in HVSR 2 e **3,74684** Hz in HVSR 3.

Dal confronto tra la funzione teorica e la curva sperimentale, si è potuto ricavare la funzione di dispersione per il modo fondamentale delle onde di Rayleigh, la cui conoscenza consente di risalire al modello di velocità del mezzo, attraverso un procedimento di inversione.

A tal fine è necessario disporre di un modello del sottosuolo da assumere come modello iniziale, consistente in un insieme di strati piano-paralleli sovrastanti un semispazio, ciascuno caratterizzato da quattro parametri: spessore, velocità delle onde S, rapporto di Poisson, densità ( $h$ ,  $V_s$ ,  $\sigma$ ,  $\rho$ ).

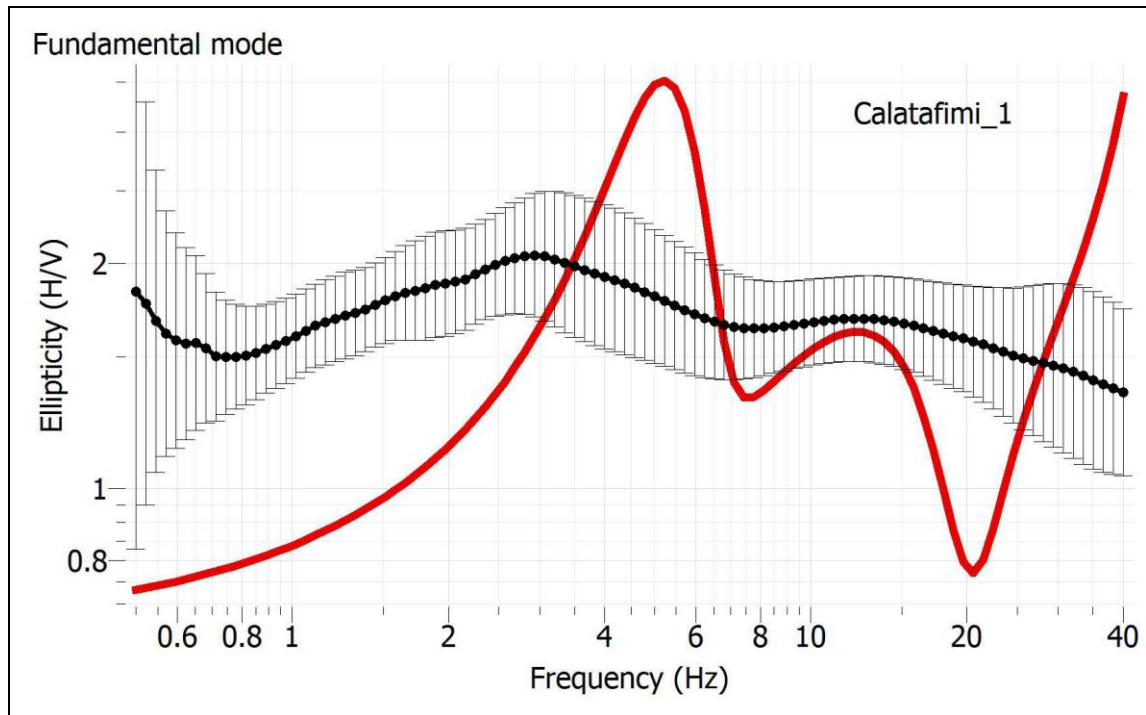
Nel caso in esame il modello iniziale è stato costruito sulla base di conoscenze geologiche; partendo dalla stratigrafia mostrata, si è definito lo spazio dei parametri riportato di seguito.

$N$	$h$ (m)	$V_s$ (m/s)	$\sigma$	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
1	0 - 6	200 - 300	0.2 - 0.5	1900
2	6 - 15	300 - 500	0.3 - 0.5	2000
<i>h.s.</i>		500 - 1500	0.4 - 0.5	2000

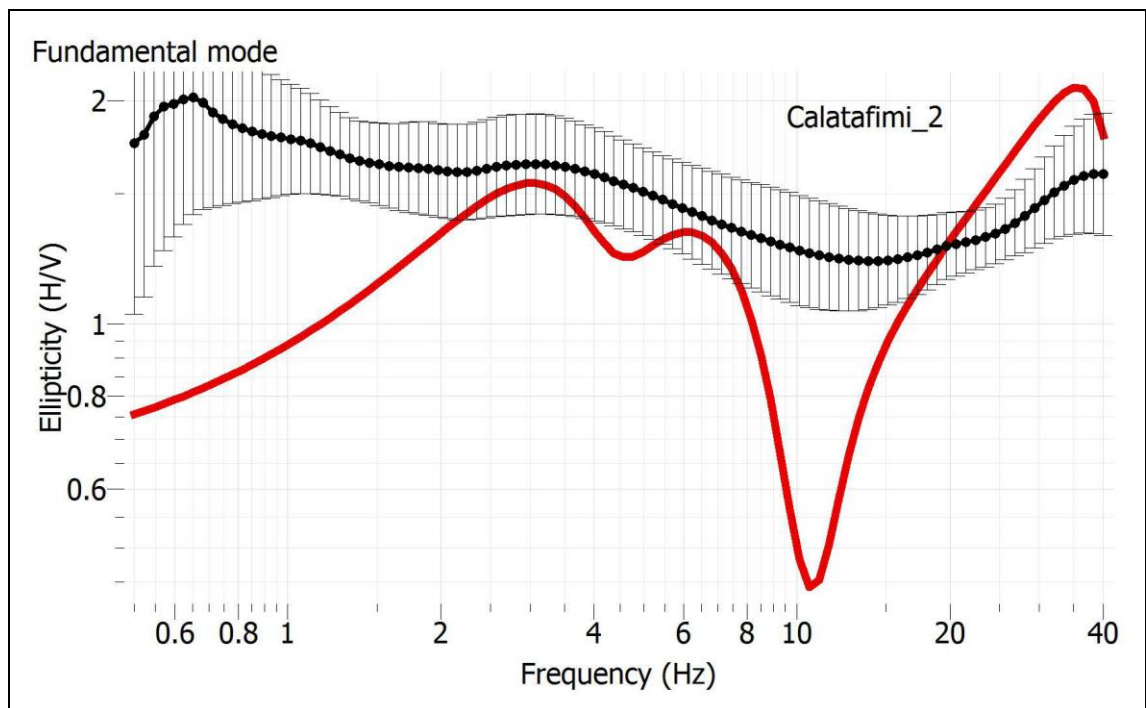
L'inversione dei dati tramite codice di calcolo DINVER è stata eseguita attraverso 100 iterazioni che hanno prodotto 10085 modelli; il valore minimo della funzione di misfit, ottenuto è pari a 1,25846 per HVSR 1, 2,56275 per HVSR 2 e 2,25648 per HVSR 3.

Per interpretare la struttura di velocità ricavata dai dati di dispersione in termini di effetti di risonanza, è stata calcolata la funzione di ellitticità per le onde di Rayleigh ed è stata confrontata alla curva sperimentale HVSR.

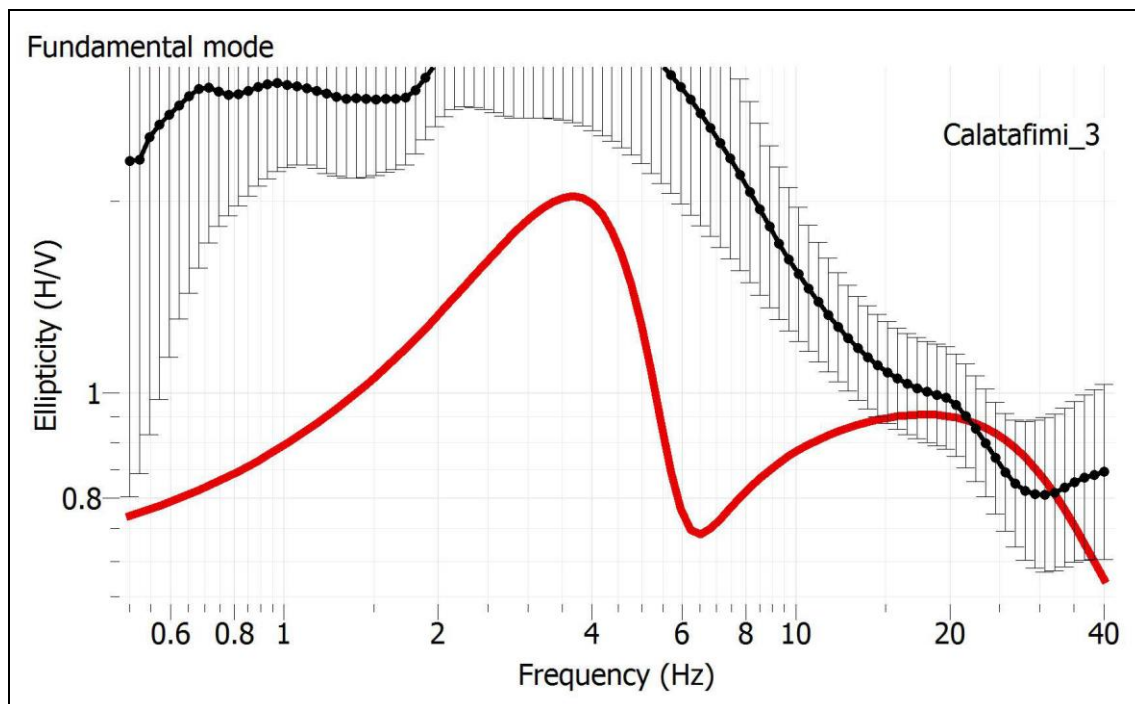
Numerosi autori hanno interpretato il rapporto spettrale H/V in relazione al rapporto di ellitticità delle onde di Rayleigh, che, in caso di forte contrasto di impedenza, mostra un picco pronunciato in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza delle onde S (Bard, 1999; Konno e Ohmachi, 1998; Haghshenas et al., 2008).



*Curva analisi di ellitticità HVSR 1*



*Curva analisi di ellitticità HVSR 2*



*Curva analisi di ellitticità HVSR 3*

Il calcolo della funzione teorica è stato eseguito con il codice REIGEN85 (Herrmann, 1987). La funzione di ellitticità ottenuta ricalca nella forma la funzione sperimentale, anche se presenta valori di amplificazione più bassi. La concordanza osservata tra la frequenza di picco nella curva sperimentale ed in quella teorica convalida l'interpretazione dei dati in termini di effetto di risonanza dei sedimenti di copertura.



## 9 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).

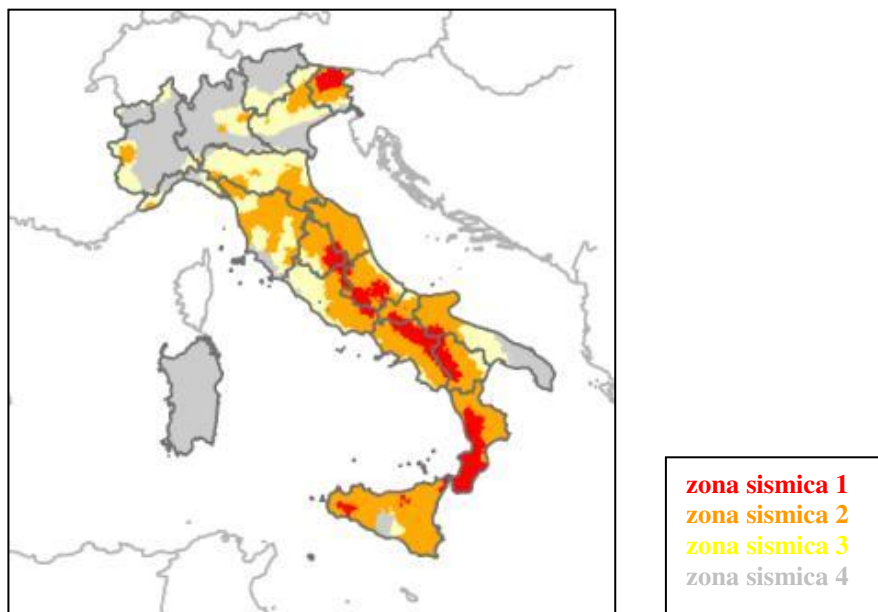
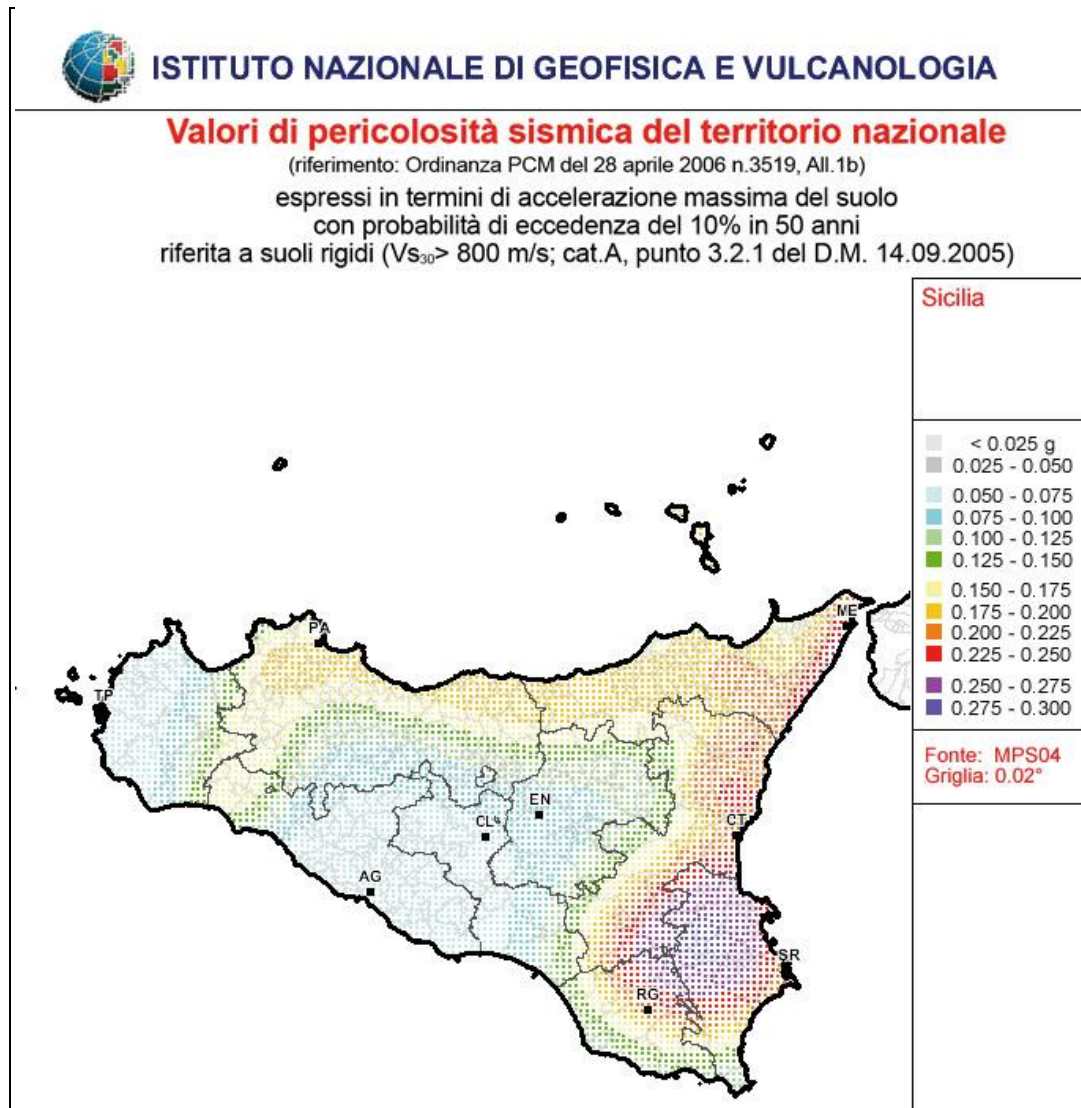


Figura 1

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:

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

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



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





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

Il territorio di Calatafimi, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" è stato definito di classe "2".



## 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:

1. *carta delle pericolosità geologiche;*
2. *carta della pericolosità sismica;*
3. *carta della suscettività all'edificazione.*

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.).

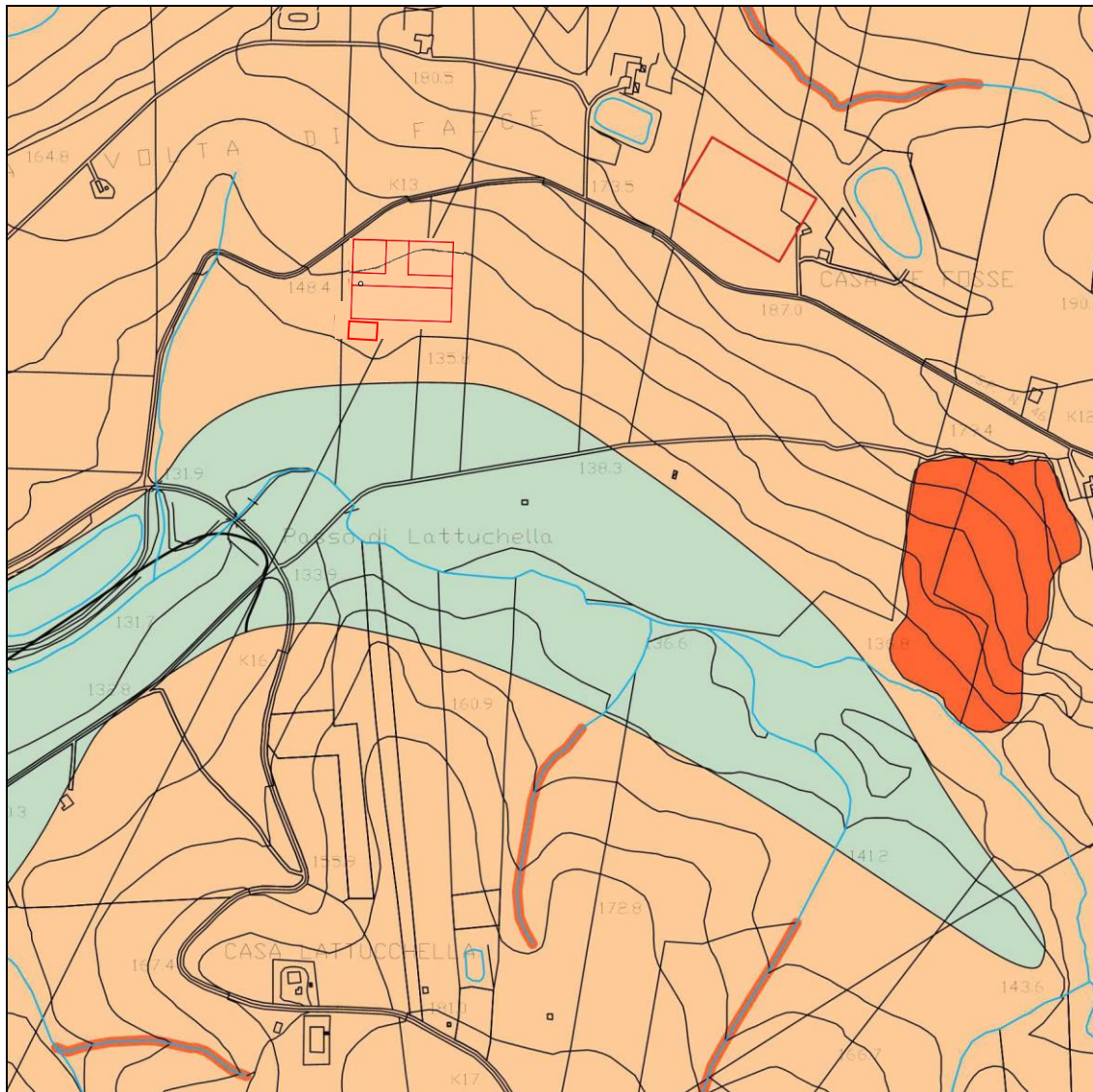
Nello specifico sono state individuate due classi;

- **Classe 1 - Pericolosità bassa** – Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi fenomeni di dissesto. La classe è stata suddivisa due sottoclassi:
  - **Sottoclasse 1a.** In essa ricadono le aree da poco a moderatamente acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata. (*Argille, argille sabbiose e marne grigie, grigio verdastre o azzurrognole, (14) - Fm. Terravecchia; Argille sabbiose, sabbie e arenarie da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata, alternate con peliti e lenti conglomeratiche (13) - Fm. Terravecchia*)



- *Sottoclasse 1b.* In essa ricadono le aree pianeggianti o poco acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche, ove possono manifestare localizzati fenomeni di degradazione superficiale del suolo. (*Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27), Depositi alluvionali recenti (28)*):
- *Classe 2 - Pericolosità elevata* – In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*Solchi di ruscellamento concentrato e/o alveo in approfondimento; frane*).

**L'area in oggetto ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico e la sottostazione elettrica, ricadono in parte nella classe 1a ed in parte nella classe 1b, pericolosità bassa.**



*Carta delle pericolosità geologiche in scala 1:10.00 – Area SSE*

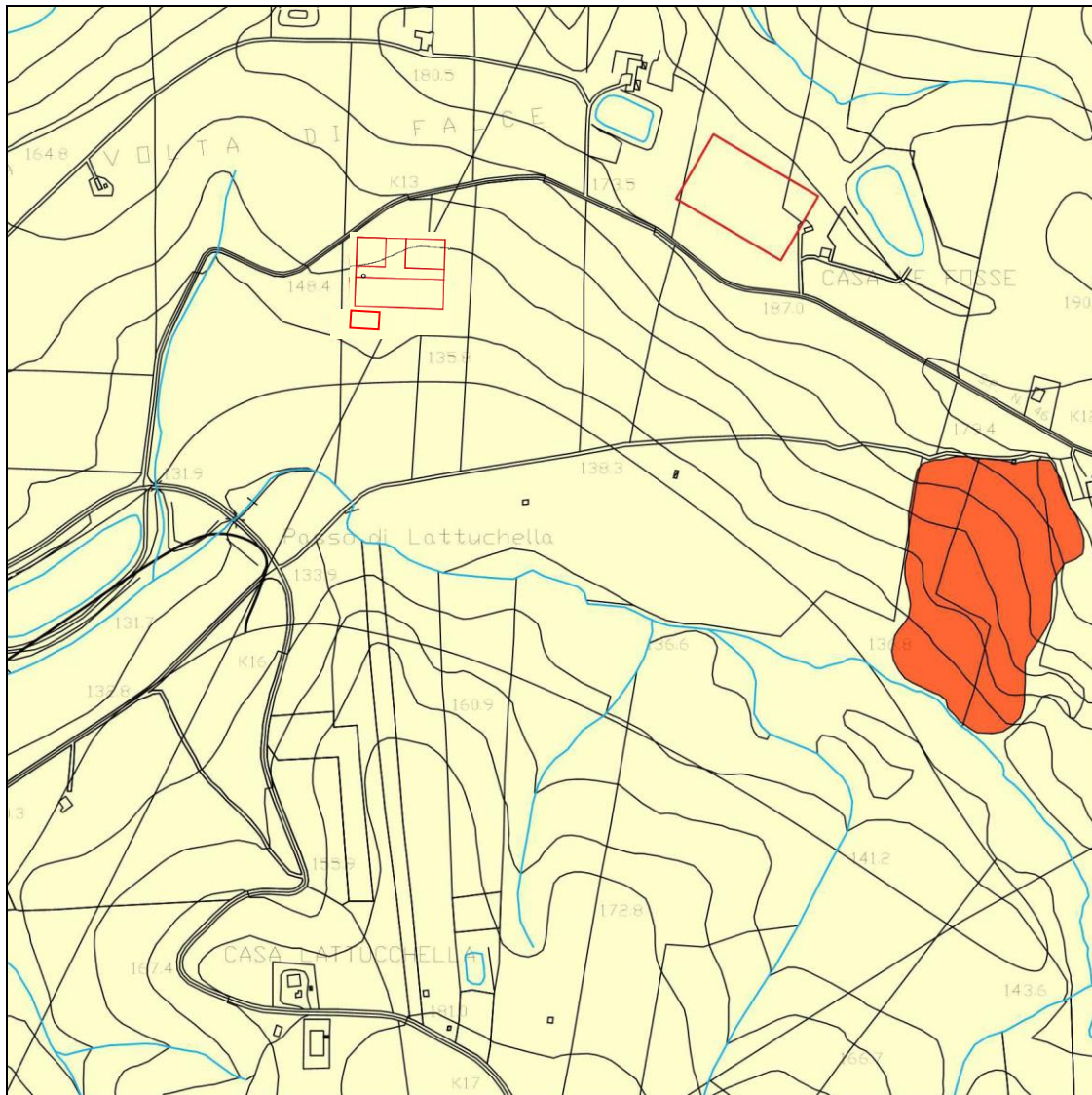


La *Carta della pericolosità sismica* è una carta dove devono essere individuate sia le problematiche geologiche che gli effetti di sito attendibili nell'area in studio in cui devono essere distinte le zone interessate prevalentemente da: fenomeni franosi in atto e quiescenti; aree potenzialmente franose;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

Nello specifico sono state individuati due gruppi:

- *I Gruppo*. Assenza di pericolosità sismica locale. Zone stabili ove ricadono aree da pianeggianti a moderatamente acclivi, caratterizzate da litotipi pelitici, e/o sabbiosi, a volte tettonizzati. (*Argille, argille sabbiose e marne grigie, grigio verdastre o azzurrognole, (14) - Fm. Terravecchia; Argille sabbiose, sabbie e arenarie da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata, alternate con peliti e lenti conglomeratiche (13) - Fm. Terravecchia; Depositi alluvionali recenti (28) - Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27)*);
- *II Gruppo*. Zone instabili ove si possono verificare o riattivare fenomeni franosi preesistenti in caso di sisma. (*Frane*).

**L'area in oggetto ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico e la sottostazione elettrica, ricadono nel Gruppo I.**



*Carta pericolosità sismica locale in scala 1:10.000 – Aera SSE*

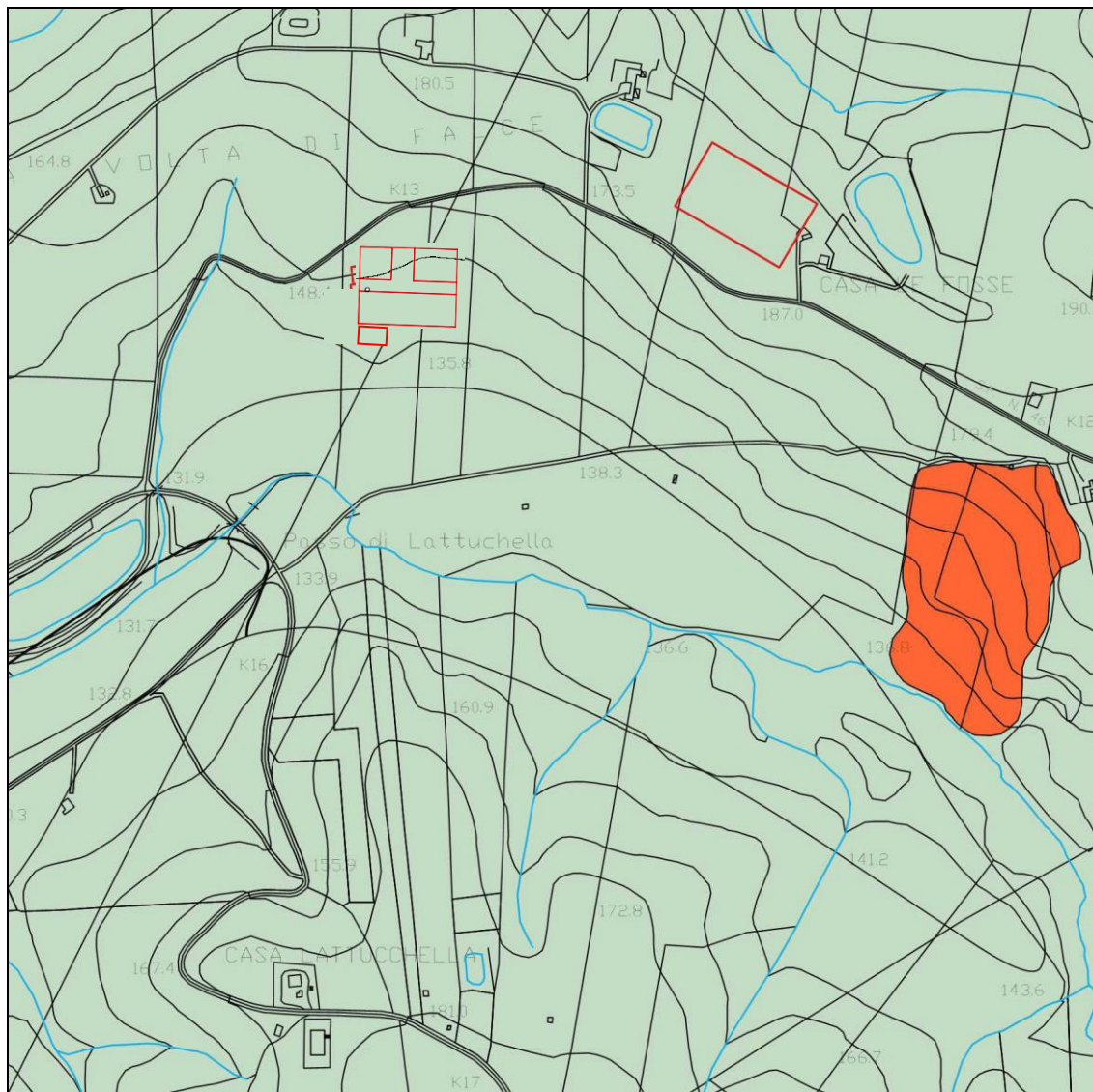


La *carta di suscettività all'edificazione* è una carta di sintesi delle caratteristiche geologiche del territorio, che fornisce tutte le indicazioni in ordine alle limitazioni (vincoli e restrizioni definite da strumenti di pianificazione territoriale o leggi sovraordinate) ed ai condizionamenti (criticità di carattere geologico comprese le limitazioni provenienti dalla carta della pericolosità sismica), che implicino la necessità di prevedere specifiche cautele nella realizzazione degli interventi consentiti nell'uso del territorio.

Nello specifico sono state individuati due classi:

- *Classe 1 – Suscettività d'uso non condizionata* – La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle vigenti Norme Tecniche per le costruzioni. Riguarda le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico tecniche e morfologiche. (*Argille, argille sabbiose e marne grigie, grigio verdastre o azzurrognole, (14) - Fm. Terravecchia; Argille sabbiose, sabbie e arenarie da giallastre a grigie, con stratificazione incrociata, alternate con peliti e lenti conglomeratiche (13) - Fm. Terravecchia; Depositi alluvionali recenti (28); Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27).*)
- *Classe 2 – Suscettività d'uso parzialmente o totalmente limitata* – La pericolosità/vulnerabilità comporta limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. In questa classe sussistano importanti limitazioni relativamente alle tipologie di interventi edilizi ed aree ove sono presenti morfotipi attivi e/o potenzialmente attivi riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*Frane*).

**L'area in oggetto ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico e la sottostazione elettrica, ricadono nella Classe 1.**



*Carta suscettività edificatoria in scala 1:10.000 – Aera SSE*





## 11 Conclusioni

L'area oggetto di studio, è ubicata nella parte occidentale della Sicilia; a cavallo tra le provincie di Trapani e Palermo. In dettaglio ci troviamo su un'area degradante in direzione sud ovest, facente parte del territorio comunale di Calatafimi Segesta, e ricadente nella contrada denominata *Pergole*. Inoltre si prevede di realizzare una cabina di consegna per la connessione alla rete elettrica nazionale nel territorio del comune di Monreale, in contrada *Volta di Falce*.

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco del generatore di 51,263 MWp ca. e prevede l'installazione di n° 1222 inseguitori solari ad un asse (tracker orizzontali monoassiali a linee indipendenti) e 384 strutture fisse di supporto ai moduli fotovoltaici.

Dal punto di vista geologico, il parco da realizzare e la sottostazione, ricadono in parte sulle argille ed argille sabbiose della *Fm Terravecchia (14)* ed in parte sui *Sedimenti alluvionali antichi e recenti in più ordini, costituiti da sabbie e ghiaie poligeniche (27)*.

Durante le fasi di sopralluogo di un ampio areale dell'area in studio, si sono osservati sporadici 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 le opere di progetto 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 fotovoltaico è stabile e che l'installazione dei pannelli e delle strutture ad essi collegati, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In merito all'invarianza idraulica è importante sottolineare che, nel progetto in oggetto si prevede di impermeabilizzare solo ed esclusivamente le aree di sedime delle opere di fondazione delle apparecchiature elettromeccaniche e le aree riservate ai locali dalle opere di connessione alla rete; inoltre va sottolineato che la viabilità interna all'impianto non verrà asfaltata o comunque impermeabilizzata.



Inoltre è previsto l'inerbimento tra i filari costituiti dalle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici, che consentirà di mantenere inalterate le caratteristiche di permeabilità del terreno; quindi l'inerbimento e la manutenzione della superficie di impatto dell'acqua nonché la limitazione della superficie captante e dell'accelerazione delle particelle d'acqua, consentirà di arginare sia il fenomeno dello *splash erosion* che quello dello *sheet erosion* connessi alla installazione dei pannelli fotovoltaici.

Dalle considerazioni sin qui esposte, i previsti lavori per la realizzazione di quanto in progetto, non porteranno alcuna modifica al deflusso superficiale delle acque meteoriche né alcuna interferenza con l'assetto idrogeologico delle acque di circolazione profonda.

Si può concludere pertanto che, non si ravvede la possibilità del manifestarsi di condizioni di pericolosità idraulica con effetti diretti sia sui manufatti che sulle aree interessate dalle opere sia sui corpi recettori posti a valle del progetto. Pertanto, vista la sostanziale assenza di modifiche geomorfologiche, la mancanza di modifica delle aree dei bacini scolanti e l'inalterata permeabilità delle aree oggetto di installazione dei pannelli fotovoltaici, si può concludere che il progetto garantisce un risultato di invarianza idraulica sui recettori naturali posti a valle delle opere.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al bacino idrografico relativo al *Bacino Idrografico del F. San Bartolomeo (045), Area territoriale tra il bacino del F. Jato e il F. San Bartolomeo (044), Area territoriale tra il bacino del F. San Bartolomeo e Punta di Solanto (046)*, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto Presidenziale del 04.06.2007, sulla G.U.R.S. n° 36 del 10.08.2007, e la zona di stretto interesse, non ricade né in aree in dissesto, né in aree a rischio, né in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..

L'elaborazione MASW delle tre stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità  $V_{S30}$  dei terreni pari a **412** m/s per MASW\_1, **363** m/s per MASW\_2, **551** m/s per MASW\_3.

Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il



D.M. 17.01.2018, i terreni in esame rientrano nel tipo di suolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Termini Imerese, Marzo 2022

