



Progetto:

Progetto «Mirabella»

Impianto fotovoltaico per una potenza nominale di 120 MW ed una potenza in immissione di 96 MW.

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Procedura:

Valutazione di impatto ambientale ex art. 23, 24 e 25 Dlgs 152/2006

Ubicazione:

Piazza Armerina (EN), Mirabella Imbaccari (CT), Caltagirone (CT), San Michele di Ganzaria (CT) - SICILIA

Committente:



IBVI 12 s.r.l.

Viale Amedeo Duca D'Aosta, n. 76
39100 Bolzano(BZ)
ibvi12srl@pec.it

Titolo:

Relazione geologica

Codice elaborato:

FVMIR-CT-REL004A0

N. elaborato:

GEO1

Visti/ Firme /Timbri:

Revisioni

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato da:	Controllato da:	Approvato da:
28.12.2023	0	1° Emissione	Dott. Geol. Domenico Boso	Arcadia s.r.l.	IBVI 12 s.r.l.

Proprietà esclusiva delle società sopra indicate, utilizzo e duplicazione vietate senza autorizzazione scritta



INDICE

1. PREMESSA.....	4
1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	5
1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....	5
2. IDROGRAFIA.....	7
2.1 SISTEMI FLUVIALI ED ELEMENTI IDROGRAFICI PRINCIPALI.....	7
2.2 FORME, PROCESSI E DEPOSITI DOVUTI ALLE ACQUE CORRENTI.....	7
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE.....	9
3.1 STRUTTURE IDROGEOLOGICHE E IDRODINAMICA DEGLI ACQUIFERI.....	9
3.2 SORGENTI.....	11
3.3 IDRODINAMICA SOTTERRANEA.....	11
4. CENNI DI TETTONICA.....	14
4.1 ELEMENTI STRUTTURALI E TETTONICI.....	15
4.2 ANALISI DELLA SISMICITÀ.....	15
5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO ...	19
5.1 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA.....	19
5.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE.....	21
5.3 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	24
5.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE LOCALI.....	30
6. INDAGINI GEOFISICHE.....	31
6.1 DESCRIZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE.....	33
7. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI.....	47
7.1 DESCRIZIONE DELLE SINGOLE AREE SUDDIVISE PER SETTORI.....	47
7.2 AREA 1 (AD EST DI MIRABELLA IMBACCARI).....	50
7.3 AREA 2 (FRA MIRABELLA IMBACCARI E S. MICHELE DI GANZARIA).....	52
7.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	54
8. CONCLUSIONI.....	55



ALLEGATI:

PA.26_FVMIR-CT-EPA026A0_Carta Geologica, scala 1:10.000 con ubicazione delle indagini effettuate;

PA.27_FVMIR-CT-EPA027A0_Carta Geomorfologica, scala 1:10.000;

FVMIR-CT-REL005A0 - Relazione indagini geofisiche.



1. PREMESSA

Su incarico della società IBVI 12 Srl è stato eseguito uno studio dell'area interessata dalla progettazione di un impianto fotovoltaico avente potenza in immissione pari a 120 MW, ricadente nei comuni di S. Michele di Ganzaria e Mirabella Imbaccari, denominato "MIRABELLA". Il proponente dell'iniziativa è la società IBVI 12 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;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- approfondimenti geognostici mediante indagini geofisiche: prospezioni Masw e Tomografie sismiche di superficie, attraverso cui è stato possibile affinare il modello geologico;
- caratterizzazione geomeccanica tramite esecuzione di prove geotecniche in situ;
- analisi dei dati con sintesi e redazione degli elaborati cartografici e della presente relazione.

Lo studio geologico è stato eseguito in ottemperanza al D.M. 11.03.88 e 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, presenta una 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 Mirabella sono distribuite su tre differenti territori comunali. Circa il 50% del progetto si sviluppa nel Comune di Piazza Armerina, in provincia di Enna, il 40% nel Comune di Mirabella Imbaccari e solo il 10% in territorio di S. Michele di Ganzaria. I terreni ricadono pertanto fra la provincia di Catania e quella di Enna. Le quote variano da circa 500 m s.l.m. alla sommità dei versanti collinari fino a circa 350 m s.l.m. nelle aree di fondovalle.

Sotto il profilo morfologico, le aree interessate dal progetto hanno un aspetto ondulato con versanti poco acclivi, e sono costituite da terreni essenzialmente di natura argillosa. Alcuni lotti di terreno fanno parte dei rilievi ove sono presenti rocce appartenenti alla serie gessoso-solfifera (Tripoli, calcari, gessi e sovrastanti Trubi), 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 del Foglio 639 "Caltagirone", 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. 639050, 639060, 639090 e 639100.

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 Ligure.

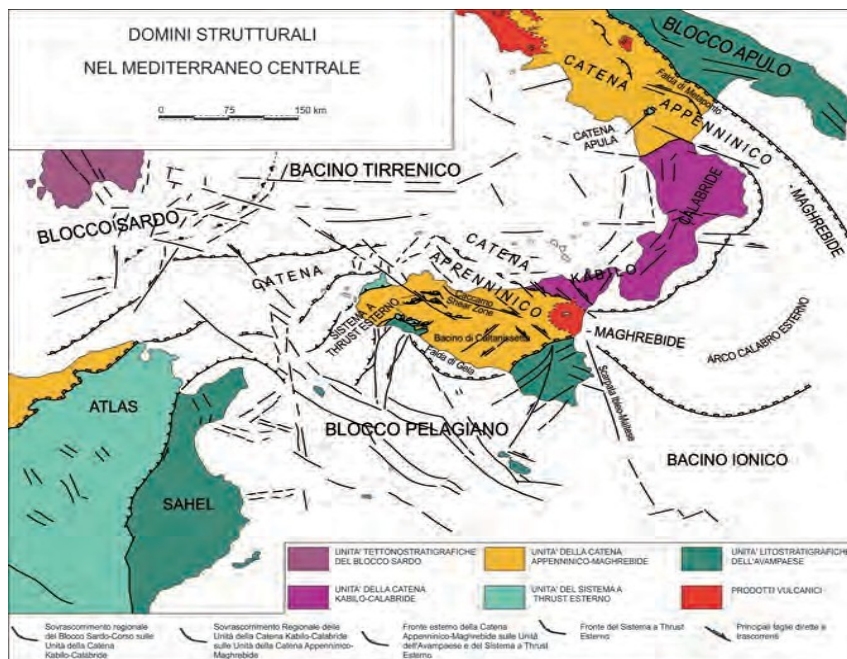


Figura 1 – schema tettonico sintetico della Sicilia

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 flyschoidi 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'accrezione 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

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume del Tempio, il quale, dopo diverse confluenze in aste di ordine via via maggiore e di nomi diversi, affluisce nel Fiume Gornalunga, a sua volta affluente 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. del Tempio va all'incirca da SW verso NE, e si immette nel fiume Gornalunga che, al contrario, mostra una direzione di deflusso da WNW a ESE. 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 meteo-marini comunque di una certa importanza. Infatti, per quanto riguarda le variazioni della linea di costa, i dati storici e recenti evidenziano una tendenza al progressivo avanzamento e definitiva stabilizzazione, cui fa seguito l'attuale fase di arretramento. 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 sconsiderato 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 tessiture 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.

Con riferimento all'area in esame, i versanti collinari degradano dolcemente raccordandosi gradatamente con le aree subpianeggianti di fondovalle. L'elemento idrografico più importante, come sopra detto, è rappresentato dal Fiume del Tempio, il cui bacino fa parte del più ampio bacino del Simeto e ne rappresenta la sua propaggine occidentale.



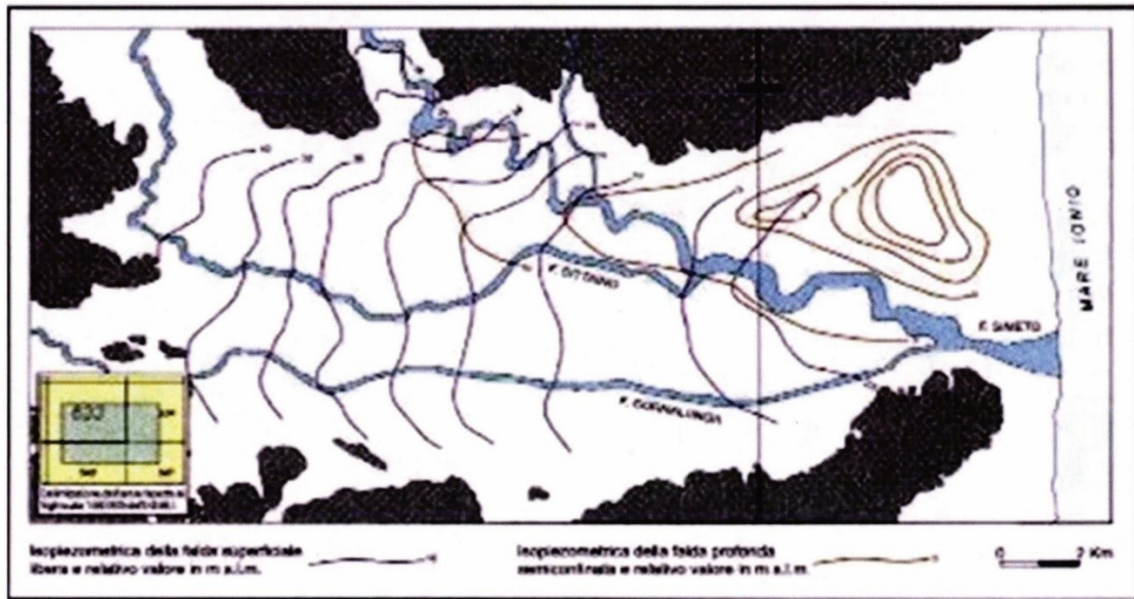
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

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 condizionata 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, Gornalunga e Simeto. Quest'ultimo, in particolare, riceve a monte l'ulteriore e notevole apporto dei deflussi sotterranei provenienti dal versante occidentale dell'Etna.

Il settore in studio si pone a monte ed a Ovest del sistema acquifero alluvionale sopradescritto, in un settore dove le alluvioni di fondovalle sono ancora poco estese e di spessore relativamente modesto, cosicché i deflussi sotterranei appaiono evidentemente piuttosto limitati e sicuramente in minor misura rispetto ai deflussi superficiali.

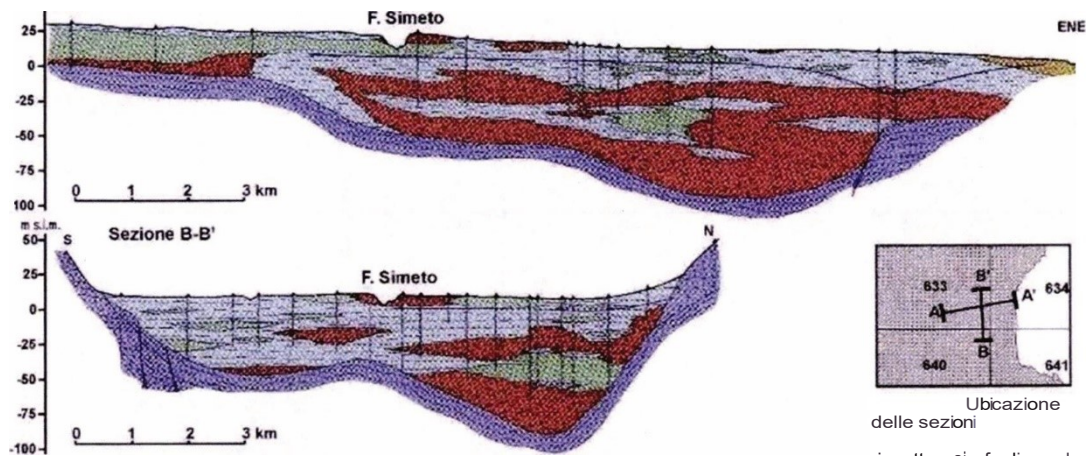


Figura 2 - Sezioni idrogeologiche della porzione più orientale della Piana di Catania

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 semiconfinat. 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 ai 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 tessiture 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 aquitardi, 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, infatti, si sviluppa su formazioni essenzialmente argillose ed impermeabili presso cui la circolazione idrica avviene essenzialmente in superficie. Localmente, in presenza di formazioni a matrice sabbiosa e avvicinandosi verso il fondovalle, è possibile ritrovare delle opere di captazione, nella fattispecie pozzi alla romana o trivellati, che emungono portate comunque esigue da falde superficiali contenute o nelle alluvioni recenti o in corrispondenza di terreni eluvio-colluviali a bassa permeabilità. Nel territorio di pertinenza del progetto, un pozzo è stato rinvenuto a 390 metri di quota, all'interno delle aree di progetto, in cui la profondità della falda si attesta localmente a circa 7 m di profondità, senza possibilità di interferenza con le strutture in progetto.



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'avampaese 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).

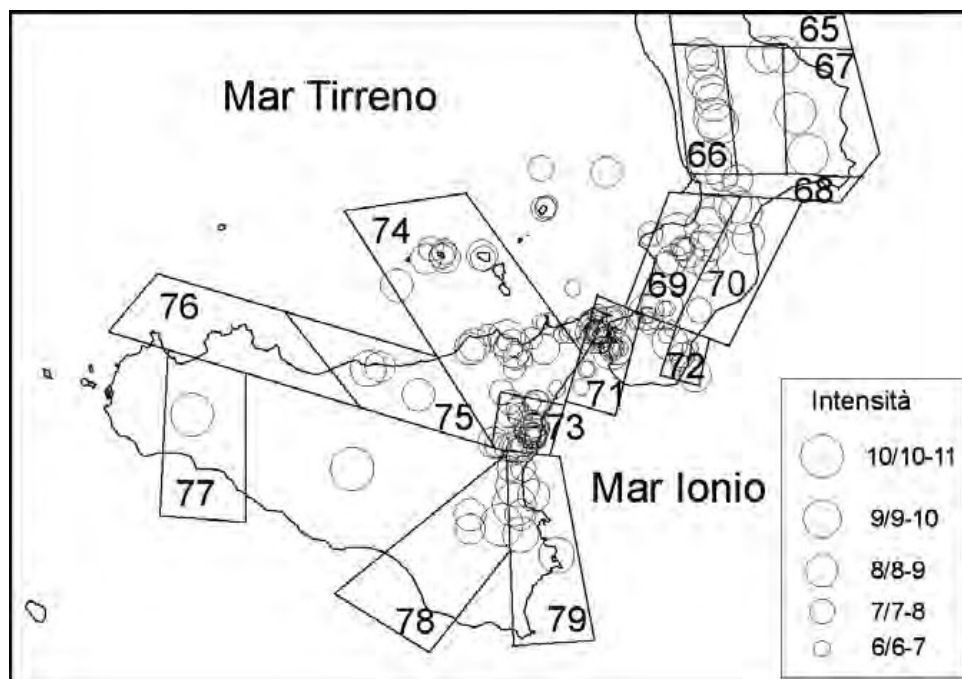


Figura 3 - Epicentri dei principali terremoti della Sicilia e Calabria nel periodo 1125-1990 dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (gruppo di lavoro CPTI, 1999). i poligoni rappresentano le zone sismogenetiche tratte da Meletti et alii (2000a).

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).

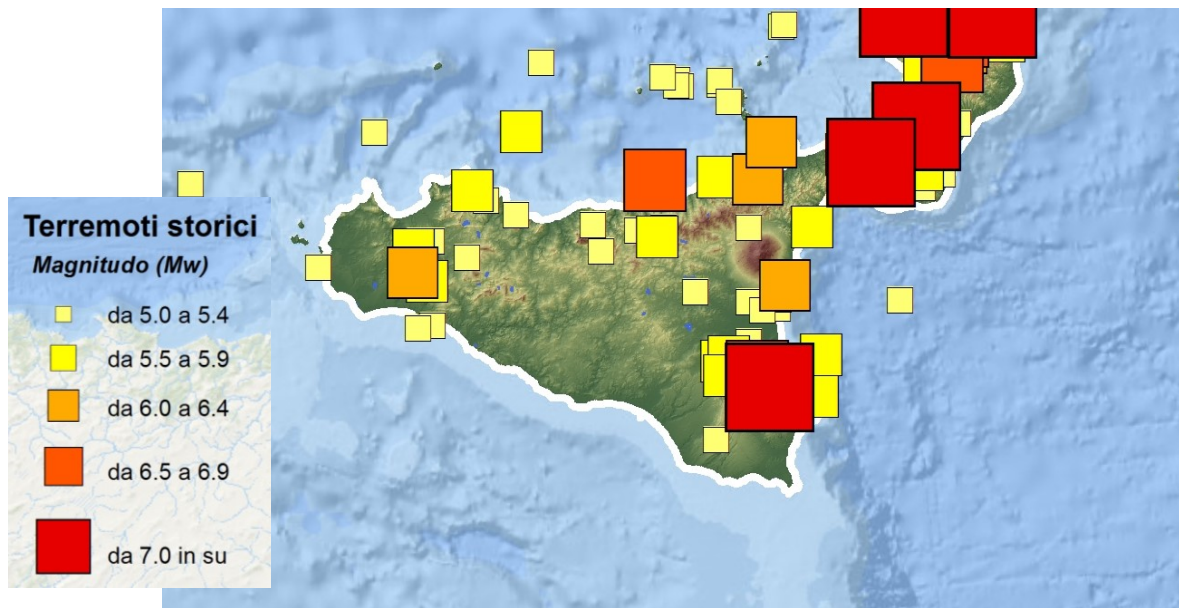


Figura 4 – Mappa sintetica dei principali terremoti storici in Sicilia.

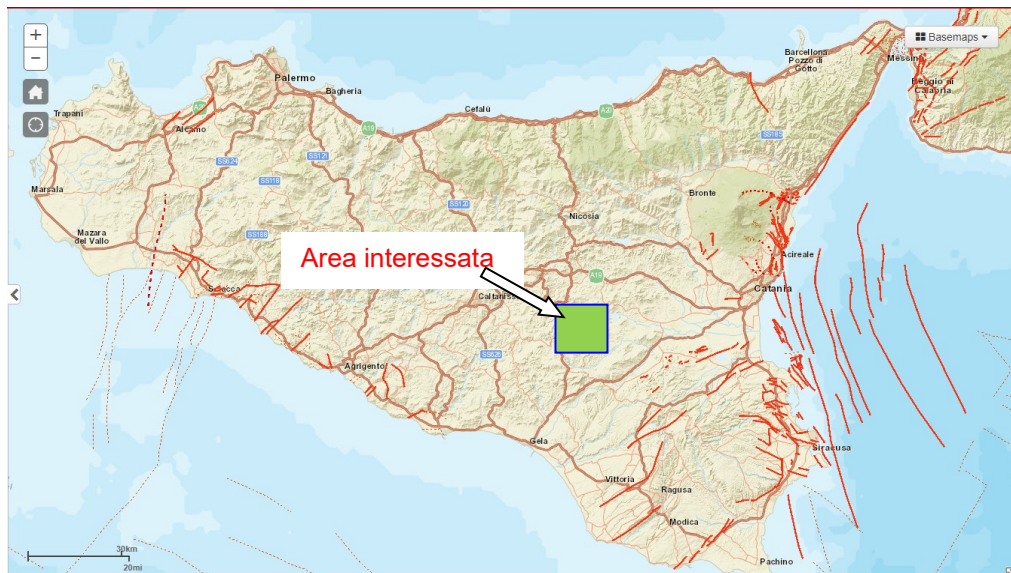


Figura 5 – Ubicazione delle principali faglie capaci in Sicilia (Progetto Ithaca)

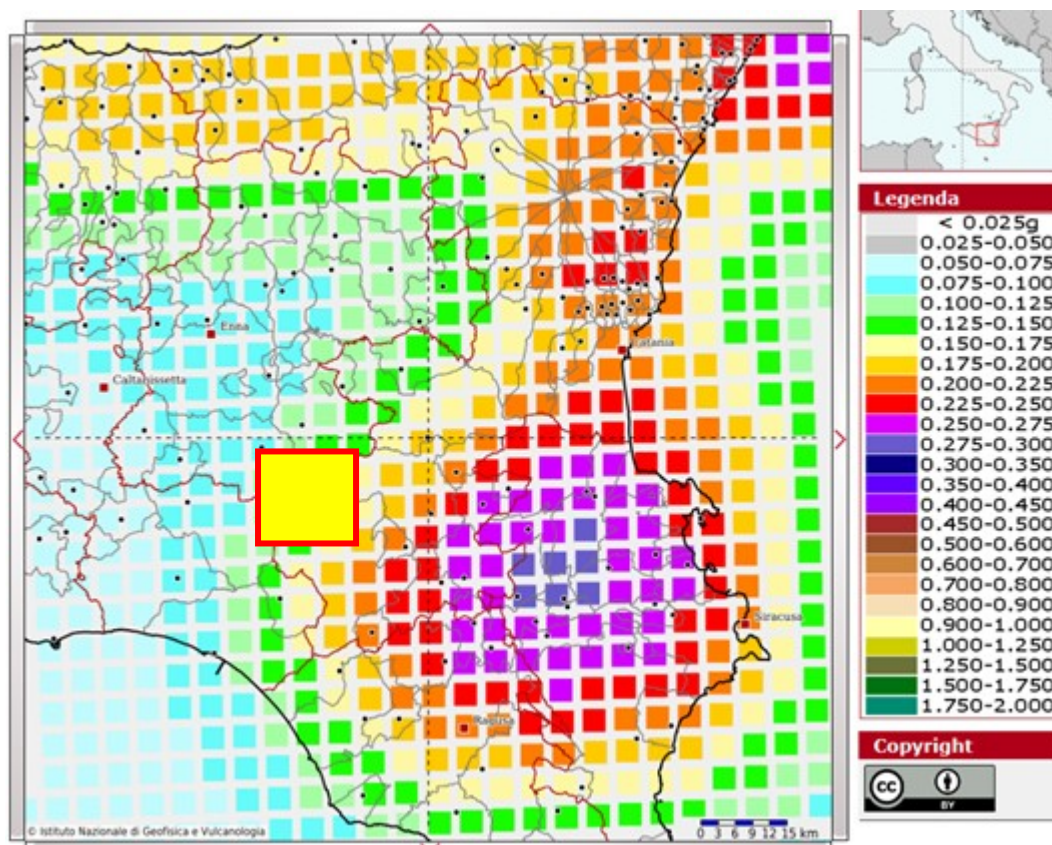


Figura 6 – Modello di pericolosità sismica del territorio con particolare riferimento all'area in esame

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 0,175g.

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 Miocene medio ed il Pleistocene. Le formazioni presenti sono essenzialmente di natura argillosa (F.ne Terravecchia, Argille scagliose, marne a globigerine). In minor misura sono presenti formazioni di natura litoide, quasi esclusivamente riferibili alla serie gessoso – solfifera, ed in particolare al Calcare evaporitico del Messiniano ed ai Trubi del Pliocene inferiore: Sono presenti anche discreti affioramenti di Tripoli e marne tripolacee alla base dei calcari evaporitici, specie nella zona a SE di Mirabella Imbaccari.

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 perimetrare 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, e sono riferibili all'Oligocene-Miocene. La maggior parte delle aree di progetto ricade presso questa formazione che è fra l'altro quella più estesamente rappresentata.

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. All'interno delle Argille scagliose si possono ritrovare esotici anche di grandi dimensioni di natura arenacea. La formazione si ritrova sotto forma di scaglie tettoniche specie nell'area ad Est di Mirabella Imbaccari.

Serie evaporitica

In discontinuità stratigrafica, sul substrato argilloso delle Argille Scagliose poggia direttamente la serie evaporitica del Messiniano, rappresentata dal Calcare di base e dai Gessi. Nell'area di studio il litotipo maggiormente rappresentato è costituito dal calcare di case, in minor misura dai gessi; generalmente alla base della serie si ritrovano estesi livelli, seppure di spessore variabile, di Tripoli o di marne tripolacee biancastre la cui consistenza prevalentemente pelitica determina una morfologia blanda analoga al substrato delle argille scagliose e se ne differenziano per la colorazione tipicamente bianco-grigiastra. In corrispondenza degli affioramenti litoidi di calcari e gessi si possono osservare le forme più aspre che vanno solitamente a costituire le creste dei rilievi. I gessi sono suddivisibili 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. Durante il rilievo di queste formazioni,



quando ben suddivisibili sono state cartografati in maniera distinta il tripoli, calcare di base ed i gessi. In corrispondenza di calcare di base e gessi non ricade alcuna area interessata dall'impianto in progetto. Solamente in via marginale alcune aree interessano gli affioramenti di marne tripolacee, che per caratteristiche geomorfologiche possono essere paragonabili ai terreni argillosi del substrato.

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. Si tratta di un'alternanza di marne calcaree e calcari marnosi bianchi a foraminiferi planctonici organizzati in strati decimetrici generalmente molto fratturati.

Non sono previsti impianti in corrispondenza di questi terreni, che vanno a configurare una morfologia più aspra e articolata proprio in dipendenza delle caratteristiche litologiche più rigide di questi terreni.

Marne argillose

Questa formazione inframediopliocenica giace in discordanza angolare sui sottostanti depositi del Miocene superiore e dei Trubi del Pliocene inferiore. È costituita da una sequenza di marne e marne argillose di colore grigio-azzurro, grigio biancastre all'alterazione, a frattura concoide e a stratificazione poco evidente. La monotona successione pelitica è interrotta da rare intercalazioni arenaceo-sabbiose di colore grigio-giallastro che diventano via via più frequenti verso l'alto, fino a passare gradatamente alla soprastante formazione sabbioso-arenacea. Lo spessore della formazione può giungere fino a svariate decine di metri. Alcune parti dell'impianto ricadono su questi terreni.

Quarzareniti calcaree e Sabbie quarzose

Questa formazione rappresenta la facies regressiva di chiusura del ciclo del Pliocene superiore. Il limite con le marne argillose inferiori non è netto ma graduale, in quanto si passa attraverso una sempre più preponderante presenza dei livelli sabbiosi nei confronti di quelli marnosi procedendo dal basso verso l'alto, cosicché la transizione fra le due formazioni si realizza nello spazio di alcune decine di metri. La formazione, potente fino a 200 metri, è data da una sequenza di sabbie quarzose giallastre a granulometria medio-fine, talora siltose, a stratificazione irregolare, a cui si intercalano livelli arenacei o di quarzareniti calcaree.

Depositi alluvionali recenti ed attuali

Tali depositi, di epoca olocenica, affiorano esclusivamente in corrispondenza dei fondivalle delle aste principali rappresentate dall'alveo del Fiume del Tempio ed in minor misura del Torrente della Gatta. Si tratta di depositi alluvionali in facies di 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 20 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 rinvencono, 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. Tali terreni, nei settori di studio, presentano spessori variabili tra 1 e 3 m circa, in aumento da monte verso valle. In qualche caso costituiscono corpi di paleofrana per lo più stabilizzati.

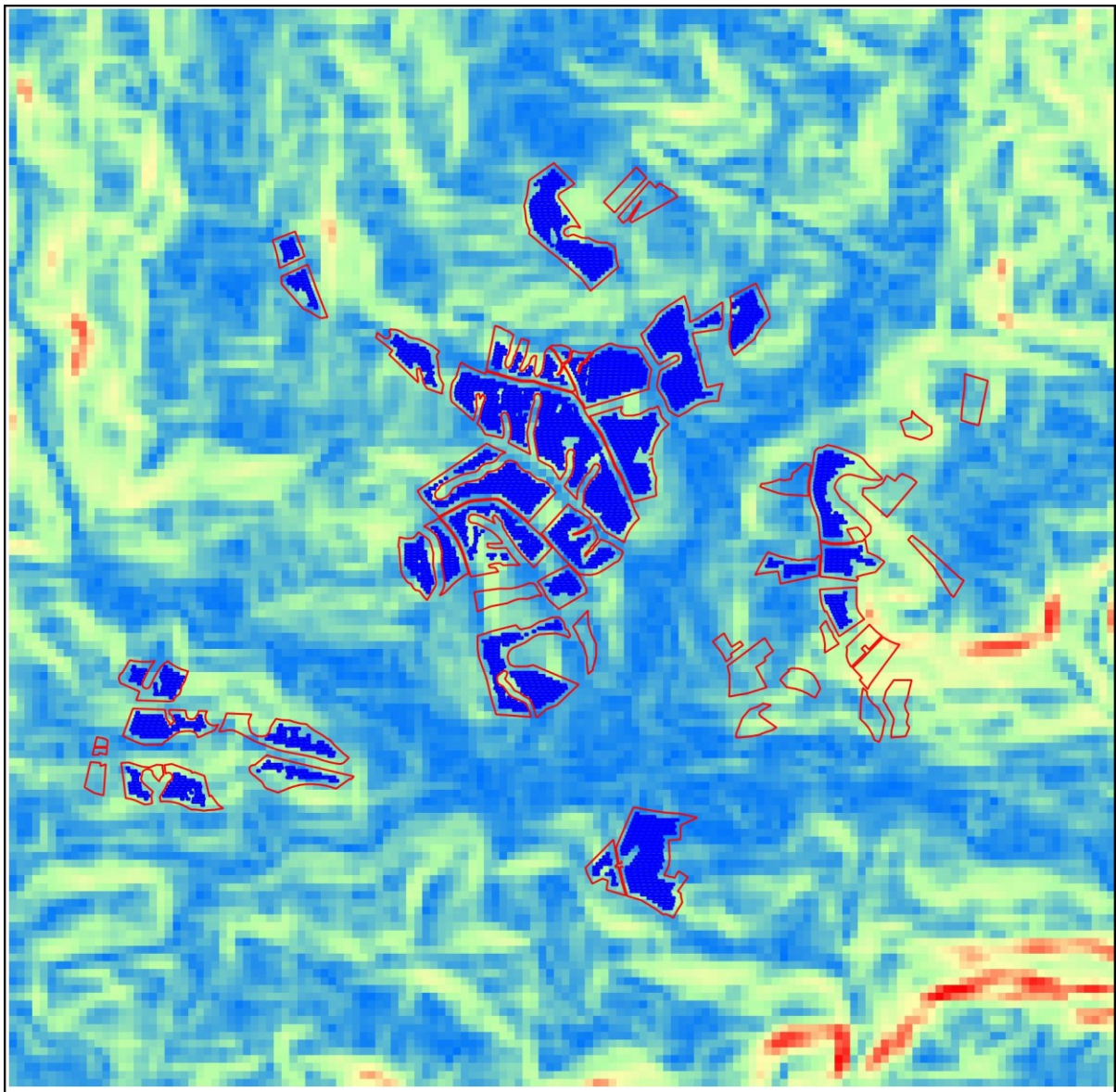
5.2 Caratteristiche morfologiche

La morfologia dell'area è quasi dappertutto di tipo collinare con acclività di versante solo in alcuni casi 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. Il progetto è stato distinto in due aree omogenee, suddivisione che è stata adottata anche nella cartografia geologica e geomorfologica allegata. In particolare, abbiamo un'area a SW, situata fra gli abitati di S. Michele di Ganzaria e Mirabella Imbaccari, denominata Area 1, ed un'area a NE, situata ad Est di Mirabella Imbaccari, denominata area 2. La scala di rappresentazione è di 1:25.000).

Dall'osservazione di queste immagini si può evidenziare che il progetto si sviluppa su aree di versante ad acclività da bassa a moderata. Più in generale, nelle due aree, gran parte del territorio collinare mostra pendenze comprese fra il 12 % ed il 25%, solamente alcune creste rocciose o versanti costituiti da calcari evaporitici o da quarzareniti presentano valori fino al 36%. Le aree di fondovalle sono caratterizzate da una colorazione dominante a toni blu, corrispondenti a pendenze inferiori al 12%. Sono ben riconoscibili le vallate del Torrente del Gatto e del Fiume del Tempo, nonché le incisioni secondarie ad esse affluenti.



Pendenza (%)

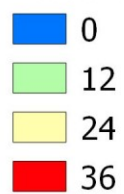
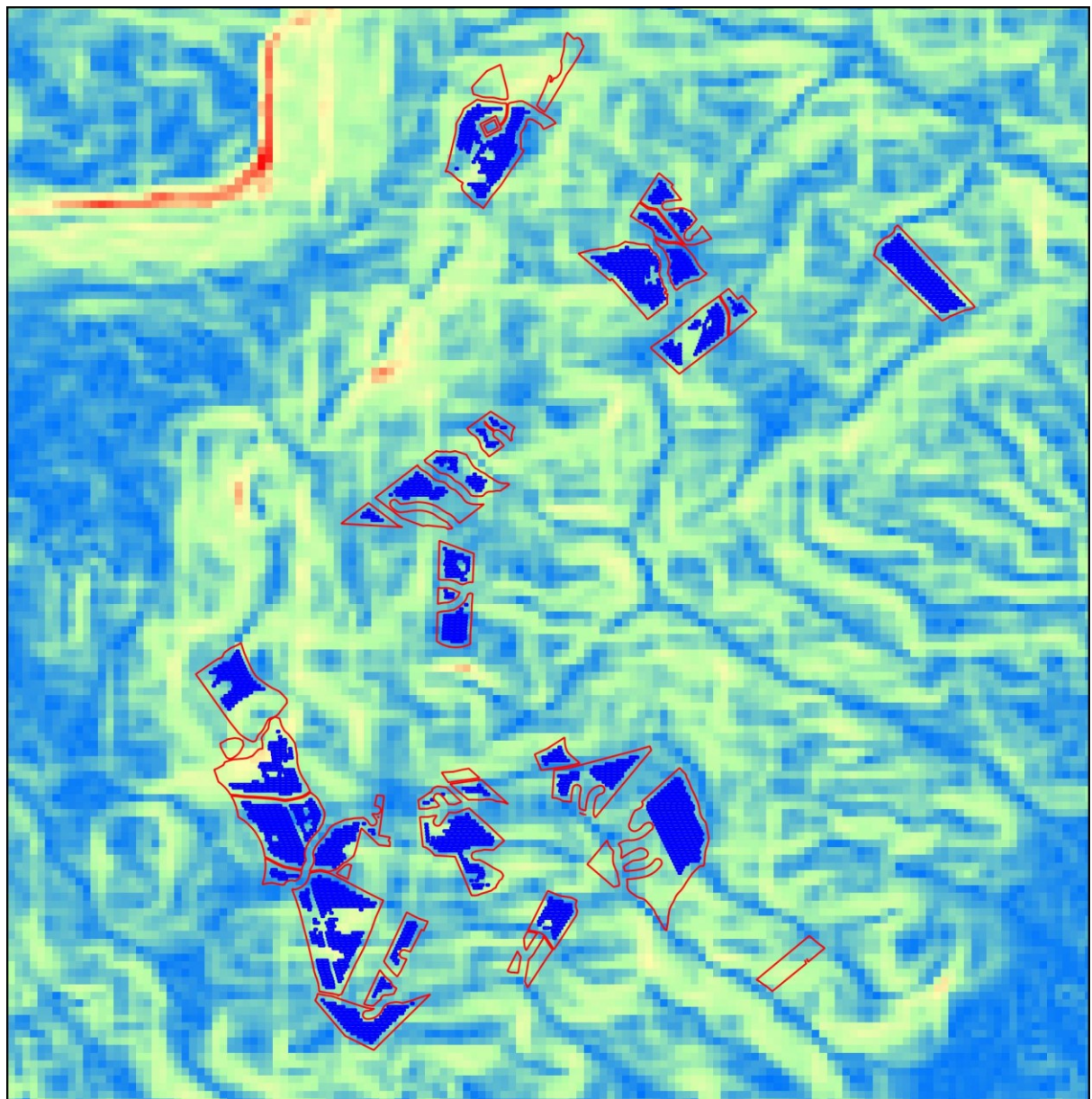


Figura 7 – Carta clivometrica, scala 1:25.000 – Area 1, fra S. Michele di Ganzaria e Mirabella Imbaccari



Pendenza (%)

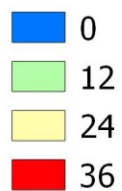


Figura 8 – Carta clivometrica, scala 1:25.000 – Area 2, ad Est di Mirabella Imbaccari



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, invasi: 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 9 – Aspetto tipico delle aree di progetto nella stagione estiva. Visibile la fessurazione superficiale delle argille (“Mud cracks”)



Figura 10 – Fenomeni di erosione areale da parte delle acque selvagge



Figura 11 – Erosione dovuta alle acque di ruscellamento superficiale



Figura 12 – Dissesto gravitativo ed erosione calanchiva su ripido versante argilloso

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 potranno essere definiti 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 13 – Terreni colluviali accumulati nella parte inferiore dei versanti a seguito dell'erosione ad opera delle acque di ruscellamento



Figura 14 – 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 fondovalle 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 quasi sempre 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.

Nel corso dei rilievi è stato individuato un pozzo del tipo scavato, a largo diametro, ubicato in area di fondovalle, profondo circa 9 m, con livello statico posto a circa 7 m da p.c., a testimonianza che nelle aree di fondovalle possono localizzarsi falde acquifere generalmente di modesta importanza, sorrette dalle formazioni argillose di base e contenute in acquiferi alluvionali o comunque terreni sabbioso-limosi dotati di una certa permeabilità. La profondità della falda, nel caso citato, non è in grado di generare interferenze con le opere in progetto.



Figura 15 – Pozzo scavato



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. 20 prospezioni sismiche attive MASW;
- N. 10 tomografie sismiche a rifrazione;
- N. 4 prove penetrometriche dinamiche.

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

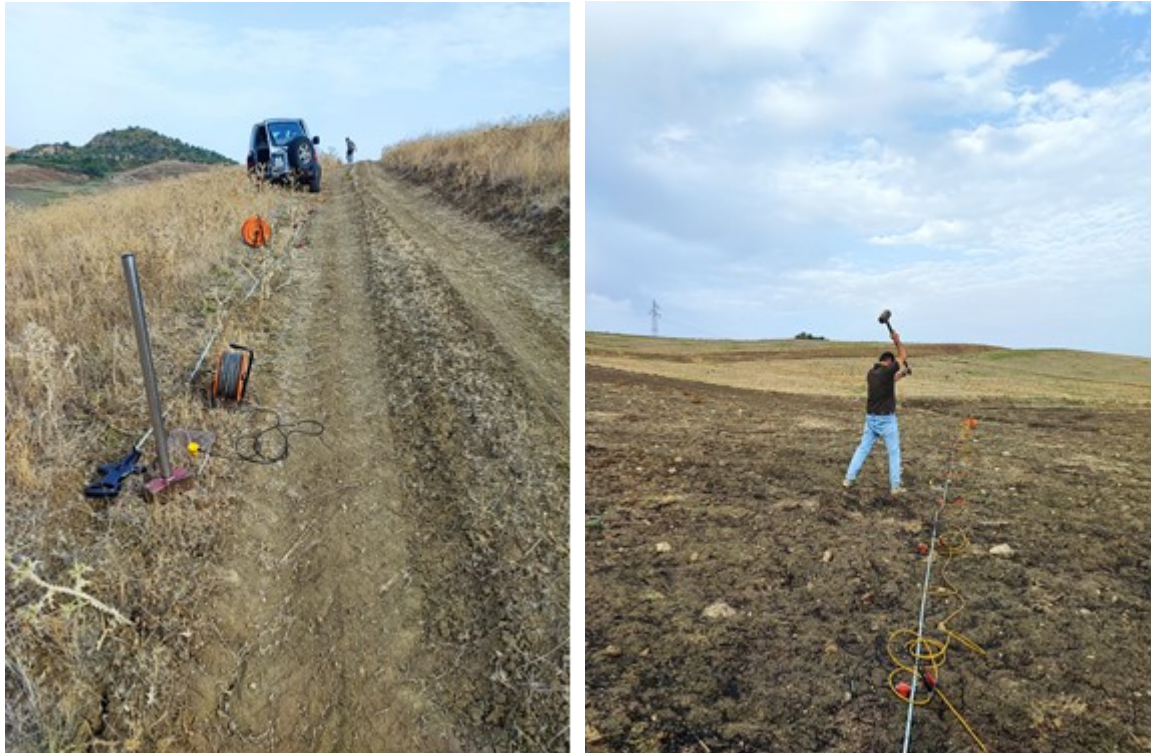


Figura 16 – Indagine sismica MASW e fase di shot per analisi sismica a rifrazione



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.

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.

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

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.

MASW n.	Vs,eq (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	290	C	Argille Scagliose	169	181	239
2	238	C	Argille Scagliose	147	132	163
3	329	C	Argille Scagliose	277	258	227
4	290	C	Argille Scagliose	207	216	205
5	355	C	Argille Scagliose	134	196	293
6	251	C	Marne argillose	250	264	207
7	323	C	Argille Scagliose	241	319	251
8	245	C	Marne Tripolacee	171	128	155
9	331	C	Argille Scagliose	204	209	266
10	381	B	Argille Scagliose	173	237	278
11	296	C	Argille Scagliose	155	216	262
12	196	C	Argille Scagliose	135	111	132
13	321	C	Argille Scagliose	307	274	277
14	302	C	Argille Scagliose	143	220	345
15	348	C	Argille Scagliose	135	187	301
16	278	C	Marne Tripolacee	256	289	240
17	322	C	Argille Scagliose	231	300	311
18	225	C	Argille Scagliose	162	120	145
19	326	C	Argille Scagliose	198	222	268
20	376	B	Argille Scagliose	178	236	252

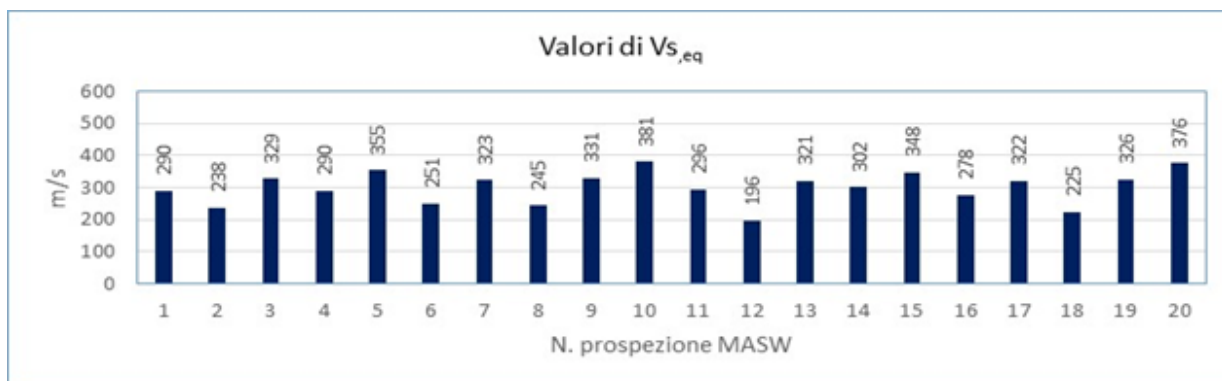


Tabella 1 – Valori di Vs,eq

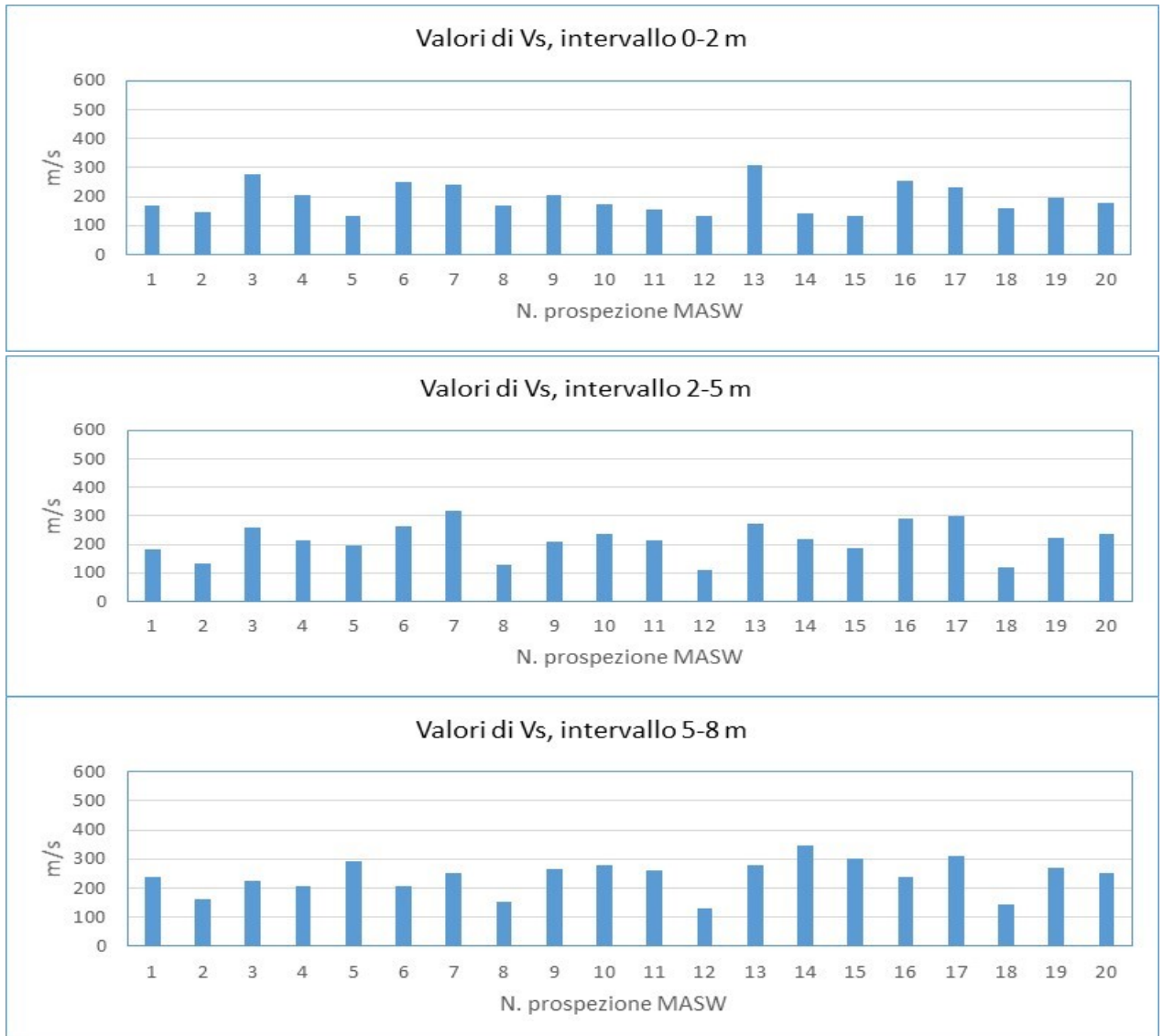
Dall'analisi della tabella e del grafico, risulta che il valore più alto osservato è di 381 m/s in corrispondenza delle Argille Scagliose mentre il più basso è di 196 m/s, anche in questo caso in presenza della medesima formazione delle Argille Scagliose. Ne consegue che anche a parità di formazione geologica di base si ritrova una forbice di valori piuttosto ampia, in cui la gran parte delle prove effettuate hanno dato una categoria di sottosuolo di tipo C, con due casi in categoria B (prossimo alla C) ed una prossima al limite inferiore della categoria C, prossima alla D. Anche le due prospezioni effettuate sulle marne tripolacee hanno dato valori di Vs,eq ricadenti in categoria C. Siamo pertanto di fronte a terreni a rigidità generalmente bassa o medio-bassa, con oscillazione dei valori dipendenti dai primi 5-8 m



di sottosuolo ed in particolare dallo spessore e consistenza della coltre superficiale di natura colluviale. Ciò non comporta particolari problemi per le strutture portanti dei pannelli, le quali sono molto leggere e hanno una incidenza minima sul terreno. Pur tuttavia, proprio perché strutture fondate superficialmente potrebbero risentire di fenomeni erosivi e movimenti lenti della coltre superficiale nei momenti di saturazione durante le piogge invernali. Anche per questo motivo è opportuna la progettazione di un'adeguata rete di raccolta e canalizzazione delle acque di ruscellamento, in modo da impedirne l'innescio di tali fenomeni.

Allo scopo di comparare in modo più approfondito i risultati delle prove Masw, sono stati infine realizzati degli istogrammi che rappresentano l'andamento delle Vs nei primi tre intervalli di sottosuolo (0-2 m, 2-5 m, 5-8 m):

Poiché il valore della media equivalente di Vs 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 versanti 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.



L'analisi di detti risultati evidenzia che i valori più bassi si riscontrano preferenzialmente nei siti più prossimi al fondovalle, ove si realizza un maggiore spessore della coltre eluvio-colluviale ed una coltre superficiale più allentata e meno consistente rispetto a quanto rilevabile sui versanti.



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 Vp 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 Vp comprese fra 650 e 900 m/s. Segue infine il secondo rifrattore con valori di Vp 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 0,3 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 Vp più elevati.

Tomografia sismica n.	Formazione geologica	Aerato superficiale a minore consistenza (m)	Vp media (m/s)
1	Argille Scagliose	0,3 – 1,0	400
2	Argille Scagliose	1,0 – 1,5	400
3	Argille Scagliose	0,5 – 1,5	420
4	Argille Scagliose	0,3 – 2,0	520
5	Argille Scagliose	0,6 – 1,2	480
6	Marne argillose	2,5 – 3,0	400
7	Argille Scagliose	0,3 – 1,0	420
8	Marne Tripolacee	1,0 – 1,2	360
9	Argille Scagliose	0,5-2,2	400
10	Argille Scagliose	1,0 - 2,3	460

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 rigidità e consistenza differenti nell'ambito della stessa formazione.

Sotto il profilo geologico-tecnico, le sezioni tomografiche 2D evidenziano che la parte apicale delle formazioni ha normalmente una consistenza 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.

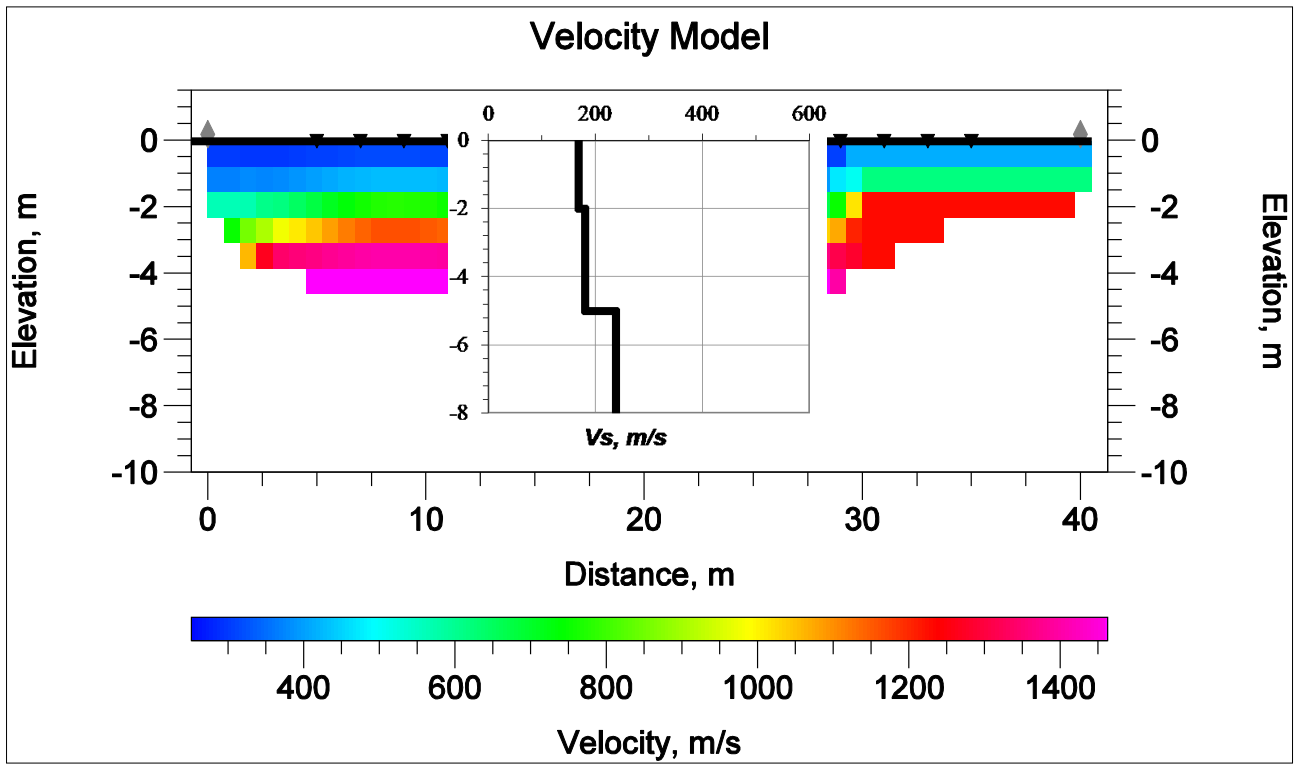


Figura 19 – Sezione Ts1-Mw1 (Argille Scagliose)

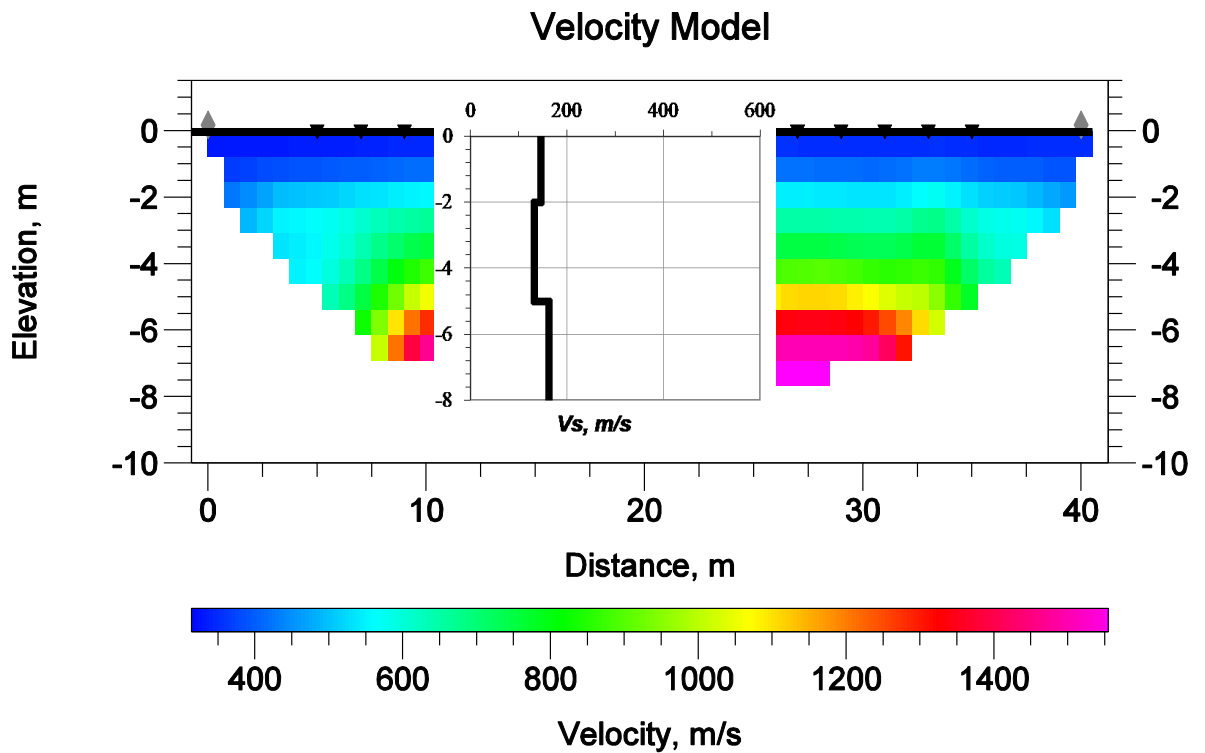


Figura 20 – Sezione Ts2-Mw2 (Argille Scagliose)

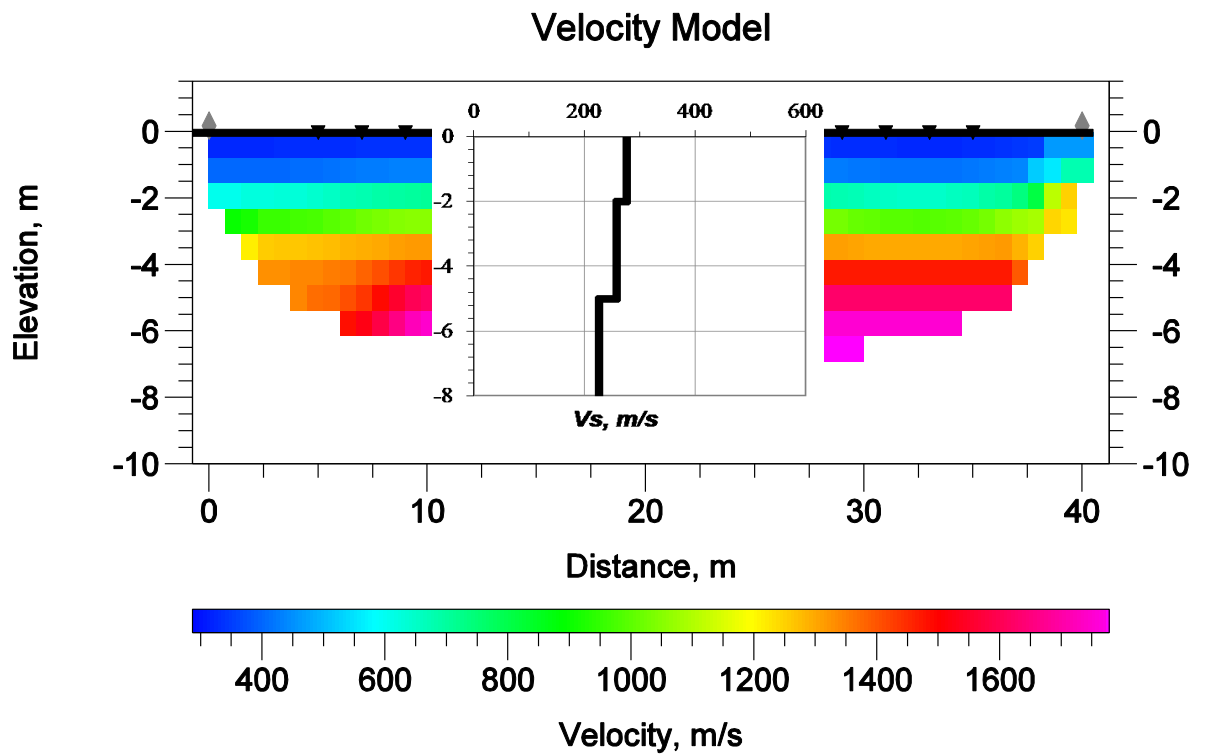


Figura 21 – Sezione Ts3-Mw3 (Argille Scagliose)



Velocity Model

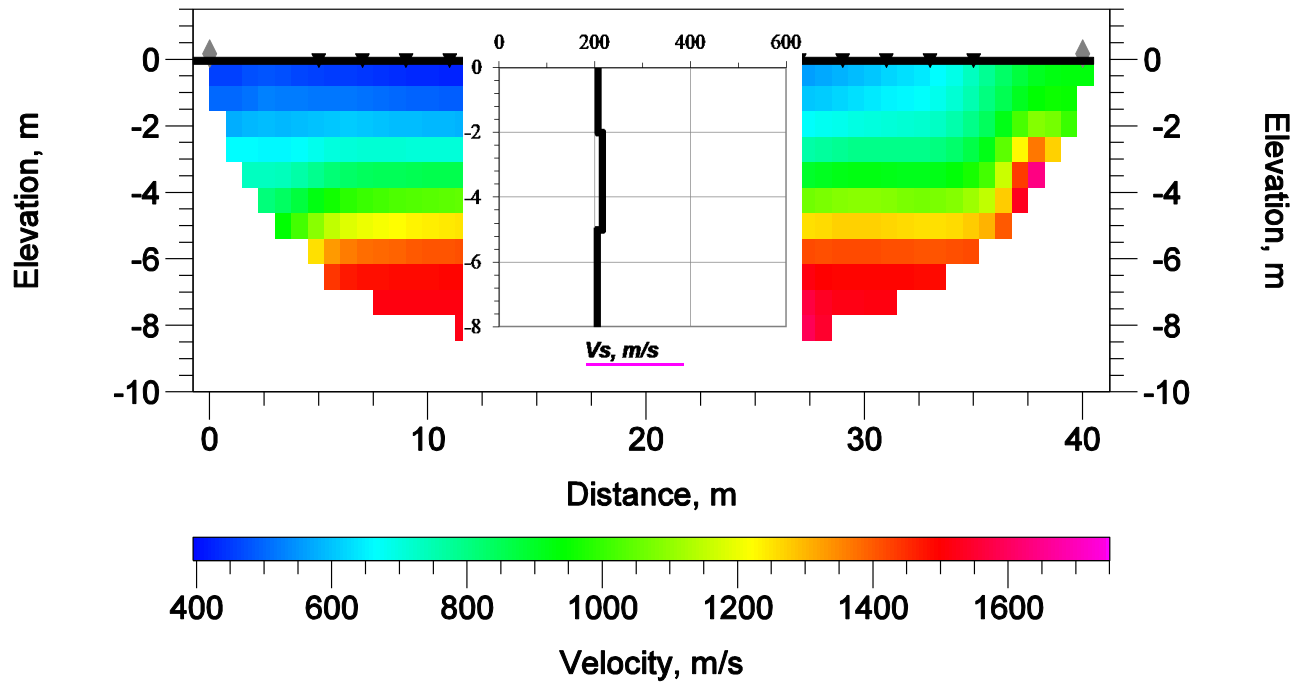


Figura 22 – Sezione Ts4-Mw4 (Argille Scagliose)

Velocity Model

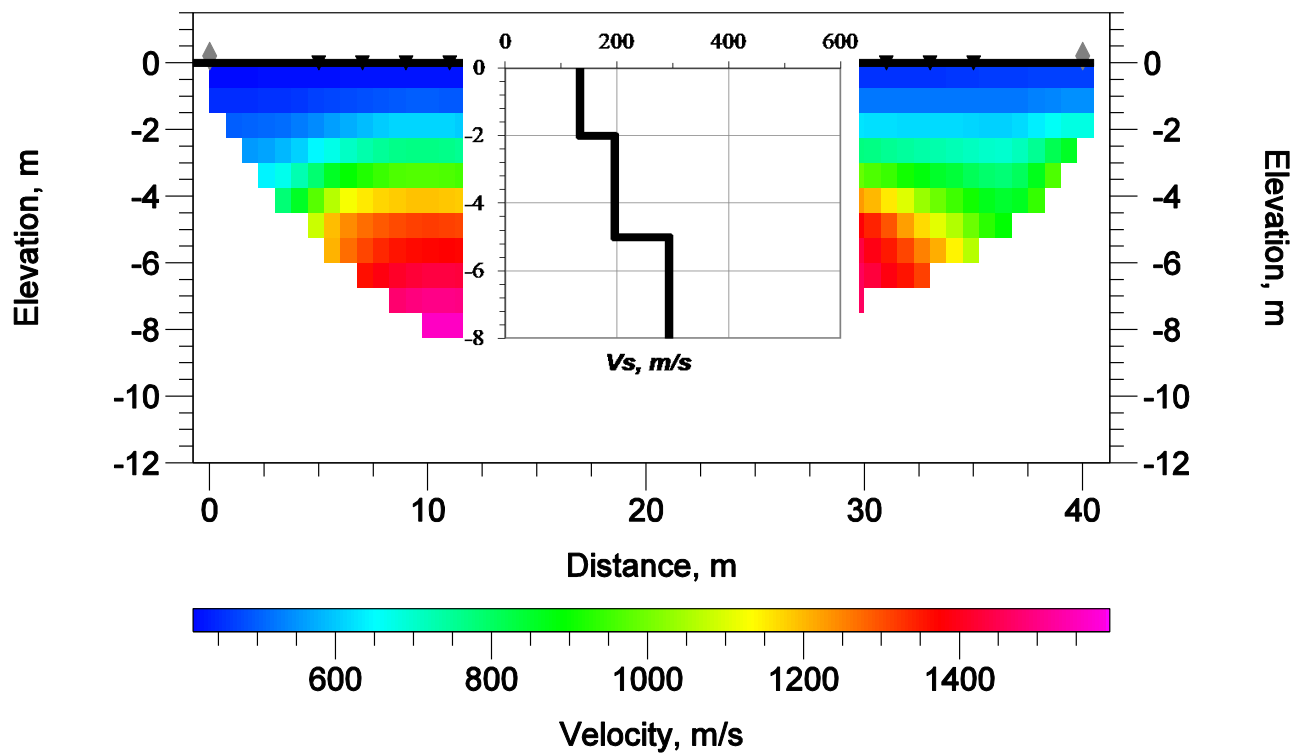


Figura 23 – Sezione Ts5-Mw5 (Argille Scagliose)

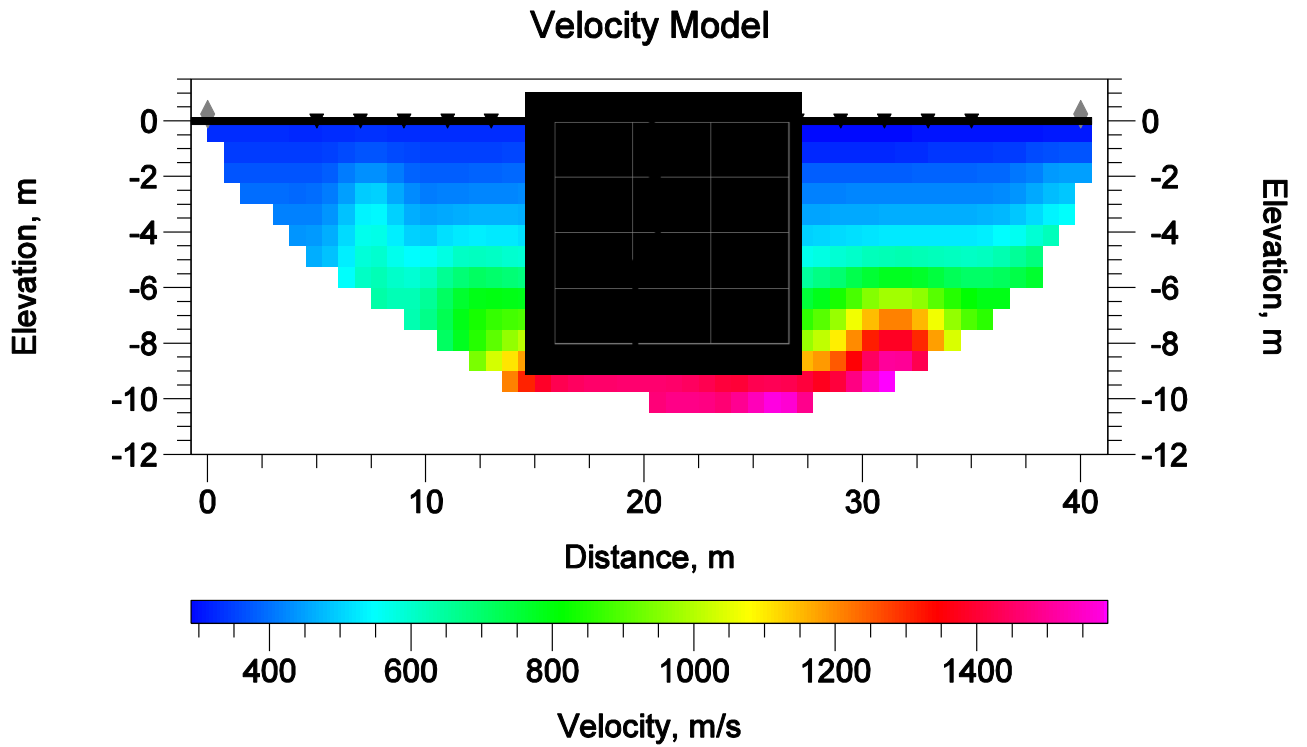


Figura 24 – Sezione Ts6-Mw6 (Marne argillose)

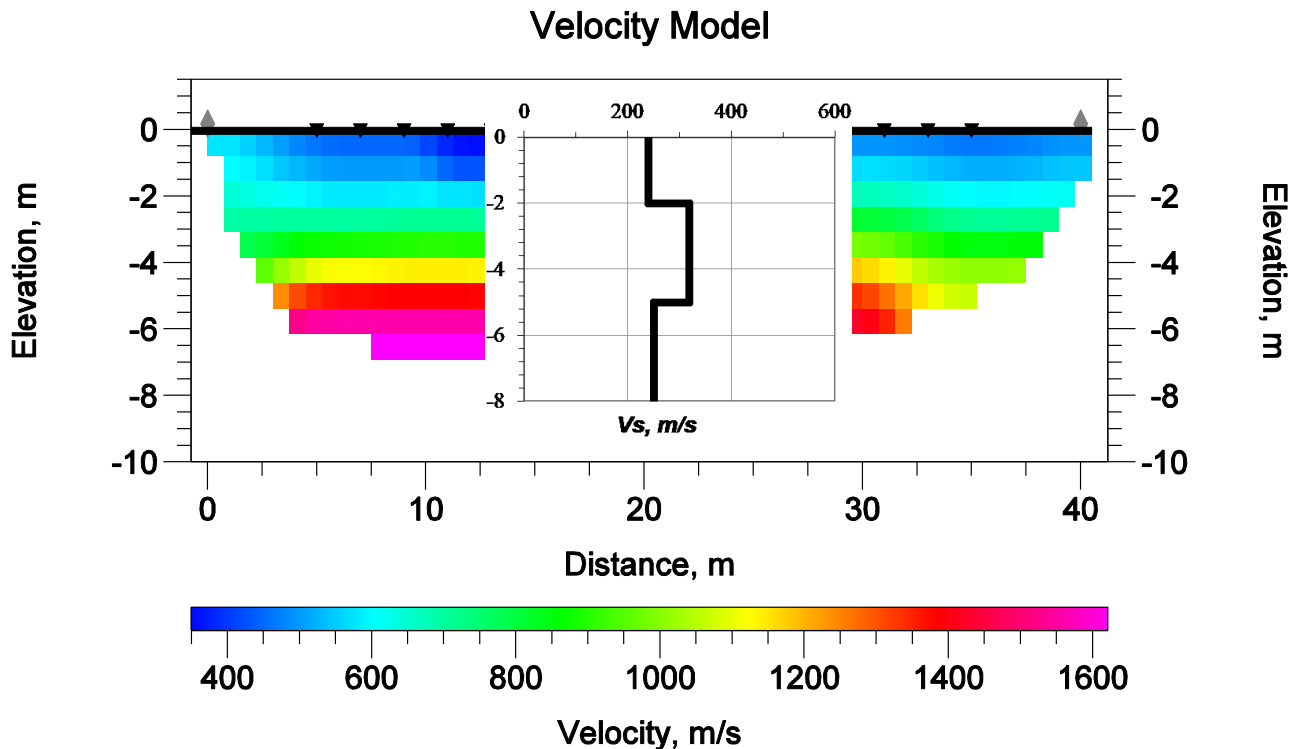


Figura 25 – Sezione Ts7-Mw7 (Argille Scagliose)

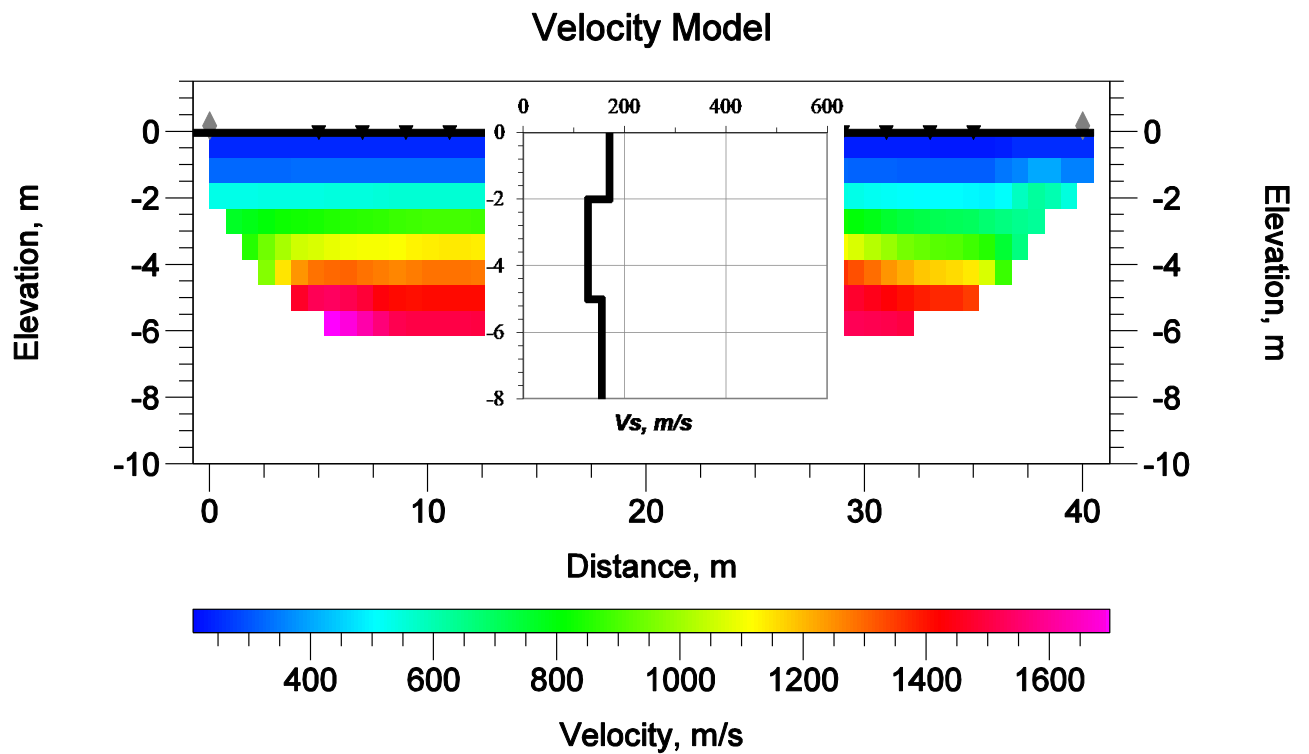


Figura 26 – Sezione Ts8-Mw8 (Marne tripolacee)

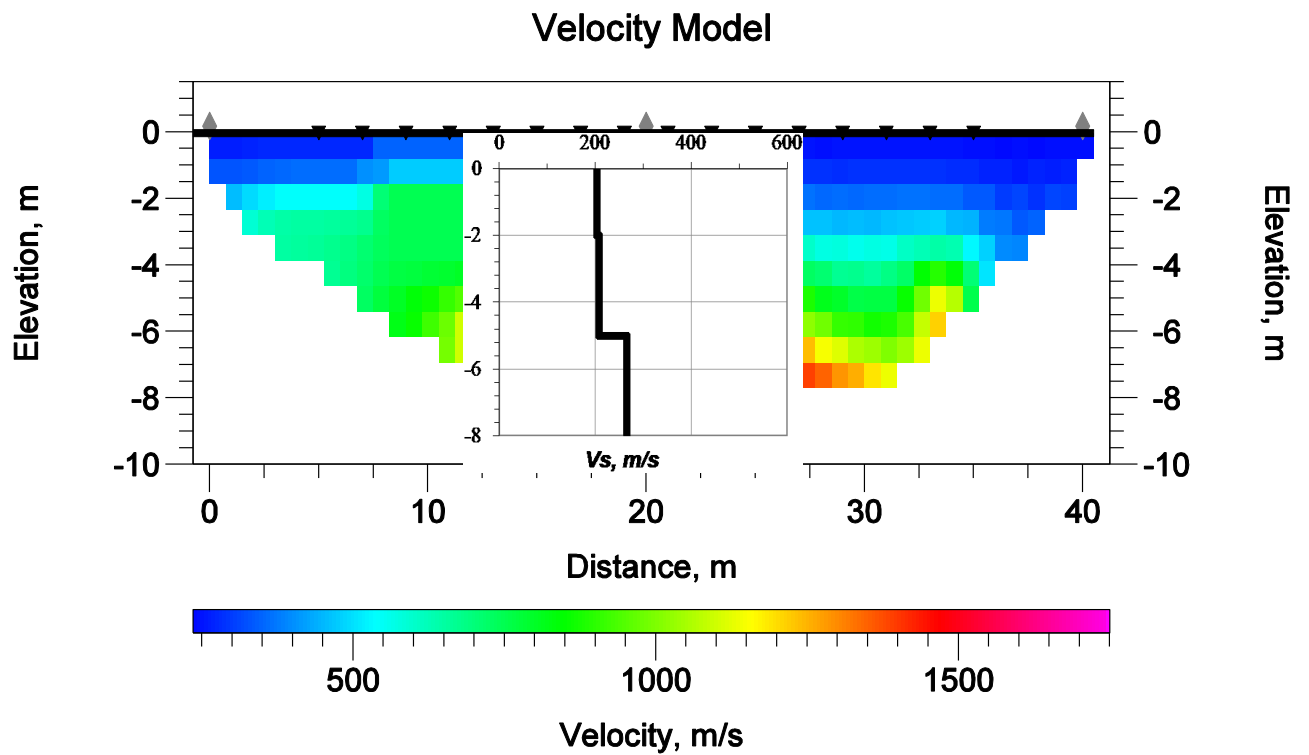


Figura 27 – Sezione Ts9-Mw9 (Argille Scagliose)

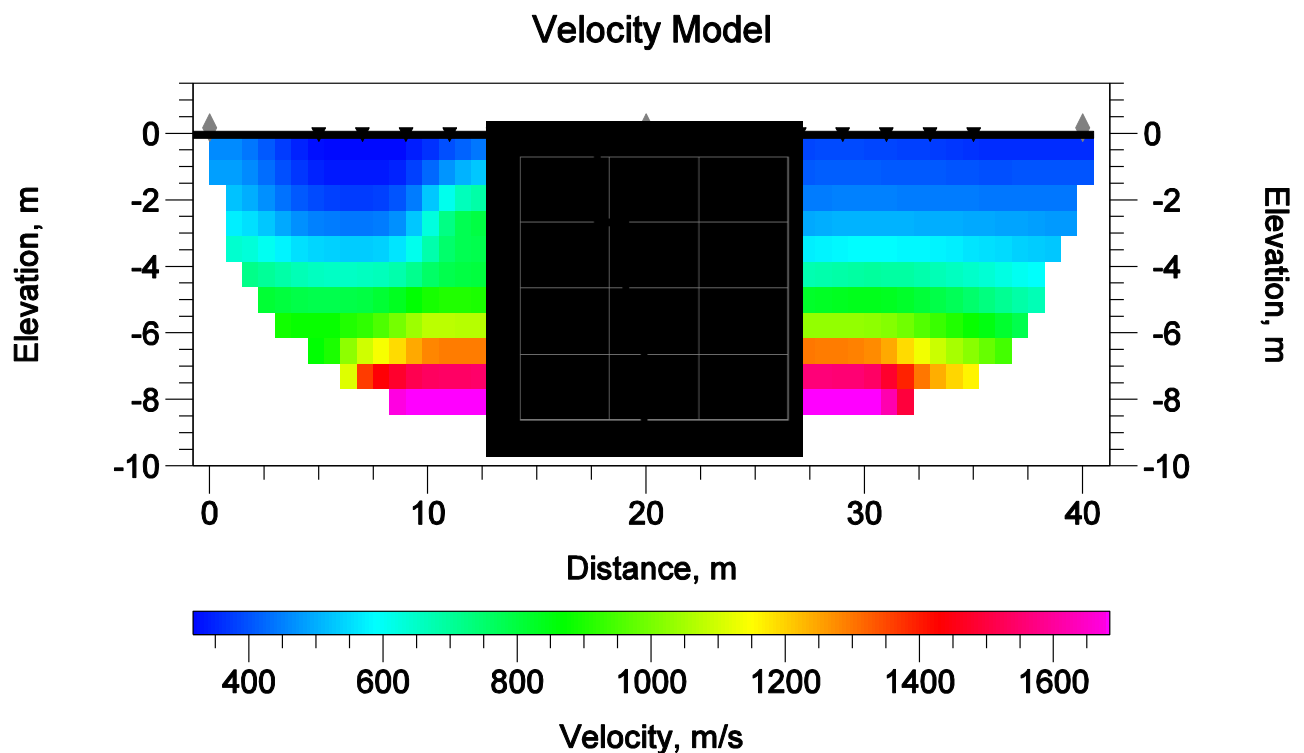


Figura 28 – Sezione Ts10-Mw10 (Argille Scagliose)

La sovrapposizione del profilo Vs 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 si 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, tale da determinare delle inversioni di velocità delle onde S.

Prove geotecniche in situ

All'interno delle aree di progetto sono state effettuate n. 4 prove penetrometriche dinamiche continue al fine di consentire una valutazione semiquantitativa dei parametri geomeccanici del sottosuolo fino ad una profondità compresa fra 4,5 e 6,5 m dal piano di campagna.

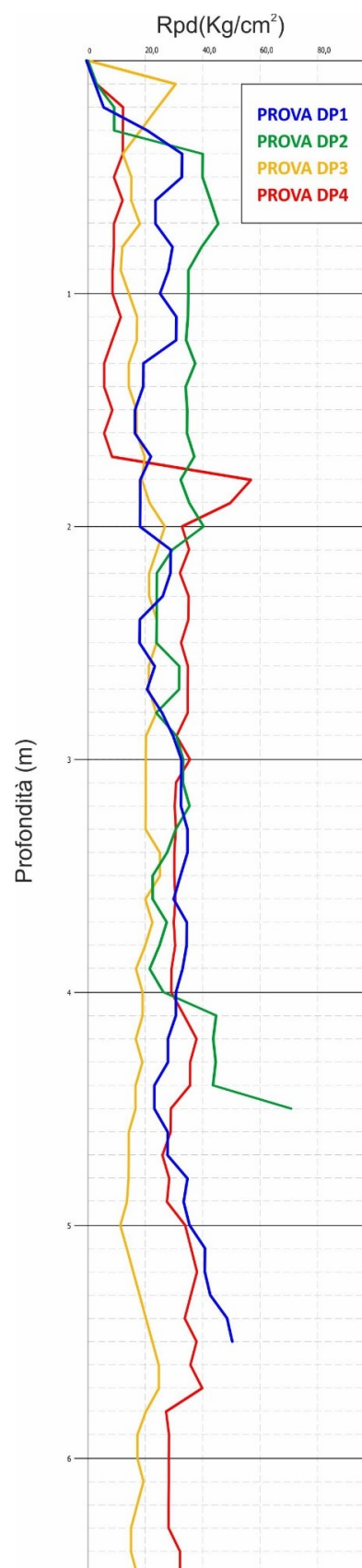
Le prove penetrometriche dinamiche eseguite hanno permesso ricostruire dei modelli stratigrafici in linea con la geologia presente in letteratura.

Per permettere un più agevole confronto, i diagrammi Rpd delle prove sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico per avere una visione d'insieme.

Le prove DP1, DP2 e DP4 sono contraddistinte da un areato di superficie poco consolidato con spessore compreso tra 0,10 e 0,30 m e con valori di Rpd inferiori a 20 Kg/cm², costituito per lo più da una matrice argillosa-limosa alterata, talora frammista ad una componente organica. Nella prova DP3, invece, si riscontra uno strato superficiale spesso 0,30 m, caratterizzato dalla presenza di argille ben consolidate.

Come si può evincere dall'esame del diagramma, fino a circa 2,00 m di profondità dal piano campagna, le prove eseguite sono contraddistinte da valori di Rpd poco affini tra loro e che si attestano in un range compreso tra 5 e 60 Kg/cm²; questa discrepanza di valori è correlabile alla presenza o meno di una componente limosa in una matrice perlopiù argillosa. A partire da circa 2,00 m e fino a 4,00 m da p.c. in tutte le prove si osserva un buon grado di confidenza, con valori di Rpd che si attestano tra 20 e 40 Kg/cm², valori correlabili alla compresenza di limo e argille. A partire da 4,00 m dal p.c. i valori di Rpd ricadono nuovamente in un range di valori ampio, tra 10 e 70 Kg/cm².

La prova DP3 è quella caratterizzata da valori più bassi, mediamente intorno ai 20 Kg/cm², indice di terreni prevalentemente argillosi e probabilmente distinti da una componente marnosa. La prova DP2 invece giunge a valori >40 Kg/cm² già a partire da 4,10 m da p.c., fino a giungere a valori prossimi a 75 Kg/cm² a 4,40 m da p.c., ciò è correlabile alla presenza di una prevalente componente limosa talora incoerente. Le prove DP1 e DP4, seppur geograficamente distanti tra loro, mantengono invece valori pressoché simili (già a partire da 3 m da p.c.), con valori di Rpd che si attestano intorno ai 35 Kg/cm², ciò indica la presenza di terreni caratterizzati da una componente limosa frammista ad una argillosa.



Nella tabella seguente si riportano e si evidenziano i principali parametri geotecnici calcolati per i singoli strati delle relative prove, e le connesse interpretazioni.

Prova Penetrometrica Dinamica DP1											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (kg/cm ²)	Mod. Edometrico (kg/cm ²)	Mod. Elastico (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm ²)
1	0,2	1,14	Coesivo	1,49	1,84	0	0,07	5,23	11,4	0	0
2	1,2	7,31	Coesivo	1,87	1,9	0	0,46	33,54	73,1	0	0
3	2	5,24	Coesivo	1,77	1,88	0	0,33	24,04	52,4	0	0
4	2,3	8,12	Coesivo	1,9	1,91	0	0,55	37,26	81,2	0	0
5	2,7	5,9	Coesivo	1,81	1,89	0	0,37	27,07	59	0	0
6	4,1	10,55	Coesivo	1,98	0	0	0,71	48,4	105,5	0	0
7	4,7	8,62	Coesivo	1,92	0	0	0,58	39,55	86,2	0	0
8	5,5	15,6	Coesivo	2,07	0	0	1,05	71,57	156	0	0
Prova Penetrometrica Dinamica DP2											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (kg/cm ²)	Mod. Edometrico (kg/cm ²)	Mod. Elastico (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm ²)
1	0,3	1,76	Coesivo	1,54	1,85	0	0,11	8,08	17,6	0	0
2	2	10,33	Coesivo	1,98	0	0	0,7	47,39	103,3	0	0
3	4	8,29	Coesivo	1,91	0	0	0,56	38,04	82,9	0	0
4	4,4	15,52	Coesivo	2,07	0	0	1,05	71,21	155,2	0	0
5	4,5	30,28	Incoerente	2,14	0	39,73	0	89,66	226,4	0,29	1603,98
Prova Penetrometrica Dinamica DP3											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (kg/cm ²)	Mod. Edometrico (kg/cm ²)	Mod. Elastico (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm ²)
1	0,3	6,09	Coesivo	1,82	1,89	0	0,38	27,94	60,9	0	0
2	1,8	4,11	Coesivo	1,71	1,87	0	0,26	18,86	41,1	0	0
3	4,5	6,29	Coesivo	1,83	1,89	0	0,39	28,86	62,9	0	0
4	5,2	4,57	Coesivo	1,73	1,87	0	0,29	20,97	45,7	0	0
5	6,1	7,02	Coesivo	1,86	1,9	0	0,44	32,21	70,2	0	0
6	6,5	5,71	Coesivo	1,8	1,88	0	0,36	26,2	57,1	0	0
Prova Penetrometrica Dinamica DP4											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (kg/cm ²)	Mod. Edometrico (kg/cm ²)	Mod. Elastico (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm ²)
1	0,1	0,76	Coesivo	1,46	1,84	0	0,05	3,49	7,6	0	0
2	1,7	2,37	Coesivo	1,59	1,86	0	0,15	10,87	23,7	0	0
3	1,9	17,12	Coesivo	2,09	0	0	1,16	78,55	171,2	0	0
4	4	10	Coesivo	1,97	0	0	0,68	45,88	100	0	0
5	4,4	12,18	Coesivo	2,02	0	0	0,82	55,88	121,8	0	0
6	4,9	9,39	Coesivo	1,95	0	0	0,63	43,08	93,9	0	0
7	5,7	13,06	Coesivo	2,04	0	0	0,88	59,92	130,6	0	0
8	6,5	9,37	Coesivo	1,95	0	0	0,63	42,99	93,7	0	0

I valori medi di coesione della prova DP1 variano tra un minimo di 0,07 Kg/cm² (strato 1) e un massimo di 1,05 Kg/cm² (strato 8). In questo range di valori, rientrano le argille miste a limi coesivi. Secondo i criteri della Classificazione AGI, questi strati sono costituiti da terreni privi di consistenza (areato di superficie), a consistenza moderata (strati 2,3 e 5), consistenti (strati 4 e 7) e molto consistenti (strato 8).

Per quanto riguarda la prova DP2, si individuano strati con parametri correlabili a terreni di natura coesiva, sovrastanti uno di natura incoerente (strato 5). Lo strato 1 (areato di superficie), con valori di coesione pari a 0,11 Kg/cm², è costituito per lo più da argille poco rimaneggiate talora frammiste ad una componente organica. Lo strato 2, i cui valori di coesione si attestano intorno 0,07 Kg/cm², è composto da limo coesivo debolmente argilloso. I valori di coesione dello strato 3 (0,56 Kg/cm²) indicano un incremento della componente argillosa a discapito di quella limosa. Nello strato 4, dunque a 4 m dal p.c., si osservano valori di coesione >1 Kg/cm², indicatore di una netta crescita della componente limosa. Lo strato 5, con valori di Nspt 30,28, evidenzia la presenza di terreni incoerenti, nello specifico limi, con valori di angolo pari a 39,73°. Secondo i criteri della Classificazione AGI, l'areato di superficie (strato 1) è privo di consistenza, gli strati 2 e 3 sono consistenti e lo strato 4 è molto consistente; per quanto riguarda lo strato incoerente, dunque l'ultimo, questo viene classificato come addensato.

Nella prova DP3, a differenza delle altre 3 prove, l'areato di superficie (strato 1) è costituito da argille consolidate fessurate (mud crack), spesso circa 0,30 m e con valori di coesione che si attestano a 0,38 Kg/cm². Negli strati a



seguire vi si trovano valori di coesione compresi tra 0,26 Kg/cm² e 0,44 Kg/cm², correlabili a terreni argillosi, talora interessati dalla presenza di una componente limosa e/o marnosa. Per i criteri della Classificazione AGI, tutti gli strati sono classificati come moderatamente consistenti.

La prova DP4, come visto nelle prove DP1 e DP2, è caratterizzato da uno strato superficiale areato, spesso 0,10 m e di natura argillosa; nonostante sia soggetto anch'esso al fenomeno del mud crack, presenta valori di coesione pari a 0,05 Kg/cm². Fino a 1,5 m da p.c. (strato 2) i valori di coesione si mantengono abbastanza bassi (0,15 Kg/cm²), ad evidenza del fatto che vi sono terreni di natura argillosa. Gli strati a seguire mostrano invece valori di coesione più elevati, compresi tra un minimo di 0,63 Kg/cm² e un massimo di 1,16 Kg/cm². In particolare, i valori massimi di coesione si riscontrano nello strato 3, dunque tra 1,7 e 1,9 m da p.c.; ciò è riconducibile alla presenza di un livello limoso. Negli strati a seguire, i valori di coesione scendono sotto 1,00 Kg/cm²; tuttavia, i valori riscontrati indicano la compresenza di limi e argille e dunque discreti valori di coesione. Secondo i criteri della Classificazione AGI, l'areato di superficie (strato 1) è privo di consistenza, lo strato 2 è poco consistente, lo strato 3 è molto consistente e quelli a seguire (da strato 4 a strato 8) sono consistenti.



7. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

7.1 Descrizione delle singole aree suddivise per settori

Nel corso dello studio sono state consultate ed analizzate 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 indagini in sito eseguite 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 si possono considerare 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.

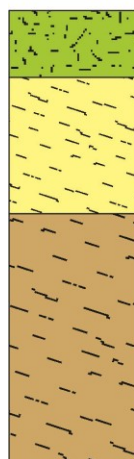
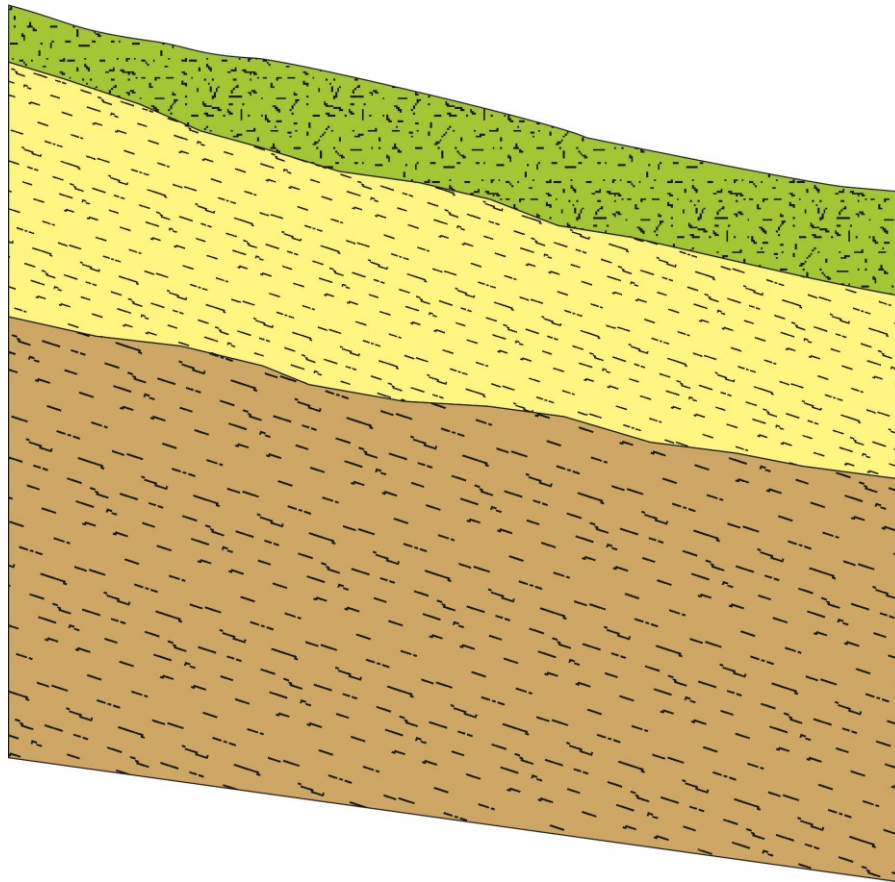
Per la definizione delle caratteristiche litotecniche non direttamente deducibili dai risultati delle indagini, le parametrizzazioni sono state estrapolate dagli studi bibliografici disponibili e da pregresse esperienze su unità geologiche affini a quelle di interesse.

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 distinte in due 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, distinte in due 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.

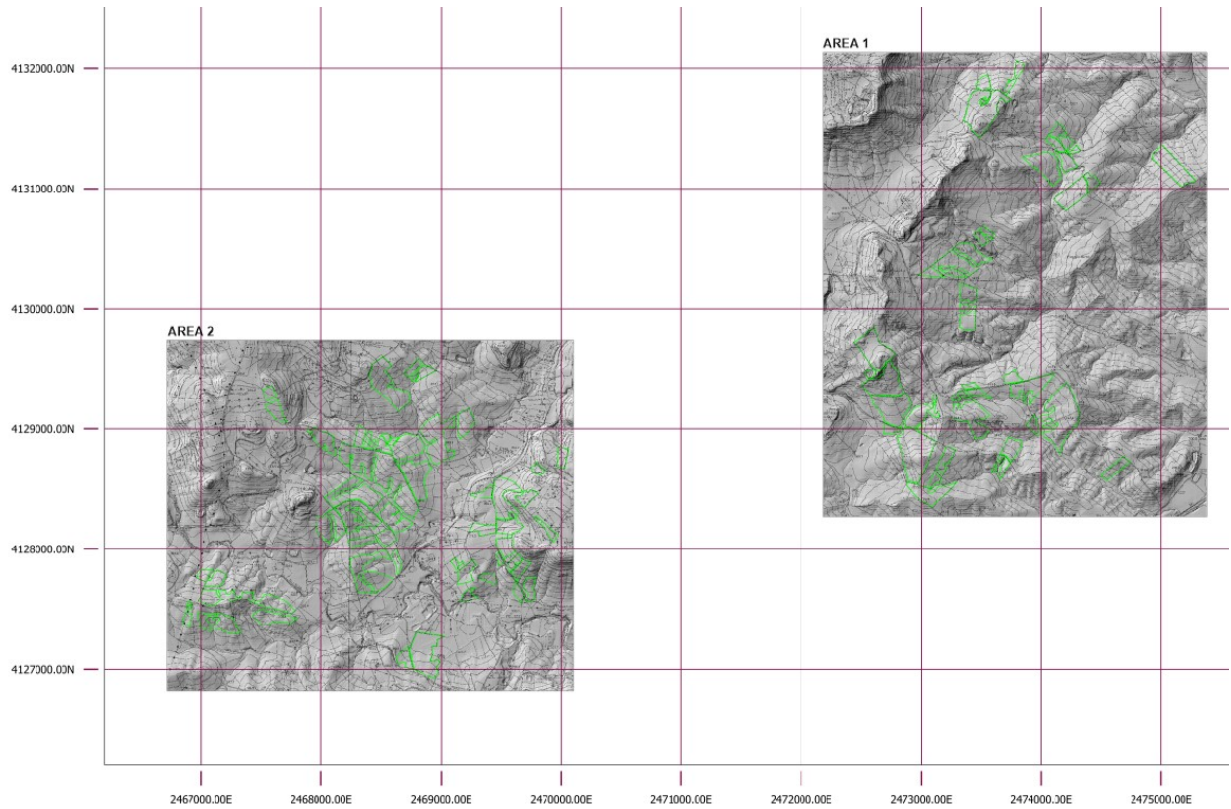
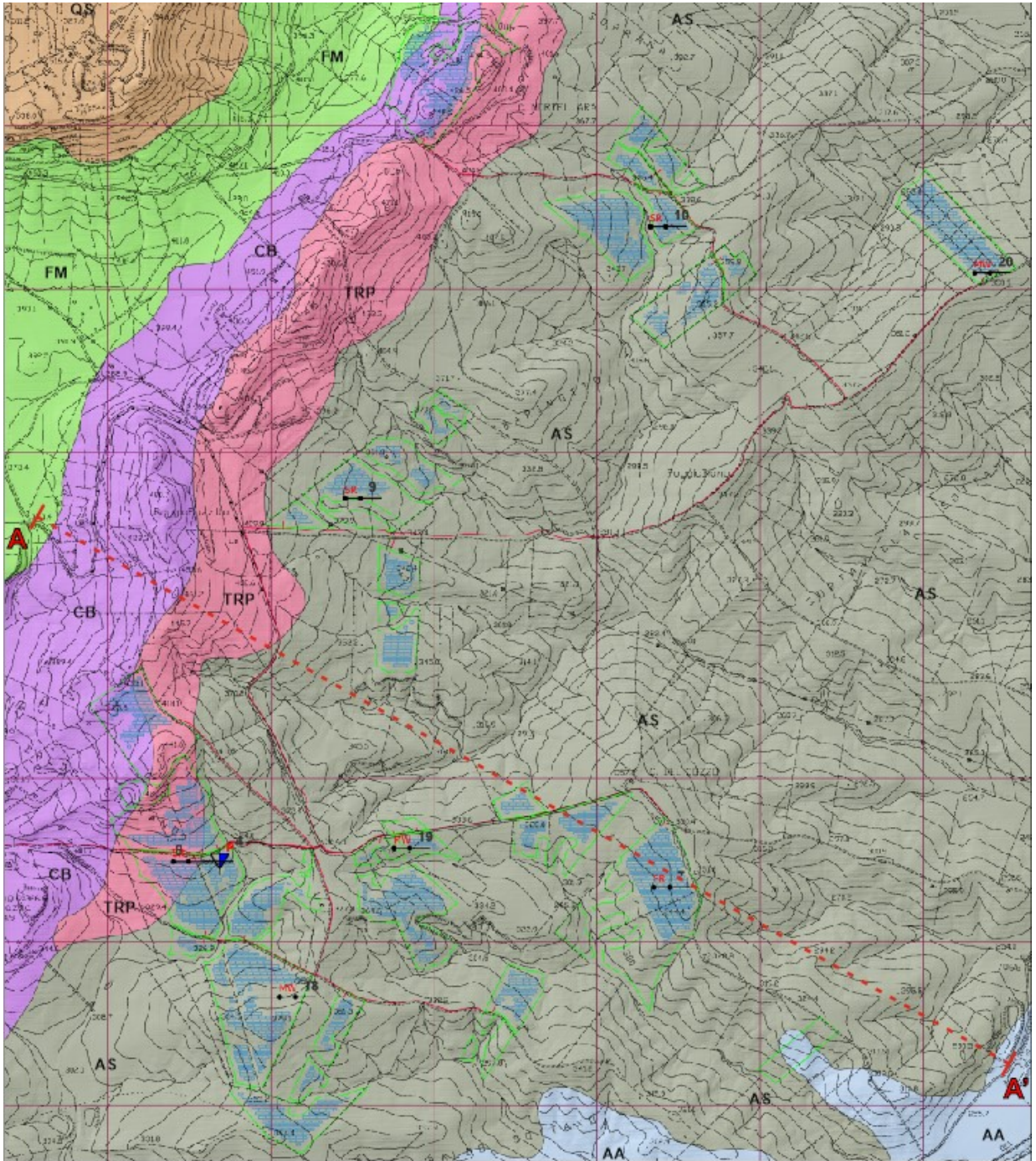


Figura 29 – Quadro d'unione delle aree di progetto

7.2 Area 1 (ad Est di Mirabella Imbaccari)



Quest'area si presenta morfologicamente omogenea, di aspetto tipicamente collinare a causa dell'esteso affioramento di formazioni di natura argillosa. In particolare, la quasi totalità dei campi fotovoltaici ricade sulla forazione delle Argille Scagliose (AS), e solo in minor misura sul Tripoli e sul Calcare di base, nella parte occidentale.

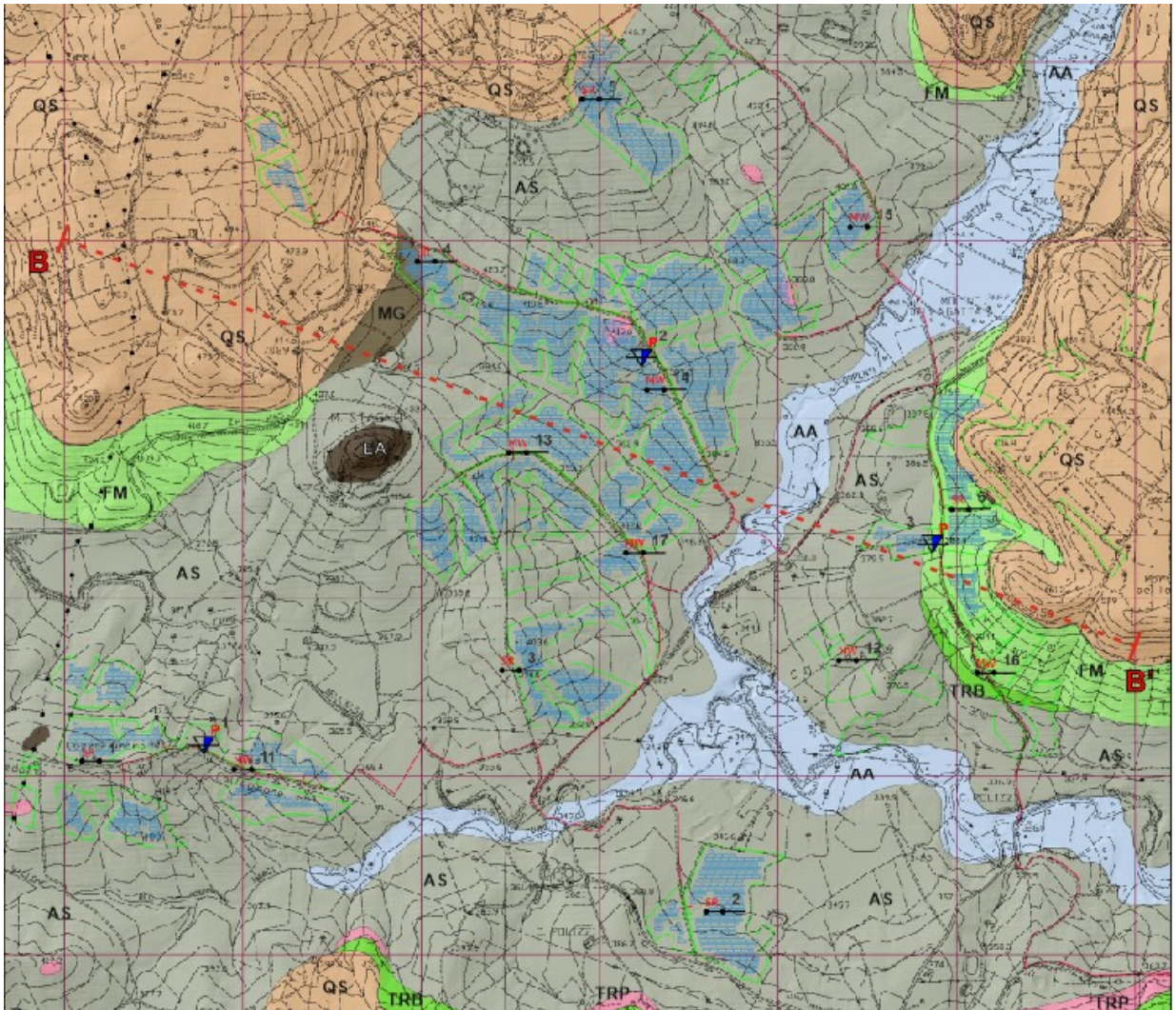


Figura 30 – Morfologia collinare delle Argille Scagliose, sede di gran parte del progetto



Figura 31 – Morfologia delle Argille Scagliose (in primo piano), con la serie Gessoso-solfifera sullo sfondo, a costituire i rilievi

7.3 Area 2 (fra Mirabella Imbaccari e S. Michele di Ganzaria)



Quest'area mostra, parimenti alla precedente, una tipica morfologia collinare conferita dalla natura argillosa di terreno, ad eccezione delle due aree a NW ed a NE, caratterizzate dalla presenza di una formazione quarzarenitico-sabbiosa presso cui si possono individuare versanti più acclivi. Anche in questo caso, i campi fotovoltaici in progetto sono ubicati per la quasi totalità in corrispondenza della formazione delle Argille Scagliose, che possiede una morfologia dolcemente decrescente verso il fondovalle ove è situato l'alveo del Fiume del Tempio, presso cui si ha una morfologia subpianeggiante.



Figura 32 – Veduta da Nord dell'area. Sullo sfondo, l'abitato di S. Michele di Ganzaria. Nel fondovalle si snoda l'alveo del Fiume dell'Elsa. La formazione affiorante è quella delle Argille Scagliose.



7.4 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, anche sulla base dei risultati delle prove penetrometriche. In tal modo, la sintesi dei parametri geotecnici può essere ricondotta unicamente ad un'unica condizione litologica: formazioni argillose s.l., fra cui le Argille Scagliose rappresentano circa il 90% del totale, mentre le Marne tripolacee e le Marne argillose costituiscono il rimanente 10%. Abbiamo visto che le formazioni argillose s.l. saranno il terreno di fondazione per la totalità del progetto.

I parametri fisico-meccanici rappresentativi del comportamento geotecnico medio dei terreni argillosi s.l., possono essere riassunti come segue:

- Peso per unità di volume $\gamma = 18.0 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata $c_u = 30 \div 100 \text{ kPa}$
- Coesione efficace $c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\phi = 17^\circ \div 22^\circ$
- Coeff. di permeabilità $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$
- Categoria di sottosuolo = C

Questi valori si riferiscono mediamente ai primi 5 m di sottosuolo, ove abbiamo visto che la forbice dei valori ottenuti è piuttosto ampia. A profondità maggiori, naturalmente, le caratteristiche geotecniche migliorano sensibilmente, tuttavia i primi 5 m di sottosuolo sono significativi poiché rappresentano il terreno di imposta delle strutture previste in progetto ed è dunque a questo livello che ci si riferisce.



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 120 mWp in territorio di Mirabella Imbaccari, Piazza Armerina e S. Michele di Ganzaria. 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 e geotecniche in situ, 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 quasi esclusivamente 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)