

PROVINCE REGIONALI DI CATANIA ED ENNA  
COMUNI DI MINEO, RAMACCA ED AIDONE

*COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 260 MW, CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA, SITO NEI COMUNI DI MINEO, RAMACCA ED AIDONE, DENOMINATO “**IMPIANTO MINEO**”*

**RELAZIONE GEOLOGICA**



*COMMITTENTE: IBVI 22 S.R.L.*

)  
Il geologo  
(dott. Domenico Boso)

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1	INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	4
1.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE .....	5
<b>2</b>	<b>IDROGRAFIA .....</b>	<b>7</b>
2.1	SISTEMI FLUVIALI ED ELEMENTI IDROGRAFICI PRINCIPALI.....	7
2.2	FORME, PROCESSI E DEPOSITI DOVUTI ALLE ACQUE CORRENTI .....	7
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE .....</b>	<b>9</b>
3.1	STRUTTURE IDROGEOLOGICHE E IDRODINAMICA DEGLI ACQUIFERI .....	9
3.2	SORGENTI.....	11
3.3	IDRODINAMICA SOTTERRANEA .....	11
<b>4</b>	<b>CENNI DI TETTONICA.....</b>	<b>14</b>
4.1	ELEMENTI STRUTTURALI E TETTONICI .....	15
4.2	ANALISI DELLA SISMICITÀ .....	15
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO.....</b>	<b>19</b>
5.1	SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA.....	19
5.2	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE.....	22
5.3	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	27
5.4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE LOCALI.....	33
5.5	INDAGINI GEOFISICHE .....	34
5.6	DESCRIZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE .....	36
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI .....</b>	<b>54</b>
6.1	SETTORE NW .....	56
6.2	SETTORE CENTRALE -NORD .....	58
6.3	SETTORE CENTRALE – SUD.....	59
6.4	SETTORE SE.....	61
6.5	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI .....	62
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>63</b>

### ALLEGATI:

Carta Geologica in scala 1:25.000 con ubicazione delle indagini effettuate

Carta Geomorfológica in scala 1:25.000

Rapporto tecnico indagini geofisiche

## 1 Premessa

Su incarico della società IBVI 22 Srl è stato eseguito uno studio dell'area interessata dalla progettazione di un impianto fotovoltaico avente potenza in immissione pari a 260 MW, ricadente nei comuni di Mineo, Aidone e Ramacca, denominato "MINEO". Il proponente dell'iniziativa è la società **IBVI 22 S.R.L.**.

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 degli impianti. Allo scopo su menzionato, attraverso numerosi sopralluoghi nell'area in esame, è stato eseguito un dettagliato rilevamento geologico attraverso l'esame diretto dei terreni affioranti con cui è stato possibile definire con accuratezza la situazione geologica e geomorfologica.

Il lavoro è stato svolto attraverso le seguenti fasi operative:

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

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, e chiariscono gli aspetti connessi con lo scenario naturale relativamente alla componente geologica in cui si colloca il settore di studio e affrontano gli elementi ritenuti critici dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico.

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

Il lavoro che qui segue, oltre a illustrare la localizzazione e identificazione geologica dell'area interessata consente la caratterizzazione geotecnica per la determinazione dei parametri di progetto da utilizzare per il calcolo della capacità portante dei terreni direttamente interessati dagli impianti.

## 1.1 Inquadramento dell'area

Le aree del progetto Mineo sono distribuite su tre differenti territori comunali. Circa il 50 % del progetto si sviluppa nel Comune di Mineo, a Nord-Ovest della S.S. 417 Catania-Gela; circa il 40 % delle aree interessate ricade nel Comune di Aidone ad Ovest, mentre soltanto il 10 % circa sono ubicate in territorio di Ramacca, verso Nord. I terreni ricadono pertanto fra le province di Catania ed Enna. Le quote variano da 560 m s.l.m. sui rilievi a SW di Ramacca fino a circa 150 m s.l.m. nelle aree di fondovalle nei pressi del fiume Gornalunga.

Sotto il profilo morfologico, le aree al di sotto di 350 m s.l.m. hanno un aspetto ondulato con versanti poco acclivi, e sono costituite da terreni generalmente di natura argillosa o alluvionale. I lotti di terreno ricadenti a quote fra 350 e 560 m s.l.m. fanno parte dei rilievi ove sono presenti rocce di natura evaporitica (calcari, gessi), che spesso danno luogo a morfologie piuttosto aspre ed acclivi; tuttavia i rilievi sono intercalati da fasce di pendio meno acclivi ove nel tempo si sono sviluppate le pratiche agricole apportando una certa regolarità alla morfologia del versante. In questo contesto, l'analisi per la individuazione delle aree idonee sotto il profilo geomorfologico ha delimitato aree di forma talora molto irregolare, dovendo escludere le parti più acclivi oltre che le linee di impluvio.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.), l'area oggetto di studio è individuabile all'interno dei Fogli 639 "Caltagirone" e 640 "Palagonia", in scala 1:50.000, mentre, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sicilia in scala 1:10.000, le sezioni interessate sono le n. 639030, 639040, 639070 e 639080.

Il rilevamento geologico ha interessato un'area eterogenea dal punto di vista litologico e strutturale, prevalentemente collinare e di pianura con insediamenti agricoli. Il quadro geologico proposto deriva dall'integrazione dei dati di superficie quali rilevamento e ricostruzioni delle geometrie dei corpi sedimentari, analisi bibliografiche, con la ricostruzione dell'andamento dei corpi sedimentari nel sottosuolo basato su sondaggi effettuati in passato. Per la datazione delle formazioni sedimentarie affioranti si è fatto riferimento alle numerose bibliografie disponibili. Nel corso del rilevamento l'individuazione delle unità stratigrafiche è stata effettuata sulla base del criterio litostratigrafico che ha permesso di definire i rapporti geometrici (stratigrafici e/o tettonici) di sovrapposizione tra le varie unità e formazioni affioranti e di riconoscere le geometrie delle strutture ad andamento regionale.

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.

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 strutture tettoniche capaci.

## 1.2 Inquadramento geologico regionale

Il territorio siciliano presenta una conformazione geologica s.l. piuttosto articolata e complessa, strettamente legata ai differenti processi geodinamici e morfoevolutivi che si sono verificati nell'area durante il Quaternario, quali l'attività vulcano-tettonica, le variazioni del livello marino e l'attività antropica.

Dal punto di vista geologico, le principali strutture che caratterizzano la Sicilia sono:

l'Avampaese Ibleo, affiorante nei settori Sud-orientali dell'isola e caratterizzato da una potente successione carbonatica meso-cenozoica, con ripetute intercalazioni di vulcaniti basiche;

l'Avanfossa Gela-Catania, affiorante nella porzione orientale della Sicilia e costituita da una spessa successione sedimentaria tardo-cenozoica, parzialmente sepolta sotto le coltri alloctone del sistema frontale della catena;

la Catena Appenninico-Maghrebide, affiorante nella porzione settentrionale dell'isola e costituita da sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma che di bacino, con le relative coperture flyschoidi mioceniche;

la Catena Kabilo-Calabride, affiorante nei settori Nord-orientali della Sicilia e caratterizzata da un basamento metamorfico di vario grado con le relative coperture sedimentarie meso-cenozoiche, cui si associano le unità ofiolitifere del Complesso Liguride.

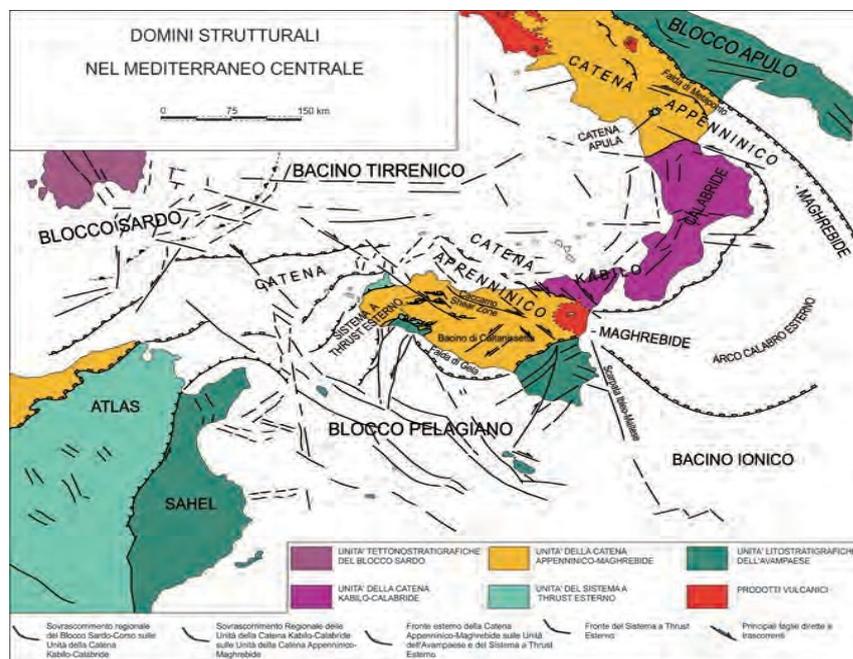


Figura 1 – schema tettonico sintetico della Sicilia

Nella sua complessità, il paesaggio fisico della Sicilia risulta essere, quindi, il risultato di una complessa interazione di diversi fattori geologici, tettonici, geomorfologici e climatici che, nel corso del tempo, hanno interessato l'area in esame in maniera. L'area di studio ricade, in particolare, nel settore centro-orientale della penisola siciliana, in corrispondenza del margine più

orientale della Catena Appenninico-Maghrebide. Tale catena è costituita da un sistema a thrust pellicolare con vergenza verso SE nel tratto siculomaghrebide e ENE in quello appenninico. Il sistema comprende sequenze meso-cenozoiche sia di piattaforma che di bacino, con spesse coperture fliscioidi mioceniche probabilmente appartenenti ad un paleomargine afro-adriatico. La Catena Appenninico-Maghrebide è quindi costituita da una serie di falde più o meno alloctone, totalmente sovrapposte sul Sistema a Thrust Esterno. Al suo interno, le Unità Sicilidi che ricoprono la porzione sommitale della pila risultano derivanti dal Bacino Alpino-Tetideo, che separava il margine europeo dal blocco panormide, e sono interpretabili come i resti di un cuneo d'accrescimento oceanico sovrascorso fino al raggiungimento dell'attuale fronte della catena. Ulteriori sequenze oceaniche, riconoscibili nelle unità tettoniche più esterne, sono invece riferibili ad un dominio di crosta oceanica, che rappresenta la porzione subdotta dell'originario bacino ionico.

## 2 IDROGRAFIA

### 2.1 Sistemi fluviali ed elementi idrografici principali

I principali corsi d'acqua dell'area sono rappresentati dal Fiume Caltagirone o dei Margi a Sud dell'area interessata, e dal Fiume Gornalunga, a Nord, entrambi affluenti del Simeto.

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 di studio. Il senso di scorrimento delle acque dei sopracitati corsi d'acqua si caratterizza per la diversa orientazione dei vari segmenti di cui si compone la direzione complessiva di deflusso.

L'andamento del F. Caltagirone va all'incirca da SW verso NE, e si immette nel fiume Gornalunga che, al contrario, mostra una direzione di deflusso da NW a SE. I tributari minori sono invece rappresentati da torrenti a breve corso, caratterizzati da evidenti fenomeni erosivi e modeste coperture alluvionali. In generale, si tratta di corsi a regime torrentizio, con elevato potere erosivo e di trasporto solido soprattutto nei periodi di piena. 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 meteorologici 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. La fase di avanzamento, perdurata almeno fino al 1950, è dovuta ad una importante tendenza progradazionale della piana costiera e deltizia di Catania, in virtù di un maggior carico solido del F. Simeto e dei suoi tributari minori. A partire dalla seconda metà del secolo scorso, la messa in opera di invasi artificiali nella parte alta del bacino di drenaggio, la canalizzazione dei principali corsi d'acqua, l'incontrollato prelievo di inerti in alveo e lo sconosciuto sviluppo di strutture ed attività antropiche lungo tutto il settore costiero di Catania, ha portato ad una vistosa diminuzione degli apporti solidi dei sistemi fluviali, fino a determinare l'attuale deficit sedimentario lungo la costa.

### 2.2 Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti

Nell'area del bacino del Simeto e dei suoi affluenti (Dittaino e Gornalunga), le principali forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, che conferiscono a tutta l'area di studio una morfologia blandamente ondulata e degradante verso Sud. 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.

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvengono inoltre vistose scarpate di erosione fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. 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. 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.

In prossimità degli alvei dei fiumi Dittaino e Simeto, inoltre sono presenti tracce di antichi corsi fluviali spesso caratterizzati da depositi a granulometria fine di lago di meandro e 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.

Infine, in corrispondenza dei versanti e dei rilievi più acclivi dove affiorano i termini litologici del substrato marino meso-cenozoico, sono presenti attivi fenomeni erosivi, sia areali che lineari, connessi col deflusso non regimato delle acque superficiali in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati. Nelle porzioni basali dei rilievi, dal limite superiore della fascia pedemontana fino a raggiungere il recapito finale, il carico solido diminuisce gradualmente, in relazione alla ormai diminuita velocità della corrente, e i corsi d'acqua tendono a divagare nella valle e ad assumere un andamento di tipo meandriforme. Tali condizioni di deflusso portano, quindi, all'accumulo frequenti depositi eluvio-colluviali alla base dei rilievi più estesi che, localmente, possono raggiungere spessori di diversi metri.

Verso valle, l'erosione lineare delle acque correnti superficiali incanalate tende ad interessare le sponde generando, in tal modo, sia fenomeni di dissesto per scalzamento al piede che fenomeni di approfondimento del letto fluviale. Inoltre, l'azione delle acque correnti superficiali, incanalate e non, genera lungo i versanti tipologie di fenomeni erosivi di tipo calanchivo, molto spinti principalmente in corrispondenza delle formazioni prevalentemente argilloso-limose. Ulteriori fenomenologie erosive sono da riferirsi al ruscellamento diffuso il quale, talora, genera estesi denudamenti dei pendii e la formazione di fossi e solchi di varia profondità.

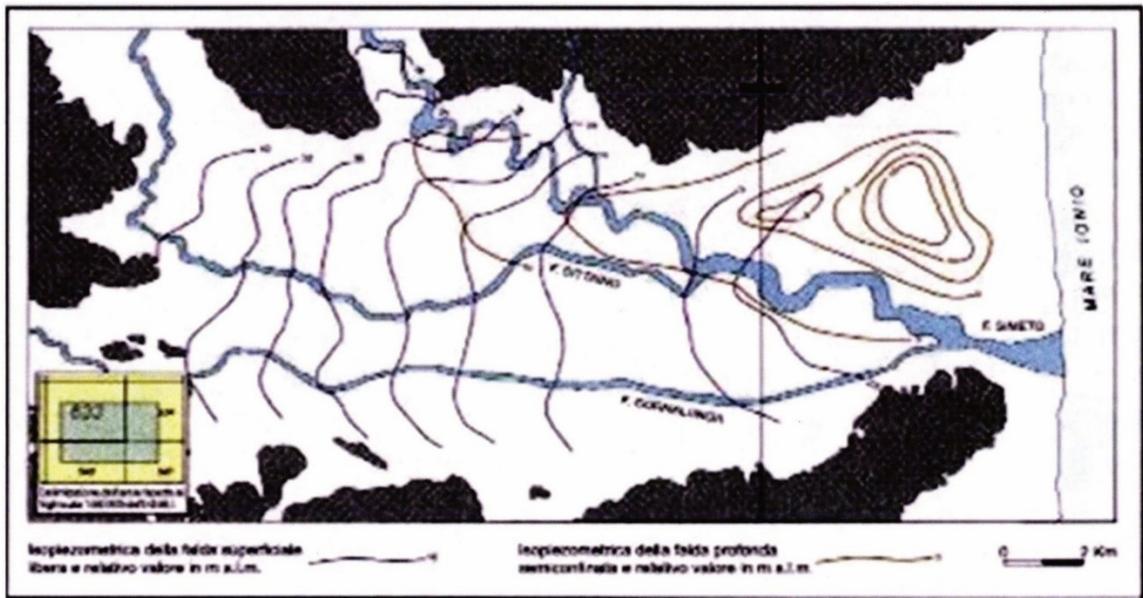
### **3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE**

I dati geologici di superficie, unitamente alle informazioni stratigrafiche derivanti da perforazioni geognostiche e pozzi profondi, permettono di individuare nell' area in esame litotipi con differente comportamento idrogeologico. Sulla base delle caratteristiche di permeabilità e dei rapporti stratigrafico-strutturali tra i litotipi presenti si possono distinguere acquiferi, sede di corpi idrici produttivi, e terreni a permeabilità bassa o molto bassa, privi di corpi idrici significativi che localmente determinano effetti di confinamento sugli acquiferi limitrofi. In particolare, l'acquifero alluvionale della Piana di Catania è rappresentato da depositi fortemente eterogenei dal punto di vista granulometrico, sede di corpi idrici sotterranei in parte separati ed in parte interconnessi, con caratteristiche di falde libere o semiconfinata. Tale eterogeneità tessiturale condiziona infatti l'esistenza ed il movimento delle acque sotterranee all'interno del complesso alluvionale, che poggia su terreni prevalentemente pelitici infra-cenozoici. I numerosi pozzi ad uso civile, agricolo ed industriale, sono distribuiti in modo disomogeneo all'interno della piana e determinano condizioni di forte sovrasfruttamento dell'acquifero alluvionale, come dimostrato dalla forte intrusione marina nelle zone più vicine alla costa ionica.

#### **3.1 Strutture idrogeologiche 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. 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 Simeto, Dittaino e Gornalunga.

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, grosso modo 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.



Gli acquiferi che contengono le suddette falde sono costituiti prevalentemente da depositi alluvionali grossolani, attuali e recenti, e da sabbie e ghiaie di ambiente continentale e di transizione, spesso formanti superfici terrazzate disposte su vari ordini. 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.

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. La ricostruzione dello spessore dell'acquifero presente nel sottosuolo della Piana di Catania, invece, 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, naturalmente, 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, come quelle dei Fiumi Dittaino e Simeto. Quest'ultimo, in particolare, riceve a monte l'ulteriore apporto dei deflussi sotterranei derivanti dal versante occidentale dell'Etna.

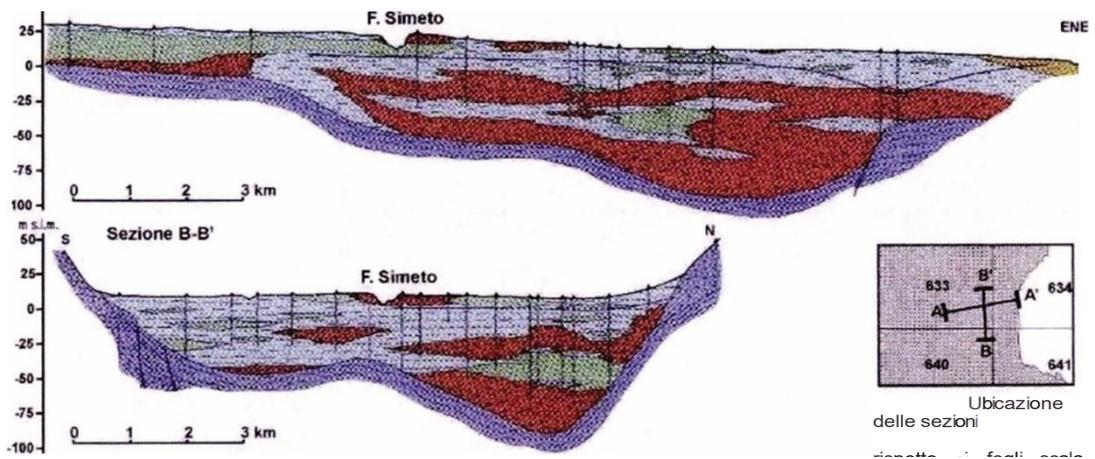


Figura 2 - Sezioni idrogeologiche della porzione più orientale della Piana di Catania

### 3.2 Sorgenti

Per poter ricostruire con maggior dettaglio l'andamento e le caratteristiche delle falde idriche presenti nell'area, nel corso dello studio si sono acquisite le informazioni disponibili relativamente alle sorgenti esistenti nel settore di intervento. È da segnalare l'assenza di sorgenti e venute d'acqua di un certo interesse all'interno della fascia di studio. Nello specifico, le acque meteoriche scorrono principalmente in superficie e, a causa dell'elevata permeabilità media dei depositi alluvionali di fondovalle ed in pianura, si infiltrano nel sottosuolo alimentando così la falda acquifera che defluisce verso Est.

Nell'area di studio, manifestazioni sorgentizie per contatto possono individuarsi fra i terreni del complesso evaporitico e le sottostanti argille tortoniane della F.ne Terravecchia. Tuttavia, data la limitata estensione degli affioramenti evaporitici, le manifestazioni sorgentizie sono molto modeste ed hanno un carattere effimero, in quanto si esauriscono poco tempo dopo gli eventi meteorici.

In relazione a quanto detto è quindi evidente che, a causa delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nel sottosuolo della Piana di Catania, le acque correnti danno luogo principalmente a infiltrazioni e deflussi sotterranei piuttosto che a emergenze idriche superficiali.

### 3.3 Idrodinamica sotterranea

I dati raccolti durante lo studio condotto hanno permesso di definire le caratteristiche generali dell'area e di individuare il regime di deflusso idrico sotterraneo proprio dei settori di interesse.

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. I corpi idrogeologici a minor permeabilità nello specifico contesto di riferimento, possono essere considerati come degli acquicludi e localmente degli aquitard, 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 tutta la zona di studio, e in particolare lungo il fondovalle del F. Caltagirone, 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 lungo i margini della piana.

Gli acquiferi alluvionali del F. Dittaino, del Gornalunga e della Piana di Catania mostrano, nei settori di interesse, un deflusso in direzione circa NW-SE e W-E, che ricalca fortemente l'andamento morfologico dell'area. Tale condizione è dettata, principalmente, dalle forti variazioni granulometriche dei depositi costituenti l'acquifero e, quindi, dalla presenza di importanti passaggi grossolani all'interno dei sedimenti alluvionali del fondovalle. Questi ultimi corrispondono a subalvei dei corsi d'acqua principali e rappresentano, ovviamente, degli assi di drenaggio preferenziale per le acque di falda.

I dati piezometrici a disposizione evidenziano, infatti, la presenza di alcune falde freatiche poste essenzialmente all'interno degli orizzonti più permeabili dei depositi alluvionali che colmano il fondovalle del F. Dittaino e del F. Simeto. Tali acquiferi sono rappresentati da depositi fortemente eterogenei dal punto di vista granulometrico e costituiscono dei sistemi idrogeologici particolarmente articolati e complessi. In particolare, i depositi alluvionali attuali e recenti sono sede di una falda idrica sotterranea di discreta importanza, sempre sostenuta dai termini prevalentemente pelitici del substrato. Tale falda mostra un andamento che ricalca fortemente l'andamento morfologico del fondovalle, anche se risulta influenzato dalle diffuse eterogeneità granulometriche e tessiturali dei terreni. La superficie piezometrica si colloca generalmente a profondità variabili tra 2 e 18 m circa dal p.c., con un gradiente generalmente piuttosto basso e solo localmente influenzato da evidenti variazioni di permeabilità dell'acquifero. In relazione a quanto esposto, è evidente come la 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 e del F. Simeto.

I depositi grossolani pleistocenici, mostrano sempre una permeabilità piuttosto buona ma, in relazione alla maggiore estensione areale ed agli spessori generalmente più elevati, sono spesso sede di falde a superficie libera di una certa importanza, sia in termini di volumi che di estensione planimetrica. Tali falde, come quelle dei depositi terrazzati, ricalcano in linea di massima l'andamento della superficie topografica e, come detto, presentano locali scambi idrici con l'acquifero alluvionale della Piana di Catania, sia positivi che negativi.

Relativamente ai litotipi del substrato marino infra-cenozoico, al contrario, si sottolinea l'assenza di falde o corpi idrici di una certa importanza in tutto il settore di studio. Buona parte delle successioni affioranti possono essere considerate, nello schema di circolazione idrica dell'area, degli acquicludi e localmente degli aquitard, in quanto tamponano lateralmente e verticalmente gli acquiferi sotterranei più importanti, come quello dei depositi alluvionali del F. Caltagirone e del

fiume Gornalunga. I livelli piezometrici registrati puntualmente sono da attribuirsi dunque alla saturazione del locale substrato.

I litotipi arenaceo-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.

Le direzioni di deflusso sono, ovviamente, piuttosto eterogenee e influenzate dal locale stato di fratturazione dell'ammasso e dalla presenza di elementi tettonici di importanza variabile.

Gli assi di drenaggio preferenziale sotterraneo, pertanto, ricalcano l'andamento planimetrico dei Fiumi Dittaino e Simeto, con importanti variazioni locali dovute agli apporti idrici sotterranei dei corsi d'acqua secondari. Lungo il corso del F. Dittaino, in particolare, la falda presenta un unico ed importante asse di drenaggio sotterraneo posto in corrispondenza dell'alveo principale che, in quest'area, risulta in buona parte alimentato dalla falda e dai suoi immissari principali. In corrispondenza del corso del F. Simeto, al contrario, la falda presenta due importanti assi di drenaggio, posti lungo i due fianchi del corso d'acqua stesso e parzialmente coincidenti con gli alvei dei suoi immissari maggiori. Tali direzioni di deflusso, sulla base delle ricostruzioni geologiche effettuate e degli studi bibliografici disponibili, sembrerebbero in buona sostanza coincidenti con il paleo-alveo del F. Simeto, rappresentato da depositi grossolani in grado di influenzare in modo sensibile le condizioni di deflusso idrico sotterraneo di tutta l'area di interesse.

L'andamento piezometrico della falda alluvionale, inoltre, mostra chiaramente come l'acquifero in questione sia alimentato in parte dal corso del Simeto, nei settori centrali della piana, e in parte dai suoi immissari maggiori e dagli acquiferi dei depositi sabbioso-ghiaiosi pleistocenici posti lungo il margine settentrionale dello stesso.

In conclusione, gli aspetti idrogeologici legati alla circolazione idrica sotterranea sono di importanza trascurabile relativamente al progetto in esame, in quanto molto marginali o relativamente distanti arealmente rispetto all'area di progetto dell'impianto. Questo, in fatti, si sviluppa su formazioni essenzialmente argillose ed impermeabili presso cui la circolazione idrica avviene essenzialmente in superficie.

#### 4 CENNI DI TETTONICA

L'area in esame ricade sul bordo esterno della Catena Appenninico- Maghrebide e lambisce il margine affiorante dell'Avanfossa Gela-Catania. Le unità esposte nell'area appartengono ad un sistema a thrust pellicolare, originatosi a partire dal Miocene inferiore, denominato Catena Appenninico-Maghrebide e sovrascorso sul margine africano dal Tortoniano in poi. Nell'area la Catena Appennino Magrebide è costituita da sequenze meso-cenozoiche esterne a carattere bacinale ricoperte tettonicamente nel Miocene medio da estesi lembi oligo-miocenici del flysch numidico, e da unità sicilidi ad assetto caotico originariamente ubicate in bacini più interni. Seguono verso l'alto depositi argilloso-sabbiosi con intercalazioni olistostromiche di argille brecciate suddivisibili in più cicli: Serravalliano-Tortoniano inferiore e Tortoniano superiore-Messiniano inferiore; questi evolvono alle evaporiti del Messiniano superiore e ai Trubi del Pliocene inferiore. Essi rappresentano i sedimenti discordanti, depositi sulle unità della catena, all'interno di bacini satellite. Tutta la sequenza di età Serravalliano-Pliocene inferiore post-data il ricoprimento delle unità numidiche sull'Unità di M. Judica, ma ha partecipato successivamente alle ulteriori fasi deformative responsabili dell'assetto strutturale attuale, cioè della sovrapposizione al di sopra del margine interno dell'avanfossa. Questo sistema a thrust pellicolare è ricoperto in discordanza, dalle successioni clastiche del Pliocene inferiore-medio. I dati di sottosuolo (sismica e pozzi per l'esplorazione petrolifera) evidenziano che nelle aree più meridionali la Catena Appenninico-Maghrebide giace tettonicamente su sequenze carbonatiche mesozoico-terziarie di tipo ibleo. Queste appartengono ad unità carbonatiche, riconducibili al margine deformato dell'avampese ibleo e cioè al Sistema a Thrust Esterno, ovvero Sistema a Thrust Siculo-Pelagiano, che nella Sicilia orientale è completamente sepolto. Nel settore sud-orientale il sistema a thrust pellicolare, cioè la Catena Appennino Magrebide, tende a ricoprire l'Avanfossa Gela-Catania, inserendosi a cuneo entro la successione pelitico-sabbiosa plio- pleistocenica. Tale cuneo costituisce la Falda di Gela e si estende dai dintorni di Catania fino alla Piana di Gela, ed oltre, a formare un fronte estremo arcuato a sud della linea di costa agrigentina, per rientrare poi nell'entroterra ad est di Sciacca. Si tratta di un tipico thrust wedge costituito da sedimenti serravalliano-pliocenici e da lembi di unità numidiche e sicilidi, e rappresenta l'elemento più esterno e più recente della catena.

All'interno della catena i rapporti originari determinati dalla tettonica polifasica del Miocene medio-superiore e del Pliocene inferiore sono stati spesso modificati da deformazioni fuori sequenza e più in generale da strutture compressive posteriori che hanno determinato la sovrapposizione dell'intero edificio sui carbonati iblei, testimoniate dalle discordanze in orizzonti messiniani, pliocenici e pleistocenici. Durante la formazione delle strutture post-tortoniane si è avuta la contemporanea attivazione di sistemi di faglie trascorrenti destre orientate NO-SE e ONO-ESE, alcune a carattere regionale e disposte en-échelon, altre più locali ed associate ai fronti di accavallamento.

#### 4.1 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 strutturali presenti nell'area, connessi a tettonica sia compressiva che estensionale, 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.

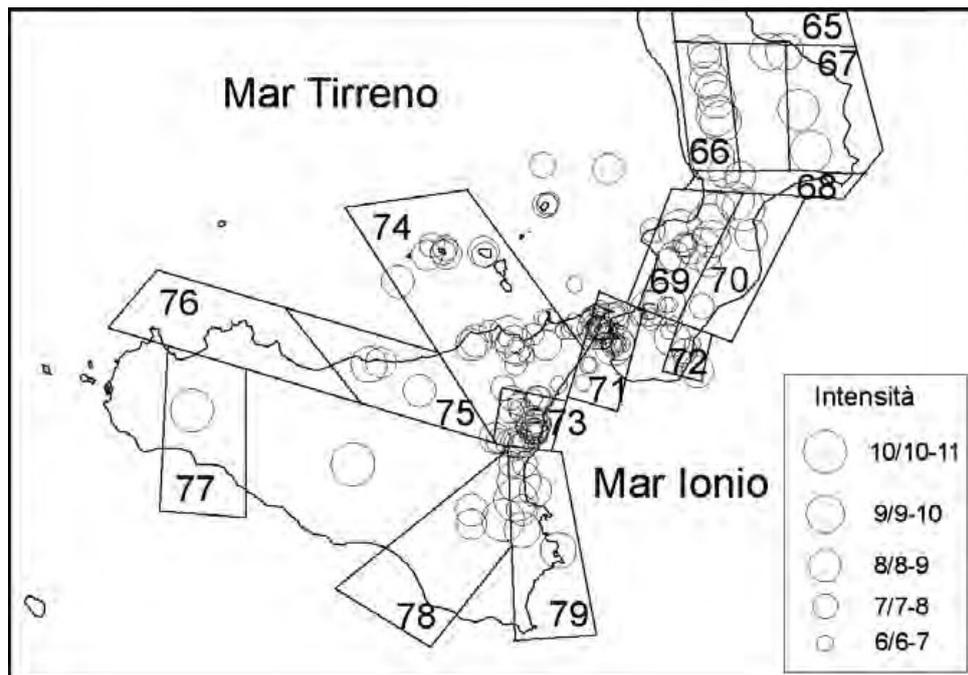
Sotto il profilo tettonico-strutturale l'area di progetto ricade nella Falda di Gela, la parte più avanzata della Catena Appenninico-Maghrebide e di più recente assetto tettonico. La porzione più a Sud, in particolare, mostra diversi thrust tettonici che hanno generato la sovrapposizione in più riprese delle argille tortoniane con la relativa copertura evaporitica. Tali situazioni sono state riconosciute in seguito alle perforazioni di ricerca petrolifera avvenute intorno agli anni '60 e '70. L'area comunque non presenta elementi sismogeneticamente attivi o faglie capaci visibili in affioramento.

#### 4.2 Analisi della sismicità

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

Per stimare la pericolosità sismica dell'area sono state utilizzate metodologie classiche, come ad esempio quella di Cornell. 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 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.

I terremoti capaci di dare un contributo significativo alla pericolosità sismica del settore in studio sono localizzati in Sicilia orientale e in Calabria meridionale. In una delle zonazioni sismogenetiche più recenti, la ZS4, tracciata nel 1996 con lo scopo prevalente di servire da input per la valutazione di pericolosità sismica, in queste regioni sono state individuate le zone 68, 69, 70, 71, 72, 73, 78, 79. Nella ZS 68, localizzata nella Stretta di Catanzaro, fascia di raccordo fra Calabria settentrionale e meridionale, sono ubicati i terremoti del 28 marzo 1783 ( $I_{max} = 11$  MCS) e dell'8 settembre 1905 ( $I_{max} = 10/11$  MCS).



**Figura 3 - Epicentri dei principali terremoti della Sicilia e Calabria nel periodo 1125-1990 dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (gruppo di lavoro CPTI, 1999). i poligoni rappresentano le zone sismogenetiche tratte da Meletti et alii (2000a).**

Per quanto riguarda le zone sismogenetiche della Calabria meridionale (ZS 69e70), le strutture qui certamente più attive sono le faglie del bacino del Mèsima, di Serre, di Gioia Tauro e di Cittanova, la cui attività si è protratta anche nel Pleistocene superiore e nell'Olocene. Queste strutture con direzione NE-SO sono state probabilmente responsabili dei grandi terremoti calabresi del 5, 6 e 7 febbraio e dell'1 marzo del 1783.

La ZS 71 comprende l'area dello Stretto di Messina, dove è ubicato il terremoto del 28 dicembre 1908 ( $M = 7.1$ ;  $I_{max} = 11$ , MCS) ampiamente descritto da Baratta (1910). Poiché non vengono descritte evidenze di fagliazione superficiale e i dati strumentali non sono molto precisi, vari Autori hanno proposto modelli diversi riguardo la collocazione spaziale, la geometria e le dimensioni della sorgente. La ZS 73 corrisponde all'area etnea, dove la sismicità è caratterizzata da eventi di bassa magnitudo e ipocentri superficiali, per cui gli eventi di quest'area sono capaci di produrre localmente effetti distruttivi, ma vengono appena avvertiti al di fuori dell'area stessa.

Al confine tra i Nebrodi e i Peloritani occidentali (SZ 74), i terremoti sono localizzati lungo il

versante Tirrenico, in particolare lungo l'allineamento Patti-Vulcano-Salina . Questa sismicità è associabile alle strutture trascorrenti destre NO-SE presenti nell'area (es. il terremoto di Patti del 1978, Barbano et alii, 1979). In Sicilia sud-orientale la sismicità è distribuita soprattutto lungo la costa ionica, dove gli eventi hanno raggiunto  $M = 7.0$ . La struttura probabilmente responsabile dei terremoti maggiori di quest'area (1169,  $I_{max} = 10$  MCS; 1693,  $I_{max} = 11$  MCS; 1818,  $I_{max} = 9/10$  MCS) è la Scarpata Ibleo-Maltese. Essa è costituita da un sistema di faglie normali a direzione prevalente NNO-SSE che delimita, offshore, la zona ionica e caratterizza la sismicità della ZS 79 . Terremoti di moderata magnitudo sono localizzati invece nel settore più interno del Plateau Ibleo (ZS 78).

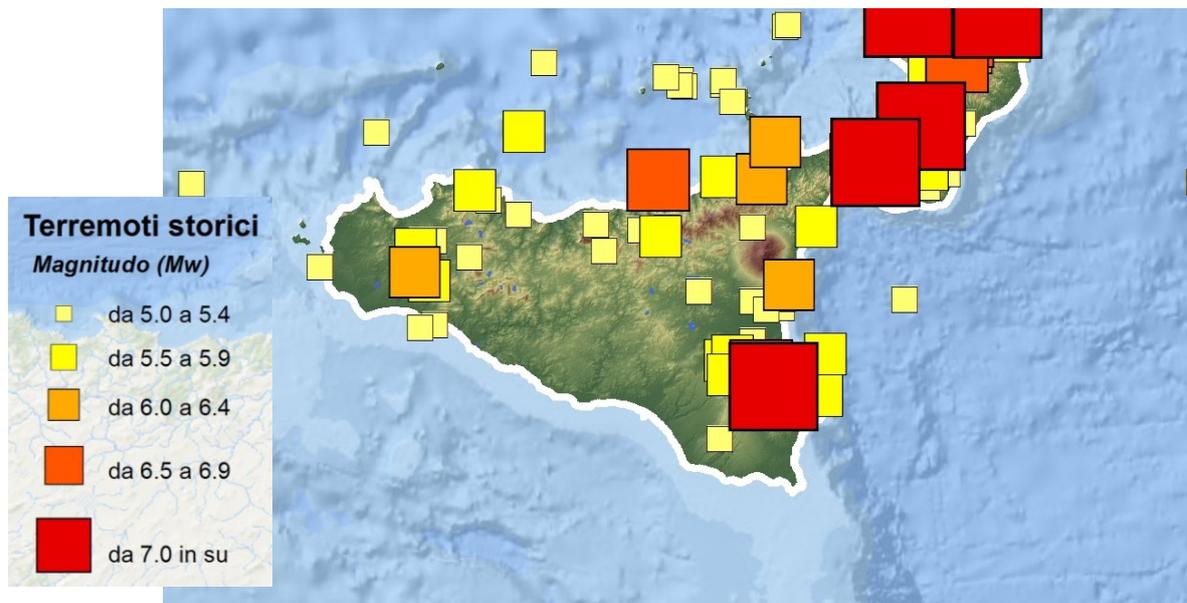


Figura 4 – Mappa sintetica dei principali terremoti storici in Sicilia.

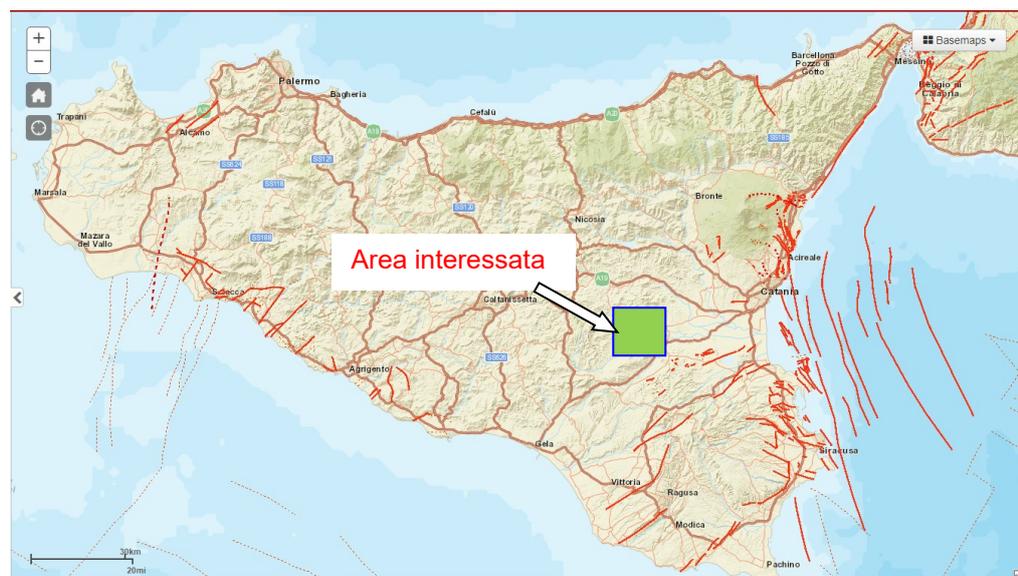
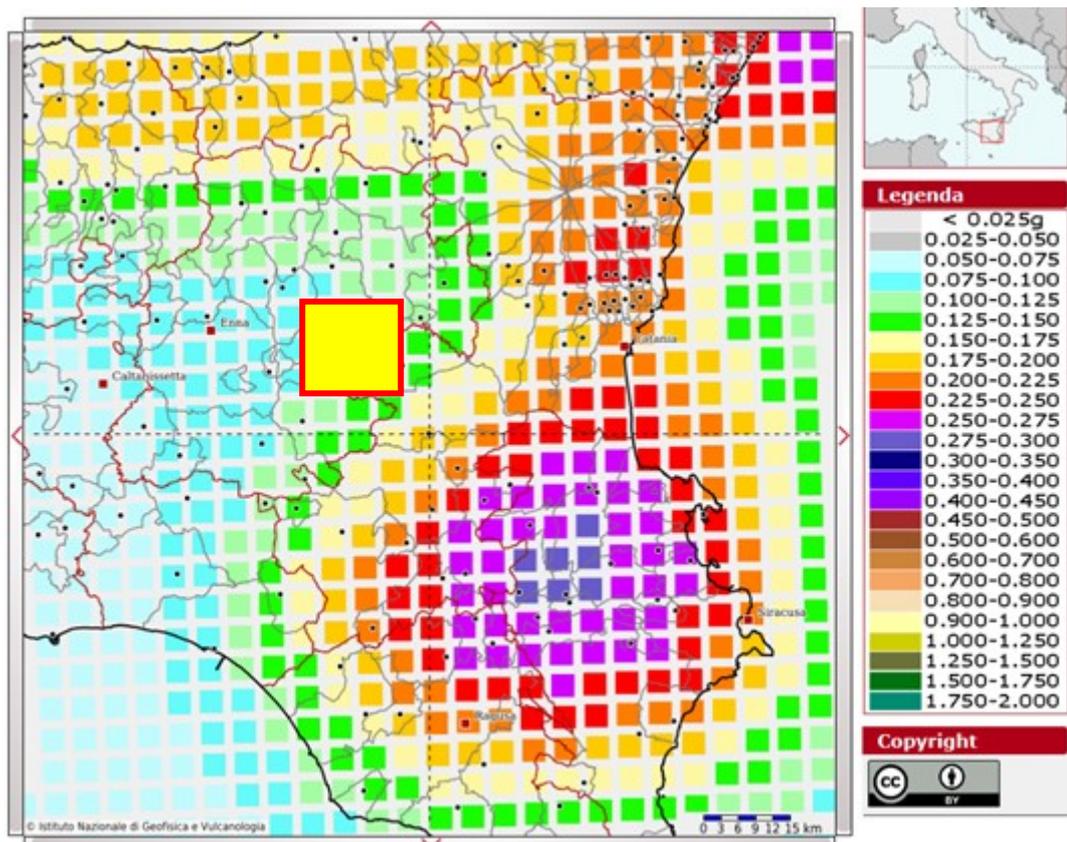


Figura 5 – Ubicazione delle principali faglie capaci in Sicilia (Progetto Ithaca)



**Figura 6 – Modello di pericolosità sismica del territorio con particolare riferimento all'area in esame**

Nel 2004 l'INGV ha pubblicato la mappa della pericolosità sismica nazionale basata sulla scuotibilità. La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A,  $V_{s30} > 800$  m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID posto al centro della mappa, corrispondente all'area ove verrà realizzato l'impianto fotovoltaico.

Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Come è possibile vedere, nell'area in esame si ha una PGA piuttosto bassa, compresa fra 0,100g e 0,150g.

Com'è noto, infine, le NTC 2018 consentono il calcolo della pericolosità sismica del sito partendo proprio dalle coordinate di quest'ultimo, ed hanno differenziato il sottosuolo in cinque differenti categorie (dalla A alla E), con rigidità decrescente, in cui assume primaria importanza il valore della media equivalente delle  $V_s$  entro i primi 30 m di sottosuolo, definito come  $V_{s,eq}$ .

## 5 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO

L'area che interessa il progetto racchiude terreni di natura sedimentaria di età compresa fra il Giurassico e Olocene. Le formazioni presenti sono essenzialmente di natura argillosa (F.ne Terravecchia, Flysch Numidico).. La prevalenza delle formazioni affioranti è sicuramente di tipo argilloso. In minor misura sono presenti infatti formazioni di natura litoide, quasi esclusivamente riferibili alla serie gessoso – solfifera, ed in particolare ai Gessi, maggiormente rappresentati.

### 5.1 Successione litostratigrafica

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a successioni marine infra-cenozoiche che a depositi continentali quaternari. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti dal rilevamento geologico di superficie e dalle numerose indagini geognostiche a disposizione. Nei settori di stretto interesse progettuale, quindi, sono state individuate e perimetrate tredici unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico.

#### Argille Scagliose

Nelle aree esaminate rappresentano il termine più antico nella successione litostratigrafica. Non sono previsti impianti su questi terreni.

Si tratta di argille di color rosso vinaccia, verdastre o grigio ferro, tipicamente scagliettate e caoticizzate in seguito agli stress tettonici subiti. Contengono intercalazioni decimetriche di diaspri grigio-verdastri a frattura scheggiata e siltiti carbonatiche grigie nonché calcari micritici biancastri.

#### Flysch Numidico

La presente unità affiora estesamente nella parte settentrionale dell'area di studio, e su questi terreni ricadono alcune porzioni del campo fotovoltaico.

Si tratta di depositi in facies di scarpata, base scarpata e conoide torbiditica, costituiti da una litofacies a dominante argilloso-marnosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova e sono ricoperti dalla Formazione delle argille grigio-azzurro. La successione possiede uno spessore prossimo ai 400 m ed è riferibile al periodo Oligocene superiore – Burdigaliano. La facies arenaceo-marnosa, localmente non presente, è costituita da quarzareniti medio-fini di colore grigio e giallastro (FYNa), in grossi banchi generalmente gradati, con frequenti intercalazioni di argille marnose di colore grigio e bruno, in strati da molto sottili a medi. La facies argilloso-marnosa è formata da argille marnose di colore grigio nerastro e grigio (Maa), a struttura prevalentemente indistinta, localmente scagliettata,

passante ad argille, argille limose e argille limose marnose di colore grigio, grigio-azzurro e marrone grigio-verdastro, a struttura scagliosa o indistinta, molto consistente, con frequenti livelli di sabbie limose grigie e locali intercalazioni di quarzareniti medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi e locali livelli argillosi e sottili lenti di limi da centimetriche a decimetriche a diverse altezze stratigrafiche, con rare discontinuità riempite di calcite secondaria.

### Argille Brecciate

Questa formazione affiora limitatamente nella parte più a Sud\_Est dell'area di studio, in prossimità della SS 417 Catania\_Gela, ed in corrispondenza di tali terreni ricadono alcune porzioni dell'impianto fotovoltaico.

Le Argille Brecciate sono notoriamente distinte in cinque livelli principali (AB I – AB V), intercalati a diversi livelli. Nel nostro caso, sono presenti le AB II, intercalate tra i sedimenti tortoniani e la serie gessoso-solfifera.

Questi terreni sono classicamente interpretati come olistostromi legati a processi gravitazionali lungo i fianchi dei bacini di sedimentazione, o come il collasso ed erosione di anticlinali con nuclei argillosi.

### Formazione Terravecchia

Nell'area di studio questa formazione affiora in modo esteso ed è quella maggiormente rappresentata, su cui ricade gran parte del progetto. Si rinviene generalmente la facies pelitica, che dà luogo ad una morfologia dolce e collinare anche in virtù delle caratteristiche di consistenza da bassa a media nei primi metri di sottosuolo.

E' una formazione generalmente complessa caratterizzata da un'estrema eterogeneità strutturale e tessiturale che permette di dividerla in diverse facies: facies conglomeratico-arenacea; facies arenacea e facies pelitica.

La facies conglomeratico-arenacea è costituita da un'alternanza irregolare di ortoconglomerati oligomittici e areniti (o sabbie). I conglomerati si presentano con elementi arrotondati pluridimensionali di natura principalmente quarzarenitica e calcarea, clasto-sostenuti o fango-sostenuti e immersi in una matrice arenitico-sabbiosa color marrone. I livelli arenacei sono costituiti da grani essenzialmente quarzarenitici di taglia variabile immersi in matrice siltoso-argillosa; spesso sono poco coerenti o incoerenti (sabbie).

La facies conglomeratico-sabbiosa mostra nel complesso una stratificazione p.p. od ondulata ben evidente a grande scala; all'interno dei livelli conglomeratici è possibile riscontrare delle "embriciature" nei ciottoli mentre all'interno dei livelli arenacei sono osservabili laminazioni.

La facies arenacea è costituita esclusivamente da areniti e/o sabbie color marrone e variamente cementate, in cui si intercalano sottili livelli irregolari di conglomerati o argilliti grigio-azzurre; le sabbie sono di taglia medio-fine e quando coerenti (areniti) sono composte da grani immersi in una matrice siltosa con cemento quarzarenitico; all'interno degli strati sabbiosi sono facilmente individuabili laminazioni e stratificazioni p.p., incrociate e a lisca di pesce.

La facies pelitica è costituita da argille sabbioso-siltose, spesso marnose di colore grigio-azzurro, in cui si intercalano sottili livelli arenitici e talora lenti conglomeratiche; la frazione argillosa è costituita essenzialmente da caolinite, illite e montmorillonite, mentre lo scheletro sabbioso è costituito da grani di diversa natura (quarzo, calcite, gesso, etc.). La facies si presenta quasi sempre massiva e in alcuni punti tettonizzata.

### Serie evaporitica

In continuità stratigrafica e spesso in discordanza, sul substrato argilloso della Formazione Terravecchia poggia la serie evaporitica del Messiniano rappresentata dal Calcere di base e dai Gessi. Nell'area di studio il litotipo maggiormente rappresentato è costituito dai Gessi, in minor misura dal calcare evaporitico; talora alla base della serie si ritrovano livelli discontinui di Tripoli o di marne tripolacee biancastre. Questo complesso morfologicamente determina le forme più aspre e costituisce le creste dei rilievi. I gessi sono suddividibili in primari e secondari (ricristallizzati). I gessi primari sono spesso piuttosto alterati ed argillificati nella parte apicale, per cui non di rado vengono arati ed adibiti alle pratiche agricole. Alcune parti dell'impianto ricadono proprio su questi terreni che, seppur relativamente teneri in superficie, mostrano una buona compattezza in profondità, una volta superato lo strato di alterazione. Durante il rilievo di queste formazioni, quando ben suddividibili sono state cartografate in maniera distinta il tripoli, calcare di base ed i gessi. Nei casi di affioramenti indistinti, e nei casi di nessun impianto previsto nella loro corrispondenza, la successione è stata cartografata come serie evaporitica s.l.

### Trubi

I calcari marnosi e le marne calcaree del Pliocene inferiore dal caratteristico colore biancastro e la tipica stratificazione affiorano in piccoli lembi al di sopra della serie evaporitica. Non sono previsti impianti in corrispondenza di questi terreni, che vanno a costituire le zone apicali dei rilievi, ove presenti in affioramento.

### Depositi alluvionali terrazzati

Sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi distribuiti in lembi a quote comprese fra 160 e 220 m s.l.m., con spessore massimo di 1-2 m. Vengono interessati solo in piccola parte dal progetto del campo fotovoltaico.

### Depositi alluvionali recenti ed attuali

Tali depositi affiorano prevalentemente in corrispondenza dei fondivalle delle aste principali e, in minor misura, 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. Possiedono uno spessore massimo di circa 30 m, e sono riferibili interamente all'Olocene. Non sono interessati dal progetto.

### Depositi di versante ed eluvio-colluviali

Questi depositi affiorano diffusamente in tutta l'area di studio, come copertura pressoché continua di tutte le unità geologiche descritte in precedenza, in corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi. Affioramenti di maggiore estensione e potenza si rinvennero, comunque, in corrispondenza della base dei rilievi più acclivi ed estesi, dove tali depositi presentano generalmente gli spessori più elevati. Si tratta di depositi continentali di versante e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a dominante limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche. Tali terreni, nei settori di studio, presentano spessori variabili tra 1 e 4 m circa. In qualche caso assumono il significato di corpi di paleofrana per lo più stabilizzati.

Sono costituiti essenzialmente da depositi di versante e di alterazione del substrato. Si tratta di argille limose di colore marrone chiaro, nocciola a bande grigiastre, a struttura caotica o indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie e ciottoli poligenici, da angolosi a sub-arrotondati; limi argilloso-sabbiosi di colore giallastro, marrone e ocra, a struttura caotica o indistinta, con abbondanti resti vegetali e frequenti ghiaie e ciottoli poligenici, da angolosi a sub-arrotondati, con rari strati centimetrici di arenarie grigie.

## **5.2 Caratteristiche morfologiche**

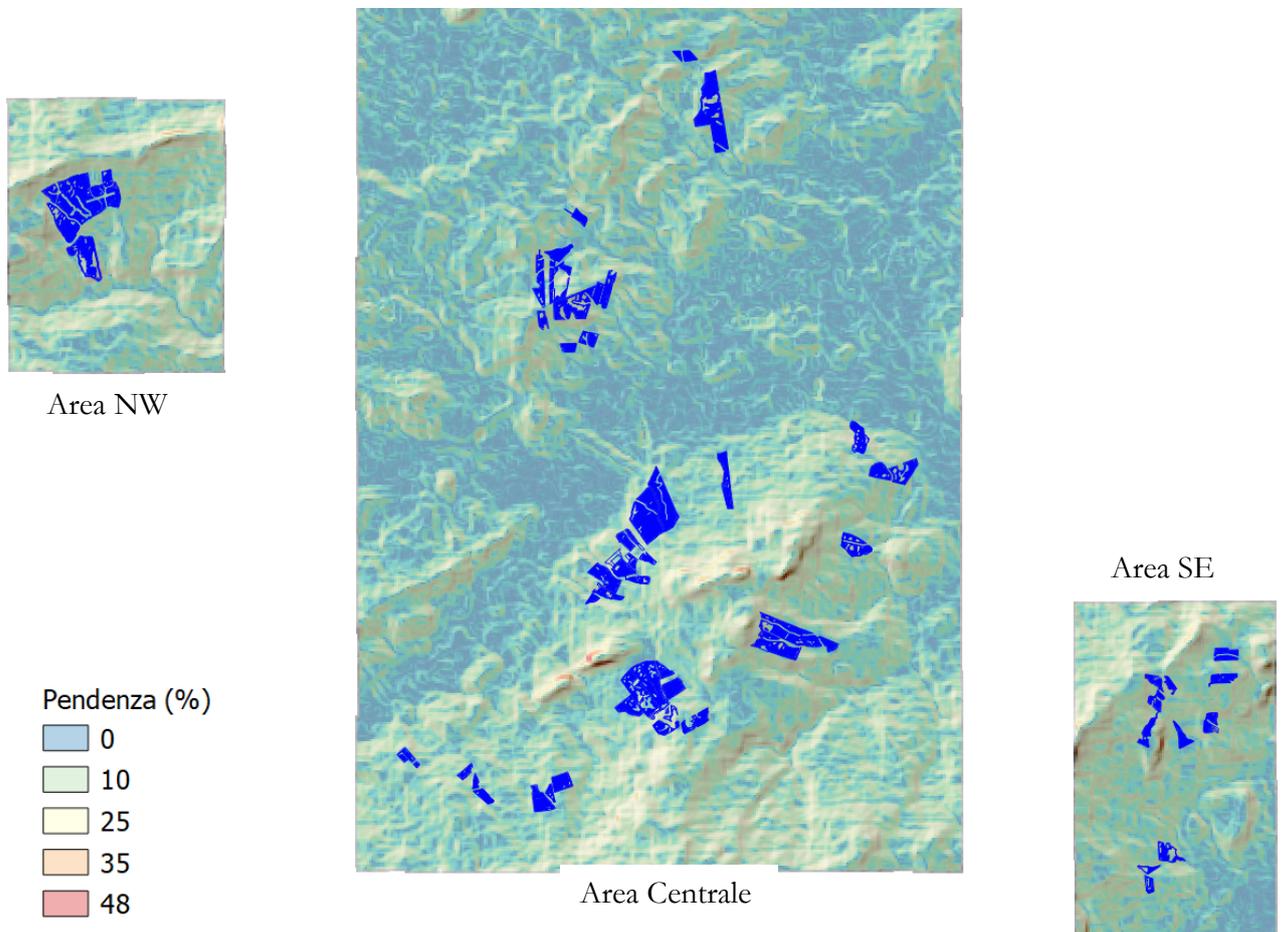
La morfologia dell'area è di tipo collinare con acclività di versante a tratti piuttosto accentuata (fino al 48%). L'acclività di versante è legata alla costituzione geologica delle formazioni presenti, tipicamente le maggiori pendenze, con presenza anche di scarpate molto acclivi, si localizzano in corrispondenza delle formazioni litoidi (Calcari e Gessi), mentre sui versanti argillosi l'acclività è sensibilmente inferiore.

Le pendenze medie delle aree interessate dal progetto sono comprese generalmente fra il 10 ed il 25%, con balze localmente più acclivi e pendenze generalmente più ridotte nelle aree di fondovalle. Il profilo dei versanti è generalmente uniforme e indica una sostanziale stabilità degli stessi. Le rotture di pendio si verificano in presenza di terreni prevalentemente litoidi (creste rocciose) o in corrispondenza di fenomeni di versante (nicchie di distacco o erosione calanchiva).

Queste aree nell'analisi geomorfologica sono comunque state escluse da quelle idonee per l'impianto.

Di seguito sono esposte alcune mappe di acclività delle aree interessate, ove è possibile constatare quanto sopra detto. Abbiamo un quadro d'unione dove il progetto viene suddiviso in tre aree omogenee, suddivisione che verrà mantenuta anche nella cartografia geologica e geomorfologica allegata. In particolare, abbiamo un'area a NW, una grande area centrale ed un'area a SE. Seguono le viste di dettaglio dove viene rappresentata anche la CTR di base in scala 1:10.000 (la scala di rappresentazione è di 1:25.000).

Dall'osservazione di queste immagini risulta evidente come le creste rocciose a morfologia più acclive seguano un andamento circa NE-SW, che poi è quello dei thrust tettonici a falde sudvergenti verso l'avampaese ibleo.



**Figura 7 – Acclività di versante – vista d'insieme**

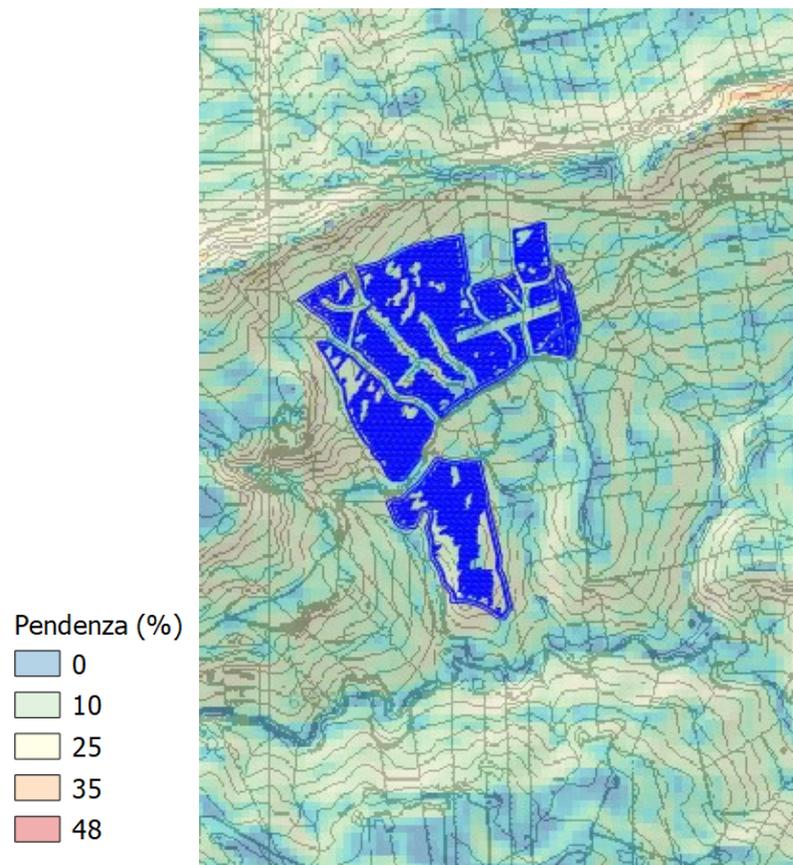


Figura 8 Acclività di versante – dettaglio area NW

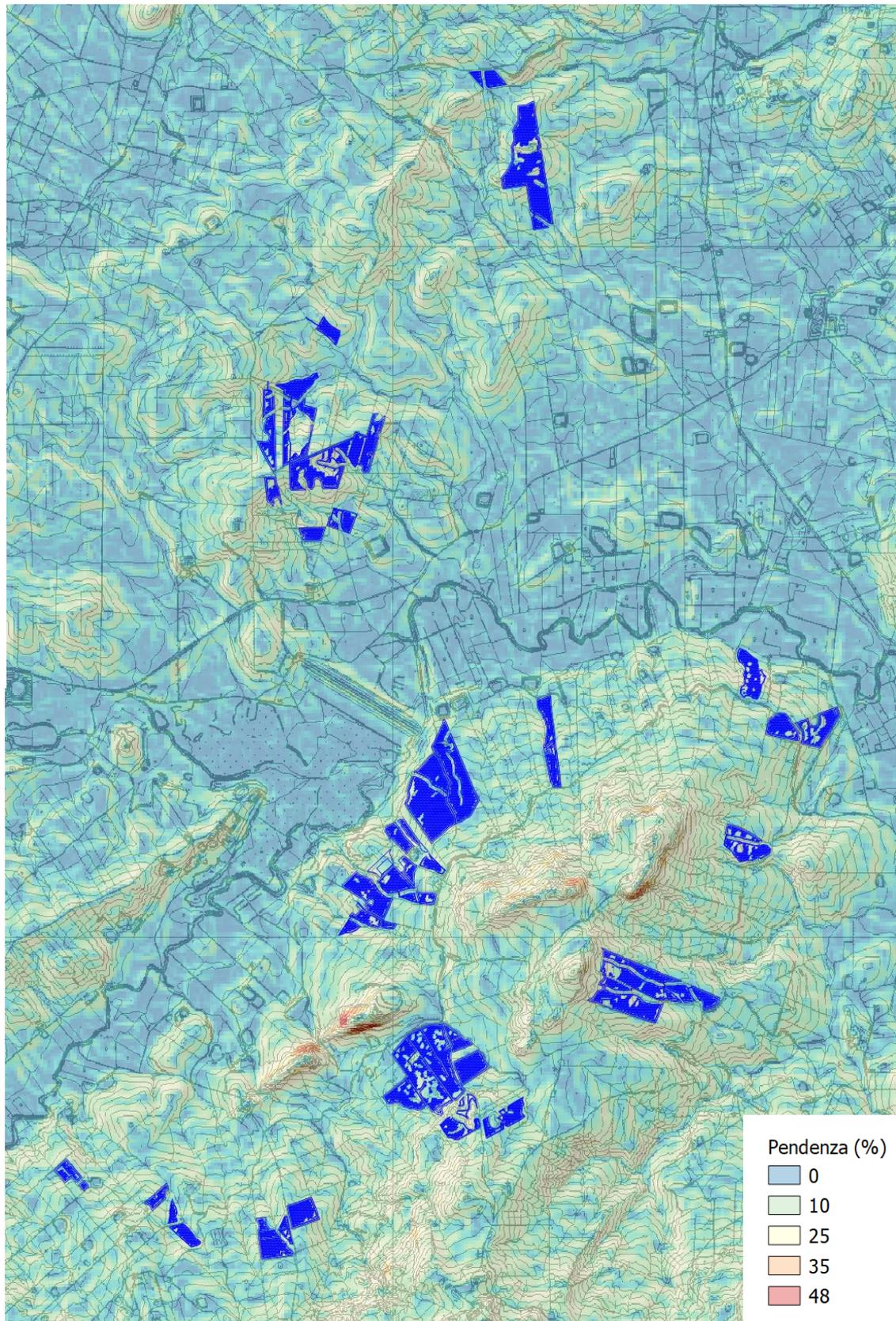


Figura 9 - Acclività di versante – dettaglio area centrale

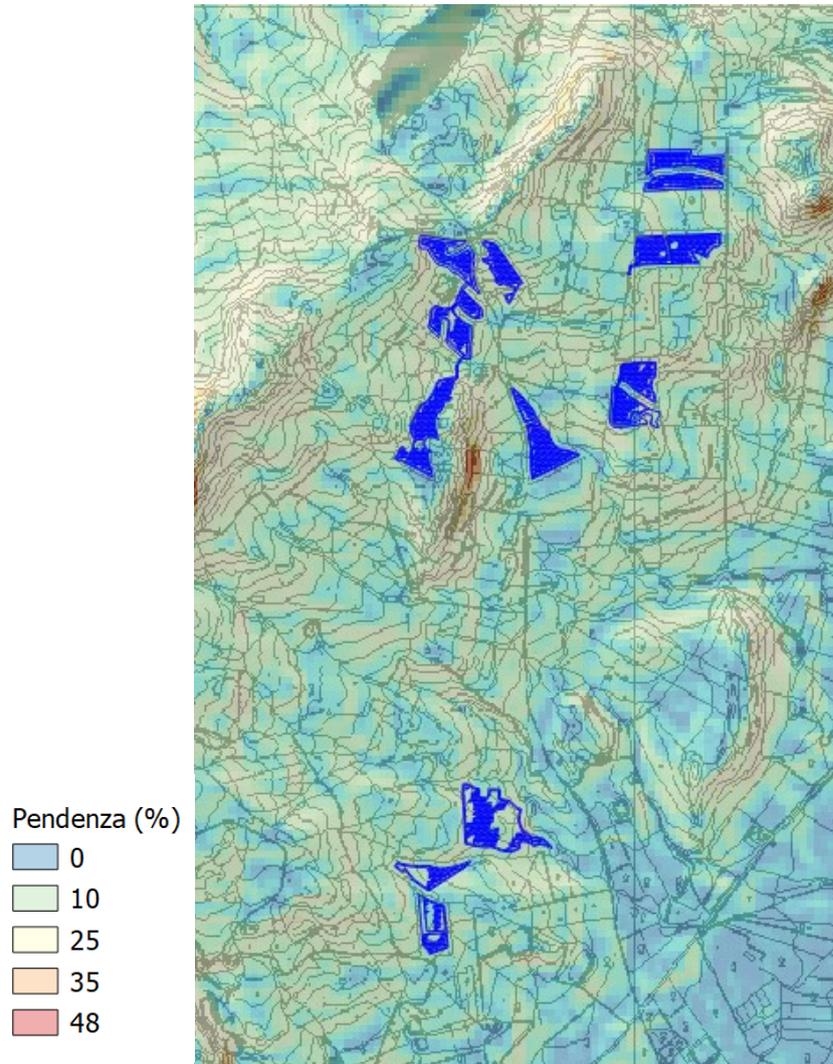


Figura 10 – Acclività di versante – dettaglio area SE

### 5.3 Caratteristiche geomorfologiche

Gli aspetti geomorfologici sono l'elemento principale da tenere in considerazione per le scelte progettuali. L'acclività di versante da una parte e la presenza di terreni argillosi ed impermeabili dall'altra determina criticità predisponenti a diversi fenomeni di versanti, quali:

- Ruscellamento diffuso ed erosione areale;
- Deflusso concentrato ed erosione lineare;
- Processi di erosione accelerata o calanchivo;
- Movimenti lenti della coltre superficiale (soliflusso);
- Dissesti gravitativi.

L'analisi della cartografia P.A.I. è il punto di partenza per l'esame dell'area sotto il profilo geomorfologico; le aree a pericolosità geomorfologica sono state preliminarmente escluse per l'installazione degli impianti. Successivamente è stato effettuato uno screening preliminare basato sull'analisi delle immagini storiche disponibili su Google earth, mediante rappresentazioni dinamiche in prospettiva tridimensionale. In particolare, lo studio geomorfologico preliminare ha permesso di delimitare le aree geologicamente idonee per l'impianto attraverso l'analisi dei seguenti elementi:

**Acclività di pendio:** l'analisi tendenzialmente ha escluso dalle aree idonee i versanti con acclività superiore al 25%, cui corrispondono in genere gli affioramenti delle formazioni a consistenza lapidea (calcari, gessi).

**Linee di impluvio:** rappresentano uno degli elementi di maggiore importanza. Sono state escluse sia gli alvei torrentizi più evidenti che le linee di impluvio meno marcate ma che comunque costituiscono un elemento ostativo alla realizzazione degli impianti. Le aree di rispetto sono state definite di ampiezza proporzionale all'importanza dell'asta torrentizia e comprendono anche aree di sponda instabili o con processi di erosione lineare o accelerata. Si va pertanto da un minimo di 5 metri (2,5m per lato) per le linee di impluvio minori, allo stato embrionale, fino a 30 m e anche oltre (15+15) per le incisioni torrentizie più importanti. Per tutte queste situazioni gli impianti devono lasciare le distanze opportune dalle aste di drenaggio sia per non ostacolare il normale deflusso delle acque che per evitare l'insorgere di fenomeni erosivi che possano mettere a rischio l'integrità degli impianti stessi. Da notare che le linee di impluvio minori spesso vengono mascherate dalle arature stagionali e che pertanto non tutte possono essere state individuate.

**Lagheti collinari, invasati:** sono sempre stati esclusi garantendo un'area di rispetto al loro intorno di ampiezza proporzionale alle dimensioni dell'invaso ed in funzione dell'ingombro delle sponde.

**Dissesti gravitativi ed aree con erosione accelerata;** Le aree sono già state oggetto di esclusione relativamente ai dissesti presenti nella cartografia PAI. Tuttavia nell'analisi sono state individuate ulteriori forme di dissesto e di instabilità di versante da cui le relative aree sono state conseguentemente escluse.

**Cumuli di pietre:** i cumuli di pietre, sia di forma circolare che disposti lungo i confini dei lotti, nascono in seguito alle attività agricole raccogliendo le pietre rinvenute durante le arature

stagionali. Talora i cumuli vengono realizzati dove già esisteva un grosso masso o un affioramento roccioso; generalmente non è stata fatta alcuna esclusione relativa ai cumuli ad eccezione di quelli più grandi che comprendono anche affioramenti rocciosi. La loro individuazione è peraltro immediata su Google Earth e dovranno essere comunque considerati opportunamente in fase di progettazione per via del loro ingombro.

**Aree alberate:** queste aree spesso fanno parte di lotti più ampi adibiti a seminativo. Le aree alberate per quanto possano essere idonee sotto il profilo geomorfologico, non sono immediatamente utilizzabili se non dopo opere di espanto della vegetazione e ciò spesso compromette la loro idoneità. In questa analisi, pertanto, le aree alberate ad uliveto fitto e ben tenuto sono state escluse anche se geologicamente idonee. Dove invece l'alberatura è più rada o si tratta di piantumazioni abbandonate, è stato dato un giudizio di idoneità. In ogni caso si lascia alla discrezionalità dell'Azienda.

Il rilievo diretto è stato il passo successivo per la valutazione della idoneità aree per l'impianto, attraverso cui si è ulteriormente affinata la delimitazione delle aree idonee e l'esclusione di quelle non idonee.

I fenomeni attivi lungo i versanti pertanto rimangono il ruscellamento diffuso e l'erosione areale, con possibili movimenti lenti della coltre superficiale (generalmente da 0,50 a 1,0 m di spessore). Pertanto all'interno delle aree considerate come "idonee" sotto il profilo geologico dovranno essere attenzionati questi aspetti.

Di seguito si allega una documentazione fotografica dei fenomeni appena descritti.



**Figura 11 – Effetti delle acque di ruscellamento dopo le prime piogge autunnali**



**Figura 12 – Fenomeni di erosione areale da parte delle acque selvagge**



**Figura 13 – Erosione dovuta alle acque di ruscellamento superficiale**

Nelle foto sopra esposte si vedono gli effetti delle prime piogge autunnali sui versanti. Poiché si tratta di terreni impermeabili, le acque ruscellano in superficie lungo i versanti e, ancor prima di giungere alle linee di impluvio del reticolo idrografico, operano sul terreno una erosione di tipo areale o diffusa che si evidenzia attraverso numerose microincisioni con larghezza e profondità da qualche cm fino a 20-30 cm. Dopo le prime piogge, tuttavia, si procede alle arature stagionali che di fatto cancellano le tracce lasciate dalle acque. Nel periodo primaverile questi fenomeni sono più ridotti a causa degli apparati radicali del frumento i quali impediscono o quanto meno riducono i fenomeni erosivi. L'entità dei fenomeni erosivi è funzione della durata e dell'intensità delle piogge. Eventi intensi e prolungati naturalmente generano effetti erosivi più profondi nel terreno.

Quanto sopra descritto rappresenta la normale dinamica geomorfologica sui versanti. Il risultato di questi processi è il continuo trasporto a valle di terreno limoso-argilloso che spesso va ad intasare le stradelle agricole ma anche strade di maggiore importanza. Nella foto seguente si può notare il terreno colluviale accumulato lungo il lato monte di una strada, ove l'altezza del muro indica dove un tempo giungeva il terreno.

Le indagini effettuate generalmente indicano che, al di sotto della coltre superficiale di natura eluviale o colluviale, la formazione in posto possiede discrete caratteristiche meccaniche tali da garantire una sostanziale stabilità di versante. Pertanto nella progettazione dell'impianto vanno necessariamente considerati questi aspetti con interventi di canalizzazione e convogliamento delle acque superficiali esternamente all'impianto, che permettano di mitigare i fenomeni evolutivi e di mantenere l'invarianza idraulica dell'area. In particolare, a distanze costanti sulle aree in pendio dovranno essere intercettate le acque di ruscellamento attraverso la realizzazione di piccole trincee

perpendicolari alle linee di deflusso. In tal modo le acque non potranno acquisire velocità e di conseguenza capacità di erosione e trasporto e potranno essere allontanate senza che producano significativi effetti erosivi. Il numero e la distanza fra le trincee potrà essere definite in funzione dell'acclività di versante mediante apposito calcolo idraulico. L'inibizione dei processi erosivi e la canalizzazione delle acque di ruscellamento garantirà maggiormente la stabilità di versante e la durata dell'impianto. Nell'ambito dei lavori di manutenzione ordinaria dell'impianto, dovrà essere sempre garantita la funzionalità delle opere di regimazione idraulica.



**Figura 14 – Terreni colluviali accumulati nella parte inferiore dei versanti a seguito dell'erosione areale**



**Figura 15 – Formazione argillosa stratificata messa a nudo dall'erosione lineare**

Nella foto sopra esposta si può osservare il contatto fra il terreno di superficie e la formazione argillosa sottostante, messa a nudo dall'erosione lineare in una linea di impluvio. Mentre la coltre superficiale risulta facilmente erodibile, le sottostanti argille (in questo caso si tratta di argille microstratificate molto consistenti) oppongono una maggiore resistenza all'erosione. Si sottolinea come le pratiche agricole tengano "sotto controllo" i fenomeni erosivi; senza di esse, le dinamiche geomorfologiche sarebbero più rapide ed incisive nella stabilità e nella modellazione dei versanti.

#### 5.4 Caratteristiche idrogeologiche locali

Sotto il profilo idrogeologico, come già anticipato nelle linee generali, a causa della presenza di terreni in prevalenza argillosi e quindi impermeabili o comunque a permeabilità molto bassa, la circolazione idrica sotterranea è assai poco significativa. Soltanto nei fondivalle delle aste fluviali principali può esistere un minimo di deflusso sotterraneo all'interno dei depositi alluvionali. Per il resto, nelle formazioni calcaree lapidee riferibili alla serie evaporitica può configurarsi una circolazione idrica sotterranea più marcata, che alimenta falde acquifere superficiali ed effimere, limitate ai terreni lapidei permeabili per fratturazione. Tali formazioni non sono comunque affioranti nelle aree facenti parte del progetto se non in maniera assai limitata e marginale.

Gli aspetti idrogeologici legati al deflusso delle acque sotterranee si esplicano in maniera più marcata in corrispondenza dei terreni alluvionali di fondovalle, comunque al di fuori delle aree in cui si svilupperà il progetto. Si tratta in ogni caso di falde relativamente superficiali e di modesta importanza, sostenute dal substrato impermeabile delle varie formazioni a prevalente costituzione argillosa affioranti lungo i versanti.

## 6 INDAGINI GEOFISICHE

Per la caratterizzazione dei terreni ai sensi della normativa vigente (D.M. 17.01.2018) e dal punto di vista geomeccanico è stata condotta una campagna di indagini basata su indagini geofisiche di tipo sismico.

Sono state pertanto effettuate le seguenti indagini sismiche:

- N. 36 prospezioni sismiche attive MASW;
- N. 18 tomografie sismiche a rifrazione.

Le indagini sono state distribuite a campione sulle aree interessate, in modo di ottenere informazioni quanto più rappresentative dell'intera area interessata dal progetto.

La normativa tecnica classifica i suoli in più categorie sulla base del valore di  $V_{s,eq}$  che rappresenta la velocità media equivalente di propagazione delle onde S in profondità al di sotto del piano di fondazione. Data la notevole estensione complessiva e distribuzione territoriale delle aree interessate, le indagini sono state effettuate a campione ma in numero sufficiente a caratterizzare le aree sotto il profilo geofisico. I risultati delle indagini sono stati pertanto analizzati mediante analisi statistica.

Scopo delle prospezioni MASW è la caratterizzazione del sottosuolo ai sensi delle N.T.C. 2018 entrate in vigore con il D.M. 17.01.2018 mediante la profilazione monodimensionale del sottosuolo con le velocità delle onde sismiche  $V_s$ . Le tomografie sismiche invece permettono di ottenere sezioni bidimensionali ad elevata risoluzione del sottosuolo tramite analisi delle  $V_p$ , attraverso cui è possibile ricostruire il modello geologico.

Le indagini geofisiche sono contenute in uno specifico rapporto di prova, allegato alla presente relazione, con descrizione delle metodologie adottate e dei risultati estesi e sintetici.



Figura 16 – Indagine sismica MASW e fase di shot per analisi sismica a rifrazione

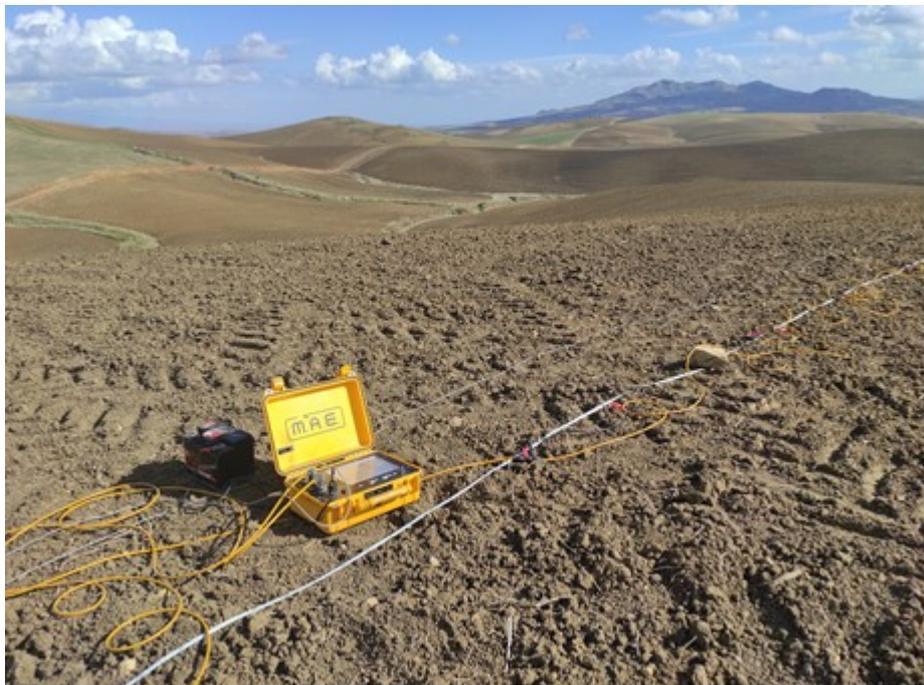


Figura 17 – Particolare dello stendimento sismico e della stazione sismica digitale

## 6.1 Descrizione dei risultati delle indagini geofisiche

### Prospezioni MASW

Di seguito viene presentata una tabella riassuntiva dei valori di  $V_{s,eq}$  ottenuti attraverso le prospezioni MASW. Oltre al valore del  $V_{s,eq}$  e della categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.18), vengono riportati i valori di velocità delle onde di taglio nei primi otto metri di profondità secondo gli intervalli 0-2 m, 2-5 m e 5-8 m; per questi intervalli è indicata una stima della consistenza e dei parametri elasto-dinamici, in particolare i moduli di rigidità e di volume, nonché il modulo di elasticità sia dinamico che statico. I terreni ad elevata consistenza, con valore di  $V_s$  superiore a 600 m/s, presentano generalmente caratteristiche litoidi.

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

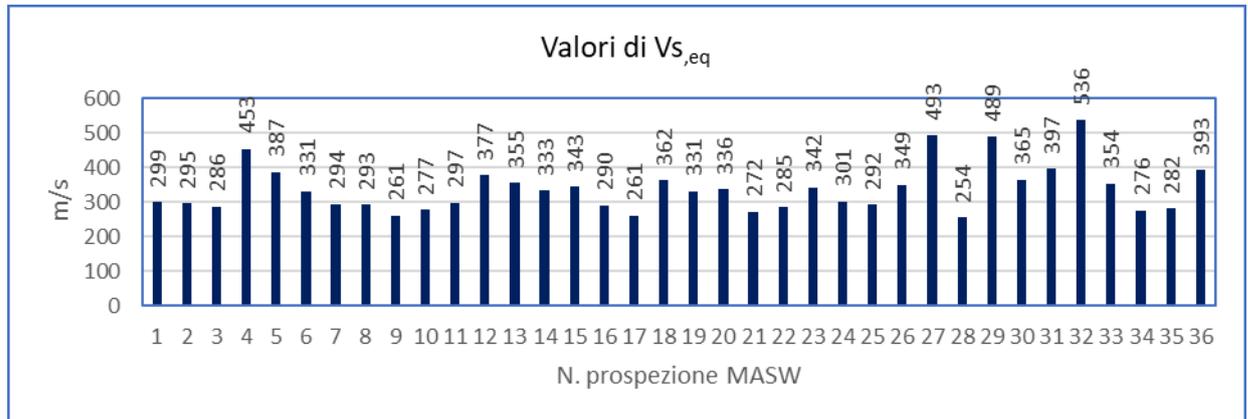
Di seguito viene allegata la tabella riassuntiva dei valori rilevati, in cui la tonalità di colore determina una mappa cromatica di immediata comprensione, in cui sono direttamente correlabili la formazione affiorante nel sito di indagine, la categoria di sottosuolo e la consistenza del terreno entro i primi 8 metri di profondità mediante valori tabellati e relativo colore.

MASW n.	V <sub>s,seq</sub> (m/s)	Categoria sottosuolo (D.M. 17.01.18)	Formazione affiorante	Vs (m/s)	Vs (m/s)	Vs (m/s)
				0-2 m	2-5 m	5-8 m
1	299	C	Terravecchia	169	222	288
2	295	C	Terravecchia	178	260	206
3	286	C	Terravecchia	177	222	279
4	453	B	Gessi	354	511	580
5	387	B	Terravecchia	312	370	360
6	331	C	Terravecchia	249	277	285
7	294	C	Terravecchia	173	232	205
8	293	C	Terravecchia	183	220	195
9	261	C	Terravecchia	203	167	211
10	277	C	Terravecchia	177	168	235
11	297	C	Terravecchia	229	303	235
12	377	B	Terravecchia	252	279	316
13	355	C	F. Numidico	214	240	305
14	333	C	F. Numidico	172	218	279
15	343	C	F. Numidico	186	261	255
16	290	C	Terravecchia	187	154	265
17	261	C	Terravecchia	218	247	174
18	362	B	F. Numidico	148	225	293
19	331	C	Terravecchia	193	252	252
20	336	C	F. Numidico	278	313	279
21	272	C	Terravecchia	175	230	228
22	285	C	Terravecchia	208	208	280
23	342	C	F. Numidico	259	357	274
24	301	C	Terravecchia	158	225	231
25	292	C	Terravecchia	217	221	219
26	349	C	Terravecchia	297	283	252
27	493	B	Gessi	382	458	577
28	254	C	Terravecchia	165	172	218
29	489	B	Gessi	361	487	552
30	365	B	Arg. brecciate	200	262	315
31	397	B	Terravecchia	222	238	308
32	536	B	Gessi	287	403	485
33	354	C	Terravecchia	200	172	334
34	276	C	Terravecchia	147	217	253
35	282	C	Arg. brecciate	238	217	253
36	393	B	Terravecchia	180	244	300

Figura 18 – Tabella di sintesi dei risultati delle prospezioni MASW

Dalla tabella sopra esposta si vede che i terreni analizzati ricadono prevalentemente nella Categoria C ed in minor misura nella B, di cui alle N.T.C. 2018. La prevalenza del colore giallo in tabella indica peraltro che gran parte del terreno indagato mostra valori di  $V_s$  compresi fra 180 e 300 m/s entro i primi 8 m.

Di seguito è mostrato un istogramma con i valori di  $V_{s,eq}$  rilevati nelle varie prospezioni.



**Tabella 1 – Valori di  $V_{s,eq}$**

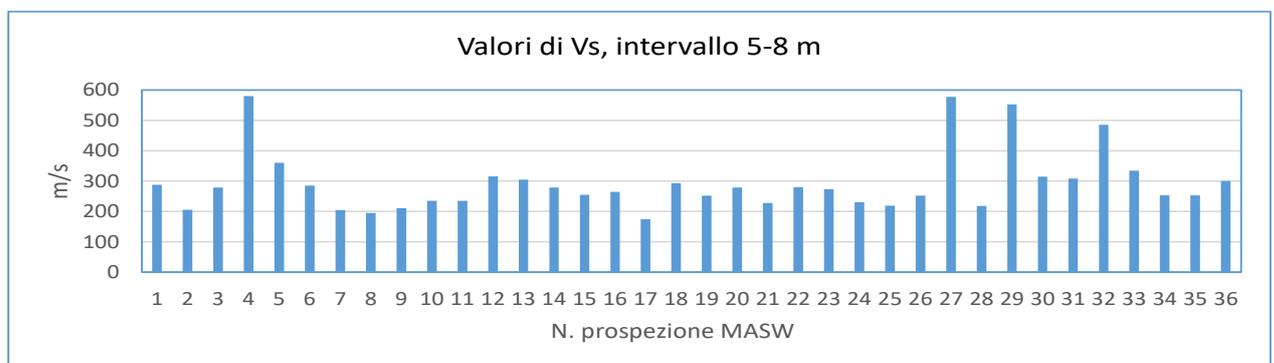
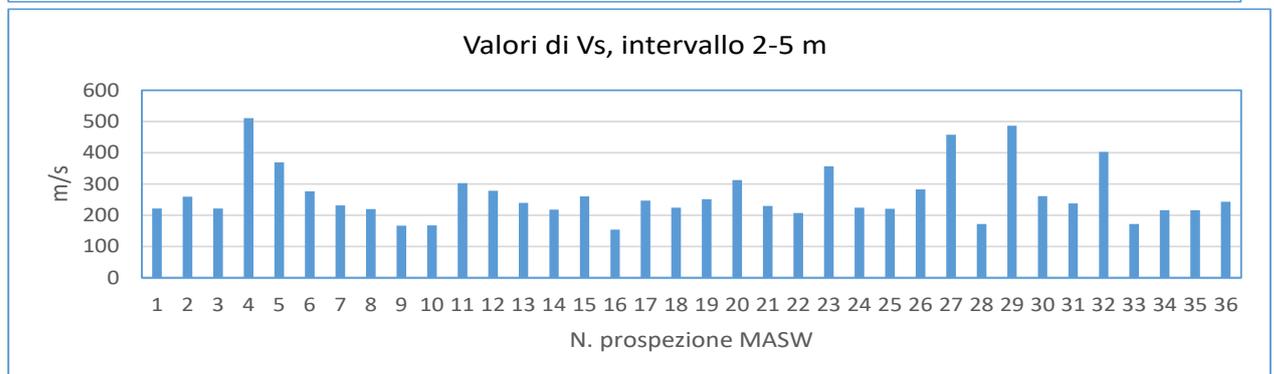
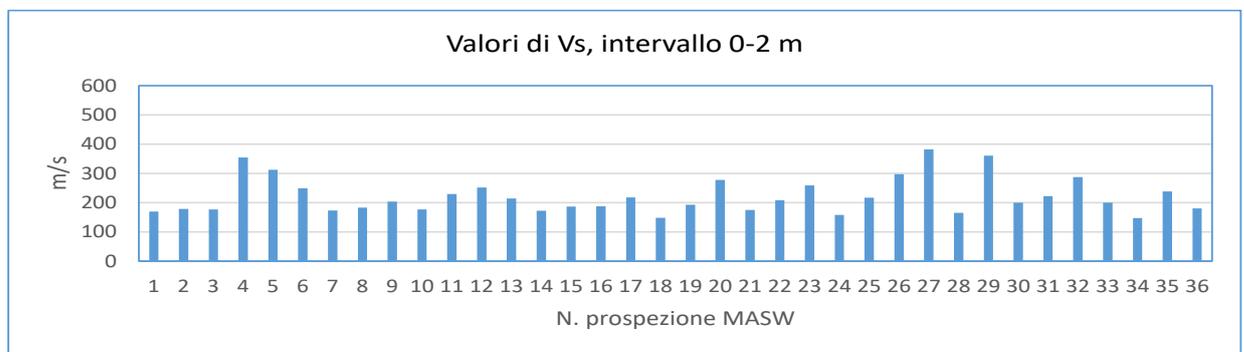
Dall'analisi della tabella e del grafico, risulta che il valore più alto osservato è di 536 m/s in corrispondenza dei gessi, mentre il più basso è di 254 m/s, in corrispondenza delle argille tortoniane della F<sub>ne</sub> Terravecchia. Siamo pertanto di fronte a terreni a rigidità da bassa a medio-bassa con alcuni picchi in corrispondenza della formazione dei gessi, a consistenza litoide. Non sono stati osservati terreni in Categoria A né tanto meno entro i 30 m è stata superata la soglia degli 800 m/s, per cui la velocità equivalente  $V_s$  introdotta dal D.M. 17.01.18 corrisponde al valore  $V_{s30}$  in quanto, nell'espressione:

il termine H assume il valore di 30 m, riconducendo il calcolo della velocità equivalente al valore di  $V_{s30}$  della precedente normativa.

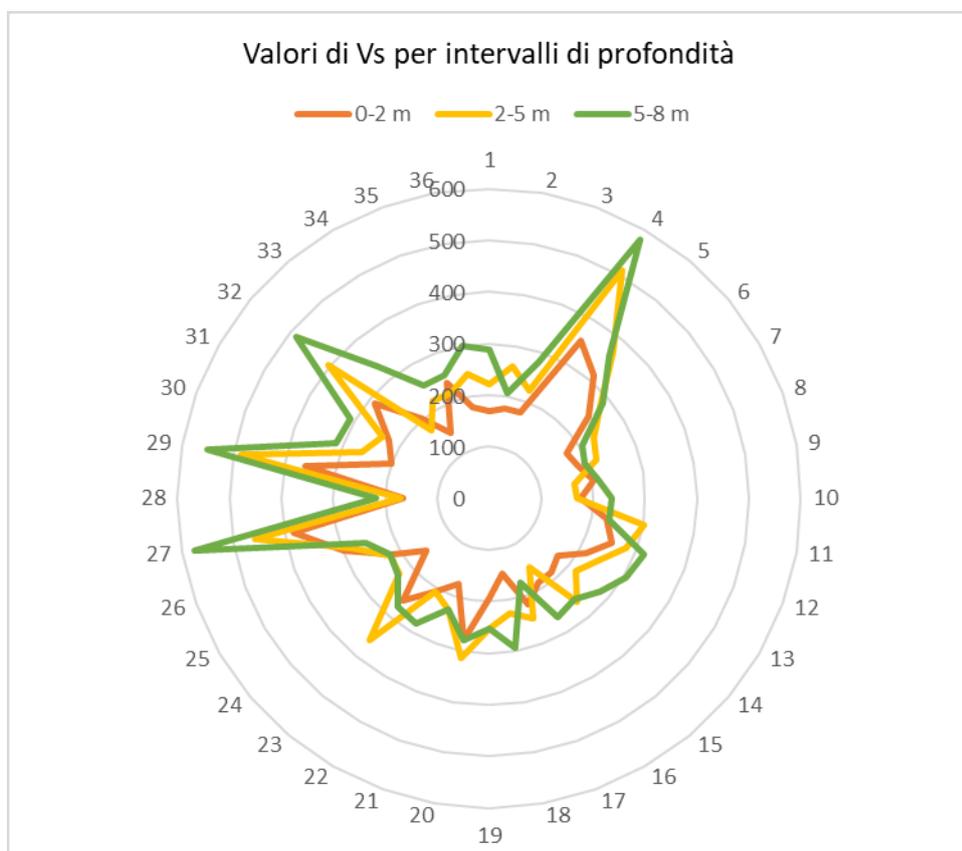
Complessivamente, dunque non ci sono significative variazioni pertanto i valori ottenuti possono considerarsi pienamente rappresentativi di tutta l'area di studio. Vediamo adesso come sono distribuiti i valori ottenuti all'interno delle aree interessate.

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

Poiché il valore della media equivalente di  $V_s$  entro i 30 m è condizionato maggiormente dagli strati superficiali più soffici, dal valore ottenuto è già possibile effettuare delle considerazioni in merito agli aspetti geomeccanici del sottosuolo. In particolare, si vede come nelle prove ubicate nelle aree più acclivi e comunque alla sommità dei versante presentino un valore di  $V_{s,eq}$  tendenzialmente più elevato, a parità di litologia, rispetto ai terreni delle aree meno acclivi o comunque nella parte più bassa dei versanti. Ciò dipende in buona parte dallo spessore e consistenza della coltre colluviale e dalla porzione più alterata ed allentata della formazione sottostante, per cui nelle parti alte del pendio troveremo una coltre più sottile, mentre nella parte inferiore avremo uno spessore maggiore. Per questo motivo dalle singole prove effettuate sono stati estratti anche i valori dei primi metri superficiali (0-2 m, 2-5 m e 5-8 m), i quali sono riportati nei seguenti istogrammi.

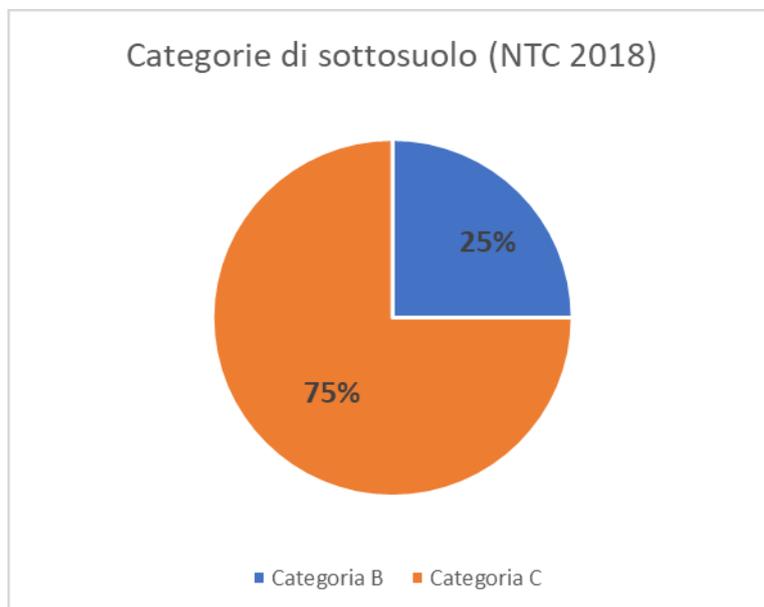


In diverse prove sono state osservate delle inversioni di velocità, seppure non molto marcate, fra il livello di superficie (0-2 m) e quello immediatamente sottostante (2-5). Questo è un fenomeno che si verifica nei terreni argillosi nel periodo asciutto fino a prima della stagione piovosa; in particolare, il livello superficiale si disidrata e si compatta evidenziando valori di  $V_s$  spesso superiori a quelle del livello inferiore (2-5 m) che si mantiene più umido. La maggiore presenza di acqua nei pori condiziona le velocità sismiche, le quali localmente possono presentare una riduzione che poi si annulla nei livelli inferiori grazie alla maggiore compattezza del terreno in virtù della minore alterazione e del carico litostatico via via più elevato. Allo scopo di evidenziare i siti di indagine ove si sono presentate queste situazioni, è stato realizzato un diagramma polare che rappresenta i valori dei primi tre livelli di sottosuolo nelle prospezioni effettuate.

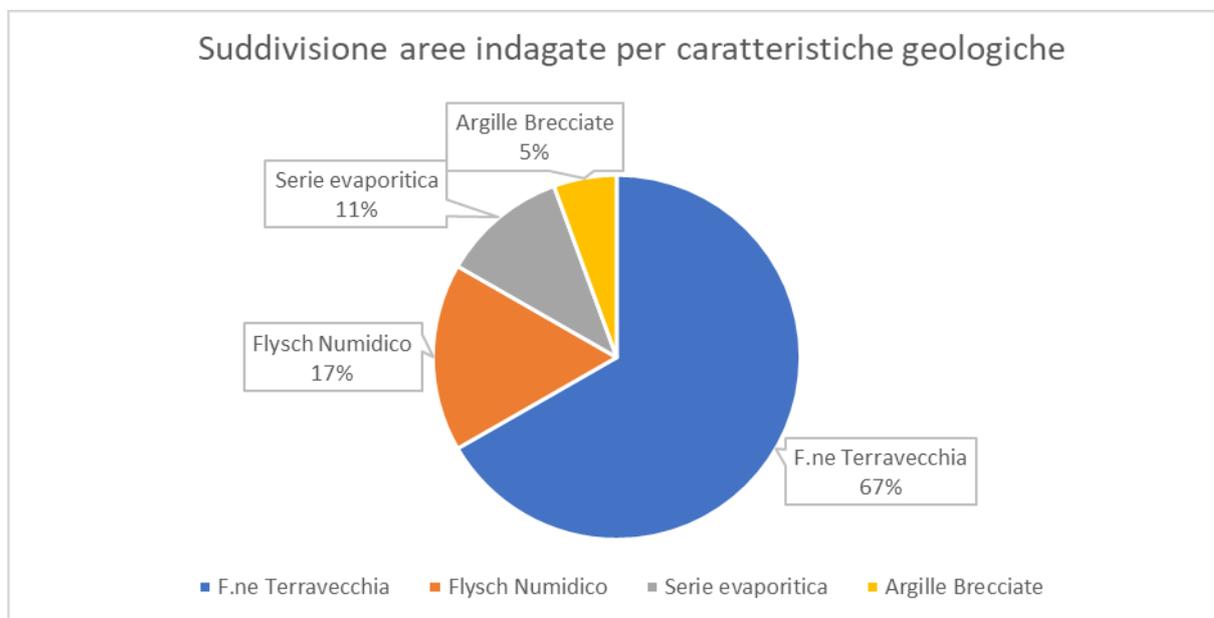


In particolare, nei modelli 1-D a velocità crescente con la profondità si può osservare la sequenza cromatica arancione-giallo-verde procedendo dal centro verso l'esterno del grafico. Le inversioni di velocità sono invece evidenziate da una sequenza differente e da un locale accavallamento delle spezzate. Casi di inversioni di velocità si sono incontrati in quasi il 50% delle prove effettuate, anche a profondità superiori. La motivazione è sempre da ricercare non tanto in una variazione litologica (siamo in genere nell'ambito della medesima formazione), ma nella variazione del contenuto in acqua che condiziona come detto i valori di velocità delle onde S le quali notoriamente non si trasmettono nei fluidi e che, anche nei terreni, in presenza di saturazione, subiscono un certo rallentamento.

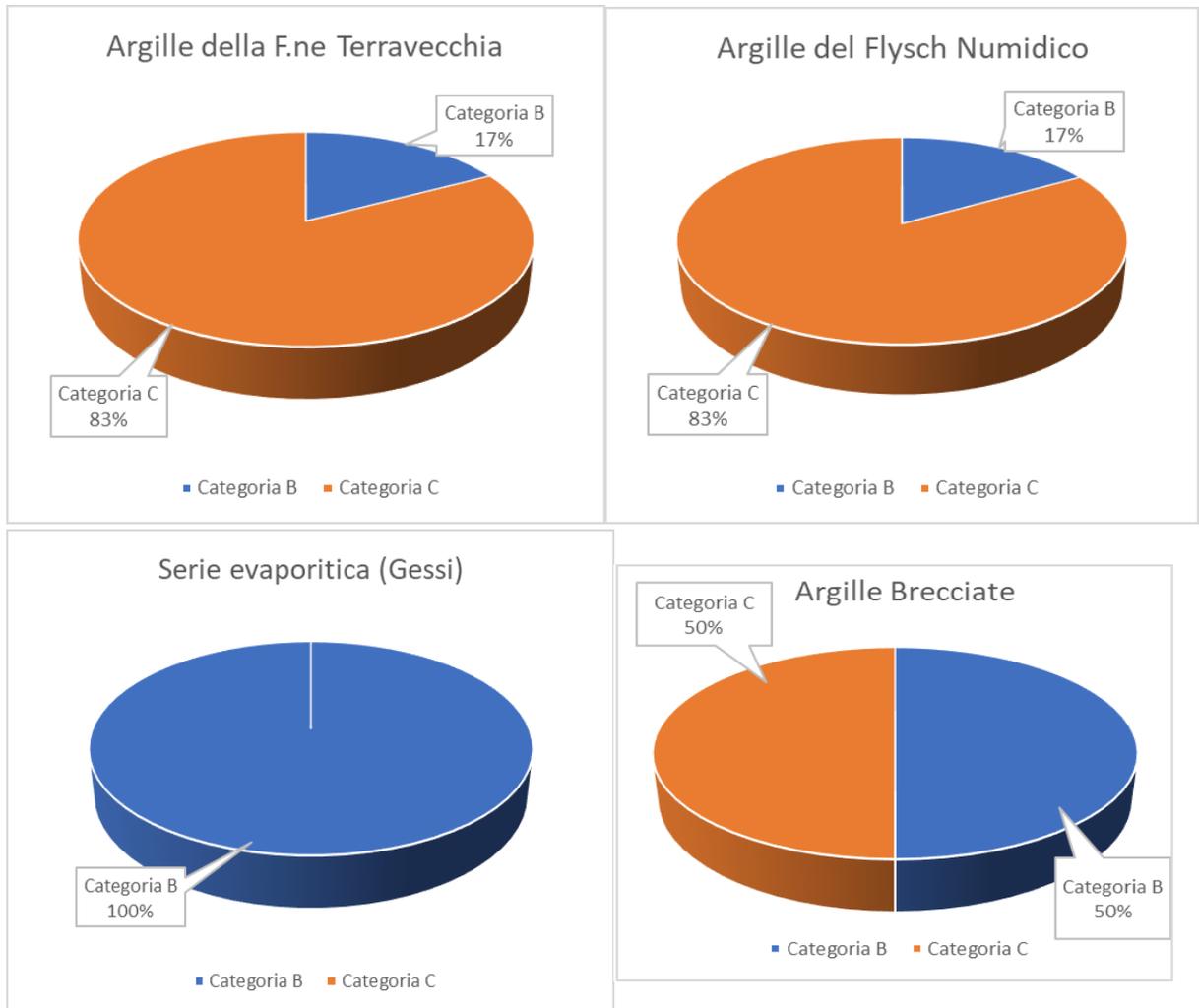
Relativamente alle categorie di sottosuolo, la preponderanza delle analisi sismiche ha rilevato una categoria di tipo C (75%), mentre è stata rilevata una categoria B solo per il 25% dei casi.



Sotto il profilo geologico, la formazione Terravecchia del Tortoniano rappresenta buona parte dei terreni indagati e quindi del progetto, seguita dalle argille del Flysch Numidico, dai Gessi ed infine dalle Argille brecciate, come risulta in modo più evidente dal seguente aerogramma.



Passando poi all'analisi dei risultati per singola formazione geologica, di seguito sono illustrati gli aerogrammi ottenuti differenziando le categorie di sottosuolo all'interno delle varie formazioni affioranti.



Tomografie sismiche

Le sezioni sismiche tomografiche ci danno indicazioni sull'andamento dei sismostrati in sottosuolo mediante sezioni 2D ad elevata risoluzione. Nel caso del progetto in esame, gli stendimenti sismici sono stati realizzati per la maggior parte perpendicolarmente al pendio in modo da avere una visione alla medesima quota. In fase di elaborazione è stato definito di base un modello a tre sismostrati assumendo per la copertura superficiale valori di  $V_p$  da 390 a 500 m/s. Il primo rifrattore è sempre costituito dalla formazione in posto ed in particolare dalla parte apicale più alterata con consistenza da bassa a media e spessore compreso fra 2,5 e 5,0 m e  $V_p$  comprese fra 650 e 900 m/s. Segue infine il secondo rifrattore con valori di  $V_p$  generalmente superiori a 1200 m/s e fino a 1600, che rappresenta la formazione inalterata ed a maggiore consistenza. Gli spessori della coltre superficiale nelle varie sezioni vanno da un minimo di 0,2 m fino a 3,0 m. La comparazione dei risultati fra il modello 1\_D delle Masw e la tomografia sismica ha permesso di correlare le aree di indagine con valore di  $V_{s,eq}$  più bassi con la presenza di una coltre colluviale più potente e substrato con consistenza mesio-bassa; al contrario, in corrispondenza dei valori di  $V_{s,eq}$  più elevati lo spessore del terreno limoso-argilloso superficiale è più ridotto ed in genere il substrato argilloso mostra valori di  $V_p$  più elevati.

<b>Tomografia sismica n.</b>	<b>Formazione geologica</b>	<b>Aerato superficiale a minore consistenza (m)</b>	<b><math>V_p</math> media (m/s)</b>
1	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 – 1,5	450
4	Gessi della serie evaporitica	0,3 – 1,5	680
7	Argille della F.ne Terravecchia	2,0 – 3,0	430
9	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,0	480
11	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,2	420
12	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,5	400
13	Argille del Flysch Numidico	0,5 – 2,0	450
15	Argille del Flysch Numidico	1,0 – 2,2	500
17	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 - 1,6	400
19	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 - 1,5	400
22	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,8	500
23	Argille del Flysch Numidico	0,5 – 1,5	380
26	Argille della F.ne Terravecchia	1,5 – 2,2	400
28	Argille della F.ne Terravecchia	1,8 – 2,5	450
31	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,0	430
32	Gessi della serie evaporitica	0,3 – 2,0	560
35	Argille Brecciate	0,8 – 2,2	400
36	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,0	450

All'interno delle sezioni i vari sismostrati sono identificati da dei layer sovrapposti; tuttavia, se fra il terreno superficiale e il primo sottosuolo argilloso ci può essere una distinzione più o meno

evidente, fra il primo e secondo rifrattore la transizione è generalmente graduale e la linea di separazione serve soprattutto a identificare terreni con caratteristiche di rigidezza e consistenza differenti nell'ambito della stessa formazione.

Relativamente al primo rifrattore, fanno eccezione le prove 4 e 32, effettuate in corrispondenza di terreni evaporitici (gessi), superficialmente interessati da una porzione più alterata ed argillificata presso cui sono state possibili le arature e le pratiche agricole. In queste prove sono stati osservati valori piuttosto elevati delle  $V_p$ , a conferma della presenza in loco di un sottosuolo a maggiore consistenza.

Sotto il profilo geologico-tecnico, le sezioni tomografiche 2D evidenziano che la parte apicale delle formazioni ha normalmente una consistenza medio-bassa per circa 1-2 metri o anche più, in qualche caso. Naturalmente la bassa consistenza dipende anche dallo spessore del terreno limoso-argilloso eluvio-colluviale di copertura, ma rimane comunque un elemento importante di valutazione perché proprio in questo livello si andranno ad attestare le strutture di fondazione degli impianti fotovoltaici, di conseguenza devono essere predisposti tutti quegli interventi mirati alla mitigazione dei fenomeni evolutivi che per la maggior parte si esplicano proprio negli spessori superficiali del terreno (fenomeni erosivi lineari ed areali, dissesti per colamento) che potrebbero compromettere la funzionalità stessa degli impianti se non adeguatamente considerati in sede progettuale.

Di seguito viene effettuata una sovrapposizione delle sezioni sismiche tomografiche sui profili  $V_s$ , relativamente all'intervallo di profondità 0-8 m, che è quello generalmente indagato attraverso un array geofonico end-to end shot di lunghezza pari a 40 metri. Tale rappresentazione consente di comparare al meglio i risultati di entrambe le prospezioni.

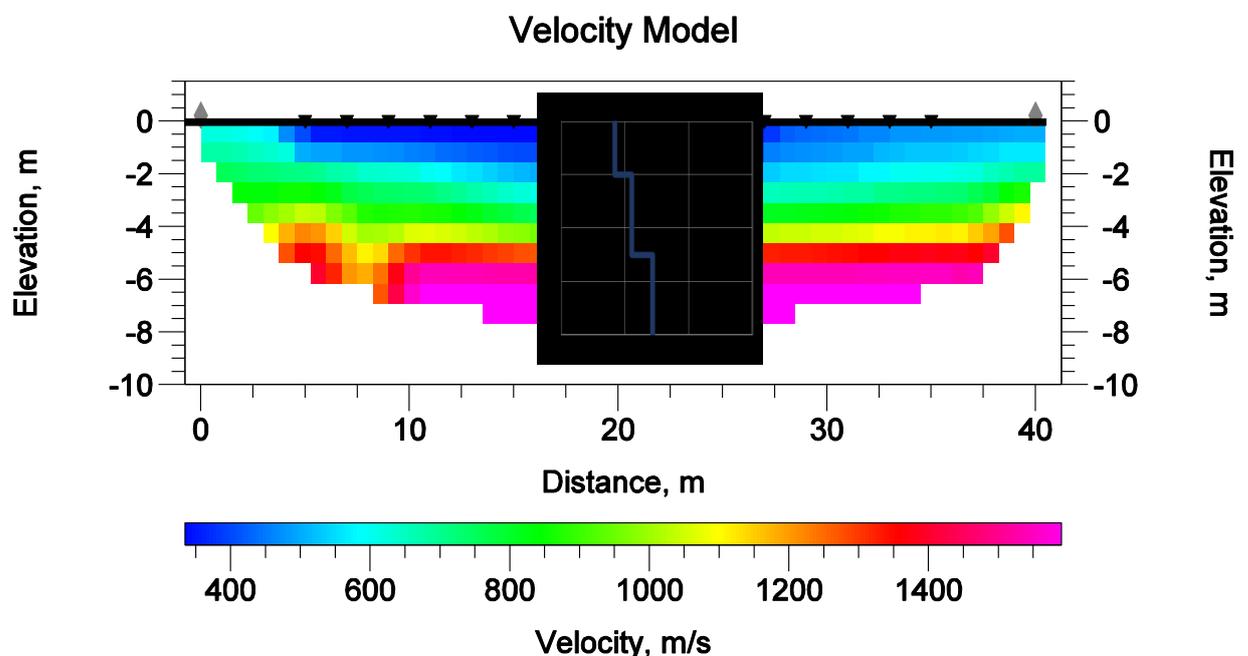


Figura 19 – Sezione Ts1-Mw1 (F.ne Terravecchia)

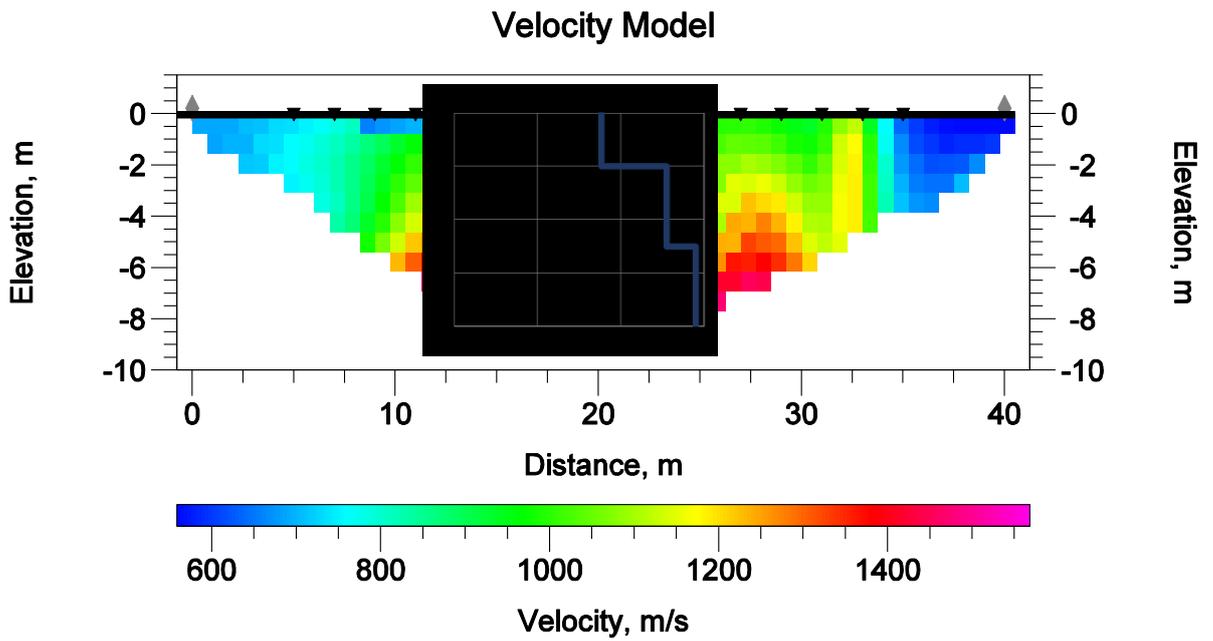


Figura 20 – Sezione Ts4-Mw4 (Gessi)

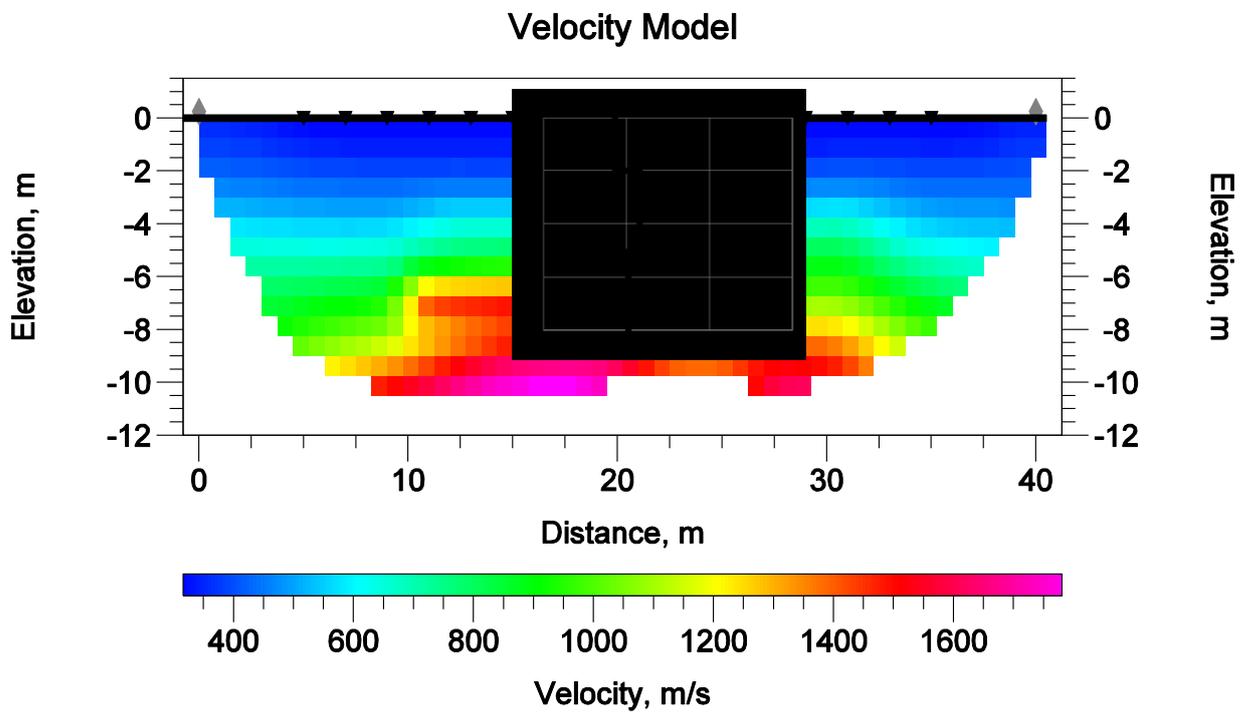


Figura 21 – Sezione Ts7-Mw7 (F.ne Terravecchia)

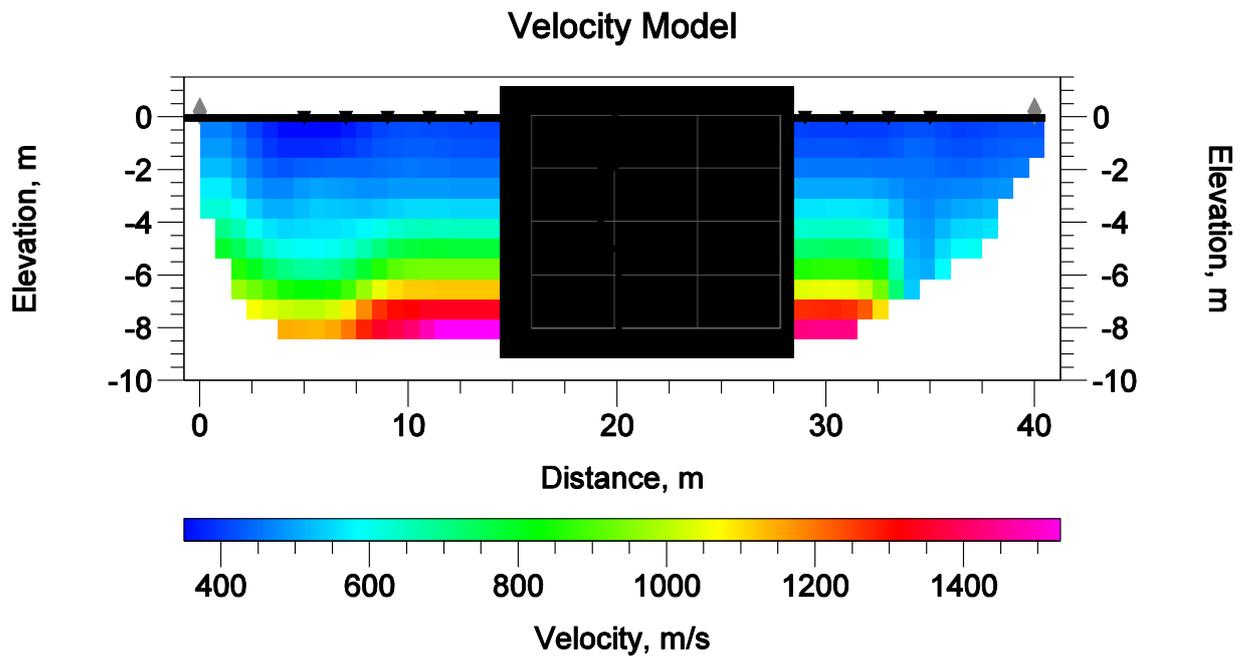


Figura 22 – Sezione Ts9-Mw9 (F.ne Terravecchia)

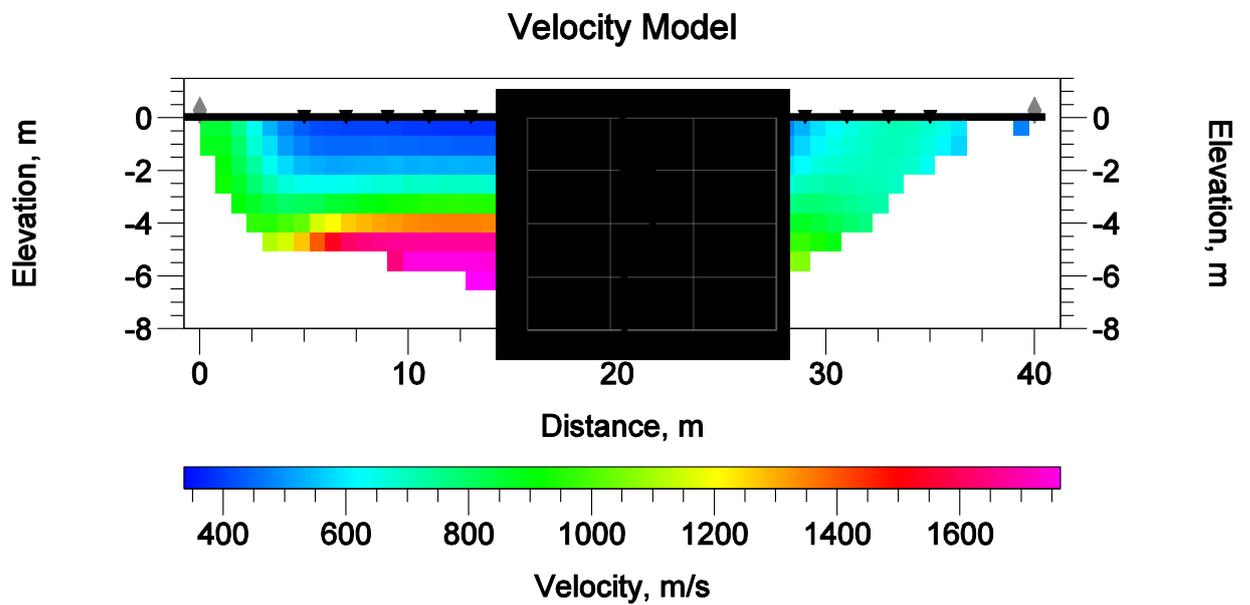


Figura 23 – Sezione Ts11-Mw11 (F.ne Terravecchia)

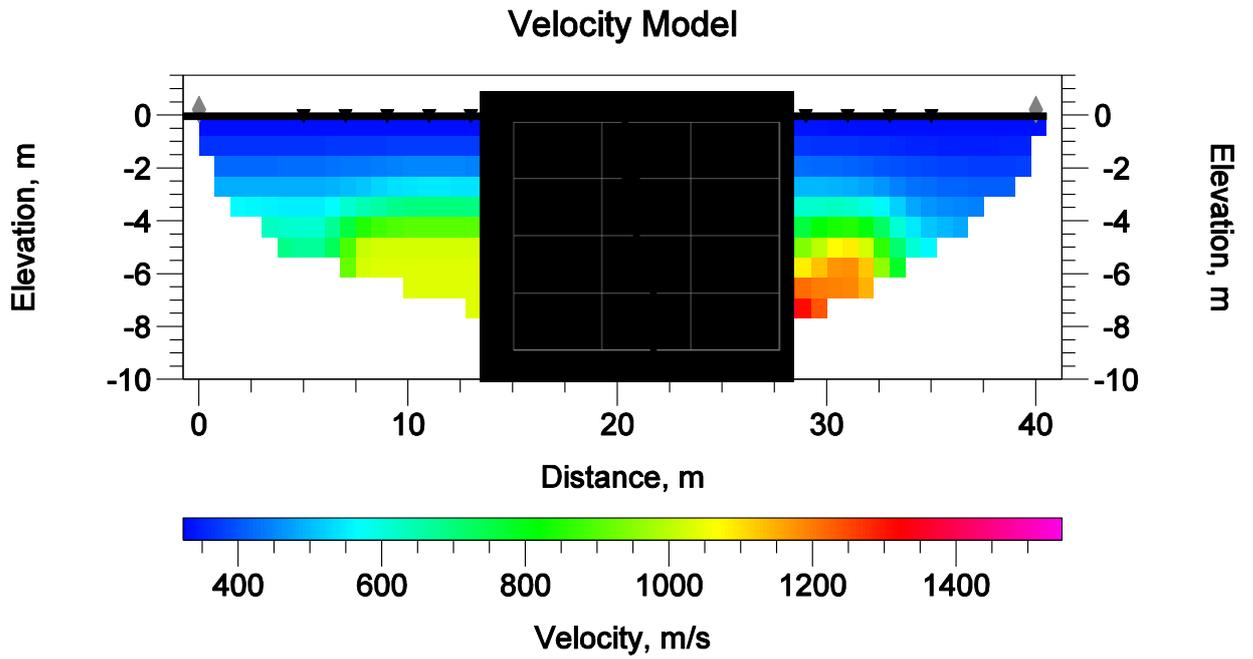


Figura 24 – Sezione Ts12-Mw12 (F.ne Terravecchia)

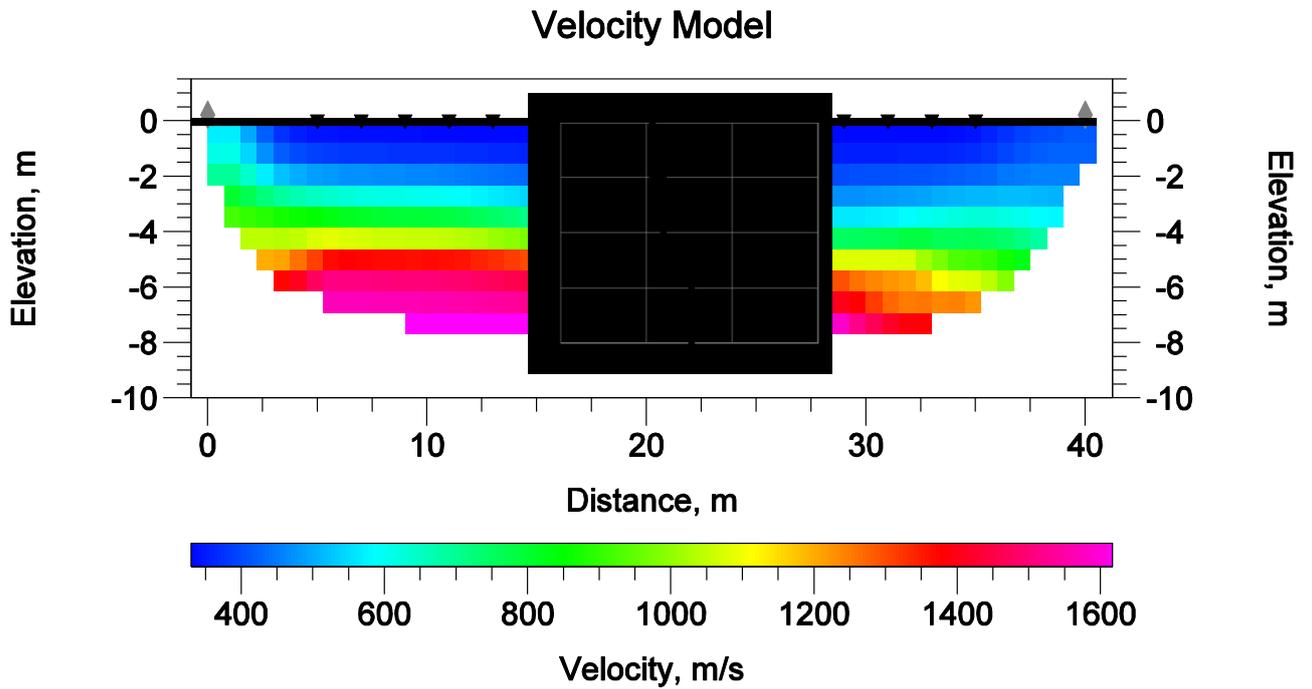


Figura 25 – Sezione Ts13-Mw13 (F.ysch Numidico)

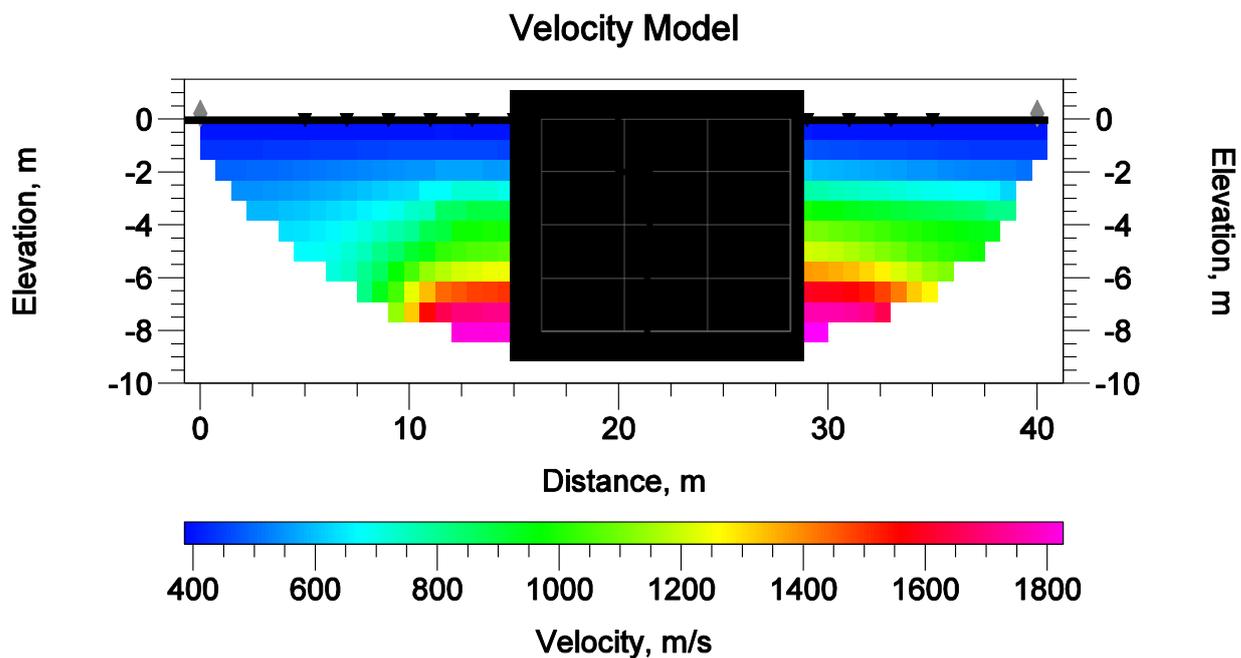


Figura 26 – Sezione Ts15-Mw15 (Flysch Numidico)

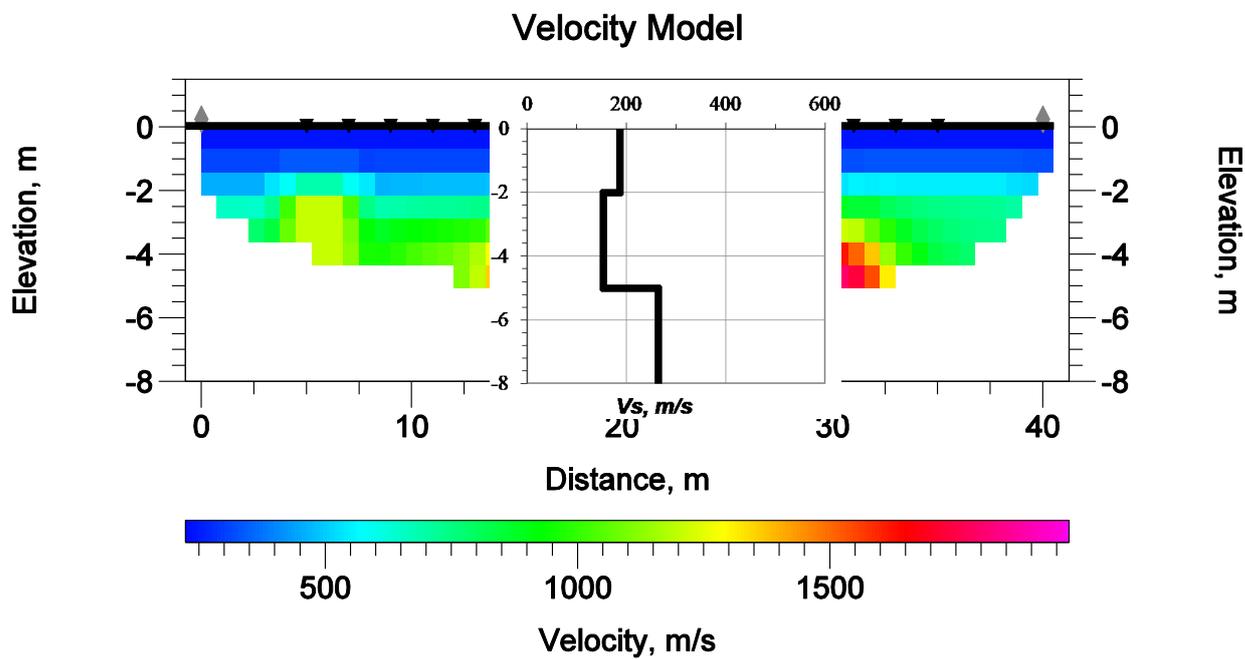


Figura 27 – Sezione Ts17-Mw17 (F.ne Terravecchia)

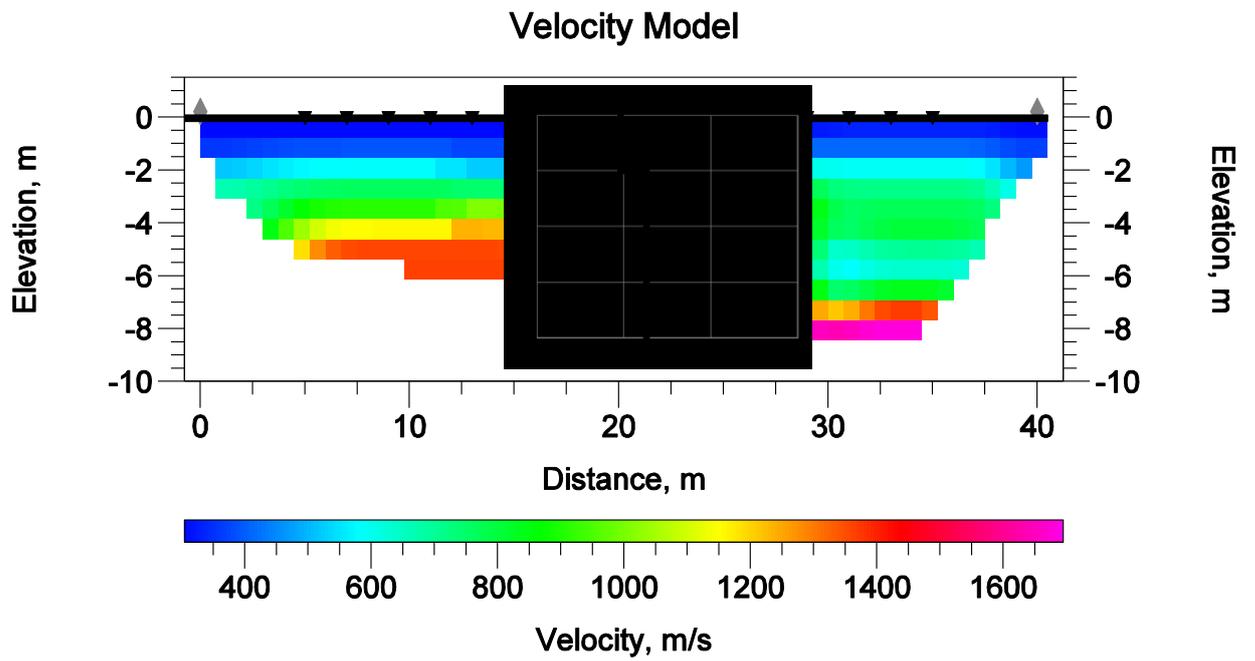


Figura 28 – Sezione Ts19-Mw19 (F.ne Terravecchia)

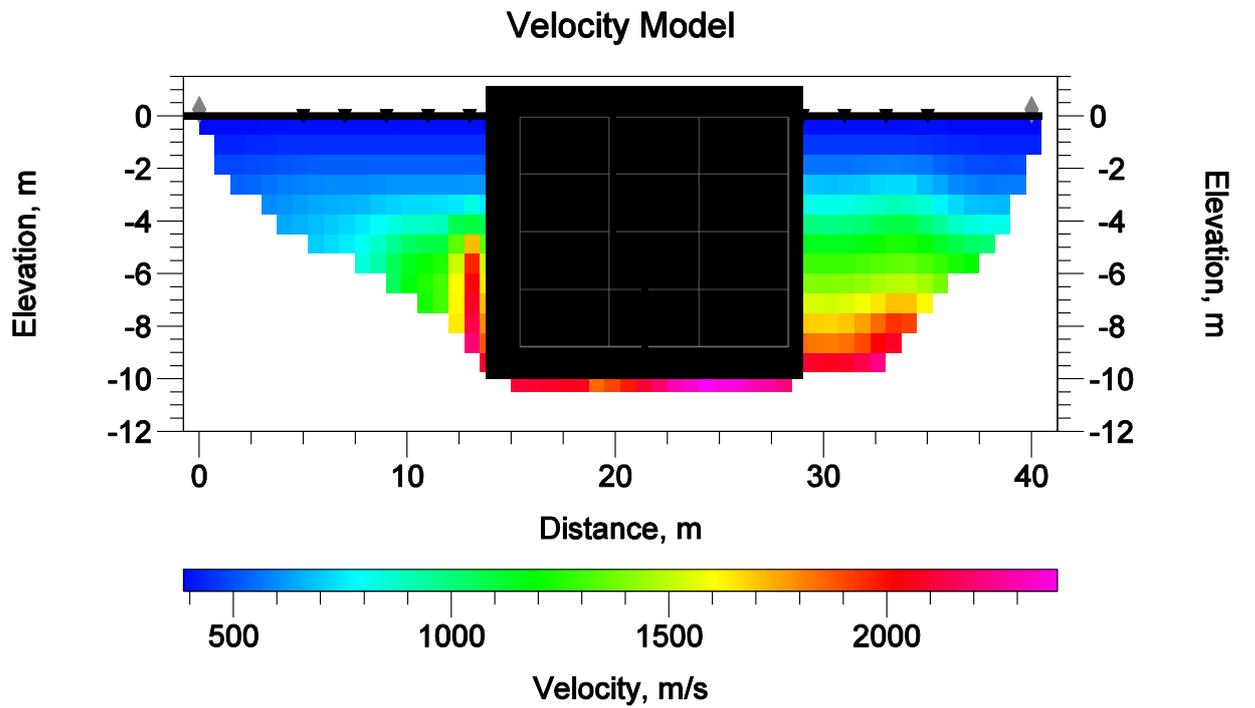


Figura 29 – Sezione Ts22-Mw22 (F.ne Terravecchia)

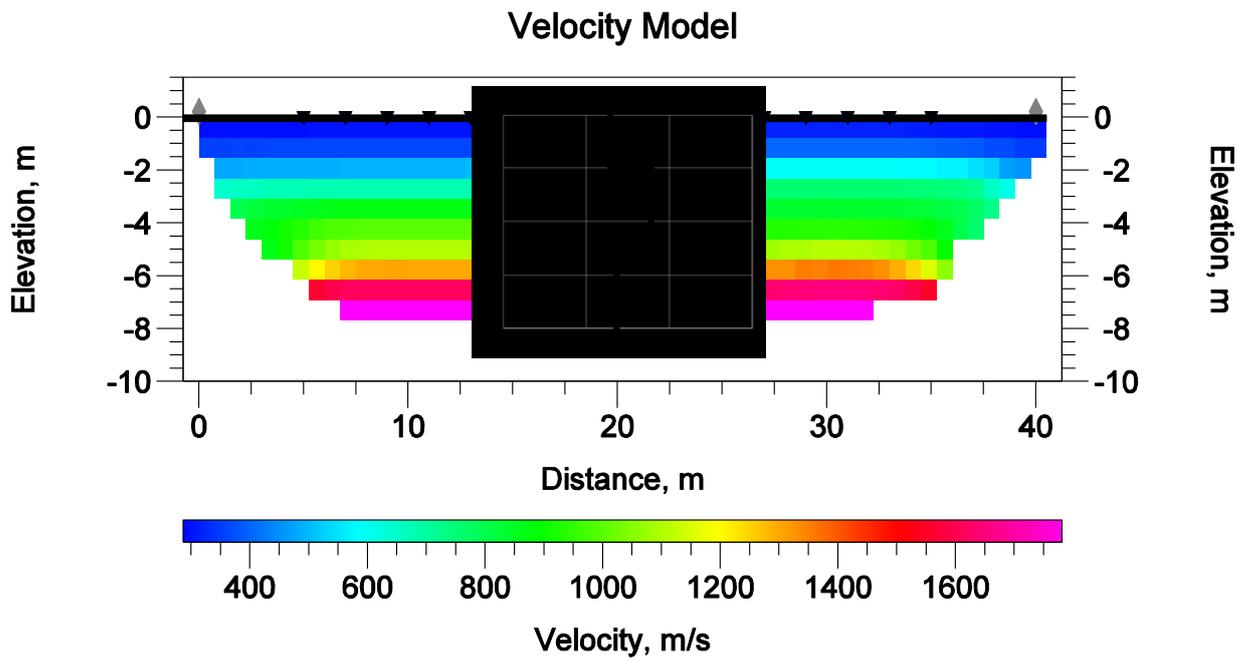


Figura 30 – Sezione Ts23-Mw23 (Flysch Numidico)

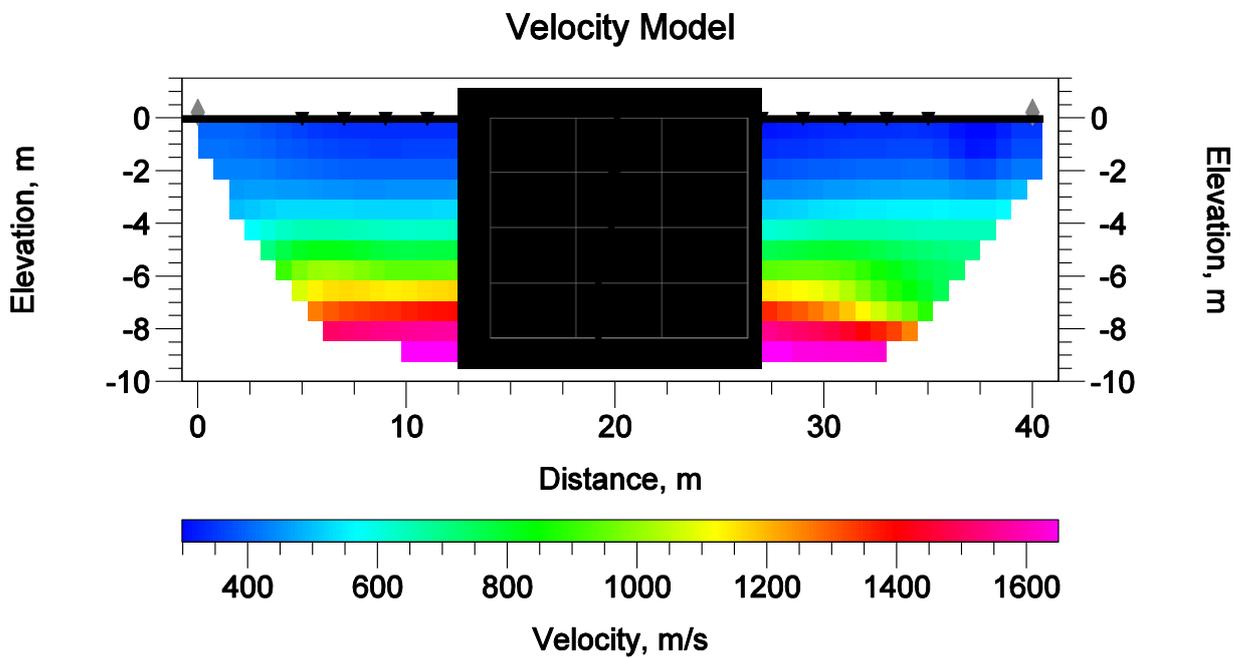


Figura 31 – Sezione Ts26-Mw26 (F.ne Terravecchia)

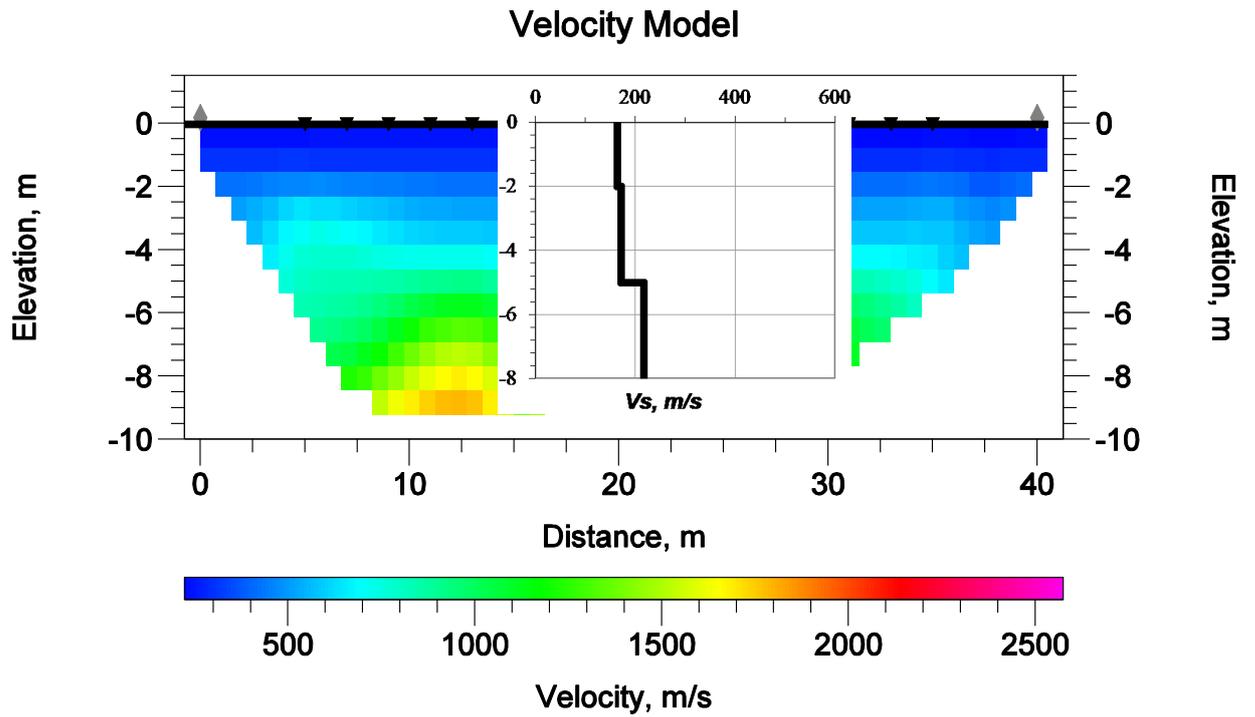


Figura 32 – Sezione Ts28-Mw28 (F.ne Terravecchia)

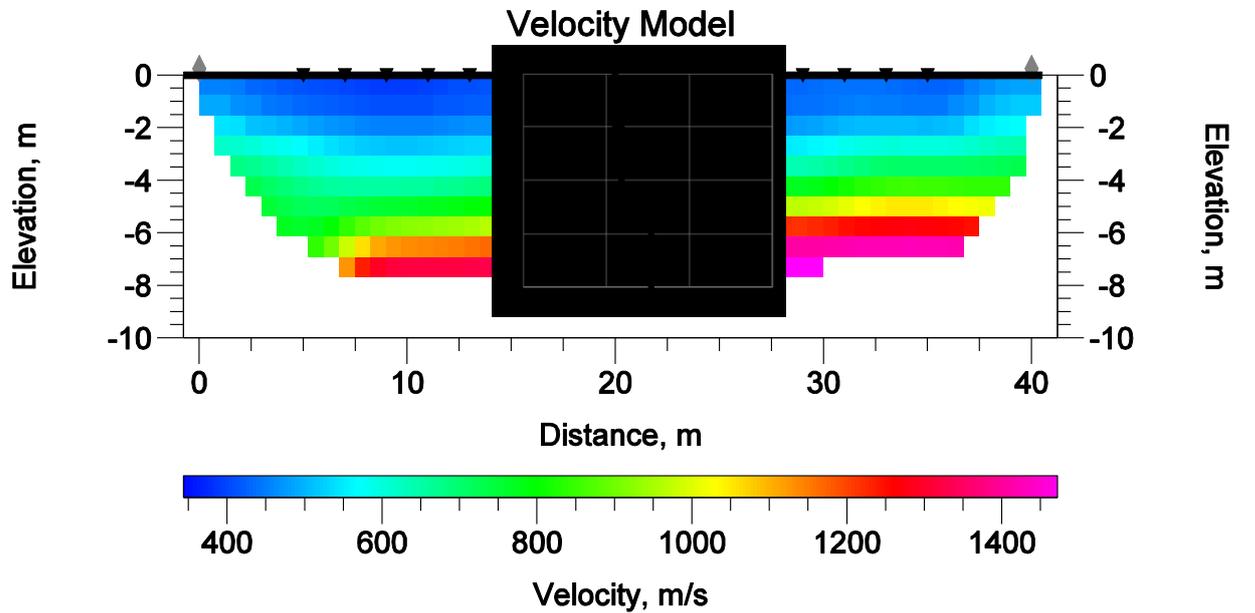


Figura 33 – Sezione Ts31-Mw31 (F.ne Terravecchia)

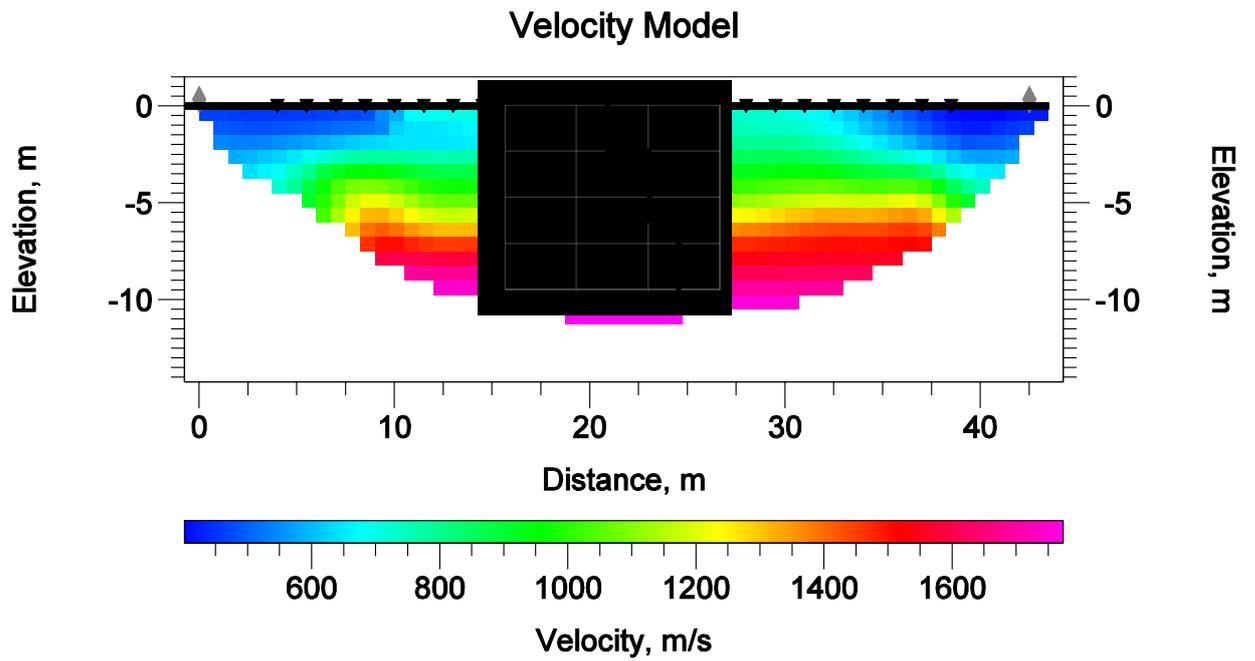


Figura 34 – Sezione Ts32-Mw32 (Gessi)

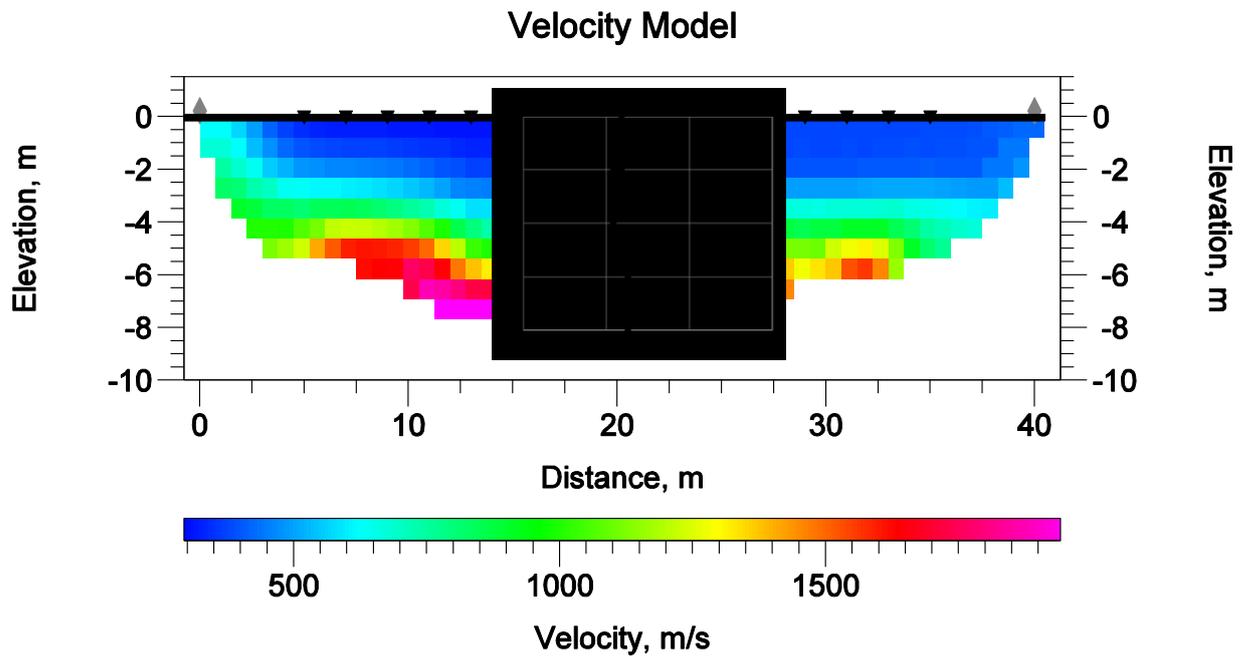
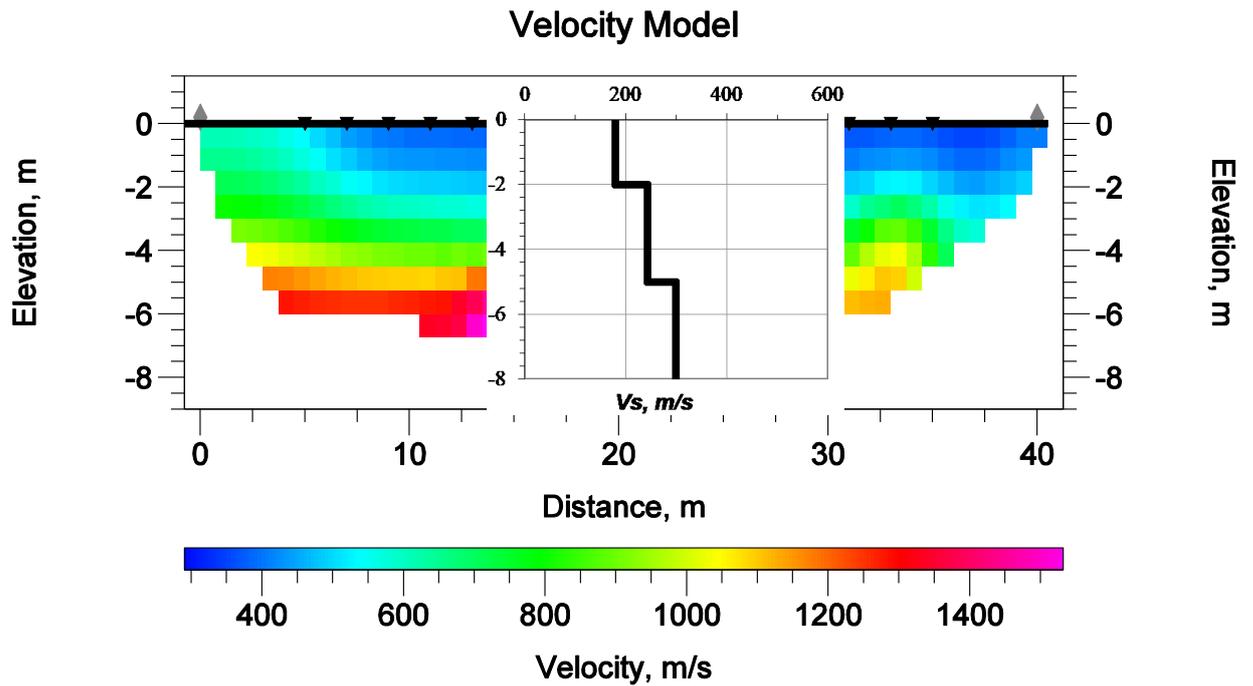


Figura 35 – Sezione Ts35-Mw35 (Argille Brecciate)



**Figura 36 – Sezione Ts36-Mw36 (F.ne Terravecchia)**

La sovrapposizione del profilo  $V_s$  sulla sezione tomografica permette un raffronto diretto dei risultati delle due prospezioni. In molti casi si evince una fedele corrispondenza fra incremento delle velocità sismiche  $V_p$  e  $V_s$ , in cui corrispondono all'incirca anche gli spessori dei rispettivi intervalli. Nelle situazioni in cui, attraverso la prova MASW, è emersa qualche inversione di velocità, nella corrispondente sezione tomografica di può notare una certa irregolarità nelle transizioni di  $V_p$  latero-verticali. Com'è noto, infatti, la sismica a rifrazione non ammette modelli con inversioni di velocità. Quando effettivamente presenti, il processo di elaborazione ed inversione tomografica può effettuare delle forzature per superare tale problema, col risultato che in alcuni casi le sezioni mostrano una distribuzione di velocità che non dipende esclusivamente dalle caratteristiche fisiche del sottosuolo ma anche da queste inversioni locali dovute alla differente imbibizione del sottosuolo argilloso. A sua volta, la variazione di umidità nel terreno, oltre ad essere imputabile a variazioni stagionali, può essere correlata anche a fattori litostratigrafici dipendenti da litologia, porosità, permeabilità e addensamento del terreno.

## 7 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

### 7.1 Descrizione delle singole aree suddivise per settori

Nel corso dello studio sono state consultate ed analizzate tutte le indagini geognostiche e geofisiche appositamente realizzate nelle aree interessate dagli interventi in progetto. L'esame 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 nelle differenti aree di progetto. Nel seguito si riporta quindi una sintesi delle metodologie di analisi impiegate.

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

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

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

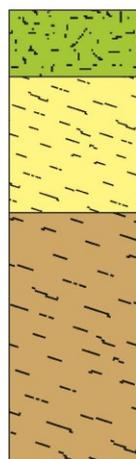
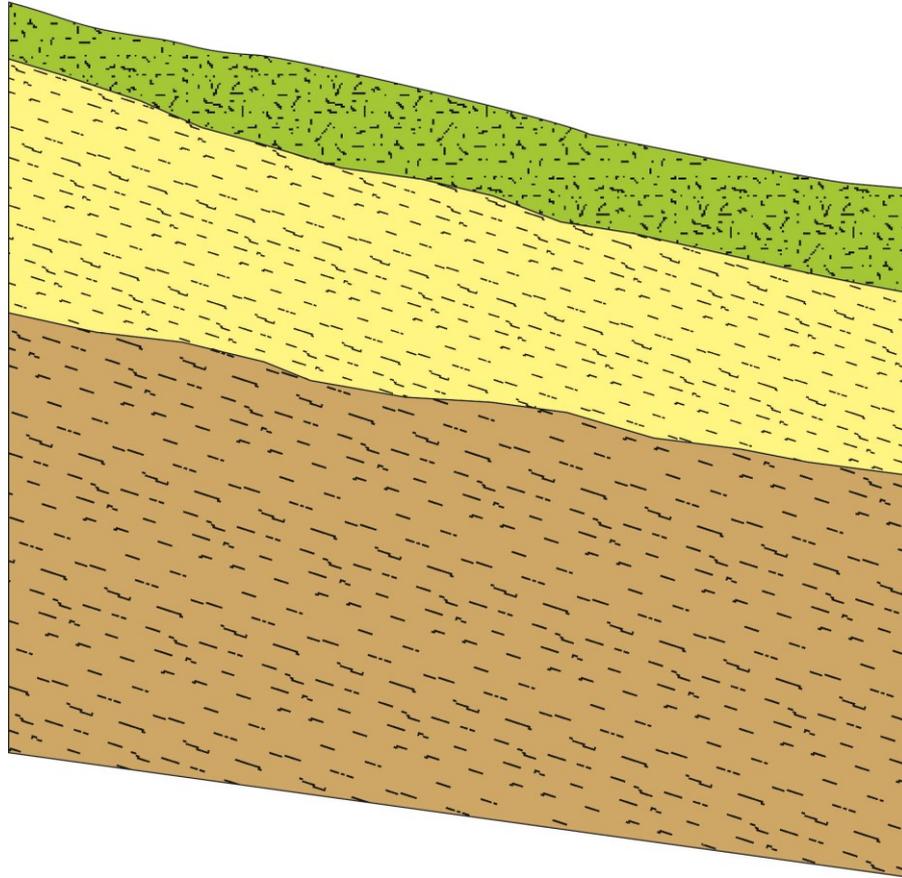
Per la definizione delle caratteristiche litotecniche non direttamente deducibili dai risultati delle indagini, le parametrizzazioni sono state estrapolate dagli studi bibliografici disponibili e da pregresse esperienze su unità geologiche affini a quelle di interesse.

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

Le aree di progetto sono state riunite in quattro settori omogenei per ubicazione, costituzione geolitologica e morfologia, dei quali si riporta un quadro d'unione.

Di seguito viene mostrata una sezione litostratigrafica tipo di un versante a litologia argillosa e il range dei valori dei parametri geotecnici e delle  $V_p$  e  $V_s$  per ogni intervallo rappresentato.

### Profilo litostratigrafico del versante (litologia: argille s.l.)



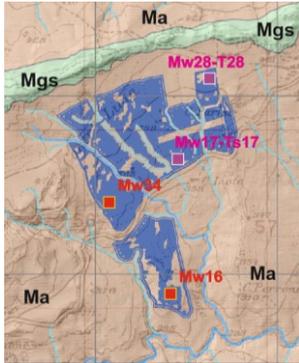
Coltre eluvio-colluviale: spessore 0,2-1,2 m  
Vp 300-450 m/s, Vs 110-180 m/s, Cu = 25-80 kPa,  
 $\gamma = 17-18 \text{ kN/m}^3$

Substrato argilloso alterato: spessore 2-5 m;  
Vp 620-900 m/s, Vs 190-320 m/s, Cu = 40-120 kPa,  
 $\gamma = 18-19,5 \text{ kN/m}^3$

Substrato argilloso integro:  
Vp 1200-1600 m/s, Vs 300-480 m/s, Cu = 100-250 kPa,  
 $\gamma = 19-20,5 \text{ kN/m}^3$

Di seguito viene effettuata una dettagliata descrizione delle aree di progetto, riunite in quattro differenti settori individuati in base alla distribuzione geografica dei campi fotovoltaici. In particolare vengono rappresentati i campi fotovoltaici di progetto su base topografica IGM 1:25.000, tematismi geologici ed idrografici, con ubicazione delle indagini effettuate.

## 7.2 Settore NW



Quest'area si presenta morfologicamente omogenea, di aspetto collinare con quote decrescenti verso SSE. A Nord il versante è delimitato dalla presenza in affioramento della serie gessoso-solfifera in cui sono maggiormente rappresentati i Gessi. Sono stati osservati anche limitati affioramenti Calcare di base e Tripoli, questi ultimi fortemente tettonizzati. I campi fotovoltaici verranno realizzati esclusivamente sulle argille della F.ne Terravecchia, estesamente rappresentata nell'area. Sotto il profilo idrografico il reticolo di deflusso si origina a valle delle evaporiti e drena verso Sud le acque superficiali, che affluiscono presso il Fosso Acquabianca, il quale si snoda a valle da est verso Ovest e confluisce nel Fiume Margherito in corrispondenza della diga di Pietrarossa. Come è possibile vedere, lungo i thalwegs più marcati sono state predisposte le opportune fasce di rispetto.



**Figura 37 – Morfologia collinare della F.ne Terravecchia a contrasto con la morfologia più aspra di Calcari evaporitici e Gessi**

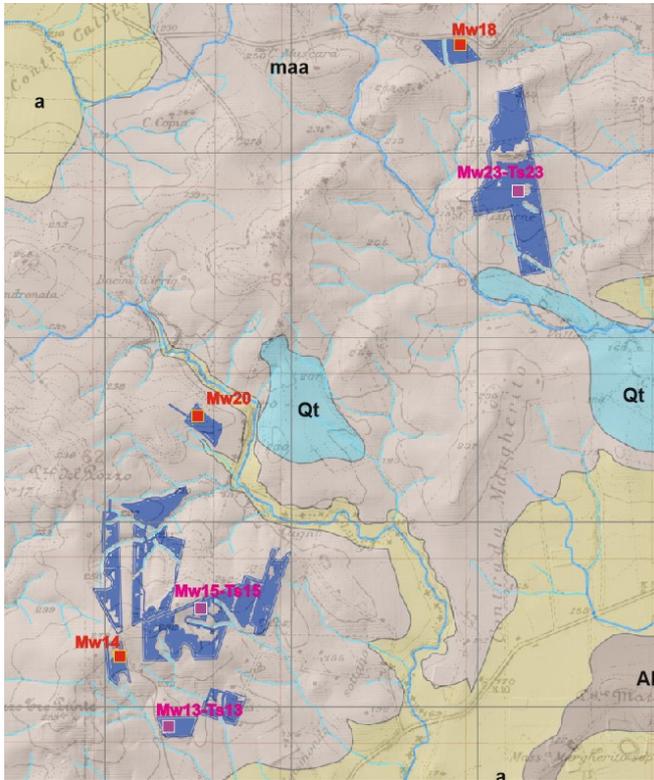


**Figura 38 – Affioramenti di Tripoli alla base della serie gessoso-solfifera con marcata tettonizzazione e verticalizzazione degli strati (foto a destra)**



**Figura 39 – Passaggio stratigrafico fra Argille tortoniane (Terravecchia) e serie evaporitica messiniana visibile presso un'area di denudazione per erosione accelerata.**

### 7.3 Settore centrale -Nord



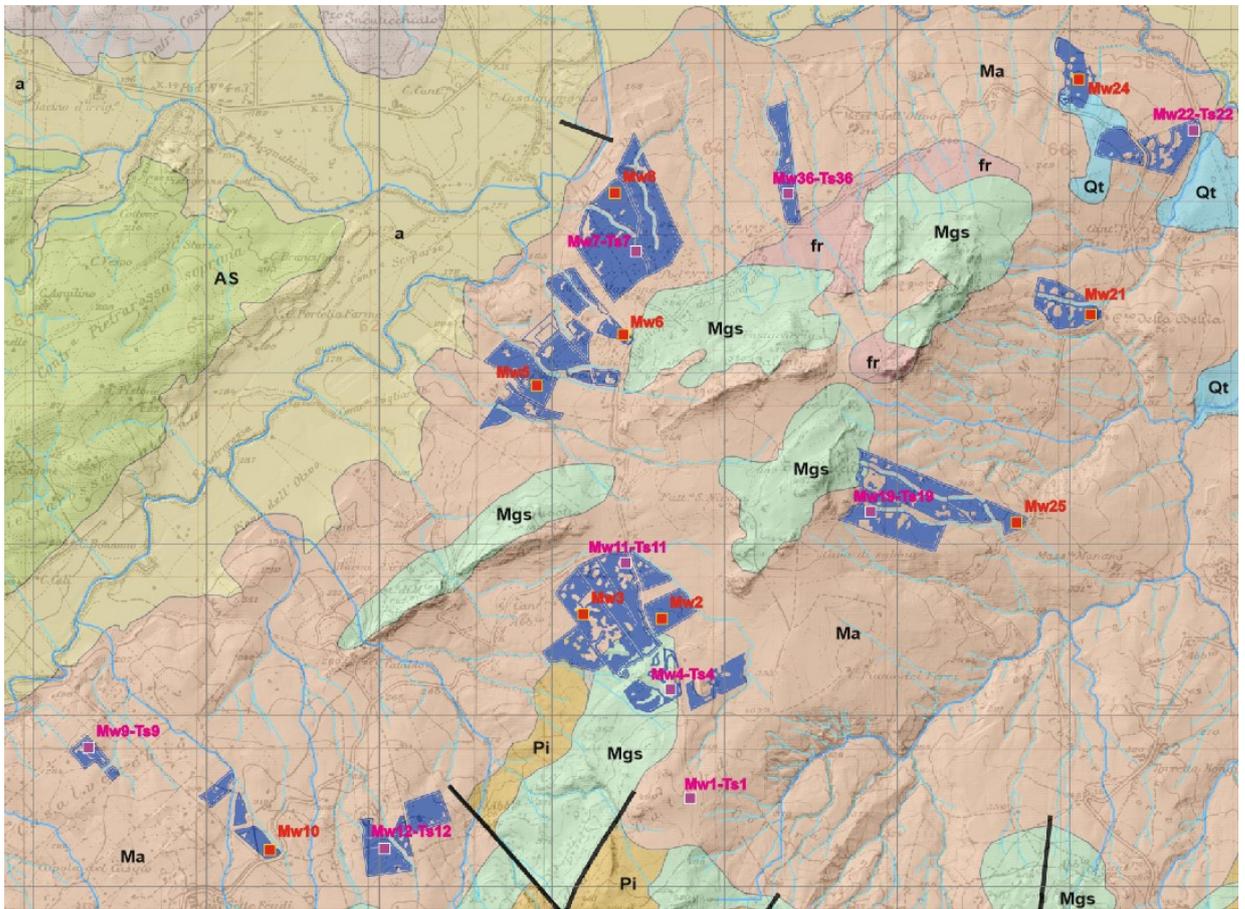
Quest'area mostra, parimenti alla precedente, una tipica morfologia collinare conferita dalla natura argillosa del terreno, che nel caso in esame è correlabile con il Flysch Numidico, localmente rappresentato dalla facies pelitica. Sono presenti anche dei lembi di depositi alluvionali terrazzate, mentre nei fondovalle affiorano più estesamente depositi alluvionali recenti ed attuali di epoca olocenica. Osservando il reticolo idrografico, risulta che le aree di progetto sono quasi tutte situate a SE di uno spartiacque morfologico che è anche confine fra le province di Catania ed Enna. L'elemento idrografico principale è rappresentato dal Fosso Cugno Lungo che si snoda da NW a SE e confluisce a valle nel Fiume Margherito, il quale costituisce localmente il livello di base del bacino idrografico in cui ricadono i campi

fotovoltaici in progetto. Anche qui è possibile osservare le fasce di rispetto predisposte lungo le incisioni principali che attraversano i campi fotovoltaici.



Figura 40 – Morfologia del territorio in presenza della facies pelitica del Flysch Numidico

## 7.4 Settore centrale – Sud



Quest'area è la più estesa, possiede una morfologia per lo più collinare dominata dalle creste più aspre dei rilievi ove affiorano i terreni a consistenza lapidea della Serie evaporitica. I terreni maggiormente rappresentati, su cui saranno allocati la gran parte dei campi fotovoltaici, appartengono alle argille della formazione Terravecchia. Solamente in minor misura alcuni campi saranno ubicati sui Gessi, che, spesso presentano una buona coltre di terreno di copertura che viene adibita alle coltivazioni cerealicole. Sotto il profilo idrografico, i campi fotovoltaici ricadono da una parte sul versante destro del Fiume Margherito, in parte sul versante sinistro del Torrente Mongialino, affluente del sopracitato Fiume Margherito. La cresta di affioramento delle evaporiti costituisce la linea di spartiacque, orientata NE-SW, fra il bacino del F. Margherito ed il sottobacino del T. Mongialino.

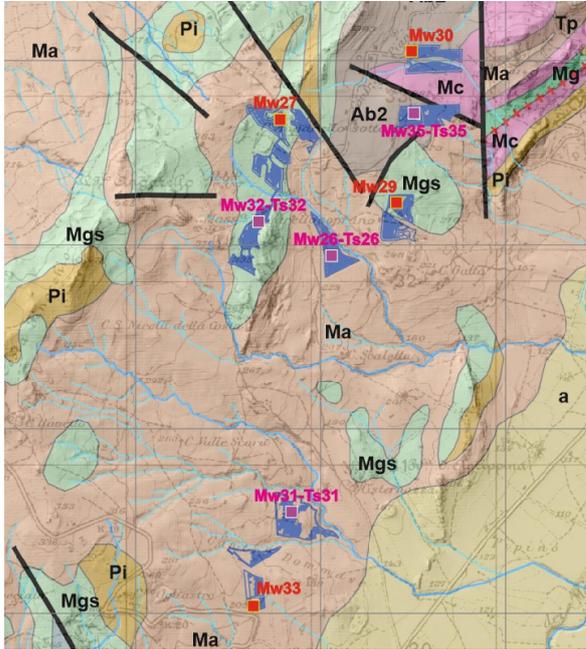


**Figura 41 – Morfologia collinare e uniforme della F.ne Terravecchia adibita alle colture cerealicole**



**Figura 42 - Aspetto della F.ne Terravecchia in presenza di fenomeni di denudazione della coltre superficiale, con morfologia irregolare ed a balze**

## 7.5 Settore SE



Il quarto ed ultimo settore si ubica nella parte sud-orientale di tutta l'area in esame. Anche qui le caratteristiche morfologiche sono analoghe a quelle del settore NW e Centro-Sud, in quanto si ripete la situazione geologica di queste aree, caratterizzate dalla presenza delle argille tortoniane della F.ne Terravecchia sormontate dai terreni evaporitici che vanno a costituire le creste più aspre dei rilievi. I campi fotovoltaici ricadranno sia sulle argille, che sulle evaporiti, ove queste ultime mostrano una morfologia più dolce ed uniforme. Sotto il profilo idrografico queste aree ricadono sulla sponda sinistra del Fiume Caltagirone, che si snoda a SE dell'area all'interno di una piana alluvionale. Tale corso d'acqua è l'elemento idrografico più importante dell'area,

presso cui affluisce più a valle anche il sopracitato Fiume Margherito.



**Figura 43 – Tipica morfologia ondulata in presenza della F.ne Terravecchia (in primo piano) e più aspra presso la serie gessoso-solfifera (sullo sfondo)**

## 7.6 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Sotto il profilo geofisico, abbiamo visto che, a parità di categoria di sottosuolo osservata, gli aspetti litotecnici del primo sottosuolo possono essere piuttosto diversi da luogo a luogo, essendo funzione di più fattori quali litologia, acclività di pendio, umidità e saturazione dei pori, addensamento, spessore della coltre superficiale e così via. Dovendo sintetizzare tutti questi aspetti, nella formulazione dei parametri geotecnici sono state considerate le condizioni più penalizzanti ai fini della sicurezza. In tal modo, la sintesi dei parametri geotecnici può essere ricondotta unicamente a due differenti condizioni litologiche: formazioni argillose s.l. e terreni evaporitici a consistenza lapidea. Abbiamo visto anche che le formazioni argillose saranno il terreno di fondazione per circa il 90% del progetto, e solo per il restante 10% circa il progetto interesserà i terreni della serie evaporitica.

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dei **terreni argillosi** (F.ne Terravecchia, Flysch Numidico, Argille Brecciate), 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  $\phi = 19^\circ \div 22^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$
- Categoria di sottosuolo = C

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento litotecnico medio dei **terreni evaporitici** (Gessi), possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume  $\gamma = 20.0 \div 22.0 \text{ kN/m}^3$
- Coesione efficace  $c' = 100 \div 200 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito  $\phi = 33^\circ \div 35^\circ$
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-6} \div 10^{-4} \text{ m/s}$
- Categoria di sottosuolo = B

I valori dei parametri sopracitati sono rappresentativi delle relative aree di affioramento delle diverse formazioni; in particolare, i valori relativi ai terreni di natura argillosa sono riferibili per intero alle aree NW e Centro Nord e in buona parte anche per le aree Centro-Sud e SE. I parametri relativi alle formazioni evaporitiche sono da riferire solamente agli areali di affioramento dei Gessi nelle aree Centro\_Sud e SE.

## 8 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state descritte le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche dei terreni sede del progetto di un impianto fotovoltaico da 260 mWp in territorio di Mineo, Ramacca e Aidone. Lo studio è stato elaborato in ottemperanza alle normative vigenti, in particolare alle nuove NTC 2018, ed è stato svolto sulla base di un rilievo di dettaglio supportato da una campagna di indagini geofisiche, nonché con l'ausilio di dati geognostici diretti e informazioni derivanti da un'ampia documentazione bibliografica e di lavori svolti su terreni analoghi. Le indagini hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sottosuolo per valutare le problematiche a cui sono soggette le opere da realizzare.

Sotto il profilo geomorfologico, lungo le aree di pendio si individuano zone con attività dei processi geomorfici sia di tipo fluviale (erosione lineare o diffusa), o di versante (scollamenti, movimenti gravitativi) che interessano il più delle volte la coltre superficiale e solo in qualche caso coinvolgono anche le porzioni superiori e più alterate dei terreni del substrato geologico. Ciò a causa della natura argillosa scarsamente permeabile dei terreni che determinano un elevato deflusso in superficie delle acque meteoriche. Sono inoltre da evidenziare numerose scarpate di erosione lineare che bordano gli impluvi dei principali corsi d'acqua dell'area, che richiedono una idonea distanza di sicurezza.

Dal punto di vista geologico-tecnico e sismico, si evidenzia la presenza nelle aree di raccordo fra versante e fondovalle e nel fondovalle, di coltri di natura colluviale contraddistinte da scarsa consistenza, con caratteristiche geotecniche mediocri o addirittura scadenti ( $V_s < 180$  m/s), con un grado di rigidità medio-basso. Le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in esame sono state determinate mediante analisi statistica dei dati geotecnici a disposizione ottenuti sia dalle indagini in sito che da relazioni empiriche attraverso la velocità di propagazione delle onde sismiche, oltre che da informazioni bibliografiche reperite per i termini litologici in questione. I valori, dunque, risultano rappresentativi del comportamento medio dei terreni presenti nei diversi settori di intervento, limitatamente alle profondità investigate. Dalle indagini eseguite, emerge che il sottosuolo delle aree indicate per la collocazione degli impianti, ricade in maggioranza nella Categoria C ed in minor misura nella Categoria B di cui alle N.T.C. 2018.

In considerazione della morfologia e dell'acclività di versante, nonché delle dinamiche geomorfologiche in atto in concomitanza con gli eventi piovosi più intensi e/o prolungati, è fondamentale prevedere, al fine di garantire nel tempo la stabilità e l'efficienza degli impianti:

- una fascia di rispetto dalle linee di impluvio minori, di ampiezza proporzionale alle loro dimensioni ed importanza (le aste torrentizie principali sono già state escluse dalle aree idonee);
- appropriati interventi di drenaggio, regimazione e canalizzazione delle acque per la mitigazione degli effetti erosivi delle acque di ruscellamento e di decadimento delle caratteristiche meccaniche per l'imbibizione del primo sottosuolo. Sono da prendere anche in considerazione interventi di inerbimento dei terreni in pendio al fine di ridurre la velocità delle acque di ruscellamento, e mitigare i fenomeni di erosione lineare o di denudazione. Prevedere infine una regolare manutenzione delle opere di canalizzazione delle acque

superficiali perimetralmente ed anche all'interno dei campi fotovoltaici per assicurare una efficace azione di intercettazione, convogliamento ed allontanamento delle acque superficiali negli impluvi di naturale recapito;

- Considerati i movimenti lenti gravitativi lungo il pendio cui potrebbe essere soggetta la coltre superficiale nei periodi di imbibizione, le strutture portanti devono attestarsi sul substrato geologico in posto.

Visto quanto detto sopra, e tenendo in considerazione in sede progettuale gli interventi sopra descritti, l'impianto potrà essere realizzato in condizioni di stabilità e sicurezza con piena fattibilità sotto il profilo geologico e geomorfologico.

Il tecnico relatore  
(Dott. Geol. Domenico Boso)