



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI CALTANISSETTA
COMUNE DI BUTERA

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO E DELLE OPERE E INFRASTRUTTURE CONNESSE, NEL COMUNE DI BUTERA (CL) DELLA POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 44,98 MW, DENOMINATO "BALLERINA".

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE



TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

PROGETTISTI

Ing. Ignazio Sciortino

Dott. Ing. Girolamo Gorgone



GEOLOGO

Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

CODICE ELABORATO

ERIN-BU_R_01_A_G

SCALA

n° Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

Rif. PROGETTO

N. _____

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE

COMUNE DI BUTERA

- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI CALTANISSETTA -

RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA

Progetto per la realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico e delle opere e infrastrutture connesse, della potenza in immissione pari a 44,98 MW, denominato Ballerina

Comm: Ing. Girolamo Gorgone
per conto di: Edison Rinnovabili S.p.a.
Data: Novembre 2023



Dott. Geol. Ignazio Giuffrè

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



COMUNE DI BUTERA

- LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI CALTANISSETTA -

RELAZIONE GEOLOGICO – TECNICA

Progetto definitivo

*“Progetto per la realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico e delle opere e infrastrutture connesse, della potenza in immissione pari a 44,98 MW, denominato *Ballerina*”*

Premessa

Il presente lavoro costituisce parte integrante di un progetto per la realizzazione di un impianto agro-fotovoltaico e delle opere e infrastrutture connesse, della potenza in immissione pari a 44,98 MW, denominato *Ballerina*, in agro di Butera.

Il lavoro è stato commissionato allo scrivente dall’Ing. *Girolamo Gorgone*, per conto di *Edison Rinnovabili S.p.a.*

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



Il presente studio viene redatto in conformità all'art. 15 della L. R. 16/16 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 acquisiti durante i sopralluoghi ed i rilevamenti geologici di superficie, sono stati integrati con quanto riportato nella letteratura tecnica specializzata (*Carta geologica d'Italia – 272 Gela*” E. Beneo, L. Baldacci, L. Mazzetti, R. Travaglia A. Alberti, A. Francaviglia, A. Malatesta - Servizio Geologico Italiano 1951 - 1954).

Molte informazioni di carattere geologico e stratigrafico sono state desunte dall'analisi dei numerosi fronti di scavo presenti nei pressi dell'area di interesse.

In ultimo 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*).

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

1. inquadramento dell'area ed opere previste in progetto;
2. lineamenti geologici;
3. lineamenti geomorfologici;
4. lineamenti idrogeologici;
5. considerazioni geologico - tecniche;



6. considerazioni litotecniche;
7. Sismica a rifrazione - tecnica MASW;
 - 7.1. classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW;
 - 7.2. risultati delle analisi MASW;
 - 7.3. categoria di suolo individuata;
8. pericolosità sismica locale;
9. zonizzazione del territorio;
10. conclusioni.

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 pericolosità geologiche in scala 1:10.000;
- carta della pericolosità sismica in scala 1:10.000;
- indagini sismiche;
- documentazione fotografica.



1. Inquadramento dell'area

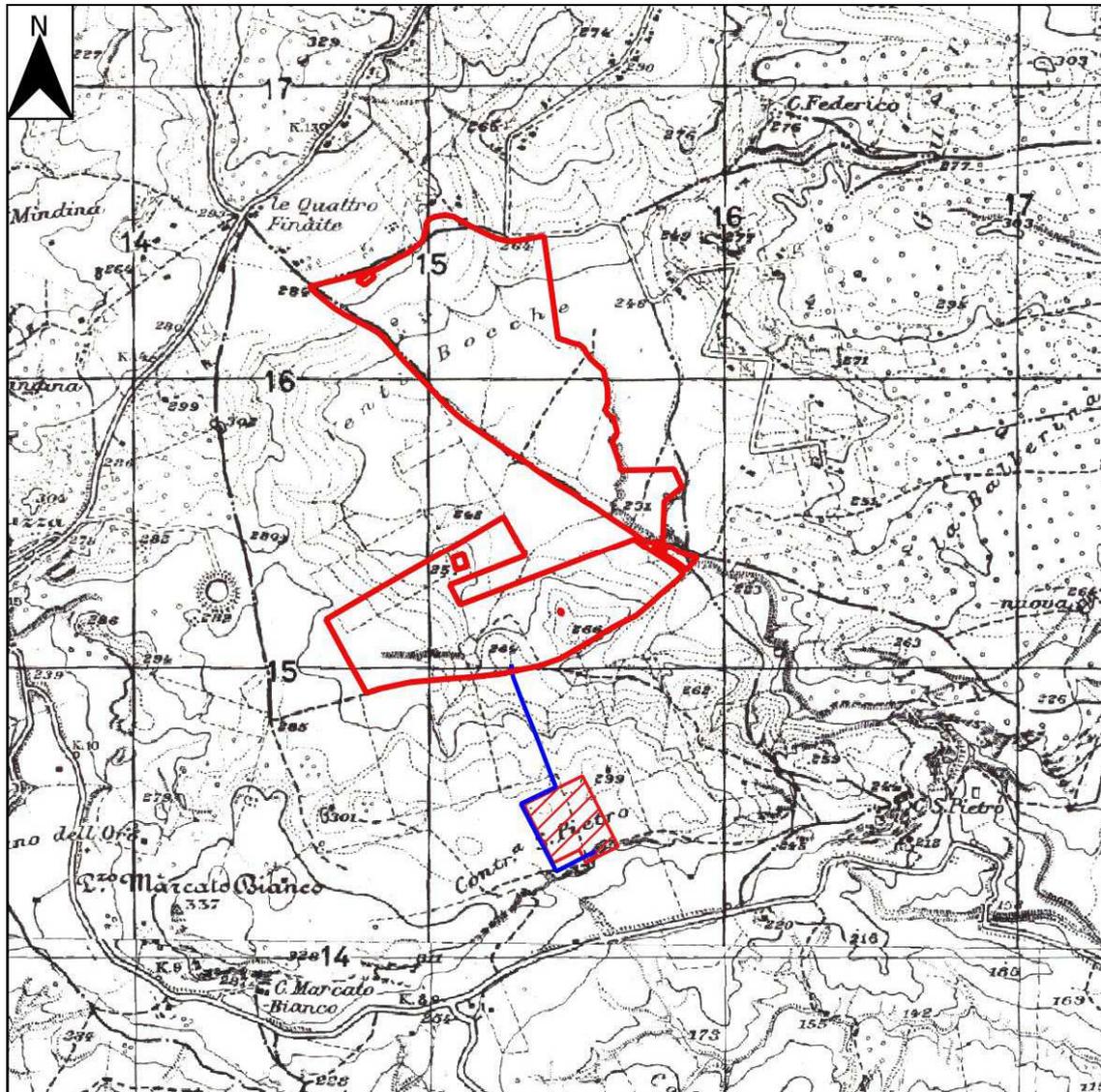
L'area oggetto del presente studio è localizzata nel settore sud orientale della Sicilia.

In dettaglio ci troviamo su un'area, facente parte del territorio comunale di Butera e ricadente nella contrada denominata *Venti Bocche*.



Topograficamente, il sito rientra nella Tavoleta “*Monte dei Drasi*”, Foglio n° 272, Quadrante IV, Orientamento S. O., redatte dall'I.G.M.I. alla scala 1:25.000 e ricade nella Sezione 643010 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000.

La superficie complessiva dell'Area disponibile per l'impianto è di circa 90,51 ettari, di cui soltanto una parte verrà effettivamente interessata dalla realizzazione del campo fotovoltaico.



Stralcio Tavoleta IGMI in scala 1:25.000 – Area impianto

L'area disponibile è adibita ad accogliere seminativo semplice, vigneto (da vino e da mensa) e oliveto. L'altimetria nel complesso varia da un minimo di 229 ed un massimo di 286 m s.l.m. All'interno dell'area non sono presenti singolarità morfologiche fuorché 2 modeste linee di impluvio che verranno tutelate ed escluse da ogni intervento.



Ortofoto in scala 1:10.000



L'impianto è raggiungibile da Caltanissetta attraverso la SS 640 dir Strada Statale Raccordo di Pietraperzia, successivamente imboccando la SS 626 all'uscita verso Mazzarino, la SP 47 all'uscita verso Licata percorrendola per circa 13,5 km si raggiunge la contrada *Venti Bocche*.



La tecnologia fotovoltaica consente la trasformazione dell'energia associata alla radiazione solare in energia elettrica sfruttando la capacità di alcuni materiali semiconduttori (tra cui il silicio) di liberare elettroni a seguito dell'energia ceduta agli stessi da una radiazione elettromagnetica. L'effetto fotovoltaico è alla base della produzione di energia nelle *celle* che compongono i moduli fotovoltaici, comunemente chiamati *pannelli solari*.

I moduli o pannelli fotovoltaici sono montati in serie (stringhe) su telai ad inseguimento solare monoassiale che si sviluppano lungo l'asse Nord-Sud e permettono



la rotazione dei moduli intorno a tale asse al fine di massimizzare la radiazione solare intercettata nel corso della giornata. I telai sono fissati al terreno per mezzo di pali infissi, evitando il ricorso a fondazioni in cemento armato.



In linea generale, un impianto fotovoltaico si compone di stringhe di moduli collegate tra loro. Gruppi di stringhe compongono i campi fotovoltaici in cui l'impianto è suddiviso, ciascuno afferente a una Power Station (o Cabina di campo). La power station ha il compito di innalzare la tensione della corrente convertendola da continua in alternata. Tutte le linee elettriche in uscita dalle power stations vengono convogliate alla cabina principale di impianto (o Cabina MTR - *Main Technical Room*) dalla quale parte la connessione alla rete elettrica nazionale.



L'impianto dispone anche di una Control room, locale adibito ad ufficio in cui sono collocati i terminali che consentono di monitorare il funzionamento di tutte le sue componenti.



All'impianto di produzione energetica è associato un programma agronomico che prevede la coltivazione di foraggere per raccolta e/o pascolamento diretto. Una fascia arborata correrà lungo il perimetro dell'impianto; la scelta delle specie e del sesto di impianto rifletterà la vocazione dello specifico tratto di fascia: produttiva e/o di miglioramento ambientale del sito. Le specie utilizzate saranno comunque tipiche del paesaggio agrario locale e della regione fitogeografica.

A seguire si riportano il layout generale di progetto e una tabella riassuntiva delle componenti principali dell'intervento.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche dell'impianto.



IMPIANTO AGRIVOLTAICO

- N. 65.190 moduli fotovoltaici montati su strutture ad inseguimento solare monoassiale (trackers); il terreno tra e sotto i trackers mantiene la capacità produttiva;
- N. 10 cabine di campo o power stations;
- N. 2 cabine principali di impianto (Main Technical Room – MTR);
- N. 2 Control room per il personale con annesso magazzino;
- N. 3 magazzini dedicati all'attività agricola;
- N. 6 cisterne per irrigazione;
- Viabilità interna di servizio (strade bianche);
- Recinzione e sistemi di illuminazione di emergenza e di sorveglianza;
- Fascia alberata di mitigazione

OPERE DI CONNESSIONE

- Cavidotto interrato MT lungo viabilità esistente dall'impianto alla SSE Utente di Trasformazione;
- SSE Utente di Trasformazione 30/150 kV;
- Collegamento in antenna a 150 kV con una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 150 kV della RTN, da inserire in entra - esce alla linea 220 kV RTN "Favara - Chiaramonte Gulfi".



2. Lineamenti geologici

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

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

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

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

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

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

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

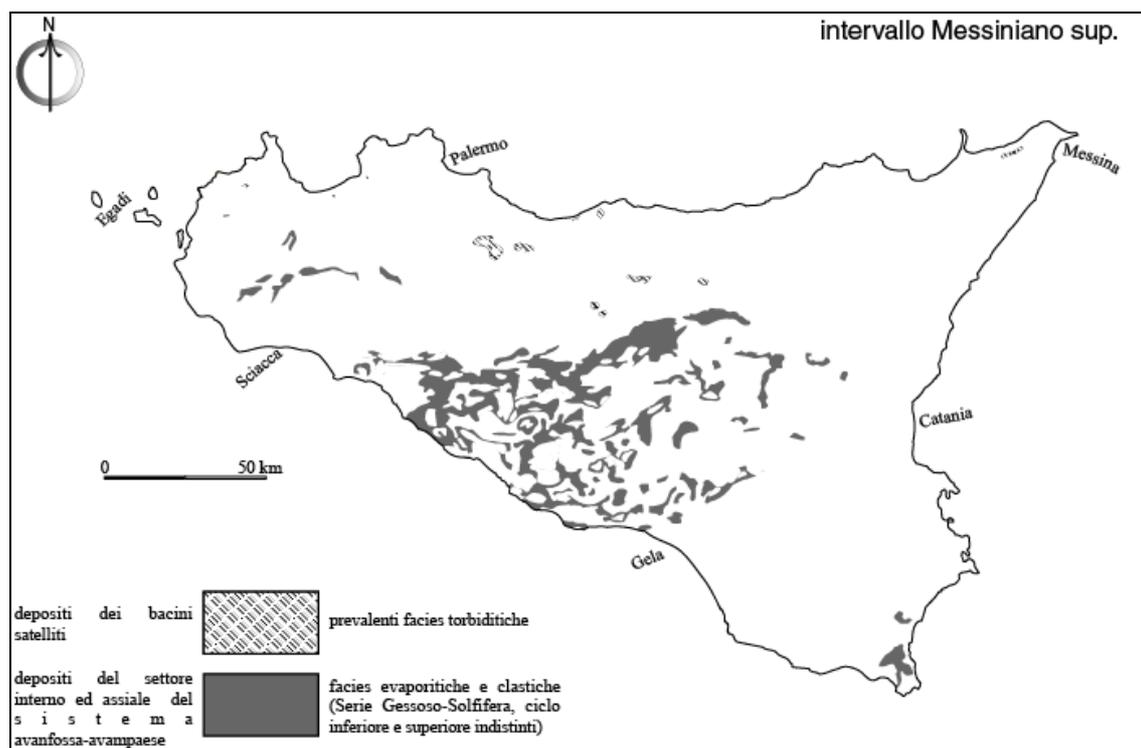


6. successioni carbonatico - marnose pelagiche ("Trubi") di età Pliocene inf.

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

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

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



Distribuzione delle evaporiti in Sicilia

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



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

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

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

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

Dall’analisi degli affioramenti geologici nei dintorni dell’area in esame (“*Carta geologica d’Italia – 272 Gela*” E. Beneo, L. Baldacci, L. Mazzetti, R. Travaglia A. Alberti, A. Francaviglia, A. Malatesta - Servizio Geologico Italiano 1951 - 1954) e da quanto osservato in superficie, l’area di stretto interesse è caratterizzata dall’alto verso il basso da:

- *Alluvioni attuali e o recenti talvolta terrazzati in più ordini (q3).*

Ghiaie eterometriche a prevalenti clasti sedimentari spigolosi, piattiti e/o arrotondati, smussati; ghiaie eterometriche a prevalenti clasti sedimentari arrotondati e ghiaie sabbiose; ghiaie eterometriche a prevalenti clasti sedimentari spigolosi, vulcanici smussati e subarrotondati, oltre a limi argillosi sempre presenti nei corsi fluviali, attualmente in formazione in alveo. *Olocene*



- *q2l – Depositi fluviali antichi terrazzati*

Limi argillosi, limi e più raramente limi sabbiosi di colore bruno, con ciottoli quarzarenitici di diametro tra 2 e 25 cm; sabbie a grana da fine a grossolana, sabbie limose e sabbie ghiaiose (deposito di piana inondabile); ghiaie poligeniche ed eterometriche in abbondante matrice sabbiosa, con blocchi angolosi e con intercalazioni sabbioso-ghiaiose; sabbie da grossolane a fini, localmente limose, in strati da sottili a molto spessi, alternate a limi sabbiosi e limi argillosi, in strati molto sottili e sottili (deposito di conoide alluvionale, di canale e di argine). Spessore da pochi metri fino ad un massimo di 25 m. (*Olocene*)

- *Trubi (TB)*

Si tratta di marne bianche a Globigerina (termine stratigraficamente sovrastante le successioni messiniane) sono sedimenti pelagici stratificati, di ambiente epimesopelagico e costituiscono l'inizio della sedimentazione pliocenica. Per quanto riguarda la profondità di sedimentazione dei "Trubi", OGNIBEN (1957) e HARDIE & HUGSTER (1971) li considerano depositi pelagici ma di acque basse, Ruggieri (1960) li considera di media profondità; DECIMA E WEZEL (1971) valutano la profondità in 200-500 metri; CITA (1973) considera i "Trubi" di mare molto profondo (fino a 3000 metri).

L'età della sezione, è sicuramente pliocenica, per la mancanza di ospiti nordici nella microfauna, caratterizzanti questi, l'inizio del Pleistocene, e per la posizione stratigrafica sopra i depositi evaporitici sopramiocenici.

- *Calccare di base (M3c)*

E' dato da alternanze di banchi di 1-2 m di prevalenti calcari evaporitici, e subordinatamente da marne e brecce. Non si ha un passaggio netto con il Tripoli, ma si hanno alternanze dei due termini. La formazione è paleontologicamente sterile.

- *Formazione Terravecchia (M2a)*

E' costituita da depositi fluvio-deltizi cui seguono verso sud, depositi pelitici e successivamente pelitico-biogenici. La località tipo della formazione è il settore



settentrionale di Cozzo Terravecchia, a Nord di S. Caterina di Villaerrosa (Schmidt di Friedberg, 1962). A tale formazione sono riconducibili i terreni alto miocenici di Baldacci (1886), le marne argillose Tortoniano - Elveziane della formazione di Licata (Ogniben, 1954), gli olistostromi tortoniani ed i calcari detritico organogeni alto tortoniani.

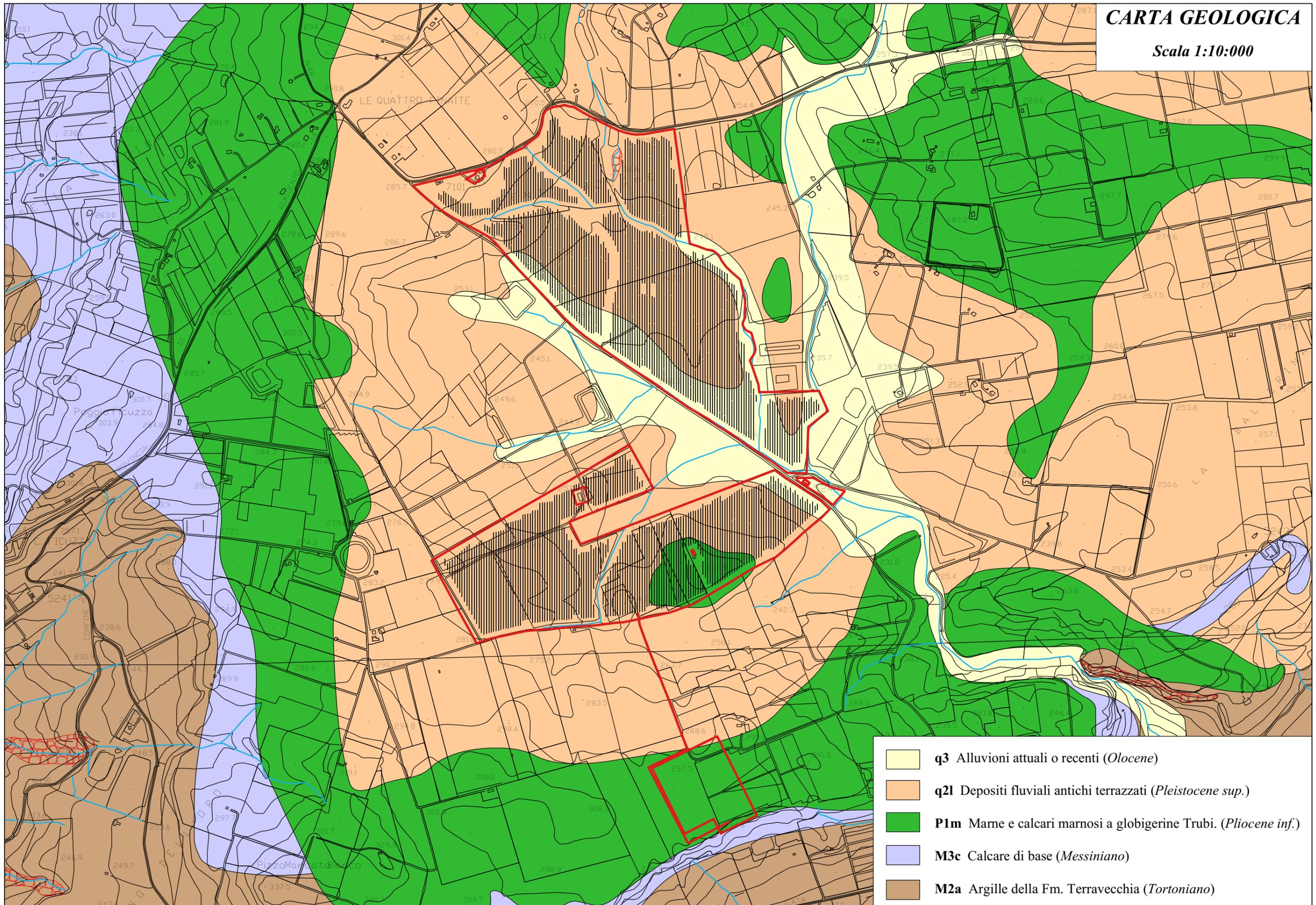
L'area ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico ricade in parte su *Alluvioni attuali e o recenti talvolta terrazzati in più ordini (q3)* ed in parte su *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)*.

La stazione elettrica di connessione ricade invece sulle marne e calcari marnosi a globigerine (*Trubi*).

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

CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10:000





3. Lineamenti geomorfologici

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

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

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

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

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

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



matturo sia allo stato embrionale, i quali si articolano in forme geometriche, dal tipico andamento “meandriforme”.

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

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

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

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

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

Trattandosi di terreni argillosi per lo più interessati da una fitta rete di micro discontinuità di forme irregolari, la resistenza dei singoli elementi è influenzata in modo rilevante, a parità di altre condizioni, dalle pressioni dei fluidi interstiziali. In particolare, la resistenza lungo i giunti è fortemente condizionata dalla pressione dei fluidi contenuti nelle discontinuità; sono, quindi, sufficienti anche modeste variazioni dell’ambiente tensionale per produrre variazioni nei caratteri fisici di tali materiali.



Inoltre, è da notare come il rilascio tensionale provoca una sostanziale modifica della struttura che rende possibile il rigonfiamento, con assorbimento di notevole quantità d'acqua, laddove il terreno venga a trovarsi in contatto con essa.

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

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

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

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

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

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

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo all'*Area Territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076)*, *Bacino Idrografico del Torrente Comunelli (075)*, *Bacino Idrografico del Torrente Rizzuto (074)*, *Area Territoriale tra il bacino del Torrente Rizzuto e il bacino del Fiume Imera meridionale (073)*, redatto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, approvato con Decreto Presidenziale del 10.04.2007, e pubblicato sulla G:U.R.S. n° 27 del 15.06.2007 e la zona di stretto interesse, non ricade ne in aree in dissesto, ne in aree a rischio, ne in aree a pericolosità, ai sensi del predetto P.A.I..



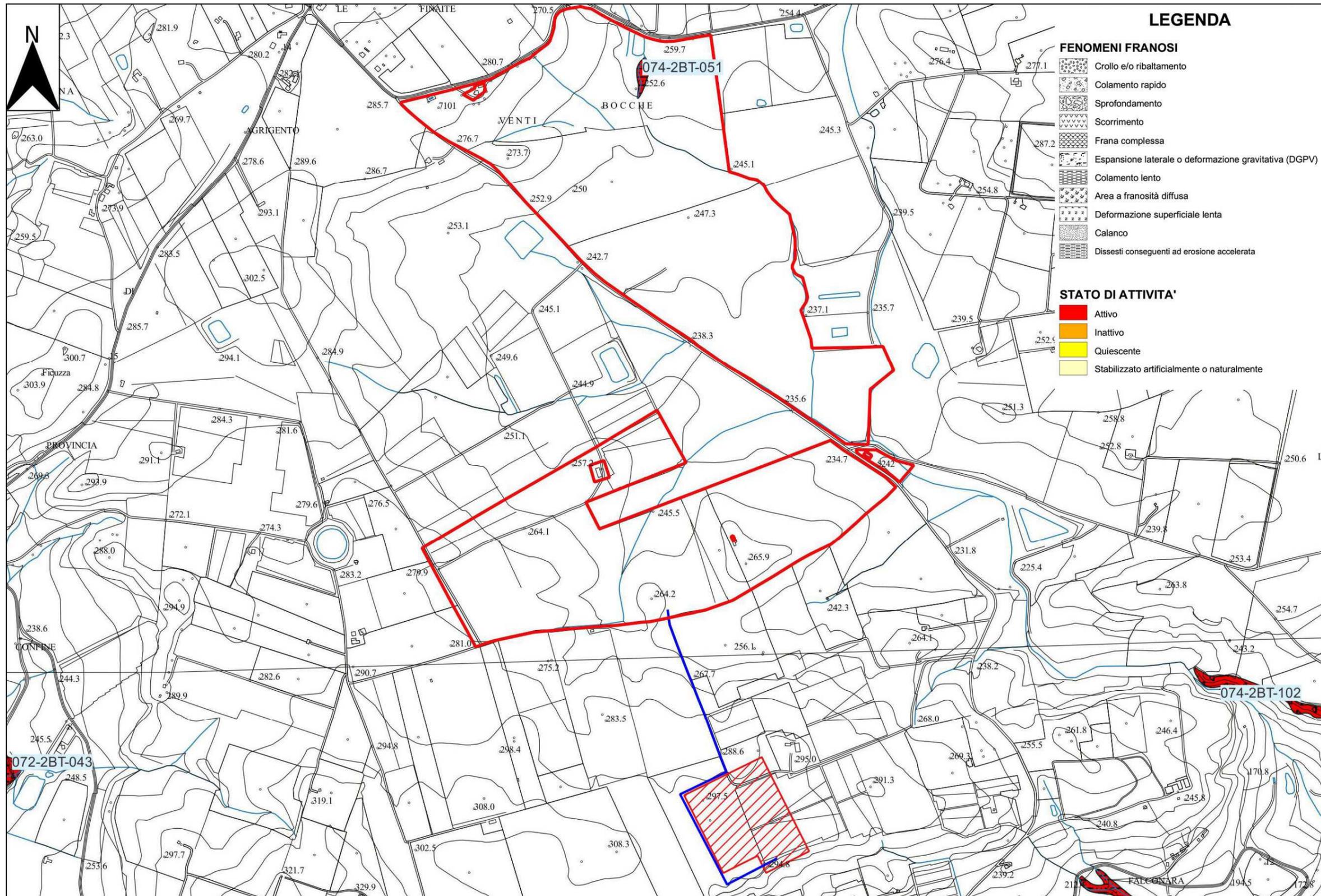
Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che l'installazione dei pannelli fotovoltaici e delle opere accessorie, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In ogni caso nelle aree dove verranno realizzati l'impianto e la sottostazione, allo stato attuale non sono stati rinvenuti dissesti in atto che possano enfiare la futura installazione degli stessi.

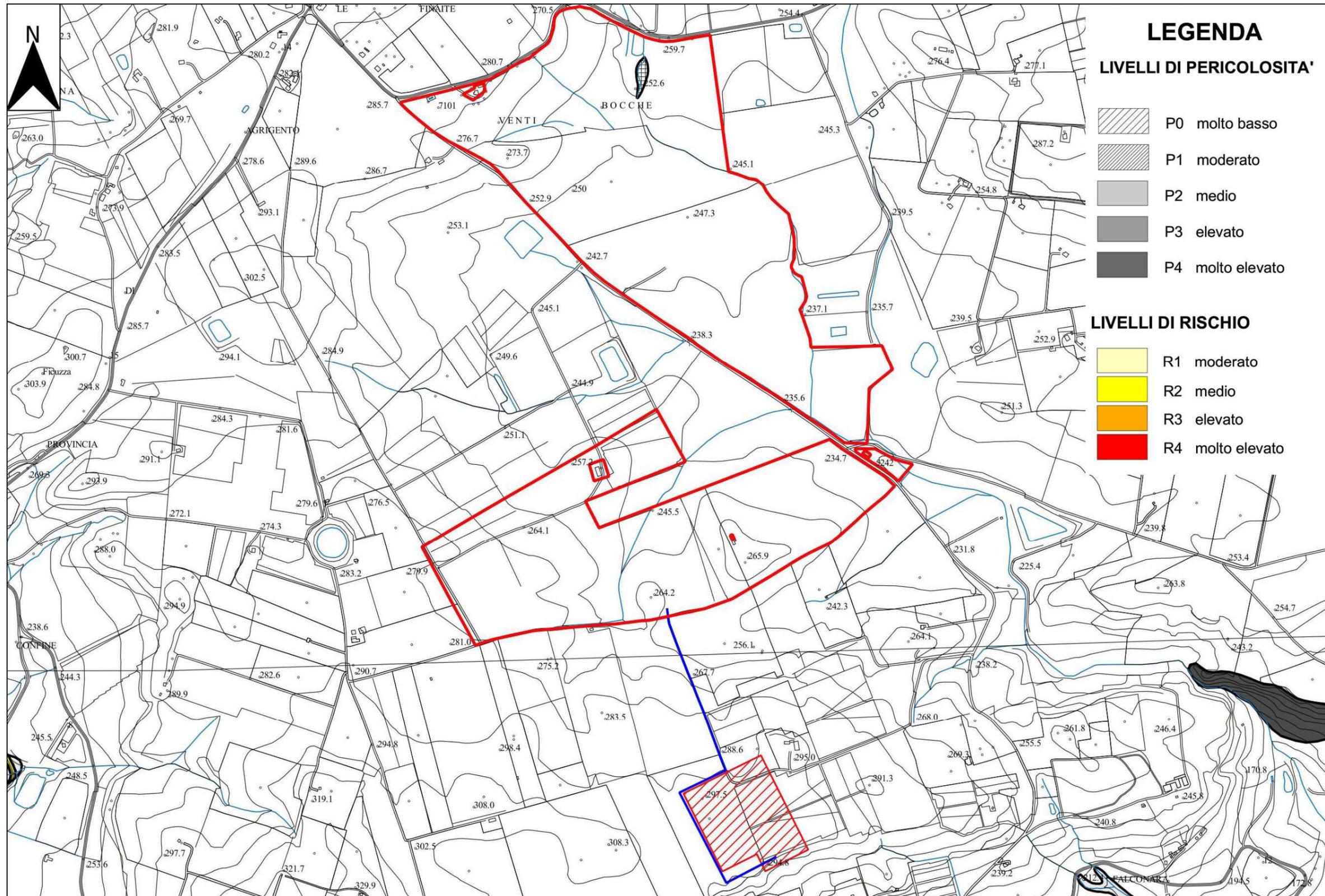
Quanto fin qui detto è stato riportato nell'allegata carta geomorfologica in scala 1.10.000.

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

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



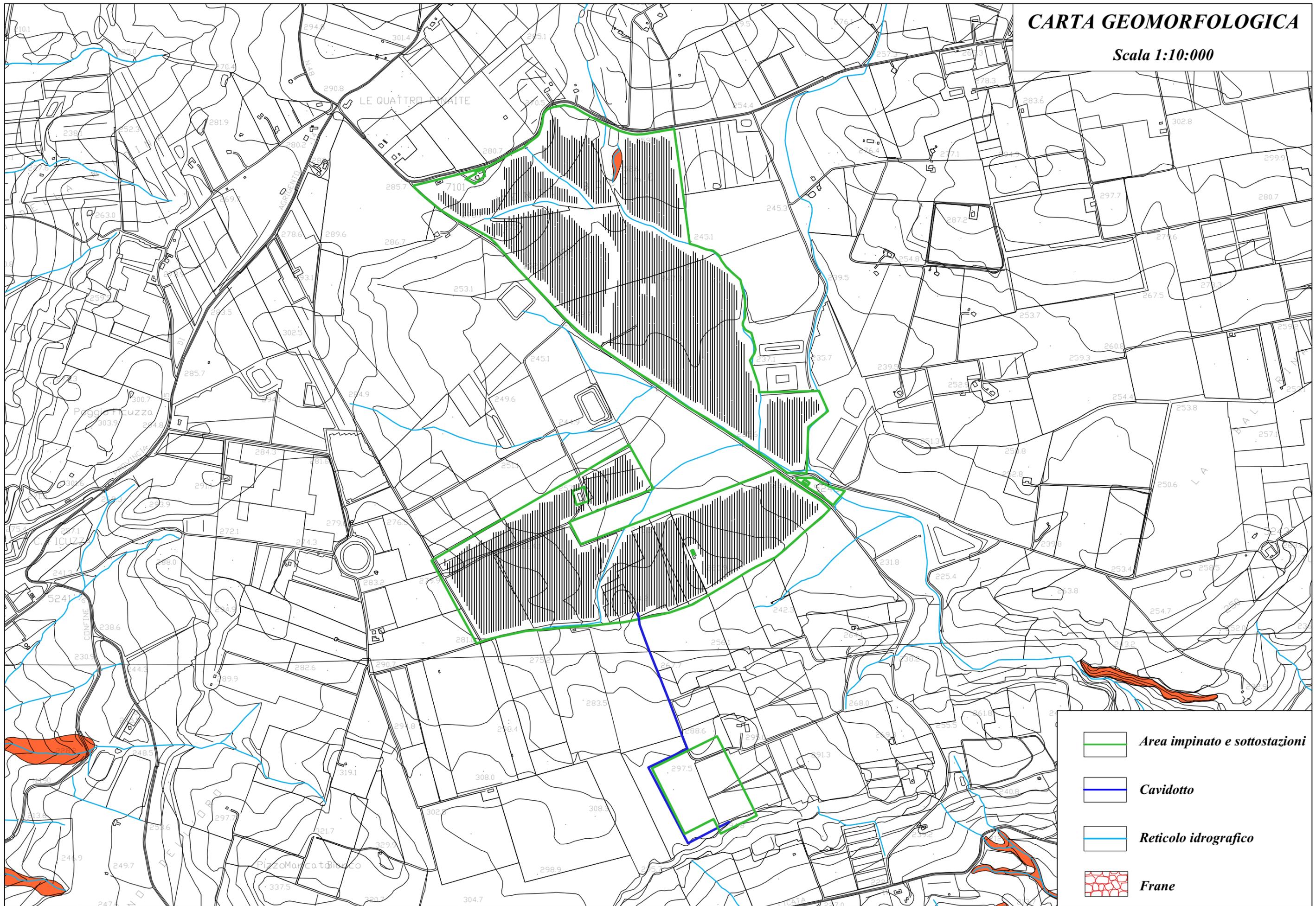
Stralcio carta dei dissesti PAI

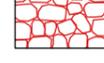


Stralcio carta pericolosità e rischio geomorfologico PAI

CARTA GEOMORFOLOGICA

Scala 1:10:000



-  *Area impinato e sottostazioni*
-  *Cavidotto*
-  *Reticolo idrografico*
-  *Frane*



4. Lineamenti idrogeologici

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda le rocce ricadenti nella prima classe (*rocce permeabili per porosità*), sono stati inclusi i sedimenti e/o formazioni di seguito elencati: *Alluvioni attuali o recenti (q3)*; *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)*

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

Per quanto riguarda i litotipi e/o le formazioni ricadenti nella seconda classe (*rocce a permeabilità media per fessurazione, fratturazione e/o carsismo*), sono stati inclusi i *Calcari di Base (Mc)*.



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

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

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

Sono state incluse nella terza classe (*rocce impermeabili*), sono stati inclusi i sedimenti e/o formazioni di seguito elencati: *Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi. (P1m)*, – *Argille della Fm. Terravecchia (M2a)*.

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

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

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



LITOTIPO	TIPO DI PERMEABILITÀ	GRADO DI PERMEABILITÀ	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ
<i>Alluvioni attuali o recenti (q3); Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)</i>	<i>Porosità</i>	<i>alta</i>	<i>10⁻¹-10⁻³</i>
<i>Calcere di base (Mc)</i>	<i>Fessurazione, fratturazione e/o carsismo</i>	<i>da media a bassa ed in dipendenza dei sistemi di fessure</i>	<i>10⁻³-10⁻⁵</i>
<i>Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi. (P1m), Argille della Fm. Terravecchia (M2a)</i>	<i>Impermeabili</i>	<i>da bassa a molto bassa</i>	<i>10⁻⁶-10⁻⁹</i>

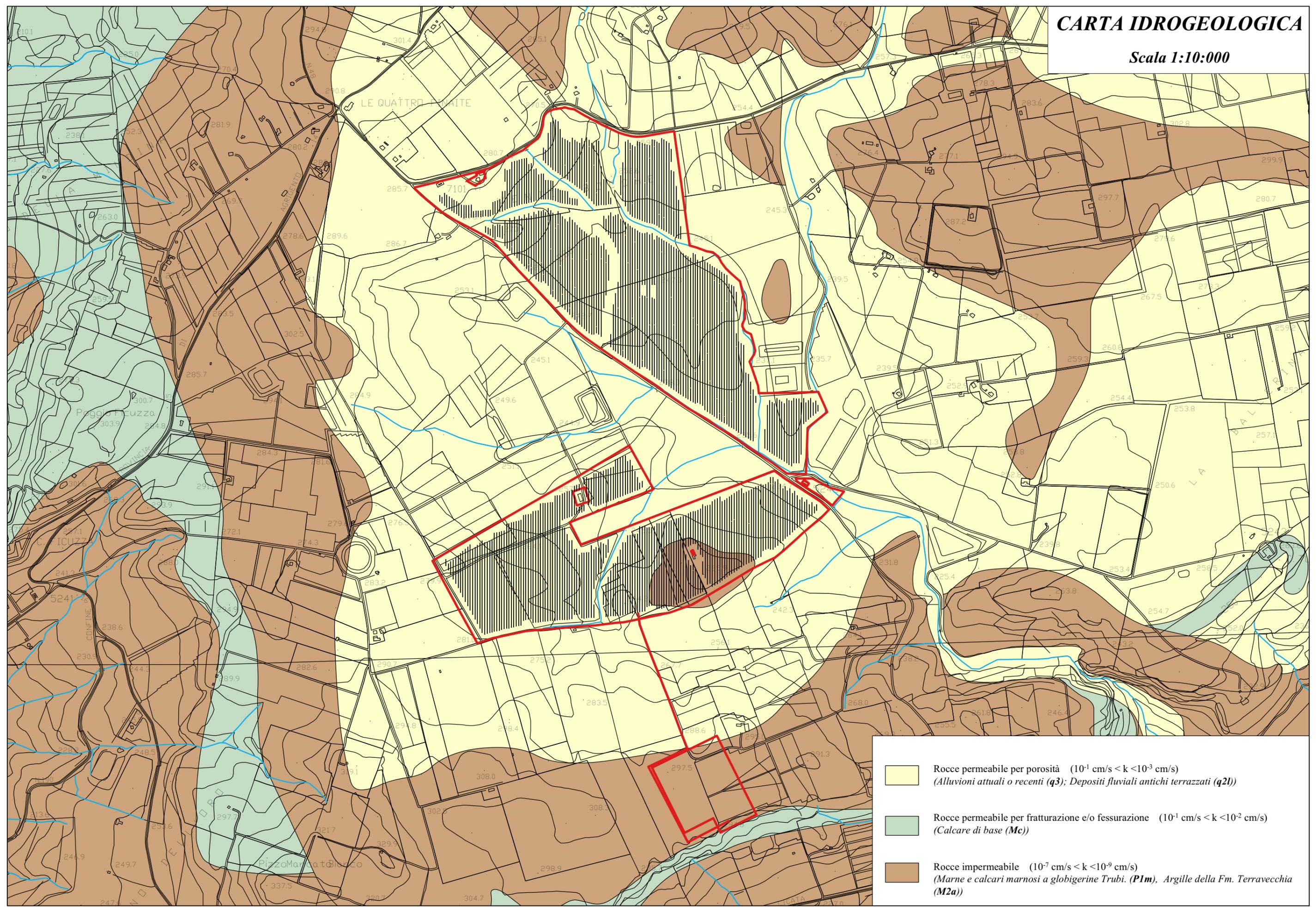
Schema riepilogativo

Si sottolinea infine che nessuna sorgente ricade nelle vicinanze dell'impianto da installare e che lo stesso non turberà l'equilibrio idrico sotterraneo e che le opere di fondazione non interferiranno con le eventuali falde presenti.

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

CARTA IDROGEOLOGICA

Scala 1:10:000



-  Rocce permeabile per porosità (10^{-1} cm/s $<$ k $<$ 10^{-3} cm/s)
(Alluvioni attuali o recenti (q3); Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l))
-  Rocce permeabile per fratturazione e/o fessurazione (10^{-1} cm/s $<$ k $<$ 10^{-2} cm/s)
(Calcare di base (Mc))
-  Rocce impermeabile (10^{-7} cm/s $<$ k $<$ 10^{-9} cm/s)
(Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi. (P1m), Argille della Fm. Terravecchia (M2a))



5. Considerazioni geologico - tecniche

Da quanto osservato dal rilevamento geologico, e da quanto rilevato durante l'esecuzione delle indagini geognostiche, si può affermare che nell'area ove si prevede di realizzare l'impianto, affiorano i seguenti litotipi:

- *Alluvioni attuali o recenti (q3);*
- *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l).*

Mentre l'area ove ricadrà la stazione elettrica di connessione è caratterizzata dalla presenza di:

- *Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi (P1m).*

Le *alluvioni attuali o recenti (q3)* e i *depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)*, sono costituiti da elementi ciottolosi di varia natura e pezzatura, più o meno arrotondati, con spessori variabili di sabbie e limi. I fusi granulometrici nel settore in oggetto, non appaiono uniformi e, a luoghi, si registra un prevalere di elementi ciottolosi. Le rocce che li compongono, dal punto di vista geotecnico, vengono classificate come rocce "incoerenti" o "sciolte" e sono costituite nel loro insieme da ciottoli, sabbie e limo. Trattasi di rocce esogene (sedimentarie) di origine meccanica ("rocce clastiche"), provenienti dal disfacimento di formazioni calcaree, dolomitiche, arenacee ed in parte da formazioni argillose fortemente preconsolidate. Studi effettuati su tali materiali (A. Pellegrini - "*Proprietà geotecnica dei materiali a grana grossa*" e R. Jappelli - "*Proprietà geotecniche di tipiche rocce sciolte a grana media e grossa della Sicilia*"), dimostrano che granulometricamente la frazione $d < 0.20$ mm è presente in percentuale assai modesta e che all'interno di ciascun deposito è stata riscontrata una elevata variabilità della granulometria, sia in senso verticale, sia orizzontale.

Inoltre, l'arrotondamento non uniforme delle particelle è dovuto alla differente composizione mineralogica della roccia dalla quale il materiale ha tratto origine ed ai successivi processi di trasporto e deposito. Pertanto, l'arrotondamento risulta strettamente legato alla durata ed alla modalità con cui i materiali in questione sono stati trasportati dal punto di origine al luogo in cui si trovano attualmente. La resistenza al taglio di tali materiali aumenta con il costipamento e con un gradiente che risulta essere



tanto maggiore quanto minore è la porosità. In generale, i valori di angolo d'attrito interno (ϕ') risultano elevati e quelli di coesione (c') modesti e/o nulli.

I *Trubi (Tb)*, dal punto di vista geotecnico sono classificati come “*rocce coerenti*”.

Circa la distribuzione areale si rimanda all'allegata carta geologica.

Le “*rocce coerenti*”, interessano ammassi rocciosi le cui caratteristiche geotecniche sono legate prevalentemente alle loro proprietà meccaniche ed al loro stato di continuità.

In base alla resistenza meccanica (valutata attraverso la prova di compressione uniassiale) tali rocce possono essere divise in 5 gruppi.

<i>Classe</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Kg/cm²</i>
A	Resistenza molto alta	>2000
B	Resistenza alta	1000-2000
C	Resistenza media	500-1000
D	Resistenza bassa	250-500
E	Resistenza molto bassa	<250

Nel campo delle rocce con resistenza minore di 250 kg/cm², possono distinguersi le ulteriori seguenti caratteristiche:

<i>Rocce tenere</i>	250 - 100 kg/cm ²
<i>Rocce molto tenere</i>	100 - 50 Kg/cm ² < 50 kg/ cm ²

Tali materiali nella loro generalità presentano, buone caratteristiche geotecniche con una variabilità di resistenza che rientra tra i valori prima riportati.

Su tali materiali è importante rilevare se:

- la roccia sia intatta, cioè priva di discontinuità anche se capillari;
- la roccia sia stratificata;
- la roccia sia poco fratturata;
- la roccia sia molto fratturata;
- la roccia sia completamente frantumata.



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

<i>Litotipo</i>	<i>Caratteristiche fisico / meccaniche</i>	<i>Parametri</i>
q3 – Alluvioni attuali o recenti q2l – Depositi fluviali antichi terrazzati	<i>peso dell'unità di volume</i> <i>coesione</i> <i>angolo di attrito interno</i>	18.06 KN/m³ 11 KN/m² 25°
P1m – Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi	<i>peso dell'unità di volume</i> <i>coesione</i> <i>angolo di attrito interno</i>	19.50 KN/m³ 0.5 KN/m² 30°

Colonna geotecnica riepilogativa



6. 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 1:10.000.

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

Passando in rassegna i terreni presenti nel territorio in esame, relativamente alle **unità litotecniche di copertura** queste sono rappresentate da: *Alluvioni attuali o recenti (q3)* e *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)*. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **G1c**.

I terreni presenti nel territorio in esame, relativamente alle **unità litotecniche di substrato**, sono rappresentate dalla *Marne e calcari marnosi a globigerine. Trubi (P1m); Tripoli (TR)*, si tratta di successioni carbonatiche - poliedri giustapposti volume medio oltre 0,01 mc. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **A3**.

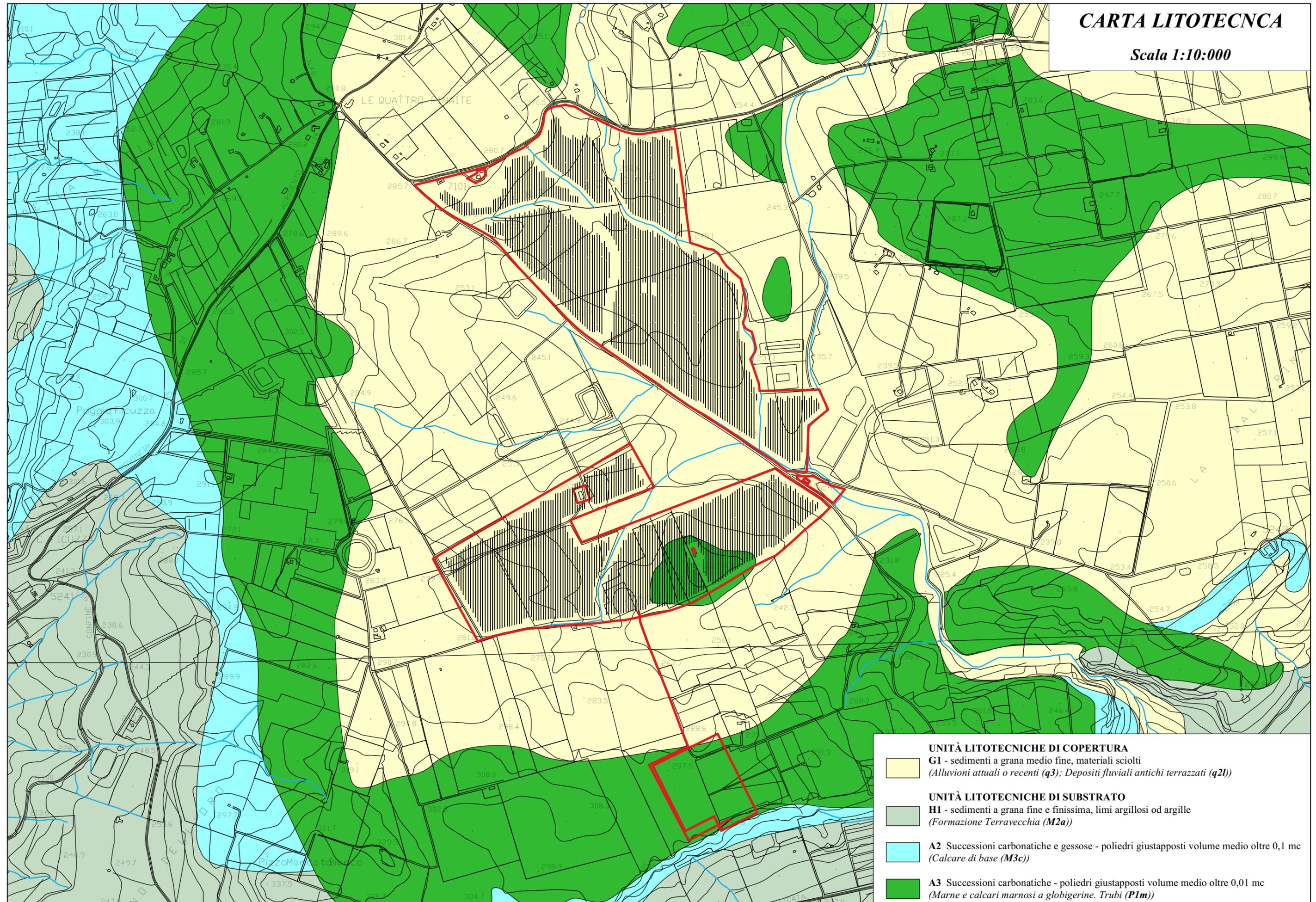
Inoltre sono anche rappresentate dalla *Formazione Terravecchia (M2a)*. Si tratta di sedimenti a grana fine e finissima, limi argillosi od argille. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **H1**.

Inoltre sono anche rappresentate dai *Calcari di base (M3c)*. Si tratta di Successioni carbonatiche e gessose - poliedri giustapposti volume medio oltre 0,1 mc. Queste litologie vengono attribuite all'unità litotecnica **A2**.

Quanto fin qui esposto è stato rappresentato nelle allegate carte litotecniche in scala 1:10.000.

CARTA LITOTECNCA

Scala 1:10:000





7. Sismica a rifrazione – Tecnica MASW

Sull'area ove si propone la realizzazione dell'impianto fotovoltaico, 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.

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.

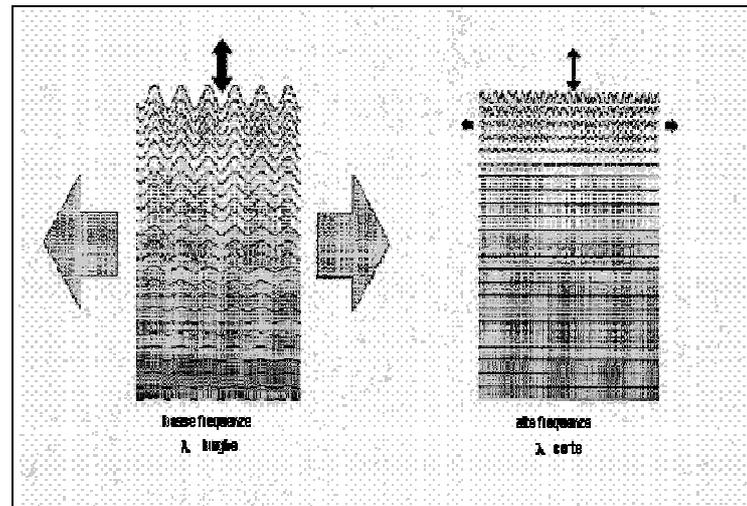
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza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



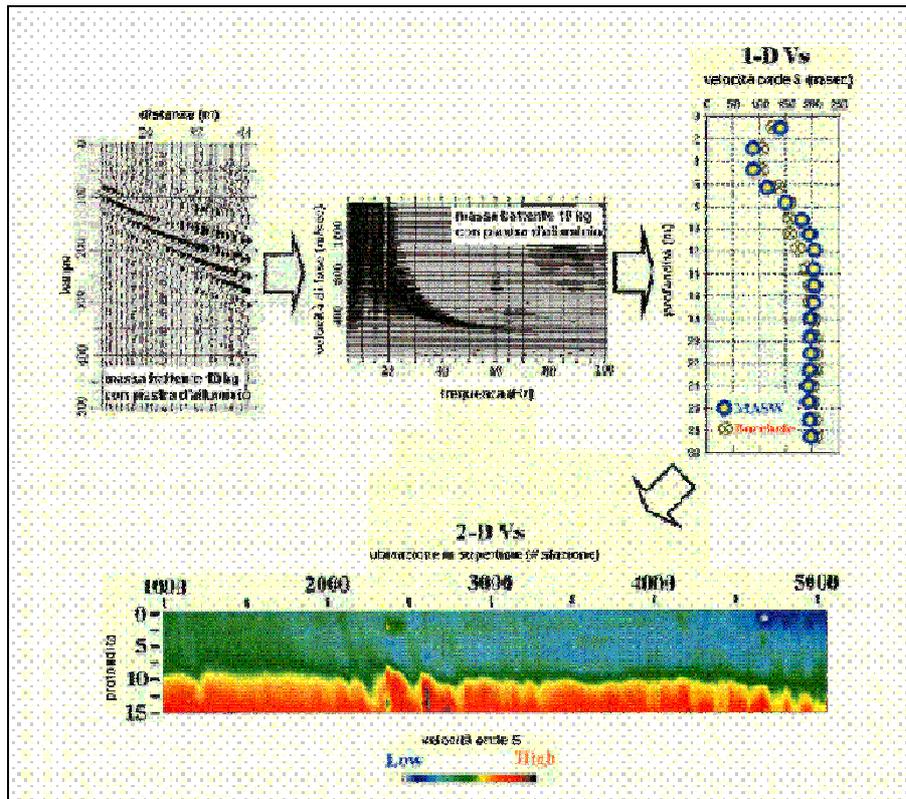
La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

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

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

Con le apparecchiature usate è stato possibile ottenere i primi impulsi sufficientemente netti anche quando i rumori di fondo erano elevati. Questo si è potuto realizzare in quanto la registrazione veniva immagazzinata da una memoria elettronica e successivamente tracciata su un display con la possibilità di discernere i segnali veri da quelli spuri.



Descrizione generale della procedura MASW

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.

7.1 Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW

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



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

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

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

con:

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

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

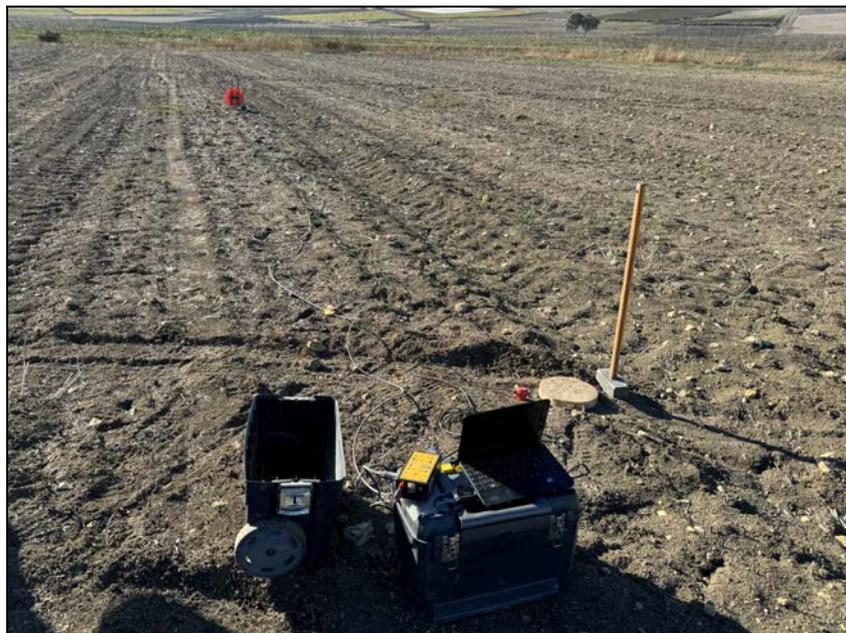
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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



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

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



Stesa sismica ST 1



Stesa sismica ST 2



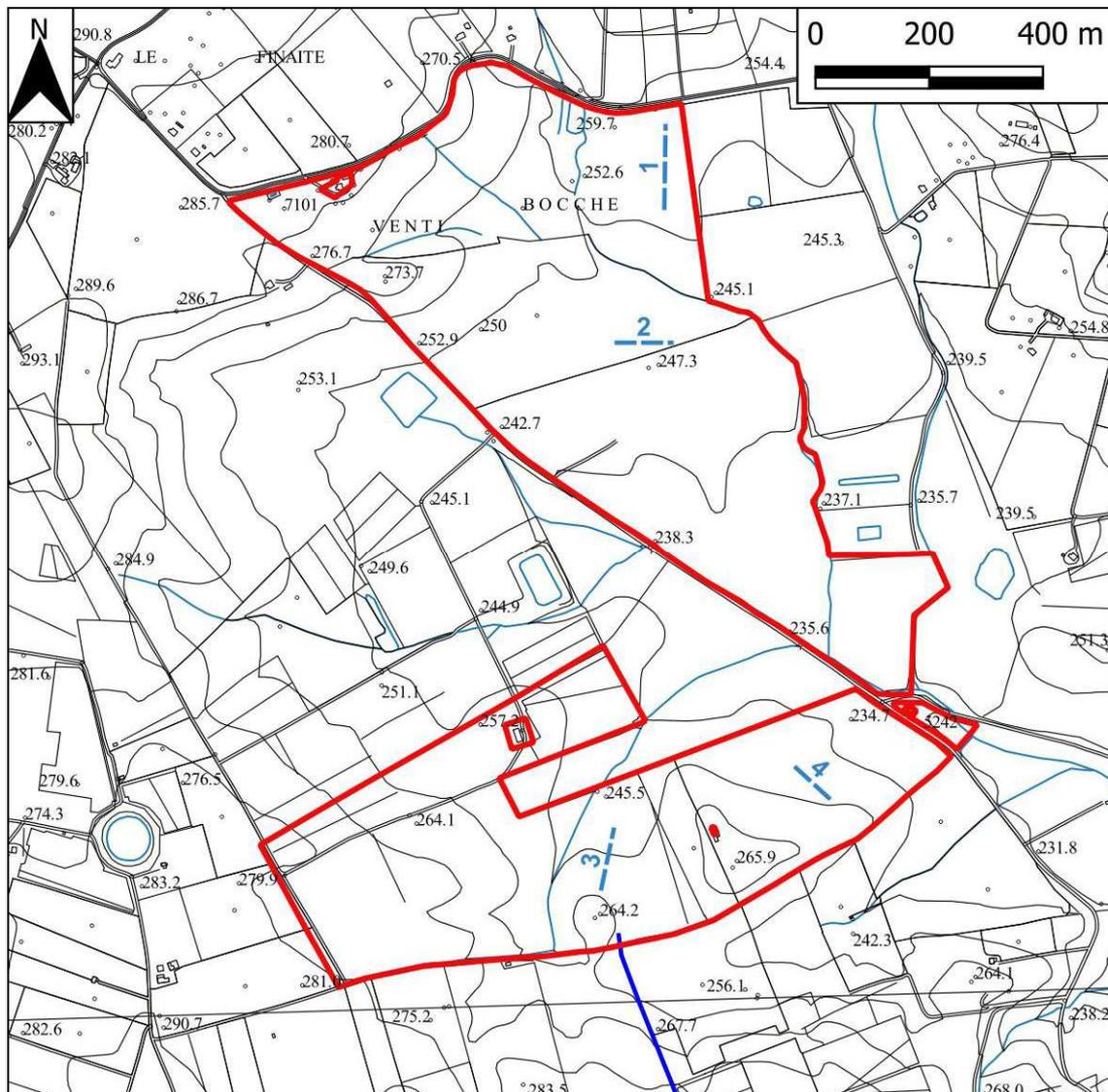
Stesa sismica ST 3



Stesa sismica ST 4

7.2 Risultati delle analisi MASW

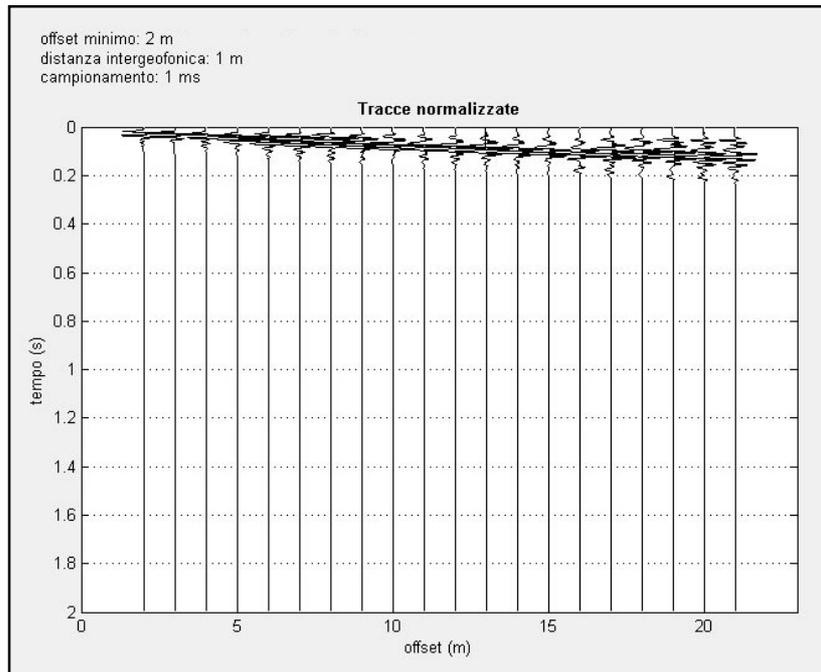
Nel sito in esame in dettaglio sono state eseguite quattro stese sismiche a rifrazione interpretate con tecnica MASW e di seguito vengono riportati i dati ottenuti.



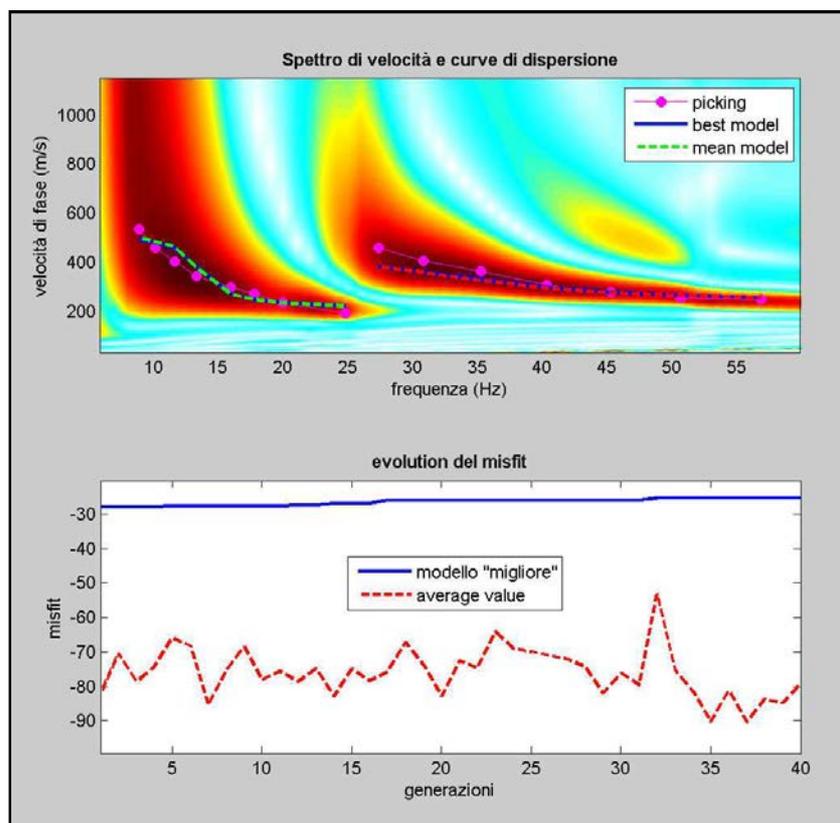
Carta tecnica regionale con ubicazione indagini MASW

Dati sperimentali MASW ST 1

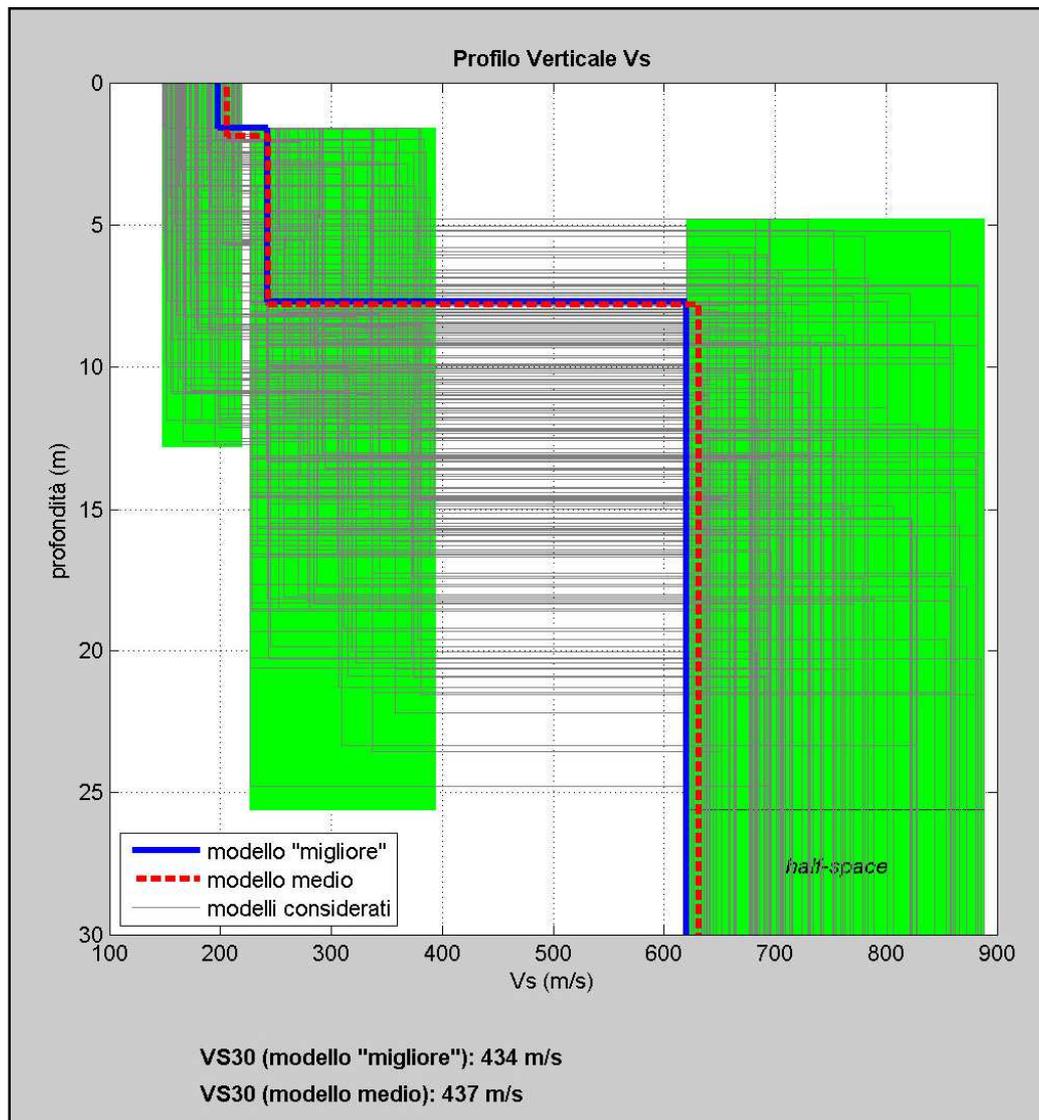
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



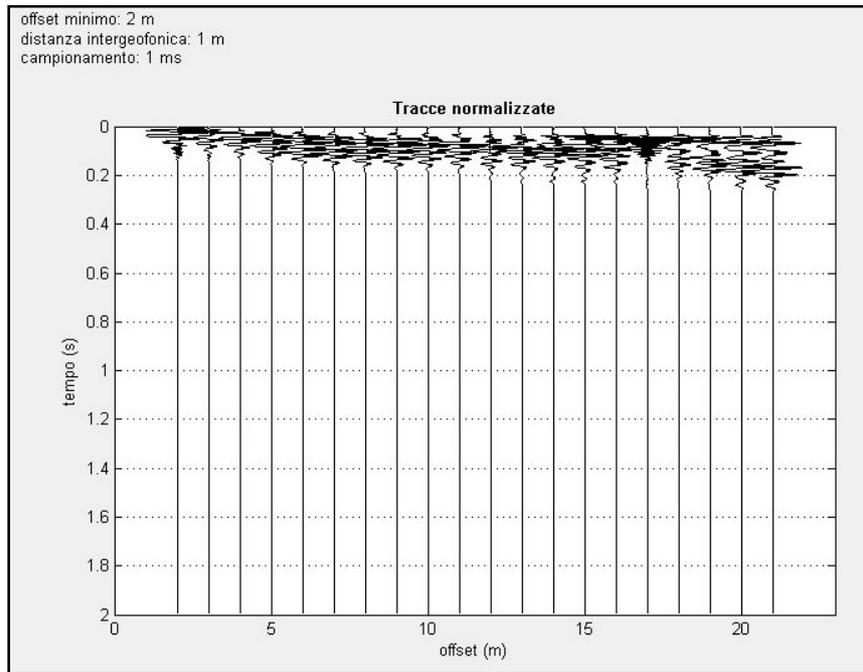
Curva di dispersione



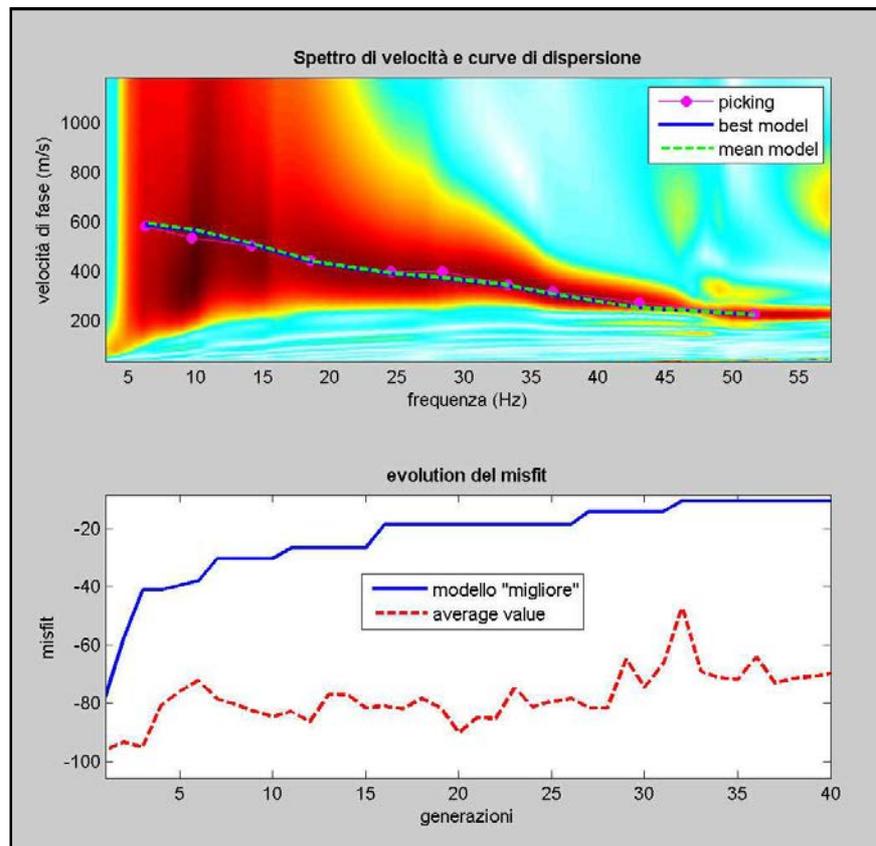
Elaborazione modelli equivalenti

Dati sperimentali MASW ST 2

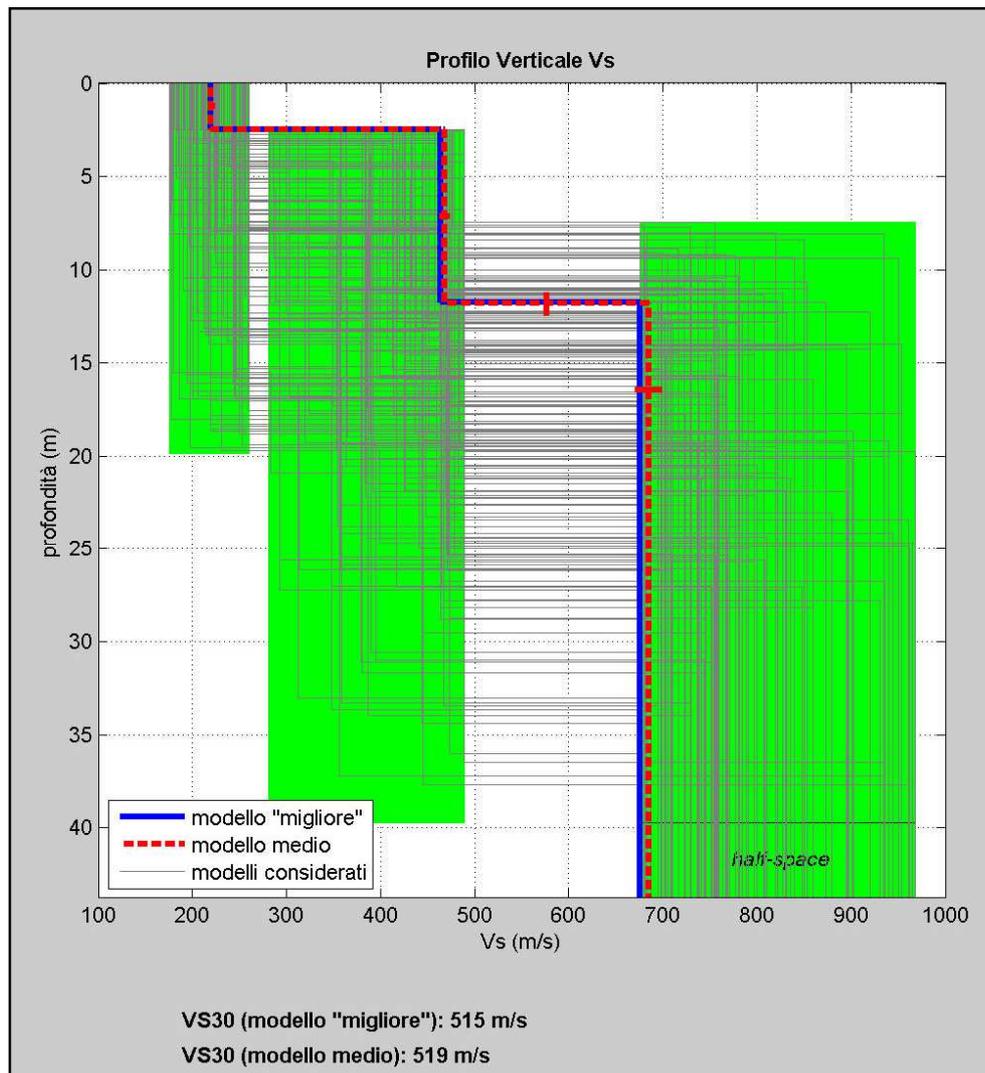
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



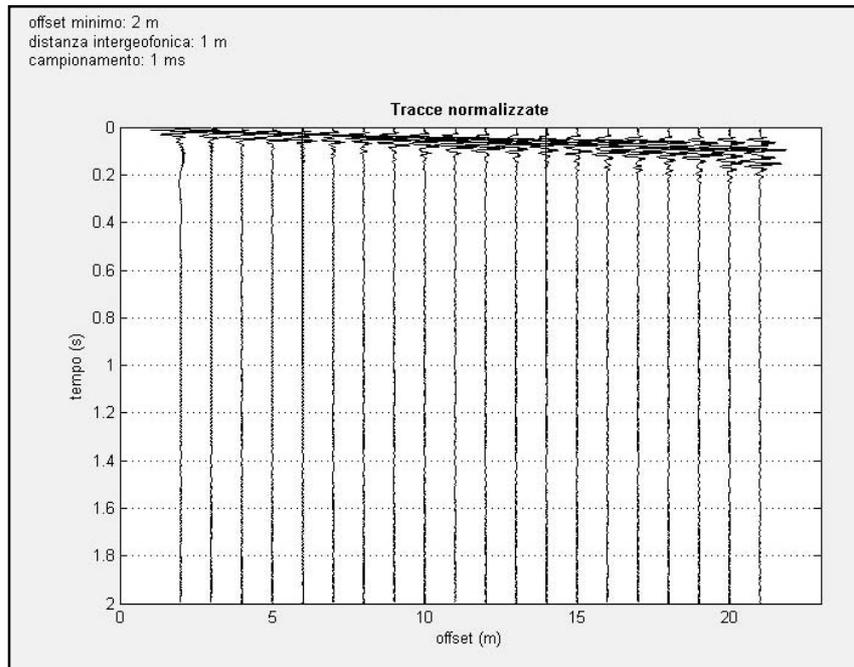
Curva di dispersione



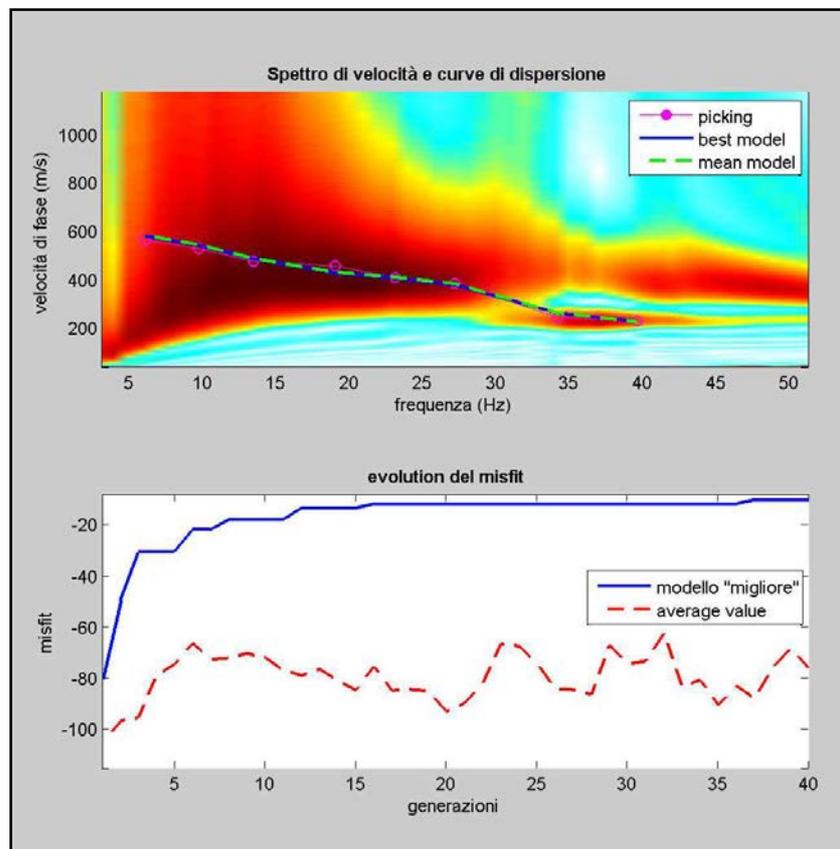
Elaborazione modelli equivalenti

Dati sperimentali MASW ST 3

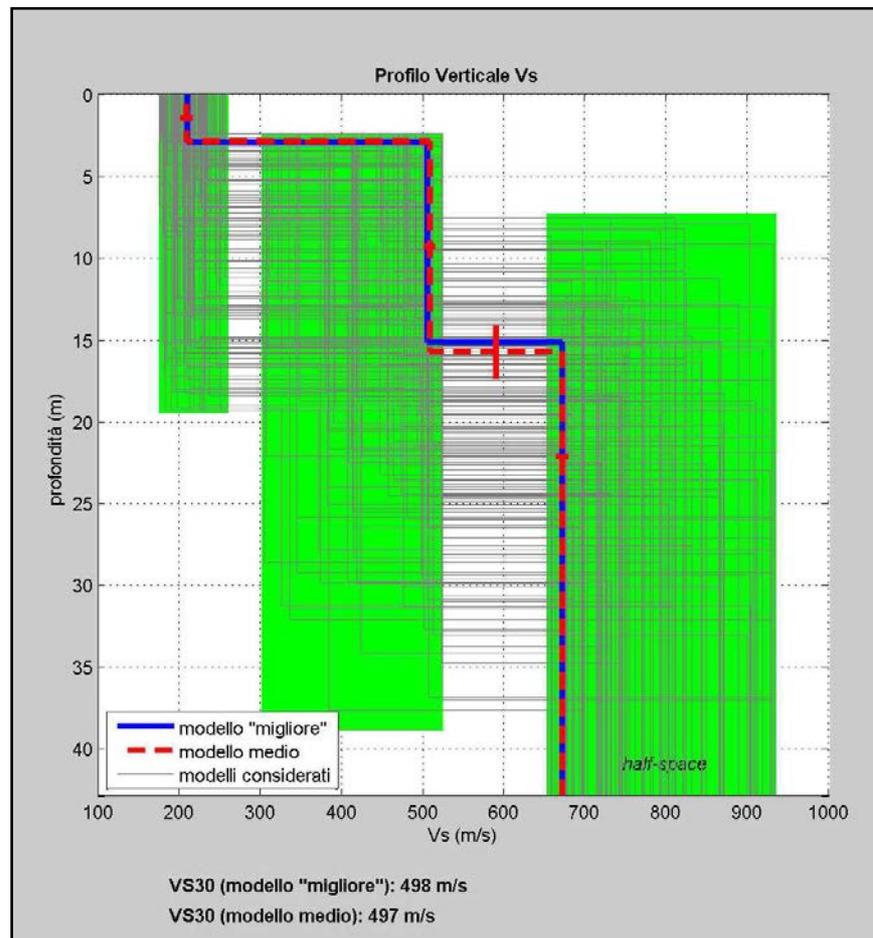
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



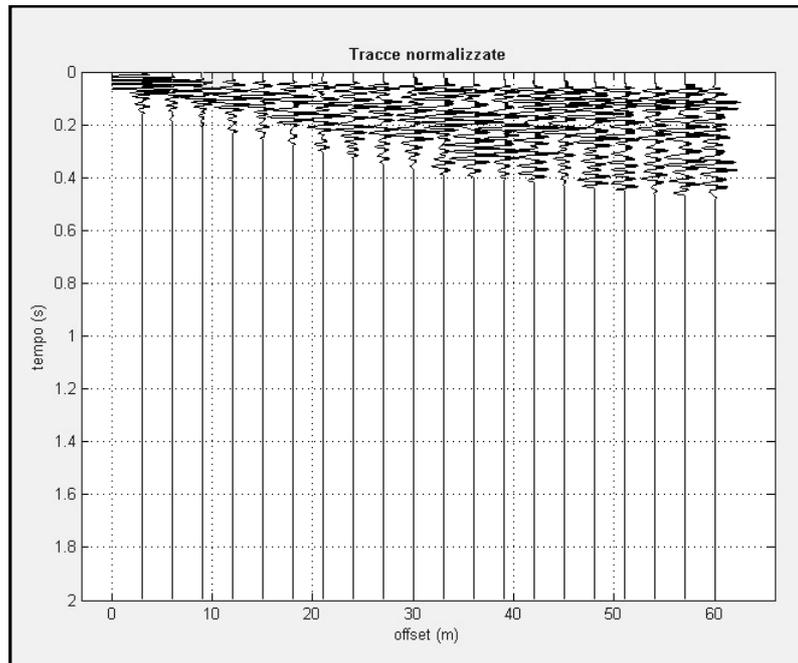
Curva di dispersione



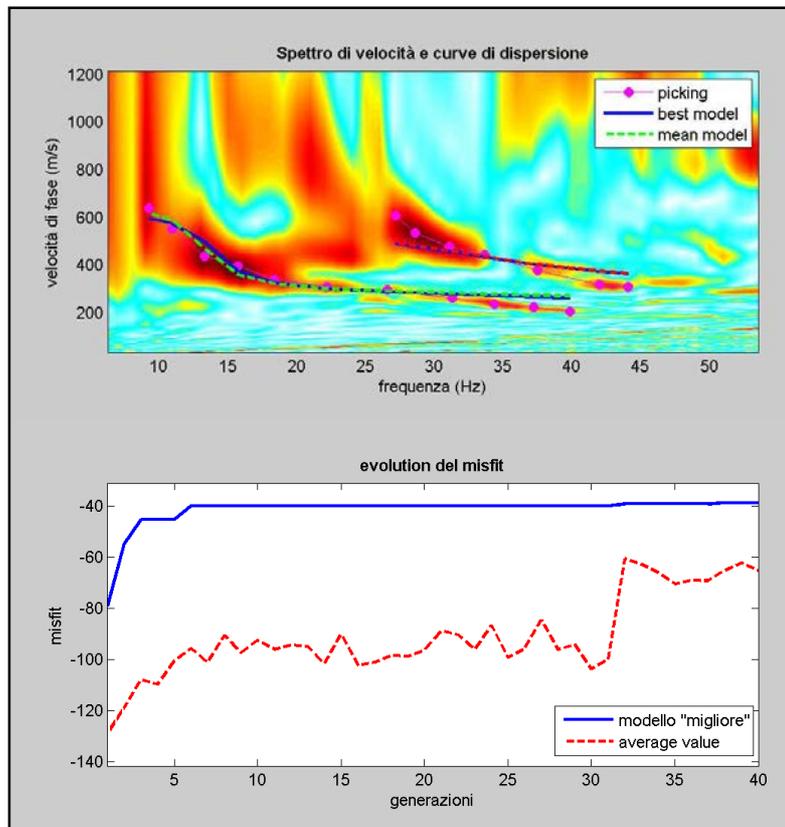
Elaborazione modelli equivalenti

Dati sperimentali MASW ST 4

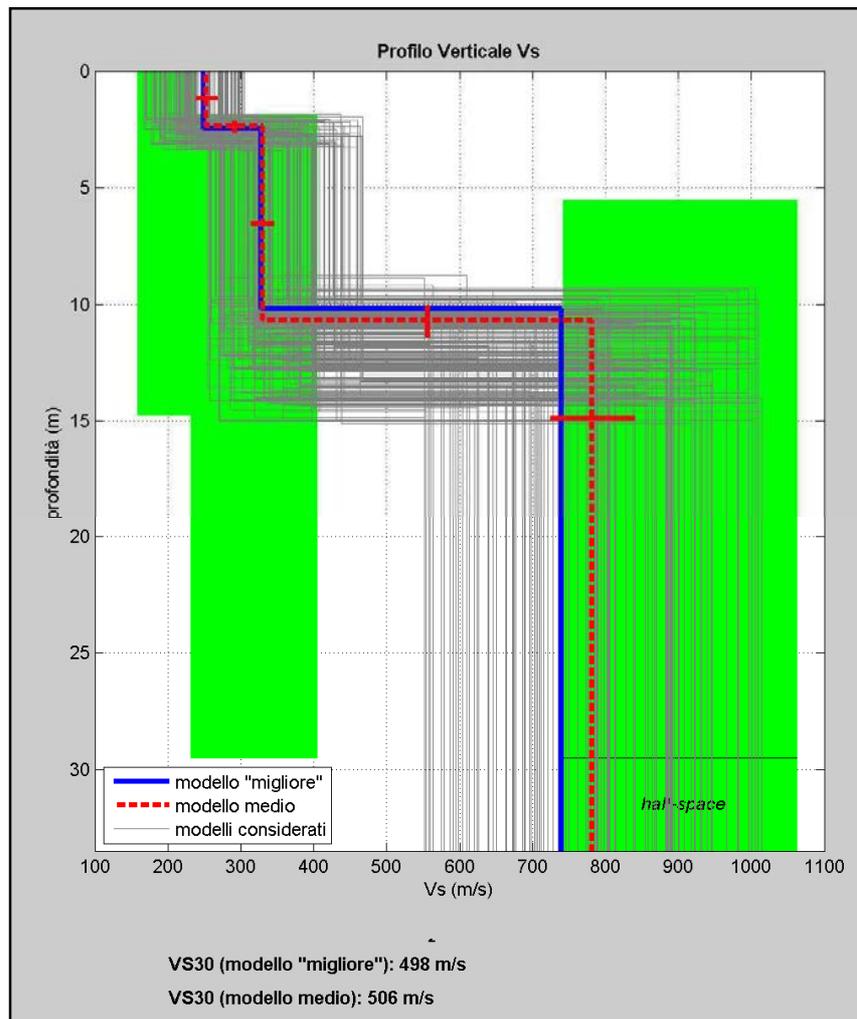
Numero di ricevitori	20
Distanza intergeofonica in metri	2
Tipologia geofoni utilizzati	verticale a 4,5 Hz
Energizzazione	massa da 10 kg



Tracce sperimentali



Curva di dispersione



Elaborazione modelli equivalenti

7.3. Categorie di suolo individuata

L'elaborazione MASW delle quattro stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità V_{s30} dei terreni pari a **434** m/s per MASW_1, **519** m/s per MASW_2, **497** m/s per MASW_3 e **506** m/s per MASW_4.

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



8. Pericolosità sismica locale

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

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

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

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

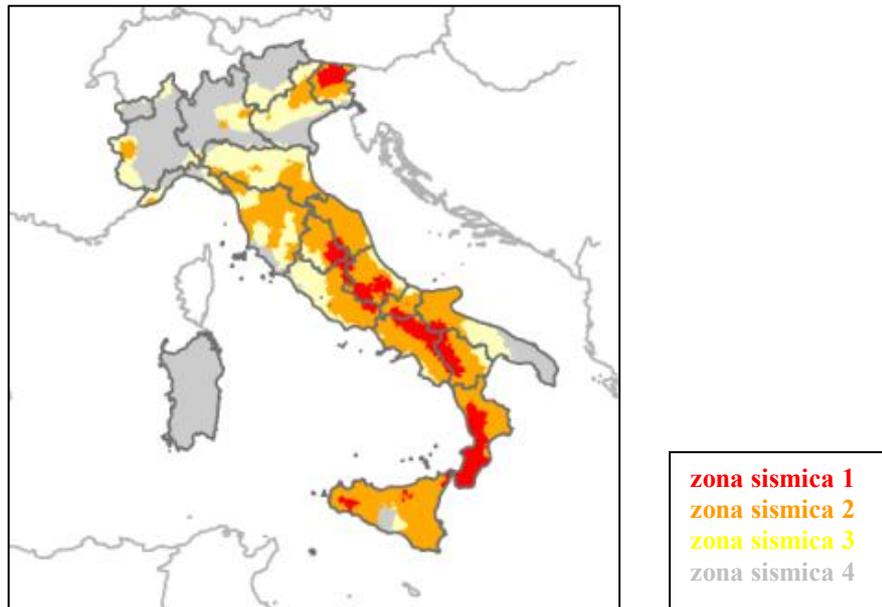
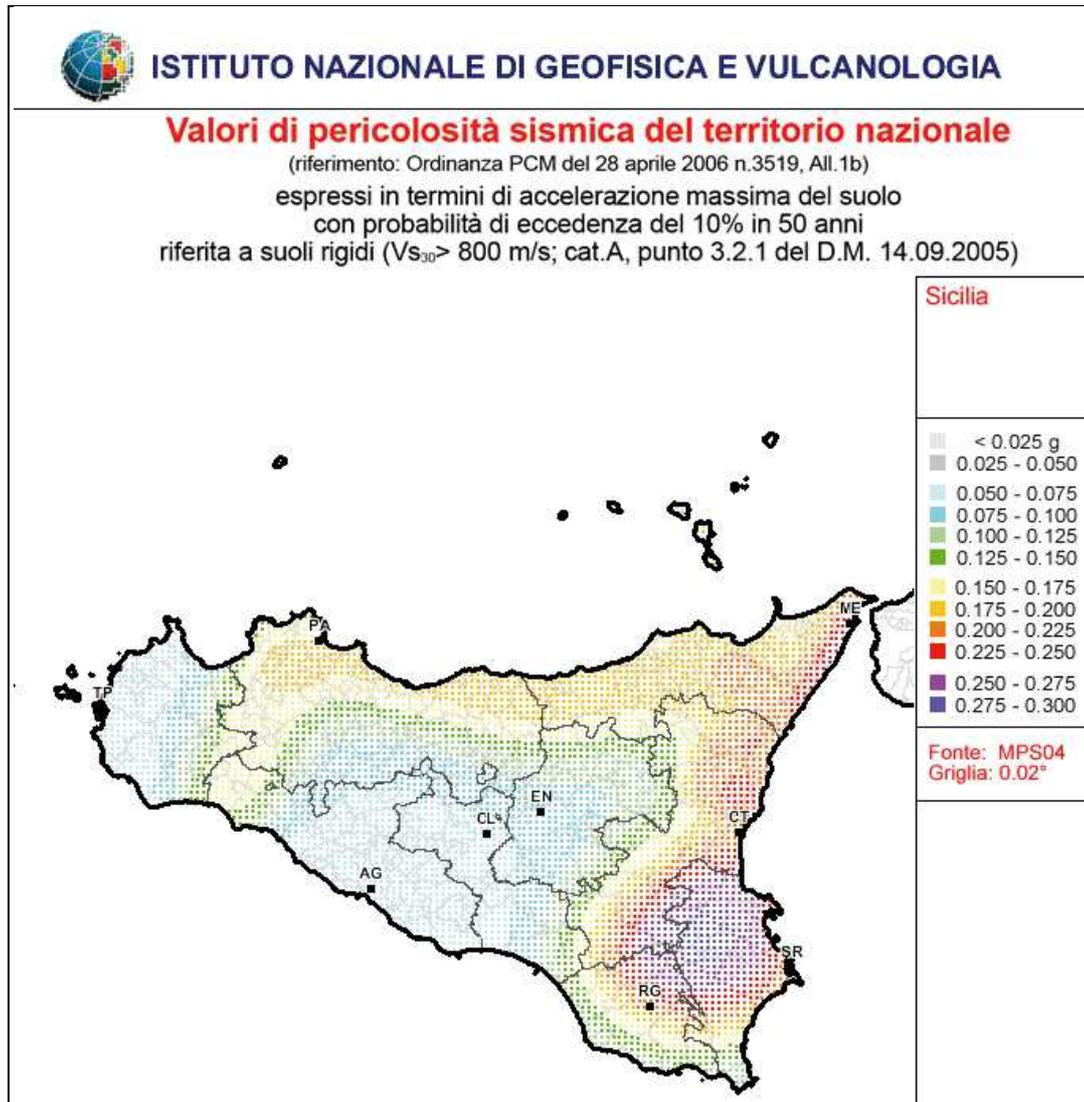


Figura 1

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

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 Butera, 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 "3".



9. Zonizzazione del territorio

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

In tale ottica sono state redatte le seguenti carte:

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 tre classi;

- *Classe 1 - Pericolosità Nulla* – Riguarda le aree in cui sono assenti limitazioni derivanti da caratteristiche geologico tecniche e morfologiche. In essa ricadono le aree pianeggianti caratterizzate dalla presenza di litotipi con buone caratteristiche geotecniche. (*Alluvioni attuali o recenti (q3), Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l), Calcare di base (M3c)*)
- *Classe 2 - Pericolosità bassa* – Non sono presenti fenomeni di dissesto, tuttavia le condizioni geologico - tecniche sono tali da far ritenere che a seguito di specifici eventi possono innescarsi fenomeni di dissesto. In essa ricadono le aree da poco a moderatamente acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata. (*Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi. (P1m), Argille della Fm. Terravecchia (M2a)*)



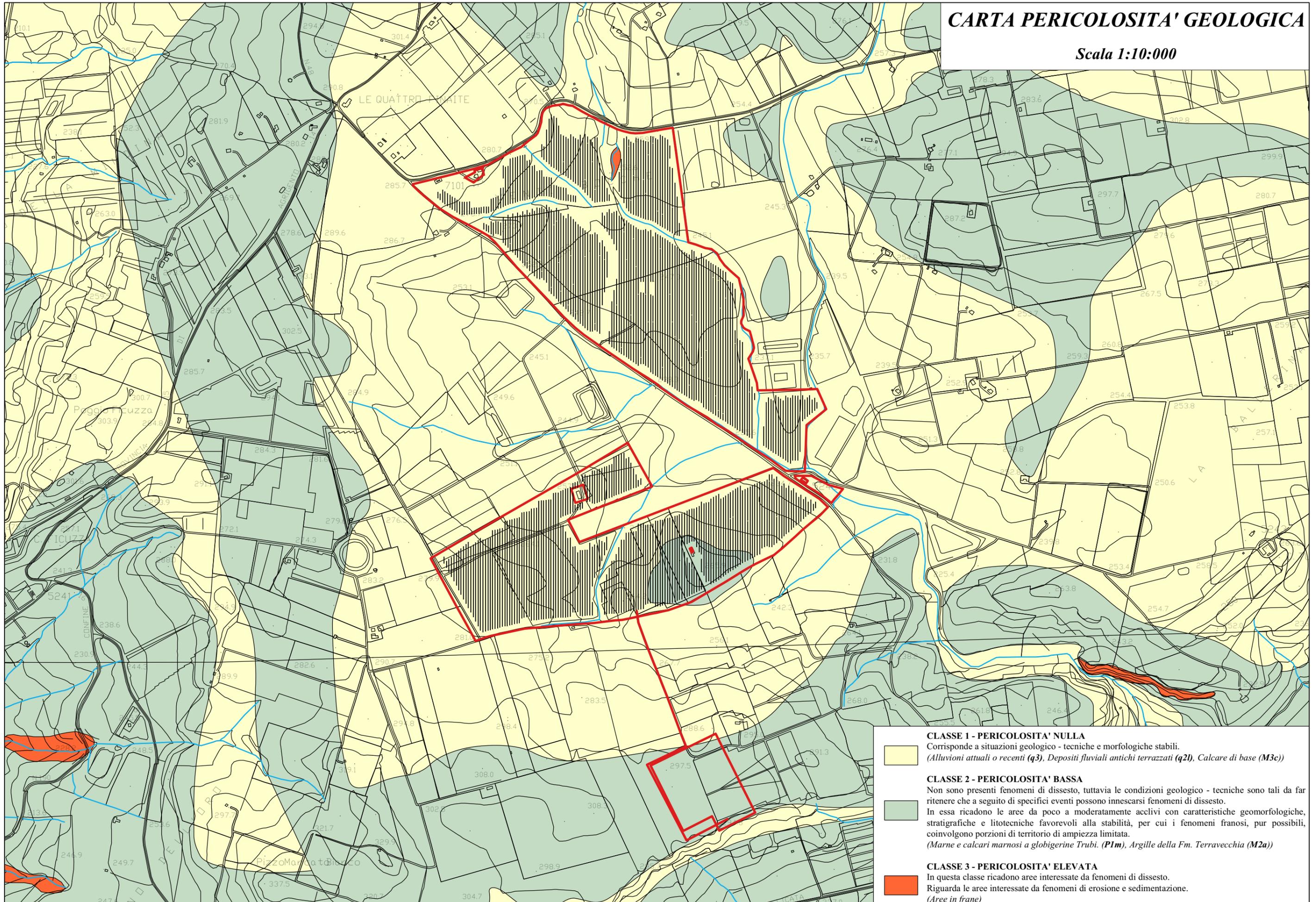
- *Classe 3 - Pericolosità elevata* – In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto. Riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione. (*Aree in frana*).

L'impianto da relizzare ricade in aree a pericolosità nulla.

La stazione elettrica di connessione, ricade in area a pericolosità bassa.

CARTA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Scala 1:10:000





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

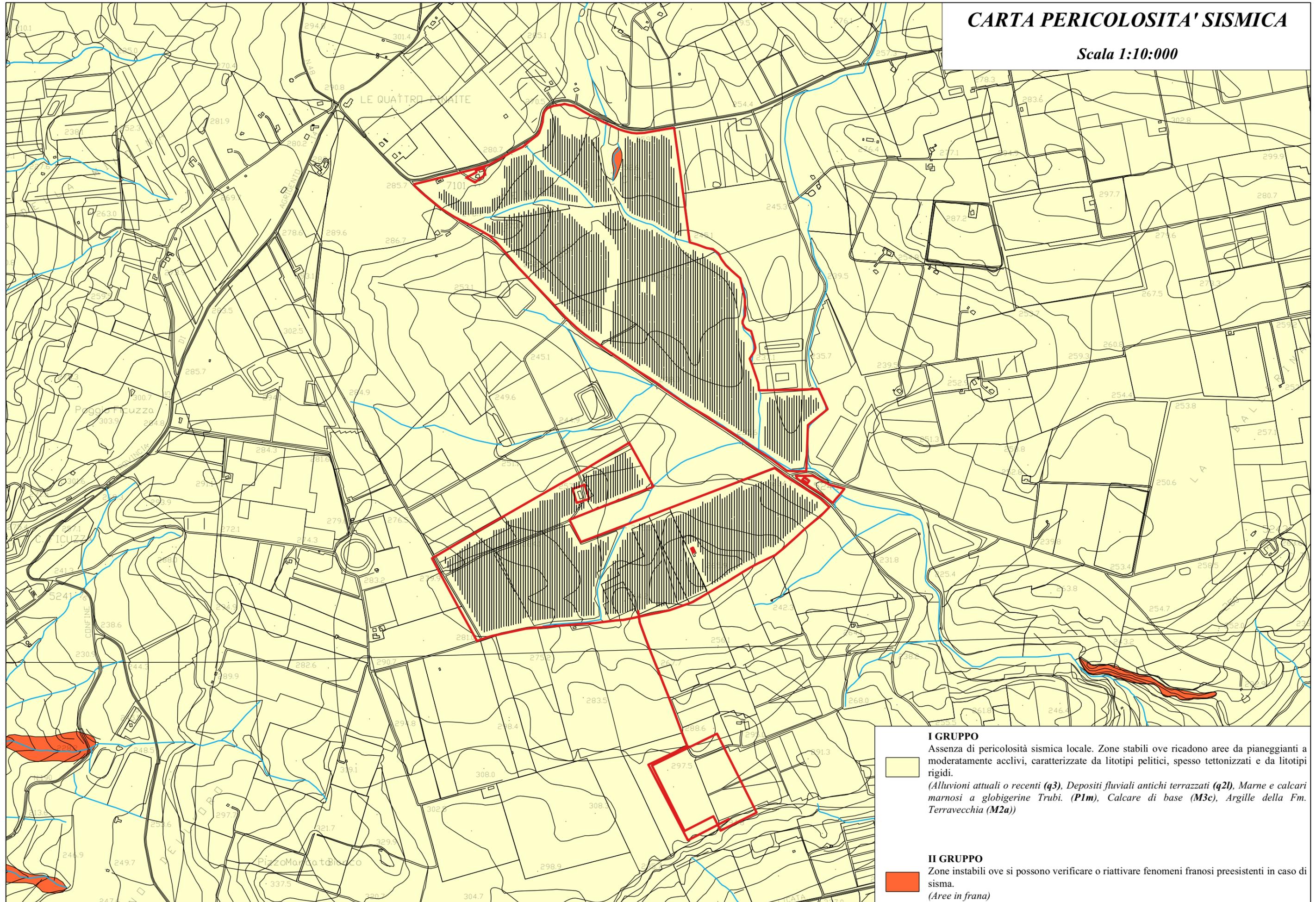
Nello specifico è stato individuati due gruppi:

- *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. (*Alluvioni attuali o recenti (q3)*, *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)*, *Marne e calcari marnosi a globigerine Trubi. (P1m)*, *Calccare di base (M3c)*, *Argille della Fm. Terravecchia (M2a)*).
- *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 stazione elettrica di connessione, ricadono nel Gruppo I.

CARTA PERICOLOSITA' SISMICA

Scala 1:10:000





10. Conclusioni

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel settore sud orientale della Sicilia; in dettaglio ci troviamo su un'area, facente parte del territorio comunale di Butera e ricadente nella contrada denominata *Venti Bocche*.

L'impianto è raggiungibile da Caltanissetta attraverso la SS 640 dir Strada Statale Raccordo di Pietraperzia, successivamente imboccando la SS 626 all'uscita verso Mazzarino, la SP 47 all'uscita verso Licata percorrendola per circa 13,5 km si raggiunge la contrada in oggetto.

Dal punto di vista geologico, l'area ove si prevede di realizzare il parco fotovoltaico ricade in parte su *Alluvioni attuali e o recenti talvolta terrazzati in più ordini (q3)* ed in parte su *Depositi fluviali antichi terrazzati (q2l)* mentre la stazione elettrica di connessione ricade invece sulle marne e calcari marnosi a globigerine (*Trubi*).

Dal punto di vista geomorfologico, durante le fasi di sopralluogo si è osservato che l'area in esame, risulta interessata da fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale, che rientrano in una normale dinamica evolutiva dei versanti e da fenomeni franosi. In ogni caso nell'area ove si dovranno installare i pannelli, 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 tracker e delle opere ad esse annesse, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

In ultimo, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo all'*Area Territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076)*, *Bacino Idrografico del Torrente Comunelli (075)*, *Bacino Idrografico del Torrente Rizzuto (074)*, *Area Territoriale tra il bacino del Torrente Rizzuto e il bacino del Fiume Imera meridionale (073)*, redatto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, approvato con Decreto Presidenziale del 10.04.2007, e pubblicato sulla G.U.R.S. n° 27 del 15.06.2007 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..

L'elaborazione MASW delle quattro stese sismiche eseguita ha definito un valore della velocità V_{S30} dei terreni pari a **434** m/s per MASW_1, **519** m/s per MASW_2, **497** m/s per MASW_3 e **506** m/s per MASW_4.

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

I lavori previsti 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.

Pertanto, da quanto osservato, si desume che l'area è stabile e che l'installazione dei pannelli fotovoltaici e delle opere accessorie, non comporterà l'innescarsi di fenomeni di instabilità anche localizzati.

Termini Imerese, Novembre 2023

