

**Provincia Regionale di CATANIA**  
**Comune di VIZZINI e Mineo**  
**Provincia Regionale di RAGUSA**  
**Comune di Giarratana**

**PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 238,8 MWP**

## RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA



*Committente: Geoexpert di Maria Rita Arcidiacono*

*Il Geologo*

*Iscritta ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n 1644  
Dott.ssa Anna Rosaria Marletta*

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUZIONE</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>2</b>     | <b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>3</b>     | <b>INQUADRAMENTO DELL'AREA e OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE</b> .....            | <b>5</b>  |
| <b>4</b>     | <b>GEOLOGIA DI SUPERFICIE</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>4.1</b>   | <b>Successioni litologiche</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>5</b>     | <b>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE</b> .....        | <b>11</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Permeabilità dei terreni</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>Complessi idrogeologici</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>5.3</b>   | <b>Corpi idrici e superficie piezometrica</b> .....                            | <b>15</b> |
| <b>6</b>     | <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</b> .....                                 | <b>18</b> |
| <b>6.1</b>   | <b>Lineamenti tettonico strutturali</b> .....                                  | <b>18</b> |
| <b>6.2</b>   | <b>Cenni di tettonica</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>6.3</b>   | <b>Caratteristiche sismiche del plateau ibleo</b> .....                        | <b>24</b> |
| <b>6.4</b>   | <b>Sismicità e zone sismogenetiche</b> .....                                   | <b>26</b> |
| <b>7</b>     | <b>AZIONE SISMICA - STATI LIMITE (D.M. 17/01/2018)</b> .....                   | <b>28</b> |
| <b>8</b>     | <b>COMPORAMENTO MECCANICO DEI TERRENI</b> .....                                | <b>36</b> |
| <b>8.1</b>   | <b>Caratterizzazione sismica del sottosuolo tramite prospezioni MASW</b> ..... | <b>36</b> |
| <b>8.2</b>   | <b>Descrizione dei risultati</b> .....   | <b>37</b> |
| <b>8.3</b>   | <b>Prospezione sismica tomografica</b> .....                                   | <b>40</b> |
| <b>9</b>     | <b>CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI</b> .....                     | <b>45</b> |
| <b>9.1</b>   | <b>Unità di substrato</b> .....  | <b>46</b> |
| <b>9.1.1</b> | <b>Vulcaniti basiche submarine (Pv)</b> .....                                  | <b>46</b> |
| <b>9.1.2</b> | <b>Marne e calcari marnosi (Pm)</b> .....                                      | <b>47</b> |
| <b>9.1.3</b> | <b>Calcare di Base (Mg)</b> .....  | <b>47</b> |
| <b>9.1.4</b> | <b>Marne grigio-azzurre (Mm)</b> .....   | <b>48</b> |
| <b>9.1.5</b> | <b>Formazione Ragusa del membro Irminio (Mcm)</b> .....                        | <b>48</b> |
| <b>10</b>    | <b>CONCLUSIONI</b> .....   | <b>49</b> |

## **1 INTRODUZIONE**

Su incarico conferitomi della Geoexpert si è eseguito uno studio finalizzato all'approfondimento delle conoscenze geologico-stratigrafiche dell'area interessata per la realizzazione di un'impianto fotovoltaico da 238,8 Mwp e delle area a servizio, il cui territorio ricade nei comuni di Vizzini e Mineo in provincia di Catania e nel comune di Giarratana in provincia di Ragusa. La presente relazione geologica è stata redatta al fine di accertare le proprietà geolitologiche e descrivere la stratigrafia, le caratteristiche tettonico-strutturali e geomorfologiche dei terreni implicati, nonché il comportamento meccanico dei terreni affioranti interessati dall'opera in oggetto, allo scopo di fornire le informazioni necessarie per la realizzazione degli impianti. Allo scopo su menzionato, sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nell'area in esame, è stato eseguito un dettagliato rilevamento geologico attraverso l'esame diretto dei terreni affioranti e dall'esame di uno specifico rilevamento con drone è stato possibile definire con maggiore chiarezza la situazione geologica e geomorfologica e tettonica.

Il lavoro è stato svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- ricerca e analisi bibliografica delle pubblicazioni relative all'area di studio;
- acquisizione ed analisi degli studi geologici effettuati in epoche precedenti riguardanti l'area di interesse;
- approfondimenti conoscitivi mediante: prospezioni Masw e Tomografie sismiche di superficie, attraverso cui è stato possibile affinare il modello geologico;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

Lo studio geologico è stato eseguito in ottemperanza al D.M. LL.PP. 17/01/18 "Norme tecniche per le costruzioni" che definiscono le regole a seguire per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere, sia in zona sismica che in zona non sismica. Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

A seguito degli elementi ottenuti e degli accertamenti svolti, sono riportati i sotto elencati elaborati:

Corografia del sito;

Carta geolitologica di dettaglio.

Il lavoro che qui segue oltre a illustrare la localizzazione e identificazione geologica dell'area interessata consente la caratterizzazione geotecnica per la determinazione dei parametri di progetto da utilizzare per il calcolo della capacità portante dei terreni direttamente interessati dagli impianti. La normativa tecnica classifica i suoli in più categorie sulla base del valore di  $V_{s,eq}$  che rappresenta la velocità media equivalente di propagazione delle onde S in profondità al di sotto del piano di fondazione.

## **2 SCOPO DEL DOCUMENTO**

Le presenti note e gli elaborati cartografici ad esse allegati contengono la sintesi dello studio effettuato, chiariscono gli aspetti connessi con lo scenario naturale relativamente alla componente geologica in cui si colloca il settore di studio e affrontano gli elementi ritenuti critici dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico.

Il modello geologico applicativo proposto, pone particolare attenzione alla ricostruzione degli assetti e alle configurazioni geometriche delle differenti unità individuate e alla caratterizzazione in senso fisico, litologico e granulometrico dei terreni direttamente interessati dalle opere in progetto nonché al loro comportamento meccanico.

Gli elaborati cartografici e le relative note di riferimento sono stati redatti secondo gli standard metodologici più diffusi in ambito scientifico, nazionale ed internazionale.

### **3 INQUADRAMENTO DELL'AREA e OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE**

Il territorio in esame ricade all'interno del rilievo montuoso degli Iblei, che occupano l'estremità sud-orientale della Sicilia. L'altopiano è delimitato a nord dalla Piana di Catania, ad ovest dalla Piana di Gela, mentre ad est e a sud degrada rispettivamente verso la costa ionica siracusana e quella ragusana nel Mar di Sicilia.

L'area oggetto di studio con quote altimetriche comprese tra 400 e 850 m. s.l.m., ricade nel territorio comunale di Vizzini (CT), Mineo (CT) e Giarratana (RG), geologicamente individuata nella porzione a Nord Ovest della carta geologica Sicilia Sud-Orientale.

Il modellamento geomorfologico dell'area in studio è tipicamente affine all'assetto stratigrafico e strutturale dei termini litoidi affioranti, nonché al continuo stato erosionale e tettonico a cui gli stessi sono stati soggetti nel corso dei tempi geologici. Dal punto di vista orografico sono molto evidenti i lineamenti collinari-montuosi con un paesaggio abbastanza omogeneo in corrispondenza degli affioramenti lavici.

Le forme del paesaggio rispecchiano fedelmente quelle del Plateu Ibleo caratterizzato da una rigorosa disposizione dei rilievi e delle incisioni dipendenti dalle locali condizioni litostratigrafiche e giaciture nonché dall'andamento delle principali direttrici tettoniche. Nell'area esaminata configura una successione di dorsali collinari disposte secondo una "gradinata" altimetricamente degradante da SW verso NE, separate ed interrotte da depressioni vallive ed incisioni strette dal tipico profilo a "V" con pareti subverticali e notevoli profondità. Le pareti più ripide ed elevate sono spesso impostate in corrispondenza delle principali discontinuità strutturali, lungo le quali è più intenso il disfacimento degli ammassi rocciosi e quindi più rapida l'azione evolutiva degli agenti morfogenetici, mentre le degradazioni chimico-fisiche e le fenomenologie erosive hanno determinato tipologie di modellazione disomogenee, che si manifestano selettivamente negli orizzonti plastici e lapidei.

Ne consegue una modellazione selettiva che agisce in funzione della risposta all'azione degli agenti morfogenetici, dunque la morfologia, nella sua globalità, è fortemente condizionata dai litotipi affioranti, con zone piuttosto aspre e pendenza talora accentuata ed incisioni profonde. La morfologia a tratti accidentata ed aspra è interrotta da piccoli e grandi incisioni torrentizie, questo tipo di paesaggio fluvio-carsico presenta particolari forme superficiali, visibili ove la formazione risulta scoperta, causate dal diverso grado di solubilità della stessa

roccia calcarea. Trattasi di forme di erosione chimica provocate dalle acque acide che danno luogo a morfologie superficiali tipo karren sui versanti, solchi, condotti carsici a vari livelli. Nei fondovalle sono presenti inghiottitoi spesso sepolti da materiale alluvionale e grotte-sorgenti, che alimentano il flusso superficiale in corrispondenza dei locali punti di affioro della piezometrica, sono inoltre presenti numerose grotte di notevole importanza alcune anche visitabili.

L'altopiano oggi si presenta profondamente inciso dalle forre scavate dai torrenti localmente denominate "cave", lunghe gole strette tra ripide scarpate e rupi di calcare bianco.

I lotti in oggetto di studio sono ubicate in aree il cui litotipi affioranti vanno dalle *vulcaniti* all' *Alternanza calcareniti-marnose del Mb Irminio della F.ne Ragusa alle Marne dell F.ne Tellaro fino alle calcilutiti della F.ne Amerillo*.

I rilievi caratterizzati dai termini sedimentari calcareo-marnosi e calcarenitici, e subordinatamente dai termini vulcanici, presentano una morfologia piuttosto accidentata ed irregolare. In molte zone presentano al tetto ampie superfici erosive planari che conferiscono ai rilievi un caratteristico aspetto tabulare. Trattandosi di spessori non troppo elevati, le scarpate che ne delimitano le zone pianeggianti, risultano poco elevate, con fenomeni gravitativi scarsi e di modesta entità. Le aree dove affiorano i termini basaltici è possibile notare come questi risultano fortemente alterati, essendo stati soggetti a lunghi periodi di esposizione nel corso della loro storia geologica, presentando quindi uno spesso strato con scarsa resistenza all'erosione. Il quadro geologico proposto deriva dall'integrazione dei dati di superficie quali rilevamento e ricostruzioni delle geometrie dei corpi sedimentari, analisi bibliografiche, con la ricostruzione dell'andamento dei corpi sedimentari nel sottosuolo basato su sondaggi effettuati in passato. Per la datazione delle formazioni sedimentarie affioranti si è fatto riferimento alle numerose bibliografie disponibili. Nel corso del rilevamento l'individuazione delle unità stratigrafiche è stata effettuata sulla base del criterio litostratigrafico che ha permesso di definire i rapporti geometrici (stratigrafici e/o tettonici) di sovrapposizione tra le varie unità e formazioni affioranti e di riconoscere le geometrie delle strutture ad andamento regionale. Dal punto di vista tettonico, l'area è ubicata nella Sicilia Sud Orientale e si colloca nel settore a nord ovest dell'avampaese Ibleo che rappresenta il margine settentrionale indeformato della placca africana rimasto relativamente indisturbato durante le principali fasi tettoniche che hanno interessato il resto della Sicilia. Le sole dislocazioni subite consistono in fitti sistemi di faglie prevalentemente normali a direzione NE-SW.

#### 4 GEOLOGIA DI SUPERFICIE

Dal punto di vista stratigrafico la geologia dell'area Iblea si presenta relativamente semplice; si tratta infatti dell'affioramento del blocco di avampaese, non interessato dalle orogenesi che interessano invece le catene Appenninico – Maghrebide e l'Arco Calabro. La

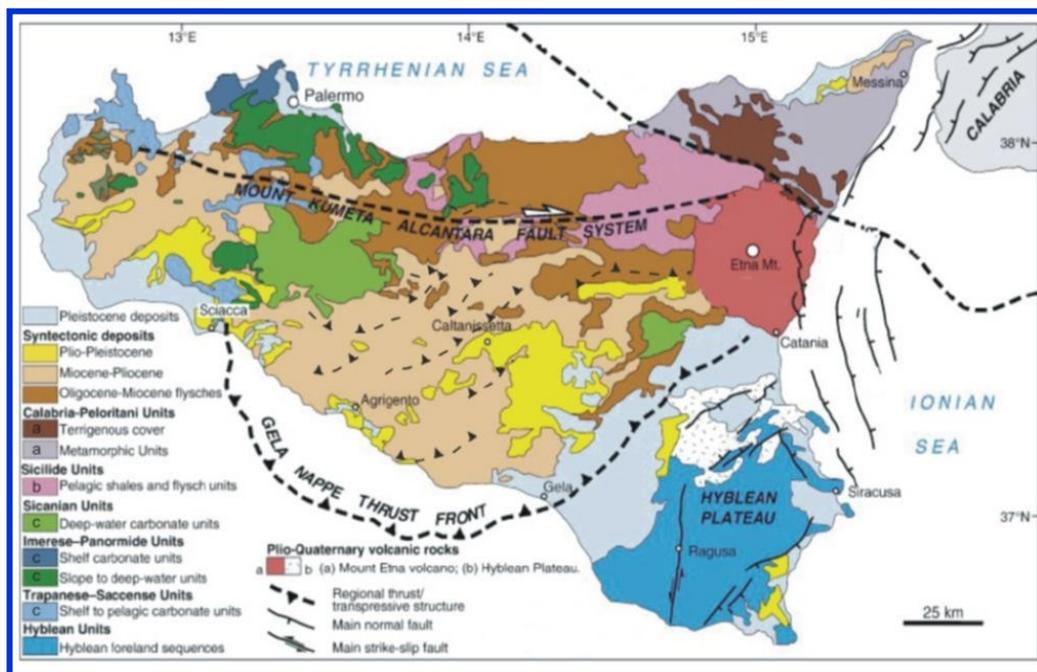
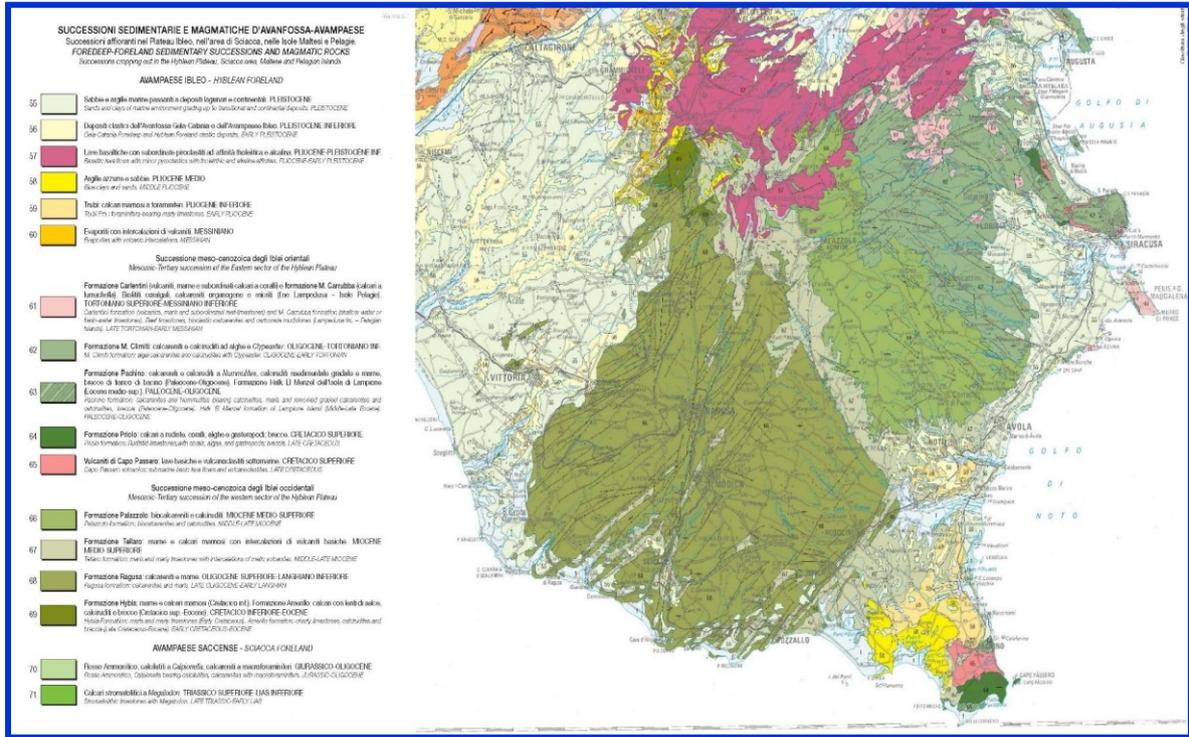


figura mostra la Carta geologica della Sicilia (ISPRA et al., 2014). La serie stratigrafica, divisa nelle due zone del Massiccio, presenta una successione di formazioni carbonatiche, in facies differenziate nei due blocchi, occidentale e orientale, del Massiccio. Da segnalare, la presenza di vulcaniti cretacee (Vulcaniti di Capo Passero), affioranti nel margine estremo meridionale dell'area e mioceniche, in livelli presenti, nel sottosuolo, all'interno della F.ne Tellaro. Le vulcaniti affioranti a nord del Massiccio sono costituite da lave basaltiche con piroclastiti, a composizione tholeiitica, a testimonianza della fase distensiva Pliocene – Pleistocene inferiore. Assai importanti sono gli aspetti morfologici legati alla tettonica dell'area. Le strutture sopra descritte producono infatti graben di varie dimensioni, a pareti a gradinata e l'intensa fratturazione delle formazioni a comportamento rigido determina una idrografia con incisioni strette e profonde, a pareti spesso sub verticali. Eventuali effetti di sito sono quindi attribuibili più agli aspetti morfologici dell'area che a quelli legati alle litologie.

### 4.1 Successioni litologiche

La successione litostratigrafica presente nell'area può essere sinteticamente riassunta prendendo come riferimento la "carta geologica della Sicilia Sud-Orientale scala 1:100.000, a cura dell'Università di Catania". Secodo quanto riportato in questa carta l'area di nostro interesse è caratterizzata dalle seguenti formazioni dalla più recente alla più antica.



- **tf**: formano affioramenti di variabile estensione, continuità laterale e spessore, distribuiti a diverse quote lungo l'alveo dei principali corsi d'acqua. Sono costituiti da prevalenti ghiaie grossolane, da sabbie e limi sabbiosi di colore ruggine, cui si intercalano lenti di ghiaie eterometriche giallastre, talora brune. Sugli espandimenti vulcanici il deposito è rappresentato esclusivamente da ciottolame lavico con clasti arrotondati di diametro da 2 a 20 cm e da scarsa frazione di argille nere, derivanti dalla disaggregazione e/o alterazione dei basalti, che ha interessato solo la parte più superficiale delle colate laviche. Sui terreni carbonatici il deposito è caratterizzato da prevalenti clasti calcarenitici sub-sferici di diametro fino a 20 cm e da terre rosse. Lo spessore è variabile.

- **Pv**: potente successione di vulcaniti basiche prevalentemente submarine in basso e subaeree verso l'alto. I prodotti sub marini sono dati da ialoclastiti, da breccie vulcano clastiche a grana minuta e da breccie a pillow immerse in una matrice vulcano clastica giallo-rossastra

ampiamente diffusi, aumentando di spessore verso Nord da pochi metri a 700 metri. Quelli subaerei sono costituiti da prevalenti colate di lave bollose e scoriae e da subordinati prodotti piroclastici, e affiorano estesamente tra Lentini e Augusta. Nel loro complesso costituiscono prodotti sia tholeitici che di serie basaltica alcalina, prevalentemente basalti olivini fino a nefeliniti, con scarse manifestazioni a tendenza hawaiiitica. Intercalazioni di materiale sedimentario, generalmente sabbie e limi carbonatici, sono presenti un po' ovunque, e sono associabili con le marne grigio-azzurre della media valle del Fiume Dirillo e di Licodia Eubea (Pa e Ps). Sul margine settentrionale, le vulcaniti sono interdigitate con sedimenti a Hyaline baltica. PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE

- **Pa e Ps:** Marne grigio azzurre della media valle del Fiume Dirillo e di Licodia Eubea (Pa). Verso l'alto si passa a sabbie e calcareniti organogene a brachiopodi e molluschi in banchi di 1-2 m di spessore (Ps). Lo spessore è di circa 150 metri. Sul versante destro del fiume Catalaro la formazione va a costituire solamente delle intercalazioni marnose o sabbioso-conglomeratico all'interno della potente successione lavica (Pv) di Vizzini-Militello. PLIOCENE MEDIO-INFERIORE.

- **Pb :** Si tratta di breccie calcaree e sabbie a *Strombus coronatus* con andamento lenticolare con spessori massimi di 15-20 metri. L'età è ascrivibile al PLIOCENE MEDIO-INFERIORE

- **Pm :** marne e calcari marnosi a macroforaminiferi di colore crema e a frattura concoide (Trubi). Nell'area di Licodia Eubea, Mineo e Grammichele si intercalano nella parte alta livelli di vulcanoclasti e lave submarine. A volte sono presenti piccoli livelli di conglomerato poligenico (Mineo). Spessore circa 100 metri . PLIOCENE INFERIORE.

- **Mg :** Calcere di Base è costituito da calcari biancastri o grigiastri in strati e banchi massicci dello spessore da 1 a 15 m; la geometria degli strati è grossolanamente lenticolare, a base irregolare, localmente erosiva. I banchi principali sono alternati a livelli, spessi da 30 a 150 cm costituiti da marne calcaree, calcari laminati, o, più raramente, da gessi. Talvolta il passaggio dai banchi calcarei alle intercalazioni marnose si realizza tramite l'interposizione di ritmici calcarei laminati. In alcune situazioni i banchi calcarei presentano un aspetto brecciato; la natura di questa tessitura può essere imputata a collasso da dissoluzione di minerali o di interstrati evaporitici e/o a processi meccanici di tipo gravitativi. Lo spessore formazionale è pari a circa 70-80 m. Età MESSINIANO.

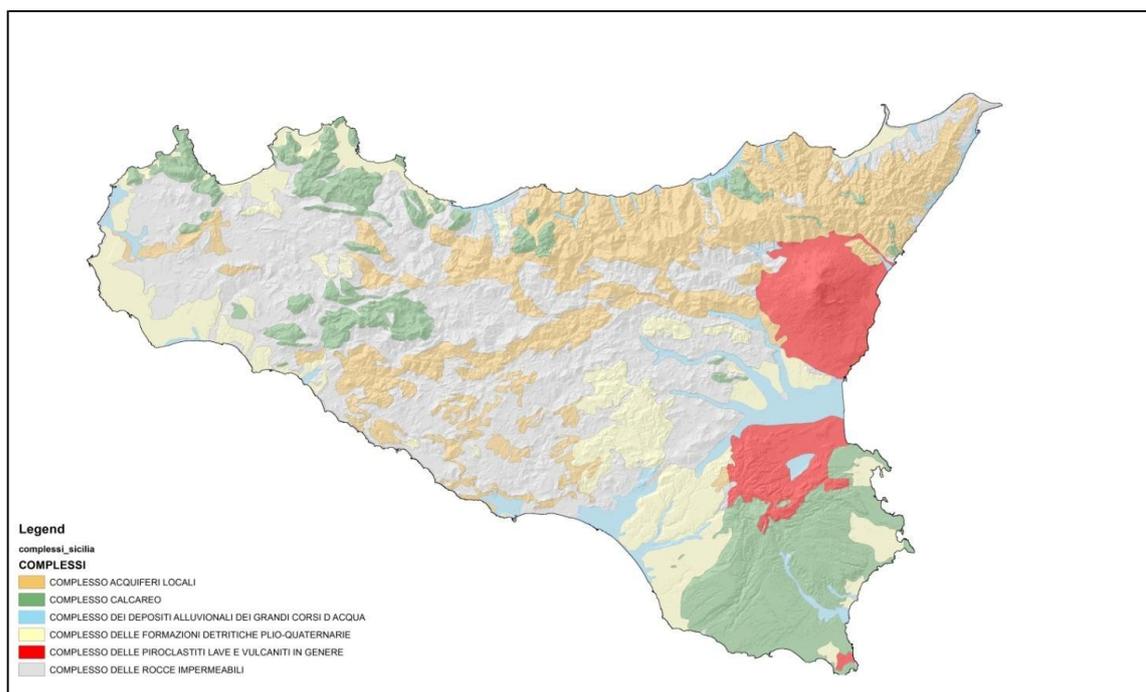
- **Mm<sup>s</sup>: Formazione Palazzolo.** Nel settore centrale del plateau la formazione Tellaro passa lateralmente e verso l'alto all'alternanza di calcareniti e marne della formazione Palazzolo



## 5 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Le caratteristiche idrografiche ed idrogeologiche sono strettamente dipendenti dalla litologia dei terreni in seguito al fatto che la circolazione idrica sotterranea è legata alla presenza di pori intercomunicanti tra loro e con l'esterno dove l'acqua gravifica può muoversi sotto l'effetto di un gradiente idraulico, in altri termini le caratteristiche dipendono dalla permeabilità dei terreni all'acqua.

Se il motore che ha disegnato il paesaggio è da ricercarsi nelle vicende tettoniche, non indifferente appare il modellamento secondario ad opera degli agenti fluviali.



Identificazione dei complessi idrogeologici della Sicilia

Sono rilevanti le incisioni pluviali che determinano una elevata intensità di drenaggio, con asse di diverso ordine e un reticolo fluviale con medio grado di maturità nonché impluvi soggetti ad una dinamica evolutiva di approfondimento.

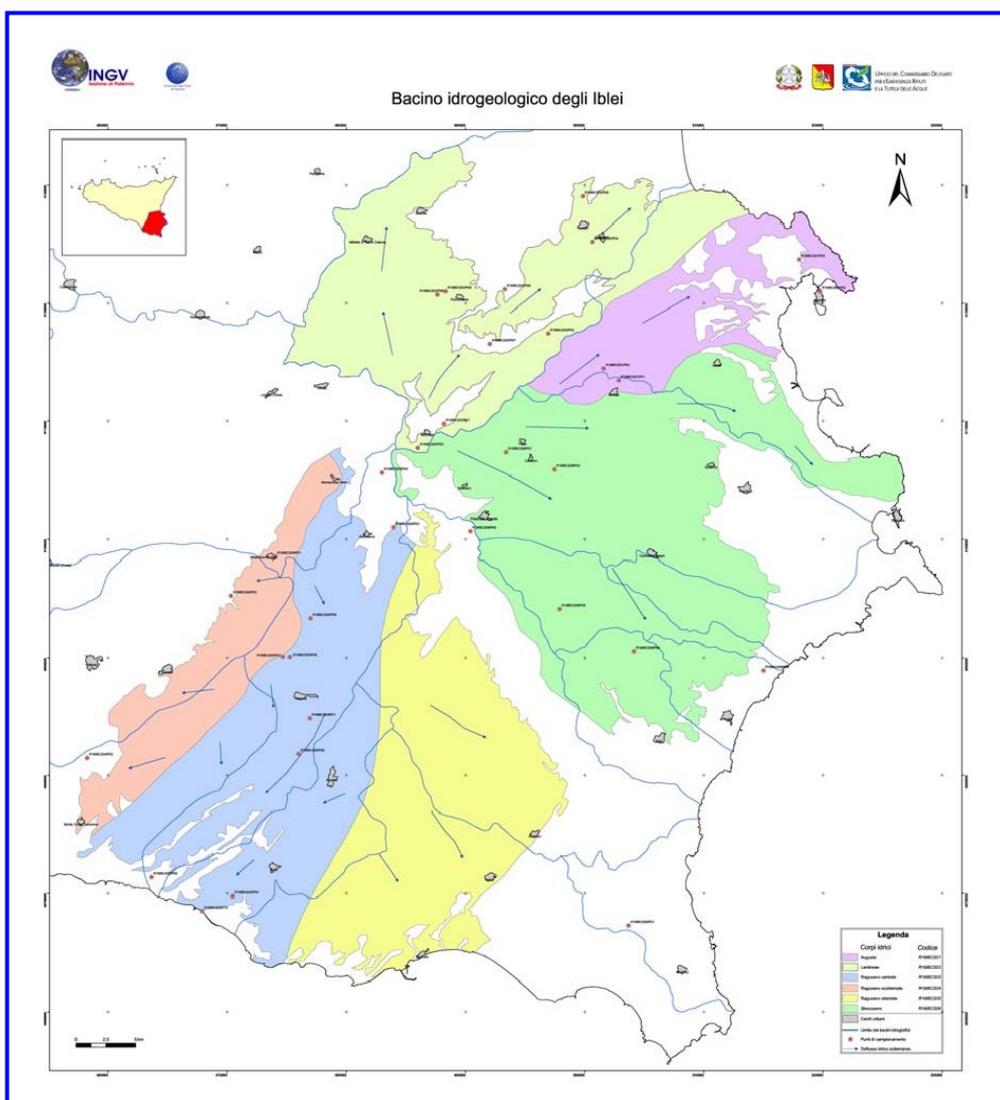
Le stesse incisioni svolgono la funzione di raccolta delle acque meteoriche che, precipitando dilavano la parte superficiale del terreno con conseguente erosione e successivo modellamento.

Le acque di ruscellamento superficiale, altresì dette elementari, modellano continuamente la superficie, modificandone l'aspetto originario e provocando un'azione prevalente di erosione per dilavamento. La morfologia a tratti accidentata ed aspra è interrotta da piccoli e grandi incisioni torrentizie, questo tipo di paesaggio fluvio-carsico presenta particolari forme

superficiali, visibili ove la formazione risulta scoperta, causate dal diverso grado di solubilità della stessa roccia calcarea. Trattasi di forme di erosione chimica provocate dalle acque acide che danno luogo a morfologie superficiali tipo karren sui versanti, solchi, condotti carsici a vari livelli. Nei fondovalle sono presenti inghiottitoi spesso sepolti da materiale alluvionale e grotte-sorgenti, che alimentano il flusso superficiale in corrispondenza dei locali punti di affioro della piezometrica, sono inoltre presenti numerose grotte di notevole importanza alcune anche visitabili.

Sotto l'aspetto idrogeologico l'area dei Monti Iblei, per le caratteristiche geologico-strutturali, può essere suddivisa in due settori principali: un settore sud-occidentale, costituito prevalentemente dal territorio della Provincia di Ragusa; ed un settore nord-orientale, in buona parte coincidente con la provincia di Siracusa.

Di seguito verranno descritte le principali caratteristiche idrogeologiche (permeabilità dei terreni, complessi idrogeologici, acquiferi, superficie piezometrica) del settore nord-orientale, relativo all'area in oggetto.



## 5.1 *Permeabilità dei terreni*

Le proprietà idrogeologiche dei terreni, quali il tipo e il grado di permeabilità, sono funzione sia delle caratteristiche litologico-stratigrafiche e tessiturali, acquisite dagli stessi durante la loro formazione, che di quelle strutturali, sopravvenute successivamente per il verificarsi di eventi tettonici.

In base alle caratteristiche di permeabilità e ai rapporti stratigrafici e strutturali tra i litotipi presenti si distinguono acquiferi, sede di corpi idrici produttivi, e terreni a permeabilità da bassa o molto bassa, privi di corpi idrici significativi che localmente determinano effetti di confinamento delle falde contenute negli acquiferi sottostanti.

I terreni affioranti possono essere suddivisi nelle seguenti quattro diverse classi di permeabilità:

- Terreni a permeabilità per porosità da media a elevata
- Terreni a permeabilità mista per pori e per fessure
- Terreni a permeabilità per fessurazione e per carsismo, terreni a permeabilità molto bassa od impermeabili.

### *Terreni a permeabilità per porosità da media a elevata.*

Ricadono in questa classe tutti i terreni alluvionali e i detriti di falda che affiorano rispettivamente lungo i principali corsi d'acqua e ai piedi dei versanti, le breccie e le vulcanoclastiti affioranti. La permeabilità di tipo primario, dovuta alla porosità, assume valori compresi fra  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  cm/s, in relazione alle variazioni verticali e orizzontali della granulometria.

### *Terreni a permeabilità mista per pori e fratture.*

Questa classe comprende le calcareniti pleistoceniche, caratterizzati da una permeabilità sia primaria che secondaria. I valori di permeabilità sono compresi fra  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/s.

### *Terreni a permeabilità per fessurazione e per carsismo*

Vanno annoverati in questa classe l'alternanza calcarenitico-marnosa, i banconi calcarenitici e l'alternanza calcareo-marnosa. In tale successione l'accentuata fratturazione e la presenza di

fenomeni carsici può in alcuni casi creare le condizioni per una circolazione di tipo secondario con elevati valori di permeabilità  $> 10^{-2}$  m/s.

#### *Terreni a permeabilità molto bassa o impermeabili*

Sono rappresentati dalle marne grigio-azzurre della formazione Tellaro che presenta valori di permeabilità compresi fra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s.

## **5.2 Complessi idrogeologici**

Le litologie affioranti in zona, sulla base delle relative permeabilità, sono state riclassificate, sotto il profilo idrogeologico, in complessi, ove con tale termine, si intende "un insieme di termini litologici simili aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente comune ed un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto" (Civita, 1973). I complessi idrogeologici affioranti nelle aree di studio sono i seguenti:

*Conoidi, alluvioni, frane, detriti di falda e terrazzi fluviali:* vengono riuniti sotto questo complesso due litotipi dalle simili caratteristiche idrogeologiche; essi sono costituiti da materiale a granulometria eterogenea, prevalentemente ghiaio-sabbiosa, di elevata porosità primaria, con valori compresi tra  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  cm/sec. Nel loro insieme costituiscono un acquifero dal carattere omogeneo, perché omogenee sono le caratteristiche idrogeologiche al suo interno.

*Calcareniti e sabbie giallastre:* la permeabilità di questo complesso è di tipo misto per fessurazione e porosità. La permeabilità in grande per fessurazione rappresenta la risposta meccanica dei livelli calcarenitici agli stress tettonici che causano discontinuità strutturali. Quest'ultime fungono da vie preferenziali alle acque di infiltrazione, internamente al corpo roccioso. La permeabilità in piccolo per porosità è tipica degli orizzonti sabbiosi che contengono numerosi piccoli vuoti intergranulari tra loro comunicanti. Il complesso presenta un medio grado di permeabilità, sia primaria che secondaria, compresa tra  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/sec. e carattere omogeneo.

*Marne grigio azzurre:* corrispondono alla F.ne Tellaro; la permeabilità di questo complesso è ridotta pressoché a zero, in quanto la presenza della componente lutitica impedisce quasi totalmente lo scorrimento dei fluidi attraverso il corpo litologico (permeabilità tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ ).

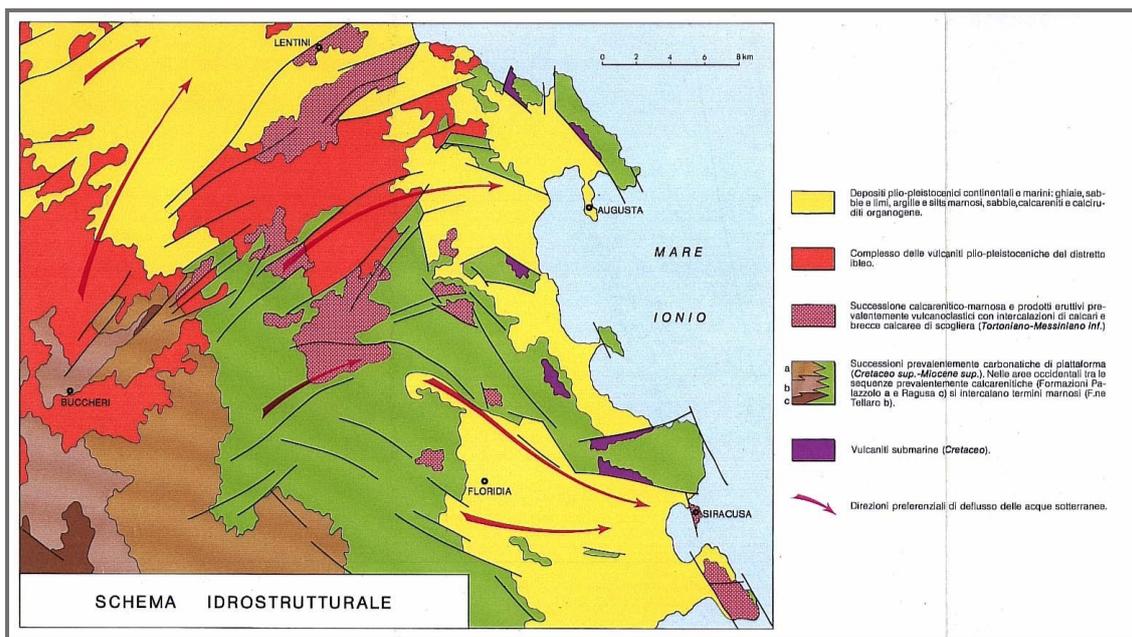
Nell'area di indagine, questi depositi, tamponando il sottostante complesso carbonatico, mettono in pressione alcuni pozzi provocando una risalita del livello piezometrico.

*F.ne Ragusa*: alternanza di biocalcareni e calcareniti marnose (Mb. Irminio) e di calcisiltiti e calcari marnosi (Mb. Leonardo), facente parte del sopraccennato acquifero carbonatico principale. Tale deposito presenta una moderata permeabilità di tipo primario ( $10^{-4}$ - $10^{-5}$  cm/sec) ed una permeabilità di tipo secondario caratterizzata da una forte trasmissività favorita, in alcuni casi, da fenomeni carsici e ridotta, in altri, per la presenza di livelli calcareo-marnosi. La serie calcarea è sede di due acquiferi, il più delle volte separati da uno spesso strato di calcari marnosi e marne presenti nella zona di passaggio fra i due membri della formazione. L'acquifero superficiale, che staziona nelle calcareniti a banconi del Mb. Irminio, si presenta confinato, seppure in maniera discontinua, laddove il flusso idrico risulta veicolato in canali carsici. L'acquifero profondo, circolante nei calcari del Mb. Leonardo, si trova quasi sempre in condizioni di confinamento, in relazione al carico idraulico determinato nella zona di ricarica a monte e alla situazione strutturale presente nell'area. Tra i due acquiferi, in alcuni casi, è presente una continuità idraulica cagionata dalle discontinuità strutturali che attraversano il complesso calcareo e che determina una risalita delle acque prima confinate dal livello calcareo inferiore al superiore. Una situazione analoga viene riscontrata alla base delle incisioni vallive del f. Irminio dove si assiste ad un contatto stratigrafico tra il Mb. Leonardo e le soprastanti alluvioni fluviali: qui le acque di infiltrazione, provenienti dai deflussi superficiali, attraversano il deposito alluvionale e raggiungono il substrato calcareo saturandone le fratture.

### **5.3 Corpi idrici e superficie piezometrica**

Gli acquiferi del territorio provinciale vengono generalmente suddivisi in due corpi idrici denominati "Ragusano" e "Piana di Vittoria" (da ARPA Sicilia Struttura Territoriale di Ragusa – M.L. Antoci R. C. Giudice). Il corpo idrico "Ragusano" occupa il settore occidentale dell'altopiano ibleo e risulta costituito dal complesso carbonatico dato dalla formazione Ragusa

degradante verso sud ovest con la piana di Vittoria attraverso una serie di strutture tettoniche.



Schema idrostrutturale del settore nord-orientale ibleo (LENTINI F., 1984).

Il complesso carbonatico in cui ha sede l'acquifero in esame non è da considerarsi un'entità omogenea in quanto presenta forti variazioni litologiche e stratigrafiche. Come detto, la circolazione idrica avviene prevalentemente in funzione del reticolo di fratturazione e lungo le discontinuità costituite dai piani di stratificazione. All'interno di questo complesso si individuano alcuni orizzonti argilloso-marnosi nella successione litologica prima descritta e precisamente:

- un orizzonte argilloso-marnoso localizzato nella parte alta del Membro Leonardo della F.ne Ragusa;

- un orizzonte argilloso-marnoso localizzato alla base del Membro Leonardo; - un orizzonte argilloso-marnoso localizzato nella parte mediana dei calcari bianchi selciferi della F.ne Amerillo sottostante alla F.ne Ragusa.

Il primo livello di falda si ritrova ad una profondità media compresa tra 50 e 130 metri. Al di sotto ritroviamo la falda idrica confinata più profonda interessante i depositi carbonatici del membro Leonardo. La superficie piezometrica è condizionata dalle discontinuità tettoniche, dalle litoclasti e dalle fenomenologie carsiche le quali contribuiscono ad morfologia piezometrica complessa. Le direzioni di deflusso in alcuni casi si dispongono parallele alle linee tettoniche e perpendicolare in altri. Ciò è dovuto al fatto che le discontinuità strutturali con una maggiore apertura o quanto meno un minor riempimento da parte dei prodotti di alterazione delle rocce

calcaree, contribuiscono a creare una via preferenziale di deflusso idrico. Di contro, la presenza di prodotti cataclastici di natura argillosa, all'interno delle stesse strutture tettoniche, determina un deflusso idrico minore. Il corpo idrico "Piana di Vittoria" occupa il settore sud-orientale del territorio provinciale ragusano. E' costituito da un settore sub-pianeggiante che si sviluppa in direzione allungata NE-SO. Nella zona costiera il substrato impermeabile è costituito dalle argille plioceniche. La falda superficiale costituita da depositi sabbiosi e arenaceo sabbiosi si rinviene nelle prime decine di metri di profondità. La superficie piezometrica si presenta con blande pendenze che nel complesso degradano verso la costa. Sotto questo corpo idrico e confinata dalle marne della formazione Tellaro, ritroviamo la falda profonda contenuta all'interno dei depositi carbonatici.

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

### 6.1 Lineamenti tettonico strutturali

Nell'ottica della geologia regionale, nella struttura della Sicilia si possono distinguere tre principali elementi: la Catena settentrionale Appennino-Maghrebide, l'Avanfossa Gela-Catania e l'Avampaese Ibleo (Lentini & Vezzani, 1978). Secondo questo schema, il territorio in esame ricade all'interno dell'Avampaese Ibleo (plateau ibleo). Esso rappresenta l'attuale margine

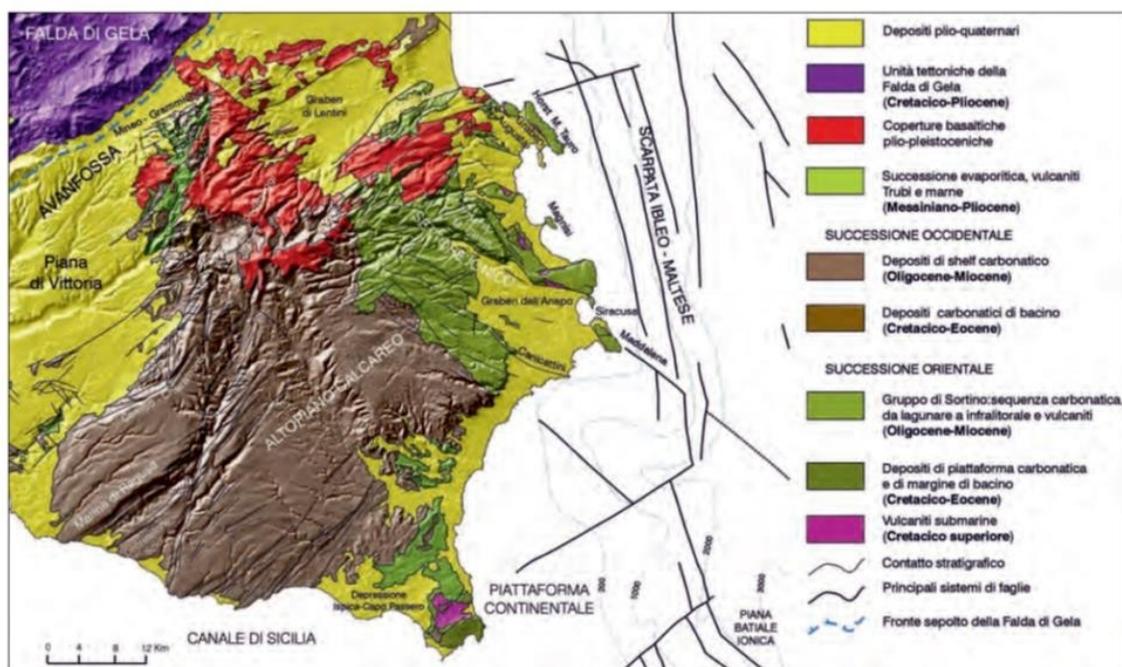


Fig. 15 – Schema stratigrafico-strutturale dell'Avampaese Ibleo (da LENTINI *et alii*, 1984 modificato), applicato su immagine DEM (*Digital Elevation Model*).  
- *Digital model of stratigraphic-structural scheme of the Iblean Foreland (after LENTINI *et alii*, 1984, modified).*

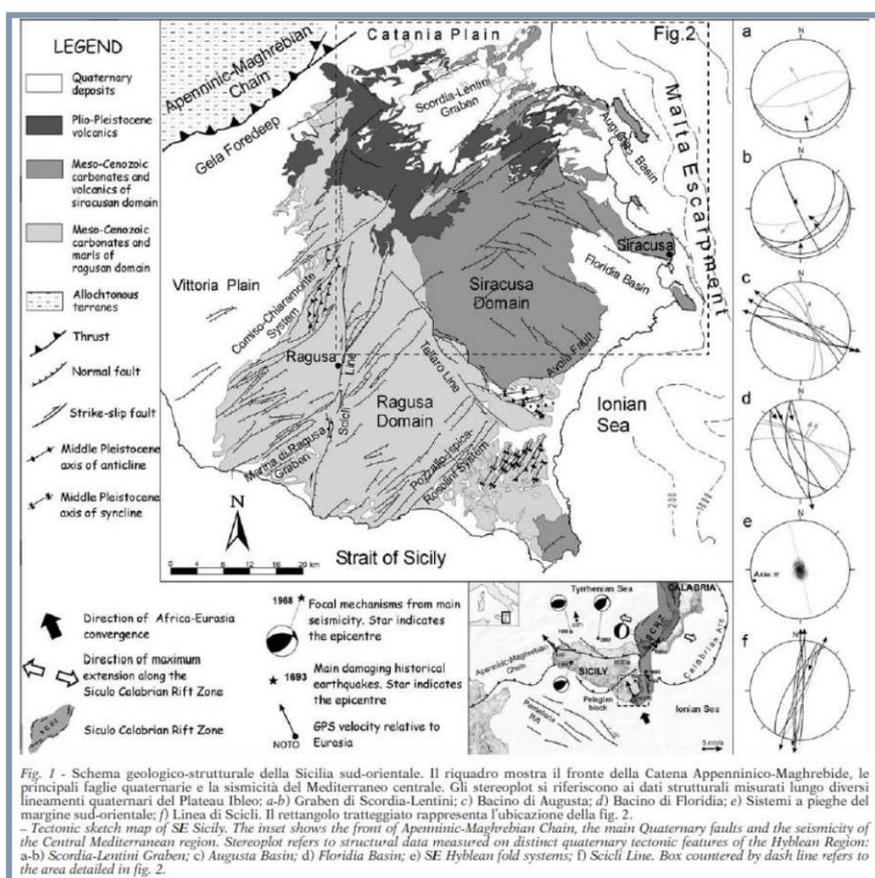
emerso della placca africana, dove si distinguono una zona centro-orientale, l'Altopiano calcareo, ed una zona occidentale, detta Zona di Transizione o di Avanfossa esterna.

### 6.2 Cenni di tettonica

La parte Sud-orientale della Sicilia è una delle aree sismicamente più attive lungo il confine tra le placche Africana e Euroasiatica nel Mediterraneo centrale. Quest'area, rappresentata significativamente dal Plateau Ibleo, è bordata ad Est da faglie normali attive che

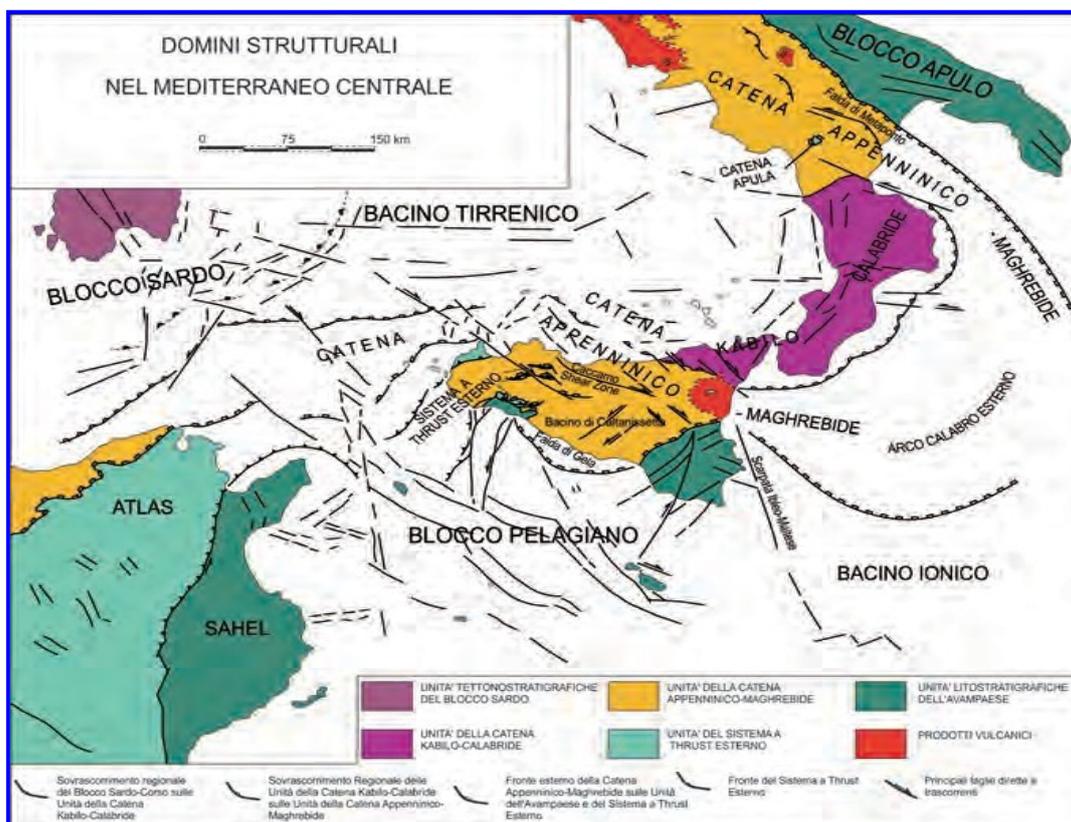
contribuiscono ad una continua deformazione dalla costa ionica della Sicilia al Nord della Calabria (Bianca et al.1999).

Il sistema di faglie normali è provocato da un regime estensionale orientato prevalentemente in direzione ESE-WNW, evidenziato da terremoti a meccanismo focale distensivo ed evidenti processi morfologici che caratterizzano bacini interni e lo sviluppo di terrazzi marini sulla costa ionica. La struttura principale su questo lato dell'area di interesse è la Scarpata di Malta, che costituisce una netta separazione tra il dominio continentale mesozoico dell'altopiano e delle strutture a thrust della catena Appenninico-Maghrebide e la crosta oceanica del bacino dello Ionio. (Bianca et al. 1999) descrivono due sistemi di faglie normali di età quaternaria, caratterizzate da età differenti e correlate a distinti processi tettonici. La fase più antica, databile a circa 400 kys BP è distribuita con allineamenti NW-SE, perpendicolari al fronte principale della Catena e limita i piccoli bacini presenti lungo la costa orientale del



massiccio ibleo. Il sistema più giovane rappresentato da importanti segmenti di faglia con allineamenti NNW-SSE comprende a sud il Sistema Pozzallo-Ispica-Rosolini e si estende verso Nord confluendo nel Rift Siculo – Calabro attivo (Monaco & Tortorici, 2000). La figura fornisce una idea della complessità tettonica dell'area iblea.

Il Rift Siculo-Calabro è una delle strutture più importanti a livello regionale, che determinano l'assetto tettonico dell'area. Esso accomoda l'intera deformazione estensionale, orientata N100 (Romagnoli et al., 2008) dell'area compresa tra il Blocco Adriatico, il Bacino Ionico e il Blocco Pelagiano (D'Agostino & Selvaggi, 2004, in Romagnoli et al, 2008), assumendo il significato di un margine di placca incipiente. L'altro importante lineamento tettonico quaternario è costituito dal Sistema della Linea di Scicli (Catalano et al., 2008), che comprende, oltre alla zona di taglio destro orientata NNESSW della Linea di Scicli, passante tra l'altro per il campo di Ragusa, anche i graben di Scordia – Lentini e quello di Marina di Ragusa, orientati ambedue NE-SW. Lungo tale sistema sono registrati movimenti compatibili con una estensione orientata circa NW-SE, la quale, se contrastante con il generale quadro geodinamico della collisione Africa – Eurasia, è analoga a quella che caratterizza, oggi, il Rift

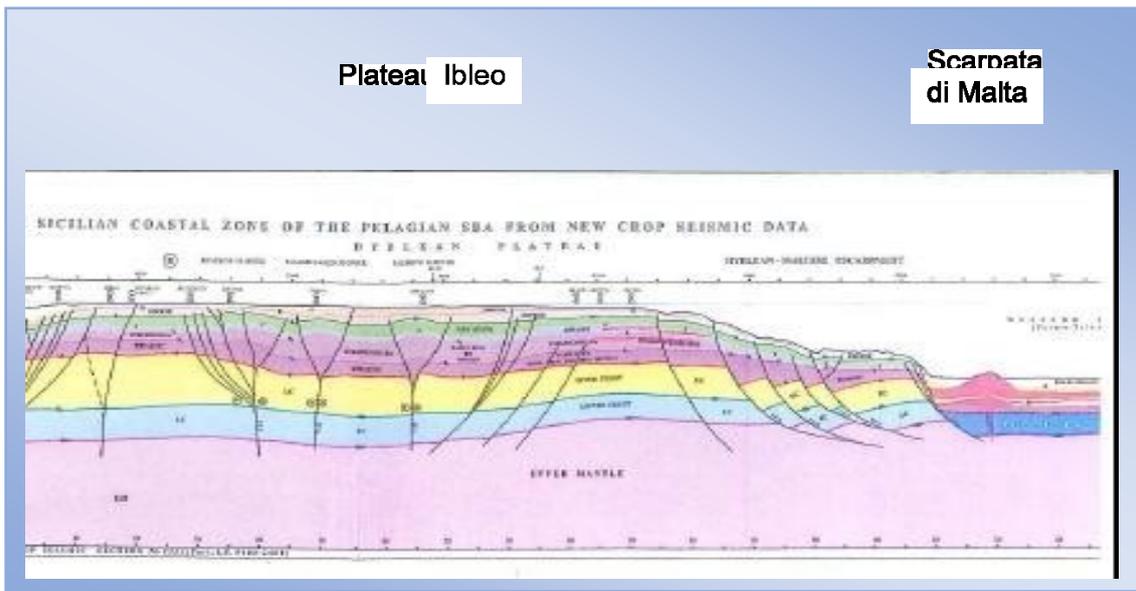


Siculo – Calabro. L'intersezione dei due sistemi di faglie (direttrici NNE-SSW e NE-SW) dà origine a depressioni rombiche, interpretabili come piccoli bacini di pull-apart prodotti da movimenti trascorrenti destri (Grasso, 2000). Gli elementi del sistema della Linea di Scicli sono stati interessati, nella parte alta del Pleistocene, da una diffusa inversione tettonica che, manifestata con movimenti sinistri lungo la linea di Scicli, associati a movimenti inversi lungo i bordi dei due graben, ha coinciso con una riduzione dei tassi di dislocazione.

## Il canale di Sicilia

Il Canale di Sicilia è legato a processi distensivi e transtensivi in atto tra Sicilia e Tunisia. Tali processi sono attivi dal Neogene (ca 20 Ma) e hanno determinato la formazione dei Bacini di Pantelleria, Malta e Linosa, con strutture a graben orientati NW-SE, paralleli a strutture analoghe che compaiono in Tunisia e al margine della piattaforma dell'off-shore Pelagiano (Sicilia sud-occidentale)

La figura è composta da una miscellanea di immagini tratte dal lavoro CROP (Finetti,



2005), illustra la situazione geologica a scala regionale di quest'area. E' evidente il coinvolgimento molto profondo, fino al mantello superiore, da parte delle strutture transtensive, che raggiungono la superficie (fondo mare) nell'area dell'avampese ibleo, mentre risultano bloccate dalla posizione della Falda di Gela. Si noti la distribuzione delle strutture nella Scarpata di Malta, ancora attive, che costituisce una separazione netta tra la crosta oceanica del bacino ionico (OC, color blu) e la Lower Crust continentale (LC, color azzurro chiaro). La profondità della Moho in questa sezione è collocata tra 8 e 10 sec (TWT), corrispondenti a circa 30 km. La lunghezza totale della sezione in figura è circa 350 km.

## Il Rift Siculo-Calabro (faglia ibleo maltese)

Il Plateau Ibleo, delimitato dalla avanfossa di Gela e dalle sopra ricordate strutture del Canale di Sicilia, è bordato ad Est dalla parte settentrionale di un imponente sistema di strutture crostali che, da Est dell'isola di Malta, risale verso Nord lungo il fianco orientale del Massiccio Ibleo e dell'area etnea. Tale struttura presenta diversi segmenti di faglia con andamento principalmente verso Nord o Nord Est nell'area iblea, con rotazione verso NW all'altezza del Bacino di Catania.

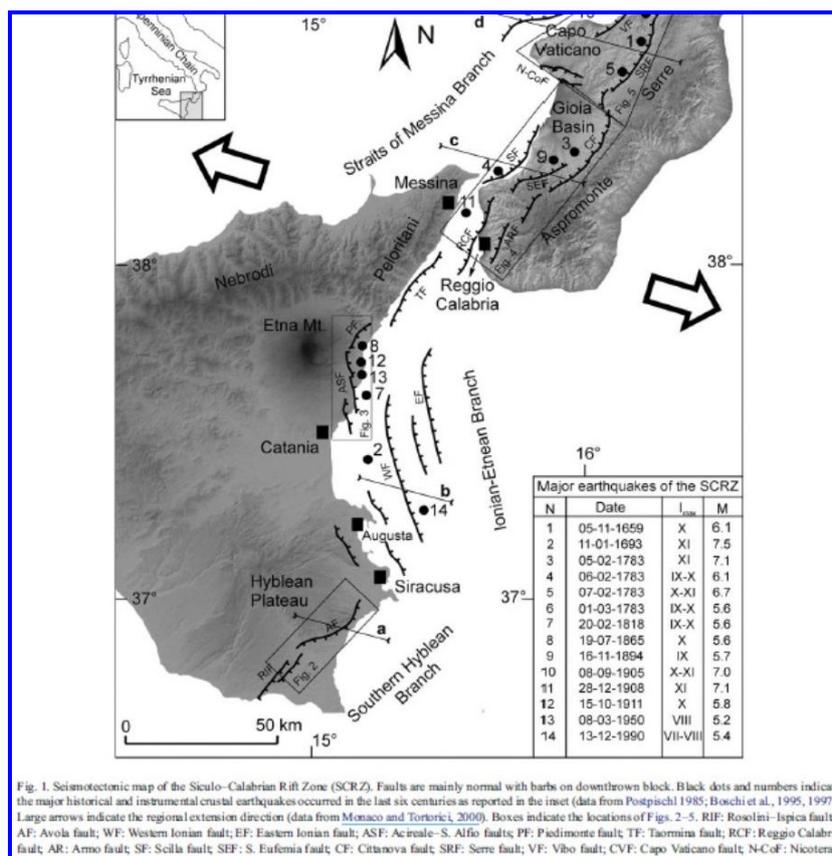
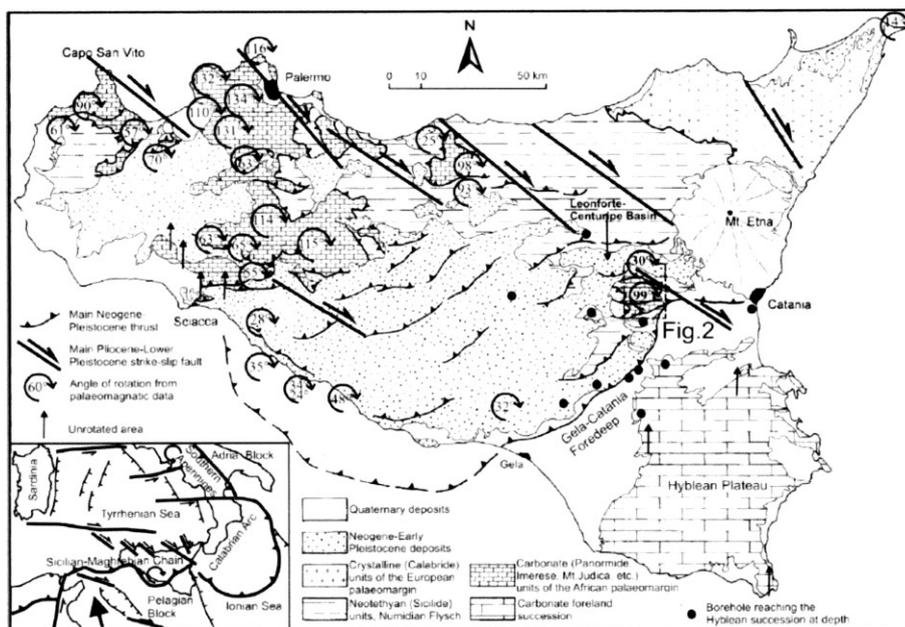


Fig. 1. Seismotectonic map of the Siculo-Calabrian Rift Zone (SCRZ). Faults are mainly normal with barbs on downthrown block. Black dots and numbers indicate the major historical and instrumental crustal earthquakes occurred in the last six centuries as reported in the inset (data from Postpischl 1985; Boschi et al., 1995, 1997). Large arrows indicate the regional extension direction (data from Monaco and Tortorici, 2009). Boxes indicate the locations of Figs. 2-5. RIF: Rosolini-Ispica fault; AF: Avola fault; WF: Western Ionian fault; EF: Eastern Ionian fault; ASF: Aciriale-S. Alfo fault; PF: Piedimonte fault; TF: Taormina fault; RCF: Reggio Calabria fault; AR: Armo fault; SF: Scilla fault; SEF: S. Eufemia fault; CF: Citanova fault; SRF: Serre fault; VF: Vibo fault; CVF: Capo Vaticano fault; N-CoF: Nicotera-

Come si vede nella sezione precedente, le faglie interessano l'intera crosta assottigliata del dominio ionico fino ad intercettare il fondo marino, dove si creano grosse scarpate la cui altezza varia da 80 a 240 metri. Il sistema di faglie normali interessa la parte emersa della Sicilia con la faglia di Avola e nel graben di Rosolini – Pozzallo. Tali sistemi di faglie, con lunghezza di oltre venti chilometri (faglia di Avola) creano scarpate morfologiche profonde, e intense re-incisioni del sistema idrografico nelle parti rialzate (faglie di Rosolini – Pozzallo e Ispica). Il Rift Siculo – Calabro è la più importante struttura tettonica quaternaria nell'area dell'arco calabro e della Sicilia orientale. Esso si allunga dalla parte interna dell'arco calabro all'area del Massiccio Ibleo, passando per lo Stretto di Messina e il lato ionico della Sicilia, per una lunghezza totale di circa 370 km. E' distinto in diversi segmenti caratterizzati da faglie

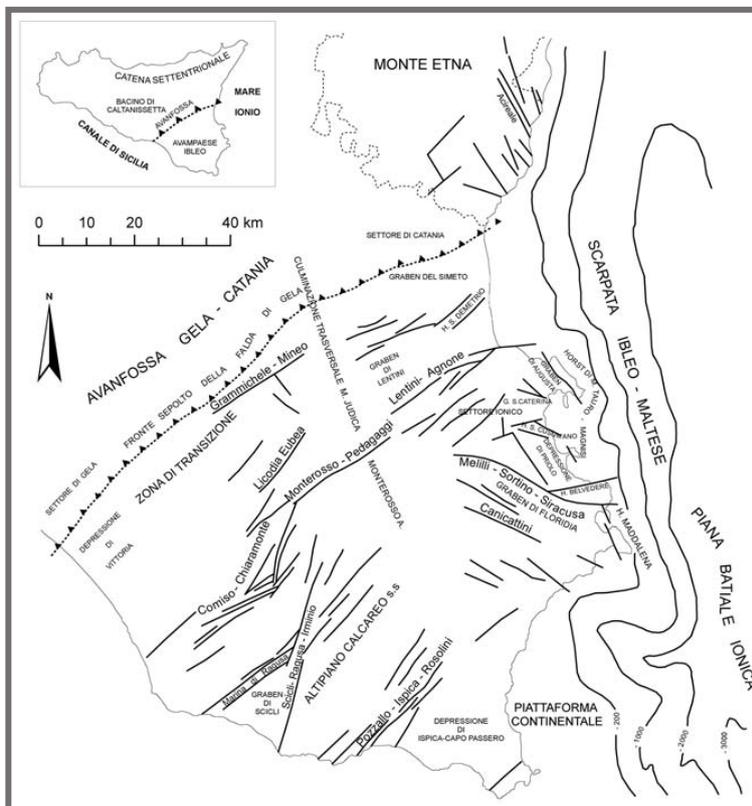
normali che definiscono il confine orientale dei rilievi (Iblei, Aspromonte, Serre) in onshore, mentre in offshore dà luogo a bacini sintettonici ben sviluppati (Bianca et al, 1999). I segmenti di faglia hanno lunghezze comprese tra 10 e 50 km, compresi in tre gruppi principali caratterizzati da orientazioni differenti. Nel tratto ibleo la struttura del rift è rappresentata da faglie normali, con allungamenti in direzione NE, delle quali la principale è la Faglia di Avola, lunga circa 20 km, Sud-Est vergente, che si estende da Cassibile a Noto. La faglia produce una morfologia ad evidenti gradoni, con altezze progressivamente decrescenti verso le estremità. La parte interna (footwall) è costituita da carbonati miocenici, con sovrapposti resti di una piattaforma di erosione; nella parte ribassata (hangingwall), i depositi carbonatici miocenici sono ricoperti in un conformity da calcareniti litorali, formanti due ordini di terrazzi marini di altezza di circa 25 e 50 metri. Nella parte più meridionale del sistema è presente un'altra struttura, con faglie normali a direzione circa N30°E Est immergenti, che si estende tra Rosolini ed Ispica. I segmenti di faglia si estendono per circa 20 km e le morfologie associate, sia ai piedi delle scarpate che l'idrografia, mostrano una età delle strutture riferibile al Pleistocene superiore – Olocene.



Carta geologico-strutturale della Sicilia, con evidenze delle rotazioni neogeniche connesse allo sviluppo dell'orogene (da Monaco & De Guidi 2006).

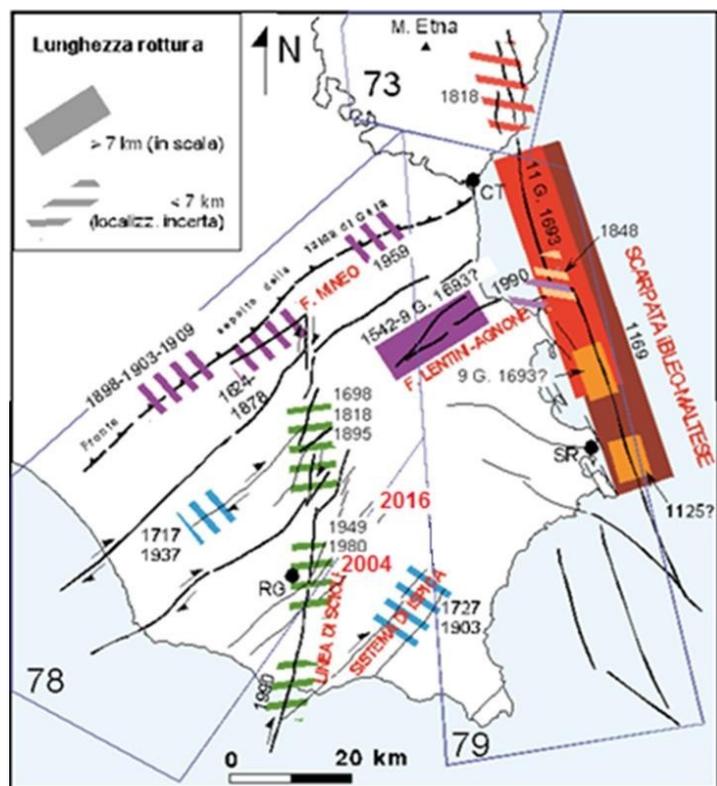
### 6.3 Caratteristiche sismiche del plateau ibleo

L'analisi e l'elaborazione statistica dei dati sismici desunti dai terremoti di massima intensità, avvenuti in Italia negli ultimi duemila anni, hanno avuto come risultato la pubblicazione, nel corso di due decenni, da parte di ENEL, CNR, GNDT, INGV, di una serie di mappe di zonazione del rischio sismico nazionale, ai fini della protezione civile e dei criteri di progettazione tecnica in zona sismica, che vedono la Sicilia come una delle regioni d'Italia in cui si ha la maggiore probabilità di terremoti di elevata intensità macrosismica e magnitudo.



In particolare, il settore della Sicilia sud-orientale è quello dove sono state stimate le massime intensità macrosismiche con i terremoti del 1169, 1693, 1818, tra il IX e l'XI grado MCS. Lo stesso settore si presenta come una delle zone d'Italia in cui si ritiene vi sia la maggiore probabilità di terremoti di elevata intensità macrosismica e magnitudo, specialmente per periodi di ritorno maggiori di 100 anni. La causa della sismicità degli Iblei è da ricercare nel suo assetto geologico-strutturale, configurandosi l'altopiano come area di Avampaese, in cui la distribuzione degli epicentri dei terremoti ricade lungo i principali sistemi di faglie che lo interessano, quindi lungo la Scarpata Ibleo-Maltese nel margine ionico, la Linea di Scicli e le strutture tettoniche che delimitano i margini settentrionale e meridionale. Nel dettaglio, la distribuzione degli epicentri dei terremoti a magnitudo  $M_{max} = 4,9 \div 5,5$  è più addensata verso il margine occidentale del plateau ibleo ed è contrapposta a quella degli epicentri dei terremoti di massima intensità che ricadono nel settore ionico tra Catania e Augusta dove la magnitudo

stimata è  $M_{max} = 6,5 - 7,3$  (1169, 1693, 1818). Distribuzione della sismicità negli Iblei In generale, allo stato attuale delle conoscenze, si può mettere in risalto che lungo i margini meridionale e settentrionale del plateau ibleo non vi è evidenza di superficie di faglie di lunghezza di rottura (e/o riattivazione) dell'ordine di almeno 50 km, ipotizzata da Wells & Coppersmith (1994) per l'occorrenza di eventi di magnitudo maggiore di 6, circostanza invece ben documentata lungo la scarpata ibleo-maltese sulla costa ionica. In ogni caso, comunque, non risultano studi specifici che attestino evidenze di attivazione paleosismica delle strutture del bordo sud-orientale e dell'altipiano calcareo, nell'intervallo da 15.000 anni al presente.



Principali sistemi di faglia ed elementi strutturali della Sicilia sud-orientale e del settore meridionale dell'edificio etneo (da CARBONE et alii 1982a, modificato). modello sismogenetico della Sicilia SE rielaborato da Azzaro e Barbaro (2000). In rosso le date dei sismi con  $M > 4$  avvenuti dopo l'anno 2000, poste in corrispondenza degli epicentri.

#### 6.4 Sismicità e zone sismogenetiche

L'area in esame è una delle zone a più alta pericolosità sismica dell'Italia essendo stata colpita nel passato da diversi terremoti distruttivi (magnitudo  $M = 6.4-7.3$ ).

Per stimare la pericolosità sismica dell'area sono state utilizzate metodologie classiche, come ad esempio quella di Cornell (SlejKo et alii, 1998; Gruppo di laVoro mpS, 2004). Questi approcci tuttavia risentono della limitazione dovuta all'assunzione di zone sismogenetiche omogenee ed estese, caratterizzate da tasso di sismicità e modello di attenuazione uniforme, che tendono a nascondere eventuali differenze nei vari siti. Per superare queste restrizioni, recentemente sono state sviluppate metodologie (Magri et alii, 1994) che utilizzano le intensità osservate al sito per il calcolo della pericolosità sismica (Monachesi et alii, 1994; Mucciarelli et alii, 2000). È stata quindi eseguita l'analisi di dettaglio dei terremoti che hanno interessato la città di Augusta (Azzaro et alii, 2000b; Barbano et alii, 2000, 2001; Boschi & Guidoboni, 2001) al fine di ricostruirne la storia sismica di sito.

I terremoti capaci di dare un contributo significativo alla pericolosità sismica del settore in studio sono localizzati in Sicilia orientale e in Calabria meridionale.

Per quanto riguarda le zone sismogenetiche della Calabria meridionale, le strutture qui certamente più attive sono le faglie del bacino del Mesima, delle Serre, di Gioia Tauro e di Cittanova, la cui attività si è protratta anche nel Pleistocene superiore e nell'Olocene (Valensise & D'Addezio, 1994; Monaco & Tortorici, 2000; Jacques et alii, 2001). Queste strutture con direzione NE-SO sono state probabilmente responsabili dei grandi terremoti calabresi del 5, 6 e 7 febbraio e del 1 marzo del 1783 (Baratta, 1901).

Nello stretto di Messina è



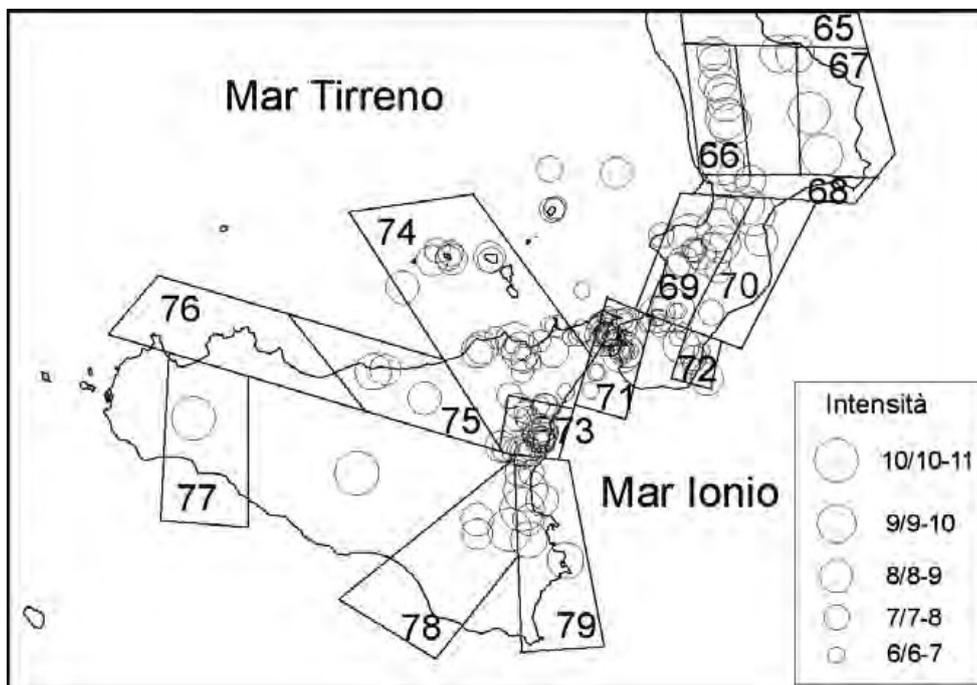
Epicentri dei principali terremoti nel periodo 1125-1990 che hanno provocato danni o sono stati avvertiti ad Augusta

ubicato il terremoto del 28 dicembre 1908 ( $M @ 7.1$ ;  $I_{max} = XI$ , MCS) ampiamente descritto da Baratta (1910). Poiché non vengono documentate evidenze di fagliazione superficiale e i dati strumentali non sono molto precisi, vari Autori hanno proposto modelli diversi riguardo la collocazione spaziale, la geometria e le dimensioni della sorgente (Ghisetti, 1992; Valensise & Pantosti, 1992, 2001).

Nell'area etnea la sismicità è caratterizzata da eventi di bassa magnitudo e ipocentri superficiali (Gresta et alii, 1997), per cui gli eventi di quest'area sono capaci di produrre localmente effetti distruttivi ma vengono appena avvertiti al di fuori dell'area stessa (Azzaro et alii, 2000a).

Al confine tra i Nebrodi e i Peloritani occidentali, i terremoti sono localizzati lungo il versante Tirrenico, in particolare lungo l'allineamento Patti-Vulcano- Salina (Azzaro et alii, 2000b). Questa sismicità è associabile alle strutture trascorrenti destre NO-SE presenti nell'area (es. il terremoto di Patti del 1978, Barbano et alii, 1979).

In Sicilia sud-orientale la sismicità è distribuita soprattutto lungo la costa ionica, dove gli eventi hanno raggiunto  $M @ 7.0$  (Azzaro & Barbano, 2000). La struttura responsabile dei terremoti maggiori di quest'area (1169,  $I_0 = X$  MCS; 1693,  $I_0 = XI$  MCS; 1818,  $I_0 = IX/X$  MCS) è probabilmente la Scarpata Ibleo-Maltese. Questo sistema, formato da segmenti di faglie normali a direzione prevalente NNO-SSE, delimita offshore la zona ionica. Terremoti di moderata magnitudo sono localizzati invece nel settore più interno del Plateau Ibleo (Azzaro & Barbano, 2000).



## 7 AZIONE SISMICA - STATI LIMITE (D.M. 17/01/2018)

Per imprimere un maggior peso alle esigenze di sicurezza che il rischio sismico impone, purtroppo a causa del continuo ripetersi di eventi tellurici nel territorio nazionale, si introducono di seguito come specificato nelle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. del 17/01/2018), le caratteristiche per lo studio dell'analisi dinamica del sistema terreno-struttura considerata in campo elastico lineare, che viene eseguita, a favore della sicurezza, tramite il metodo degli Stati Limite che si possono verificare durante la vita nominale dell'opera o di parte di essa.

Lo *stato limite* è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. Con tale normativa si è inteso portare a due gli Stati Limite di Esercizio: Stato Limite di immediata Operatività particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono rimanere operative durante e subito dopo il sisma e Stato Limite di Danno definito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee appena dopo il terremoto. In modo analogo, si sono portati a due anche gli Stati Limite Ultimi: allo Stato Limite di salvaguardia della Vita, dove la costruzione subisce significativi danni alla parte non strutturale ma conserva ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso, segue quindi lo Stato Limite di prevenzione del Collasso per il quale si possono avere crolli parziali, particolarmente utile come riferimento nel quadro complessivo della progettazione.

I quattro *stati limite* così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed ai conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV, SLC), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme della struttura, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste al manufatto.

Nello specifico le strutture le opere in esame devono rispettare tutte le verifiche agli stati limite ultimi [SLU di tipo geo] e [SLU del tipo str] e di esercizio [SLU del tipo str] e le verifiche di durabilità (§ 6.4.2 NTC 2018). Gli stati limite ultimi delle opere in esame si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera stessa, la verifica progettuale geotecnica terrà conto delle condizioni di sicurezza globale e locale del sistema costruzione-terreno, inclusa la determinazione delle sollecitazioni delle strutture a contatto con il terreno e la valutazione delle prestazioni del

sistema nelle condizioni d'esercizio (§ 6.2.3 NTC 2018). Conseguentemente ai principi generali enunciati, la Progettazione geotecnica farà affidamento sul metodo degli stati limite ultimi e di esercizio e sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza applicati alle azioni, agli effetti delle azioni, alle caratteristiche dei materiali e alle resistenze.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto (§ 3.2 NTC 2018) la pericolosità sismica del territorio è definita convenzionalmente riferendosi ad un sito rigido (categoria A) con una superficie topografica orizzontale (categoria T1) senza manufatti presenti nell'intorno (campo libero). Le caratteristiche di tale moto sismico atteso al sito di riferimento per una fissata probabilità di superamento nel periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ), si ritengono ben determinate quando se ne conosce l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.

Di seguito le grandezze con le quali vengono compitamente definite le forme spettrali per la generica  $P_{VR}$ :

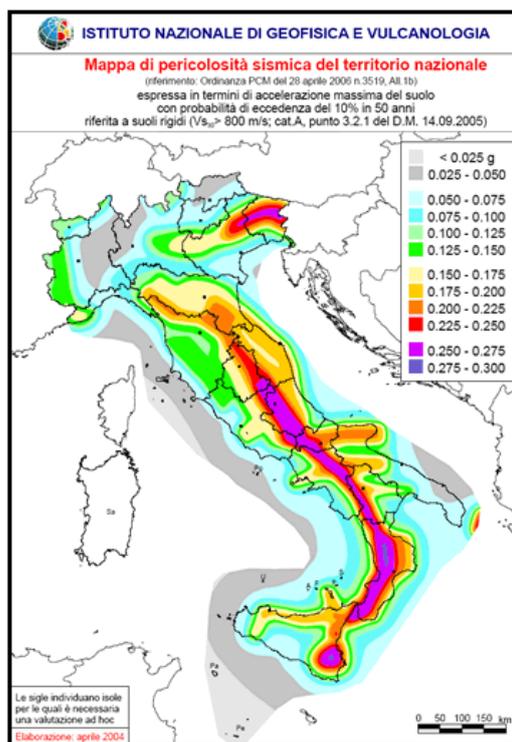
$a_g$  = accelerazione massimo al sito;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_{c*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore dell'accelerazione  $a_g$  è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento prodotta e messa in rete dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia non è altro che la probabilità che, in un fissato lasso di tempo, nel sito in studio si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nelle NTC 2018, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento"  $VR$  e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"  $P_{VR}$ . Mentre  $F_0$  e  $T_{c*}$  sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dal D.M. 17.01.2018 approssimino al meglio i corrispondenti derivanti dalla pericolosità di riferimento.



Mappa della pericolosità sismica del territorio

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3(NCT2018). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (NCT2018), 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,  $V_S$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_S$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 (NCT2018). I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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. 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

| CATEGORIA | LITOLOGIA  |
|-----------|--|
| <i>A</i>  | <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>  |
| <i>B</i>  | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi-stenti, 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>  |
| <i>C</i>  | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consi-stenti 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 360 m/s e 800 m/s.</i>       |
| <i>D</i>  | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consi-stenti, 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 360 m/s e 800 m/s.</i> |
| <i>E</i>  | <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</i>  |

che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II

Per queste cinque categorie le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III) (NCT2018):

| CATEGORIA TOPOGRAFICA | UBICAZIONE DELL'OPERA   | $S_T$ |
|-----------------------|---|-------|
| <i>T1</i>             | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$               | 1,0   |
| <i>T2</i>             | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  | 1,2   |
| <i>T3</i>             | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclin. media $15^\circ < i < 30^\circ$ | 1,2   |
| <i>T4</i>             | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$       | 1,4   |

**Tab. 3.2.1:** Categorie topografiche con relativo valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (come da Tabella 3.2.IV e 3.2.VI del D.M. 17/01/2018).

L'azione sismica sulle costruzioni è condizionata dalla risposta del terreno di sedime, essa è generata dal moto non uniforme del litotipo attraversato durante la propagazione delle onde sismiche: la propagazione sismica eccita la struttura dell'edificio provocandone la risposta dinamica, oggetto di verifica e controllo in termini di sicurezza e prestazioni attese.

Sotto l'effetto dell'azione sismica allo stato *limite ultimo* (superato il quale si ha il collasso strutturale) le strutture dell'edificio, pur subendo danni di rilevante entità negli elementi strutturali, devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti delle forze orizzontali e verticali. Sotto l'effetto dell'azione sismica allo stato *limite di danno* (oltre il quale la struttura presenta danni o deformazioni irreversibili tali da limitare alcune funzionalità e/o prestazioni del manufatto) o nel caso in cui il superamento può avere carattere reversibile (allo stato *limite di esercizio*) e cioè se il danno o tali deformazioni vengono meno al cessare della causa che li ha determinati, la costruzione, come insieme di elementi strutturali e non strutturali, comprese le apparecchiature e gli impianti dell'edificio, non devono subire danni ed interruzione d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una ricorrenza maggiore dell'azione sismica allo stato limite ultimo e quindi una più significativa probabilità di verificarsi più volte nel corso della durata utile dell'opera.

Sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale", elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi, la mappa di pericolosità sismica aggiornata alla classificazione sismica regionale ed utilizzata ancora dalla OPCM 3519/2006 fino alla recente NTC 2018.

Così come previsto dal § 6.2.2 NTC 2018 si è definito, in base ai risultati di "prove geognostiche (previste dai § 7.11.2 e § 7.11.3 del decreto sopra citato) e di ulteriori studi eseguiti nelle vicinanze in possesso degli scriventi, il modello geologico del sito in studio, che è relazionabile alla categoria di profilo stratigrafico *del suolo di fondazione definito come di seguito rappresentato nella tabella riassuntiva, i valori ricavati dalle indagini del  $V_{seq}$  risultano compresi tra 238 a 1028 m/sec, pertanto i terreni ricadono tra tre categorie di riferimento "A", "B" e "C":*

*"A" 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.*

“**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.

“**C**” 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.

Riassumendo, nel caso specifico, le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni della struttura in oggetto dovranno essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si potrebbero verificare durante la vita normale presa come riferimento in sede progettuale.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5% con periodo di oscillazione  $T < 4$  sec: espressione del prodotto della forma spettrale per l'accelerazione. Poiché progettualmente si prevede che non saranno necessari interventi di manutenzione straordinaria per ripristinare la capacità di durata della costruzione prima di 50 anni, si pone  $V_{N \geq 50}$  con riferimento alla Tab. 3.2.4 (NCT2018).

| TIPI DI COSTRUZIONE |   | Vita Nominale<br>$V_N$ - (in anni) |
|---------------------|---|------------------------------------|
| 1                   | Opere provvisorie - Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva                             | $\leq 10$                          |
| 2                   | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza      | $\geq 50$                          |
| 3                   | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica | $\geq 100$                         |

**Tab. 3.2.4:** Valore della Vita nominale, come da Tabella 2.4.1 del D.M. 17/01/2018.

Inoltre, ai sensi e per gli effetti del D.M. 17/01/2018 § 2.4.2, il carattere strategico di un'opera per le conseguenze di un eventuale collasso sono definiti dalla CLASSE D'USO (vedi Fig. 3.2.4) all'interno delle quali sono suddivise le costruzioni.

**Classe I** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

**Classe II**, Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie eoa attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III in Classe d'uso

IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV Ponti e reti ferroviarie o viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV**- Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B. di cui al D.M. 5 novembre 2001. N. 6792. "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì r serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico : Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia

Classi d'Uso indicate ai § 2.4.2 del D.M. 17/01/2018

| CLASSE D'USO                | I   | II  | III | IV  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE C <sub>U</sub> | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Tab. 3.2.5: Valore del Coeff. D'Uso, come da Tabella 2.4.II del D.M. 17/01/2018.

Il prodotto di questi due ultimi dati specifici della struttura ( $V_R = V_N \times C_u$ ) restituisce il valore del periodo di riferimento  $V_R$ , di notevole importanza perché, fissata la probabilità di superamento  $P_{V_R}$  corrispondente allo stato limite considerato (vedi Tabella 3.2.1 NTC 2018), si utilizza per valutare il periodo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica cui far riferimento per la verifica.

In particolare, nel caso in studio, utilizzando le formule d'interpolazione fornite nell'Allegato A alle NTC 2018, si ricavano i valori dei parametri (Tab. 3.2.6:  $a_g - F_0 - T_c^*$ ) necessari a definire l'azione sismica sul territorio premesso che, sulla probabilità di superamento nel Periodo di riferimento considerato  $P_{V_R}$ , incidono sia la *categoria di suolo* che le *condizioni topografiche* esaminate nei vari sopralluoghi in situ:

$$S = S_S \times S_T$$

dove  $S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (rapporto tra valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A calcolato quindi in funzione della categoria di suolo) e  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica per un profilo  $T_1$

$F_0$  il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima calcolata

$T_c$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato dal rapporto:

$T_c = C_c \times T_c^*$  dove  $T_c^*$  è il coefficiente funzione della categoria di suolo.

## **8    *COMPORAMENTO MECCANICO DEI TERRENI***

### **8.1    *Caratterizzazione sismica del sottosuolo tramite prospezioni MASW***

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le onde si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superficiali dando informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi dando informazioni sugli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato nelle presenti indagini è il metodo attivo dove le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Questo metodo “attivo” consente di ottenere una velocità di fase nel range delle frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, è dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo da indagare.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità  $V_{s30}$  e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

La modellazione della curva di dispersione con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione dei profili dell'andamento delle  $V_s$  in sottosuolo.

## 8.2 Descrizione dei risultati

La nuova normativa tecnica sulle costruzioni, il D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di “velocità equivalente  $V_s$ ”, che viene calcolata attraverso l'espressione:

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

dove  $H$  rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore ad 800 m/s. Per terreni con profondità  $H$  del substrato superiore o pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati del terreno fino a quella profondità.

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle  $V_s$  in sottosuolo.

Nella presente tabella A sono indicati i valori del  $V_{s,eq}$  ottenuti attraverso le prospezioni MASW, e la categoria di sottosuolo come prevista nel (D.M. 17.01.18) oltre alle coordinate geografiche (nel sistema di riferimento WGS 84, in gradi decimali).

Per una migliore rappresentazione della **consistenza del suolo di fondazione** nella tabella B sono stati inoltre riportati i valori di velocità delle onde di taglio nei primi otto metri di profondità zona interessata dagli elementi fondazionali da utilizzare per la collocazione dei pannelli fotovoltaici distinti in tre intervalli “da 0 a 2.00 m”, “da 2.01 a 5.00 m” e “da 5.01 a 8.00 m”; in questi intervalli sono stati inoltre indicati oltre alla stima della consistenza e dei parametri elasto-dinamici, i moduli di rigidità, moduli di volume, modulo di elasticità dinamico e statico:

**tabella A**

| Consistenza del terreno                | Bassa    | Media          | Medio-Elevata   | Elevata  |
|--|----------|----------------|-----------------|----------|
| Velocità delle onde di taglio Vs       | <180 m/s | 180-300        | 300-600         | >600     |
| Modulo di Rigidità (Kg/cmq)            | <526,0   | 526,0-1800,3   | 1800,3-7143,1   | >7143,1  |
| Modulo di Volume (Kg/cmq)              | <1896,2  | 1896,2-26403,9 | 26403,9-36938,6 | >36938,6 |
| Modulo di elasticità dinamico (Kg/cmq) | <1444,44 | 1444,44-5280,8 | 5280,8-21107,8  | >21107,8 |
| Modulo di elasticità statico (Kg/cmq)  | <37,38   | 37,38-282,5    | 282,5-2452,8    | >2452,8  |

**tabella B**

| MASW n. | Formazione geologica  | V <sub>s,eq</sub><br>(m/s) | Categoria<br>sottosuolo<br>(D.M.<br>17.01.18) | V <sub>s</sub> (m/s)<br>0-2,00 m | V <sub>s</sub> (m/s)<br>2,01-5,00 m | V <sub>s</sub> (m/s)<br>5,01-8,00 m |
|---------|-----------------------|----------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1       | Calcere evaporitico   | 432                        | B   | 296                              | 383                                 | 395                                 |
| 2       | Marne calcaree        | 442                        | B   | 284                              | 331                                 | 413                                 |
| 3       | Argille marnose       | 312                        | C   | 228                              | 260                                 | 276                                 |
| 4       | Marne calcaree        | 393                        | B   | 234                              | 346                                 | 351                                 |
| 5       | Marne calcaree        | 727                        | B   | 788                              | 691                                 | 874                                 |
| 6       | Argille Marnose       | 249                        | C   | 161                              | 164                                 | 171                                 |
| 7       | Marne calcaree        | 451                        | B   | 208                              | 263                                 | 382                                 |
| 8       | Argille marnose       | 335                        | C   | 191                              | 318                                 | 751                                 |
| 9       | Vulcaniti sottomarine | 567                        | B   | 255                              | 589                                 | 752                                 |
| 10      | Argille marnose       | 238                        | C   | 163                              | 158                                 | 154                                 |
| 11      | Marne calcaree        | 585                        | B   | 285                              | 393                                 | 524                                 |
| 12      | Marne calcaree        | 422                        | B   | 286                              | 362                                 | 408                                 |
| 13      | Calcari marnosi       | 509                        | B   | 264                              | 423                                 | 468                                 |
| 14      | Vulcaniti subaeree    | 551                        | B   | 337                              | 710                                 | 784                                 |
| 15      | Vulcaniti subaeree    | 595                        | B   | 315                              | 521                                 | 655                                 |
| 16      | Vulcaniti subaeree    | 689                        | B   | 427                              | 614                                 | 718                                 |
| 17      | Vulcaniti subaeree    | 562                        | B   | 388                              | 581                                 | 653                                 |
| 18      | Calcari marnosi trubi | 474                        | B   | 318                              | 353                                 | 360                                 |
| 19      | Calcari marnosi trubi | 819                        | A   | 553                              | 805                                 | 827                                 |
| 20      | Argille marnose       | 309                        | C   | 191                              | 197                                 | 209                                 |

|    |                    |      |   |     |     |      |
|----|--------------------|------|---|-----|-----|------|
| 21 | Argille marnose    | 335  | C | 195 | 201 | 242  |
| 22 | Vulcaniti subaeree | 551  | B | 583 | 693 | 659  |
| 23 | Vulcaniti subaeree | 685  | B | 459 | 660 | 785  |
| 24 | Vulcaniti subaeree | 1028 | A | 881 | 948 | 1026 |
| 25 | Vulcaniti subaeree | 624  | B | 531 | 640 | 688  |
| 26 | Vulcaniti subaeree | 444  | B | 515 | 553 | 420  |
| 27 | Argille marnose    | 335  | C | 195 | 201 | 242  |
| 28 | Marne calcaree     | 485  | B | 292 | 404 | 426  |
| 29 | Vulcaniti subaeree | 482  | B | 229 | 481 | 615  |
| 30 | Vulcaniti subaeree | 519  | B | 284 | 486 | 649  |
| 31 | Marne calcaree     | 510  | B | 211 | 380 | 425  |
| 32 | Argille marnose    | 387  | B | 165 | 218 | 383  |

***Il suolo di fondazione dove dovranno realizzarsi le opere in oggetto riscontrato a seguito delle prospezioni è tale che la formazione indagata classifica il  $V_{s,eq}$  variabile da 238 a 1028 m/sec, pertanto i terreni ricadono tra tre categorie di riferimento "A", "B" e "C":***

***"A" 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.***

***"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.***

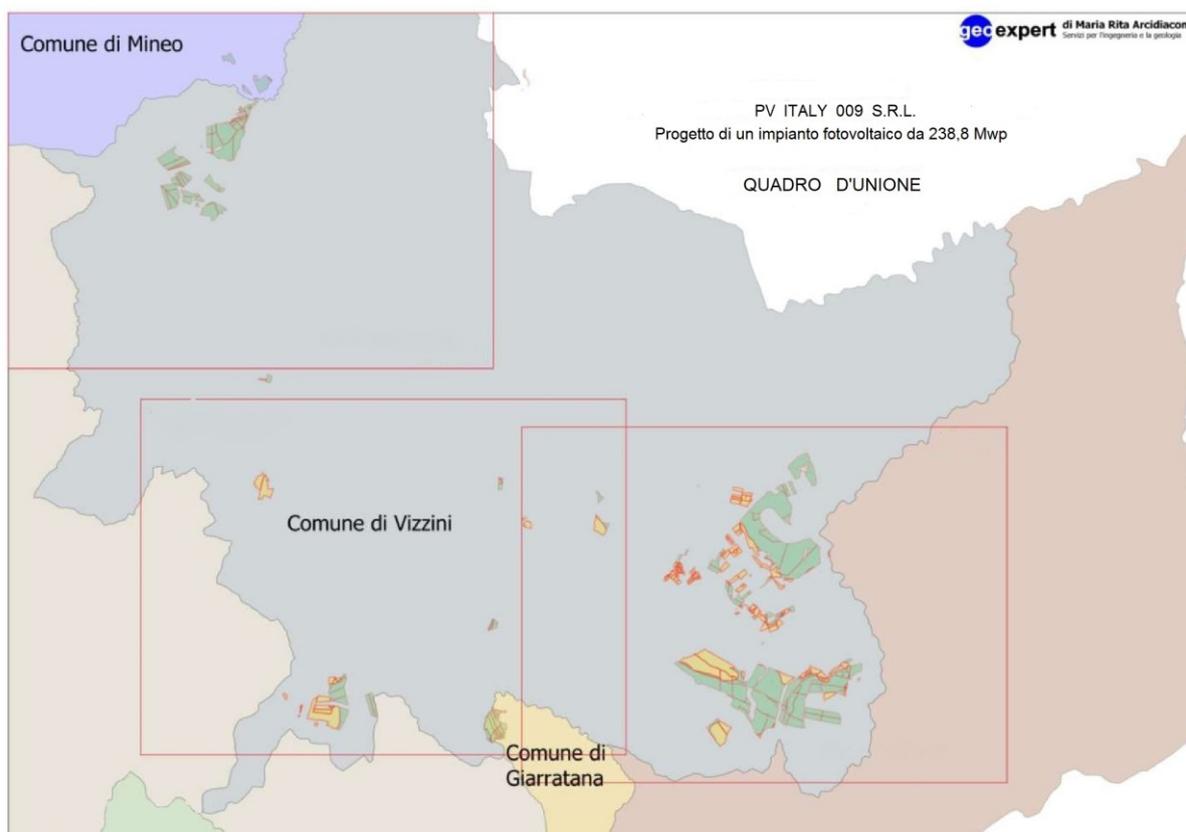
***"C" Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.***

***Dalle indagini eseguite i cui valori sono riportati in tabella, emerge che i terreni di fondazione delle aree da utilizzare per la collocazione degli impianti, ricadono per il 78% nella Categoria A e B e per il 22% nella categoria C di cui alle N.T.C. 2018.***

### 8.3 *Prospezione sismica tomografica*

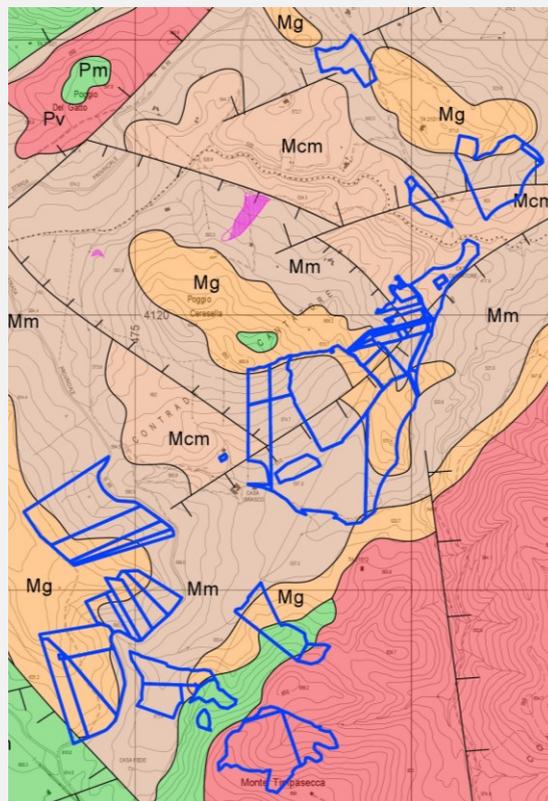
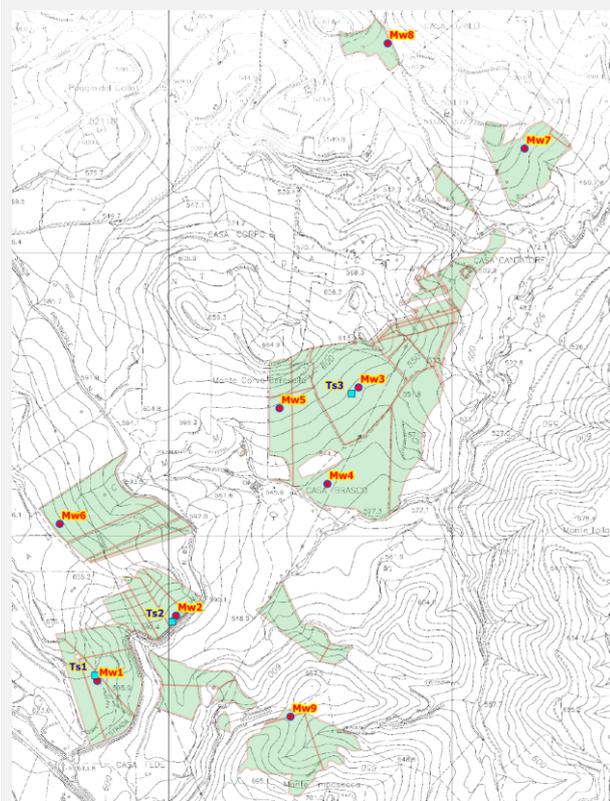
Nei terreni interessati dall'intervento per ricostruire la geometria e le caratteristiche fisiche (Vp) è stata eseguita una campagna di tomografie sismiche di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come "immagine" bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

La tomografia sismica ci permette di stabilire le proprietà dinamiche in sito dei terreni di fondazione, individuare eventuali discontinuità, o strati particolarmente poco consistenti presenti nel sottosuolo, mediante la definizione della velocità e della direzione di propagazione delle onde elastiche generate da sorgenti artificiali. Attraverso la correlazione con le Vs desunte dalle MASW e mediante relazioni empiriche è stato possibile schematizzare in modo qualitativo le caratteristiche meccaniche del terreno, seppure con le opportune limitazioni.



Il modello sismostratigrafico del sottosuolo può essere così riassunto:

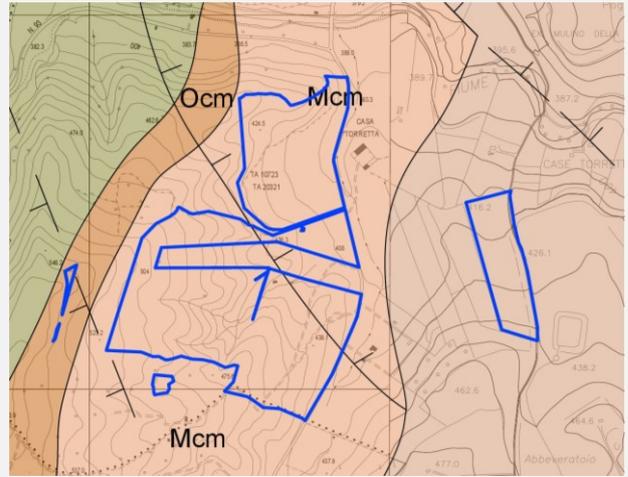
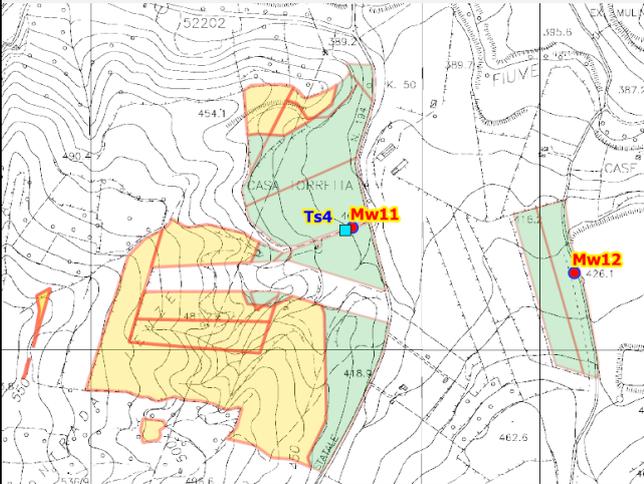
**AREA "A Cantatore"**



ubicazione tomografia sismica ■

| AREE TOMOGRAFICA | Sismostrato | Velocità<br>Vp media (m/s) | Spessore (m) | Litologia presunta       | Peso $\gamma$<br>K-g/mc | Angolo di attrito $\phi$ | Coesione<br>Cu kPa |  |  |
|------------------|-------------|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|--|--|
| <b>Ts1</b>       | 1           | 420                        | 0,50 - 2,00  | Limi argillosi           | 1900                    | 21-23                    | 10-12              |  |  |
|                  | 2           | 700                        | 1,00 - 3,00  | Calcere di base alterate | 2000                    | 29-31                    | 20-30              |  |  |
|                  | 3           | 1300                       |              | Calcere di base          | 2050                    | 31-33                    | 30-50              |  |  |
| <b>Ts2</b>       | 1           | 480                        | 1,50 - 2,50  | Limi argillosi           | 1900                    | 21-23                    | 10-12              |  |  |
|                  | 2           | 950                        | 1,00 - 1,50  | Marne calcaree alterate  | 2000                    | 29-31                    | 20-30              |  |  |
|                  | 3           | 1600                       |              | Marne calcaree           | 2100                    | 30-32                    | 20-30              |  |  |
| <b>Ts3</b>       | 1           | 470                        | 1,50 - 2,50  | Limi argillosi           | 1900                    | 21-23                    | 10-12              |  |  |
|                  | 2           | 750                        | 2,00 - 3,50  | Marne calcaree alterate  | 2000                    | 29-31                    | 20-30              |  |  |
|                  | 3           | 1350                       |              | Marne calcaree           | 2100                    | 30-32                    | 20-30              |  |  |

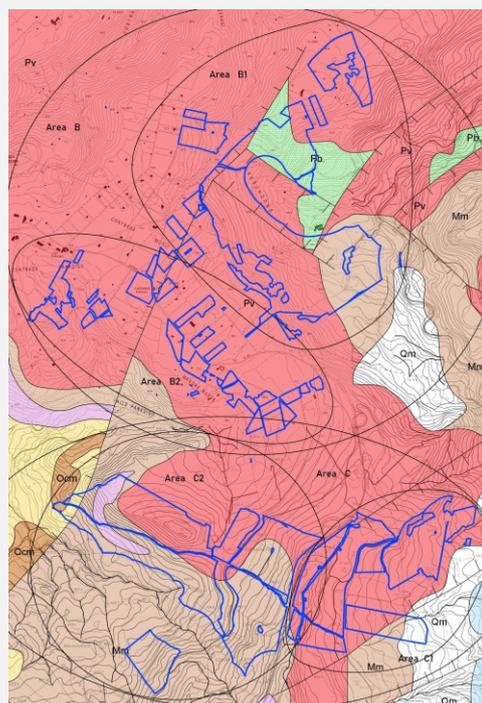
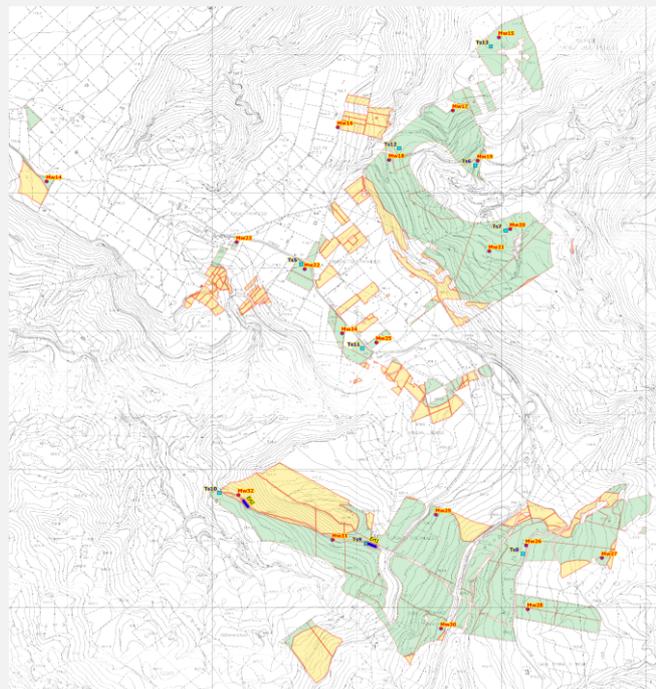
**AREA "D2 Torretta - Lenze"**



ubicazione tomografia sismica ■

| AREE<br>TOMOGRAFICA | Sismostrato | Velocità<br>Vp media (m/s) | Spessore (m) | Litologia presunta             | Peso in Volume $\gamma$<br>Kg/mc | Angolo di attrito<br>$\phi$ | Coesione<br>Cu kPa |  |  |
|---------------------|-------------|----------------------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|--|
|                     |             |                            |              |                                |                                  |                             |                    |  |  |
| <b>Ts4</b>          | 1           | 650                        | 0,50– 1,00   | <i>Argille limose</i>          | 1900                             | 21-23                       | 10-12              |  |  |
|                     | 2           | 900                        | 1,00 – 2,50  | <i>Marne calcaree alterate</i> | 2000                             | 29-31                       | 20-30              |  |  |
|                     | 3           | 1250                       |              | <i>Marne calcaree</i>          | 2100                             | 30-32                       | 20-30              |  |  |

AREA "B e C"



ubicazione tomografia sismica ■

| AREE<br>TOMOGRAFICA | Sismostrato | Velocità<br>Vp media (m/s) | Spessore (m) | Litologia presunta                              | Peso in Volume<br>$\gamma$ Kg/mc | Angolo di<br>attrito $\phi$ | Coesione<br>Cu kPa |  |  |
|---------------------|-------------|----------------------------|--------------|---|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|--|
|                     |             |                            |              |   |                                  |                             |                    |  |  |
| Ts5                 | 1           | 550                        | 0,30 – 1,50  | Sabbie limose                                   | 1800                             | 21-23                       | 10-12              |  |  |
|                     | 2           | 780                        | 2,50 – 3,50  | Vulcaniti subaeree alterate                     | 2100                             | 30-32                       | 25-40              |  |  |
|                     | 3           | 1200                       |              | Vulcaniti subaeree                              | 2200                             | 32-35                       | 30-50              |  |  |
| Ts6                 | 1           | 560                        | 0,00 – 3,50  | Marne calcaree (Trubi) alterate e pedogenizzate | 2000                             | 29-31                       | 20-30              |  |  |
|                     | 2           | 1000                       | 0,50 – 3,00  | Marne calcaree (Trubi) compatte                 | 2100                             | 30-32                       | 20-30              |  |  |
|                     | 3           | 1750                       |              | Marne calcaree / vulcaniti                      | 2200                             | 32-35                       | 30-50              |  |  |
| Ts7                 | 1           | 550                        | 1,00 – 2,00  | Limi argillosi                                  | 1900                             | 21-23                       | 10-12              |  |  |
|                     | 2           | 780                        | 2,00 – 5,00  | Marne calcaree alterate                         | 2000                             | 29-31                       | 20-30              |  |  |
|                     | 3           | 1200                       |              | Marne calcaree                                  | 2100                             | 30-32                       | 20-30              |  |  |
| Ts8                 | 1           | 730                        | 0,30 – 1,00  | Sabbie limose, blocchi basaltici                | 1950                             | 27-29                       | 10-12              |  |  |
|                     | 2           | 1000                       | 1,00 – 2,50  | Vulcaniti subaeree alterate                     | 2100                             | 30-32                       | 25-40              |  |  |
|                     | 3           | 1500                       |              | Vulcaniti subaeree                              | 2200                             | 32-35                       | 30-50              |  |  |

|             |   |      |              |   |      |       |       |  |  |
|-------------|---|------|--------------|---|------|-------|-------|--|--|
| <b>Ts9</b>  | 1 | 500  | 1,00 – 2,00  | <i>Terreno superficiale detritico</i>     | 1800 | 20-21 | 0     |  |  |
|             | 2 | 1200 | 6,00 – 10,00 | <i>Vulcaniti/marne calcaree alterate</i>  | 2100 | 30-32 | 20-30 |  |  |
|             | 3 | 1800 |              | <i>Vulcaniti/Calcari marnosi compatti</i> | 2200 | 32-35 | 30-50 |  |  |
| <b>Ts10</b> | 1 | 540  | 2,00 – 2,50  | <i>Terreno superficiale detritico</i>     | 1800 | 20-21 | 0     |  |  |
|             | 2 | 1000 | 2,50 – 3,50  | <i>Marne calcaree</i>                     | 2000 | 30-32 | 20-30 |  |  |
|             | 3 | 1760 |              | <i>Calcari marnosi</i>                    | 2050 | 31-33 | 30-50 |  |  |
| <b>Ts11</b> | 1 | 600  | 0,00 – 1,50  | <i>Sabbie limose e blocchi basaltici</i>  | 1950 | 27-29 | 10-12 |  |  |
|             | 2 | 940  | 2,50 – 3,50  | <i>Vulcaniti subaeree alterate</i>        | 2100 | 30-32 | 20-30 |  |  |
|             | 3 | 1600 |              | <i>Vulcaniti subaeree compatte</i>        | 2200 | 32-35 | 30-50 |  |  |
| <b>Ts12</b> | 1 | 540  | 0,30 – 2,00  | <i>Limi argillosi</i>                     | 1900 | 21-23 | 10-12 |  |  |
|             | 2 | 780  | 2,50 – 4,00  | <i>Calcari marnosi (Trubi) alterati</i>   | 2000 | 30-32 | 20-30 |  |  |
|             | 3 | 1450 |              | <i>Calcari marnosi (Trubi) compatti</i>   | 2050 | 31-33 | 30-50 |  |  |
| <b>Ts13</b> | 1 | 520  | 0,30 – 2,00  | <i>Sabbie limose e blocchi basaltici</i>  | 1950 | 27-29 | 10-12 |  |  |
|             | 2 | 850  | 2,50 – 4,00  | <i>Vulcaniti subaeree alterate</i>        | 2100 | 30-32 | 25-40 |  |  |
|             | 3 | 1350 |              | <i>Vulcaniti compatte</i>                 | 2200 | 32-35 | 30-50 |  |  |

Le prospezioni sismiche a rifrazione attraverso l'elaborazione tomografica hanno fornito una sezione bidimensionale del sottosuolo maggiormente dettagliata rispetto alle tradizionali traverse sismiche.

Le sezioni tomografiche sono state sempre localizzate in corrispondenza di estese aree morfologicamente uniformi, a morfologia subpianeggiante o comunque a modesta acclività, allo scopo di caratterizzare le differenti condizioni litostratigrafiche in relazione alle finalità del progetto.

Le aree indagate evidenziano generalmente terreni con consistenza medio-elevata, talora litoide, con una fascia di copertura di spessore variabile da 0 a qualche metro di terreno eluvio-colluviale a bassa consistenza, generalmente rimaneggiate in seguito alle arature stagionali e piuttosto alterate in seguito ai fenomeni di imbibizione/essiccamento nel corso dell'anno.

La correlazione fra velocità sismiche e litologia del sismostrato è solo presuntiva, effettuata sulla base dei terreni affioranti e delle caratteristiche geologiche desunte dalla cartografia specializzata.

## **9 CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI**

Nel corso dello studio sono state consultate ed analizzate tutte le indagini geognostiche appositamente realizzate nei settori di territorio interessati dagli interventi in progetto. L'analisi critica, ha permesso di configurare un quadro di conoscenze geologico-tecniche adeguato alla presente fase progettuale.

In relazione a quanto emerso dagli approfondimenti condotti, è stato possibile definire le principali caratteristiche fisico-meccaniche delle differenti unità geologiche intercettate dalle aree di progetto. Nel seguito si riporta quindi una sintesi delle metodologie di analisi impiegate e, ovviamente, delle principali caratteristiche litotecniche delle unità geologiche di interesse.

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in esame sono state determinate, in particolare, mediante analisi statistica dei dati geotecnici a disposizione. Esso deriva ovviamente sia dalle numerose indagini in sito che dalle informazioni bibliografiche reperite per i termini litologici in questione, oltre che dalla correlazione con dati geognostici di prove in situ su terreni analoghi in aree limitrofe.

I valori, dunque, risultano rappresentativi del comportamento medio dei terreni presenti nei diversi settori di intervento, limitatamente alle profondità investigate.

La variazione dei valori proposti è riconducibile, ovviamente, sia all'eterogeneità di comportamento delle singole unità litotecniche che alla variazione di tali caratteristiche in relazione allo stato di alterazione/fessurazione dei materiali e alla profondità dal piano campagna dello specifico orizzonte litologico considerato.

Per la definizione delle caratteristiche litotecniche non direttamente deducibili dai risultati delle indagini, le parametrizzazioni sono state estrapolate dagli studi bibliografici disponibili e da pregresse esperienze su unità geologiche affini a quelle di interesse.

Nelle pagine che seguono vengono proposti i range di variazione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei termini litologici ascritti alle differenti unità individuate nell'area ed interessate dalle opere in progetto. Come detto, le caratterizzazioni proposte sono la sintesi dei dati geotecnici a disposizione e sono indicative del comportamento medio di ogni singola unità litotecnica, a meno di particolari anisotropie e disomogeneità di tipo sia litologico che meccanico.

## 9.1 Unità di substrato

Nel seguito, si riporta una dettagliata descrizione di tutte le unità litotecniche riferibili alle sequenze di substrato, compresi i parametri fisico-meccanici più rappresentativi dal punto di vista applicativo. Le parametrizzazioni fisico-meccaniche di seguito riportate sono state basate sui dati di laboratorio, nonché sulle informazioni bibliografiche riportate in letteratura.

### 9.1.1 Vulcaniti basiche submarine (Pv)

Potente successione di vulcaniti basiche prevalentemente submarine (Pv) in basso e subaeree verso l'alto. I prodotti sub marini sono dati da ialoclastiti, da breccie vulcano clastiche a grana minuta e da breccie a pillow immerse in una matrice vulcano clastica giallo-rossastra ampiamente diffusi, aumentando di spessore verso Nord da pochi metri a 700 metri. Quelli subaerei sono costituiti da prevalenti colate di lave bollose e scoriacee e da subordinati prodotti piroclastici, e affiorano estesamente tra Lentini e Augusta. Nel loro complesso costituiscono prodotti sia tholeitici che di serie basaltica alcalina, prevalentemente basalti olivinici fino a nefeliniti, con scarse manifestazioni a tendenza hawaiiitica. Intercalazioni di materiale sedimentario, generalmente sabbie e limi carbonatici, sono presenti un po' ovunque, e sono associabili con le marne grigio-azzurre della media valle del Fiume Dirillo e di Licodia Eubea (Pa e Ps). Sul margine settentrionale, le vulcaniti sono interdigitate con sedimenti a Hyaline baltica. L'unità in questione, è costituita da prodotti sia tholeitici che di serie basaltica alcalina, prevalentemente basalti olivinici fino a nefeliniti, a comportamento generalmente pseudo-lapideo

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume  $\gamma = 20,0 \div 21.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 100 \div 200 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace  $\phi = 33 \div 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-6} \div 10^{-4} \text{ m/s}$

### 9.1.2 Marne e calcari marnosi (Pm)

Marne e calcari marnosi a macroforaminiferi di colore crema e a frattura concoide (Trubi). Nell'area di Licodia Eubea, Mineo e Grammichele si intercalano nella parte alta livelli di vulcanoclasti e lave submarine. A volte sono presenti piccoli livelli di conglomerato poligenico (Mineo). Spessore circa 100 metri .

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume  $\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 20 \div 30 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace  $\phi = 29 \div 30 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

### 9.1.3 Calcare di Base (Mg)

Calcare di Base è costituito da calcari biancastri o grigiastri in strati e banchi massicci dello spessore da 1 a 15 m; la geometria degli strati è grossolanamente lenticolare, a base irregolare, localmente erosiva. I banchi principali sono alternati a livelli, spessi da 30 a 150 cm costituiti da marne calcaree, calcari laminati, o, più raramente, da gessi. Lo spessore formazionale è pari a circa 70-80 m.

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume  $\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 20 \div 30 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace  $\phi = 25 \div 27 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

#### 9.1.4 Marne grigio-azzurre (Mm)

Marne grigio-azzurre (**Mm**), costituiscono la parte basale della Formazione Tellaro, si tratta di marne grigio azzurre a frattura subconcoide, rappresentano un episodio di sedimentazione più detritica nell'ambito della sedimentazione prevalentemente carbonatica dell'altipiano Ibleo.

La presente unità, è formata da marne grigio azzurre, passanti verso l'alto ad argille marnose di colore grigio e grigioverdastro con frequenti livelli di sabbie limose grigie e locali intercalazioni di quarzareniti medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi.

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume  $\gamma = 19.0 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 20 \div 50 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace  $\phi = 30 \div 33 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

#### 9.1.5 Formazione Ragusa del membro Irminio (Mcm)

Litosoma inferiore del Membro Irminio della Formazione Ragusa, è costituita da banchi di calcareniti e calciruditi bianco-giallastre, di media durezza e spessi sull'ordine di uno-due metri, alternanti con livelli porosi friabili sui 15 cm in media, si ritrova diffusamente in tutta l'area in corrispondenza di incisioni vallive.

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere

- Peso per unità di volume  $\gamma = 20.0 \div 22.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c' = 100 \div 200 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace  $\phi = 35 \div 38 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-5} \div 10^{-4} \text{ m/s}$

## 10 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state descritte le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche dei terreni sede del progetto di un impianto fotovoltaico da 238,8 Mwp. Lo studio è stato elaborato in ottemperanza alle direttive sismiche più recenti, come premesso alle prime pagine, aggiornato alle nuove NTC 2018, ed è stato svolto sulla base di una campagna di indagini geofisiche supportata da dati geognostici diretti e informazioni derivanti da un'ampia documentazione bibliografica e di lavori svolte su terreni analoghi.

Le indagini hanno permesso di ricostruire la struttura del sottosuolo per valutare le problematiche a cui sono soggette le opere da realizzare.

- Sotto il profilo geomorfologico, l'area oggetto di studio ha quote altimetriche comprese tra 400 e 850 m. s.l.m., i settori ricadono nel territorio comunale di Vizzini, Mineo e Giarratana, geologicamente individuati nella porzione a Nord Ovest della carta geologica Sicilia Sud-Orientale. Le forme del paesaggio rispecchiano fedelmente quelle del Plateu Ibleo caratterizzato da una rigorosa disposizione dei rilievi e delle incisioni dipendenti dalle locali condizioni litostratigrafiche e giaciture nonch  dall'andamento delle principali direttrici tettoniche. Nell'area esaminata configura una successione di dorsali collinari disposte secondo una "gradinata" altimetricamente degradante da SW verso NE, separate ed interrotte da depressioni vallive ed incisioni strette dal tipico profilo a "V" con pareti subverticali e notevoli profondit . I rilievi caratterizzati dai termini sedimentari calcareo-marnosi e calcarenitici, e subordinatamente dai termini vulcanici, presentano una morfologia piuttosto accidentata ed irregolare. In molte zone presentano al tetto ampie superfici erosive planari che conferiscono ai rilievi un caratteristico aspetto tabulare. Trattandosi di spessori non troppo elevati, le scarpate che ne delimitano le zone pianeggianti, risultano poco elevate, con fenomeni gravitativi scarsi e di modesta entit . Le aree dove affiorano i termini basaltici   possibile notare come questi risultano fortemente alterati, essendo stati soggetti a lunghi periodi di esposizione nel corso della loro storia geologica, presentando quindi uno spesso strato con scarsa resistenza all'erosione.
- Dal punto di vista idrogeologico l'area dei Monti Iblei, per le caratteristiche geologico-strutturali, pu  essere suddivisa in due settori principali: un settore sud-occidentale,

costituito prevalentemente dal territorio della Provincia di Ragusa; ed un settore nord-orientale, in buona parte coincidente con la provincia di Siracusa.

- Dal punto di vista idrografico le acque di ruscellamento superficiale, altresì dette elementari, modellano continuamente la superficie, modificandone l'aspetto originario e provocando un'azione prevalente di erosione per dilavamento. La morfologia a tratti accidentata ed aspra è interrotta da piccoli e grandi incisioni torrentizie, questo tipo di paesaggio fluvio-carsico presenta particolari forme superficiali, visibili ove la formazione risulta scoperta, causate dal diverso grado di solubilità della stessa roccia calcarea. Trattasi di forme di erosione chimica provocate dalle acque acide che danno luogo a morfologie superficiali tipo karren sui versanti, solchi, condotti carsici a vari livelli. Nei fondovalle sono presenti inghiottitoi spesso sepolti da materiale alluvionale e grotte-sorgenti, che alimentano il flusso superficiale in corrispondenza dei locali punti di affioro della piezometrica, sono inoltre presenti numerose grotte di notevole importanza alcune anche visitabili.

Le caratteristiche idrografiche ed idrogeologiche sono strettamente dipendenti dalla litologia dei terreni in seguito al fatto che la circolazione idrica sotterranea è legata alla presenza di pori intercomunicanti tra loro e con l'esterno dove l'acqua gravifica può muoversi sotto l'effetto di un gradiente idraulico, in altri termini le caratteristiche dipendono dalla permeabilità dei terreni all'acqua.

- Dal punto di vista geologico-tecnico e dalle indagini eseguite i cui valori sono riportati in tabella, emerge che i terreni di fondazione delle aree da utilizzare per la collocazione degli impianti, ricadono per il 78% nella Categoria A e B e per il 22% nella categoria C di cui alle N.T.C. 2018.

*Dai risultati delle indagini eseguite è emerso che la porzione superficiale del terreno individuate nelle categorie A e B, per uno spessore pressochè variabile, è caratterizzata da una consistenza e da caratteristiche meccaniche buone, i terreni inseriti nella categoria C mostrano consistenza e caratteristiche meccaniche mediocri.*

*Pertanto, per quanto su esposto le opere in oggetto possono essere pienamente realizzate nelle aree in studio.*

*Il Geologo*

*Iscritto ordine dei Geologi di Sicilia al n 1644  
Dott.ssa Anna Rosaria Marletta*

## **Riferimenti Bibliografici**

Barreca, G. et al. (2013) – Geodetic, geological and geophysical evidence of active tectonics in south western Sicily and off-shore. In: Rend. Online Soc. Geol. It., vol.29, pp. 5- 8.

Bello M. et al. (2000) – Structural model of Eastern Sicily. - in Mem. Soc.Geol.It., 55, pp 61- 70.

Bianca, M. et al. (1999) – Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. in: Geophys. J. Int. , n. 139, pp 370-394.

Bonforte et al (2015) – Geological and geodetic constrains on the active deformation along the northern margin of the Hyblean Plateau (SE Sicily). in: Tectonophysics n. 640-641, pp 80-89.

Carbone, S. et al. (1982) – Elementi per una prima valutazione dei caratteri sismotettonici dell'avampata ibleo (Sicilia sud orientale). in: Mem. Soc. geol. It. n. 24, pp 507-520.

Carta Geologica d'Italia, Scala 1:100.000 – F° 272 e relative Note Illustrative Catalano, R., Franchino, A., Merlini, S., Sulli, A. (2000) – A crustal section from the Eastern Algerian basin to the Ionian Ocean (Central Mediterranean). In: Mem. Soc. Geol. It., 55, 71- 85.

Catalano et al. (2008) – Active faultings and seismicity along the Siculo-Calabrian Rift Zone (Southern Italy). in: Tectonophysics n. 453, pp177-192.

Catalano, R. et al. (2011) – Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt. (AAPG International Conference & Exhibition – Milan 2011). in: ISPRA –Periodici Tecnici – Geological Field Trips 5(2.3)2013.

Catalano et al. (2012) – Geological and geodetic deformations rates along the active northern margin of the Hyblean Plateau (SE Sicily): new constrains for assessing the seismogenic potential of the region. In: GNGTS Abstracts 2012.

Cristofolini, R., et al. (1982) – Processi dinamici profondi e superficiali nell'Arco Calabro e nell'Appennino meridionale sulla base di dati geologici, sismologici e vulcanologici. in: Mem. Soc. Geol. It. n. 24, pp 497-505.

Finetti I. Ed (2005) - CROP PROJECT – Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy. in Atlases in Geoscience, 1, Elsevier.

Finetti I. et alii 1996 - Il sistema Appennino Meridionale - Arco Calabro - Sicilia nel Mediterraneo - Centrale: Studio Geologico e Geofisico. In: Boll. SGI 115 (1996) fasc. 3, 529-559, 12 ff.

Ghisetti, F., Vezzani, L. (1980) – The structural features of the Iblean Plateau and the Mount Judica area (Southeastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc. in: Boll. Soc. Geol. It., n. 99, pp 57-102.

Giorgianni, A., (2011) – Evoluzione tettonica Plio-Quaternaria della Sicilia Nord occidentale: implicazioni sismo tettoniche nel margine tirrenico meridionale. Tesi di Dottorato di Ricerca. Università degli Studi di Camerino.

Ghielmi, M., Gatti, V., Storer, P., Carubelli, P. (2009) – Sicilia. Evoluzione geologica dell'offshore del Bacino di Gela (Avanfossa Iblea) tra il Messiniano superiore ed il Pleistocene. Eni Div E&P, rapporto interno.

Grasso, M., La Manna, F. (1993) – Lineamenti stratigrafici e strutturali del fronte della Falda di Gela affiorante a NW del Plateau Ibleo (Sicilia Sud-orientale). in: Geologica Romana, 29, 55-72.

Grasso, M. et al. (2000) – Pliocene-Pleistocene tectonics on the western margin of the Hyblean Plateau and the Vittoria Plain (SE Sicily). In: Mem. Soc.Geol.It. n. 55, pp 35-44.

Ingemi, D. (2011) – La faglia Ibleo-Maltese e il grande potenziale sismico della Sicilia sudorientale. in: [www.meteoweb.eu/2011](http://www.meteoweb.eu/2011)

- ISPRA – Università degli Studi di Catania – INGV (2014) – Carta Geologica della Sicilia. Ed. Selca
- Lentini, F., Carbone, S., (2014) – Geologia della Sicilia. II-II dominio d'avampaese. in: Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. XCV, Ed. Servizio Geologico d'Italia – ISPRA
- Macchiavelli, C. et al. (2013) – Oligo Quaternary kinematic evolution of the SicilianMaghrebian Chain. In: Rend. SGI, vol.29.
- Meletti, C., Valensise, G. Ed. (2004) INGV. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica – Zonazione sismo genetica ZS9. App. 2 al Rapporto conclusivo. –
- Monaco, C., Tortorici, L., 2000. Active faulting in the Calabrian Arc and Eastern Sicily. In: J. Geodyn., 29, 407-424 Morelli, C., (2000) – The themes of crustal research in Italy and the role of DSS-WA seismic. In: Boll. Soc. Geol. It. 119, 141-148.
- Romagnoli, G. et al. (2008) – Tettonica estensionale quaternaria del Plateau Ibleo. in: Rend. Online SGI, Note Brevi, www.socgeol.it, pp.148-152.
- Tassi, F. et al. (2012) Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH<sub>4</sub>- rich emissions. in: Chemical Geology, 294-295, 113-126
- Arcidiacono S. (1904). Il terremoto di Niscemi del 13 Luglio 1903 – Boll. Soc. Sism. Ital., 10, 159-167
- Azzaro R. Barbano M.S. (2000). Analysis of seismicity of Southeastern Sicily: proposal of a tectonic interpretation. in: Ann. Geofis., 43 (1). 171-188
- Azzaro, R., M.S. Barbano, R. Rigano e B. Antichi., 2000. Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia, in: F. Galadini, C. Meletti & A. Rebez (Ed.), Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica, CNR- GNDT, Roma, 397 pp., 31-38.
- Barbano M.S., Azzaro R., Birritta P., Castelli V., Lo Giudice E. and Moroni A., 1996. Stato delle conoscenze sui terremoti siciliani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche. GNDT, Rapporto interno, Catania, 287 pp.
- Barbano M.S. , Cosentino M., Lombardo G., Patanè G. (1980). Isoleismal maps of Calabria and Sicily earthquakes (Southern Italy). In : CNR, Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 341, Catania
- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise and P. Gasperini (2000). Catalogue of Strong Italian Earthquakes, 461 b.C to 1997. In: Ann. Geofis., 43, 609-868, with database on CD-ROM.
- Bousquet, J. C., G. Lanzafame, and C. Paquin,(1988). Tectonic stresses and volcanism: insitu stress measurements and neotectonic investigations in the Etna area (Italy), in:Tectonophysics, 149, 219-231.
- Catalano, S., S. Torrisi and C. Ferlito (2004) The relationship between Late Quaternary deformation and volcanism of Mt. Etna (eastern Sicily): new evidence from the sedimentary substratum in the Catania region. In: J. Volcanol. Geoth. Res., 132, 311-334
- DISS Working Group, 2010. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.