

**CITTA' METROPOLITANA DI CATANIA**

**Comune di Raddusa**

**PROVINCIA DI ENNA**

**Comune di Enna, Assoro e Aidone**

**IBVI 24 S.R.L.**

**PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 180 MWP**

**RELAZIONE GEOLOGICA - TECNICA**



*Committente: Geoexpert di Maria Rita Arcidiacono*

*Il Geologo*

*Dott.ssa Anna Rosaria Marletta*

*Iscritta ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n 1644*

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</b> .....	<b>7</b>
4.1	<i>Avampaese</i> .....	8
4.2	<i>Catena</i> .....	11
4.3	<i>Catena appennino-magrebide</i> .....	11
4.4	<i>Arco calabro</i> .....	14
4.5	<i>Dominio Tirrenico</i> .....	15
<b>5</b>	<b>STRATIGRAFIA</b> .....	<b>16</b>
5.1	<i>Litostratigrafia dell'area</i> .....	16
5.1.1	<i>Flyschs numidico (FYN<sub>3</sub>)</i> .....	17
5.1.2	<i>Argille scagliose (AS)</i> .....	17
5.1.3	<i>Formazione Terravecchia (TRV)</i> .....	18
5.1.4	<i>Tripoli (TPL)</i> .....	19
5.1.5	<i>Calccare di base (GTL1)</i> .....	19
5.1.6	<i>Trubi (TRB)</i> .....	20
5.1.7	<i>Sabbie di Lannari (NNL)</i> .....	20
<b>6</b>	<b>Depositi alluvionali</b> .....	<b>21</b>
6.1	<i>Terrazzi (t)</i> .....	21
6.1	<i>Depositi alluvionali recenti (b<sub>b</sub>)</i> .....	22
6.1.1	<i>Depositi alluvionali attuali (b<sub>a</sub>)</i> .....	23
6.1.2	<i>Deposito di frana (a1)</i> .....	23
<b>7</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE</b> .....	<b>24</b>
7.1	<i>Morfologia dei principali sistemi fluviali</i> .....	24
<b>8</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
8.1	<i>Elementi idrografici</i> .....	26
8.2	<i>Elementi strutturali e tettonici</i> .....	27
8.3	<i>Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali</i> .....	27
<b>9</b>	<b>TETTONICA</b> .....	<b>29</b>

<b>9.1</b>	<b>Strutture principali</b> .....	29
<b>9.2</b>	<b>Evoluzione tettonica</b> .....	30
<b>10</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE</b> .....	32
<b>10.1</b>	<b>Complessi idrogeologici</b> .....	32
<b>10.2</b>	<b>Strutture e idrodinamica degli acquiferi.</b> .....	33
<b>10.3</b>	<b>Deflusso idrico sotterraneo.</b> .....	34
<b>11</b>	<b>STUDIO DELLA SISMICITA'</b> .....	36
<b>11.1</b>	<b>Cenni di sismicità e zone sismogenetiche</b> .....	36
<b>12</b>	<b>AZIONE SISMICA - STATI LIMITE (D.M. 17/01/2018)</b> .....	37
<b>13</b>	<b>COMPORAMENTO MECCANICO DEI TERRENI</b> .....	45
<b>13.1</b>	<b>Caratterizzazione sismica del sottosuolo prospezione MASW</b> .....	45
<b>13.2</b>	<b>Descrizione dei risultati</b> .....	46
<b>13.3</b>	<b>Prospezione sismica tomografica</b> .....	50
<b>14</b>	<b>CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI</b> .....	59
<b>14.1</b>	<b>Unità di substrato</b> .....	59
<b>14.1.1</b>	<b>Flysch Numidico (FYN)</b> .....	60
<b>14.1.2</b>	<b>Argille scagliose (AS)</b> .....	60
<b>14.1.3</b>	<b>Formazione Terravecchia (TRV)</b> .....	60
<b>14.2</b>	<b>Unità di copertura</b> .....	61
<b>14.2.1</b>	<b>Depositi alluvionali attuali (ba)</b> .....	61
<b>15</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	63

## **1      PREMESSE**

Su incarico conferitomi dalla Geoexpert si è eseguito uno studio finalizzato all'approfondimento delle conoscenze stratigrafiche e tettonica dell'area interessata alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico da 180 MWp e delle area a servizio, i cui terreni ricadono nei comuni di Assoro, Aidone, Enna (provincia di Enna) e Raddusa (provincia di Catania). 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, allo scopo di fornire le informazioni necessarie per la progettazione e posa in opera degli impianti.

Il presente quadro geologico deriva dall'interazione dei dati di superficie ottenuti tramite rilevamento geologico attraverso l'esame diretto dei terreni affioranti con l'interazione di lavori precedenti e studi bibliografici disponibili relativi all'area in oggetto, definendo in tal modo la situazione geologica e strutturale e le geometrie delle formazioni presenti.

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;
- 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 ad illustrare la localizzazione e identificazione geologica dell'area interessata consente la caratterizzazione geotecnica per la determinazione dei parametri di progetto, utili al progettista strutturale per il calcolo della capacità portante dei terreni direttamente interessati allo studio in esame ed inoltre suggerisce modelli di risanamento geologico per tutte quelle aree che necessitano di opere di bonifica. La normativa tecnica classifica i suoli in più categorie sulla base del valore del  $V_s$  che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S in profondità al di sotto il piano delle 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 fondamentali 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.

Per la datazione delle formazioni sedimentarie affioranti si è fatto riferimento alla bibliografia disponibile.

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**

L'area oggetto di studio ricade nella porzione centro-orientale della Sicilia, precisamente si estende, tra il Fiume Dittaino a NORD e il fiume Gornalunga a SUD, tra Valguarnera Caropepe ad OVEST e Libertinia ad EST, ha quote altimetriche comprese tra 300 e 600 m. slm, e ricade all'interno del bacino idrografico del Fiume Simeto, il progetto interessa terreni situati nei comuni di di Assoro, Aidone e Enna (provincia di Enna) e Raddusa (provincia di Catania).

Morfologicamente l'area è caratterizzata da un paesaggio collinare interrotto da dorsali montagnose e definito da una notevole varietà di forme fondamentalmente legate alle differenti litologie affioranti.

Le porzioni collinari che si sviluppano per la maggior parte nelle successioni argillose sono caratterizzate da modesti rilievi spesso interessati da erosione calanchiva interrotti da modeste dorsali impostate sui litotipi che caratterizzano le singole successioni. Le porzioni pianeggianti sono molto limitate e sono circoscritte alle fasce alluvionali della valle del Fiume Dittaino, affluente in destra idrografica del Fiume Simeto, due corsi d'acqua a regime perenne caratterizzati da un andamento tipicamente meandriforme, con anse generalmente molto ravvicinate e a stretto raggio di curvatura, con elevato potere erosionale e di trasporto nei periodi di piena e in conseguenza di precipitazioni eccezionali.

Le suddette valli degradano blandamente verso i settori più orientali della regione siciliana fino a confluire, a sud di Catania, nel Mar Ionio bordati da blandi rilievi collinari, con versanti poco acclivi ed estesi generalmente corrispondenti ai settori di affioramento di terreni a dominante pelitica o psammitica. 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. Le formazioni sono state suddivise in litofacies e membri, e raggruppate in unità tettoniche come è in uso nella cartografia geologica delle catene a falde e descritte nell'ordine dettato dalla posizione strutturale, dal basso verso l'alto.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali si è fatto ricorso alle categorie senza formali connotazioni stratigrafiche che fanno essenzialmente riferimento alla genesi dei depositi e ai dati della letteratura. In fase di rilevamento geologico e rielaborazione dei dati su carta sono

stati distinti i contatti primari di carattere stratigrafico dai contatti di natura tettoniche, all'interno di questi le diverse generazioni di strutture che interessato l'area. L'area in studio è stata attenzionata anche sotto l'aspetto tettonico-strutturale, consultando le carte geologiche e la letteratura geologica specifica; pertanto dagli studi precedenti analizzati, l'area in oggetto risulta non interessata da dislocazioni tettoniche penalizzanti.

#### **4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE**

L'odierna configurazione geologica del Mediterraneo centrale è dominata dall'orogene Appennino-Maghrebide il quale costituisce la dorsale montuosa dell'Appennino meridionale, attraverso l'arco calabro-peloritano e la Sicilia, prosegue oltre il canale di Sicilia verso le coste del Magheb in Africa settentrionale. Questa struttura fortemente arcuata è legata ai processi d'indentazione del blocco pelagiano (Tapponieri, 1977; Ben-Avraham et al.1990) che hanno causato i processi di *rifting* nel bacino tirrenico lungo la sutura tra il blocco sardo-corso e quello apuo. La conseguente estrusione laterale dell'Arco Calabro verso il dominio ionico è stata favorita dalla rotazione antioraria del settore appenninico e oraria di quello siciliano (Oldow et al. 1990; Channel et al. 1990; Channel 1992; Scheepers et al. 1993).L'evoluzione della catena e la migrazione dei thrust lungo il settore di catena siciliano sono stati spesso correlati a rotazioni orarie determinate con metodi paleomagnetici (Channel et al. 1990; Grasso et al 1987; Oldow et al. 1990; Speranza et al 1999; 2003). In Sicilia centro-orientale affiora una parte dell'Orogeno Appennino-Maghrebide. Questo costituisce un segmento delle catene perimediterranee la cui evoluzione è il risultato di una serie di processi legati alla convergenza tra Africa ed Europa nell'intervallo Cretacico superiore-Quaternario.

I processi di convergenza tra i due blocchi principali, complicati dall'interposizione di microplacche continentali (Alvarez, 1976; Ogniben et al 1993), sarebbero stati marcati da una prima subduzione, nel Cretaceo superiore-Eocene, di litosfera oceanica tedeica al di sotto della placca africana (dominio austroalpino) o di una placca mesomediterranea (calabride), con conseguente collisione continentale nell'Eocene-Oligocene e formazione di una catena eoalpina Europa vergente ( Haccard et al. 1972; Amodio-Morelli et al. 1976; Boccaletti et al. 1977; Tortorici, 1983). Successivamente, nel Paleogene-Miocene inferiore, si sarebbe verificata una seconda subduzione di litosfera assottigliata di pertinenza africana al di sotto del margine europeo e/o calabride, seguita da processi collisionali con conseguente formazione della catena appenninico-maghrebide Africa-vergente e, nel Neogene-Quaternario, dall'apertura del bacino tirrenico al retro (Mostardini & Merlini, 1986; Cello et al. 1989; Roure et al. 1990; Monaco et al. 1998; Catalano et al. 2004a). In questo contesto i principali contesti strutturali che caratterizzano il sistema orogenico della catena appenninico-maghrebide sono costituiti da un dominio di avampaese, un dominio di catena ed infine dal dominio tirrenico.

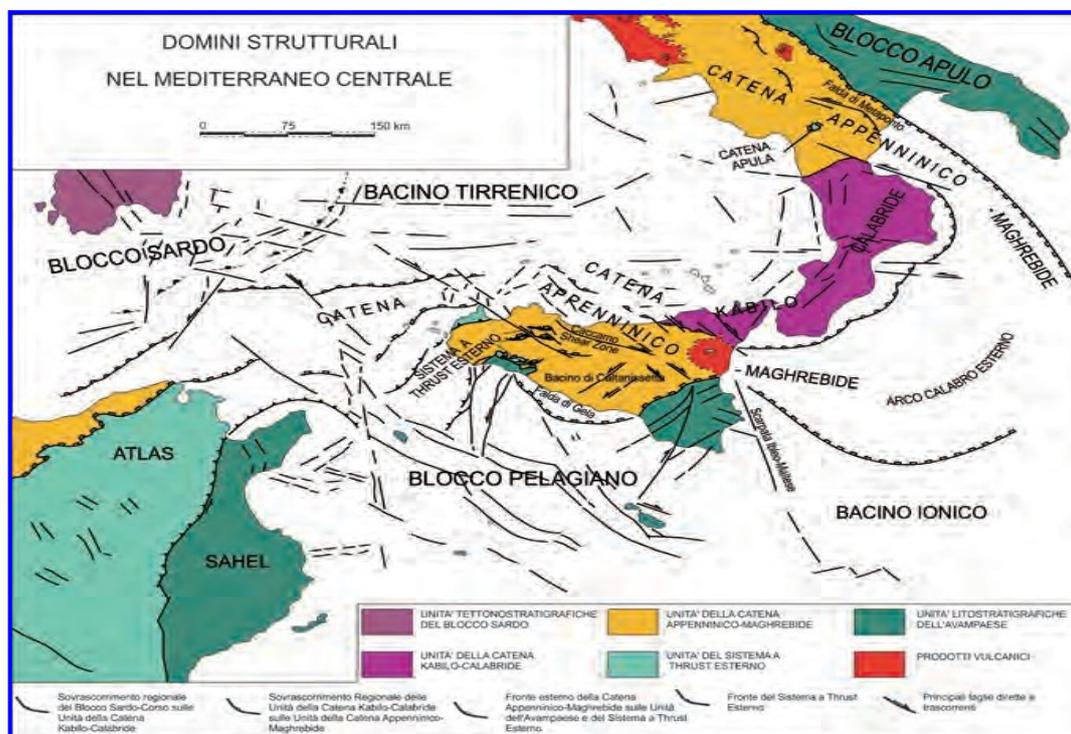
#### **4.1 Avampaese**

Il dominio d'avampaese è rappresentato da diversi settori che differiscono tra loro sia per le caratteristiche crostali che per le coperture sedimentarie. Questi, separati da importanti discontinuità crostali, si identificano nel Blocco Pelagiano e nel Blocco Apulo, separati dal Bacino Ionico. I blocchi apulo e pelagiano sono costituiti da crosta continentale, con spessori dell'ordine dei 25-30 km (Finetti & Morelli, 1972; Colombi et al. 1973), su cui poggiano potenti successioni carbonatiche mesozoico-terziarie di piattaforma (Channel et al., 1979; Patacca et al. 1979; Ricchetti, 1980; Boccaletti et al. 1984; Ricchetti et al. 1988). Il Bacino Ionico è costituito invece da un'area a crosta da assottigliata e/o oceanica (Makris et al. 1986), caratterizzata da spessori dell'ordine dei 10-15 km (Finetti, 1982; Boccaletti et al. 1984; Lentini et al. 1996a, 1996b; Finetti et al. 1996, 2005), nei quali sono comprese potenti successioni sedimentarie rappresentate da circa 2000-4000 m di sedimenti carbonatici mesozoico-paleogenici e da circa 2000-4000 m di sedimenti terrigeni di età del Miocene superiore-Quaternario. Verso NO queste successioni sono interessate da una serie di thrust, che permettono di definire la fascia deformata dell'Arco Calabro Esterno, interpretabile nel suo insieme come un cuneo di accrezione neogenico-quaternario (Kastens, 1981; Rossi & Sartori, 1981; Ben avraham et al. 1990; Finetti et al. 1996, 2005). In Sicilia orientale il dominio di avampaese è rappresentato dal Plateau Ibleo, caratterizzato da una potente successione mesozoico-terziaria prevalentemente carbonatica, con ripetute intercalazioni di vulcaniti basiche (Patacca et al. 1979 Lentini, 1984). Questo costituisce una porzione emersa del Blocco Pelagiano come definito da Burollet et al (1978), il promontorio più settentrionale della crosta continentale africana, cui esso è fisicamente collegato attraverso il Canale di Sicilia (Boccaletti et al. 1987), dove emerge in corrispondenza delle isole maltesi e pelagie.

Verso est la continuità fisica del Blocco Pelagiano, è interrotta dalla Scarpata di Malta, generata da un sistema di faglie normali di età mesozoica che delimita il Bacino Ionico. Verso nord e nord-ovest l'avampaese ibleo si flette al di sotto della catena a formare una depressione strutturale denominata "Avanfossa Gela-Catania" (Di Geronimo et al. 1978; Lentini, 1982; Cogan et al. 1989; Torelli et al. 1998). Nel settore settentrionale, verso la Piana di Catania, il plateau carbonatico è delimitato dal sistema di faglie normali neogenico-quaternarie Pedagaggi-Lentini-Agnone, che ne ha accomodato la fessurazione e attraverso il quale passa ad una zona di transizione all'avanfossa vera e propria, comprendente il graben di Scordia-Lentini (Carbone et al. 1982) e l'alto strutturale di San Demetrio (Torelli et al. 1998). L'Avanfossa

Gela-Catania fortemente subsidente durante la migrazione plio-pleistocenica della catena, è stata sede della deposizione di sedimenti clastici di provenienza sia dalle aree esterne di avampaese che dal fronte avanzante della catena stessa. Parte della successione plio-pleistocenica dell'avanfossa siciliana è dunque sepolta sotto le coltri alloctone del sistema frontale della catena, denominato "Falda di Gela" (Beneo, 1958; Ogniben, 1969; Di Geronimo et al. 1978; Lickorish et al. 1999), mentre parte si è depositata al tetto dell'alloctono durante le fasi finali della migrazione verso sud, suturandone la porzione più avanzata.

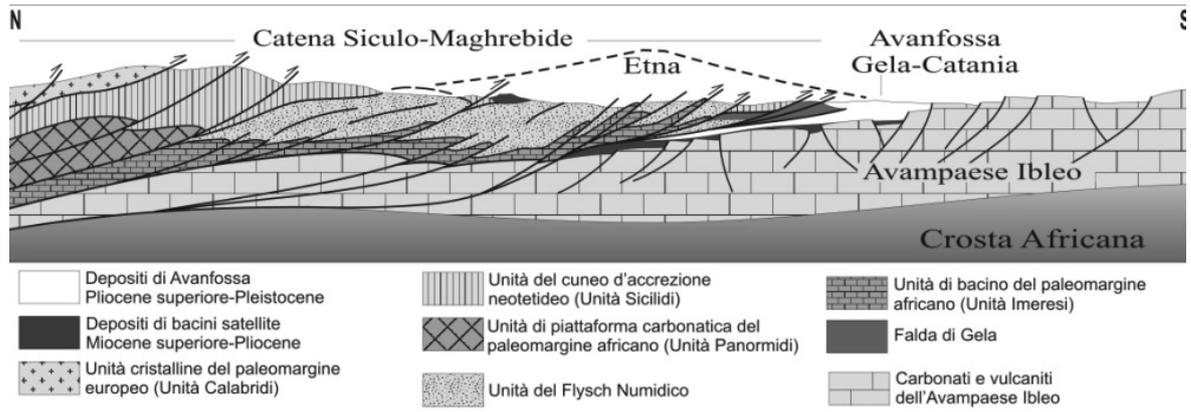
Al di sotto della catena il tetto dei carbonati neogenici iblei è stato raggiunto dai pozzi fino a profondità di oltre 3000 metri (Bianchi et al. 1987; Lickorish et al. 1999; Bello et al. 2000),



mentre attraverso dati geofisici si suppone che sotto l'edificio vulcanico etneo esso raggiunga una profondità di circa 5 km (Cristofolini et al. 1979).

Nell'area di Catania i sedimenti d'avanfossa sono rappresentati da una successione infra-mediopleistocenica (Wezel 1967; Di Stefano & Branca, 2002) costituita da una spessa sequenza di argille marnose passanti a loro volta ad alcune decine di metri di sabbie costiere e conglomerati fluvio-deltaici.

Questa successione è ricoperta in discordanza da una serie di depositi terrazzati costituiti da sabbie e conglomerati fluvio-costieri (Kieffer, 1971; Chester & Duncan, 1982; Monaco, 1997; Monaco et al. 2002). Sondaggi petroliferi mostrano che nel depocentro del bacino questa successione raggiunge spessori di circa 1000 m (Torelli et al. 1998), assottigliandosi verso nord, dove essa è coinvolta nei thrust frontali della catena, e verso sud, dove poggia in on lap progressivo sui blocchi del Plateau Ibleo ribassati per faglia normale (Torelli et al. 1998).



Sezione geologica schematica (da Catalano et alii, 2004b, modificato) attraverso la Sicilia orientale

## **4.2 Catena**

Il dominio di catena comprende l'Appennino Meridionale, che presenta un andamento generale NO-SE, e la Catena Maghrebide che invece mostra un andamento circa E-O. Questi segmenti di orogene costituiti da falde cdi copertura, sono collegati dalla struttura fortemente arcuata dall'Arco Calabro nel quale sono rappresentate le unità del basamento cristallino delle porzioni più interne dell'intero istema orogenico. Per quanto riguarda la struttura crostale, l'area di catena è caratterizzata dalla sovrapposizione di due discontinuità, interpretate come superfici Moho. Di questa una, che trova continuità nel dominio tirrenico, è ubicata a circa 25km, di profondità (Cello et al. 1981; Nicolich, 1989; Boccaletti et al. 1984;1990).

## **4.3 Catena appennino-magrebide**

La Catena Appenninico-Maghrebide è formata da un sistema a thrust pellicolare con vergenza verso SE nel tratto siculo-maghrebide e verso ENE in quello appenninico. Questo sistema comprende sequenze mesozoico-terziarie sia di piattaforma che di bacino, con le relative coperture flyschoidi mioceniche, ritenute da diversi autori appartenenti ad un paleomargine afro-adriatico (Ogniben, 1960,1969,1973; Scandone, 1972; D'Argenio et al. 1973; Amodio-Morelli et al. 1976; Scandone et al. 1977; Lentini & Vezzani, 1978; Catalano & D'Argenio, 1982; Mostardini & Merlini, 1986; Bianchi et al. 1987; Cello et al. 1989; Roure et al. 1990, 1991; Catalano et al. 1996; Monaco et al. 1998) .

Recentemente i dati di superficie, integrati da quelli di sottosuolo, indicano con notevole attendibilità che la Catena Appenninico-Maghrebide è costituita da una serie di falde di ricoprimento derivanti dalla deformazione di sequenze depositatesi, non in uno, ma in diversi domini paleogeografici ubicati tra il paleomargine africano e quello europeo. Questo sistema a thrust è compreso tra la Catena Kabilo-Calabride a tetto e il Sistema a Thrust Esterno a letto. La prima è costituita da falde di basamento con resti dell'originaria copertura meso-cenozoica e rappresenta il risultato della delaminazione eo-oligocenica del margine europeo. Il secondo è un sistema originatosi dalla deformazione post-tortoniana del bordo interno della piattaforma carbonatica africana.

La Catena Appenninico-Maghrebide è costituita da falde, più o meno ampiamente alloctone, disposte a più orizzonti strutturali e sovrapposte in toto sul Sistema a Thrust Esterno. All'interno di essa le Unità Sicilidi presenti alla sommità della pila si sono originate nel bacino alpino-tetideo, che separava il margine europeo da un blocco panormide (Finetti et al. 2005). Esse sono interpretabili come i resti di un cuneo d'accrezione oceanico oligo-miocenico, ulteriormente sovrascorso fino a raggiungere l'attuale fronte della catena, rappresentato dalla Falda di Gela. Altre sequenze oceaniche sono riconoscibili nelle unità tettoniche più esterne, come l'Unità di M. Judica, quelle imeresi e sicane. Queste successioni, ritenute comunemente coperture di crosta continentale (Ogniben, 1960; Amodio-Morelli et al. 1976; Scandone et al. 1977; Bianchi et al. 1987; Catalano et al. 1996), a seguito dei dati del CROP-Mare (Finetti ed, 2005) sono riconducibili ad un dominio a crosta oceanica, che rappresenta la porzione subdotta dell'originario bacino ionico e pertanto sono state raggruppate sotto il termine di Unità Ionidi. I due paleobacini, quello alpino tetideo e quello ionico erano separati dalla piattaforma carbonatica panormide, allocata su crosta continentale, riconosciuta oggi dalle linee sismiche lungo i margini tirrenici della Sicilia e dell'Appennino meridionale. Per tale crosta sono stati usati i termini di crosta maghrebide (Lentini et al. 2001, 2002) o crosta panormide (Finetti et al. 2005).

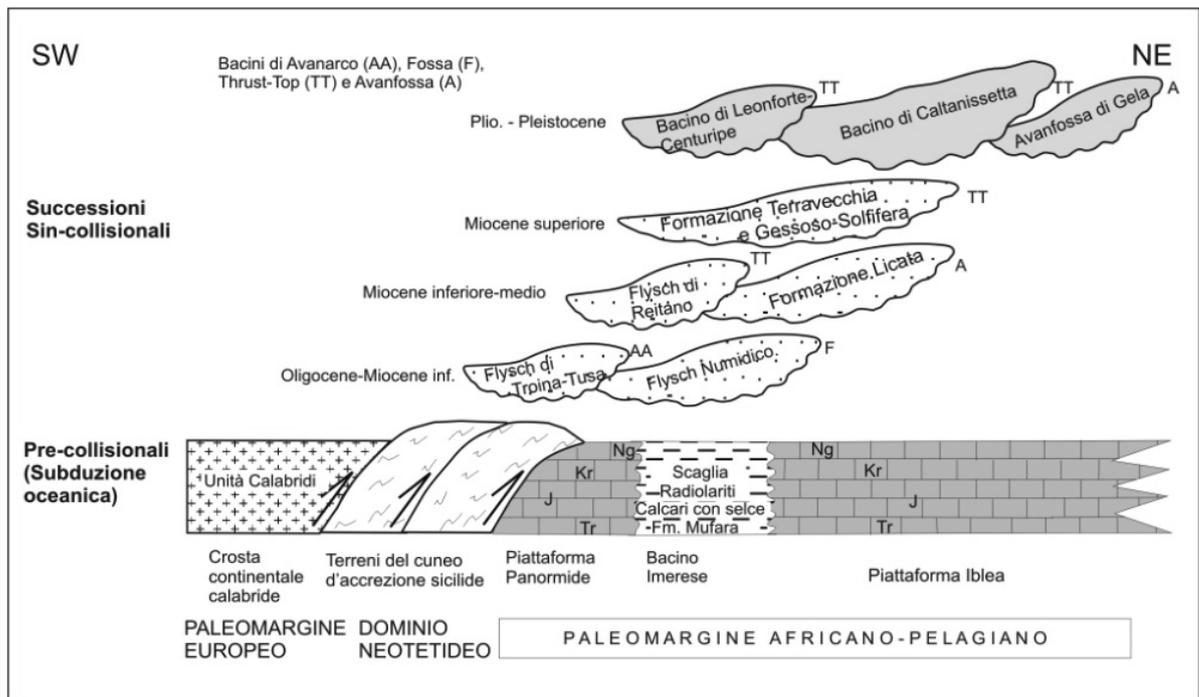
I risultati delle ricerche geologiche e geofisiche portano alla ricostruzione di un quadro paleogeografico alquanto schematico, ma caratterizzato da un margine europeo, un bacino alpino-tetideo a crosta oceanica od assottigliata, una crosta continentale panormide sede in origine delle sequenze carbonatiche panormidi e tra questa e la crosta continentale africana, la crosta oceanica del paleobacino ionico. Tale distribuzione delle croste ha influenzato notevolmente l'evoluzione di quest'area mediterranea, dando luogo a fenomeni di subduzione delle croste oceaniche e di collisione tra quelle continentali. È così possibile ricostruire con un notevole grado di attendibilità un'evoluzione geodinamica, nella quale si riconoscono tre stadi orogenetici. Il primo, quello alpino, non è sufficientemente testimoniato nell'Appennino meridionale ed in Sicilia, ma è riconoscibile in Calabria lungo la Catena Costiera, ed è presente con falde ofiolitifere Europa-vergente anche nel Tirreno tra Sardegna e Sicilia nord-occidentale, per poi correlarsi alla Corsica Alpina. In tale stadio, di età cretacico-eocenica si è consumata, almeno in parte, la crosta tetidea al di sotto della placca Adria.

Il secondo stadio orogenetico, indicato anche come fase balearica, è ascrivibile all'intervallo Oligocene-Miocene inferiore ed è caratterizzato dalla rotazione antioraria del Blocco Sardo-Corso, dall'apertura di un bacino di retroarco, il Bacino Balearico per l'appunto, e dalla subduzione al di sotto della placca Europea di ciò che rimaneva della crosta alpino-tetidea, con il conseguente scollamento delle Unità Sicilidi al di sopra della placca Adria. A

partire dal Miocene medio, in seguito alla collisione tra Europa ed Adria, il sistema si sposta interessando questa volta il margine tra la crosta panormide e quella ionica, che tenderà a sottoscorrere con la conseguente sovrapposizione delle falde panormidi al di sopra delle Ionidi. La lettura delle linee sismiche CROP-Mare (Finetti Ed., 2005) mostra la chiara presenza dello slab ionico lungo i margini tirrenici, sia in Sicilia che sulla costa del Cilento . Ma ciò che è evidente sono anche la totale consumazione della crosta ionica in questo settore, l'estesa sovrapposizione tettonica delle sequenze raggruppate come Ionidi al di sopra del margine afro-adriatico espresso dal Sistema a Thrust Esterno ed il conseguente stato collisionale tra crosta panormide e crosta africana.

Il processo collisionale ha dato luogo ad una zona di culminazione assiale (dorsale Madonie-Nebrodi-Peloritani), delimitata a sud da fronti di accavallamento obliqui (Linea M. Kumeta-Alcàntara, Ghisetti & Vezzani, 1984), e caratterizzata da fenomeni di “fuori sequenza” con abbandono dei processi di avanzamento al fronte della catena ed ha prodotto anche una vasta area meridionale strutturalmente depressa, denominata “Bacino di Caltanissetta” (Di Geronimo et al. 1978), che rappresenta un bacino satellite supramiocenico-infrapleistocenico collegato verso l'esterno all'Avanfossa Gela-Catania .

L'attuale configurazione di questo settore del Mediterraneo, definita dai dati geofisici e geologici, ma in accordo anche con quelli vulcanologici, è il prodotto di questo stato collisionale riconosciuto lungo i margini orientale e meridionale del Tirreno, a sua volta in espansione, e della subduzione attiva (Giardini & Velonà, 1991) della crosta ionica al di sotto dell'Arco Calabro meridionale (Finetti Ed, 2005; Lentini et al. 2006). L'accomodamento tra settori in collisione e settori in subduzione avviene mediante trasferimenti, le cui espressioni sono sistemi di faglie orientate NO-SE, a componente destra in Sicilia (Sistema Sud-Tirrenico, Finetti et al. 1996) e a componente sinistra in Appennino meridionale.



Schema tettonico-stratigrafico della catena siculo-maghrebide

#### 4.4 Arco calabro.

L'Arco Calabro rappresenta una delle zone di massima distorsione dell'orogene che circonda il Mediterraneo, costituendo il raccordo tra la catena siculo-maghrebide e l'Appennino meridionale. Esso è l'elemento più interno dell'orogene ed è costituito da una serie di unità tettoniche, in cui sono rappresentate diverse porzioni di un'originaria crosta continentale con le relative coperture meso-cenozoiche (Complesso Calabride di OGNIBEN, 1969), cui si associano le unità ofiolitifere del Complesso Liguride (OGNIBEN, 1969), caratterizzate da gradi di metamorfismo variabile e derivanti dalla deformazione di un originario dominio oceanico.

La posizione strutturale dell'Arco Calabro è da correlare a processi d'estrusione causati dalla collisione Africa-Europa in un settore dove un residuo di oceano tetideo, il bacino ionico, ha continuato il processo di subduzione durante il Plio-Pleistocene, accompagnato dall'apertura del bacino tirrenico nelle aree di retroarco (Tapponier, 1977; Faccenna et al. 1996; Catalano et al. 2004a). Il settore calabro-peloritano dell'orogene è stato espulso lateralmente verso il mar Ionio grazie all'attivazione di due fasce identificate classicamente nella Linea di Sangineto a nord e la Linea di Taormina a sud, caratterizzate rispettivamente da movimenti sinistri e destri (Amodio-Morelli et al. 1976). In effetti si tratta di zone di taglio più complesse che potrebbero comprendere la zona di taglio del Pollino in Appennino meridionale (Moussat et al. 1986;

Dewey *et al.* 1989; Beb Avraham *et al.* 1990; Catalano *et al.* 2004a) e il Sistema Sud-Tirrenico in Sicilia settentrionale (Finetti *et al.* 1996).

#### **4.5 Dominio Tirrenico.**

Il dominio tirrenico è caratterizzato da una crosta assottigliata fino ad oceanica e si sviluppa nelle aree interne rispetto al sistema orogenico, da cui è delimitato da strutture orientate da NO-SE a N-S lungo il margine dell'Appennino meridionale e dell'Arco Calabro ed E-O lungo il margine siciliano. Lungo queste fasce di transizione si sviluppa un vulcanesimo quaternario caratterizzato da prodotti sia alcalini (Ustica) che calcoalcalini (arcipelago eoliano). All'interno di questo dominio, formatosi a partire dal Tortoniano, si sviluppano una serie di bacini di forma triangolare (Bacino Magnaghi-Vavilov, Bacino del Marsili), caratterizzati da spessori crostali minimi (Moho <10 Km), originatisi rispettivamente nel Pliocene inferiore e nel Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (Boccaletti *et al.* 1984).

Il dominio tirrenico è stato interpretato o come un bacino marginale connesso ad un sistema arco-fossa sviluppatosi in seguito alla subduzione della placca ionica sotto la placca europea, o come il risultato di processi di delaminazione della litosfera legati a movimenti verticali del mantello (Wezel, 1985; Locardi 1986; Channel, 1986). Le interpretazioni più recenti si basano su modelli di estrusione laterale di blocchi secondo i quali l'indentazione del blocco pelagiano nel fronte della zona collisionale durante il Miocene avrebbe causato la formazione di una zona di rifting passivo al retro dell'Arco Calabro (Tapponier, 1977; Boccaletti *et al.* 1984, 1990; BEN Avraham *et al.* 1990). Secondo questi modelli l'estensione del bacino tirrenico è stata favorita dalla conseguente risalita del mantello e accomodata verso SE dalla contrazione al fronte della catena con l'attivazione dei thrust appenninici e la migrazione dell'Arco Calabro sul bacino ionico guidata da grandi fasce trasformati.

### **5.1 Litostratigrafia dell'area**

La successione tettonico-stratigrafica affiorante è costituita dalle unità tettoniche d'età Cretacico-Miocene inferiore appartenenti alle coltri più esterne dell'unità tettoniche Sicilidi (Lentini et al. 1990a). Queste unità sono ricoperte da diversi cicli sedimentari neo-genico-quadernari (Roda, 1967a; Lentini et al. 1990a; 1991) i quali sono stati coinvolti nelle fasi tettoniche più recenti. Di seguito vengono trattati i caratteri litologici, stratigrafici e giaciturari delle successioni affioranti. Queste sono descritte secondo l'attuale ordine di sovrapposizione geometrica, derivante dalle ripetute fasi tettoniche succedutesi nel tempo.

Per la caratterizzazione delle singole successioni ci si è avvalsi dei criteri classici della litostratigrafia.

Sulla base dei criteri sopra esposti la successione stratigrafica risulta essere dal basso verso l'alto:

- Flyschs numidico (FYN<sub>3</sub>)
- Argille scagliose (AS)

*discordanza*

- Formazione terravecchia (TRV)

*Serie Solfifera*

- Tripoli (TPL)
- Calcare di base (GTL<sub>1</sub>)
- Trubi (TRB)

*discordanza*

- Sabbie di Lannari (NNL)
- Terrazzi (t)
- Alluvioni recenti (bb)
- Alluvioni attuali (ba)
- Deposito di frane (a<sub>1</sub>)

### **5.1.1. *Flyschs numidico (FYN<sub>3</sub>)***

La formazione è costituita da un'alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a bruno tabacco con sottili interstrati siltitici, in intervalli di spessore da decametrico a centimetrico, e di quarzoareniti torbiditiche bruno-giallastre in strati in genere lenticolari spessi fino a 1-2 metri. Le argilliti nerastre sono a stratificazione indistinta, le argille brune sono intensamente scagliettate, presentano bande d'alterazione di colore ocreo, noduli limonitici e concrezioni giallo-rossastre. Le arenarie hanno composizione quarzosa, e sono generalmente gradate, a granulometria da fine a grossolana, fino a conglomerati, sono clasto-sostenute con scarsa matrice; il cemento, quando presente, è sempre siliceo.

Gli strati torbiditici che mostrano talora basi erosive con impronte da corrente e da carico (groove-flute e load cast), si presentano da massive a gradate. Le bancate numidiche si presentano estremamente fratturate con livelli di breccie tettoniche di frizione lungo le numerose strutture di taglio. Le peliti contengono in genere scarse microfaune. In affioramento questa formazione presenta spessori massimi di circa 300 metri. Il contenuto microfaunistico delle argille del flysch numidico è generalmente scarso e le rare forme sono mal conservate, le argille nere sono caratterizzate da microfaune a *Globigerinoides primordius*, i medesimi livelli contengono associazioni a nannofossili calcarei attribuibile al Burdigaliano superiore. Pertanto l'età della formazione si estende dall'Oligocene superiore al Burdigaliano.

### **5.1.2 *Argille scagliose (AS)***

Sono costituite, prevalentemente, da argille di colore variabile dal grigio al verde, al rosso vinaccio con struttura fittamente fogliettata, stratificazione indistinta e giacitura molto caotica a causa dell'intensa attività tettonica a cui sono state sottoposte durante il loro lungo trasporto da zone interne a zone esterne, verso l'Avampese Ibleo. Questo trasporto ha portato, infatti, le Argille Scagliose, di età Cretacica-Eocenica, a sovrapporsi tettonicamente al Flysch Numidico in contrapposizione generale della sedimentazione che prevede terreni più recenti sopra quelli più antichi. Si tratta di una successione estremamente tettonizzata caratterizzata dalla presenza di numerose zone di taglio costituite da listoni di calcisiltiti e calcareniti inglobati in una matrice pelitica a struttura cataclastica. Lo spessore di questa successione è difficilmente definibile e in affioramento è comunque superiore ai 300 metri, mentre in sottosuolo raggiunge i

1000 metri, Le associazioni microfaunistiche che caratterizzano le differenti litofacies permettono di riferire questa unità litostratigrafica all'intervallo Cretacico- Oligocene superiore.

### **5.1.3            *Formazione Terravecchia (TRV)***

La formazione Terravecchia (Schmidt di Friedberg, 1962) è una successione argillosa-sabbiosa-conglomeratica, caratterizzata da notevole variabilità di facies e di spessori, la cui distribuzione permette di individuare sia le zone di margine che quelle depocentrali degli originari bacini localizzati nelle depressioni strutturali, a retro dei principali fronti di accavallamento.

In Sicilia centro-settentrionale questa formazione presenta facies di ambiente fluviale e deltaico prossimale, mentre verso sud passa a facies di prodelta e quindi a facies terrigene di mare aperto. Essa è generalmente costituita da due litofacies eteropiche, prevalentemente nella parte alta della sequenza. La litofacies più diffusa è rappresentata da *marne argillose* di colore grigio-azzurro o bruno e da *sabbie quarzose* giallastre in sottili livelli, raramente in banchi, l'altra è caratterizzata da sabbie quarzose giallastre con grosse lenti di conglomerati a clasti eterometrici da piatti a sferici, arrotondati, di natura sia sedimentaria che cristallina di vario grado metamorfico. Lo spessore di queste intercalazioni può raggiungere potenza pluridecimetrica, la formazione lungo la sinclinale di Centuripe-Leonforte e la valle del F. Dittaino è costituita prevalentemente la facies marnosa. A sud di Centuripe e tra Catenanuova e Assoro le sabbie sono rappresentate da lenti potenti varie decine di metri e con estensione laterale variabile, mentre in destra del F. Simeto la facies sabbioso-arenacea chiude la successione al tetto. Le brusche variazioni litologiche e di spessore che la formazione presenta sono dovute probabilmente a diverse profondità del bacino di sedimentazione e ad apporti variabili da punto a punto. Ai sedimenti marnosi della Formazione Terravecchia si intercalano potenti orizzonti di argille brecciate (**TRV<sub>b</sub>**), questi corpi, interpretati come il risultato di scivolamenti gravitativi (olistostromi) di masse argillose (Ogniben, 1954) o, secondo le interpretazioni più recenti, il prodotto di processi di *mud-diapirism* (Monaco & Tortorici, 1996; Catalano *et al.* 2002), sono costituiti da una matrice argillosa con tessitura da brecciata a cataclastica, contenente frammenti angolosi di argille e marne provenienti sia dalle sottostanti argille brune numidiche e dalle successioni sicilidi, sia dalle stesse marne della formazione Terravecchia

La base della formazione, discordante sul substrato, è eterocrona e caratterizzata, nelle aree di bacino, da appoggi di tipo on lap su alti strutturali, in prossimità dei quali si assiste anche alla progressiva chiusura della stessa.

La facies dei conglomerati suggerisce una deposizione in sistemi fluviali anastomizzati, con larghi settori di non deposizione dovuti a by-pass di materiale fluviale.

In affioramento lo spessore della formazione è di circa 300-400 metri, mentre in sottosuolo raggiunge spessori di circa 1300 metri. Complessivamente l'età è compresa tra il Tortoniano inferiore e il Messiniano inferiore

#### **5.1.4 Tripoli (TPL)**

La formazione Terravecchia passa gradualmente verso l'alto al Tripoli, una successione di diatomiti bianche laminate, fissili, ricche di coccolitoforidi e dinoflagellati con resti di pesci teleosteidi (*Bregmaceros* sp, *Myctophum* sp. e *Syngnathus* sp.), talora alternate a peliti fogliettate bituminose e marne diatomitiche laminate di colore biancastro con abbondanti foraminiferi planctonici.

Questa unità litostratigrafica, caratteristica di ambienti anossici, rappresenta il passaggio da condizioni di sedimentazione marina a tipiche condizioni evaporitiche.

Le microfaune, ove presenti, sono riferibili al Messiniano pre-evaporitico (cf. Iaccarino et al. 2008). Lo spessore del Tripoli non supera di norma i 40 metri, anche se in alcune aree può raggiungere 70-80 metri. L'età è Messiniano inferiore.

#### **5.1.5 Calcare di base (GTL1)**

Costituisce il membro basale della formazione di Cattolica e poggia sulla formazione Terravecchia, e localmente sul Tripoli. Si tratta di una sequenza di calcari cristallini bianco-grigiastri massivi, calcari laminati e calcari stromatolitici in banchi talora disarticolati contenenti livelli lenticolari di calcari brecciati, separati a luoghi da livelli centimetrici di peliti grigiastre. Talora, all'interno dei banchi carbonatici sono presenti pseudomorfi di cristalli di salgemma e lamine di gesso le quali possono a luoghi costituire livelli lenticolari potenti fino a circa 2 metri. Lo spessore di questa litofacies è variabile da pochi metri fino a circa 50 metri.

Considerato l'andamento lenticolare di questo litotipo il suo spessore varia da qualche metro fino ad un massimo di circa 40 metri. L'età è Messiniano inferiore.

#### **5.1.6        *Trubi (TRB)***

Si tratta di un'alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici organizzati in strati decimetrici generalmente intensamente fratturati, spesso, a vari livelli della successione pelagica dei Trubi si intercalano potenti orizzonti, di spessore non definibile, di argille brecciate (**TRB<sub>b</sub>**). Queste sono da una matrice argillosa con tessitura da brecciata a cataclastica, di colore nerastro, a giacitura caotica, contenenti blocchi di gessi (GTL<sub>2</sub>), di calcari evaporitici (GTL<sub>1</sub>) e di argille varicolori (AV). Lo spessore massimo riconosciuto è di circa 100 m. L'età è Zancleano.

#### **5.1.7        *Sabbie di Lannari (NNL)***

Verso l'alto e lateralmente le argille marnose passano alle sabbie di Lannari, che affiorano diffusamente nell'area.

Questo intervallo sabbioso rappresenta la facies regressiva di chiusura del ciclo del Pliocene superiore, ed i rapporti latero-verticali con le Argille marnose fanno sì che nelle porzioni più settentrionali del bacino, come ad esempio nell'area di Caltanissetta o nelle zone immediatamente ad ovest del Lago di Pergusa, questa formazione poggia direttamente sulle argille marnose della formazione Terravecchia, o sui Trubi .

Si tratta di una sequenza, potente fino a 200 metri, di sabbie giallastre a granulometria medio-fine, talora siltose, di colore giallastro a stratificazione irregolare cui s'intercalano livelli arenacei a grado di cementazione variabile a scarsa continuità laterale, e più raramente intercalazioni calcarenitiche e livelli lenticolari di conglomerati. Questi sedimenti contengono microfaune prevalentemente bentoniche, scarsamente significative dal punto di vista biostratigrafico, tra cui dominano forme di mare basso. La posizione stratigrafica di questo intervallo e le età riscontrate nelle limitrofe aree sud-orientali, dove l'intera successione risulta più completa (Wezel, 1966; Frazzetta, 1971; Di Geronimo, 1979), permettono di attribuire alle sabbie di Lannari un'età del Gelasiano-Calabriano.

## **6 Depositi alluvionali .**

Questi terreni sono rappresentati da unità alluvionali e detritiche quaternarie, estesamente affioranti in tutto il settore di studio alla base dei versanti o in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area come copertura di tutti i termini litologici più antichi.

### **6.1 Terrazzi (t)**

Questa unità affiora diffusamente in tutto il settore di interesse e, in particolare, in corrispondenza di superfici terrazzate poste ai margini del fondovalle del F. Dittaino e Simeto.

Si tratta di depositi alluvionali in *facies* di depositi di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, costituiti da tre differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche. L'unità in questione presenta uno spessore massimo di 20 m e può essere

riferita all'intervallo Pleistocene superiore–Olocene. La parte più fine è costituita da argille limose, limi argillosi, limi argilloso-sabbiosi o debolmente sabbiosi a luoghi argille limo-sabbiose di colore bruno, marrone, nocciola, grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, mediamente consistente, con locali lenti sabbiose, sabbioso-limose e limi sabbiosi-argillosi grigiastre e giallo ocra, rare ghiaie poligeniche ed eterometriche (max 10 cm), da angolose ad arrotondate, locali livelli di torbe e terreni organici nerastri, con incluse abbondanti concrezioni biancastre.

La porzione medio-grossolana è formata da sabbie e sabbie limose di colore giallastro molto addensate, a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie poligeniche ed eterometriche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvencono limi sabbiosi e limi sabbiosi-argillosi di colore nocciola, giallo e ocra, a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti resti vegetali e rare ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose ad arrotondate, localmente con incluse concrezioni calcaree biancastre. La parte più grossolana è costituita invece da ghiaie poligeniche ed eterometriche (max 8 cm), da sub-angolose ad arrotondate, talora con blocchi angolosi, con matrice sabbiosa, limoso-

sabbiosa e sabbioso- limosa di colore avana, nocciola, marrone grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante, localmente si rinvencono sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, ocre e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose ad arrotondate e rari blocchi angolosi di arenarie.

### **6.1 ... Depositi alluvionali recenti (b<sub>b</sub>)**

Tali depositi affiorano diffusamente in tutto il settore di interesse, prevalentemente in corrispondenza dei fondovalle dei F. Dittaino e Simeto e, in minor modo, lungo le aste fluviali secondarie dei loro immissari maggiori. Si tratta di depositi alluvionali *in facies* di depositi di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, piana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono, costituiti da tre differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici ai Depositi palustri recenti. L'unità in esame presenta uno spessore massimo di circa 50 m, ed è riferibile interamente all'Olocene. La porzione più fine, invece, è rappresentata argille limose, argille debolmente limose e limi argillosi di colore marrone, grigio, nocciola e giallo, a struttura indistinta o laminata, consistente, localmente argille limose debolmente sabbiose e limi argillosi debolmente sabbiosi, con locali passaggi sabbiosi e sabbioso-limosi e limi argillosi sabbiosi di colore nocciola, marrone e giallastro, rari sottili livelli di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose ad arrotondate (max 10 cm) e locali livelli di torbe e terreni organici nerastri, con incluse concrezioni biancastre e patine di ossidazione rossastre. La facies sabbioso-limosa è formata da sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi sabbiosi debolmente argillosi, da fine a grossa di colore marrone chiaro, nocciola, grigio, giallastro e ocre, localmente marrone scuro, a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie poligeniche ed eterometriche, per lo più fini e medie (max 4 cm) e ciottoli (max 13 cm), da angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvencono livelli di limi sabbiosi argillosi, sabbie limoso-argillose, limi argillosi debolmente sabbiosi e argille di colore giallo nocciola, marrone e grigiastro, a struttura indistinta, con frequenti resti vegetali e rare ghiaie poligeniche ed eterometriche (max 5 cm) e sporadici ciottoli, da angolose ad sub-arrotondate, con incluse concrezioni biancastre e bande di alterazione.

La parte più grossolana dell'unità risulta costituita da depositi ghiaie poligeniche ed eterometriche da fine a grossolana (max 13 cm), da sub-angolose a sub-arrotondate, talora

con blocchi angolosi e rari ciottoli, con matrice sabbiosa, sabbioso-limosa, sabbia limosa argillosa, argilloso-limosa e limoso-argillosa di colore nocciola, grigio, marrone, rossastro e giallastro, da scarsa ad abbondante, localmente si rinvencono blocchi di arenaria (max 20 cm) e passaggi di sabbia ghiaiosa con ciottoli (max 7-10 cm); sabbie, sabbie limose debolmente argillose e limi sabbiosi di colore nocciola, marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate e rari blocchi angolosi.

### **6.1.1 Depositi alluvionali attuali ( $b_0$ )**

La presente unità affiora, in corrispondenza delle aste fluviali dei principali corsi d'acqua e dei loro affluenti, in particolar modo in corrispondenza dell' alveo del F. Dittaino. Si tratta di terreni alluvionali in *facies* di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da due differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa e sabbioso-limosa. L'unità presenta potenza media compresa tra 1 e 4, ma in corrispondenza dell'alveo del F. Dittaino presentare spessori maggiori. La sua età è riferibile all'Olocene. Si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi formati da ghiaie poligeniche ed eterometriche ( $b_0$ ), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi e lenti con prevalenza di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. Localmente tali depositi sono composti da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro a luoghi si rinvencono passaggi e lenti con prevalenza di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone, grigio e giallastro, generalmente abbondante.

### **6.1.2 Deposito di frana ( $a_1$ )**

Trattasi di corpi gravitativi caotici di materiali eterogenei a tessitura prevalentemente argilloso-sabbiosa, trattasi di corpi di limitata estensione presente sui terreni prevalentemente argillosi, raramente si presentano erosi. L'età è Olocene.

## **7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE.**

L'area di studio risulta fortemente influenzata dal locale assetto stratigrafico-strutturale, oltre che dai fenomeni di modellamento superficiale che l'hanno interessata durante il Quaternario e dalle importanti variazioni eustatiche succedutesi nel tempo. L'evoluzione geomorfologica del settore di studio è legata ad un insieme di fattori geologici s.l. e geologico-strutturali che hanno agito, in maniera concomitante, nello sviluppo del paesaggio attuale. In particolare, la morfologia superficiale del territorio in esame risulta profondamente connessa all'evoluzione geodinamica della Catena Appenninico-Maghrebide e dell'Avanfossa Gela-Catania (Lentini et al. 1995; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000), particolarmente intensa nel Pleistocene medio-superiore e nell'Olocene (Carbone et al. 2010). Ad essa si aggiungono gli effetti geomorfologici dovuti al deflusso delle acque superficiali e ai fenomeni gravitativi agenti su i rilievi, oltre che locali elementi di genesi antropica connessi alle maggiori opere di comunicazione e ai sistemi di regimazione idraulica dei corsi d'acqua.

### **7.1 Morfologia dei principali sistemi fluviali.**

I principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Dittaino, affluente in destra idrografica del più importante fiume Simeto. I tributari minori sono invece rappresentati da torrenti a breve corso, caratterizzati da evidenti fenomeni erosivi e modeste coperture alluvionali (Carbone et al. 2010). In generale, si tratta di corsi a regime torrentizio, con elevato potere erosivo e di trasporto solido soprattutto nei periodi di piena (Carbone et al. 2010).

Lo studio della morfologia fluviale dei principali corsi d'acqua dell'area evidenzia un importante controllo strutturale nell'evoluzione geologica e morfologica dell'intero settore in studio. L'assetto stratigrafico e tettonico dell'area ha, quindi, fortemente influenzato la morfogenesi attiva e selettiva dell'area, legata non solo all'azione erosiva e deposizionale dei corsi d'acqua che la incidono, ma anche fattori meteo-marini comunque di una certa importanza. Infatti, per quanto riguarda le variazioni della linea di costa, i dati storici e recenti evidenziano una tendenza al progressivo avanzamento e definitiva stabilizzazione, cui fa seguito l'attuale fase di arretramento (Carbone et al. 2009). La fase di avanzamento, perdurata almeno fino al 1950, è dovuta ad una importante tendenza progradazionale della piana costiera

e delizia di Catania, in virtù di un maggior carico solido del F. Simeto e dei suoi tributari minori (Carbone et al. 2009).

## **8 GEOMORFOLOGIA**

### **8.1 Elementi idrografici**

Il reticolo fluviale locale è rappresentato dal F. Dittaino, affluente in destra de più importante Fiume Simeto, un corso d'acqua a carattere perenne che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area. Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 982 km<sup>2</sup> tra i Monti Erei e la Piana di Catania, fino alla confluenza col F. Simeto di cui rappresenta uno dei principali affluenti in destra idrografica.

Il bacino del F. Simeto si estende per circa 4186 km<sup>2</sup> tra i Monti Nebrodi e il Mar Ionio, rappresentando quindi il più grande bacino idrografico dell'isola. Tale bacino comprende i territori provinciali di Catania e Enna ed in misura inferiore, quelli di Messina, Siracusa e Palermo. La sua asta si estende per circa 116 km in direzione grossomodo NNW-SSE, nasce alle pendici meridionali dei Monti Nebrodi, dall'unione dei Fiumi Cutò, del Martello e della Saracena. Poco più a valle, il fiume riceve il primo affluente di una certa importanza, il F. Troina, da questo punto, il corso d'acqua si sviluppa in direzione circa N-S fino alla confluenza col F. Salso, dove devia in direzione circa NW-SE fino alla zona della Piana di Catania. In quest'area il F. Simeto devia ancora in direzione WNW-ESE e riceve gli apporti idrici di altri due importanti corsi d'acqua, il F. Dittaino ed il F. Gornalunga, sfociando infine nel Mar Ionio, pochi chilometri a Sud del centro abitato di Catania.

Il Fiume Dittaino, affluente in destra idrografica, nasce alle pendici orientali dei Monti Erei, nella zona centrale della Sicilia, dall'unione di diversi corsi d'acqua di minore importanza, ed ha un'asta che si estende per circa 110 km. Si sviluppa inizialmente in direzione grossomodo E-W tra gli abitati di Enna e Catenanuova, dove devia in direzione circa NW-SE fino alla confluenza col Fiume Simeto.

Il suo bacino, si estende per circa 982 km<sup>2</sup> tra i Monti Erei e la Piana di Catania, fino alla confluenza col F. Simeto di cui rappresenta uno dei principali affluenti. Tale bacino comprende i territori provinciali di Catania ed Enna, interessando i comuni di Leonforte, Assoro, Catenanuova, Calascibetta, Enna e Centuripe.

I corsi d'acqua secondari, infine, rappresentano gli affluenti in destra e sinistra idrografica del fiume suddetto. Si tratta in generale di corsi a carattere marcatamente stagionale o torrentizio, con portate estremamente variabili e fortemente condizionate dal regime delle piogge, con andamento grossomodo ortogonale a quello dell'alveo principale. Ad essi si

aggiungono, inoltre, numerosi valloni e solchi di erosione concentrata attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi.

### ***8.2 Elementi strutturali e tettonici.***

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è svolto, ovviamente, dall'assetto strutturale dei litotipi affioranti e dal loro differente grado di erodibilità, legato essenzialmente alla natura litologica e sedimentologica dei depositi. Ad essi si aggiungono i numerosi elementi tettonici presenti nell'area, connessi alla complessa evoluzione tettonica che ha interessato i settori di catena a partire dall'Oligocene superiore.

La morfogenesi selettiva ha portato, infatti, allo sviluppo di forme morbide e poco marcate in corrispondenza dei settori di affioramento di termini litologici prevalentemente pelitici, caratterizzati quindi da ampie vallate e pendii poco acclivi privi di bruschi stacchi morfologici. Nelle aree di affioramento di termini litologici a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, al contrario, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme più aspre e marcate, caratterizzati da strette vallate e versanti poco acclivi, spesso interrotti da bruschi stacchi morfologici connessi con importanti elementi tettonici o con le superfici di strato dei livelli più competenti. Infine i principali elementi strutturati presenti nell'area, connessi a tettonica sia compressiva che e tensionale, risultano particolarmente evidenti in tutto il settore di interesse e in modo particolare nelle aree di affioramento dei termini litologici più competenti. I suddetti elementi, comunque, tagliano almeno in parte anche i depositi alluvionali più antichi, anche se non risultano direttamente rilevabili sul terreno a causa della particolare conformazione geologica del territorio.

### ***8.3 Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali.***

Nell'intera area esaminata, le principali forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, che conferiscono alle maggiori depressioni vallive una morfologia blandamente ondulata e leggermente degradante verso Sud Est. Tali depositi presentano al loro interno vistose variazioni granulometriche e tessiturali e risultano, molto spesso, fortemente interdigitati tra loro, creando così un articolato sistema sedimentario di origine

alluvionale. Allo sbocco delle principali aste torrentizie nelle aree pianeggianti, si rinvencono inoltre locali conoidi alluvionali di estensione ed importanza variabile. In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvencono inoltre vistose scarpate di erosione fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dal fondovalle attuale. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento, mentre gli alvei più importanti sono caratterizzati da zone in approfondimento e settori di prevalente deposizione. In prossimità degli alvei del Fiume Dittaino, inoltre, sono presenti tracce degli antichi corsi fluviali, spesso caratterizzati da depositi a granulometria fine tipici di un lago di meandro o canale in fase di abbandono. Tali elementi presentano, in generale, larghezza piuttosto contenuta e sono localmente sede di zone paludose o acquitrini di scarsa importanza ed estensione. In corrispondenza dei versanti e dei rilievi più acclivi, dove affiorano i termini litologici del substrato medio infra-cenozoico, sono presenti chiari fenomeni erosivi, sia areali che lineari, connessi col deflusso non regimato delle acque correnti superficiali in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi e severi. Tali fenomeni generano, ovviamente, forme caratteristiche quali solchi di erosione concentrata e vallecicole a V o a fondo concavo, particolarmente frequenti nelle porzioni medio-basse dei rilievi e nelle zone con le coperture detritico-colluviali più spesse.

## **9 TETTONICA**

### **9.1 Strutture principali**

Le diverse unità tettoniche e stratigrafiche affioranti in un'area di più vasto interesse rispetto a quella in studio, mostrano una serie di strutture che hanno in parte registrato la storia deformativa legata alla convergenza Africa-Europa la quale, a partire dal Cretacico superiore, ha portato alla costruzione della catena appenninico-maghrebide. Le strutture di sovrascorrimento principale responsabili della messa in posto delle Unità Sicilidi hanno causato la sovrapposizione con vergenza meridionale dell'Unità di Nicosia su unità oceaniche più esterne e su unità del paleomargine africano, identificate a livelli più profondi. In particolare, a nord dell'allineamento "Caltanissetta-Enna", si può ipotizzare una sovrapposizione dell'unità di Nicosia su successioni riferibili ad Unità Sicilidi più esterne. Questo allineamento rappresenta inoltre un alto strutturale (anticlinale di Marcasita; Butler et al. 1995) che borda verso nord-ovest il bacino di Caltanissetta, determinato da un sovrascorrimento regionale con geometria a rampa e vergenza verso SSE, associato a numerosi sovrascorrimenti e retroscorrimenti secondari.

A livelli superficiali le argille varicolori e il flysch numidico affiorano al nucleo di ampie anticlinali con assi orientati mediamente SO-NE e sviluppo chilometrico, si tratta di piegamento flessurale, di tipo thrust propagation fold, che sviluppa lungo i fianchi delle strutture maggiori una serie di pieghe parassite asimmetriche di dimensioni da decimetriche a metriche e al nucleo pieghe simmetriche tipo M. Queste strutture possono essere collegate alle deformazioni neogeniche relative allo sviluppo delle strutture contrazionali riscontrate anche nei depositi marini del Bacino di Caltanissetta.

Durante il Neogene, infatti, l'area di catena è interessata dalla deposizione di tre cicli sedimentari principali in corrispondenza di aree depresse determinatesi durante lo sviluppo dei sovrascorrimenti frontali, si tratta dei cicli del Miocene superiore, del Pliocene inferiore-medio e del Pliocene superiore, i quali mostrano chiare strutture da crescita a testimonianza della deposizione sintettonica. In generale sono stati riconosciuti tre gruppi di pieghe formatesi in sequenza durante tre successive fasi tettoniche. Durante la sedimentazione del complesso evaporitico e soprattutto alla fine della deposizione dei Trubi una importante fase compressiva

determina la formazione di pieghe con assi generalmente orientati da SO-NE a E-O e vergenza verso sud. La successione stratigrafica fino ai Trubi è deformata, infatti, da pieghe strette e spesso rovesciate, mentre i terreni sovrastanti sono deformati da pieghe più ampie. Le argille marnose e le sovrastanti sabbie mostrano infine solo blandi piegamenti. La sinclinale di Caltanissetta è tra le strutture a pieghe più importanti affioranti in questo settore della Sicilia, ha asse allungato in senso SO-NE e mostra al nucleo depositi del ciclo del Pliocene superiore per una lunghezza di circa 13 chilometri (Roda, 1968). Lungo il fianco settentrionale essa è deformata da un sovrascorrimento con geometria tipo “pop-up” che solleva una sinclinale minore con al nucleo gli stessi depositi. Lungo il fianco meridionale sono evidenti le discordanze angolari sui depositi dei cicli inferiori deformati da pieghe strette e meno estese. Dal punto di vista geodinamico, l’insieme di queste strutture sembra essere correlabile con le fasi plioceniche di convergenza che in tutta la Sicilia centrale hanno causato la formazione dei sovrascorrimenti frontali della catena al limite con il Bacino di Caltanissetta e l’Avanfossa di Gela.

## ***9.2 Evoluzione tettonica***

La storia deformativa del settore di catena analizzato è legata alla convergenza Africa-Europa a partire dal Cretacico superiore (LENTINI et al. 1990b). Nella prima fase di chiusura oceanica si è prodotto un cuneo d’accrezione con la formazione del sistema a thrust delle unità sicilidi. Durante il Miocene inferiore-medio, con l’inizio della collisione continentale, le unità sicilidi sono andate in ricoprimento sulle successioni sedimentarie mesocenoiche del paleomargine africano che a loro volta sono state coinvolte nella costruzione della catena distaccandosi tramite thrust di letto dal relativo basamento. Durante la collisione continente-continente, le unità descritte sono state coinvolte in ulteriori deformazioni successive alle fasi di ricoprimento tettonico. Si sono così delineati, all’interno dell’orogene, due principali domini che, da nord a sud, sono rappresentati da una zona di culminazione assiale (dorsale Madonie-Nebrodi), delimitata a sud da fronti di accavallamento obliqui, ed una vasta area meridionale strutturalmente depressa, il Bacino di Caltanissetta, collegata verso l’esterno all’Avanfossa di Gela. Nella zona assiale, le unità della catena raggiungono le massime elevazioni, mentre

nell'area del Bacino di Caltanissetta sono sepolte sotto diverse migliaia di metri di coperture terrigene "tardo-orogene" discordanti al tetto delle unità alloctone. Queste sono costituite dalla formazione Terravecchia, d'età Tortoniano superiore, e dal gruppo Gessoso-solfifero d'età messiniana ricoperta dai Trubi del Pliocene inferiore. Nell'insieme queste formazioni suturano gran parte dei contatti di ricoprimento tra le diverse unità alloctone e sono state, a loro volta, coinvolte dalle strutture a thrust più recenti sviluppatesi in fase collisionale.

La surrezione finale della zona assiale della catena è stata registrata, a partire dal Pliocene medio, dalla deposizione all'interno del Bacino di Caltanissetta di cunei clastici alimentati dalla zona di culminazione e progradanti verso sud, in direzione dell'avanfossa. Successioni clastiche via via più recenti si riconoscono quindi dal margine del bacino (Allineamento Centuripe-Leonforte ed Enna) fino alle zone dell'Avanfossa Gela-Catania, dove le successioni del Pleistocene inferiore-medio suturano il fronte della catena.

Un altro effetto della collisione è costituito dall'attivazione di strutture trascorrenti lungo tutta l'area di catena a partire dal Pliocene (Finetti et al. 1996). Queste hanno determinato la rotazione di alcuni sovrascorrimenti e pieghe nel settore nord-orientale del Foglio "Caltanissetta-Enna" e sono da imputare all'azione di punzonamento da parte di alti strutturali ubicati in profondità nel blocco pelagiano in sottoscorrimento al di sotto della catena e del Bacino di Caltanissetta. L'evoluzione neotettonica finale del sistema orogenico siciliano è stata caratterizzata da una generale tendenza al sollevamento, sia dell'area assiale che delle aree antistanti depresse tettonicamente. Gran parte dell'energia del rilievo attuale è da imputare all'approfondimento del reticolo fluviale in seguito al sollevamento che ha interessato l'area a partire dal Pleistocene medio, testimoniato da diversi ordini di terrazzi fluviali riconosciuti lungo i principali corsi d'acqua. Nel complesso la dinamica recente è responsabile di gran parte dell'instabilità dei versanti della regione e dei processi erosivi in atto, i cui effetti sono amplificati sia dai fattori litologici spesso scadenti, per l'elevata deformazione dei terreni, che dall'azione dell'uomo, il cui impatto sull'ambiente è stato in molti casi fortemente negativo.

## **10 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE**

I dati geologici di superficie, unitamente alle informazioni stratigrafiche derivanti dalle bibliografie e da lavori precedenti, permettono di individuare nell'area in esame dei litotipi con differente comportamento idrogeologico (Carbone et al. 2010). Sulla base delle caratteristiche di permeabilità e dei rapporti stratigrafico-strutturali tra i litotipi presenti si possono distinguere acquiferi, sede di corpi idrici produttivi (Ferrara 1998), e terreni a permeabilità bassa o molto bassa, privi di corpi idrici significativi che localmente determinano effetti di confinamento sugli acquiferi limitrofi (Ferrara 1999; Carbone et al. 2010).

### **10.1 Complessi idrogeologici**

In relazione alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche delle successioni sedimentarie affioranti nell'area di studio, è possibile distinguere differenti complessi idrogeologici con diverso significato ai fini della distribuzione delle risorse idriche sotterranee (Carbone et al. 2010):

- Unità della Catena Appenninico-Maghrebide : sono rappresentate da sedimenti argillosi o a componente argillosa prevalente; presentano una permeabilità generalmente molto bassa ( $10^{-8} < k < 10^{-9}$  m/s) e costituiscono quindi il substrato impermeabile delle vulcaniti etnee e dei depositi evaporitici messiniani; i termini del Gruppo della Gessoso-Solfifera presentano una *permeabilità per fessurazione e porosità da elevata a medio-bassa*, ma rappresentano degli acquiferi di interesse a causa della ridotta estensione areale dei depositi.

- Depositi alluvionali: sono formati da limi argillosi, sabbie più o meno limose e ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi; mostrano una *permeabilità per porosità da alta a media* ( $10^{-2} < k < 10^{-5}$  m/s), variabile in funzione della granulometria prevalente dei depositi, e pertanto costituiscono localmente degli acquiferi di apprezzabile interesse idrogeologico.

## ***10.2 Strutture e idrodinamica degli acquiferi.***

La principale struttura idrogeologica della Sicilia centro-orientale è rappresentata, senza dubbio, dalla Piana di Catania e dai depositi alluvionali e marini che la riempiono (Carbone et al. 2010; Carbone 2011). Tale idrostruttura è caratterizzata, per buona parte del suo sviluppo, dalla presenza di una falda superficiale contenuta all'interno dei depositi alluvionali grossolani dei Fiumi Dittaino e Simeto (Ferrara 1999; Carbone et al. 2010). L'andamento della superficie piezometrica mostra, molto chiaramente, la presenza di un importante asse di drenaggio disposto parallelamente alla direzione secondo cui sono disposti i depositi alluvionali più permeabili (Ferrara 1999), grossomodo corrispondente agli antichi alvei dei principali corsi d'acqua dell'area. In prossimità della costa, inoltre, è presente una ulteriore falda profonda semiconfinata, contenuta all'interno dei depositi grossolani che caratterizzano tale settore (Carbone et al. 2010).

La falda dell'acquifero alluvionale si posiziona ad una profondità variabile tra 2 e 30 m dall'attuale p.c., mostrando quindi una forte disomogeneità probabilmente connessa alle importanti variazioni granulometriche, sedimentologiche e idrogeologiche dei depositi terrigeni costituenti l'acquifero (Ferrara 1999). La ricostruzione morfologica dell'andamento del substrato argilloso al di sotto dei depositi grossolani, mostra chiaramente un andamento molto articolato del tetto delle argille pleistoceniche, dal quale sono comunque riconoscibili i principali assi di drenaggio orientati circa N-S (Carbone et al. 2010).

La ricostruzione dello spessore dell'acquifero, evidenzia il graduale aumento di potenza che si ha muovendosi verso il depocentro della piana, fino ad un massimo di circa 80 m., ciò è dovuto alla presenza nel sottosuolo di importanti spessori di terreni prevalentemente sabbioso-ghiaiosi. L'alimentazione dell'acquifero sotterraneo deriva, in buona sostanza, dagli apporti idrici, sia superficiali che sotterranei, provenienti dalle depressioni vallive incise dai principali corsi d'acqua presenti nell'area (Ferrara 1999), come quelle dei Fiumi Dittaino e Simeto. (Ferrara 1998; Ferrara & Pappalardo 2004).

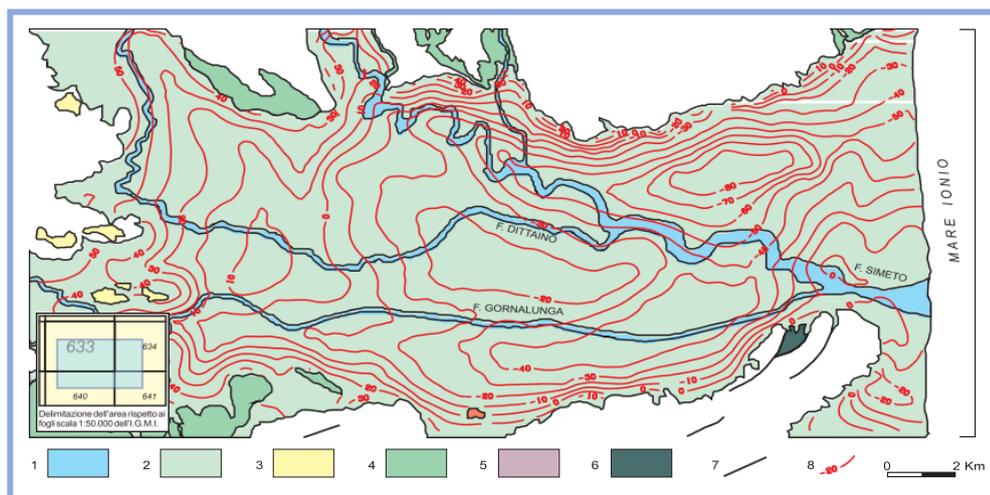
### **10.3 Deflusso idrico sotterraneo.**

Lo studio idrogeologico condotto ha permesso di definire le caratteristiche generali dell'area e di individuare, per grandi linee, il regime di deflusso idrico sotterraneo.

I corpi idrogeologici più permeabili rappresentano, degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione latero-verticale dei depositi. Ad essi si aggiungono, alcuni corpi idrogeologici poco permeabili che, nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati come degli acquiclude, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei principali.

Gli acquiferi alluvionali, rappresentati da depositi fortemente eterogenei dal punto di vista granulometrico, costituiscono dei sistemi idrogeologici particolarmente articolati e complessi. Sono sede di corpi idrici sotterranei in parte separati ed in parte interconnessi, con caratteristiche di falde libere o semiconfinate, in particolare lungo il fondovalle del F. Dittaino, tale sistema poggia sui terreni argilloso-marnosi e arenaceo-marnosi della Catena Appenninico-Maghrebide. Tale acquifero risulta alimentato, in buona sostanza, dagli apporti superficiali e profondi dei principali corsi d'acqua dell'area, anche se non mancano scambi idrici sotterranei con le falde dei principali acquiferi presenti. L'acquifero alluvionale del F. Dittaino mostra, ovviamente, un deflusso che ricalca fortemente l'andamento morfologico dell'area. Tale condizione è dettata, principalmente, dalle forti variazioni granulometriche dei depositi costituenti l'acquifero e, quindi, dalle presenza di importanti passaggi grossolani all'interno dei sedimenti alluvionali del fondovalle. Questi ultimi corrispondono agli antichi canali fluviali del suddetto corso d'acqua e rappresentano, ovviamente, degli assi di drenaggio preferenziale per le acque di falda. La superficie piezometrica si colloca generalmente a profondità variabili tra 3 e 9 m circa dal p.c., in relazione a quanto esposto, è evidente come l'elevata permeabilità media dei depositi e la relativa profondità della falda impediscano, di fatto, la formazione di sorgenti o punti d'acqua di particolare interesse. Le acque di falda, pertanto, tendono a defluire verso la Piana di Catania e, in generale, lungo il fondovalle del F. Dittaino.

Gli ulteriori acquiferi alluvionali presenti nei settori di studio sono quelli relativi ai depositi terrazzati presenti ai margini del fondovalle del F. Dittaino.



*Morfologia del substrato impermeabile dell'acquifero alluvionale. 1) Depositi alluvionali attuali; 2) Depositi alluvionali recenti e terrazzati; 3) Depositi sabbioso-ghiaiosi marini; 4) Sedimenti prevalentemente argillosi; 5) Complesso vulcanico-calcareo dell'Altopiano Ibleo; 6) Formazioni carbonatiche della serie iblea; 7) Faglia; 8) Isoipsa del tetto del substrato e relativa quota assoluta (da Ferrara, 1999, modificata)*

Tali acquiferi poggiano sempre sulle successioni marine della Catena Appenninico-Maghrebide ma, al contrario dei precedenti, sono caratterizzate da falde di modesta importanza e a carattere essenzialmente stagionale. Le profondità della superficie piezometrica sono estremamente variabili, tra i 5 e 10 m circa.

Relativamente ai litotipi del substrato marino infra-cenozoico, si sottolinea l'assenza di falde o corpi idrici importanti, possono essere considerate degli acquiclude in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti, come quello dei depositi alluvionali i del F. Dittaino.

I litotipi arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi del substrato infra-cenozoico, al contrario, rappresentano degli acquiferi di scarsa rilevanza dal punto di vista idrogeologico, sia per la bassa trasmissività dei terreni che per la ridotta estensione areale e verticale degli stessi. In generale, sono sede di falde sotterranee con carattere prevalentemente stagionale, contraddistinte da deflusso idrico sotterraneo frazionato e fortemente eterogeneo.

## **11 STUDIO DELLA SISMICITA'**

### **11.1 Cenni di sismicità e zone sismogenetiche**

L'area oggetto di studio è localizzata nella Sicilia centro orientale, una zona ad alta pericolosità sismica. Per stimare la pericolosità sismica dell'area sono state utilizzate metodologie classiche, come ad esempio quella di Cornell (Slejko et al. 1998). 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 al. 1994) che utilizzano le intensità osservate al sito per il calcolo della pericolosità sismica. È stata quindi eseguita l'analisi di dettaglio dei terremoti che hanno interessato i principali centri abitati localizzati all'interno dell'area in studio al fine di ricostruirne la storia sismica.

## **12 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 Sforzo 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 T<sup>1</sup>) 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;

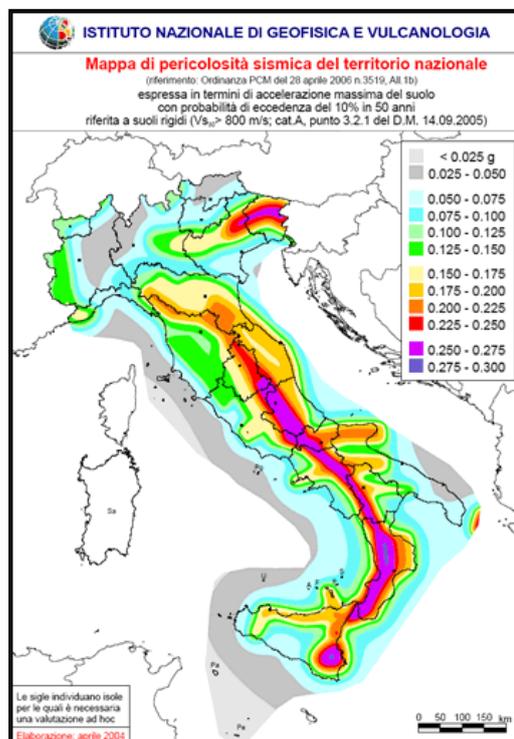
$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_{c*}$  = 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.

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 § 7.1.1.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, 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. 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.



*Mappa della pericolosità sismica del territorio*

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

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 180 m/s e 360 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 100 e 180 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>

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):

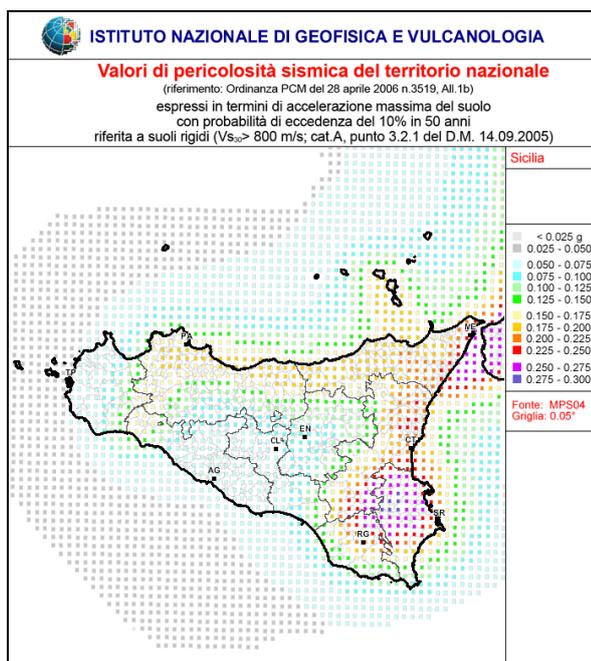
<i>CATEGORIA TOPOGRAFICA</i>	<i>UBICAZIONE DELL'OPERA</i>	<i>S<sub>T</sub></i>
<i>T1</i>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1,0
<i>T2</i>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
<i>T3</i>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla 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- (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 sforo *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 sforo *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 (1998), la mappa di pericolosità sismica MPS04 aggiornata alla classificazione sismica regionale del 15/01/2004 ed utilizzata ancora dalla OPCM 3519/2006 fino alla recente NTC 2018.



**Fig. 3.2.3:** Valori di pericolosità sismica della Sicilia Orientale (stralcio AH. 1B OPCM n°3519 del 28/04/2006).

Così come previsto dal § 6.2.2 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 dello scrivente, il modello geologico del sito in studio, che è relazionabile alla categoria di profilo stratigrafico *del suolo di fondazione dove dovranno realizzarsi le opere riscontrato a seguito delle indagini è tale che la formazione indagata classifica il  $V_{Seq}$  variabile da 258,32 a 396,89 m/sec e pertanto ricadono tra due categorie di riferimento "B" e "C"*:

**"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.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (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 normale	$\geq 50$
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 e 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 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 $C_U$	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:

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

### **13 COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI**

#### **13.1 Caratterizzazione sismica del sottosuolo prospezione 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.

### **13.2 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**

<i>Consistenza del terreno</i>	<i>Bassa</i>	<i>Media</i>	<i>Medio-Elevata</i>	<i>Elevata</i>
Velocità delle onde di taglio Vs	<180 m/s	180-300	300-600	>600
Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	<526,00	526,00-1800,30	1800,30-7143,10	>7143,10
Modulo di Volume (Kg/cmq)	<1896,20	1896,20-26403,90	26403,9-36938,6	>36938,60
Modulo di elasticità dinamico (Kg/cmq)	<1444,44	1444,44-5280,80	5280,80-21107,8	>21107,80
Modulo di elasticità statico (Kg/cmq)	<37,38	37,38-282,50	282,50-2452,80	>2452,80

**tabella B**

MASW n.	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria sottosuolo (D.M. 17.01.18)	V <sub>s</sub> (m/s) 0-2,00 m	V <sub>s</sub> (m/s) 2,01-5,00 m	V <sub>s</sub> (m/s) 5,01-8,00 m
1	311,89	C	204	188	224
2	396,89	B	204	250	339
3	350,77	C	191	256	246
4	292,68	C	159	191	241
5	290,59	C	153	198	223
6	311,89	C	195	249	203
7	307,10	C	131	169	257
8	258,32	C	228	213	174
9	280,16	C	152	176	208
10	290,28	C	218	169	200
11	265,39	C	154	196	189
12	339,87	C	221	308	321
13	315,60	C	186	251	228

14	353,84	C	152	222	274
15	367,75	B	175	253	314
16	336,90	C	212	188	235
17	304,30	C	149	204	213
18	386,87	B	272	343	278
19	279,41	C	143	169	198
20	318,07	C	175	168	217

*Il suolo di fondazione dove dovranno realizzarsi le opere riscontato a seguito delle indagini è tale che la formazione indagata classifica il  $V_{seq}$  variabile da 258,32 a 396,89 m/sec e pertanto esso ricade fondamentalmente tra due categorie di riferimento "B" e "C":*

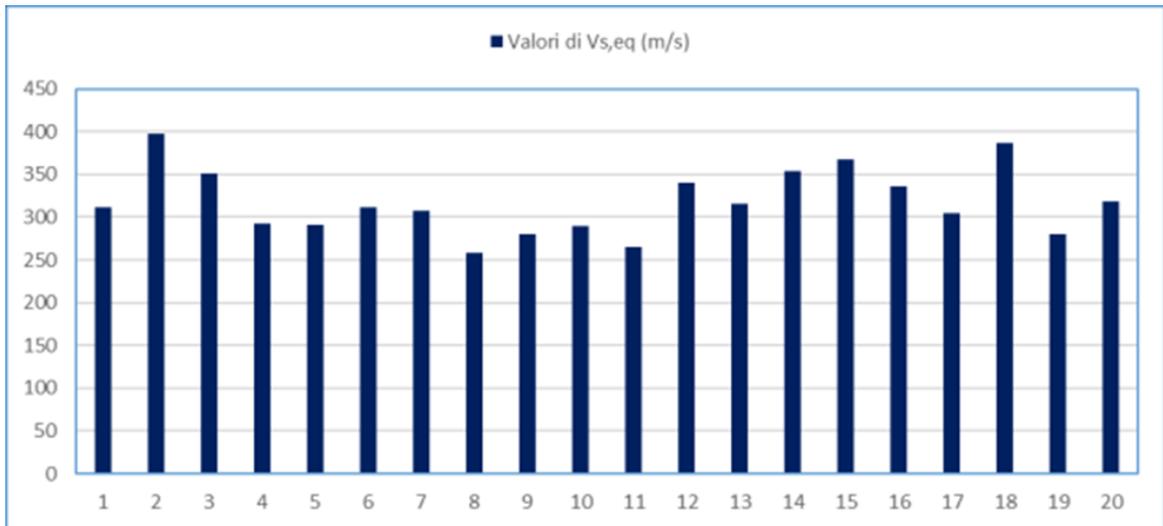
***"B" Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi-stenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.***

***"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 del-le 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 rappresentati in tabella è emerso che i terreni di fondazione delle aree in cui dovranno essere collocati gli impianti ricadono per circa il 15% dei terreni indagati nella Categoria B e il 85 % dei terreni indagati nella categoria C di cui alle N.T.C. 2018, presentano da 0 a 5 metri valori di consistenza molto bassi a causa della presenza superficiale di formazione di natura limosa-argillosa.

I valori del parametro  $V_{s,eq}$  sono tendenzialmente bassi tante che 85 % dei terreni indagati ricade nella categoria C.

A partire da 5-8 m di profondità, si registra nella gran parte dei casi un significativo incremento dei valori di velocità cui corrispondono migliori caratteristiche di compattezza e rigidezza del substrato inalterato.

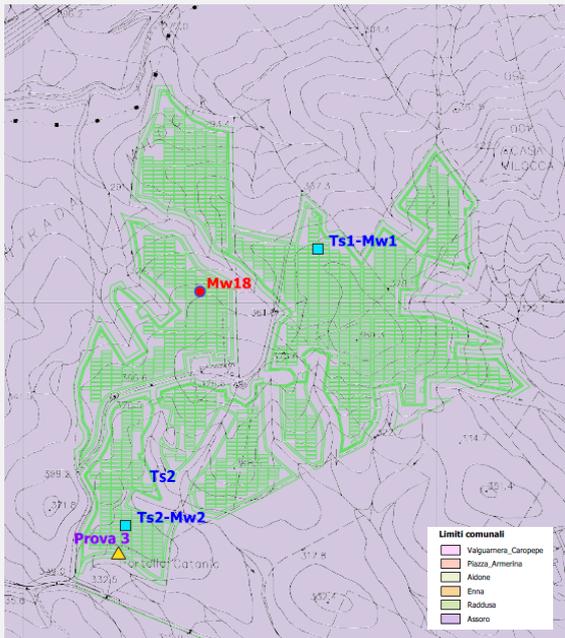
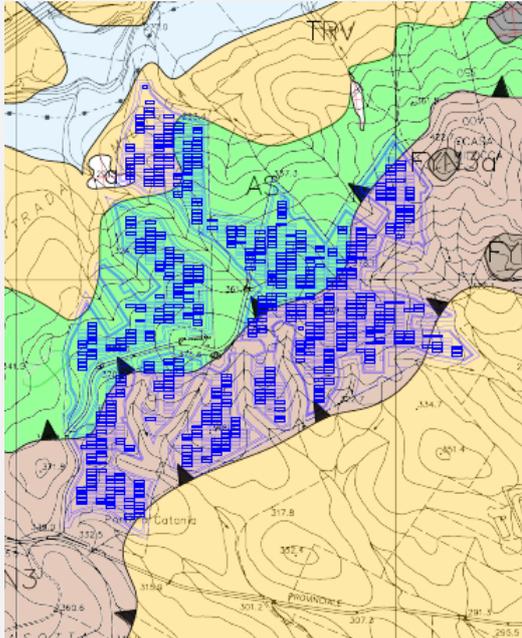


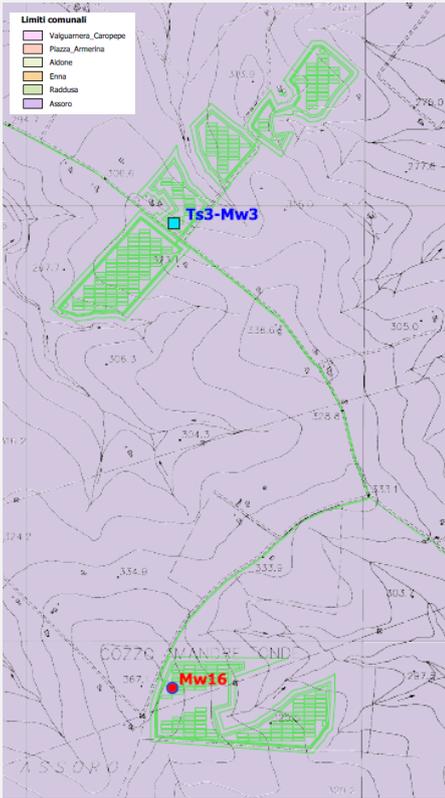
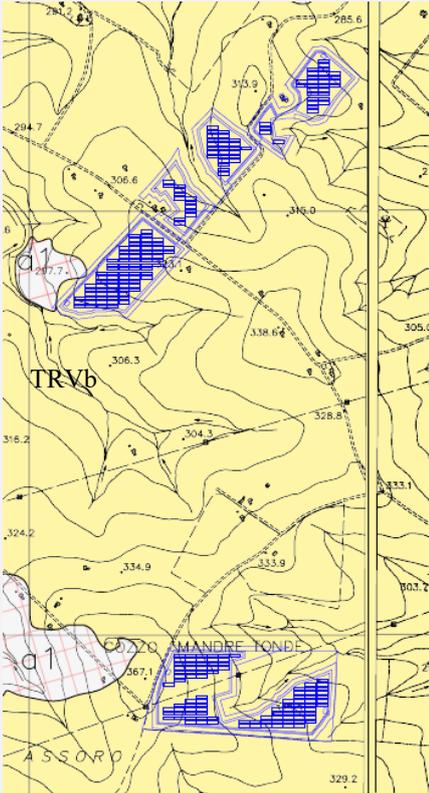
### ***13.3 Prospezione sismica tomografica***

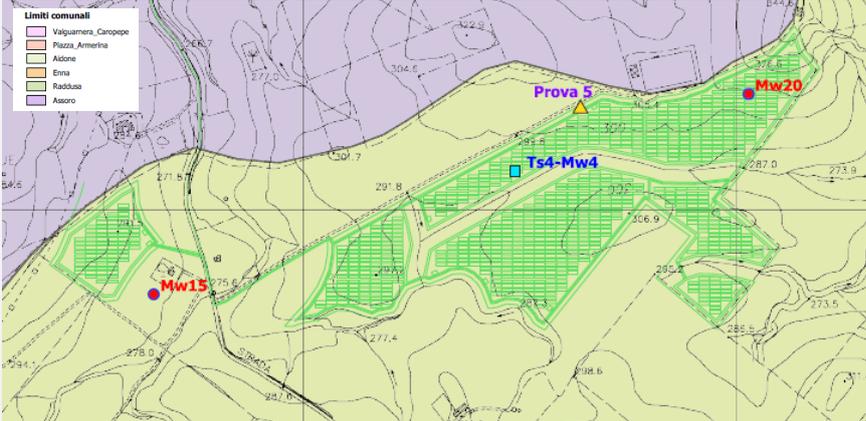
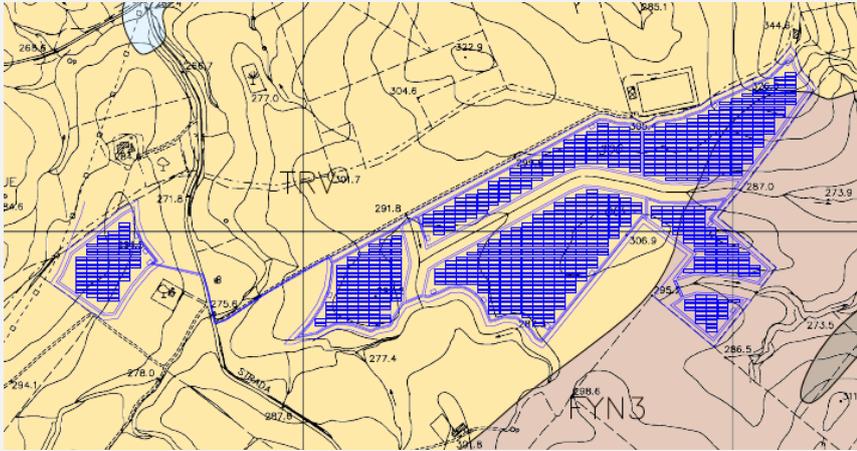
Nei terreni interessati dall'intervento per ricostruire la geometria e le caratteristiche fisiche ( $V_p$ ) è stata eseguita una tomografia sismica assiale di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come "immagine" bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

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:

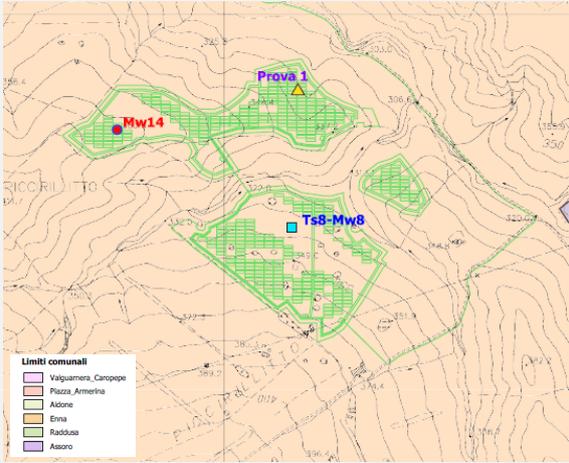
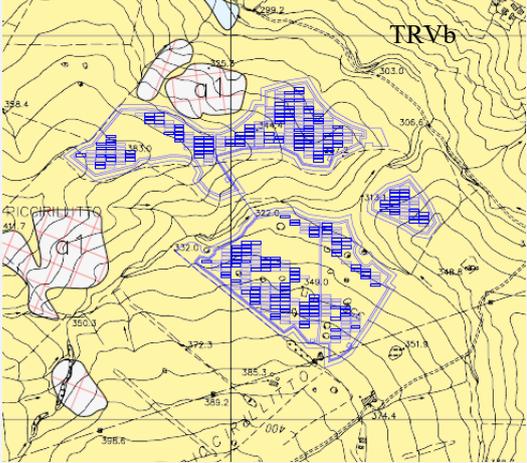
INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: blue;">■</span> SPT <span style="color: yellow;">▲</span></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>stralcio carta geologica</p> </div> </div>									
<b>Ts1</b>	1	400	0,50 – 1,30	Limi- argillosi	1750	17-20	32		
	2	650	4,00 – 6,00	Argille limose a consistenza media bassa	1900	18-20	40		
	3	1300		Argille a consistenza media	1950	19-21	60		
<b>Ts2</b>	1	450	0,30 – 0,60	Limi- argillosi	1750	17-20	32		
	2	800	2,50 – 3,50	Argille limose mediamente consistenti	1900	18-20	40		
	3	1350		Argille a consistenza media-elevata	1950	20-23	62		
<b>SPT3</b>	1		0,00 – 0,60	Limoso argilloso	1800	18-20	39		
	2		0,60 – 4,00	Limi- argillosi	1720	17-20	29		

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: blue;">■</span></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>stralcio carta geologica</p> </div> </div>									
<b>Ts3</b>	1	420	0,60 – 1,30	Limi argillosi	1750	17-19	32		
	2	800	2,00 – 5,50	Argille limose a consistenza media	1850	18-20	45		
	3	1450		Argille a consistenza elevata	1950	23-25	66		

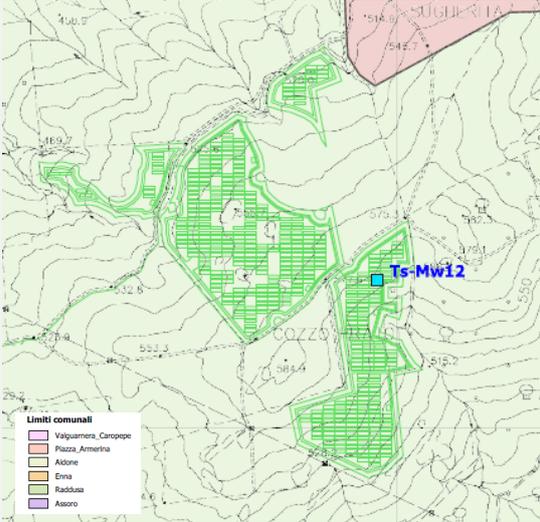
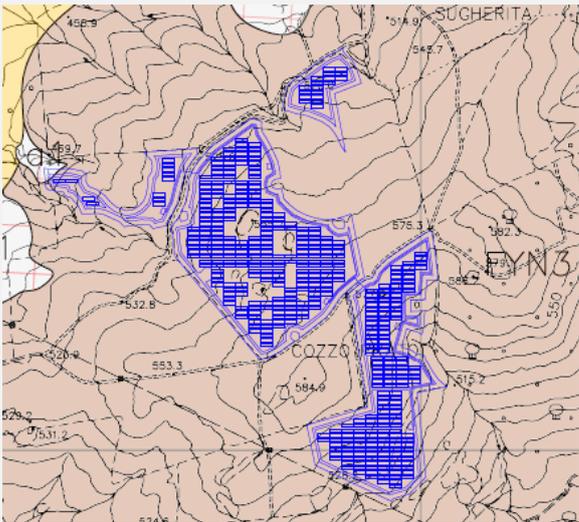
INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
 <p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: cyan;">■</span> SPT <span style="color: blue;">▲</span></p>  <p>stralcio carta geologica</p>									
<b>Ts4</b>	1	390	0,60 – 1,80	Limi argillosi	1750	18-20	32		
	2	730	2,00 – 3,00	Argille limose mediamente consistenti	1950	20-21	58		
	3	1400		Argille a consistenza elevata	1950	23-25	66		
<b>SPT5</b>	1	strato	0,00 – 0,80	Limoso argilloso	1770	18-20	32		
	2	strato	0,80 – 1,80	Limi- argillosi consistenti	2000	20-25	75		
	3	strato	1,80 – 4,00	Limi- argillosi	1730	18-20	28		

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: blue;">■</span> SPT <span style="color: blue;">▲</span> <span style="margin-left: 200px;">stralcio carta geologica</span></p>									
<b>Ts5</b>	1	420	1,00 – 1,50	Limi- argillosi	1750	17-19	34		
	2	760	3,00 – 3,50	Argille limose mediamente consistenti	1850	18-20	45		
	3	1400		Argille a consistenza elevata	1950	23-25	66		
<b>Ts6</b>	1	400	0,20 – 0,80	Limi- argillosi	1750	17-19	32		
	2	680	1,50 – 3,00	Argille limose a consistenza media bassa	1800	18-20	40		
	3	1100		Argille limose a consistenza media	1850	18-20	45		
<b>Ts13</b>	1	480	0,30 – 1,00	Limi- argillosi moderatamente consistenti	1700	17-18	26		
	2	750	2,00 – 3,00	Argille limose mediamente consistenti	1850	18-20	45		
	3	1200		Argille a consistenza medio - elevata	1900	20-21	60		
<b>SPT2</b>	1	strato	0,00 – 0,60	Limoso argilloso	1760	17-20	34		
	2	strato	0,60 – 4,00	Limi- argillosi	1770	18-21	36		

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<b>Ts7</b>	1	420	1,00 – 1,50	Limi- argillosi	1750	17-19	34		
	2	700	2,50 – 3,50	Argille limose mediamente consistenti	1850	18-20	45		
	3	1350		Argille a consistenza medio-elevata	1950	20-23	62		
<b>SPT4</b>	1	strato	0,00 – 1,00	Limoso argilloso	1760	18-20	34		
	2	strato	1,00 – 4,00	Limi- argillosi	2000	20-25	77		

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: blue;">■</span> <span style="color: yellow;">▲</span> SPT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>stralcio carta geologica</p> </div> </div>									
<b>Ts8</b>	1	400	1,00 – 1,60	Limi argillosi	1750	17-19	34		
	2	700	3,00 – 4,00	Argille limose mediamente consistenti	1850	18-20	45		
	3	1250		Argille a consistenza media-elevata	1950	20-23	62		
<b>SPT1</b>	1	strato	0,00 – 0,80	Limoso argilloso	1950	20-23	64		
	2	strato	0,80 – 4,00	Limi- argillosi	1750	18-20	33		

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa			
				<p>ubicazione tomografia sismica <span style="color: blue;">■</span> SPT <span style="color: orange;">▲</span></p> <p>stralcio carta geologica</p>						
<b>Ts9</b>	1	400	0,20 – 0,80	Limi- argillosi	1750	17-19	34			
	2	800	2,80 – 3,50	Argille mediamente consistenti	1850	18-20	45			
	3	1400		Argille a consistenza elevata	1950	23-25	66			
<b>Ts10</b>	1	400	0,40 – 1,30	Limi- argillosi	1750	17-19	34			
	2	760	2,80 – 3,50	Argille mediamente consistenti	1850	18-20	45			
	3	1350		Argille a consistenza media-elevata	1950	20-23	62			
<b>Ts11</b>	1	480	1,00 – 1,90	Limi- argillosi	1750	17-19	34			
	2	750	2,00 – 3,00	Argille mediamente consistenti	1850	18-20	45			
	3	1200		Argille a consistenza media-elevata	1950	20-23	62			
<b>SPT6</b>	1	strato	0,00 – 0,80	Limoso argilloso	2030	23-25	86			
	2	strato	0,80 – 5,00	Limi argillosi mediamente consistenti	1800	18-20	36			

INDAGINI	Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	Peso in Volume $\gamma$ Kg/mc	Angolo di attrito $\phi$	Coesione cu kPa		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ubicazione tomografia sismica</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>stralcio carta geologica</p> </div> </div>									
<b>Ts12</b>	1	550	1,50 – 2,00	Limi argillosi moderatamente consistenti	1750	17-20	32		
	2	750	3,50 – 4,00	Argille mediamente consistenti	1900	18-20	40		
	3	1200		Argille a consistenza medio-elevata	1950	20-23	62		

*Si ritiene di scartare i valori delle SPT molto elevati, non congruenti alla tipologia di formazione e in contrasto con i dati rilevati dalla tomografia sismica.*

## **14 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 formazioni geologiche intercettate nelle aree di progetto. Nella precedente tabella sono riportati in sintesi le caratteristiche litotecniche e fisico-meccaniche delle formazioni geologiche interessate all'installazione dell'impianto fotovoltaico.

Le principali caratteristiche 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.

### **14.1 Unità di substrato**

Nel seguito, si riporta una dettagliata descrizione di tutte le unità litotecniche riferibili alle sequenze sedimentarie 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 prove di laboratorio, sulle risultanze di prove SPT e SCPT, nonché sulle informazioni bibliografiche riportate in letteratura.

#### 14.1.1 *Flysch Numidico (FYN)*

La presente unità, a comportamento essenzialmente coesivo, è formata da marne argillose di colore nerastro (FYN), a struttura prevalentemente indistinta, passanti verso l'alto ad argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro, a struttura scagliosa o indistinta, 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 .....  $\gamma = 18.0 \div 19.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata .....  $c_u = 60 \div 160 \text{ kPa}$
- Coesione efficace .....  $c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 19 \div 22 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità .....  $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

#### 14.1.2 *Argille scagliose (AS)*

Sono costituite, prevalentemente, da argille di colore variabile dal grigio al verde, al rosso vinaccio con struttura fittamente fogliettata, stratificazione indistinta e giacitura molto caotica a causa dell'intensa attività tettonica (AS).

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

- Peso per unità di volume .....  $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata .....  $c_u = 60 \div 80 \text{ kPa}$
- ..... Coesione efficace .....  $c' = 12 \div 22 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 20 \div 22 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità .....  $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

#### 14.1.3 *Formazione Terravecchia (TRV)*

Questa unità, a comportamento coesivo, è formata da argille marnose e marne argillose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio verdastro (TRV), a struttura scagliosa o sottilmente , con

frequenti livelli di sabbie limose grigie e giallastre, passaggi di marne grigie e locali lenti di conglomerati poligenici a clasti eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati.

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 non drenata .....  $c_u = 80 \div 100 \text{ kPa}$
- ..... Coesione efficace .....  $c' = 15 \div 25 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 20 \div 25 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità .....  $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

Una porzione dell'unità sempre a comportamento coesivo, è formata da una matrice argillosa con tessitura da brecciata a cataclastica, contenente frammenti angolosi di argille e marne (TRVb).

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 non drenata .....  $c_u = 60 \div 80 \text{ kPa}$
- ..... Coesione efficace .....  $c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 20 \div 23 \text{ C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità .....  $k = 10^{-10} \div 10^{-7} \text{ m/s}$

## **14.2 Unità di copertura**

Di seguono vengono descritte, nel dettaglio, tutte le unità litotecniche riferibili ai depositi continentali di copertura, compresi i parametri fisico-meccanici più rappresentativi dal punto di vista applicativo.

### **14.2.1 Depositi alluvionali attuali (ba)**

La parte più grossolana, a comportamento marcatamente granulare, è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, talora con blocchi angolosi, con

matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Si rinvencono inoltre sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. I parametri fisicomeccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dell'unità possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume .....  $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa .....  $D_r = 30 \div 50 \quad \%$
- Coesione efficace .....  $c' = 0 \div 5 \quad \text{kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 24 \div 30 \quad \text{C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità...  $k = 10^{-4} \div 10^{-2} \text{ m/s}$

La porzione più fine invece, a comportamento essenzialmente coesivo, è costituita da argille limose e limi argillosi di colore grigio e nocciola, a struttura indistinta o laminata, con locali passaggi sabbioso-limosi grigiastri, rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e locali livelli di torbe e terreni organici nerastrati. I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio di questa porzione possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume .....  $\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata .....  $c_u = 30 \div 70 \quad \text{kPa}$
- Coesione efficace .....  $c' = 5 \div 10 \quad \text{kPa}$
- Angolo di attrito efficace .....  $\phi = 19 \div 22 \quad \text{C}^\circ$
- Coefficiente di permeabilità.....  $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$

## **15 CONCLUSIONI**

L'area oggetto di studio ricade nella porzione centro-orientale della Sicilia, precisamente si estende, tra il Fiume Dittaino a NORD e il fiume Gornalunga a SUD, tra Valguarnera Caropepe ad OVEST e Libertinia ad EST, e ricade all'interno del bacino idrografico del Fiume Simeto, il progetto interessa terreni situati nei comuni di Assoro, Aidone e Enna (provincia di Enna) e Raddusa (provincia di Catania).

Dal punto di vista *morfologico*, l'area in studio si sviluppa tra quota 300 m s.l.m. e quota 600 m s.l.m., è caratterizzata da un paesaggio collinare definito da una notevole varietà di forme fondamentalmente legate alle differenti litologie affioranti, con versanti poco acclivi ed estesi, interrotti da dorsali montagnose in corrispondenza di termini litologici a comportamento pseudo-lapideo.

Dal punto di vista *idrografico* la vasta area in esame è caratterizzata dalla presenza di una evidente e chiara rete di deflusso delle acque meteoriche, ciò è giustificato dalla tipologia dei terreni affioranti. Il reticolo fluviale locale è rappresentato dal il Fiume Dittaino, affluente in destra del Fiume Simeto, entrambi rappresentano le principali linee dei deflusso idrico superficiale.

Dal punto di vista *idrogeologico* i corpi idrogeologici più permeabili rappresentano degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione latero-verticale dei depositi, si riscontrano *acquiferi alluvionali* con caratteristiche di falde libere o semiconfinite, con superficie piezometrica a profondità comprese tra 3 e 9 m circa dal p.c.; *depositi terrazzati*, presenti ai margini del fondovalle del F. Dittaino, sede di falde di modesta importanza e a carattere essenzialmente stagionale con superficie piezometrica posta tra i 5 e 10 m circa.

Dal punto di vista *geotecnico* lo studio è stato elaborato in ottemperanza alle direttive sismiche più recenti, aggiornato alle nuove NTC 2018. Le indagini hanno permesso di ricostruire la struttura del sottosuolo per valutare le problematiche a cui sono soggette le opere da realizzare.

Il sottosuolo presenta, per come si è desunto dalle prove sismiche MASW, un grado di rigidità medio-basso sotto il profilo delle velocità sismiche è riconducibile mediamente alla **Categoria B e C** di cui al D.M. 17/01/2018.

- *Il suolo di fondazione dove dovranno realizzarsi le opere riscontrato a seguito delle indagini è tale che la formazione indagata classifica il  $V_{Seq}$  variabile da 258,32 a 396,89 m/sec e pertanto esso ricade fundamentalmente tra due categorie di riferimento "B" e "C":*

*"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 indicate per la collocazione degli impianti, ricadono per il 15% nella Categoria B e il 85% nella categoria C di cui alle N.T.C. 2018.*

*Per quanto sopra detto e considerate le caratteristiche fisico meccaniche dei terreni affioranti nelle aree esaminate, si può asserire che le opere possono essere pienamente realizzate.*

*Il Geologo  
Dott.ssa Anna Rosaria Marletta  
ORGS n.1644*

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (1990) - *Carta geologica della Sicilia centro-orientale (scala 1:50.000)*. S.EL.CA., Firenze. Accordi B. & Francaviglia A. (1960) - *La geologia del Bacino del Simeto*. Tecnica Agricola, Anno XIII, 3.
- Accordi B. (1958) - *Relazione sui rilevamenti geologici del 1956 nei monti Nebroidi (Sicilia Settentrionale)*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, 79, 929-949.
- Amodio-Morelli L., Bonari G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippoliti F., Liguori V., Lorenzini S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin Lorenzini E. & Zuppata A. (1976) - *L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide*. Memorie della Società Geologica Italiana, 17, 1-60.
- Amore C. & Giuffrida E. (1985) - *L'influenza dell'interrimento dei bacini artificiali del F. Simeto sul litorale del Golfo di Catania*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 103, 731-753
- Amore C., Amore E., Cantone G., Cormaci M., Foti E., Fumari G., Geremia F., Giuffrida E., Indelicato S., Librando V., Messina A., Privitera S. & Coop. Marenostrum s.r.l. (1999) - *Aspetti geomorfologici, idraulico-marittimi e di tutela ambientale della fascia costiera a sud di Catania*. Comune di Catania. Settore Pian. Urb. Patto Territoriale per l'occupazione Catania Sud.
- Antonoli F., Ferranti L., Lambeck K., Kershaw S., Verrubbi V. & Dai Pra G. (2006) - *Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift-rates in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea)*. Tectonophysics, 422, 23-40.
- APAT (2007) - *Rapporto sulle frane in Italia: il Progetto IFFI. Metodologia, risultati e rapporti regionali*. Rapporti APAT, 78, 681 pp.
- Argnani A. & Bonazzi C. (2005) - *Alta Escarpment fault zone offshore eastern Sicily: Pliocene-Quaternary tectonic evolution based on new multichannel seismic data*. Tectonics, 24, doi: 10.1029/2004TC001656.
- Atkinson J. (1997) - *Geotecnica. Meccanica delle terre e fondazioni*. McGraw-Hill, Milano.
- Azzaro R. & Barbano M.S. (2000) - *Analysis of seismicity of Southeastern Sicily: proposal of a tectonic interpretation*. Annali di Geofisica, 43, 1-18.
- Azzaro R. & Barbano M.S., Moroni A., Mucciarelli M. & Stucchi M. (2000) - *The seismic history of Catania*. Annals of Seismology, 3, 235-252.
- Azzaro R. (1999) - *Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics*. Journal of Geodynamics, 28, 193-213.
- Balboni A., Brugner W. & Valdinucci A. (1958) - *Risultati preliminari dei rilevamenti effettuati nell'anno 1956 in Sicilia SE (Foglio 269 "Paternò")*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, 79, 417-425.
- Baratta M. (1901) - *I terremoti d'Italia*. Arnaldo Forni, Bologna.
- Barbano M.S. & Rigano R. (2001) - *Earthquake sources and seismic hazard in the southeastern Sicily*. Annali di Geofisica, 44, 723-738.
- Barbano M.S., Bottari A., Carveni P., Cosentino M., Federico B., Fonte G., Lo Giudice E., Lombardo G. & Pataè (1979) - *Macroseismic study of the Gulf of Patti earthquake in the geostructural frame of NE Sicily*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 98, 155-174.
- Barbano M.S., Rigano R., Cosentino M. & Lombardo G. (2001) - *Seismic history and hazard in some localities of south-eastern Sicily*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 42, 107-120.
- Battaglia M., Bonfanti P., Gattini V. & Rizzo S. (1994) - *Distribuzione degli elementi maggiori, minori ed in tracce nelle acque sotterranee della Piana Costiera di Catania (Sicilia SE)*. Acque Sotterranee, 46.
- Bello M., Franchino A. & Merlini S. (2000) - *Structural model of eastern Sicily*. Memorie della Società Geologica Italiana, 55, 61-70.

- Bianca M., Monaco C., Tortorici L. & Cernobori L. (1999) – *Quaternary normal faulting in south-eastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake*. *Geophysical Journal International*, 139, 370-394.
- Bianchi F., Carbone S., Grasso M., Invernizzi G., Lentini F., Longaretti G., Merlini S. & Monstardini F. (1987) – *Sicilia orientale. profilo geologico Bebrodi-Jblei*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 38, 429-458.
- Bonardi G., Celio G., Perrone V., Tortorici L., Turco E. & Zuppetta A. (1982) – *The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani arc in a semiquantitative palynospastic restoration*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 101, 259- 284.
- Bonardi G., Giunta G., Liguori V., Perrone V., Russo M. & Zuppetta A. (1976) – *Schema geologico dei Monti Peloritani*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 95, 49-74.
- Boschi E. & Guidoboni E. (2001) – *Catania: Terremoti e Lave dal mondo antico alla fine del Novecento*. INGV-SGA, Editrice Compositori, Bologna, 207-216.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. & Valensise G. (1995) – *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.e. al 1980*. INGV-S.G.A., Bologna, 970 pp., con database su CD-ROM.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise L. & Gasperini P. (2000) – *Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997*. *Annali di Geofisica*, 43, 609-868.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. & Gasperini P. (1997) – *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. INGV-SGA, Bologna.
- Bosellini A. (1991) – *Introduzione allo studio delle rocce carbonatiche*. Italo Bovolenta Editore, Ferrara.
- Bosellini A., Multi E. & Ricci Lucchi F. (1989) – *Rocce e successioni sedimentarie*. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.
- Bruschi A. & Crippa A. (2012) – *Prove geotecniche di laboratorio. Guida pratica per la soluzione delle problematiche interpretative e di previsione geotecnica*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Bruschi A. (2010) – *Prove geotecniche in situ. Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Budhu M. (2007) – *Soil mechanics and foundations (2nd edition)*. Wiley, New York.
- Burollet P.F., Mugniot G.M. & Sweeney P. (1978) – *The geology of the Pelagian Block: the margins and basins of southern Tunisia and Tripolitania*. In: Narin A., Kaness W. & Stelhi F.G. (eds): *The ocean basins and margins*. Plenum Press, New York, 331-339.
- Butler B.C.M. & Beli J.D. (1996) – *Lettura e interpretazione delle carte geologiche*. Zanichelli Editore, Bologna.
- Butler R.W.H., Grasso M., Gardiner W. & Sedgeley D. (1997) – *Depositional patterns and their tectonic controls within the Plio-Quaternary carbonate sands and muds of onshore and offshore SE Sicily (Italy)*. *Marine and Petroleum Geology*, 14, 879- 892.
- Carbone S. (2011) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50,000. Foglio 641 Augusta*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Carbone S., Grasso M. & Lentini F. (1982) – *Considerazioni sull'evoluzione geodinamica della Sicilia sud-orientale dal Cretacico al Quaternario*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 24, 362-386.
- Carbone S., Grasso M. & Lentini F. (2009) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50,000. Foglio 634 Catania*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Cornell C.A. (1968) – *Engineering seismic risk analysis*. *Bulletin of Seismological Society of America*, 58, 1583-1606.
- Cremonini G. (1994) – *Rilevamento geologico. Realizzazione e interpretazione delle carte geologiche*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Cruden D.M. & Varnes D.J. (1996) – *Landslide types and processes*. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (eds): *Landslide investigation and mitigation*. Special report 247, National Academy of Sciences. 36-75.

- Dall'Aglio M. & Quattrocchi F. (1991) – *Relazione preliminare sulle misure geochimiche effettuate dopo il terremoto del 13/12/1990 nella Sicilia orientale*. In: Boschi E. & Basili A. (eds): *Contributi allo studio del terremoto della Sicilia orientale del 13 Dicembre 1990*. I.N.G., Pubbl. n 537, 127-144, Roma.
- Di Geronimo I., Ghisetti F., Lentini F. & Vezzani L. (1978) – *Lineamenti neotettonici della Sicilia orientale*. Memorie della Società Geologica Italiana, 19, 543-549.
- Di Grande A., Grasso M., Lentini F. & Scamarda G. (1976) – *Facies e stratigrafia dei depositi pliocenici tra Leo/orte e Centuripe (Sicilia centro-orientale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 95, 1319-1345.
- DISS Working Group (2010) – *Database of individual Seismogenic Sources (DISS)*, version 3.1.1., disponibile in internet all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/index.html>.
- Dramis F. & Bisci C. (1997) – *Cartografia geomorfologica. Manuale di introduzione al rilevamento ed alla rappresentazione degli aspetti fisici del territorio*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Facciali E. & Paolucci R. (2005) – *Elementi di sismologia applicata all'ingegneria*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Ferrara V. & Marchese G. (1977) – *Ricerche idrogeologiche su alcuni acquiferi alluvionali della Sicilia orientale*. Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali di Catania, 9, 189-230.
- Ferrara V. & Pappalardo G. (2004) – *Intensive exploitation effects on the alluvial aquifer of the Catania plain (Eastern Sicily, Italy)*. Geofisica International, 43, 671-681.
- Ferrara V. (1998) – *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE)*.
- CNR-GNDCI, S.EL.CA., Firenze.
- Ferrara V. (1999) – *Presentazione della carta di vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE)*. Atti 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, 1, 1.99-1.104, CNR-GNDCI, Parma.
- Finetti I., Lentini F., Carbone S., Catalano S. & Del Ben A. (1996) – *Il Sistema Appennino Meridionale-Arco Calabro-Sicilia nel Mediterraneo centrale: studio geologico-geofisico*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 115, 529-559.
- Finetti I., Lentini F., Carbone S., Del Ben A., Di Stefano A., Forlin E., Guarnieri P., Pipan M. & Prizzon A. (2005) – *Geologica! outline of Sicily and lithospheric tectono-dynamics of its Tyrrhenian Margin from new CROP seismic data*. In: I.R. Finetti (ed), "CROP Deep Seismic exploration of the Mediterranean Region. Spec. Voi. Elsevier, chapter 15, 319-376.
- Francavilla A. (1960) – *Appunti sulla geologia del M. Iudica (Sicilia centro-orientale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 79, 197-206.
- Galadini F., Meletti C. & Vittori E. (2000) – *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Risultati del progetto 5.I.2. "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili"*, CNE Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 1-30.
- Gasparini C., Iannacone G., Scandone P. & Scarpa R. (1982) – *Seismotectonics of the Calabrian Arc*. Tectonophysics, 82, 267-286.
- Patacca E., Scandone P., Giunta G. & Liguori V. (1979) – *Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusane (southern Sicily)*. Geologica Romana, 18, 331-369.
- Postpischl D. (1985) – *Catalogo dei forti terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Priolo F. (1999) – *2-D spectral element simulation of destructive ground shaking in Catania (Italy)*. Journal of Seismology, 3, 289-308.
- Regione Sicilia (2005) – *Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana*. Assessorato Territorio e Ambiente, Dipartimento Territorio e Ambiente.
- Regione Sicilia (2002) – *Carte tematiche delle linee guida del Piano territoriale paesistico regionale*. Assessorato dei Beni culturali e dell'Identità siciliana.
- Regione Sicilia (2007) – *Piano di tutela delle acque della Sicilia*.
- Ricci Lucchi F. (1980) – *Sedimentologia*. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Bologna.

- Riga G. (2007) – *La liquefazione dei terreni. Analisi, valutazione, calcolo*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Rigo M. & Cortesini A. (1961) – *Contributo alla conoscenza strutturale della Sicilia sud-orientale*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, 81, 349-369.
- Scalia S. (1909) – *Il gruppo del Monte Iudica*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 28, 269-340.
- Scandone P., Giunta G. & Liguori V. (1974) – *The connection between the Apulia and Sahara continental margins in the Southern Apennines and in Sicily*. Memorie della Società Geologica Italiana, 13, 317-323.
- Scandone P., Patacca E., Rodoicic R., Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawason M., Cherzar H., Miller E., Mckenzie J. & Rossi S. (1981) – *Mesozoic and Cenozoic rocks from Malta Escarpment (Central Mediterranean)*. A.A.P.G. Bulletin, 65, 1299-1319. Scesi L., Papini M. & Gattinoni P. (2003) – *Geologia applicata*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- Sciuto Patti C. (1872) – *Carta geologica della città di Catania e dintorni di essa*. Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali di Catania, 3, 141-190.
- Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. & Azzaro R. (2007) – *DBMJ04, il Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT104*.
- Tansi C., Muto F., Critelli S. & bvine G. (2007) – *Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian Arc (southern Italy)*. Journal of Geodynamics, 43, 393-414.
- Tanzini M. (2001) – *Gallerie: Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione*. Dario Flaccovio Editore, Palermo. Tanzini M. (2002) – *L'indagine geotecnica*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Torelli L., Grasso M., Mazzoldi G. & Peis D. (1998) – *Plio-Quaternary tectonic evolution and structure of the Catania foredeep, the northern Hyblean Plateau and the Ionian shelf (SE Sicily)*. Tectonophysics, 298, 209-221
- Torrisi S., Catalano S., Romagnoli G. & Tortorici G. (2008) – *Tettonica di indennazione ed estrusione laterale in Sicilia Orientale*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, 1, 148-152.
- Tortorici L., Cocina O., Monaco C. & Tansi C. (1995) – *Recent and active tectonics of the Calabrian Arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, 243, 37-55.
- Tucker M.E. (1996) – *Rocce sedimentarie. Guida alla descrizione sugli affioramenti rocciosi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Valensise G. & D'Addezio G. (1994) – *Il contributo della geologia di superficie all'identificazione delle strutture sismogenetiche della Piana di Gioia Tauro*. ING Publications, 559, 34 pp.
- Valensise G. & Pantosti D. (2001) – *The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review*. Journal of Seismology, 5, 287-306.
- Vallario A. (1992) – *Frane e territorio. Le frane nella morfogenesi dei versanti e nell'uso del territorio*. Liguori Editore, Napoli.
- Varnes D.J. (1976) – *Slope movement types and processes*. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.
- Wezel F.C. (1974) – *Flysch successions and the tectonic evolution of Sicily during the Oligocene and Early Miocene*. In: Alvarez W. & Gohrbandt K.H.A. (Eds.): *Geology and History of Sicily*. Petroleum Expl. Soc. Libya, pp. 1-23.