



REGIONE SICILIA PROVINCIA DI  
PALERMO COMUNE DI BOLOGNETTA



PROGETTO DEFINITIVO

Descrizione

Impianto agro-fotovoltaico denominato "TUMMINIA" ubicato nel comune di Bolognetta (PA),  
con potenza di picco pari a 28,469 MWp

Titolo elaborato

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E  
IDROGEOMORFOLOGICA**

BOL1-SOL-FV-MA-MEM-0001\_00

Codifica interna elaborato

Codice elaborato ---

n° Tavola ---

Formato

A4

Scala ---

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

Proponente



**Solaria Promozione e  
Sviluppo Fotovoltaico srl**

Via Sardegna 38  
00187 Roma (RM)  
solariapromozionesviluppofotovoltaico@legalmail.com

Progettazione



GEOMERIDIA S.T.P. A R.L.  
P.IVA/C.F.: 05962300876  
Viale Vittorio Veneto, 161/scala L,  
95127, Catania, IT  
geomeridia@pec.it

**Dott. Geol.  
Graziano Patti**

**Dott. Geol.  
Sergio Montalbano**



Data	n° revisione	Motivo della revisione	Redatto	Controllato	Approvato
19.12.2023	00	EMISSIONE	Dott. Geol. GRAZIANO PATTI Dott. Geol. SERGIO MONTALBANO	Dott. Geol. SERGIO MONTALBANO	Dott. Geol. GRAZIANO PATTI

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	6
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO .....	12
4.1	<i>INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CARTOGRAFIA PAI</i> .....	17
5	CLIMATOLOGIA.....	20
6	BACINO DEL FIUME MILICIA.....	23
7	STUDIO DELLA PIOVOSITÀ .....	24
7.1	<i>METODO TCEV – REGIONE SICILIA</i> .....	24
7.2	<i>CALCOLO DELLA CURVA DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA</i> .....	28
7.3	<i>CURVE NUMBER</i> .....	30
8	ANALISI IDRAULICA-IDROLOGICA .....	31
8.1	<i>FILL SINKS</i> .....	33
8.2	<i>CATCHMENT AREA</i> .....	36
8.3	<i>CHANNEL NETWORK</i> .....	40
8.4	<i>WATERSHEAD BASINS</i> .....	44
9	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	48
9.1	<i>ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE</i> .....	48
9.2	<i>SEQUENZA STRATIGRAFICA LOCALE</i> .....	52
9.3	<i>SISMICITÀ</i> .....	55
9.4	<i>CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE</i> .....	57
10	CAMPAGNA INDAGINI .....	62

11	MODELLAZIONE SISMICA .....	64
<b>11.1</b>	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA.....</b>	<b>64</b>
11.1.1	<i>Stati limite e relative probabilità di superamento.....</i>	65
11.1.2	<i>Periodo di riferimento dell'azione sismica, vita nominale e classi d'uso.....</i>	66
11.1.3	<i>Categorie di sottosuolo .....</i>	67
11.1.4	<i>Condizioni topografiche .....</i>	68
11.1.5	<i>Valutazione dell'azione sismica.....</i>	68
11.1.6	<i>Spettro di risposta delle componenti orizzontali.....</i>	69
<b>11.2</b>	<b>DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI.....</b>	<b>69</b>
11.2.1	<i>Calcolo del <math>V_{seq}</math> e individuazione della categoria di sottosuolo.....</i>	70
11.2.2	<i>Calcolo e individuazione della categoria topografica .....</i>	75
11.2.3	<i>Parametri sismici e spettri di risposta elastica in accelerazione .....</i>	78
12	CARATTERISTICHE E PARAMETRI GEOTECNICI DEL SITO DI FONDAZIONE .....	88
<b>12.1</b>	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DP).....</b>	<b>88</b>
12.1.1	<i>Correlazioni con <math>N_{stp}</math> .....</i>	90
12.1.2	<i>Valutazione resistenza dinamica alla punta <math>R_{pd}</math> .....</i>	90
<b>12.2</b>	<b>CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE.....</b>	<b>97</b>
12.2.1	<i>Litostratigrafia e parametri geotecnici dalle indagini MASW.....</i>	97
12.2.2	<i>Litostratigrafia e parametri geotecnici dalle indagini DP .....</i>	100
13	CONCLUSIONI .....	106
	BIBLIOGRAFIA .....	109

## **1 PREMESSA**

La scrivente Geomeridia S.T.P a r. l., su incarico dalla Società Solaria - Promozione Sviluppo Fotovoltaico S.r.l., ha redatto la seguente relazione geologica a supporto del progetto di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nei territori comunali di Bolognetta e Villafrati (PA).

Il presente lavoro è rivolto a fornire una descrizione delle proprietà geologiche-strutturali, geomorfologiche, sismiche e geotecniche dell'area d'interesse e del suo intorno. Lo studio è stato condotto attraverso un rilievo geologico di superficie, una campagna d'indagini sismiche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), necessarie per il calcolo della pericolosità sismica del sito nonché per la definizione geomeccanica del sottosuolo, e di prove penetrometriche dinamiche continue (DP) per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo.

## **2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area di studio, il cui baricentro presenta le seguenti coordinate Lat. 37° 58,46' N e Long. 15°29,87 E (WGS 84 / UTM zone 33N), è ubicata ad est dal centro abitato di Bolognetta (PA), e nel punto più vicino dista circa 3km (Fig. 1).

Da un punto vista cartografico, rientra nella Tavoletta F° 259 IV N.O., denominata "Ventimiglia di Sicilia", edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.), a scala 1:25000 (Fig.1), e nelle sezioni 638020, 608030, 608060 e 608070 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R), a scala 1:10000 (utilizzata come base topografica per la redazione delle Tavole allegate). L'altimetria dell'area di studio è compresa tra 290 e 500 m s.l.m.



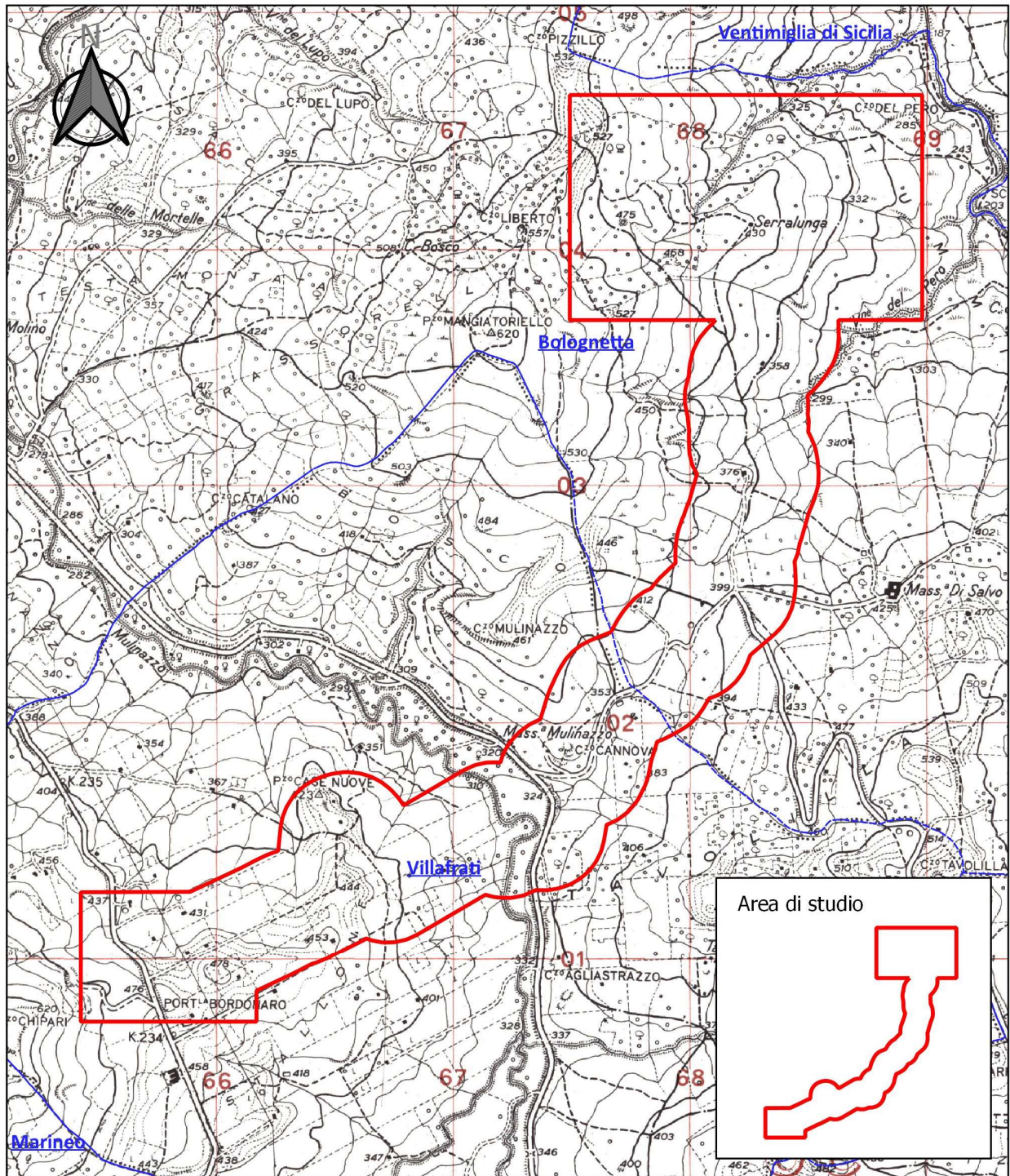


Figura 1 – Inquadramento dell’area di studio nella Tavoletta F° 259 IV N.O., denominata “Ventimiglia di Sicilia”, edita dall’Istituto Geografico Militare (I.G.M.), a scala 1:25000.



Al fine di ottimizzare l'interpretazione e la comprensione del seguente lavoro, l'area di studio viene suddivisa in 4 sub-aree (Fig.2):

- ✓ **Area 1** - Impianto agrovoltaico;
- ✓ **Area 2** - Dorsali di collegamento a 30 kV;
- ✓ **Area 3** - Stazione elettrica di utenza;
- ✓ **Area 4** - Cavidotto di collegamento a 150 kV.

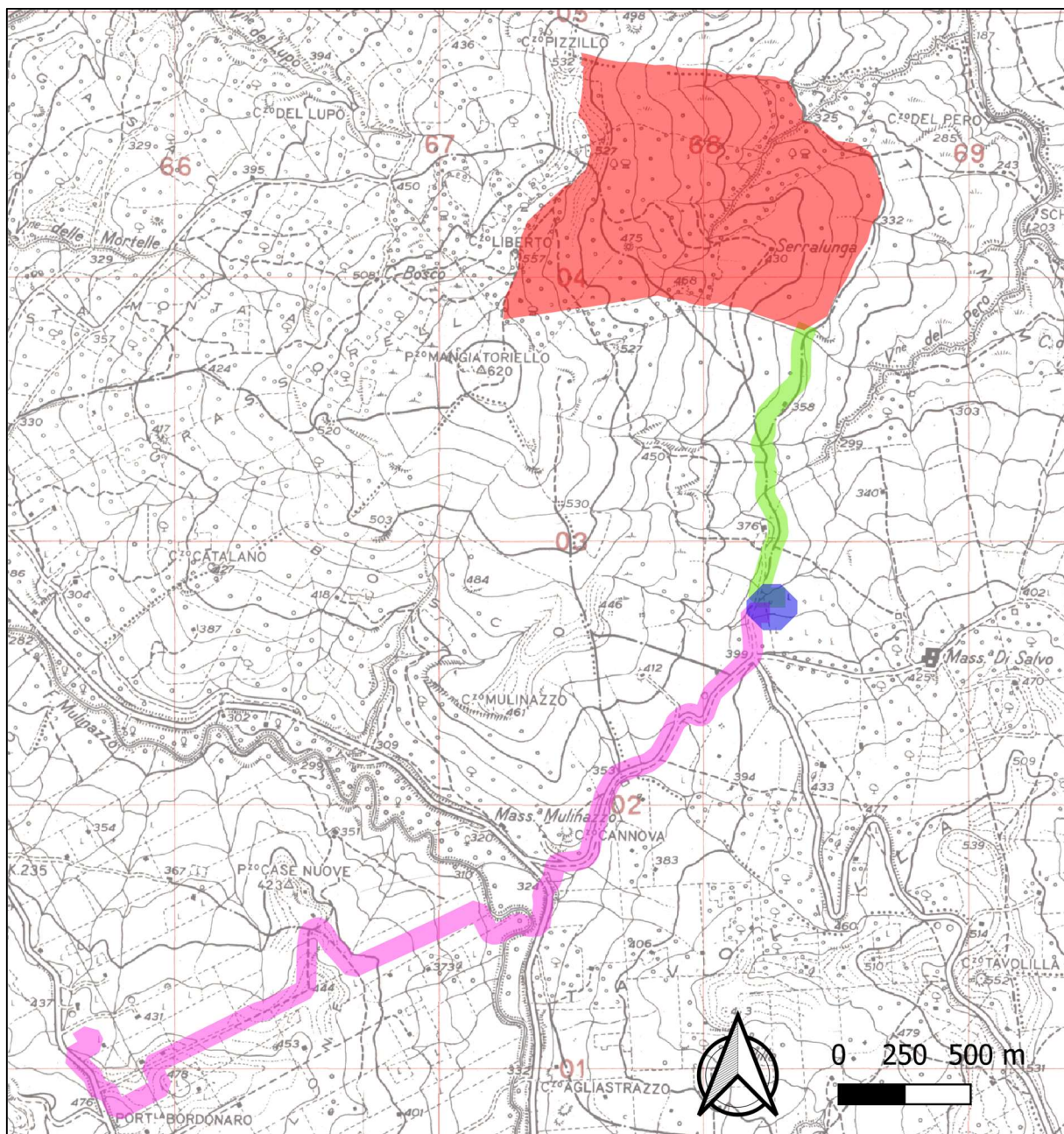


Figura 2 – Inquadramento delle 4 sub-aree (Area 1 in rosso; Area 2 in verde, Area 3 in blu e Area 4 in magenta).

### **3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO**

Il progetto prevede l'installazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza totale pari a 28.469,30 kWp, costituito da n°51.296 pannelli fotovoltaici monocristallini, collocati su una struttura fissa, di potenza pari a 555 Wp, con i relativi accessori costituiti principalmente da n°8 inverter, n°105 cassette di stringa, n°8 cabine di trasformazione e una cabina di consegna in MT interna al campo.

Il progetto prevede il mantenimento dello sfruttamento agricolo tra le strutture di sostegno che sarà reso possibile mantenendo una distanza di interfile tra le strutture sufficiente per proseguire l'attività agricola.

Al fine di mitigare gli impatti è stata prevista l'installazione di una fascia arborea lungo il perimetro dell'impianto, il mantenimento di una distanza minima di sicurezza tra le strutture dell'impianto fotovoltaico e le strade confinanti con il sito, la realizzazione di una fascia tagliafuoco ed il mantenimento di una distanza tra le strutture di circa 6,60 m, sufficiente per consentire il transito dei mezzi agricoli per la coltivazione tra le interfile, minimizzando il rischio di ombreggiamento dei moduli tra di loro.

È previsto inoltre la realizzazione di un edificio adibito a magazzino e di un edificio adibito a locale tecnico e sala di controllo.

Dal punto di vista elettrico più moduli fotovoltaici vengono collegati in serie a formare una stringa e più stringhe vengono collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC "string box". L'energia prodotta è convogliata attraverso cavi CC dalle string box ad un gruppo di conversione (dette Power Station), in cui viene realizzata l'elevazione di tensione. A questo punto l'energia elettrica sarà raccolta tramite cavi in MT a 30 kV e trasferita alla sottostazione di trasformazione 150/30 kV (di proprietà del proponente) e successivamente consegnata alla RTN a 150 kV.

La rete di distribuzione elettrica in MT sarà costituita da cavi da 30kV posizionati in cavidotti interrati che collegano le unità di conversione Power Station alla cabina di consegna MT.

È prevista altresì la realizzazione di una rete telematica interna di monitoraggio per il controllo dell'impianto fotovoltaico e la trasmissione dati via modem o via satellite e una rete elettrica interna in bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale (controllo, sicurezza, illuminazione, TVCC, forza motrice, etc.), oltre la rete elettrica in bassa tensione per la connessione degli inverter di stringa alle Power station.

Le opere civili di servizi sono costituite principalmente da fondazioni e/o basamenti per le cabine/power station, edifici prefabbricati e in opera, opere di viabilità, posa cavi, recinzione, etc.

Come già detto nel capitolo precedente, ai fini dello studio geologico tecnico di dettaglio, l'area di progetto è stata suddivisa in quattro sub-aree così distinte:

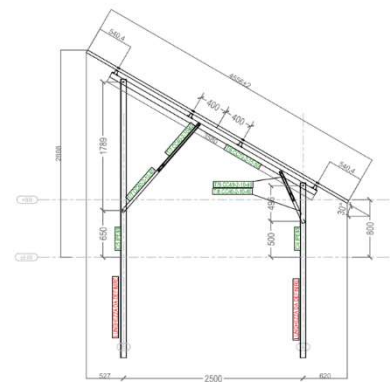
- ✓ **Area 1** – *Impianto agrovoltaico*, con strutture fisse, con una potenza installata di 28,469 MWp, ossia 25,00 MWac in immissione come da STMG, ubicato in un terreno agricolo nel comune di Bolognetta (PA);
- ✓ **Area 2** – *Dorsali di collegamento interrato*, in media tensione a 30 kV, per la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto alla stazione elettrica di utenza che avrà un'estensione di 1,2 km;
- ✓ **Area 3** – *Stazione elettrica di utenza 150/30 kV*, da realizzarsi nel Comune di Bolognetta (PA).
- ✓ **Area 4** – *Cavidotto AT a 150 kV di collegamento in antenna* tra la stazione elettrica di utenza e la stazione elettrica di Smistamento "Villafrati" avente una lunghezza di 4400 m

L'**Area 1** è destinata all'installazione dei pannelli fotovoltaici posizionati su strutture metalliche di sostegno di tipo fisso, disposte in direzione Est-Ovest su file parallele ed opportunamente spaziate tra loro.

Le strutture di supporto sono costituite da:

- ✓ pali di fondazione in acciaio zincato a caldo, ancorati al terreno e immorsati con delle macchine battipalo, per cui non necessitano di nessuna fondazione;
- ✓ la struttura metallica fissa bipalo (fig. 3), su cui verranno montati i moduli, è realizzata con acciaio zincato a caldo su cui sono posizionate due file di moduli (n.28 moduli in totale).

Nella stessa area sono posizionate le cassette di stringa opportunamente raggruppate e protette da un idoneo involucro atto a garantire lunga durata e massima sicurezza.



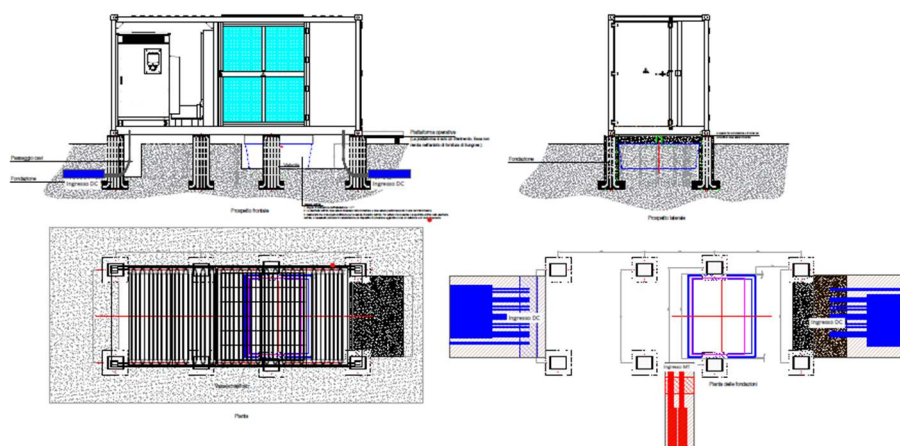


Figura 3- Esempio di struttura di sostegno bipalo (sopra); particolari costruttivi: power station (sinistra).

Nella zona sud est dell'impianto è stata prevista la realizzazione degli edifici destinati a magazzino e sala operativa e sala di controllo e quadri dotata di adeguati servizi igienici.

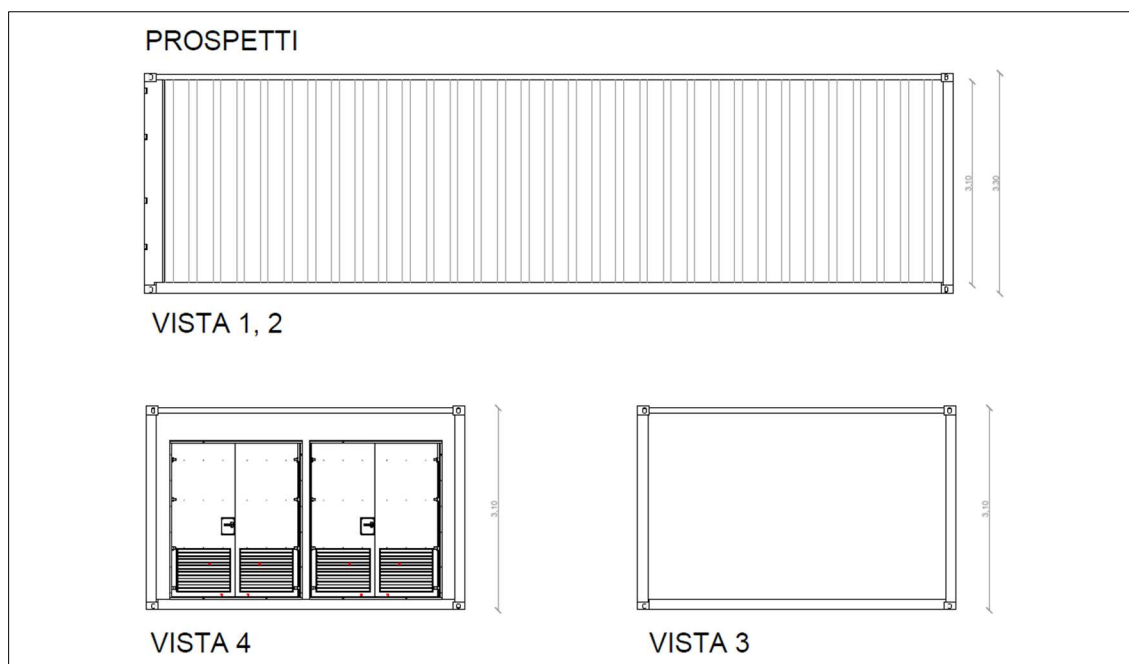


Figura 4a – Particolari costruttivi: cabina magazzino.



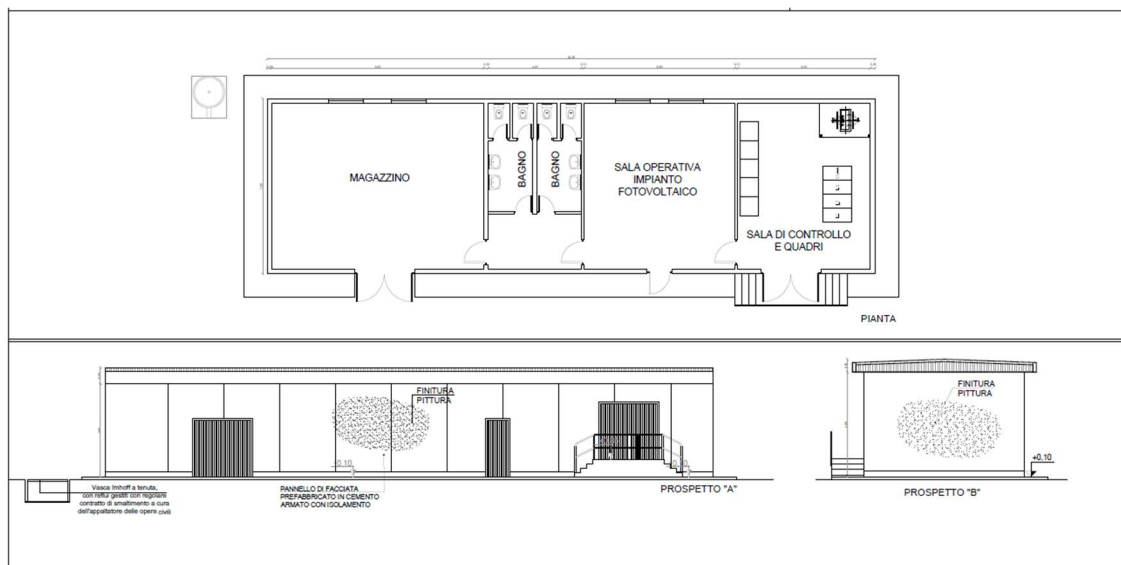


Figura 4b – Particolari costruttivi: sala controllo.

L'Area 1 interessa catastalmente le particelle n. 1-2-15-17-202 del Foglio di mappa n° 18 del NCT del Comune di Bolognetta (PA).

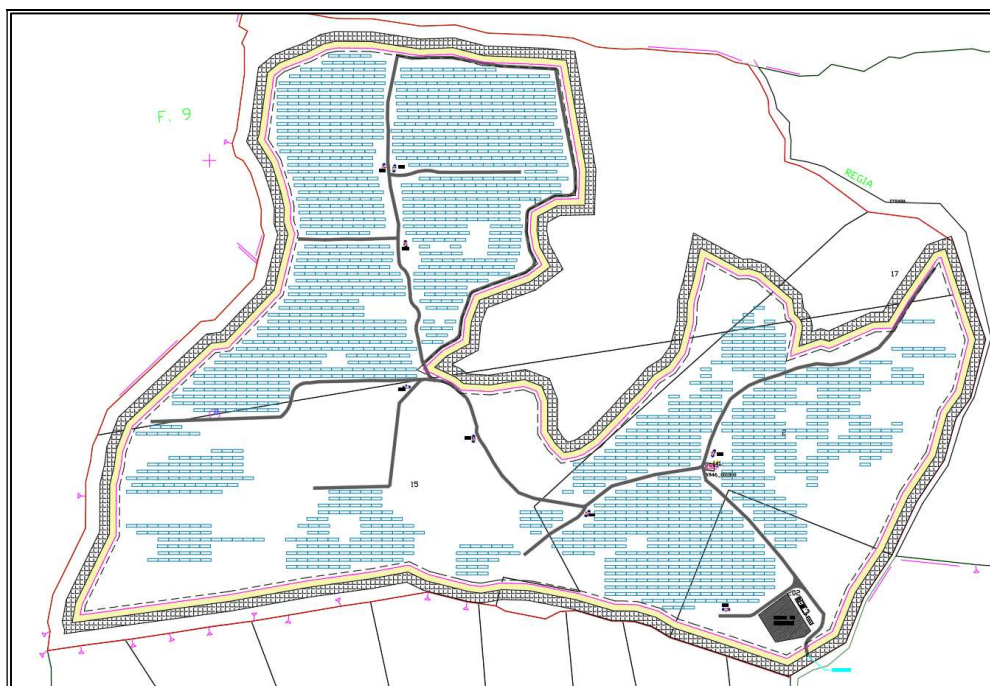


Figura 5a – Planimetria rappresentante l'impianto agrivoltaico.

L'Area 2 è destinata alla realizzazione della dorsale di collegamento in Media Tensione a 30 kV tra l'area d'impianto e la Stazione elettrica di utenza 150/30 kV; il cavidotto a MT si estende per circa 1,2 km.

Il sistema di interrimento dei cavidotti è illustrato in figura 5b in cui sono raffigurate le due tipologie: in sede stradale e in terreno vegetale; in figura 6c è rappresentata la sezione tipo di un attraversamento TOC.

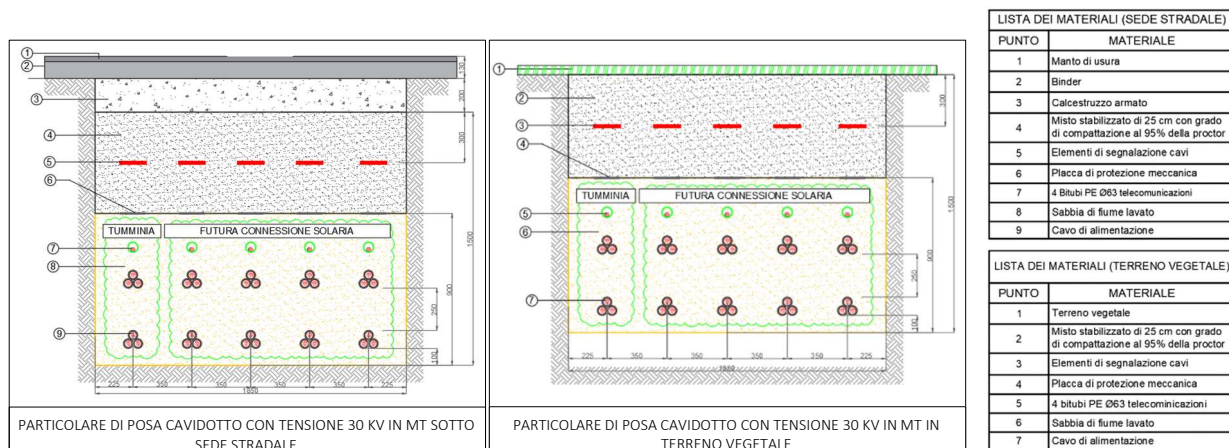


Figura 5b – Particolari dei sistemi di interrimento dei cavidotti con tensione 30 kV.

Nell'Area 3, ubicata nella particella n. 50 del Foglio di mappa n° 19 del NCT del Comune di Bolognetta (PA), è previsto il posizionamento della Sottostazione di Trasformazione 150/30 kV, di proprietà di Solaria Promozione e Sviluppo S.r.l. Tale stazione sarà a sua volta collegata mediante cavidotto interrato con la stazione elettrica di Smistamento "Villafrati" di proprietà di Terna S.p.A.

Nell'Area 4 è prevista la sistemazione per circa 4400 m di lunghezza del Cavidotto AT a 150 kV di collegamento in antenna tra la stazione elettrica di utenza e quella di Smistamento "Villafrati" di proprietà di Terna S.p.A (figura 6°). Il sistema di interrimento dei cavi nei cavidotti è illustrato nelle figure 6b e in cui sono raffigurate le due tipologie: sotto la sede stradale o in terreno vegetale; nella figura 6c viene rappresentata una sezione tipo in eventuale attraversamento TOC.

Figura 6a – Planimetria e sezione della stazione elettrica di Smistamento di proprietà di Terna S.p.A..



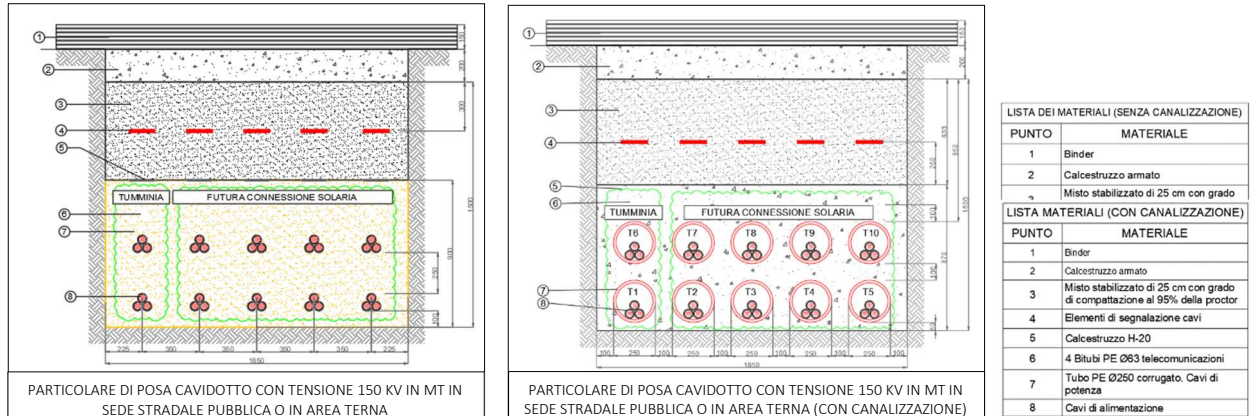


Figura 6b - Particolari dei sistemi di interrimento dei cavidotti con tensione 150 KV.

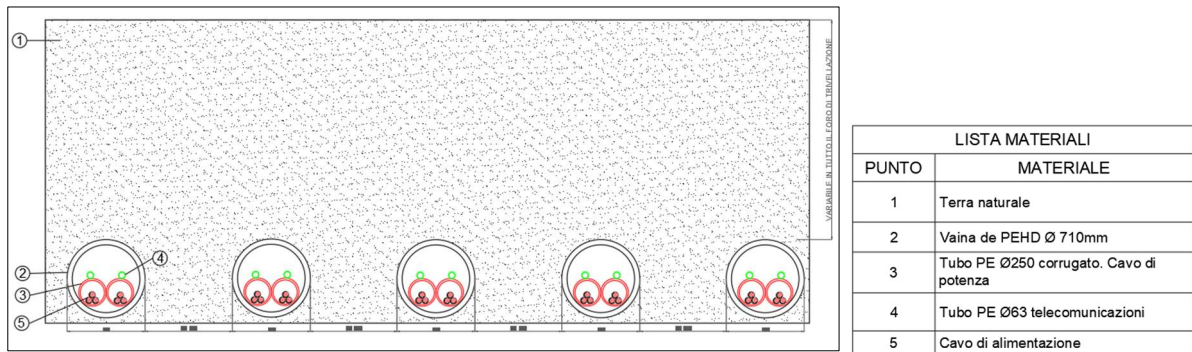


Figura 6c - Particolare del sistema di interrimento dei cavidotti in attraversamento TOC.

Per ulteriori approfondimenti riguardo gli aspetti tecnico-ingegneristici delle opere in progetto e dei sistemi di interrimento dei cavidotti si rimanda alle appropriate relazioni tecniche e agli elaborati ad esse allegati.



## 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROLOGICO

Da un punto di vista geomorfologico, le aree oggetto di studio evidenziano un carattere piuttosto irregolare e contraddistinto da varie forme morfologiche che sono strettamente legate sia agli agenti geodinamici attivi, sia alla natura dei litotipi presenti, dunque alla loro reazione agli agenti demolitori.

Perlopiù si individuano pendii dolci e mammellonati in corrispondenza di terreni argillosi e pendii più ripidi, talora a strapiombo, dove affiorano terreni più coerenti e a consistenza lapidea (Fig.7).

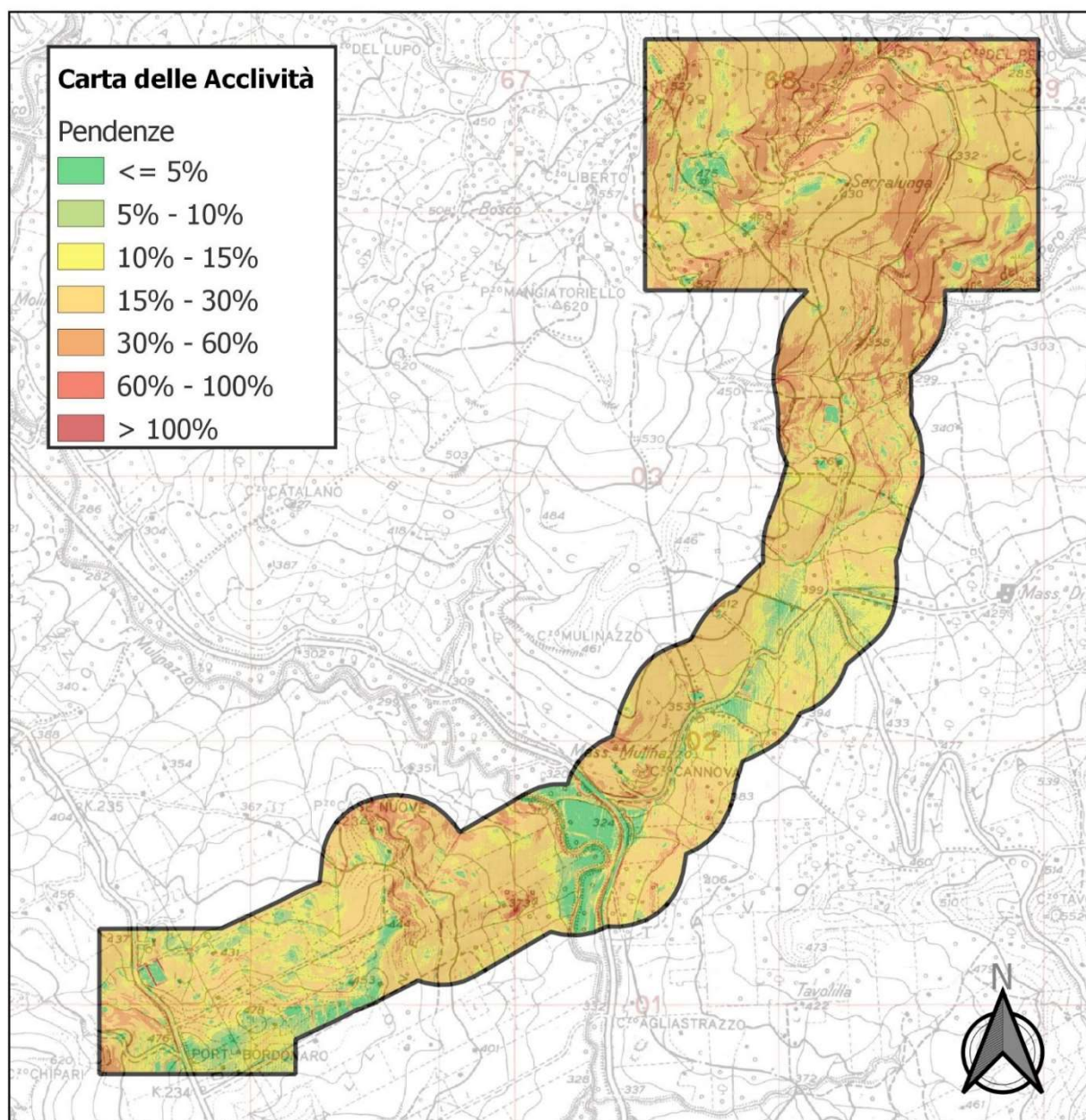


Figura 7 – Carta delle Acclività dell’area di studio in Scala 1:25000.

In corrispondenza dei litotipi lapidei, pertanto, si riscontrano cime caratterizzate da una certa altimetria e di un'elevata acclività. Tra le vette più significative, che inoltre definiscono lo spartiacque del bacino del fiume Milicia, se ne individuano diverse. Rispetto al baricentro dell'area di studio si dispongono come segue: a est Pizzo Trigna (m. 1.257) e Pizzo Cane (m. 1.006), a sud-est Monte Carrozza (m. 747); a sud Serra Capezzana (m. 688); a sud-ovest Cozzo Sant'Angelo (m. 686) e ad ovest Monte Dagariato (m. 438) e Cozzo Balatelle (m. 541). All'interno del bacino del Milicia, invece, spiccano le vette di Monte Corvo (m. 494), Cozzo Cavallo (m. 681), Pizzo Chiarastella (m. 658), Cozzo Chiarello (m. 612) e Cozzo Mangiatorello (m. 620). Quest'ultimo, localizzato nei pressi dell'area oggetto di studio, si trova adiacente al vallone Sercia, tributario del Fiume Milicia, che scorre verso nord, acquisendo le acque dal vallone del Pero che scorre a sud-est.

Un altro aspetto legato alla geomorfologia della zona è l'attività tettonica, causa della formazione di rilievi giovani ed in avanzato stato di evoluzione. Ciò ha innescato fenomeni gravitativi che in alcuni si sono stabilizzati ed in altri permangono attivi. All'interno di queste grosse masse dislocate, attive o stabili che siano, talora è possibile riscontrare segni successive rimobilizzazione di per mezzo di frane di colamento.

Uno degli agenti morfodinamici che primeggiano sul territorio è sicuramente l'acqua, sia per quanto riguarda la saturazione delle coltri superficiali caratterizzate da una discreta permeabilità (coltri eluvio-colluviali), sia per quanto riguarda i processi di ruscellamento ad opera delle acque selvagge, sia infine per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque.

Pertanto, si evince chiaramente che sono i processi fluviali e quelli di versante che hanno praticato e tuttora esercitano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area. Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico, dove affiorano argille, marne e peliti, risulta organizzato in maniera abbastanza indipendente da discontinuità iniziali e con una distribuzione articolata e di tipo dendritico. Ciò, dunque, è a sua volta anche indice della presenza di materiali fini omogenei poco permeabili (TAV. 4).

Le incisioni fluviali in ambiti di affioramento di rocce litoidi o coerenti sono, invece, generalmente correlabili alla presenza di lineamenti tettonici e talora mostrano una sezione trasversale a "V" piuttosto stretta e causata da fenomeni di erosione di fondo (Fig.8).



Figura 8 – Sezione trasversale a “V” piuttosto stretta e marcata, dovuta a fenomeni di erosione di fondo.

La modalità di scorrimento delle acque superficiali presenta caratteristiche differenziate e talvolta mutevoli, in relazione alla complessità del reticolo idrografico. Non è usuale, infatti, passare spazialmente e temporalmente da semplici linee di impluvio poco accennate a corsi d'acqua di una certa importanza (Fig.9).



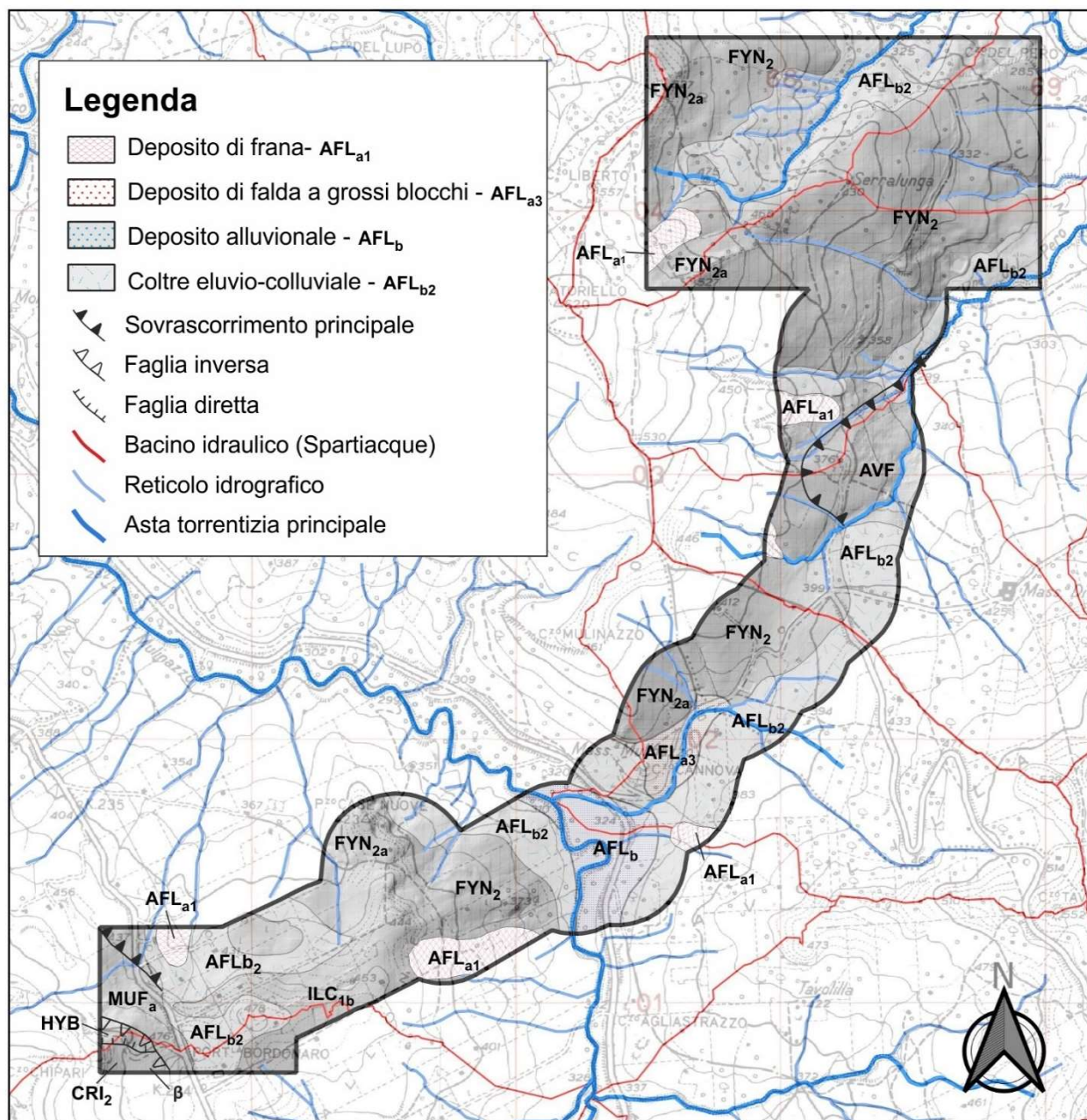


Figura 9 – Carta Geomorfologica e del Reticolo idrografico in Scala 1:25000

In corrispondenza delle valli, l'evoluzione geomorfologica è legata al modellamento operato dalla dinamica fluviale, all'instaurarsi di enormi corpi di frana e all'interazione dei due processi.

La dinamica dei versanti, vista anche la natura dei terreni affioranti (pelitico e argillosa), è fortemente condizionata da processi erosivi e da movimenti di masse, che rappresentano il principale processo di modellamento e di denudazione dei versanti.

Sebbene, infatti, formazioni di natura argillosa caratterizzano i pendii a più debole acclività, la presenza di un fitto reticolato idrografico, i cui tratti di testata risultano quasi sempre ad elevata attività erosiva, fa sì che zone anche con modesta acclività presentino diffusi fenomeni di dissesto (Fig.10).



Figura 10 – Asta torrentizia in un'area a debole acclività.

Per quanto concerne la dinamica dei versanti, pertanto, bisogna distinguere i fenomeni di erosione accelerata e i movimenti franosi gravitativi.

I primi comprendono tutte quelle manifestazioni che determinano la disgregazione e la degradazione dei suoli nei livelli più superficiali. L'estrema diffusione di terreni argillosi favorisce i fenomeni erosivi, dove sicuramente prevalgono quelli connessi al ruscellamento diffuso, causa d'intensi processi di erosione ed il denudamento dei versanti. Si osservano frequentemente anche fenomeni di erosione a rivoli e solchi, evidenziati dalla presenza di insiemi ravvicinati ad andamento sinuoso. Si rinvencono, infine, zone soggette ad erosione incanalata dove i processi di degradazione del suolo sono determinati prevalentemente dall'azione erosiva delle acque confinate nel reticolo idrografico (Fig.11).

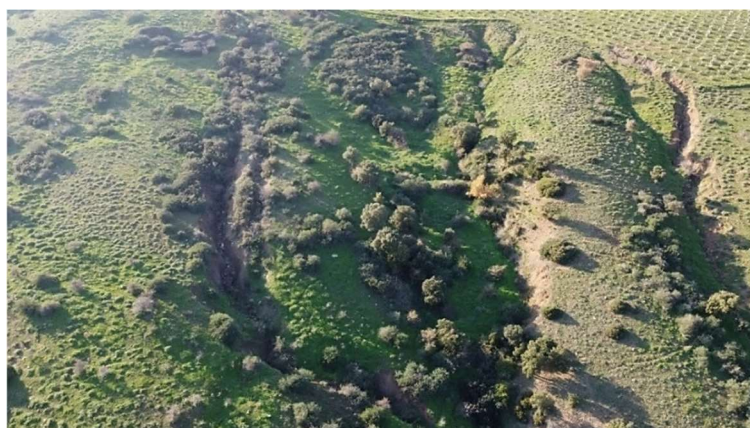


Figura 11 – Insieme ravvicinato di solchi e rivoli; fenomeni erosivi in atto.

Ovviamente, questi processi erosivi interessano buona parte dell'intero territorio studiato, seppure con intensità variabile, per la natura dei litotipi affioranti, ma bisogna anche considerare i fattori meteorici che coinvolgono l'area e la loro intensità. Le precipitazioni di pioggia provocano il distacco continuo di particelle dal suolo che, trasportate a valle per effetto della circolazione idrica superficiale, contribuiscono ad aumentare la portata solida delle correnti fluviali con conseguenti fenomeni di sovralluvionamento nelle aste principali, riduzione delle sezioni di deflusso e, quindi, l'aumento del rischio di inondazione nei settori a valle; è chiaro che ciò è anche favorito dalla parsimoniosa e talvolta assenza di qualunque forma di manutenzione degli alvei.

Per quanto riguarda le forme di dissesto legate ai movimenti franosi gravitativi, si segnala che tramite dettagliati rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio e dall'analisi della cartografia allegata al P.A.I., sono state individuate alcune aree interessate da fenomeni di instabilità; queste masse dislocate generalmente si presentano di grosse dimensioni, sia arealmente che a livello volumetrico.

Ai fini del presente studio sono state analizzate anche le interferenze tra il territorio e le risultanze del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

#### **4.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CARTOGRAFIA PAI**

Recentemente, con Decreto del Segretario Generale della Regione Siciliana DSG n. 82/2020 del 03/04/2020 è stato adottato il progetto di aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino per il PAI del bacino idrografico del Fiume Milicia (035), in cui sono state apportate tutte le modifiche allo stato di dissesto, pericolosità e rischio geomorfologico del Comune di Bolognetta. Dall'analisi delle tabelle di valutazione dei dissesti che hanno subito modifiche emerge che la situazione locale dell'area di studio non è interessata dai summenzionati aggiornamenti.

Secondo quanto riportato nelle relazioni del P.A.I., all'interno del Bacino del Fiume Milicia e delle aree contigue si sono censiti complessivamente n° 421 dissesti di cui:

- ✓ n° 304 nel Bacino del Fiume Milicia;
- ✓ n° 65 nell'area territoriale compresa tra il Bacino del Fiume San Leonardo e quello del Fiume Milicia;
- ✓ n° 52 nell'area territoriale compresa tra il Bacino del Fiume Milicia e quello del Fiume Eleuterio.



In particolare, per quanto riguarda il Bacino del F. Milicia sono stati censiti n° 305 fenomeni franosi che interessano una superficie areale di circa 1.906 Ha. La tipologia di dissesto che si rinviene in maggior misura nel bacino è rappresentata dal colamento lento; seguono le frane complesse (n° 58) e i crolli (n° 51). Si rinvencono frequentemente anche dissesti legati ad erosione accelerata (n° 45) e le deformazioni superficiali lente (n° 39).

In termini di estensione areale, i valori più elevati sono correlabili alle frane complesse (circa 410 Ha) e dai colamenti lenti (circa 383 Ha); tuttavia, anche le aree a franosità diffusa ed i dissesti dovuti ad erosione accelerata, nonostante non siano numericamente molto presenti, ricoprono estensioni paragonabile (circa 319 circa. Ha ciascuna tipologia).

Per quanto riguarda lo stato di attività, la gran parte dei fenomeni franosi censiti è attiva (n° 241)<sup>1</sup>.

L'area di studio, che in buona parte costituisce il bacino di un tributario del Fiume Milicia, comprende un reticolo

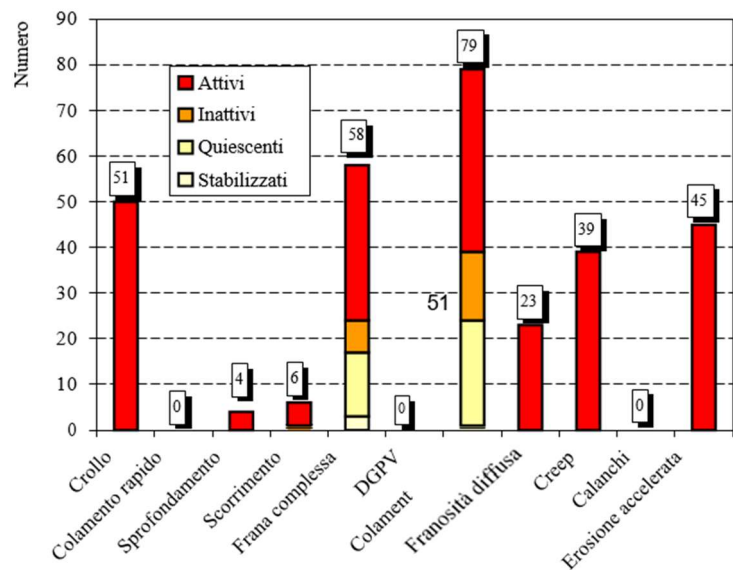


Figura 12 – Diagramma relativo al numero di dissesti rilevati all'interno del Bacino del Fiume Milicia.

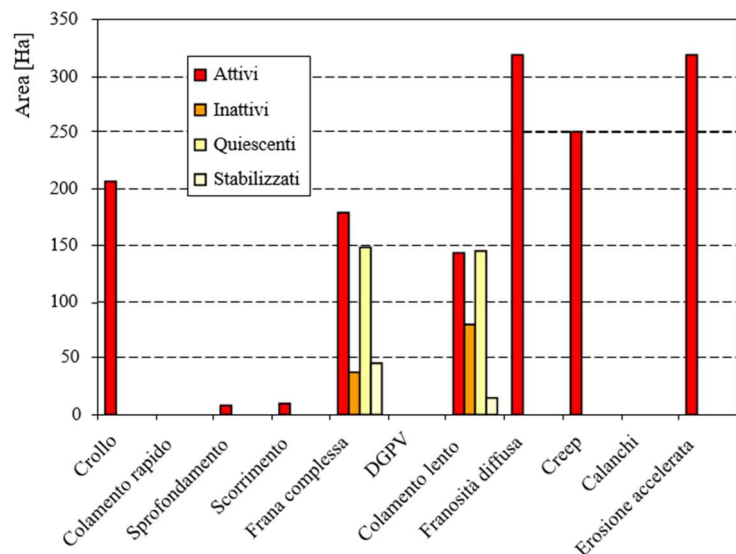


Figura 13 – Diagramma relativo all'estensione areale dei dissesti rilevati all'interno del Bacino del Fiume Milicia.

<sup>1</sup> PAI, 2015

idrografico che ha determinato dei dissesti rilevati nel PAI Sicilia che determina una pericolosità attiva di tipo P2, ovvero di media pericolosità, ma con rischio zero, come evidenziato negli stralci delle carte.

I dissesti rilevati nell'area di intervento ove è prevista la installazione dei pannelli fotovoltaici sono stati cartografati nella carta dei dissesti PAI come frana di colamento lento, la più estesa, identificata con la sigla 035-6BO-011 e come frana di deformazione superficiale lenta, identificata con la sigla 035-6BO-010 (Fig.14).

Va comunque sottolineato che l'istallazione delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici saranno posizionati con un buffer di sicurezza dai siti riconosciuti e censiti come dissesti o aree potenzialmente rischiose.

Altri dissesti si rinvencono a nord dell'area di interesse, in prossimità di Pizzo Puleo (471m) e al confine est dell'area di studio, lungo la riva destra del vallone Sercia.

Si riscontra inoltre una franosità diffusa nella parte NE dell'area di interesse, una franosità di colamento ad est lungo la riva destra del vallone Sercia e, oltre questa zona, sempre ad est si riscontra una frana definita complessa.

Nella figura 14 (sx) è riportato uno stralcio della carta della pericolosità e del rischio geomorfologico in cui emerge chiaramente come in corrispondenza dell'area di studio si rinvencono dissesti caratterizzati da pericolosità P1 e P2. Nella figura 8 (dx) è riportato lo stralcio della carta della pericolosità e del rischio idraulico dove appare evidente l'assenza di pericolosità idraulica in tutta la zona.

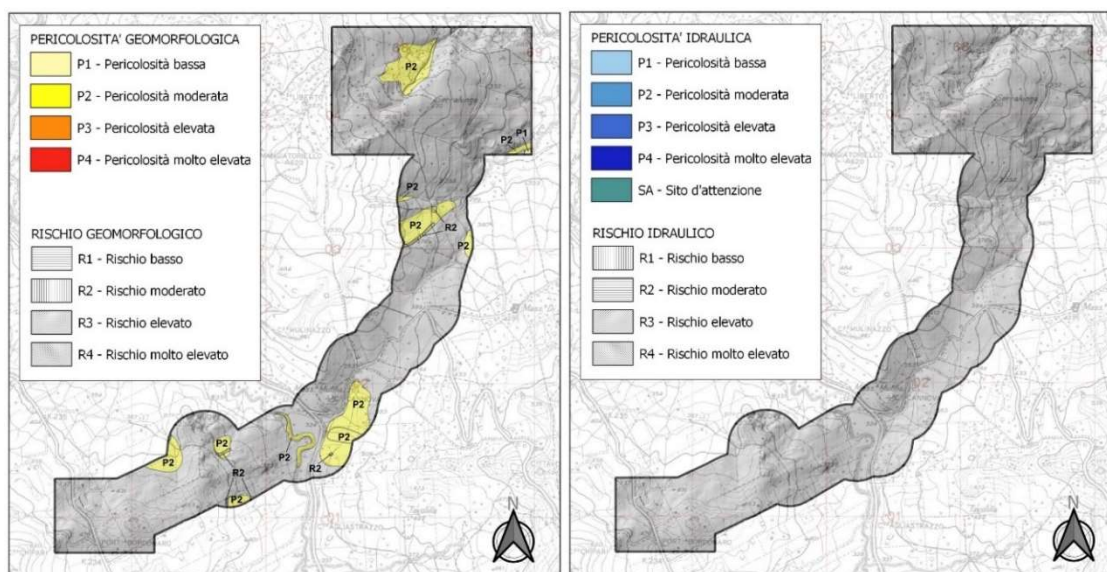


Figura 14 – Estratto della Carta della Pericolosità e del Rischio Geomorfológico (sx) e della Carta della Pericolosità e del Rischio Idraulico (dx).



## 5 CLIMATOLOGIA

Dall'analisi dei dati riscontrabili nella bibliografia tecnico-scientifica si evince che la Sicilia è caratterizzata da un clima di tipo mediterraneo, temperato caldo con una stagione estiva talora prolungata e un inverno mite. Le temperature medie invernali generalmente si attestano sopra ai 5 gradi centigradi, mentre le minime raramente scendono al di sotto di 0 gradi. La temperatura media annua si attesta intorno ai 16 gradi, in cui il mese più caldo risulta essere agosto e il più freddo gennaio. Queste temperature sono tipiche dell'ambiente collinare. Analizzando i diversi regimi termo-pluviometrici, si osserva che la temperatura media annuale varia tra gli 11°C di Floresta, ai 20°C di Gela, mentre, per quanto riguarda le precipitazioni totali annue, si evince che queste oscillano da un valore minimo medio annuo di 385 mm a Gela (CL) fino al valore massimo medio annuo di 1192 mm a Zafferana Etnea (CT). Tale differenza non è solamente correlabile alla diversa latitudine tra le due aree, all'altitudine o alla distanza del mare, ma è fortemente influenzata dalle caratteristiche morfologiche del territorio. Infatti, nell'area etnea, a parità di altitudine, è facile riscontrare notevoli variazioni in termini pluviometrici tra le aree poste sui versanti orientali del vulcano rispetto quelle dei versanti occidentali; ciò è dovuto principalmente all'Effetto Stau<sup>2</sup>.

La provincia di Palermo, che si estende per circa 5000 km<sup>2</sup>, è caratterizzata da una orografia prevalentemente collinare e montana (soprattutto nell'entroterra), con paesaggi molto differenziati tra loro, mentre le aree costiere sono perlopiù costituite da fasce pianeggianti molto strette che si collocano tra il mar Tirreno e le ultime propaggini collinari; talora queste fasce si espandono formando ampie aree di pianura che si inoltrano verso l'entroterra. Dall'analisi delle temperature medie annue, all'interno del territorio palermitano si distinguono 3 zone: aree costiere o immediatamente adiacenti con una temperatura media annua di 18-19 ° (stazioni di Isola delle Femmine, Partinico, S. Giuseppe Jato, Palermo, Monreale, Risalaimi e Cefalù; aree collinari interne in cui la temperatura media annua è di circa 15-16 °C (stazioni di Corleone, Ciminna, Fattoria Gioia, Ficuzza e Lercara Friddi); area delle Madonie, rappresentata dalla stazione di Petralia Sottana, dove la temperatura media annua è di 14°C.

Passando dalle zone di collinari-montane a quelle costiere, dai dati registrati si osserva che i valori medi delle temperature massime sono caratterizzati da una variabilità spaziale notevole durante i mesi invernali, mentre decisamente più ridotta durante quelli estivi.

---

<sup>2</sup> Patti et Al. 2021; Caccamo et al., 2017

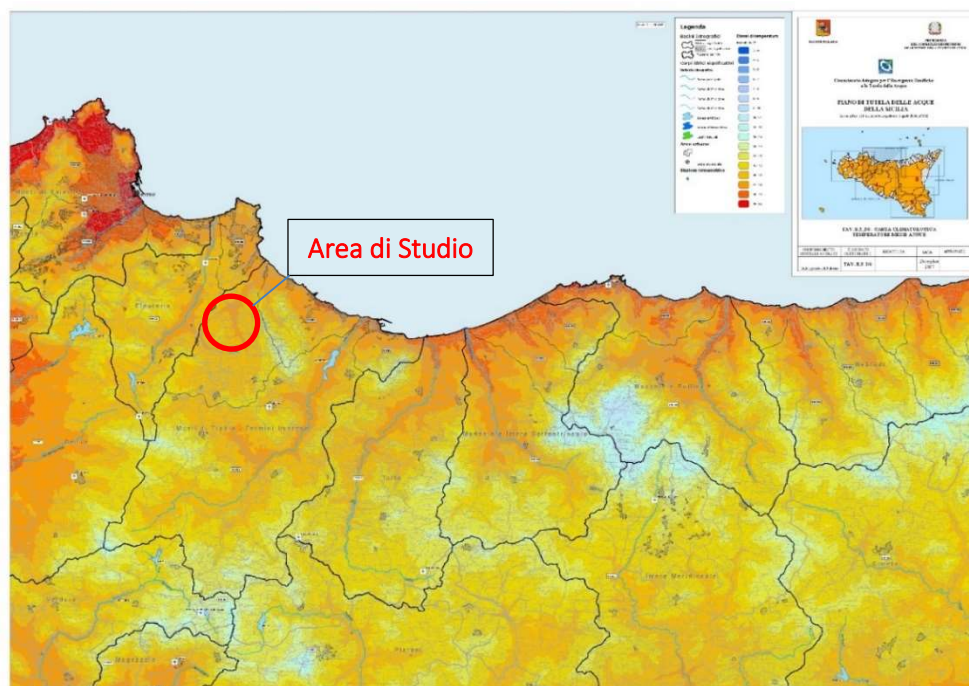


Figura 15 - Carta Termometrica della Sicilia Nord-occidentale  
([https://www.regione.sicilia.it/sites/default/files/2021-07/tav\\_e\\_5\\_2.jpg](https://www.regione.sicilia.it/sites/default/files/2021-07/tav_e_5_2.jpg))

In termini pluviometrici, la fascia costiera è caratterizzata da valori di circa 620 mm, con valori massimi nella zona ovest (circa 660 mm a Partinico) e valori minimi nella zona est (circa 600 mm a Cefalù). Nelle aree collinari interne si osservano valori di precipitazione variabili tra circa 582 mm nelle stazioni orientali (Cerda, Castronovo di S., Lercara F., etc.) e circa 685 mm in quelle occidentali (Corleone, Marineo, Prizzi, Roccamena, S. Giuseppe Jato, ecc.). Nell'area montuosa delle Madonie, i valori medi di pioggia si attestano intorno ai 710 mm. L'area dell'abitato di Palermo e dei territori di Monreale, Altofonte, Piana degli Albanesi, ecc., è caratterizzata, invece, da valori che si attestano intorno a 850 mm; pertanto, rappresenta la zona più piovosa della provincia. In definitiva, la piovosità media annua della provincia di Palermo è di circa 660 mm, leggermente superiore (+4%) rispetto quella media regionale (circa 630 mm).

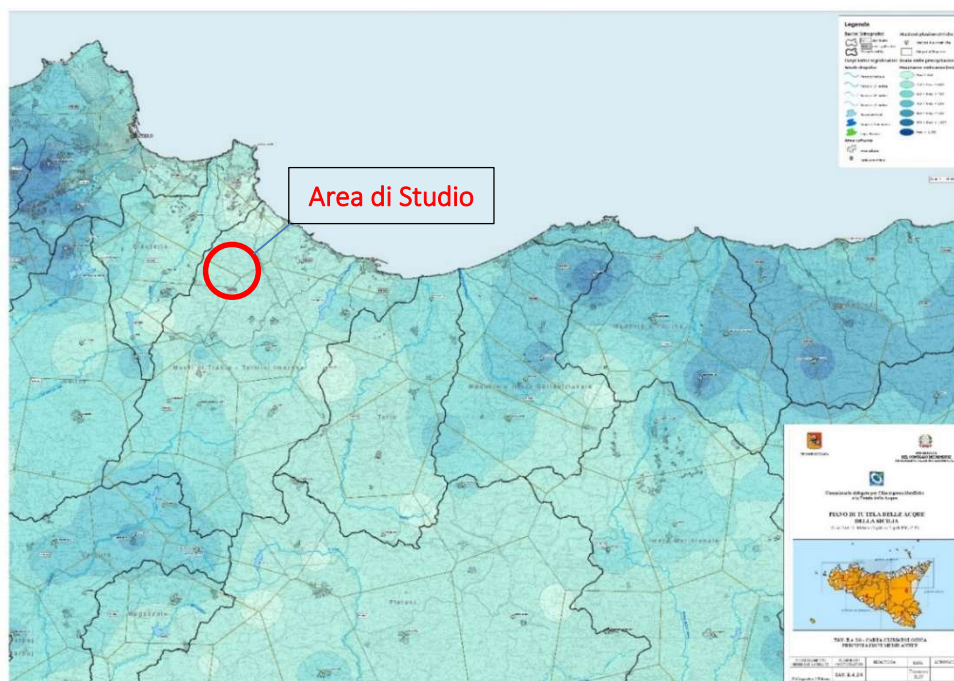


Figura 15a – Carta Pluviometrica della Sicilia Nord-occidentale

([https://www.regione.sicilia.it/sites/default/files/2021-07/tav\\_e\\_4\\_2.jpg](https://www.regione.sicilia.it/sites/default/files/2021-07/tav_e_4_2.jpg))

La distribuzione mensile delle precipitazioni nelle singole stazioni è tipica del regime pluviometrico mediterraneo, con elevata piovosità nei mesi autunnali e invernali e rilevante riduzione nei mesi primaverili, fino ad un quasi totale assenza in quelli estivi.

La piovosità mensile dei mesi invernali (gennaio, febbraio, marzo) è mediamente superiore nelle località interne e inferiore nelle località costiere; viceversa, nei mesi autunnali (dicembre, novembre e ottobre) è maggiore nelle località costiere a discapito delle aree interne.

## 6 BACINO DEL FIUME MILICIA

Il bacino idrografico del Fiume Milicia si colloca nel versante settentrionale della Sicilia. Compreso tra una quota di 0 e 1250 m s.l.m., è contraddistinto da una morfologia piuttosto irregolare.

Le aste fluviali di ordine minore sono caratterizzate da pendi molto acclivi e il reticolato idrografico che ne deriva è di tipo sub-dendritico<sup>3</sup>. Contrariamente ai precedenti, le aste di ordine maggiore che scorrono nei fondivalle sono caratterizzate da una geometria sinuosa, meandriforme, e con bassi gradienti di pendio. Il reticolato idrografico, discretamente sviluppato, contribuisce in maniera significativa alla genesi di fenomeni di dissesto idrogeologico, pertanto, all'interno di esso sono molto diffusi i fenomeni franosi generati dai processi erosivi e dal ruscellamento superficiale delle acque piovane. Proprio il ruscellamento superficiale è causa della formazione di rivoli, solchi e della denudazione dei versanti laddove affiorano litologie a frazione argillosa (Casteldaccia, Bolognetta e Villafrati).<sup>4</sup>

Il bacino mostra una morfologia caratterizzata da una discreta pendenza. I processi franosi nell'area sono molto diffusi, di natura complessa e talora di notevoli dimensioni; rinobilitandosi nel tempo, essi contribuiscono continuamente l'evoluzione geomorfologica dei versanti.

Il Fiume Milicia, Lungo 26,95 km, scorre con andamento meandriforme in direzione NNE-SSO; a causa della diramazione nei suoi due principali affluenti, Fiume Bagni e Vallone Buffa, esso assume una caratteristica configurazione ad "Y".

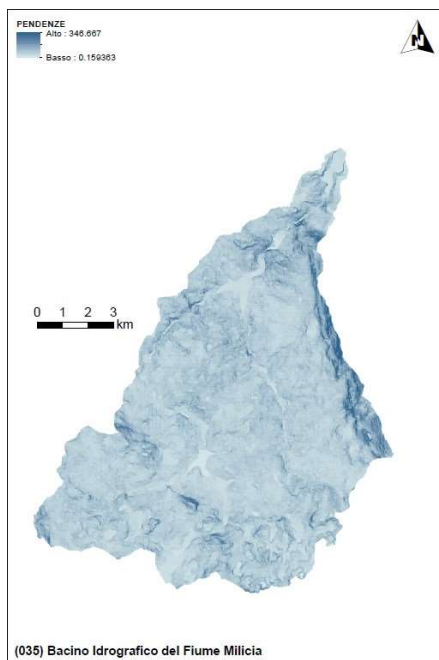
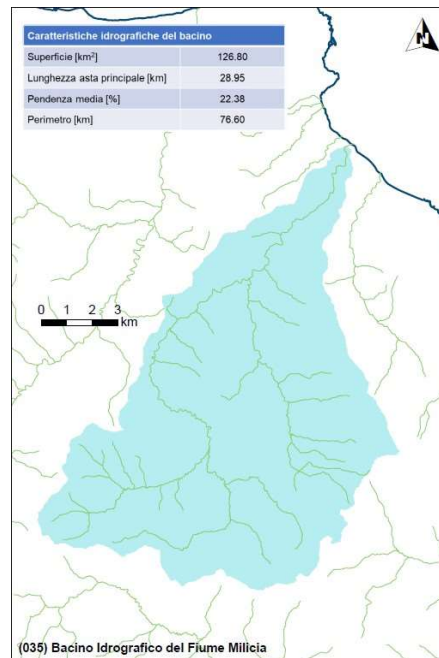


Figura 16 – Inquadramento del Bacino del Fiume Milicia (sopra); mappa delle pendenze relative al medesimo bacino.

<sup>3</sup> Freni, 2020

<sup>4</sup> PAI, 2015

## 7 STUDIO DELLA PIOVOSITÀ

Gli eventi piovosi stanno all'origine di tutti quei processi che portano alla formazione delle portate di piena all'interno dei bacini idrografici presenti nell'area di studio. Come ben noto dalla letteratura tecnico-scientifica, i fenomeni meteorologici legati ad eventi di precipitazioni sono particolarmente complessi e spesso non possono essere trattati come un processo deterministico. Pertanto, lo studio delle piogge si basa su metodologie di tipo statistico a partire dalle osservazioni pluviometriche storiche.

Nell'area del bacino del Fiume Milicia, la risposta in termini idrologica dei sottobacini spesso si esplica con tempi di corrivazione molto brevi. Alla luce di quanto detto, le precipitazioni di maggior rilevanza sono quelle caratterizzata da una elevata intensità in un tempo di breve durata.

Al fine di ricostruire eventi di piena, la maggior parte degli studi idrologici applicano metodi indiretti, ovvero metodi che stimano l'idrogramma di piena tramite un modello di trasformazione piogge-portate che prevede come input, la definizione di un determinato evento di pioggia. In altri termini, per stimare eventi di piena un determinato tempo di ritorno ( $Tr$ ) occorre ricostruire prima l'evento di pioggia di pari  $Tr$ , il ciò assumendo come veritiera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno  $Tr$  genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento.

### 7.1 METODO TCEV – REGIONE SICILIA

Nel caso specifico, per determinare le altezze di pioggia  $h$  e le relative intensità  $i$ , si fa riferimento al modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution), una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI (Valutazione delle Piene).

Regionalizzare le piogge permette di superare i limiti riscontrabili quando vi è una scarsa informazione pluviometrica, perlopiù dovuta da singole serie di durata limitata e poco attendibili, quindi non idonei per una soddisfacente elaborazione statistica. Pertanto, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni, si utilizzano solidalmente tutte le informazioni pluviometriche reperibili e disponibili su un determinato territorio. Il modello TCEV, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel, permette di trasporre, egregiamente, in termini statistici la dissimile origine dei termini idrologici individuati. La prima funzione, nota come componente base, assume valori non elevati ma frequenti; mentre la seconda funzione, nota come componente straordinaria, produce eventi più rari ma di maggior rilevanza, di solito legati ad una fenomenologia meteorologica differente. Pertanto, questo modello rappresenta la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni; si presta, dunque, all'interpretazione di variabili

fortemente asimmetriche, caratterizzati dalla presenza di valori anche molto elevati.

Pertanto, per determinare le curve di probabilità pluviometrica si farà riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sicilia<sup>5</sup> utilizzando un'apposita modellazione<sup>6</sup>. Il processo di regionalizzazione si articola su tre livelli.

#### Primo livello

In questo primo livello si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico ( $Gt$ ) delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata  $t$  sia costante per l'intera regione siciliana. Pertanto, si considera l'intera Sicilia come una zona pluviometrica omogenea (i valori dei parametri  $\Theta^*=2.24$  e  $\Lambda^*=0.71$  sono costanti ed indipendenti dalla durata  $t$ ).

#### Secondo livello

Il secondo livello di regionalizzazione mira ad individuare sottozone omogenee nelle quali risulti costante, sia il coefficiente di asimmetria, sia il coefficiente di variazione della legge teorica. In termini pratici, in questo secondo livello la Sicilia viene suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: **Z0-Z5**, **Z1**, **Z2**, **Z3**, **Z4**, dove ad ognuna di esse vi è conferito un valore costante di  $\Lambda_1$ , cioè il parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base, indipendente dalla durata  $t$ .

Parametro	Sottozona	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$\Lambda_1$		24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402



Figura 17 - Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007)

<sup>5</sup> Cannarozzo et al., 1995

<sup>6</sup> Conti et al., 2007



Visti i valori pressoché identici del parametro  $\Lambda 1$ , le sottozone **Z0** e **Z5** vengono considerate come un'unica sottozona.

In ogni singola sottozona la variabile adimensionale  $ht, T' = ht/\mu$  (valore dell'altezza di pioggia di fissata durata  $t$  e tempo di ritorno  $Tr$  rapportata alla media  $\mu$  della legge TCEV) assume la seguente espressione:

$$h't, Tr = KTr = a * \ln(T) + b$$

dove i coefficienti **a** e **b** sono stati tarati in funzione della particolare sottozona.

Il parametro **KT** (fattore di crescita) denota la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze; questo parametro, indipendente dalla durata della precipitazione, è funzione della collocazione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia, tramite i coefficienti **a** e **b**, e dal tempo di ritorno **T** dell'evento meteorico.

Tabella 1. Valore dei parametri **a** e **b** per ogni sottozona regionale, ai fini della definizione di **KT**.

	Sottozona	Z0-Z5	Z1	Z2	Z3	Z4
Parametro						
<b>a</b>		0,4485	0,4695	0,4799	0,5011	0,4946
<b>b</b>		0,5117	0,4889	0,4776	0,4545	0,4616

### Terzo livello

Quest'ultimo livello di regionalizzazione mira a ricercare le relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità  $\mu$  e le grandezze, prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico), relative al sito di misura.

Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$ht, T = KT \mu(t)$$

dove:

$ht, T$  è l'altezza di pioggia di assegnata durata  $t$  e fissato tempo di ritorno **T**.

Per le stazioni pluviografiche della Sicilia la media teorica  $\mu$  risulta essere coincidente con quella campionaria. Per ciascuna stazione con almeno 10 anni di attività è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata  $t$ :

$$\mu(t) = a t^n$$

dove i valori dei coefficienti **a** ed **n** sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura, tali coefficienti vengono stimati sulla base della carta delle **iso-a** ed **iso-n**<sup>7</sup>.

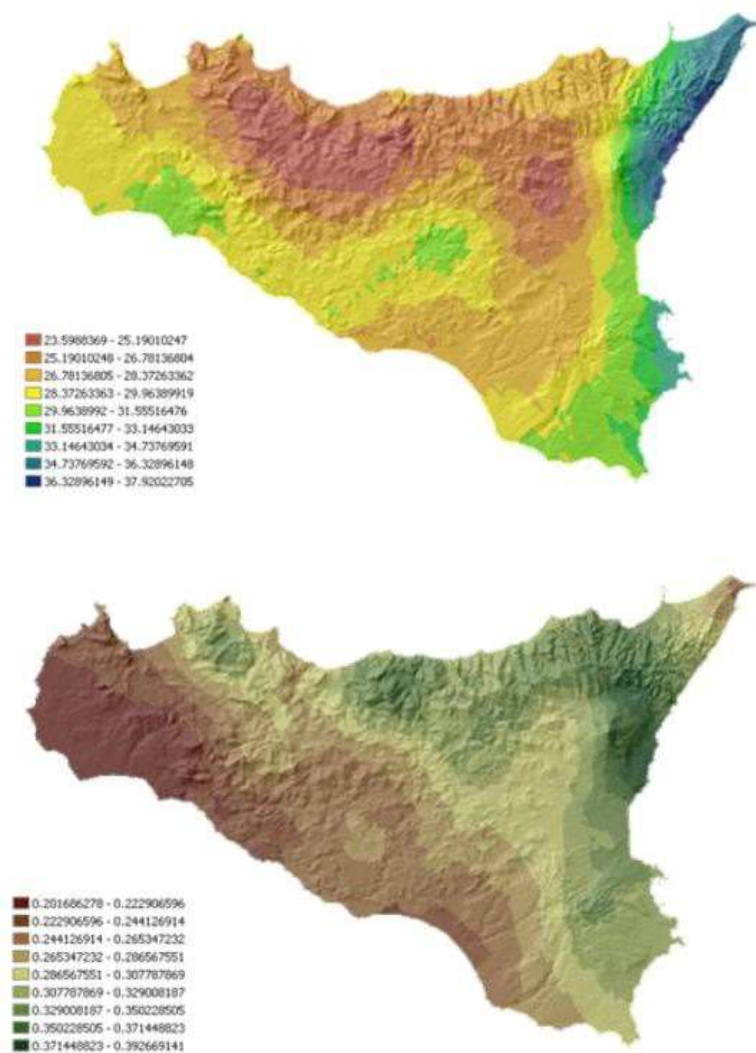


Figura 18. Valori del coefficiente n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

L'area di progetto ricade interamente nella sottozona pluviometrica **Z0-Z5**, dalla quale si individuano i valori dei coefficienti **a** e **b** utili al calcolo del fattore di crescita **KT**, per cui:

$$KT = 0,4485 \cdot \ln(50) + 0,5117 \quad KT = 2,27$$

<sup>7</sup> Cannarozzo et al, 1995



## 7.2 CALCOLO DELLA CURVA DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

A partire dalle CPP per tre tempi di ritorno (Tr50, Tr100 e Tr300, in linea con le indicazioni nel D.L. 180/98 e nella Circolare n.1/2003 dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente del 07.03.2003) la ricostruzione degli ietogrammi sintetici è stata effettuata partendo dalle serie storiche di pioggia registrate nelle stazioni pluviografiche ricadenti nel bacino e nelle aree circostanti. Lo ietogramma utilizzato è del tipo "Chicago" e, in particolare, si è supposto uno ietogramma centrato ad una durata critica di 6 ore.

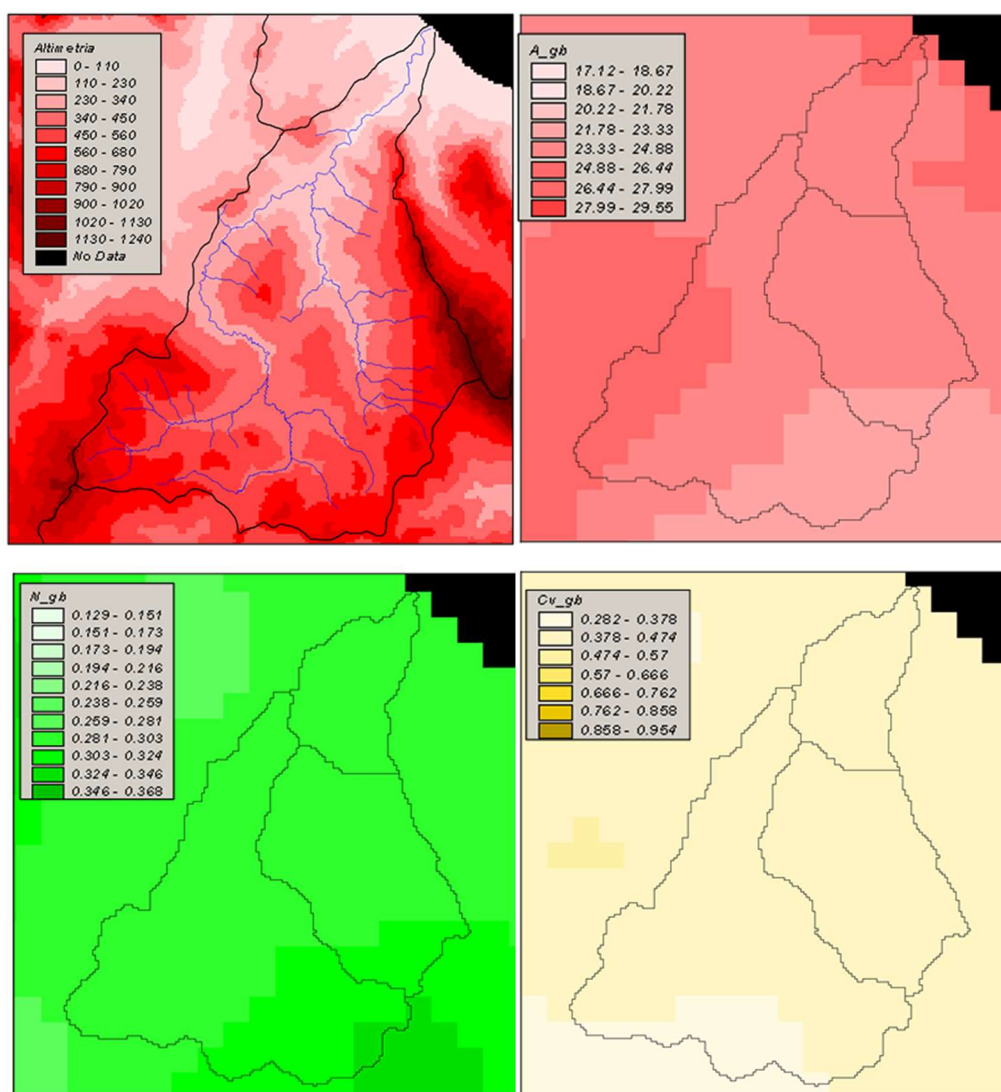


Figura 19. Bacino Fiume Milicia. Altimetria (in alto a sx); valore A (in alto a dx); valore N (in basso a sx); valore Cv (in basso a dx) (da Monografia Fiume Milicia, PAI)

Parametro	Valori medi relativi al bacino Fiume Milicia
a	24,18
n	0,3
CV	0,40

Parametro	Range di valori relativi all'area di progetto	Valori Medi
a	23,33 - 24,88	24,11
n	0,281 - 0,303	0,29
CV	0,378 - 0,474	0,43

Viene dunque calcolata la curva di probabilità pluviometrica per piogge di durata di 1,3,6,12 e 24 ore:

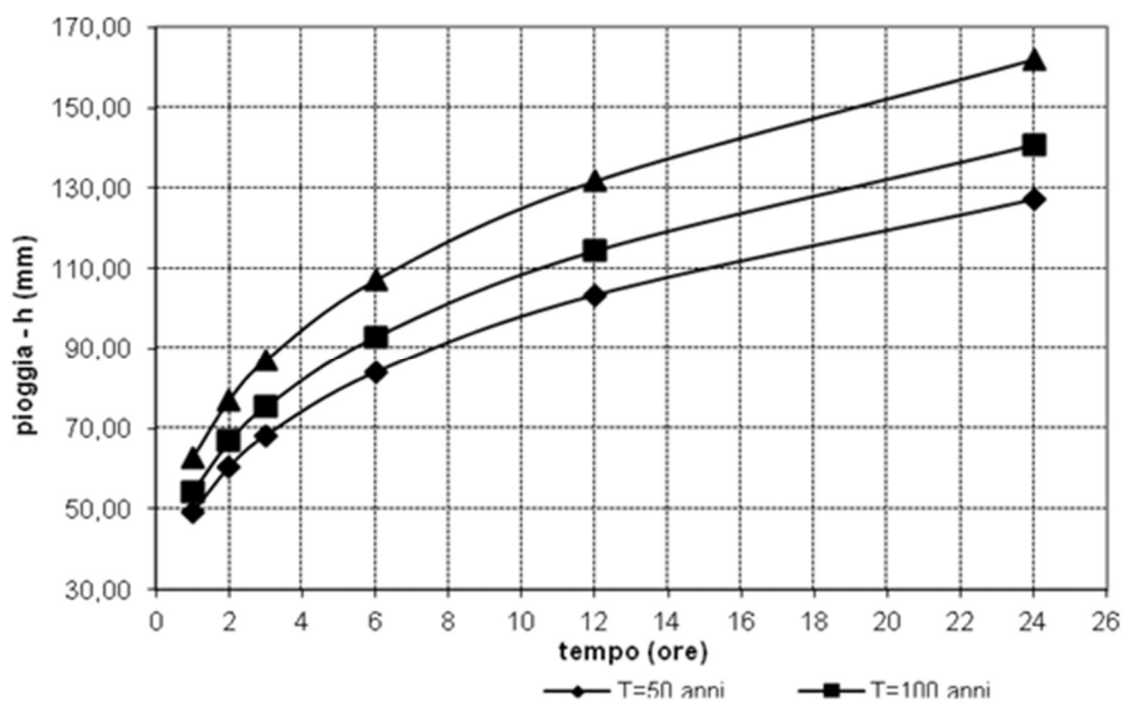


Figura 20 -. Curva di Probabilità Pluviometrica relativa il Bacino del Fiume Milicia.

$$ht, T/h60, T = (t/60)^{0,386}$$

### 7.3 CURVE NUMBER

Negli studi del PAI relativi al bacino del Fiume Milicia vi è riportata la mappa di distribuzione dei valori di Curve Number (CN), il quale è un parametro ottenuto dal calcolo matriciale tra le mappe di uso del suolo e quelle relative alla permeabilità dei substrati. Pertanto, il CN è funzione della tipologia di uso-copertura del suolo, della classificazione geo-pedologica del suolo e delle condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico.

Per la determinazione del CN si individuano quattro classi di suolo in base alla capacità di permeabilità decrescente (tipi idrologici A-B-C-D). A partire dalle tabelle predisposte dall'USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE) per ciascuna tipologia di uso del suolo vengono determinate le condizioni di umidità del suolo. Il parametro CN è un numero adimensionale e varia tra un minimo di 0, suoli ad elevata permeabilità, e 100, suoli impermeabili.

Come si evince dalla mappa e dalla tabella a seguire, l'area del Bacino del Fiume Milicia è caratterizzata dalla presenza di CN medio-elevati ed elevati; quindi, caratterizzati da suoli poco permeabili e impermeabili.

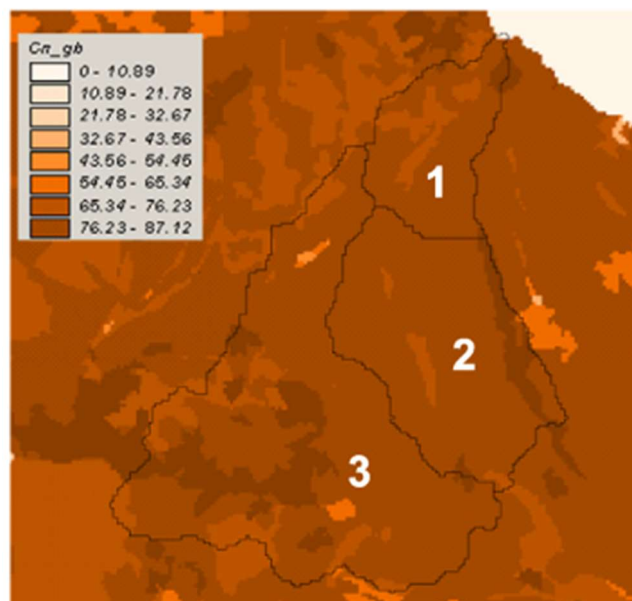


Figura 21 -. Bacino Fiume Milicia: Mappa di distribuzione del Curve Number.

N. Sottobacino	Area (km <sup>2</sup> )	CN
1	17,85	79,3907
2	37,50	81,7186
3	72,01	80,6501

## 8 ANALISI IDRAULICA-IDROLOGICA

Gli strumenti di analisi idrologica sono risorse importanti e vengono utilizzati in una varietà di programmi per definire come l'area geografica di un'area interagisce con l'acqua. L'analisi idrologica può aiutare i ricercatori e il personale di emergenza a identificare la fonte e il percorso delle acque sotterranee, delineare i bacini idrografici e identificare le comunità soggette a condizioni di inondazione. È possibile utilizzare una varietà di programmi per eseguire analisi idrologiche, tra cui ARCGIS, QGIS e SAGA GIS.

La rappresentazione numerica del rilievo della superficie terrestre è oggi una parte integrante degli studi in geografia, geologia, geomorfologia, zonazione del rischio idrogeologico, geofisica, ecc. In ambito scientifico, a partire dagli anni '60, si inizia a diffondere diffusamente l'uso dei DEM (Digital Elevation Model) e oggi si assiste ad una sempre maggior standardizzazione nell'uso; infatti, molti software GIS (Geographic information system) commerciali e specialistici incorporano funzioni per interpolare e estrarre informazioni dai DEM.

Il DEM è quindi stato una delle prime forme di informazione digitale geografica a essere disponibile; da allora l'utilizzo è sempre più diffuso e si assiste ad un utilizzo sempre più massiccio di modelli di "superficie", che fungono da base nella visualizzazione 3D (computer grafica). I DEM rappresentano infatti un fenomeno tangibile, direttamente osservabile, di cui tutte le persone hanno un'esperienza diretta: la superficie della terra.

Nel termine più generale il DEM è un set di misure che registrano l'elevazione della superficie della terra e che contengono anche l'informazione delle relazioni spaziali tra queste misure; il che implica che le quote siano calcolabili in ogni punto dell'area in esame.

In particolare, possiamo avere:

- ✓ **DSM (Digital surface model):** descrive la superficie terrestre inclusi gli oggetti posti su di essa, (vegetazione, edifici, etc.); •
- ✓ **DEM (Digital elevation model):** descrive l'altimetria della superficie terrestre; normalmente si riferisce al geoide •
- ✓ **DTM (Digital terrain model):** usato a volte come sinonimo di DEM, più correttamente da usare quando ci si riferisce anche ad informazioni sugli attributi del terreno e non solo alla quota.

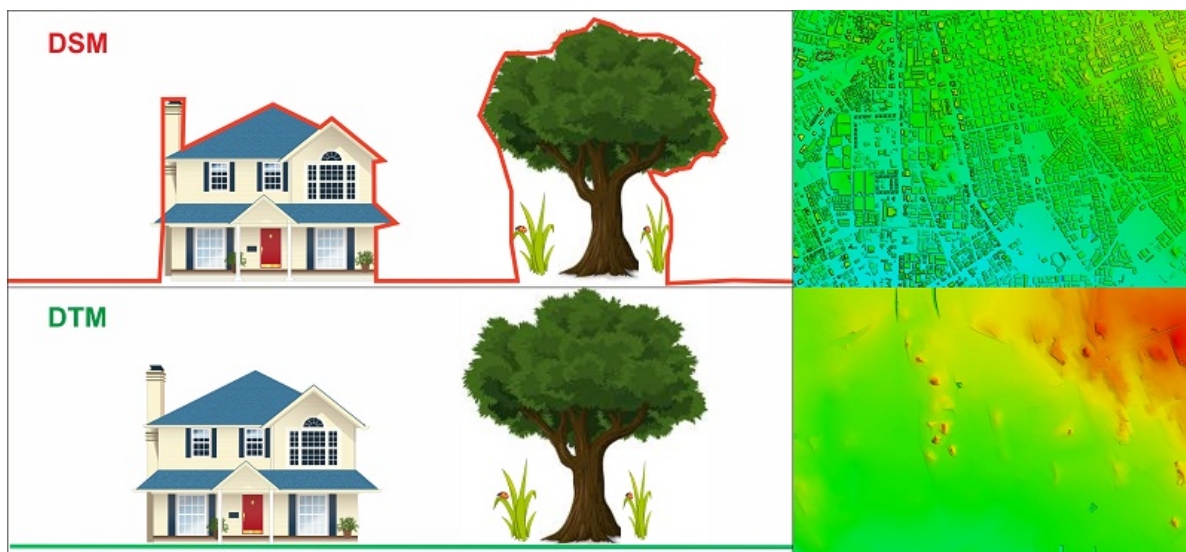


Figura 22 – Immagine descrittiva della differenza tra DSM e DTM.

Il metodo globalmente più diffuso e consolidato per registrare l'informazione altimetrica è la disposizione delle quote all'interno di una griglia regolare (raster o grid), rappresentabile con una matrice numerica, input ideale per la gestione all'interno di un calcolatore. Solitamente la griglia ha una maglia quadrata, più raramente triangolare o rettangolare, la cui dimensione del lato fornisce la dimensione della cella (cell size o pixel size), che corrisponde, fissata la proiezione, alla risoluzione.

I modelli irregolari o meglio vettoriali sono meno diffusi e sono dei TIN (Triangular Irregular Networks). La rappresentazione di insiemi irregolarmente distribuiti di quote (ad esempio la tipica nuvola di punti proveniente da acquisizioni LiDAR) può infatti diventare un DEM tramite la triangolazione; questa aggiunge al dato locale le informazioni riguardante la continuità della superficie (parametri relativi ai triangoli). In aree con rilievo accentuato o superfici fortemente scabre, i DEM vettoriali (TIN) possono usare un maggior numero di punti dove la topografia è più movimentata e una frequenza minore nelle aree più piane. In questo senso, risultano quindi più accurati nel rappresentare, ad esempio, cambi bruschi di quota (breakline antropiche). In generale sono più accurati nel rappresentare i cambiamenti discreti e locali della superficie e non quelli graduali/continui, risultando poco efficaci dove la topografia è fortemente smussata, come è ad esempio in aree di pianura.

In generale i DEM raster, a differenza di quelli vettoriali, presentano i seguenti vantaggi: la griglia regolare è una struttura semplice che può facilmente essere ricostruita; è più facile derivare parametri relativi alla superficie perché si possono usare algoritmi più semplici; hanno una struttura spaziale uniforme che può generalmente essere definita da un solo parametro, la dimensione della cella; il modello a griglia è

maggiormente adatto ai modelli informatici usati nell'analisi delle immagini (image processing) e spaziale del DEM (mesh size). La risoluzione altimetrica è invece l'intervallo numerico minimo con cui vengono rappresentati i valori di quota, ad esempio 1 o 0,1 m.

In particolare, per il seguente studio è stato utilizzato il Modello digitale del terreno (DTM) passo 2m derivato da dati LIDAR volo ATA 2012-2013 in GAUSS BOAGA. Dal Geoportale Regione Siciliana Infrastruttura dati territoriali - S.I.T.R., è possibile usufruire del servizio di visualizzazione, scaricamento e, pertanto, analisi del metadato (servizio WCS).

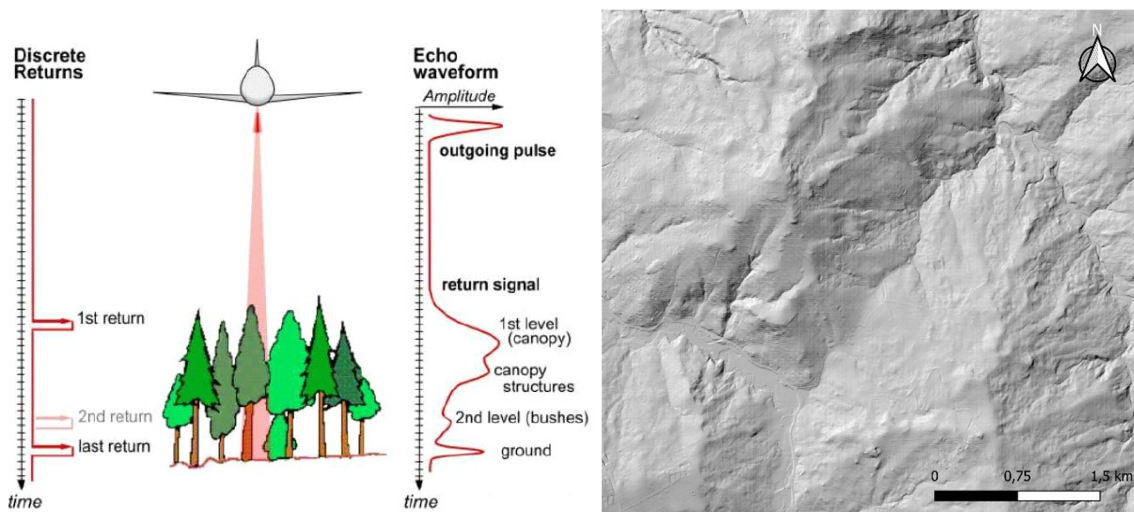


Figura 23– Immagine descrittiva della modalità di acquisizione del dato lidar (sx); DTM relativo l'area di studio(dx).

Importato il DTM in QGIS e una volta selezionata l'area di studio, sono stati eseguiti i seguenti moduli di SAGA GIS: *FILL sinks*; e *Catchment area*.

## 8.1 FILL SINKS

Il primo modulo, il Fill Sinks, ha permesso di rimuovere le depressioni isolate presenti nel DTM sostituendole con aree piatte nel raster di output. Processi:

1. Rimozione di depressioni costituite da un singolo pixel (buchi isolati, cioè qualsiasi pixel con un valore di altezza inferiore rispetto ai suoi 8 pixel vicini):
  - ✓ Quando si incontra un singolo pixel (Rosso) che ha un valore di altezza inferiore a tutti i suoi 8 pixel vicini, il valore di altezza verrà aumentato al valore più piccolo individuato tra i suoi 8 pixel vicini (Fig. 24);



58	52	55	53	5E	58	52	55	53	5E
55	40	42	45	51	55	40	42	45	51
48	33	35	33	48	48	33	35	33	48
33	23	15	27	2E	33	23	17	27	2E
17	17	17	22	17	17	17	17	22	17

Figura 24 - Sink che consiste in un singolo pixel (pixel in rosso) (sx); Pixel equiparato al valore più piccolo tra i suoi 8 pixel vicini (dx).

2. Rimozione di depressioni costituite da più pixel (ovvero qualsiasi gruppo di pixel adiacenti in cui i pixel hanno valori di altezza inferiori rispetto a tutti i pixel che circondano tale depressione). Processo generale:
  - ✓ vengono determinati tutti i pixel che contribuiscono a questa depressione; questo è un processo iterativo, che coinvolge un successivo "ring" di pixel vicini quando è richiesto;
  - ✓ viene determinato l'outlet per questa depressione;
  - ✓ infine, i valori di altezza di questa depressione saranno aumentati al valore di altezza più piccolo tra i pixel vicini.

Processo dettagliato:

- ✓ Scansionare il DTM, dall'alto verso il basso e da sinistra a destra, per trovare il primo pixel che fa parte di un'area di sink. In altre parole, trova un pixel con un valore di altezza inferiore o uguale a tutti i suoi 8 vicini (Fig. 25).

2	2	4	5	6	6	8
3	3	5	5	5	5	7
5	5	4	5	4	4	7
4	4	4	3	3	3	5
2	3	3	3	2	3	4
4	4	3	2	2	3	4
3	4	4	2	2	3	6

Figura 25 – Individuazione del primo pixel (pixel in nero).

- ✓ Determinazione di tutti i pixel che contribuiscono a questo particolare sink. In altre parole, trova il bacino di utenza di questo sink; processo iterativo che valuta i valori di altezza dei vicini esterni (Fig. 26).



Figura 26 – Individuazione di tutti i pixel che contribuiscono al sink.

- ✓ Individuazione del pixel di uscita per questo dissipatore e determinare il valore del pixel appena "prima" dell'uscita. Per tutti i pixel all'interno del "ring" esterno dei pixel di captazione del sink (come trovato nel passaggio precedente), valuta i valori dei pixel adiacenti che si trovano all'esterno dell'anello dei pixel di catchment del sink e determina il vicino (fuori dal ring) con il valore più piccolo; questo è il pixel di uscita (Fig. 27).



Figura 27– Individuazione dell'uscita per questo sink (pixel in nero) e determinazione del pixel appena prima dell'uscita (pixel in blu).

- ✓ Per tutti i pixel che contribuiscono a questo "sink" si assegna il valore di altezza trovato nel passaggio precedente (Fig. 28).





Figura 28– Ai pixel che cooperano al sink (< 3), si assegna il valore prima dell’uscita, cioè 3 (pixel in nero).

In altre parole, i buchi isolati sono stati "riempiti" in modo da formare aree piane con possibilità di trasmissione. Successivamente sono stati contrassegnati tutti i pixel del bacino che sono stati analizzati, ciò per garantire che questi pixel non venissero nuovamente scansionati.

## 8.2 CATCHMENT AREA

Una volta risolte le depressioni riscontrate durante l’analisi Fill Sinks, si è proceduto con il secondo modulo, il Catchment Area.

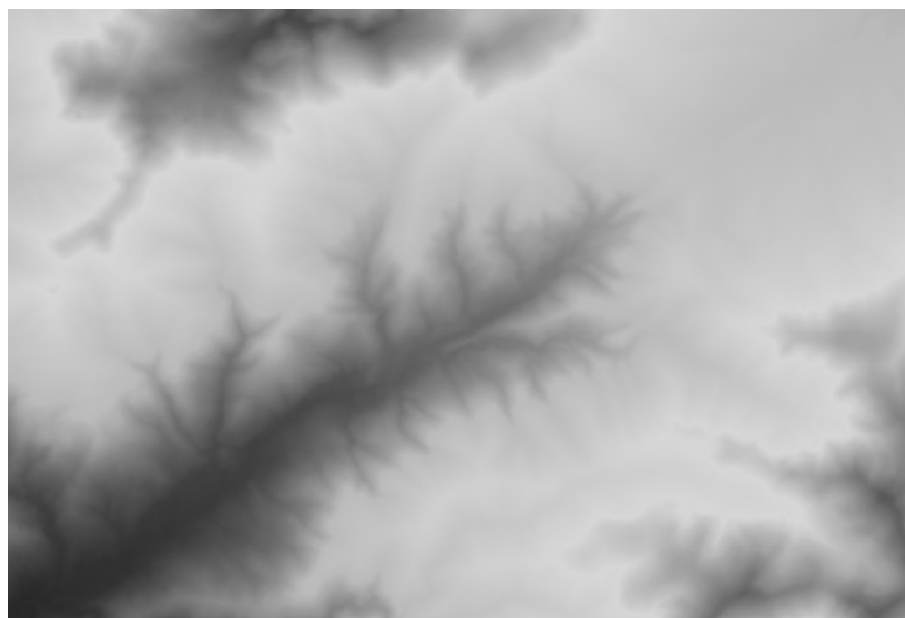


Figura 29 – “DTM Filled” ottenuto dal modulo Fill Sinks.

Nel campo elevazione va indicato il DEM o in questo caso il DTM che deve essere esaminato, mentre nei campi successivi vengono impostati gli algoritmi e i vari parametri per effettuare l'analisi (Fig. 30).

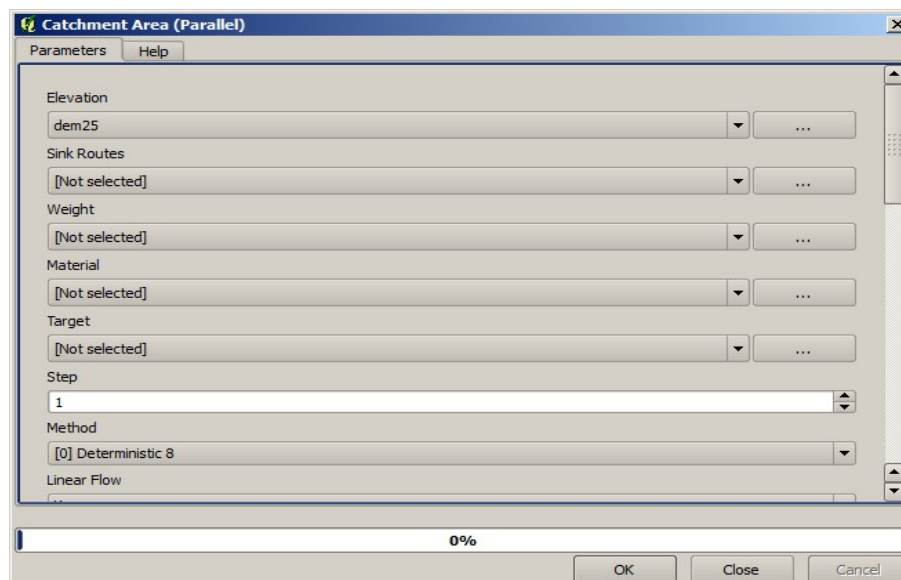


Figura 30 – Finestra di lavoro del modulo Catchment Area.

La restituzione grafica (raster) ottenuta è chiaramente poco esplicitiva, ciò a causa del fatto che i valori delle celle non sono uniformemente distribuite; alcune celle, quelle che corrispondono al reticolo idrografico, hanno valori estremamente alti (Fig. 31).

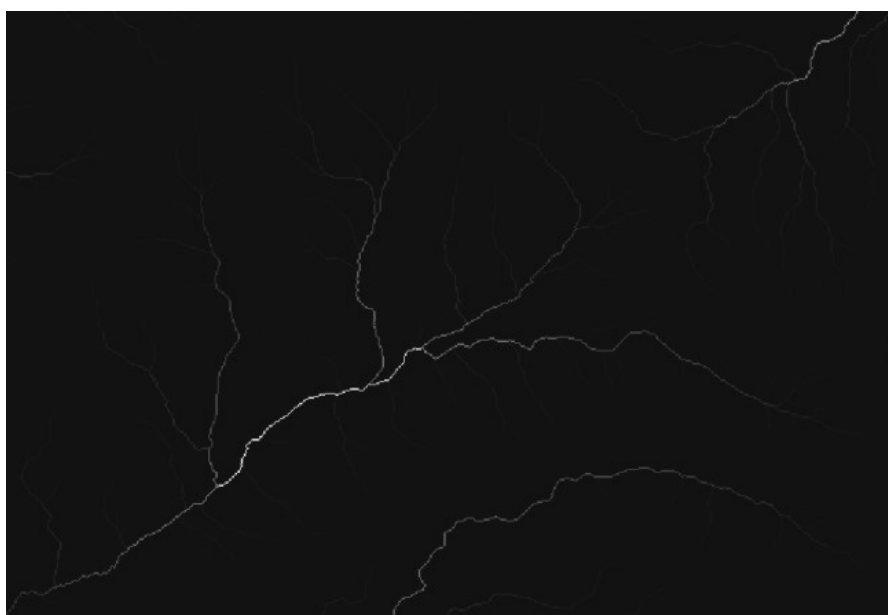


Figura 31 – Raster estrapolato dal modulo Catchment Area.

Pertanto, al fine di ottimizzare la visualizzazione del dato, al raster è stato adoperato un calcolo logaritmico (Fig. 32)

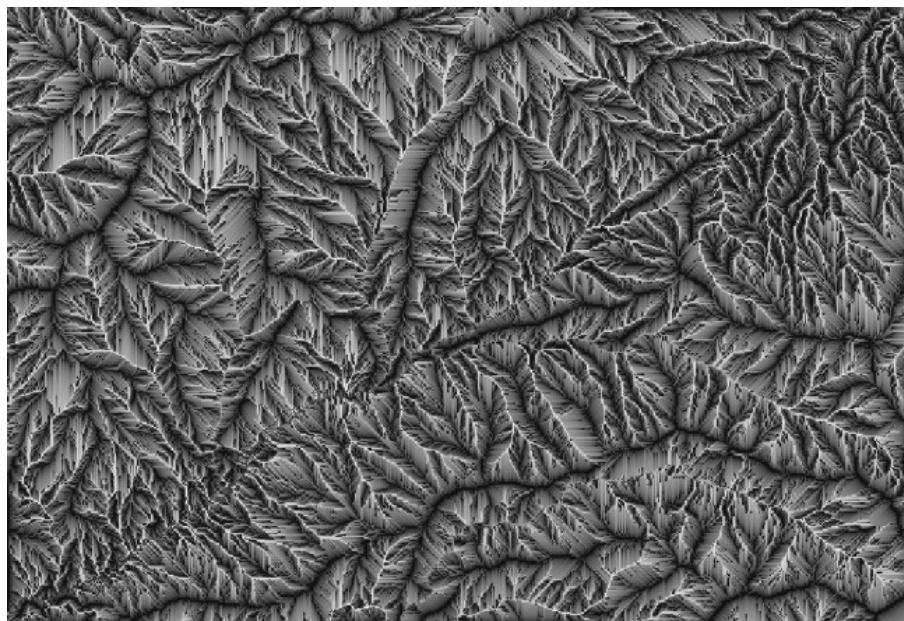


Figura 32 – Logaritmo del raster estrapolato dal modulo Catchment Area.

Per delineare il Catchment Area da un DEM, si possono essere utilizzati 6 diversi metodi:

1. Deterministic 8
2. Rho 8
3. Braunschweiger Reliefmodel
4. Deterministic infinity
5. Multiple flow direction
6. Multiple triangular flow direction

✓ **Deterministic 8**

Questo è il metodo classico in cui il flusso d'acqua si sposta dal centro di una cella al centro di una delle celle che circondano la prima cella. Ciò limita la direzione del flusso a multipli di 45 utilizzando 8 direzioni del flusso.

✓ **Rho 8**

Questo metodo utilizza un algoritmo per assegnare casualmente la direzione del flusso alle celle adiacenti discendenti in base al grado di pendenza delle celle adiacenti circostanti. Le celle che circondano la cella centrale vengono pesate in base al grado di pendenza e il flusso viene assegnato in base alla ponderazione calcolata.

✓ **Braunschweiger Reliefmodel**

Questo metodo utilizza un algoritmo per determinare più direzioni di flusso. Questo modello consente al flusso di disperdersi in più celle adiacenti verso il basso dalla cella centrale. Il modello limita il flusso a tre celle, limitando così la dispersione totale del flusso del DEM.

✓ **Deterministic infinity**

Questo modello delinea il flusso d'acqua da una cellula a due cellule circostanti. Il modello è considerato un pattern di flusso bidimensionale ed è il modello consigliato per ridurre i limiti del modello D8.

✓ **Multiple flow direction**

Questo modello presuppone che il flusso avvenga in tutte le direzioni verso il basso da un dato punto.

✓ **Multiple triangular flow direction**

Questo metodo evita la dispersione irrealistica del flusso su pendii planari o concavi. Questo modello consente al flusso di disperdersi in una o due celle discendenti, consentendo così direzioni di flusso multiple.

In questo studio, al fine di avere un quadro quanto più dettagliato e completo dello stato dei luoghi, sono stati impiegati tutti i 6 diversi metodi.

### 8.3 CHANNEL NETWORK

Successivamente si è proceduto a adoperare il modulo Channel Network. Nel campo elevazione è stato inserito il DTM individuato con il modulo Fill Sink, mentre come griglia iniziale è stato utilizzato il raster individuato dall'analisi Catchment Area.

Passaggio importante è stata la scelta della soglia di inizializzazione. Infatti, più è alta la soglia, meno denso sarà il reticolo idrografico; più è bassa la soglia, più sarà fitto il reticolo (Fig. 33).

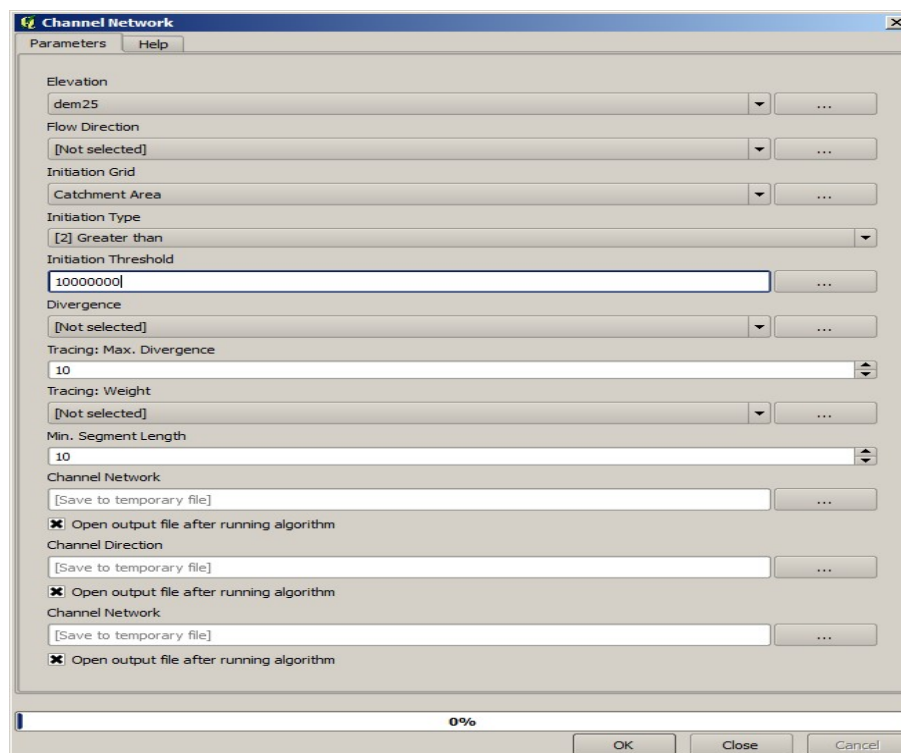
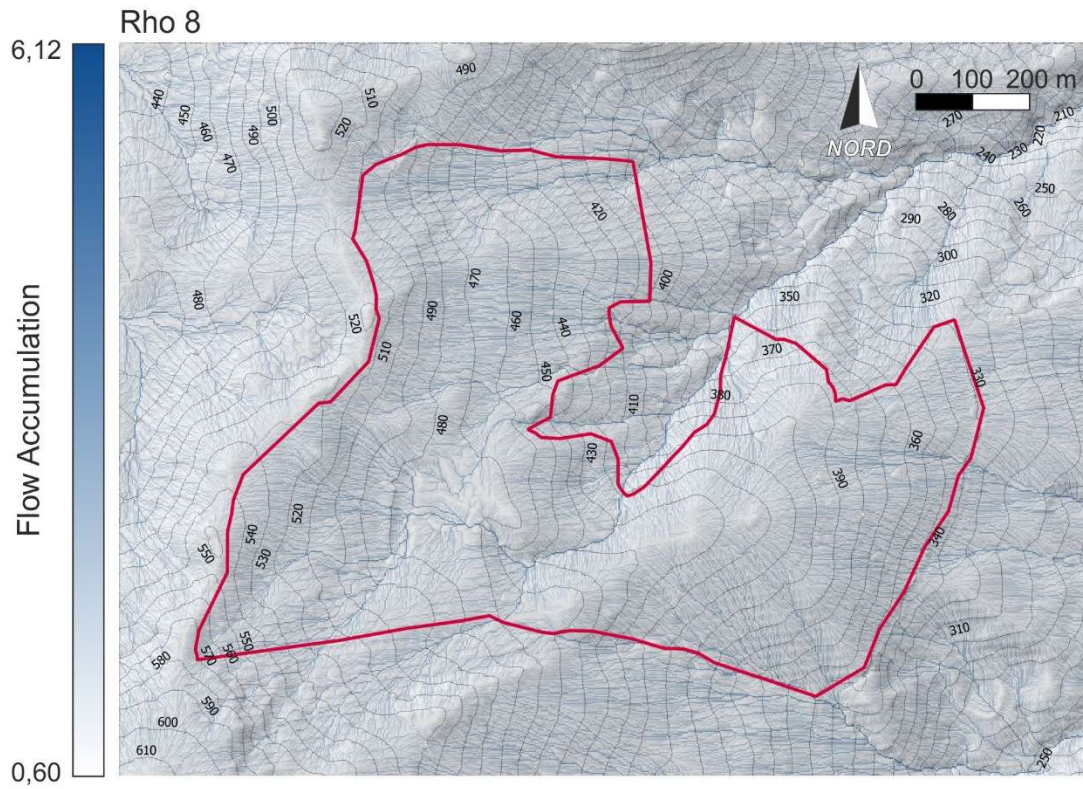
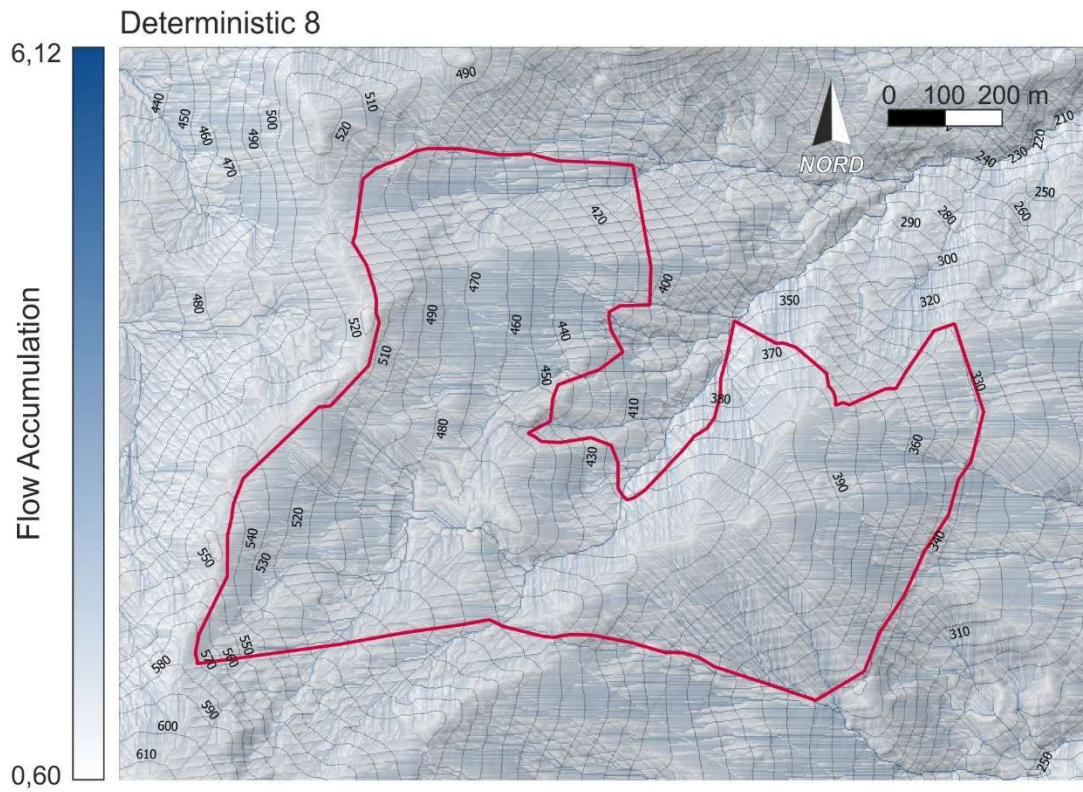


Figura 33 – Finestra di lavoro del modulo Channel Network.

Nel caso specifico è stato utilizzato un valore di Initiation threshold pari 15000; ciò ha permesso di determinare un'accurata e dettagliata rete di impluvi.

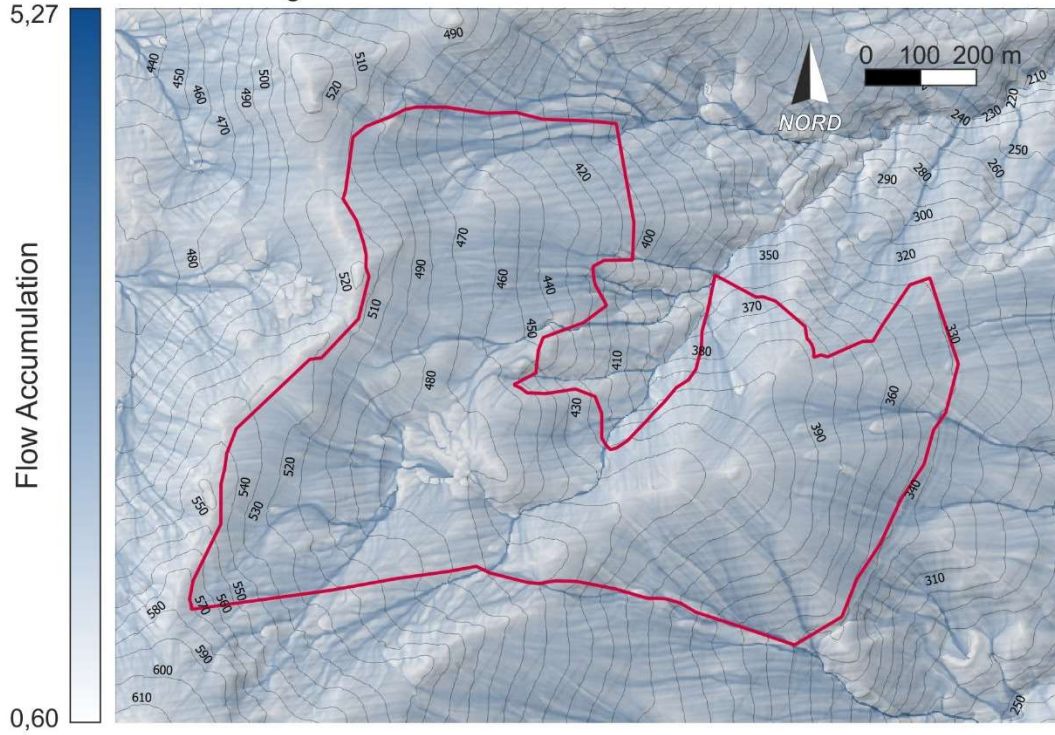
A seguire si riportano le mappe rappresentanti il *Flow Accumulation* dell'area di studio, determinate con i sei diversi metodi. I valori ottenuti sono pressoché simili tra loro, con un valore minimo che si attesta intorno a 0.60 e un valore massimo intorno a 6.12; fanno eccezione le mappe relative al metodo Braunschweiger Reliefmodel (valore max 5.27) e al Multiple triangular flow direction (valore max 6.60). Tuttavia, si può asserire che tutti i metodi hanno fornito valori coerenti tra loro.



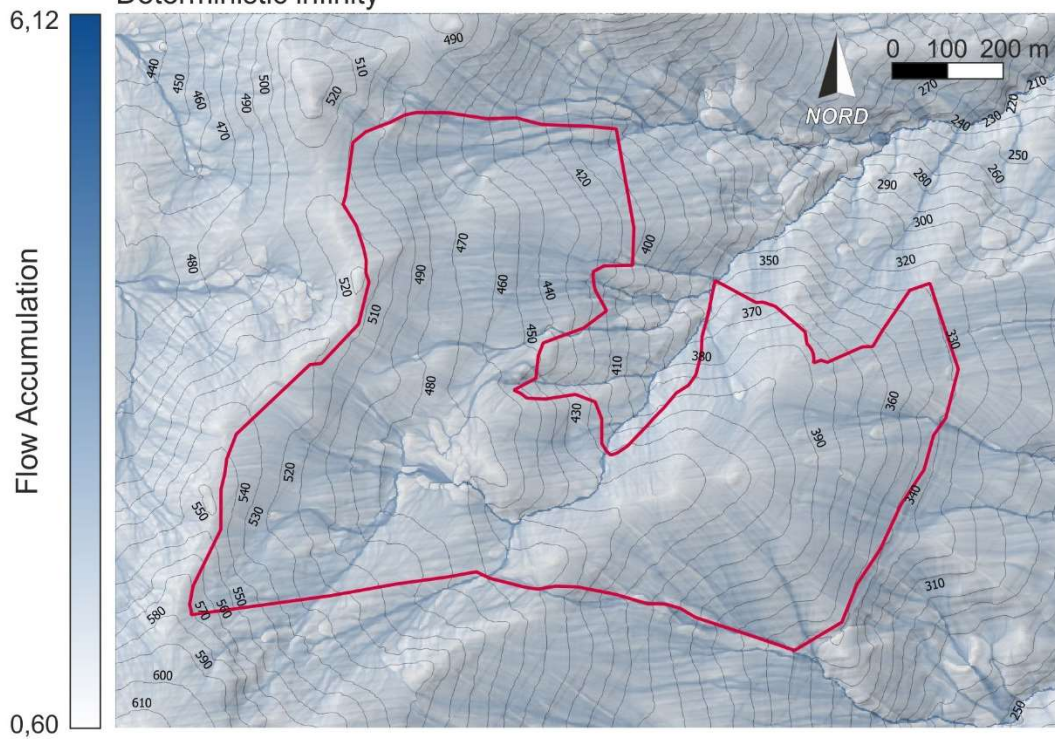




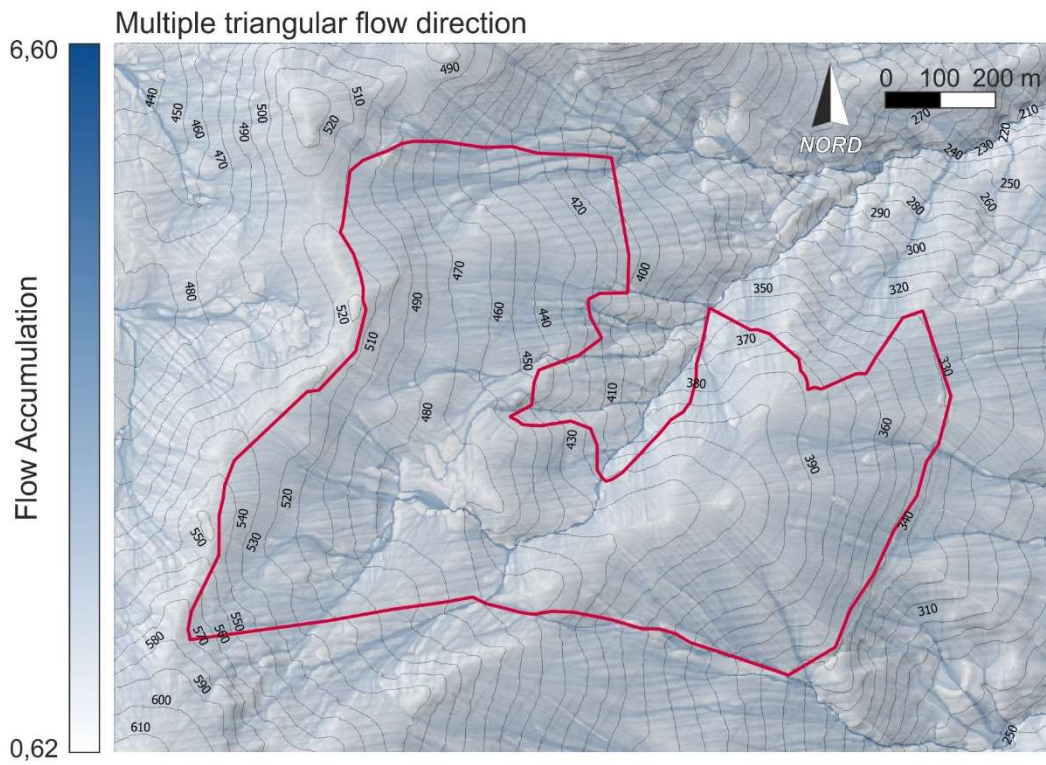
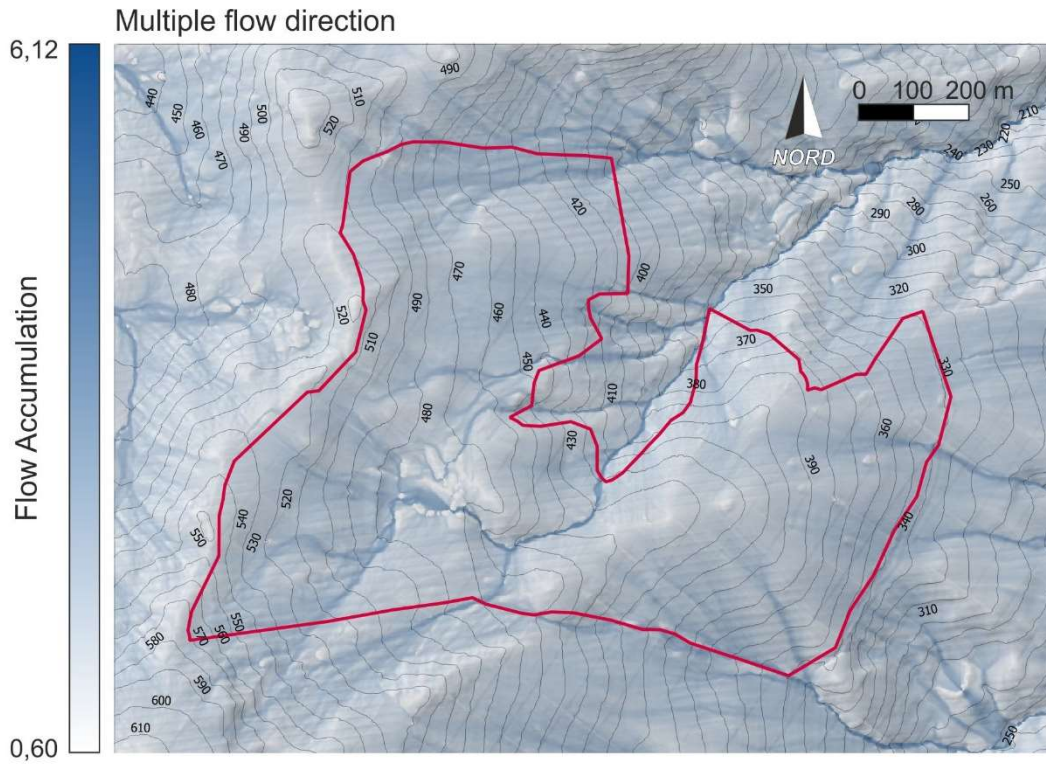
Braunschweiger Reliefmodel



Deterministic infinity







## 8.4 WATERSHEAD BASINS

Infine, per individuare i sottobacini relativi agli impluvi minori presenti in corrispondenza dell'area di studio, si è fatto uso del modulo Watershead Basins (Bacini Spartiacque).

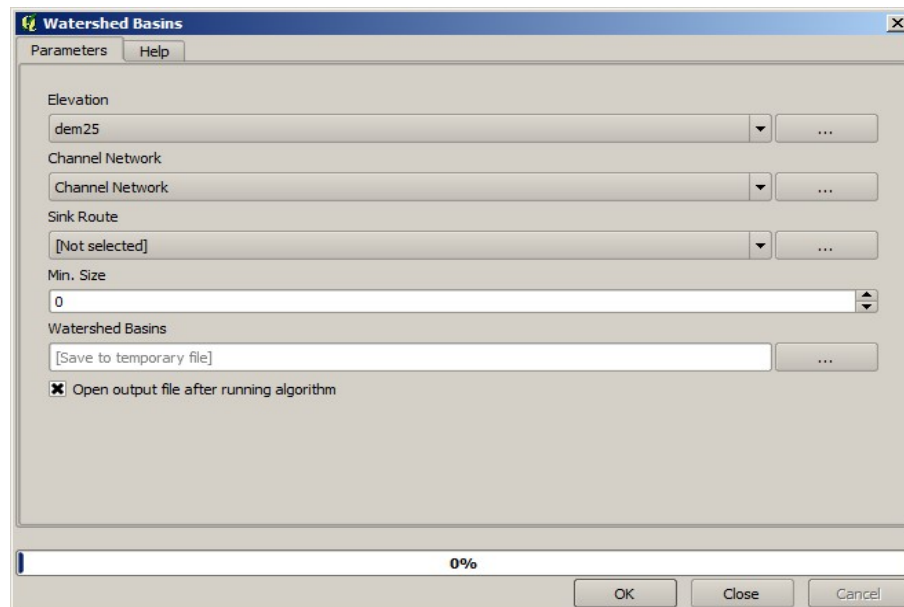


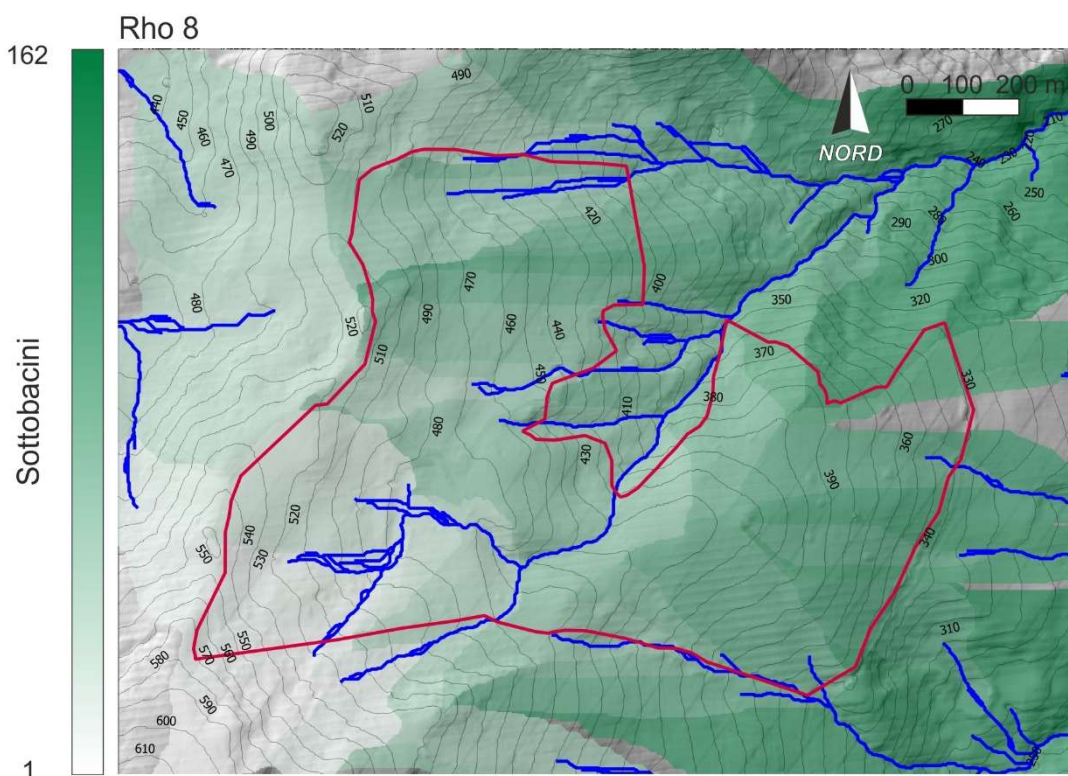
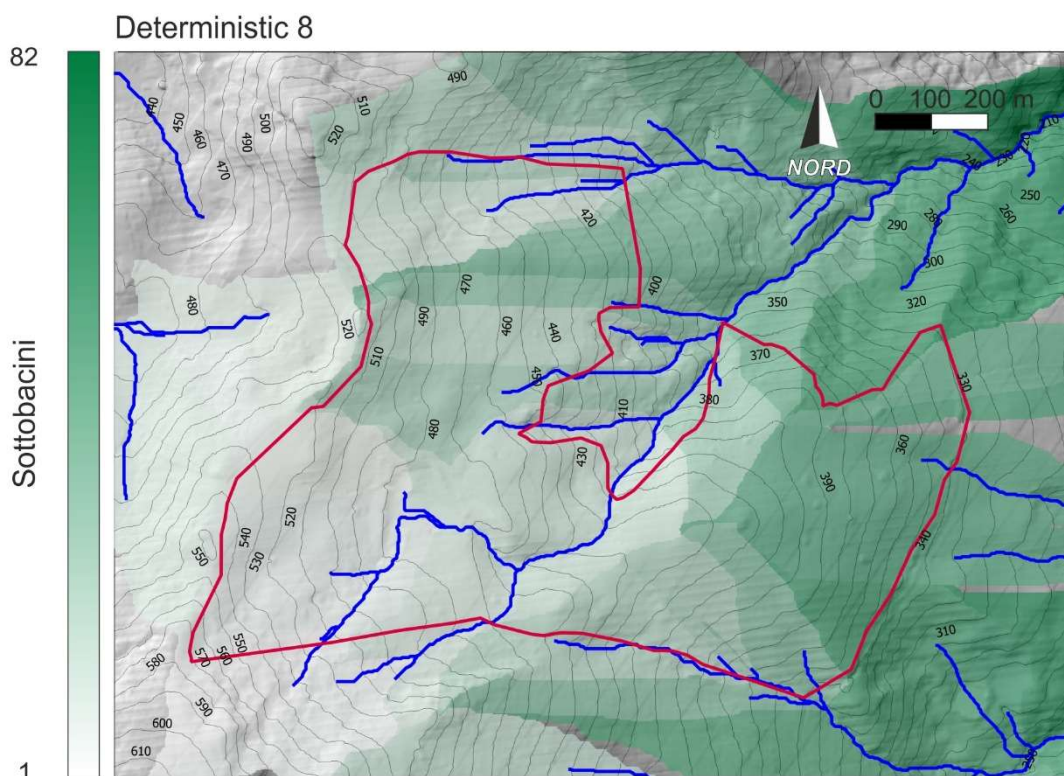
Figura 34 – Finestra di lavoro del modulo Watershead Basins.

Inseriti gli opportuni dati di elaborazione (DTM e Channel Network), il modulo ha generato dei raster rappresentanti i sottobacini relativi al reticolo idrografico.

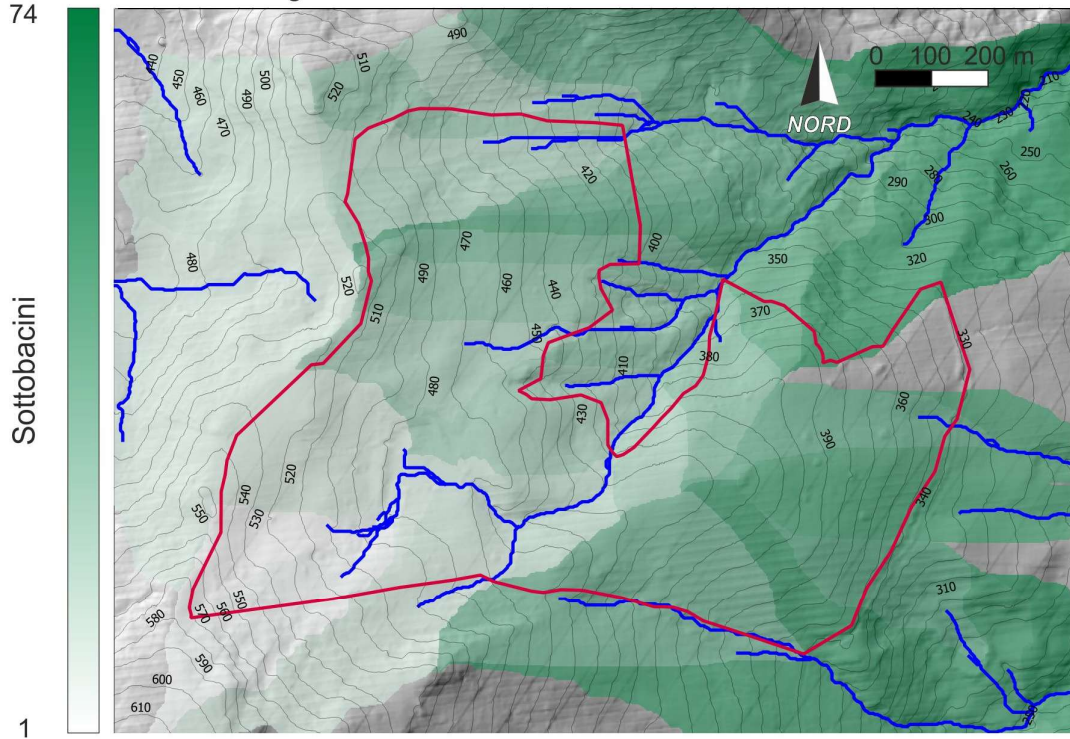
A seguire si riportano le mappe dei sottobacini presenti nell'area d'impianto e nel suo intorno. Anche in tal caso le mappe sono state determinate con tutti i 6 diversi metodi. Il metodo Rho 8 è quello che ha individuato il maggior numero di sottobacini (162), mentre i metodi Braunschweiger Reliefmodel e il Multiple flow direction sono quelli che ne hanno determinato di meno (74), gli altri metodi hanno fornito valori compresi tra 82 e 84.

Per quanto riguarda l'area di ubicazione dei pannelli, i metodi adoperati hanno indicato un numero di sottobacini compreso tra 30 e 40, mostrando, dunque, una buona accordanza e in linea con quanto dedotto dai rilievi sul campo e dall'analisi aerofotogrammetrica.

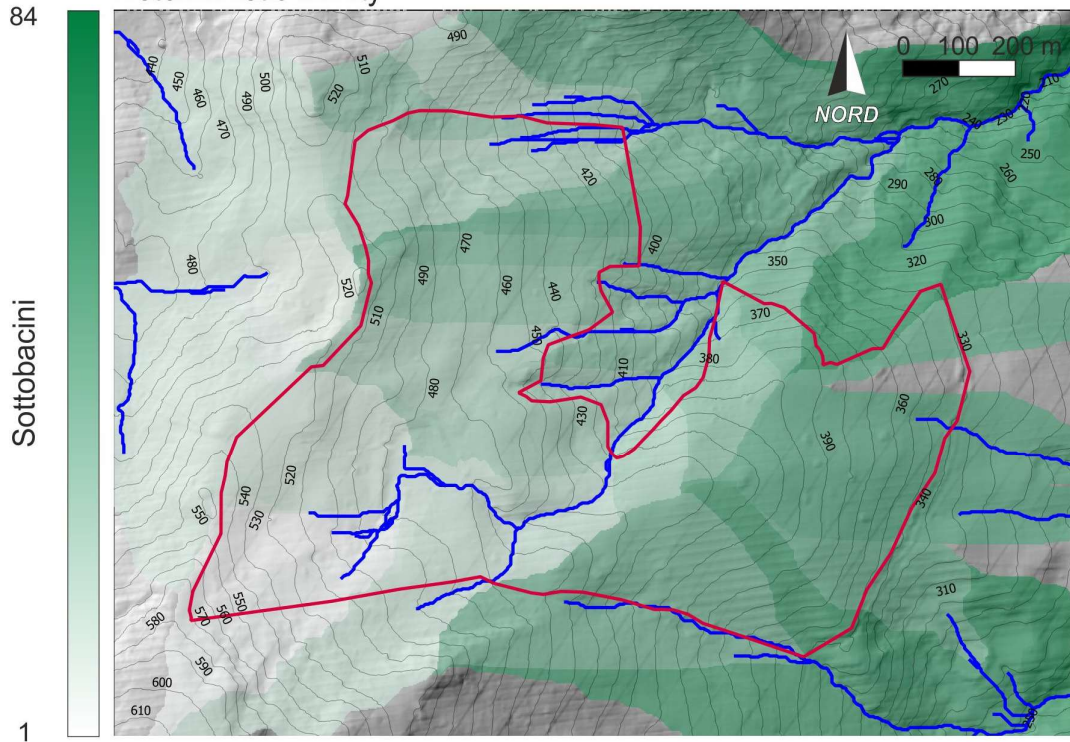




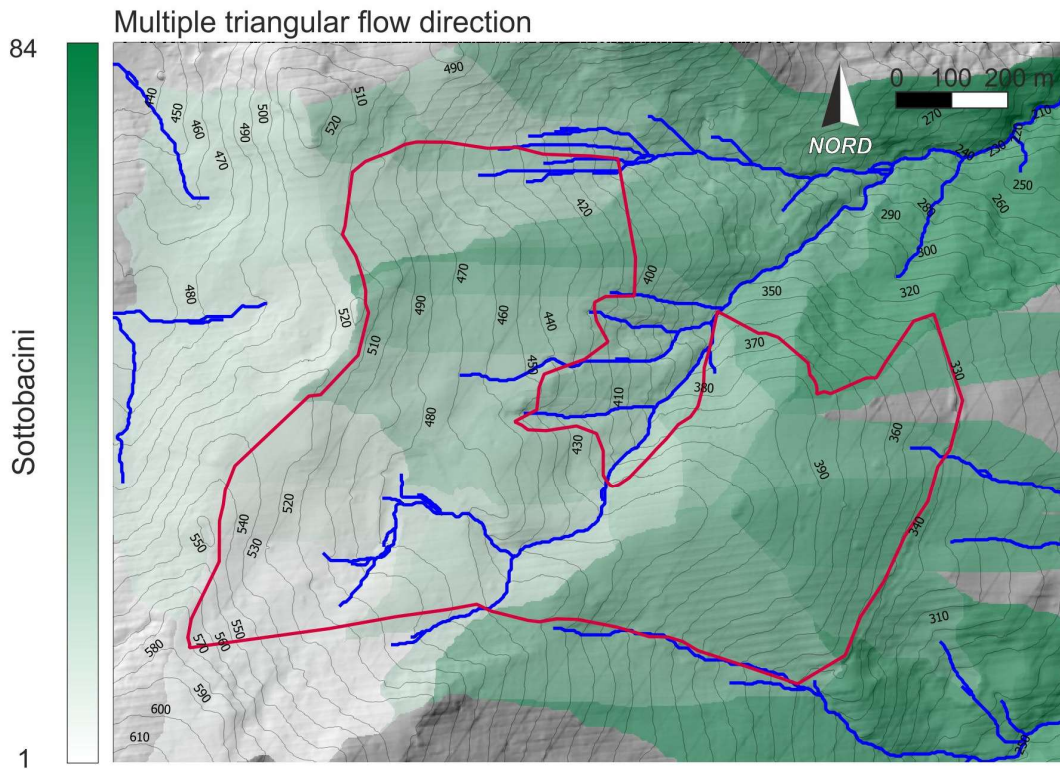
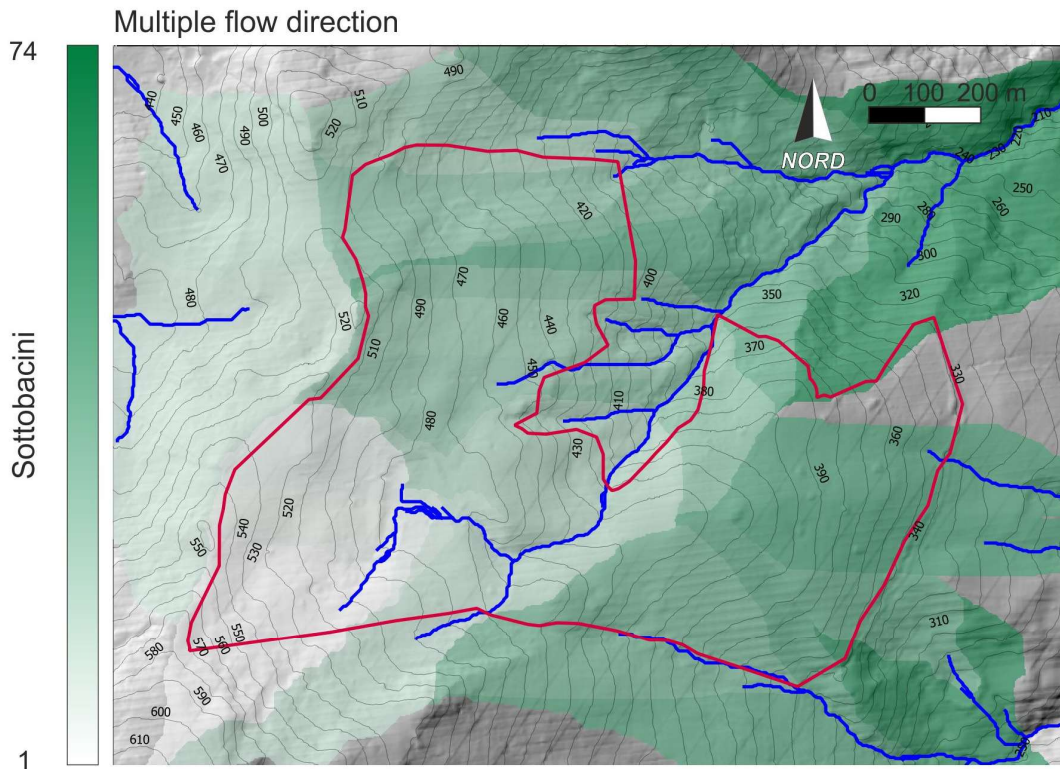
Braunschweiger Reliefmodel



Deterministic infinity









## 9 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La geologia dell'area di studio è chiaramente legata alla geodinamica della Sicilia Occidentale; pertanto, è doveroso fare cenno ai processi evolutivi che della tettonica della Sicilia centro-settentrionale, rivolgendo peculiare attenzione alla bibliografia scientifica presente in letteratura.

In particolare, l'area di Bolognetta rientra nel rilevamento della Carta Geologica d'Italia al Foglio n°608 "Caccamo" del progetto CARG dell'ISPRA (scala 1: 50.000), elaborato di riferimento per la ricostruzione del Modello Geologico di Base (Tav.1)

### 9.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La zona di studio ricade nell'area della Sicilia centro-settentrionale nel contesto geologico-strutturale della componente nord-occidentale della catena Appenninico-Maghrebide.

A grande scala la Sicilia, per la sua posizione geografica, costituisce una porzione di megasutura che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea nel Mediterraneo centro occidentale.

I principali elementi strutturali che caratterizzano il sistema orogenico della catena Appenninico-Maghrebide in Sicilia sono costituiti da un dominio di avampaese-avanfossa e un dominio di catena.

La configurazione della Sicilia deve la sua origine alla fase collisionale tra i settori crostali delle placche africana ed europea, determinando lo schema tettonico illustrato nella figura che segue (Fig.35).

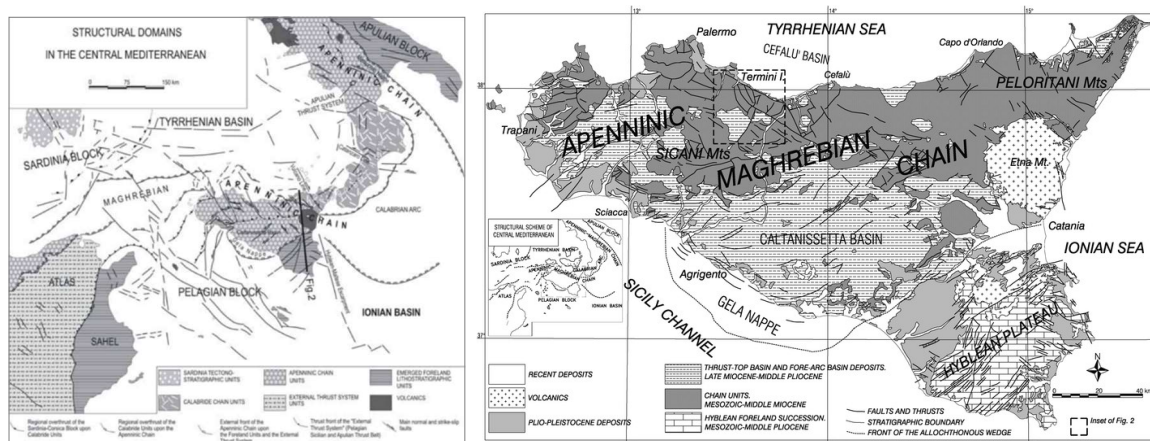


Figura 35 - Schema tettonico dell'orogene Appenninico-Maghrebide (LENTINI et al., 1996; 2006 e Guarnieri, 2004).

L'assetto geologico regionale, modificato in seguito alle deformazioni di età terziaria, è rappresentato dai seguenti elementi strutturali: uno scarsamente deformato che costituisce l'Avampaese Africano, un complicato sistema di falde e di scaglie tettoniche sud-vergenti appartenente alla Catena Appenninico-

Maghrebide, l'Avanfossa che trae origine dal collasso del margine dell'Avampaese, che tende ad incunearsi al di sotto delle falde della Catena Appenninico-Maghrebide, e la Catena Kabilo-Calabride, terminazione meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano.

L'area in esame si inquadra nel contesto geologico della Catena Appenninico-Maghrebide originatasi a partire dall'Oligocene superiore e delineatasi nel suo complesso nel Miocene medio-inferiore.

L'assetto tettonico dell'area è il risultato di una serie di eventi deformativi che hanno interessato le successioni sedimentarie deposte tra il Mesozoico ed il Pleistocene.

Le fasi tettoniche principali sono le seguenti:

- ✓ **Fase Preorogenica**, caratterizzata da tettonica sinsedimentaria distensiva e trastensiva;
- ✓ **Fase Collisionale**, collegata all'orogenesi, iniziata nel Miocene Inferiore è responsabile della strutturazione della catena in unità tettoniche, si sviluppa attraverso due eventi tettonici (Evento I - messa in posto dei principali sovrascorrimenti, Evento II – fase tardiva della strutturazione);
- ✓ **Fase Neotettonica**, fase tettonica distensiva e/o trastensiva correlabile allo stadio finale dello sviluppo del Tirreno.

La fase tettonica preorogenica si è espressa con fenomeni stratigrafici concretizzati nella generazione di lacune stratigrafiche più o meno consistenti rilevabili nelle successioni mesozoico-paleogeniche.

Nell'area delle Unità Maghrebidi la seconda fase tettonica, collegata agli episodi orogenetici, si è sviluppata nel Miocene ed è stata caratterizzata da una fase di "stress" essenzialmente di natura compressiva, espressione della collisione continentale tra la placca europea e quella africana.

La fase neotettonica si è verificata nel Pliocene superiore ed è stata caratterizzata da "stress" distensivi che hanno generato la formazione di faglie dirette di diversa entità responsabili dell'attuale morfologia della zona.

I terreni ricadenti in quest'area sono il risultato della deformazioni di domini paleogeografici, ognuno dei quali è costituito da varie Unità Stratigrafico-Strutturali derivanti da una precedente unità paleogeografica, non necessariamente sradicati dal loro basamento, delimitati da contatti tettonici, caratterizzati al loro interno da una determinata successione stratigrafica e differenziabile dai terreni circostanti sulla base di caratteri litologici, litofacies, di comportamento tettonico e della loro posizione geometrica nell'ambito

dell'orogene<sup>8</sup>.

Le unità che strutturalmente risultano più alte sono relative ad aree di sedimentazione più interne, mentre le unità più basse sono presumibilmente relative ai domini più esterni.

Le Unità Stratigrafico-Strutturali riferibili alla catena Appenninico-Magheribide sono:

- ✓ U.S.S. DEL DOMINIO SICANO: M. BARRACÙ, M. ROSE, ROCCAPALUMBA;
- ✓ U.S.S. DEL DOMINIO TRAPANESE: ROCCA BUSAMBRA;
- ✓ U.S.S. DEL DOMINIO IMERESE: PIZZO DI CANE, FLYSCH NUMIDICO;
- ✓ UNITÀ DEL COMPLESSO SICILIDE.

L'area oggetto di studio è interessata principalmente dall'Unità Imerese e dall'Unità Sicilide:

---

<sup>8</sup> Catalano & D'Argenio, 1982

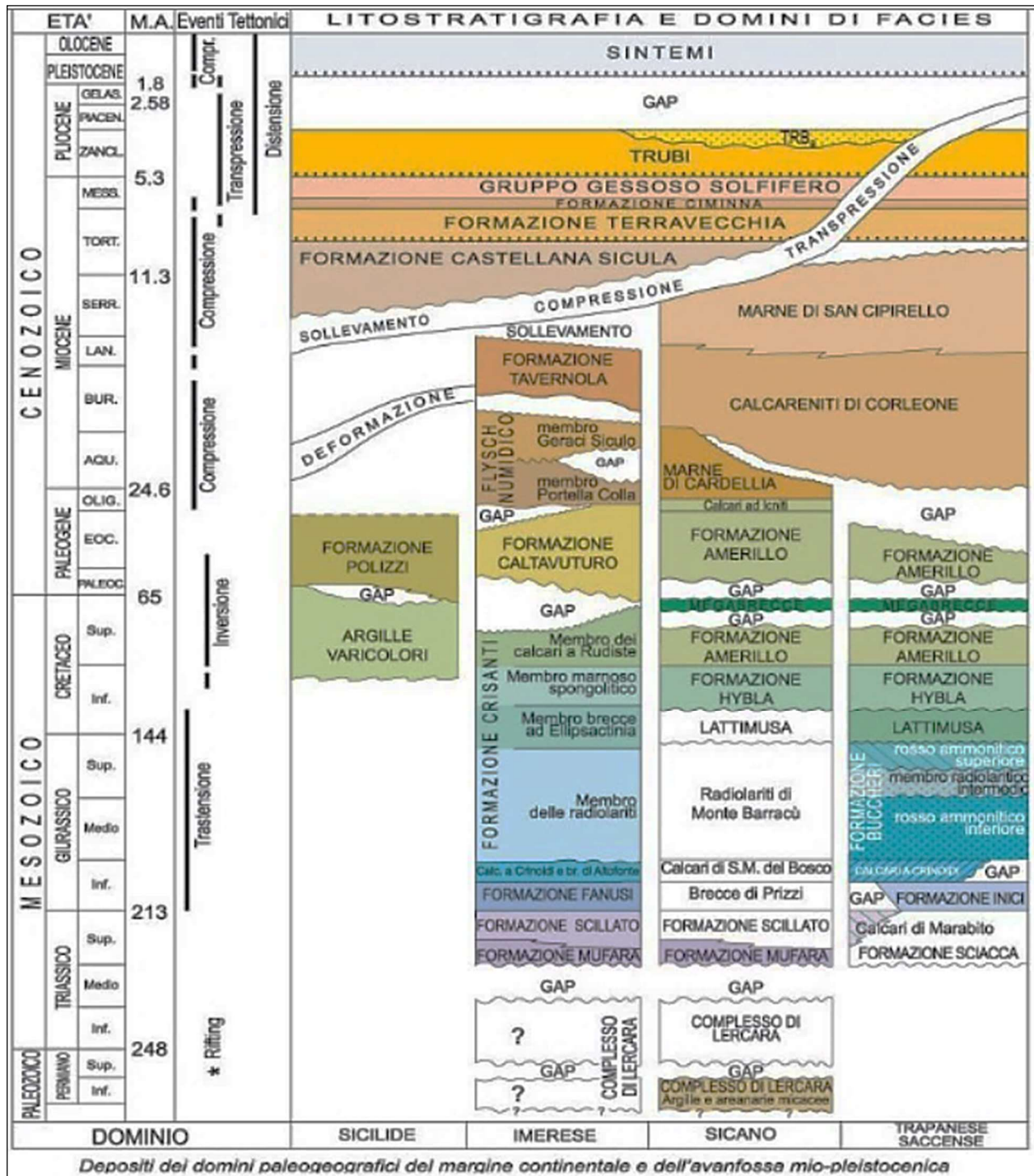


Figura 36 - Schema Litostratigrafico e dei Domini di facies (Catalano et al.; 2010).



## 9.2 SEQUENZA STRATIGRAFICA LOCALE

Il rilevamento geologico è stato esteso ad un intorno sufficientemente ampio del sito di progetto in modo da inquadrare quest'ultimo in un contesto geologico-strutturale significativo e per meglio definire i rapporti stratigrafici (Fig.37).

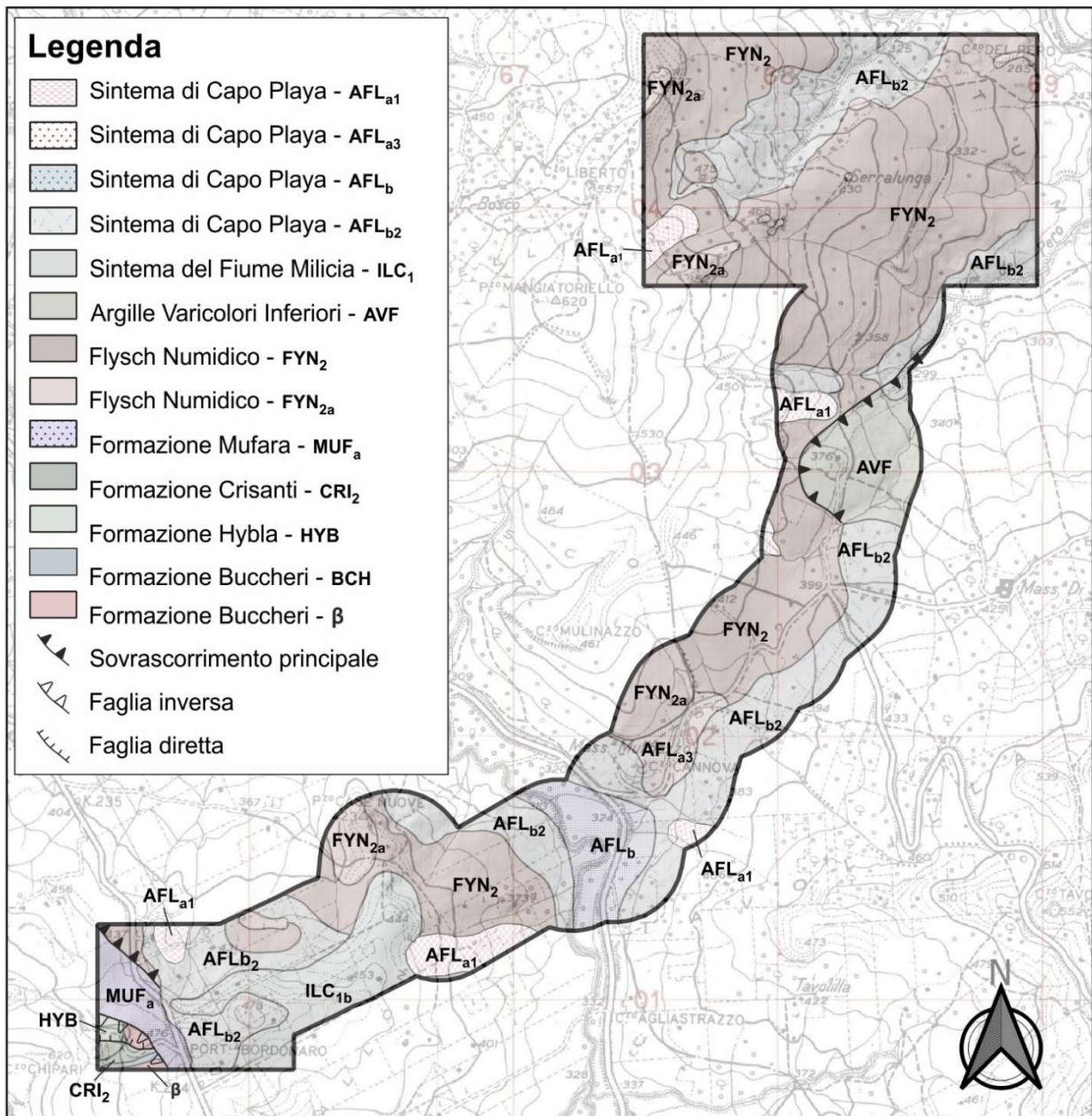


Figura 37 – Carta Geologica dell'area di studio in Scala 1:25000 (Estratta e modificata da Catalano et al.; 2010).



Con riferimento alla Carta geologica a scala 1:50.000 Foglio 608 Caccamo (Tav.1), nella stratigrafia dall'alto verso il basso, dell'area di studio, si riscontrano i seguenti termini:

✓ **Sistema di Capo Playa (AFL)**

Depositi di frana ( $a_1$ ), detriti di falda ed accumuli di materiali di spessore variabile ( $a_3$ ), fluviali di fondovalle (b), coltri colluviali ( $b_2$ ).

*PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE*

✓ **Sistema del fiume Milicia (ILC<sub>1</sub>)**

Ghiaie, ciottoli e massi in matrice siltoso-sabbiosa o siltoso-argillosa.

*PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE*

✓ **Argille Varicolori Inferiori (AVF)**

Argille, marne rossastre, caotiche alla base, argilliti policrome con intercalazioni di calcareniti e calcilutiti verdastre. Marne nere ed argille grigie sottili calcareniti risedimentate.

*CRETACICO*

✓ **Flysch Numidico - Membro di portella Colla (FYN<sub>2</sub>)**

Peliti di colore bruno talora manganesifere, con laminazione piano-parallela e siltiti ed arenarie quarzose con geometrie canalizzate (FYN<sub>2a</sub>).

*CHATTIANO-AQUITANIANO INFERIORE*

✓ **Formazione Crisanti (CRI<sub>2</sub>)**

Banchi di breccie e conglomerati ad 2 elementi di piattaforma carbonatica contenenti frammenti di Ellipsacrinia so., coralli, alghe calcaree e molluschi; calcareniti bioclastiche grigie ben stratificate alternate con marne argillose giallastre laminate. Hanno uno spessore variabile tra 20 e 50 m.

*TITONICO-NEOCOMIANO*

✓ **Formazione Mufara (MUF)**

Argille e marne-argillose bruno-giallastre con subordinate calcilutiti.

*CARNICO MEDIO-SUPERIORE*

✓ **Formazione Hybla (HYB)**

Calcilutiti grigio nerastre e selciose con strati sottili contenenti foraminiferi planctonici e radiolari.

Verso l'alto si sostituiscono litotipo più argillosi e con colorazioni brunastre cui si intercalano livelli bioclastici grossolani. Talvolta si presentano potenti oltre 50m.

*CRETACICO INFERIORE*

✓ **Formazione Buccheri**

Radiolariti e calcari diasprigni rosso-verdastre con vulcaniti costituite da sequenze di lave a pillow e ialoclastiti ( $\beta$ ).

*TOARCIANO-TITONICO*

### 9.3 SISMICITÀ

L'area di Bolognetta ricade in un settore strutturale non particolarmente attivo dal punto di vista sismogenetico. Dalla consultazione del database Mascrosismico Italiano (DBMI15) in cui sono riportati i terremoti con intensità massima epicentrale  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2019, si osserva che l'area di Bolognetta a partire dal 1823, anno del primo evento riportato nel database per questa località, è stata interessata da 6 eventi (Fig.38 e Tab.2).

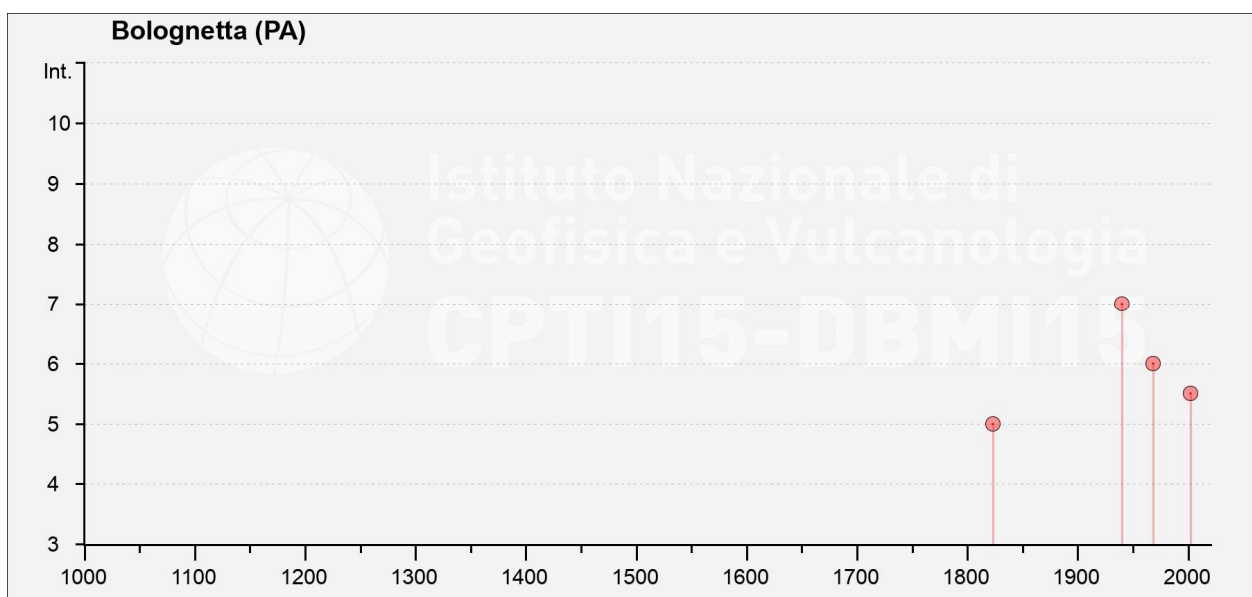


Figura 38 – Grafico degli eventi sismici osservati a Bolognetta (PA) e censiti nel Database DBM15 dell'INGV.

Tabella 2 – Tabella dei parametri relativi agli eventi sismici osservati a Bolognetta (PA) e censiti nel Database DBM15.

Il	Anno	Mese	Giorno	Ora	Min.	Sec.	Area Epicentrale	Lat.	Long.	Prof.	I0	Mag.
5	1823	3	5	16	37		Sicilia settentrionale	38,185	14,344		8	5,81
7	1940	1	15	13	19	24	Tirreno meridionale	38,076	13,429		7-8	5,29
6	1968	1	15	2	1	9	Valle del Belice	37,756	12,981		10	6,41
5-6	2002	9	6	1	21	27,25	Tirreno meridionale	38,364	13,687	9,6	6	5,92
NF	2004	5	5	13	39	42,93	Isole Eolie	38,547	14,792	228,6		5,42
NF	2005	11	21	10	57	40,23	Sicilia centrale	37,597	14,105	63,2		4,56

Gli eventi sismici si localizzano tra la Sicilia centrale e quella settentrionale. La magnitudo massima 6,41 si riferisce al terremoto della Valle del Belice avvenuto il 15/01/1968, segue con magnitudo 5,92 il terremoto avvenuto nel Tirreno meridionale il 06/09/2002. Il terremoto che ha fatto registrare una maggior intensità locale a Bolognetta (II=7) è quello avvenuto nel Tirreno Meridionale il 15/01/1940, la cui

magnitudo si attesta a 5.29. Tra i terremoti osservati a Bolognetta, quello avvenuto nella Valle del Belice il 15/01/1940 ha fatto registrare la più alta intensità epicentrale ( $I_0=10$ ) (Fig.39).

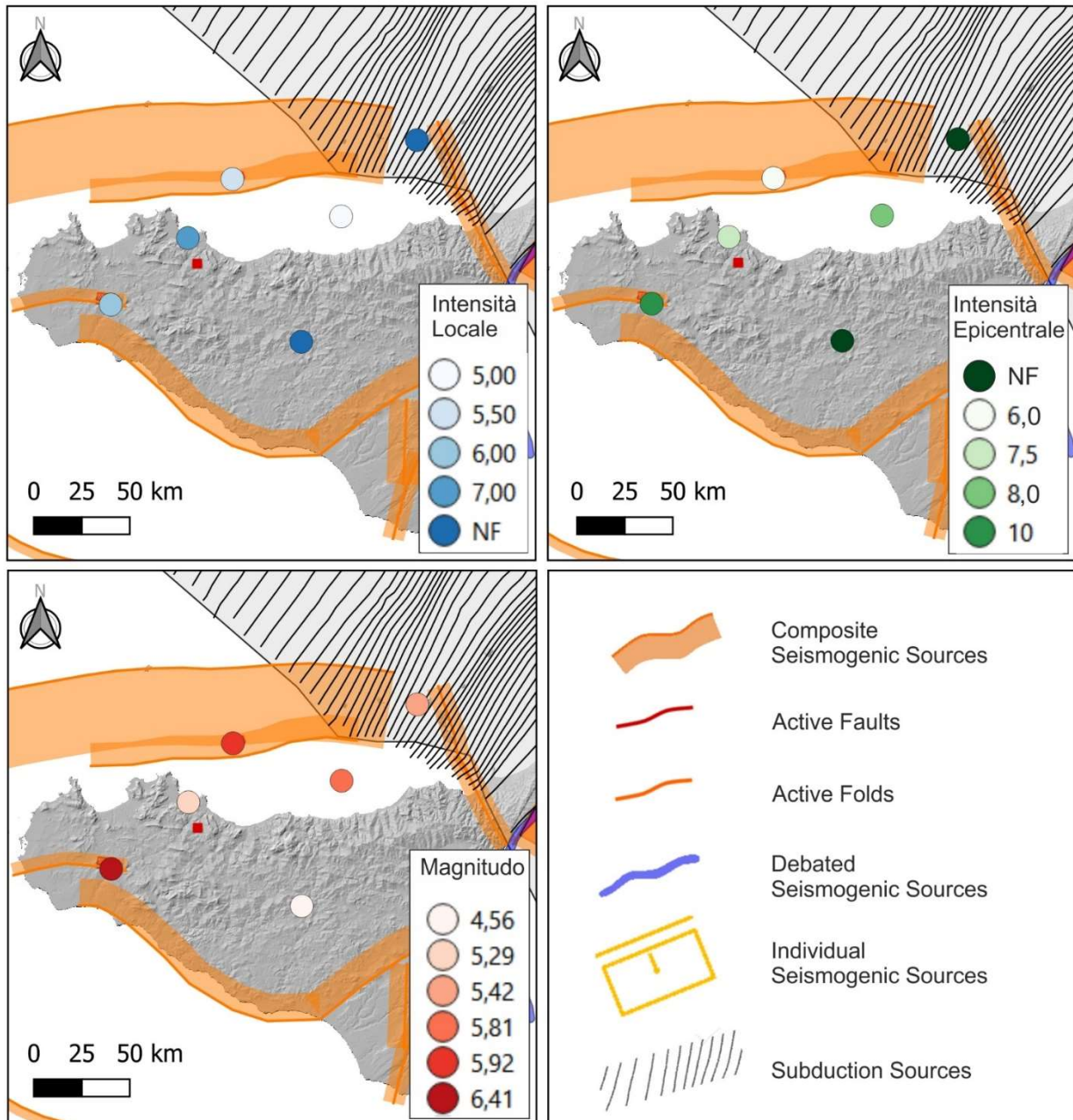


Figura 39 – Localizzazione epicentrale degli eventi sismici osservati a Bolognetta (PA) e censiti nel Database DBM15 dell'INGV. Le diverse figura mettono in risalto i parametri quali: Intensità locale (Blu), intensità epicentrale (Verde) e Magnitudo (Rosso); nelle immagini vengono riportati anche gli elementi tettonici del database DISS 3.3.0 (INGV)



#### **9.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

Il comportamento idrogeologico dei terreni rilevati, strettamente legati alla permeabilità, è stato determinato prendendo in considerazione la loro natura litologico-sedimentologica, il loro assetto strutturale, dati bibliografici presenti nella letteratura tecnico-scientifica, nonché dai dati rilevati a seguito delle indagini geofisiche e geotecniche effettuate in sito.

I litotipi presentano una permeabilità variabile per entità e tipologia. Nella maggior parte dei litotipi prevale la permeabilità di tipo primaria, dunque per porosità e, in subordine, per fessurazione/fratturazione; il grado di permeabilità è anch'esso molto variabile, e oscilla da valori medio-alto a molto bassi (Figg.41 e 42; Tav.4).

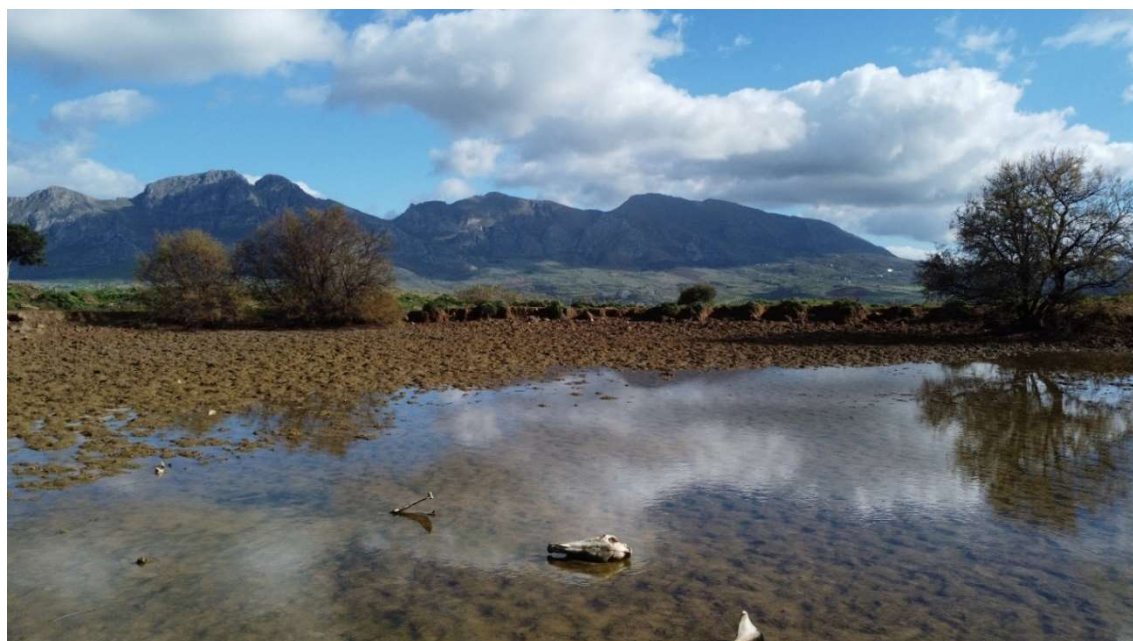


Figura 40 – Ristagno su terreno pelitico a bassa permeabilità.



permeabilità molto basso e talvolta quasi nullo. In presenza di questi litotipi, dunque, la circolazione idrica sotterranea è praticamente assente, a favore invece della circolazione idrica superficiale.

In corrispondenza di coperture superficiali (coltre eluvio-colluviali) spesse e contenenti una componente sabbiosa con inclusi litoidi anche metrici (vd. Report indagini geofisiche e prove geotecniche *In situ*), si innesca una permeabilità primaria di grado variabile da basso a medio. L'infiltrazione verticale dell'acqua può giungere fino ad alcuni metri di profondità dal p.c., talora si protrae fino al raggiungimento il substrato pelitico impermeabile. A contatto tra substrato e copertura talvolta avviene uno stazionamento delle acque (come evidenziato nelle indagini MASW 1 e 5; vd. Report indagini geofisiche per approfondimento); lo strato d'acqua, seppur presente, è talmente esiguo da non poter essere considerato una vera e propria falda, ma merita particolare attenzione in quanto potenziale piano di scivolamento della copertura sovrastante. Talvolta alla base delle coltri eluvio-colluviale è possibile riscontrare piccole risorgive d'acqua a carattere stagionale.

#### ✓ Sistema di Capo Playa (AFL)

##### Depositi di versante (a1)

Accumuli gravitativi a giacitura caotica provenienti dal disfacimento delle facies pelitiche, argillose e marnose. Al loro interno si rinvencono elementi detritici eterometrici. Presentano una bassa permeabilità.

##### Detrito di falda (a3)

Si tratta pertanto di un caotico ammasso di blocchi e ciottoli, di spessore talora di qualche metro, ha un grado di permeabilità che va da alto in assenza di matrice fine a bassa dove invece gli elementi argillosi e limosi vanno ad occludere i vuoti. Giace perlopiù sulle facies pelitiche del Flysch numidico (FYN<sub>2</sub>), a permeabilità bassa-molto bassa, o su coltri eluvio-colluviali (AFL<sub>b2</sub>) a permeabilità media.

##### Deposito fluviale di fondo valle (b)

Depositi alluvionali a granulometria prevalente ghiaiosa-sabbiosa e matrice limosa, altamente permeabili.

##### Coltri eluvio-colluviali (b2).

Costituito da clasti di dimensioni eterometriche immersi in matrice argilloso-siltosa, queste coltri affiorano estesamente nell'area rilevata e costituiscono, insieme al flysch numidico, il litotipo prevalente affiorante nell'area interessata dal progetto. Hanno un grado di permeabilità variabile, che si attesta tra basso e medio, talora anche medio-alto. Le acque, una volta filtrate verticalmente, vengono recepite e drenate verso la rete idrografica dal substrato pelitico impermeabile. Nelle frazioni destinate ai pannelli si può escludere la presenza della "falda" negli strati superficiali; in genere essa si attesta a profondità > ai 5 m da p.c.

✓ **Sistema del fiume Milicia (ILC<sub>1</sub>)**

Depositi alluvionali mediamente permeabili, costituiti da ghiaie, ciottoli e massi in matrice siltoso-sabbiosa o siltoso-argillosa.

✓ **Argille Varicolori Inferiori (AVF)**

Argille, marne rossastre, caotiche alla base, argilliti policrome con intercalazioni di calcareniti e calcilutiti verdastre. Marne nere ed argille grigie sottili calcareniti risedimentate. Questi litotipi sono caratterizzati da un grado di permeabilità molto basso, talora nullo, che inibiscono l'infiltrazione a favore del ruscellamento delle acque superficiali verso il reticolo idrografico.

✓ **Flysch Numidico**

Membro di Portella Colla (FYN<sub>2</sub>)

Peliti di colore bruno talora manganesifere, con laminazione piano-parallela. Questi litotipi, che insieme alla coltre eluvio-colluviale (AFL<sub>b2</sub>) affiorano estesamente

nell'area di studio, costituiscono il litotipo prevalente. Questo litotipo è caratterizzato da un grado di permeabilità molto basso, talora nullo, che inibisce l'infiltrazione a favore del ruscellamento delle acque superficiali verso il reticolo idrografico. Costituisce il substrato impermeabile al di sotto della coltre eluvio-colluviale (AFL<sub>b2</sub>).

Grado di Permeabilità				
A	M	B	MB	A: Alta; M: Media; B: Bassa; MB: Molto Bassa
				DEPOSITI DI FRANA - AFL <sub>a1</sub>
				DETRITO DI FALDA ETEROMETRICO - AFL <sub>a3</sub>
				DEPOSITI ALLUVIONALI E LITORANEI - AFL <sub>b</sub>
				DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI - AFL <sub>b2</sub>
				SISTEMA DEL FIUME MILICIA (SUBSISTEMA BORDONARO) - ILC <sub>1</sub>
				ARGILLE VARICOLORI INFERIORI - AVF
				FLYSCH NUMIDICO - FYN <sub>1</sub>
				FLYSCH NUMIDICO - FYN <sub>2a</sub>
				FORMAZIONE MUFARA - MUF <sub>a</sub>
				FORMAZIONE CRISANTI (MEMBRO DELLE BRECCIE AD ELLIPSACTINIA) - CRI <sub>1</sub>
				FORMAZIONE HYBLA - HYB
				FORMAZIONE BUCCHERI - BHC
				FORMAZIONE BUCCHERI - β

Figura 42 – Schema correlativo tra le formazioni presenti nell'area di studio e il loro grado di permeabilità



Membro di Portella Colla (FYN<sub>2a</sub>)

Conglomerati ad elementi principalmente quarzarenitica, a forma arrotondati e pluridimensionali. Immersi in una matrice arenitico-sabbiosa, presentano talora intercalazioni arenacee con grani quarzarenitici di taglia variabile e immersi in matrice siltoso-argillosa. Nell'area rilevata affiorano distintamente in corrispondenza delle creste, ma diversi blocchi possono essere facilmente riscontrati in tutta l'area di progetto, talvolta "nascosti" da coperture eluvio-colluviali e/o da rimaneggiamenti naturali o antropici. Posseggono un grado di permeabilità che si attesta tra il medio e medio-alto e che principalmente si manifesta per porosità primaria e in subordinate tramite fratture (dunque permeabilità secondaria).

✓ **Formazione Mufara (MUF)**

Argille e marne-argillose bruno-giallastre con subordinate calcilutiti, caratterizzati da un grado di permeabilità molto basso, talora nullo, che inibiscono l'infiltrazione a favore del ruscellamento delle acque superficiali verso il reticolo idrografico.

✓ **Formazione Crisanti (CRI<sub>2</sub>)**

Banchi di brecce, conglomerati e calcareniti bioclastiche grigie ben stratificate alternate con marne argillose giallastre laminate. Dal punto di vista idrogeologico questa formazione è caratterizzato da un grado di permeabilità che si attesta tra medio-alto e alto, talora medio in basso in presenza della componente di argillosa e marnosa.

✓ **Formazione Hybla (HYB)**

Calcilutiti grigio nerastre e selciose che verso l'alto si sostituiscono litotipo più argillosi e con colorazioni brunastre cui si intercalano livelli bioclastici grossolani. Sono caratterizzati da un grado di permeabilità che va da basso a molto-basso.

✓ **Formazione Buccheri (BHC)**

Radiolariti e calcari diasprigni rosso-verdastre con vulcaniti costituite da sequenze di lave a pillow e ialoclastiti ( $\beta$ ). Questa formazione è caratterizzata da litotipi che dal punto di vista idrogeologico hanno un grado di permeabilità alto e alto-elevato, di tipo sia primaria (porosità) che secondaria (fessurazione e/o fratturazione).

## 10 CAMPAGNA INDAGINI

Al fine di caratterizzare l'area di studio sotto il profilo geotecnico e sismico, è stata pianificata una campagna d'indagini dirette e indirette del sottosuolo.

In particolare, l'area interessata dalla messa in opera delle strutture porta-moduli (Area 1) insiste su terreni di natura coesiva e/o granulare, con una certa continuità litostratigrafica e omogeneità nella caratterizzazione geotecnica, almeno nelle porzioni superficiali interessate dalle azioni di progetto. Prevedendo che tali strutture saranno dotate di dispositivi di ancoraggio standard a pali infissi (battitura e/o rotazione), progettati per resistere a carichi e trazioni con un'ampia varietà di terreni, in condizioni stabili, in questa fase progettuale si è ritenuto sufficiente articolare la campagna d'investigazione come segue:

- ✓ n°12 prova penetrometrica con penetrometro dinamica continua (DP);
- ✓ n°5 indagine sismica di tipo MASW;

Un'ulteriore indagine sismica di tipo MASW è stata eseguita all'interno dell'Area 4, in prossimità della stazione di Smistamento "Villafrati", e lungo un tratto di strada in cui è previsto il posizionamento del Cavidotto AT a 150 kV.

La correlazione tra le stratigrafie geologiche e sismiche emerse dalle prove geotecniche in situ e dalle indagini geofisiche, unitamente alle informazioni bibliografiche presenti nella letteratura tecnico-scientifica, ha consentito di ricostruire con un buon grado di risoluzione i rapporti stratigrafici tra le unità litotecniche superficiali, nonché la caratterizzazione geotecnica dei litotipi di fondazione, necessaria per la determinazione delle azioni di progetto.

I risultati delle indagini MASW, inoltre, sono stati utilizzati anche per la determinazione dell'azione sismica locale, secondo i dettami delle N.T.C. 2018.

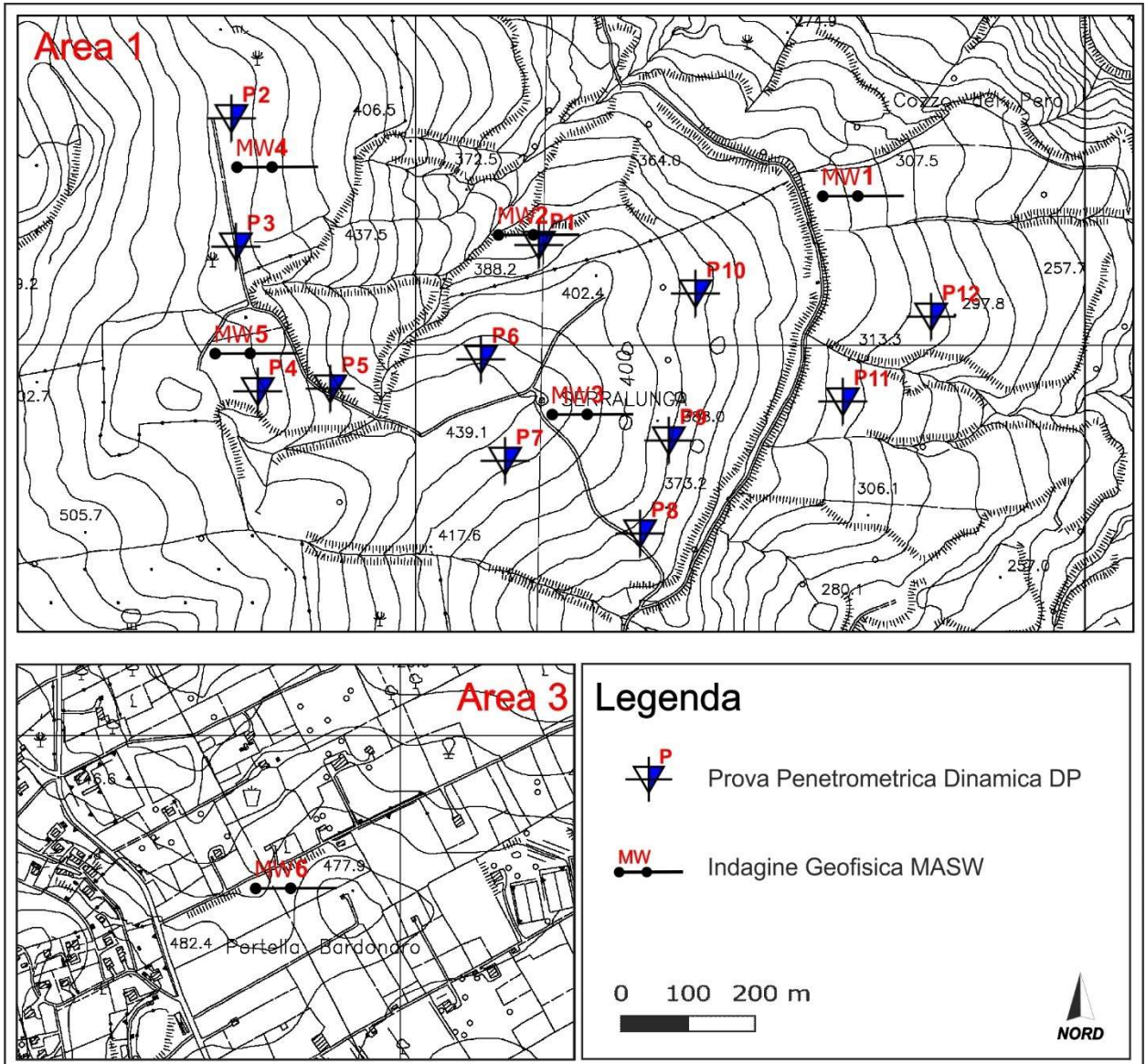


Figura 43– Ubicazione delle indagini MASW e DP.

## 11 MODELLAZIONE SISMICA

### 11.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base che, definita da uno studio condotto dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Dalla pericolosità sismica di base si ricava la risposta sismica locale tenendo conto delle condizioni morfologiche e stratigrafiche del sito di costruzione.

La pericolosità sismica di base è definita in termini di massima (o picco) accelerazione orizzontale del suolo attesa  $a_g$  (nota in letteratura scientifica anche come  $a_{max}$  o PGA) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_c(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$ , nel periodo di riferimento  $V_r$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ✓  $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- ✓  $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- ✓  $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti dall'INGV in corrispondenza di un reticolo di oltre 16000 nodi, ridotti successivamente a 10751 dalle norme che hanno ristretto le aree in mare. I punti definiti tramite le coordinate di latitudine e longitudine ricoprono tutto il territorio nazionale. Per ogni nodo del reticolo geografico i parametri sono forniti in corrispondenza di determinati periodi di ritorno TR (**30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni**)

I parametri di pericolosità sismica sono definiti convenzionalmente nel rispetto delle seguenti ipotesi:

- ✓ Condizioni di campo libero, ovvero assenza di manufatti sul terreno;
- ✓ superficie topografica orizzontale (categoria T1)
- ✓ sito di riferimento rigido (categoria A)

Ovviamente è raro che tali ipotesi verifichino nelle situazioni reali; pertanto, verranno apportate delle opportune modifiche agli spettri di risposta mediante degli opportuni coefficienti di amplificazione.



### 11.1.1 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli stati limiti di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Gli stati limiti ultimi sono invece:

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati nella successiva tabella:

Tabella 3 – Probabilità di superamento degli stati limite.

Stati limite		P <sub>vr</sub> : probabilità di superamento nel periodo di riferimento V <sub>r</sub>
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

### 11.1.2 Periodo di riferimento dell'azione sismica, vita nominale e classi d'uso

Per valutare l'azione sismica si parte dal periodo di riferimento  $V_r$  di una costruzione che viene ottenuto moltiplicando la vita nominale  $V_n$  della costruzione (funzione del tipo di costruzione) per il coefficiente d'uso  $C_u$  (funzione della classe d'uso):

$$V_r = V_n \cdot C_u$$

Tabella 4 – Parametri utilizzati per la valutazione dell'azione sismica.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_u$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_u$	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella C2.4.I. - Intervalli di valori attribuiti a  $V_r$  al variare di  $V_N$  e  $C_u$

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

### 11.1.3 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Tabella 5 –Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

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

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $VS_{30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m. di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. La misura o il calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (NSPT<sub>30</sub>) nei terreni a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente (C<sub>u,30</sub>) nei terreni prevalentemente a grana fina.

#### 11.1.4 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 6 – Classificazione della categoria topografica.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isoalti con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

#### 11.1.5 Valutazione dell'azione sismica

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnata da X e Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico. La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale.

In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.



### 11.1.6 Spettro di risposta delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$  considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 [T/T_B + 1/\eta F_0 (1 - T/T_B)]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 (T_c / T)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g S \eta F_0 (T_c T_D / T^2)$$

Nelle quali  $T$  ed  $S_c$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale ed inoltre:

$S = S_s S_r$  è il fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione;

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per smorzamenti viscosi convenzionali,  $\eta = [(10/5+\xi)]^{(1/2)}$  dove  $\xi$  è valutato sulla base dei materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;

$T_c$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

## 11.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

La definizione della pericolosità sismica del sito di progetto è l'aspetto basilare su cui si fonda il calcolo progettuale all'interno delle nuove norme tecniche per le costruzioni.

Di seguito viene effettuata:

1. l'ubicazione del sito all'interno del reticolo di riferimento, costituito da 10751 punti che coprono l'intero territorio nazionale. A ogni nodo del reticolo corrispondono i relativi parametri spettrali  $A_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  per vari tempi di ritorno  $T_r$ . Il calcolo dei parametri del sito interessato viene effettuata per interpolazione dei valori in corrispondenza dei nodi del reticolo.
2. Calcolo degli Stati Limite, ciò avviene tramite la definizione della Classe dell'Edificio e della sua Vita Nominale.

3. Individuazione della categoria del sottosuolo tramite indagine geofisica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e di quella topografica tramite funzioni di raster terrain analysis.
4. Identificazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico SS, del coefficiente funzione di categoria CC e del coefficiente di amplificazione topografico ST.
5. Individuazione del coefficiente sismico verticale ( $K_v$ ), del coefficiente sismico orizzontale ( $K_h$ ), del coefficiente di riduzione per spostamento massimo ( $\beta$ ) e dell'accelerazione massima al suolo ( $A_g$ ) e degli spettri di risposta elastica in accelerazione.

#### 11.2.1 *Calcolo del $V_{s,eq}$ e individuazione della categoria di sottosuolo*

La nuova normativa tecnica per le costruzioni in aree sismiche, il D.M. del 17 gennaio 2018, conferma le importanti innovazioni del D.M. 14.01.08, introdotte in merito alla progettazione antisismica che ci adegua allo standard europeo e mondiale (Ordinanza 3274/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, Eurocodici EC7 ed EC8). Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata confermata la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E), eliminando invece le categorie S1 ed S2, sulla base del parametro  $V_{s,eq}$ . Questo rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde S dei terreni poggianti sul substrato rigido, a profondità H (m), con  $V_s$  pari o superiore ad 800 m/s, calcolati a partire dalla quota di base delle fondazioni, ed è calcolato mediante l'espressione:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1..N} (h_i / V_{s,i})$$

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

Viene in sostanza confermata l'importanza del parametro Vs che, com'è noto, è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Nel caso specifico l'acquisizione del modello Vs nel sottosuolo è stata condotta tramite l'esecuzione d'indagini geofisiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in corrispondenza delle aree progettuali.

Per i dettagli si rimanda al relativo rapporto tecnico di prova allegato alla presente relazione. Le prospezioni eseguite hanno fornito modelli di sottosuolo piuttosto differenti fra loro:

#### MASW1

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	152	0,007
2	1.0-3.0	2,0	168	0,012
3	3.0-6.0	3,0	179	0,017
4	6.0-10.0	4,0	283	0,014
5	10.0-14.0	4,0	351	0,011
6	14.0-19.0	5,0	363	0,014
7	19.0-24.0	5,0	382	0,013
8	26.0-30.0	6,0	394	0,015
Σ	□	30,0	Σ	0,103
			<b>V<sub>S,eq</sub> = 291,64</b>	

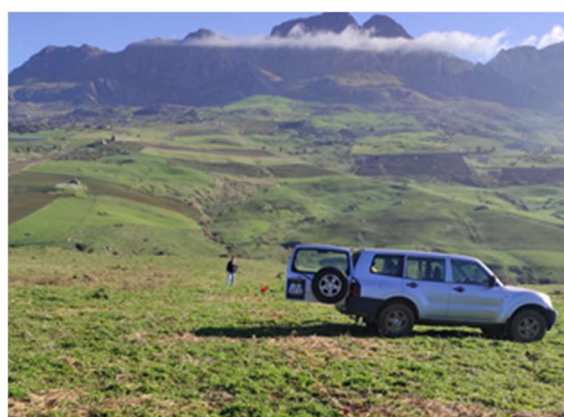


Figura 44 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 1.

#### MASW2

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	175	0,006
2	1.0-3.0	2,0	272	0,007
3	3.0-6.0	3,0	309	0,010
4	6.0-10.0	4,0	253	0,016
5	10.0-14.0	4,0	386	0,010
6	14.0-19.0	5,0	457	0,011
7	19.0-24.0	5,0	506	0,010
8	26.0-30.0	6,0	512	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,081
			<b>V<sub>S,eq</sub> = 368,14</b>	



Figura 45 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 2.

MASW 3

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	234	0,004
2	1.0-3.0	2,0	343	0,006
3	3.0-6.0	3,0	407	0,007
4	6.0-10.0	4,0	505	0,008
5	10.0-14.0	4,0	609	0,007
6	14.0-19.0	5,0	673	0,007
7	19.0-24.0	5,0	701	0,007
8	26.0-30.0	6,0	707	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,055
			<b>V<sub>s,eq</sub> =</b>	<b>545,33</b>



Figura 46 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 3.

MASW 4

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	231	0,004
2	1.0-3.0	2,0	272	0,007
3	3.0-6.0	3,0	281	0,011
4	6.0-10.0	4,0	422	0,009
5	10.0-14.0	4,0	443	0,009
6	14.0-19.0	5,0	450	0,011
7	19.0-24.0	5,0	454	0,011
8	26.0-30.0	6,0	460	0,013
Σ	□	30,0	Σ	0,076
			<b>V<sub>s,eq</sub> =</b>	<b>394,56</b>



Figura 47 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 4.



MASW5

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	209	0,005
2	1.0-3.0	2,0	287	0,007
3	3.0-6.0	3,0	406	0,007
4	6.0-10.0	4,0	435	0,009
5	10.0-14.0	4,0	358	0,011
6	14.0-19.0	5,0	417	0,012
7	19.0-24.0	5,0	465	0,011
8	26.0-30.0	6,0	477	0,013
Σ	□	30,0	Σ	0,075
			$V_{s,eq} =$	<b>400,89</b>



Figura 48 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 5.

MASW6

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	179	0,006
2	1.0-3.0	2,0	248	0,008
3	3.0-6.0	3,0	319	0,009
4	6.0-10.0	4,0	458	0,009
5	10.0-14.0	4,0	532	0,008
6	14.0-19.0	5,0	547	0,009
7	19.0-24.0	5,0	559	0,009
8	26.0-30.0	6,0	579	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,068
			$V_{s,eq} =$	<b>442,77</b>

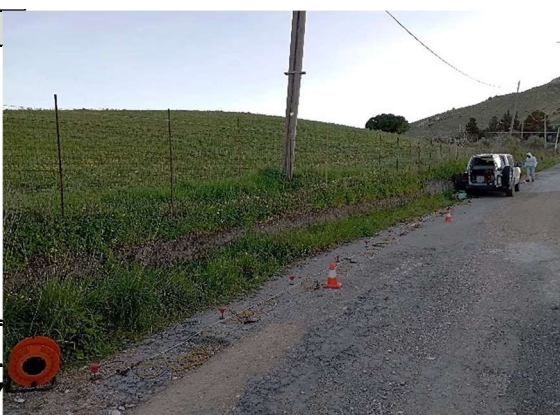


Figura 49 – Tabella dei valori di VS individuati e immagine del sito di esecuzione della prospezione MASW 6.

Entro i 30 metri non viene mai raggiunta la soglia degli 800 m/s, per cui, nell'espressione della velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18, il termine H assume sempre il valore di 30 m.

Solamente il sottosuolo del sito di prova 1 ricade in categoria C, mentre tutti gli altri ricadono nella categoria B di cui alle NTC 2018. Pur tuttavia, anche in questi modelli sono emerse significative differenze.

Allo scopo di permettere un più agevole confronto, i cinque profili sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico, di seguito allegato.

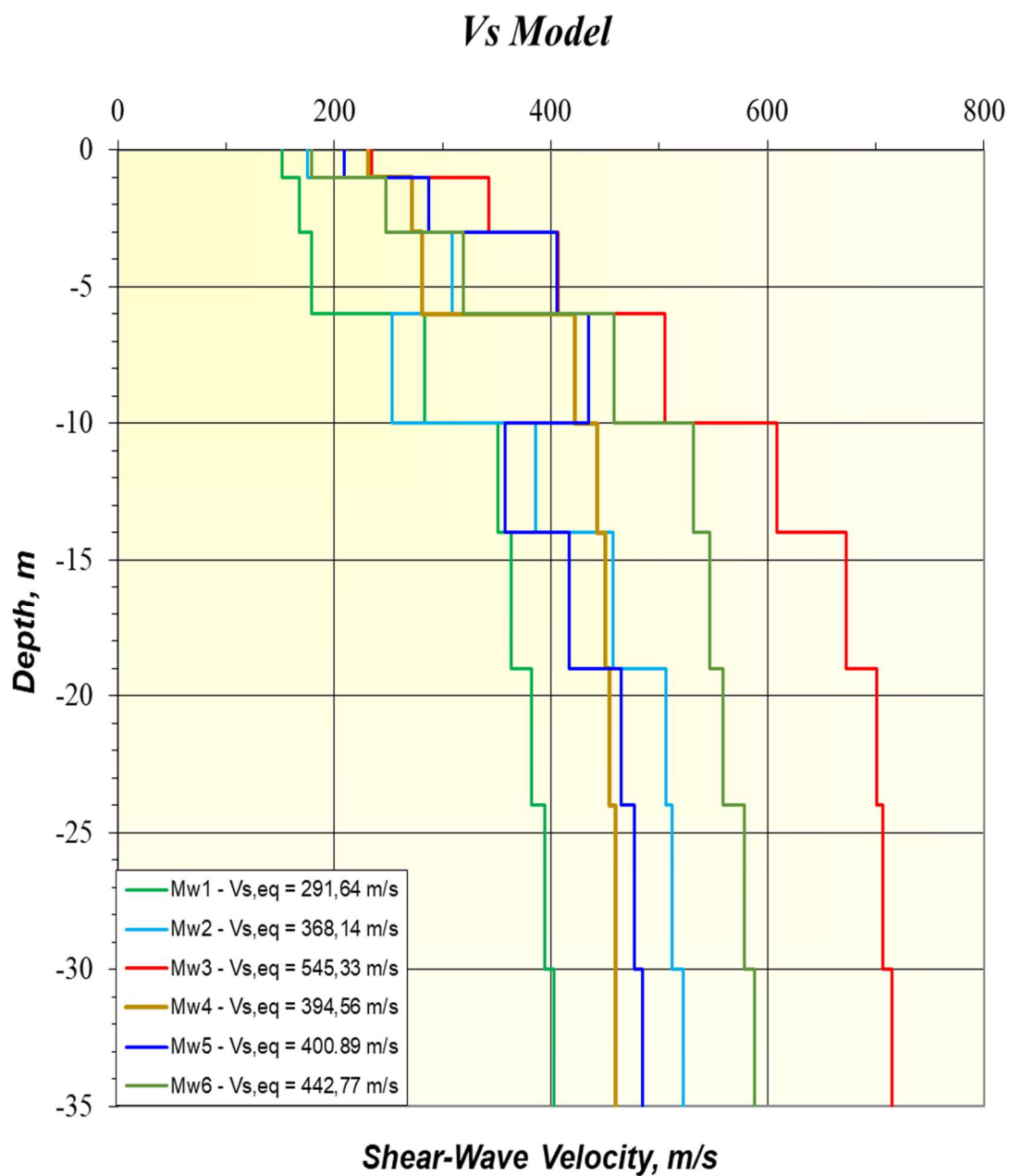


Figura 50 – Grafico riassuntivo dei profili sismostratigrafici 1D individuati tramite le indagini MASW.

### 11.2.2 Calcolo e individuazione della categoria topografica

Al fine di individuare la categoria topografica del sito è stata eseguita un'analisi geomorfologica tramite raster terrain analysis. Nel caso specifico per il calcolo e la definizione della pendenza del terreno nell'area di studio è stato utilizzato il DEM con maglia 2x2m della Regione Sicilia.

Analizzare la geomorfologia di un territorio attraverso un formato raster è di grande importanza per effettuare elaborazioni all'interno dei GIS, utilizzando prodotti quali DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model) e DTM (Digital Terrain Model).

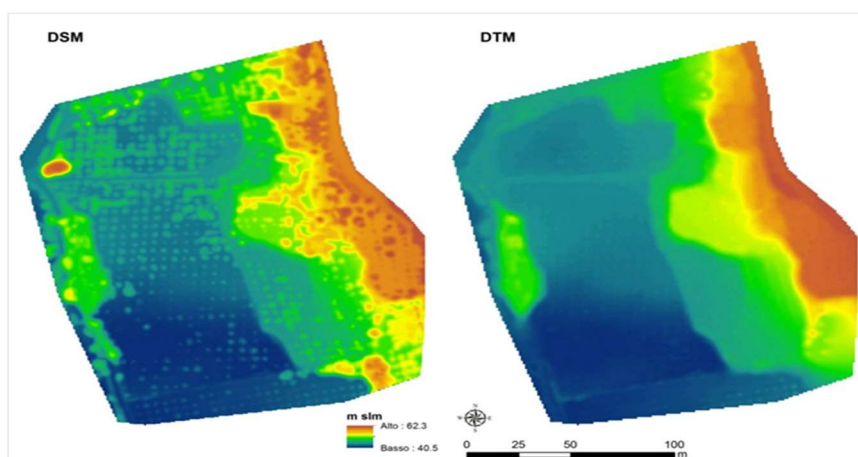


Figura 51 – Immagine esplicativa della differenza visiva tra un DSM e un DTM.

I tre modelli descrivono con continuità la superficie terrestre, rappresentati da una matrice di punti sottoforma di triplette di coordinate (x,y,z). Il termine DEM viene spesso utilizzato quando l'elevazione della superficie topografica è modellata tramite raster GRID, cioè tramite una matrice regolare di valori di quota. L'acronimo DTM spesso sottintende la modellazione della superficie del terreno attraverso la struttura TIN.

Sfruttando le informazioni delle altezze dei singoli punti nella matrice, è possibile effettuare analisi di tipo tridimensionale. In particolare, da un DEM o DTM è possibile derivare i seguenti prodotti:

- ✓ Curve di livello (Contour),
- ✓ Pendenze (Slope),
- ✓ Esposizioni (Aspect),
- ✓ Illuminazione solare relativa (Hillshade),
- ✓ Intervisibilità (Viewshed),
- ✓ Calcolo di variazioni di volume (Cut & Fill),

- ✓ Calcolo di area e volume.

Nei GIS la superficie terrestre è descritta in forma numerica dall'equazione  $z=f(x,y)$ , ovvero l'elevazione è legata tramite una funzione al variare della coppia di coordinate  $x,y$ . L'analisi delle variazioni locali dell'elevazione del terreno si basa sul calcolo delle derivate prima e seconda della superficie  $z = f(x,y)$ . Il parametro dell'acclività o pendenza risulta essere veramente importante in termini di stabilità dei versanti dove ad una variazione maggiore di pendenza è associata una maggiore instabilità dei terreni, in termini di erosività dell'acqua e in termini di clima di una zona in quanto l'energia solare che incide su quest'ultima dipende dalla sua inclinazione.

Nei software GIS il calcolo della pendenza di un terreno viene effettuata sulla base di una struttura dati raster GRID le cui celle contengono l'informazione altimetrica (la quota del terreno). Per ogni cella la pendenza viene calcolata come rapporto tra la differenza di quota (rise) tra la cella

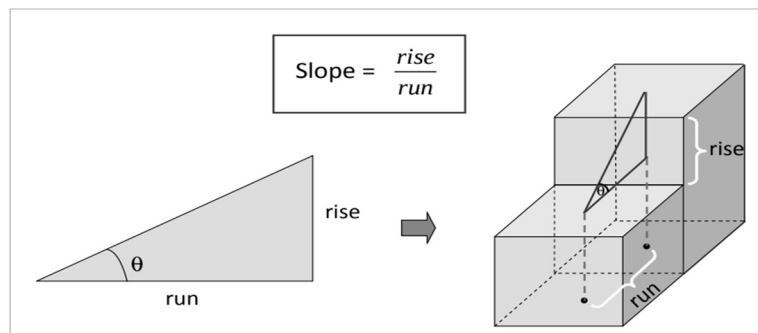


Figura 52 – Schema esplicativo di come viene individuato il valore di

immediatamente vicina e quella corrente e la distanza (run) tra i centri delle due celle.

Lo slope altro non è che l'angolo della tangente rappresentata trigonometricamente dal rapporto rise/run,  $\tan\theta = \text{rise}/\text{run}$

La pendenza può essere espressa in gradi o in percentuale:

$$\text{percentuale pendenza} = (\text{rise}/\text{run}) * 100$$

Dal punto di vista matematico la funzione  $z = f(x,y)$  utilizzata per modellare la superficie del terreno, è una funzione delle due variabili  $x$  e  $y$ , le quali rappresentano anche le direzioni dei due assi coordinati del sistema di riferimento geografico (o cartografico). Ciò comporta che la pendenza possa assumere valori diversi a seconda della

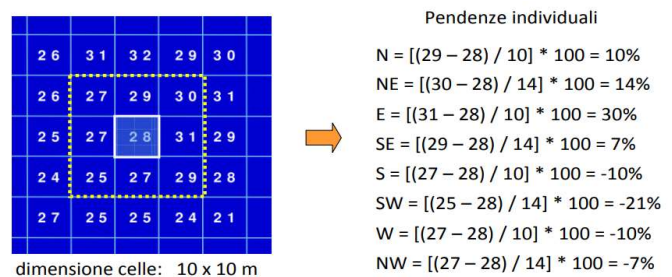


Figura 53 – Esempio di come il plugin calcola le pendenze.



direzione considerata.

Di conseguenza, per ogni cella, il calcolo della pendenza viene effettuato valutando la variazione di quota tra una cella e le sue otto adiacenti (finestra mobile 3x3). Dell'insieme di valori di pendenza così calcolati, alla cella viene assegnato uno dei seguenti parametri statistici (valore assoluto): il massimo, la media e la mediana.

Operativamente in una prima fase, dal DEM 2x2 della Regione Sicilia si è proceduto con l'analisi geomorfologica finalizzata all'individuazione dei valori di inclinazione del terreno. I risultati di inclinazione ottenuti sono stati espressi in percentuale; successivamente sono stati creati 6 classi (<5%; 5-10%;10-15%;15-30%; 30%-60%; >60%) a cui sono stati associati sette differenti colori.

Successivamente tramite analisi statistica effettuata sul raster di riferimento, è stato determinato il valore medio e convertito da valori percentuali in gradi (Fig.54).

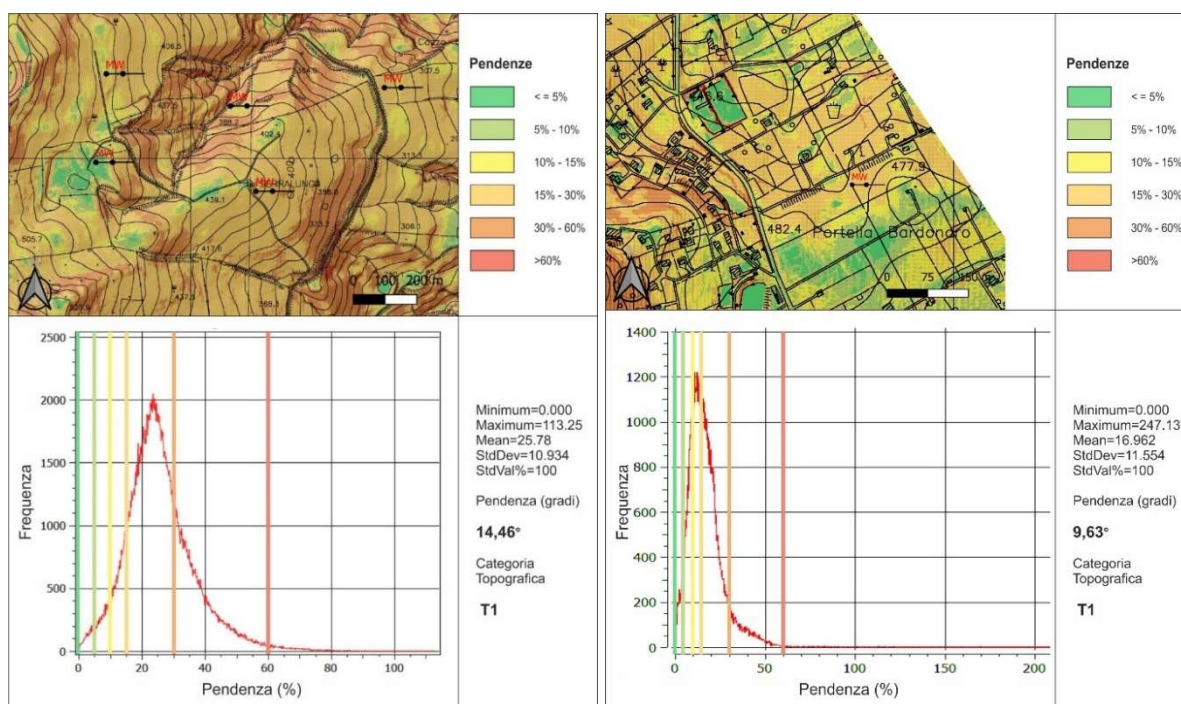


Figura 54 – Workflow utilizzato per individuare la categoria topografica: 1 calcolo delle acclività da un DTM 2x2 in formato raster;2 analisi statistica per individuare il valore medio; 3 conversione della pendenza da percentuale in gradi; 4 individuazione della categoria topografica.

In virtù da quanto indicato nelle NTC18, la topografia delle aree in esame rientra nella categoria **T1**.

### 11.2.3 Parametri sismici e spettri di risposta elastica in accelerazione

#### Sito in esame (Area 1)

Coordinate: WGS84: Lat 37.974152 - Lng 13.499980 - ED50: Lat 37.975213 - Lng 13.500833



Figura 55– Individuazione dei nodi del reticolo e delle coordinate del sito oggetto di studio.

Coordinate: ED50; Classe d'uso: II; Vita nominale: 50 [anni]; Tipo di interpolazione: Media ponderata

Tabella 7 - Dati relativi i nodi usati per la modellazione sismica (ID; coordinate e distanza dall'area progettuale)

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	45843	37,984960	13,490810	1395,1
Sito 2	45844	37,984950	13,554050	4788,3
Sito 3	46066	37,934950	13,554030	6465,1
Sito 4	46065	37,934960	13,490840	4560,9

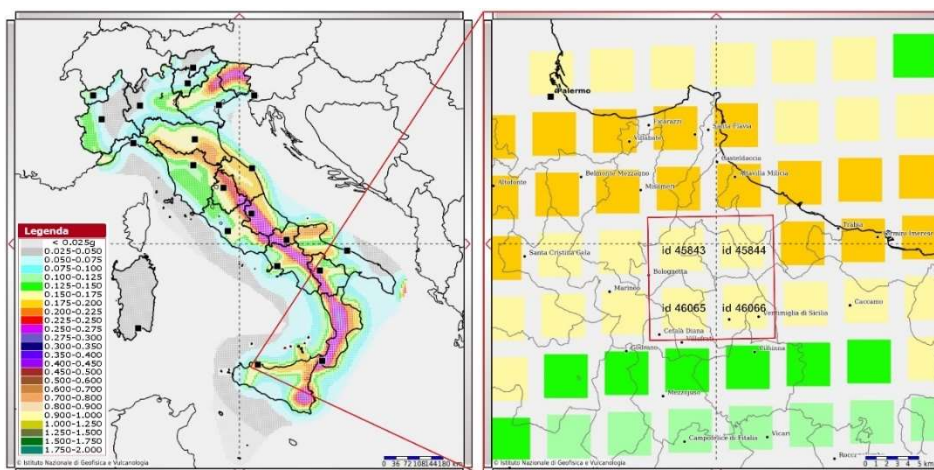


Figura 56 – Mappa della pericolosità sismica in Italia: Parametro di scuotimento PGA; Probabilità in 50 anni = 10%; Percentile = 50° (sx); dettaglio con in evidenza i nodi ID: 45843, 45844, 46065 e 46066 (dx).

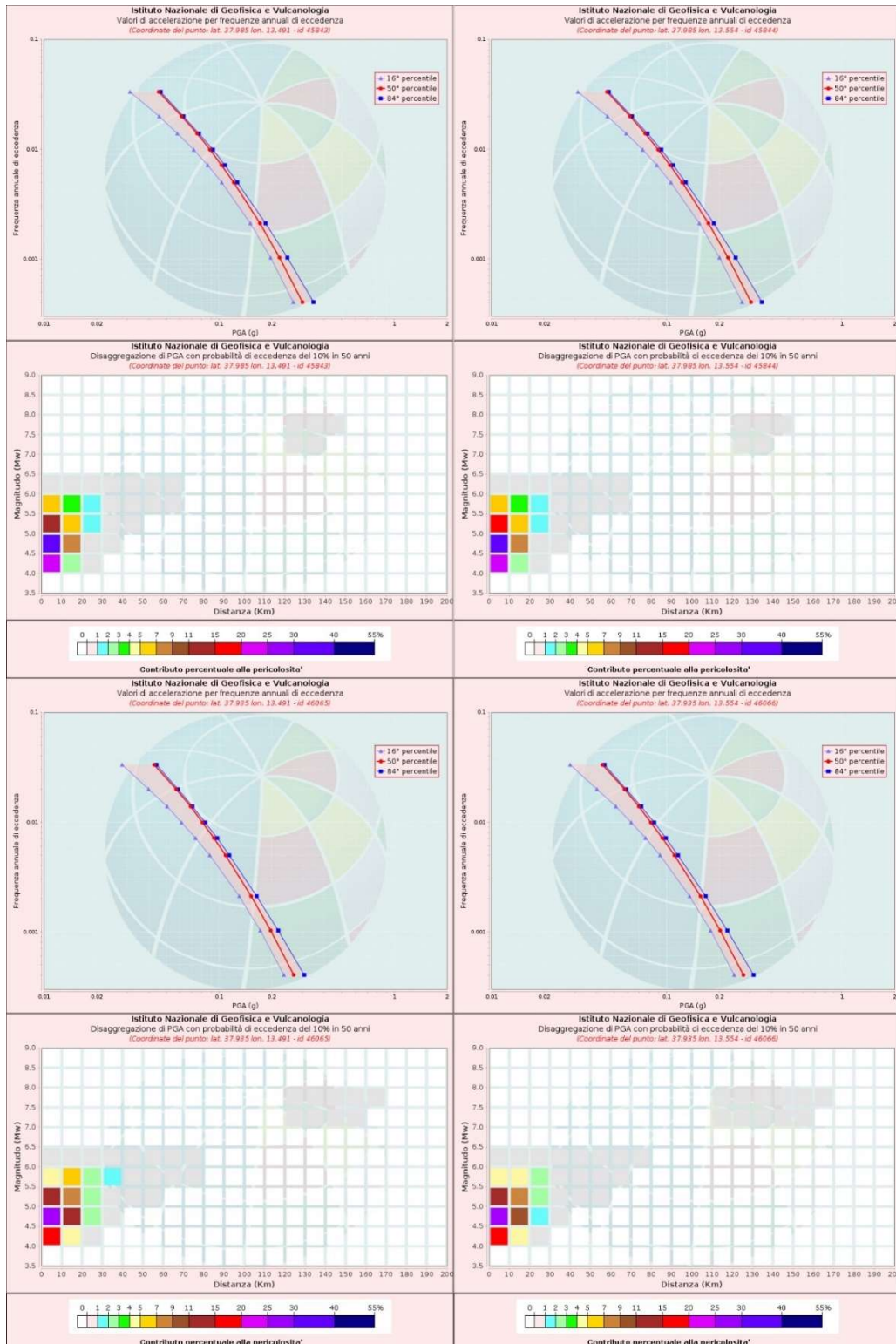


Figura 57– Grafici dei valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza e grafici di disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti i nodi ID: 45843, 45844, 46065 e 46066.

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente  $c_u$ : 1

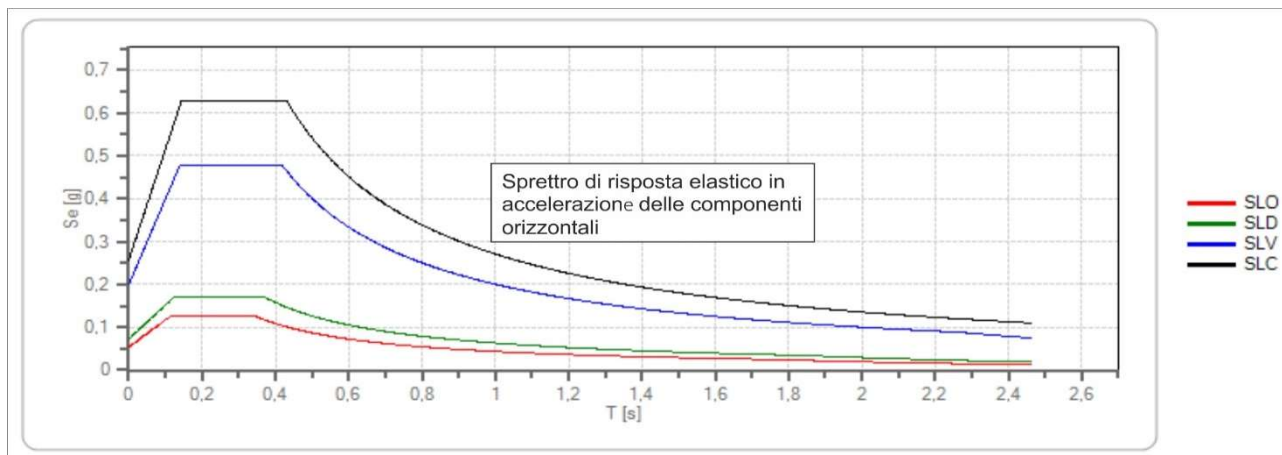
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,045	2,353	0,234
Danno (SLD)	63	50	0,060	2,356	0,255
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,167	2,382	0,299
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,216	2,444	0,310

Coefficienti sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,470	1,000	0,011	0,005	0,526	0,200
SLD	1,200	1,450	1,000	0,014	0,007	0,709	0,200
SLV	1,200	1,400	1,000	0,048	0,024	1,965	0,240
SLC	1,190	1,390	1,000	0,072	0,036	2,519	0,280

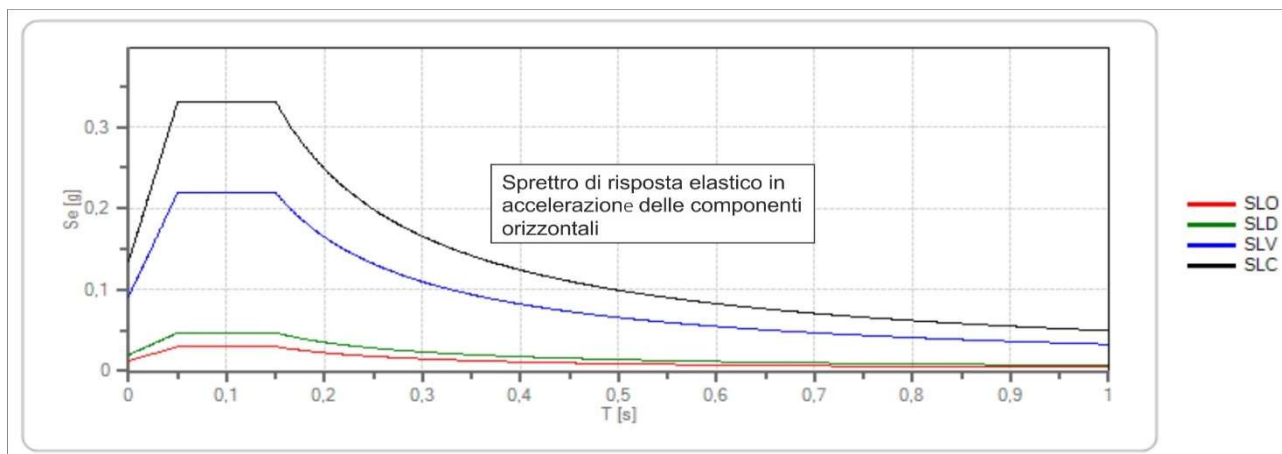


Risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,045	2,353	0,234	1,200	1,470	1,000	1,200	1,000	0,115	0,344	1,779
SLD	1	0,060	2,356	0,255	1,200	1,450	1,000	1,200	1,000	0,123	0,370	1,841
SLV	1	0,167	2,382	0,299	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,140	0,419	2,268
SLC	1	0,216	2,444	0,310	1,190	1,390	1,000	1,190	1,000	0,144	0,431	2,464

Risposta elastica in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,045	2,353	0,234	1,000	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,060	2,356	0,255	1,000	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,167	2,382	0,299	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,216	2,444	0,310	1,000	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

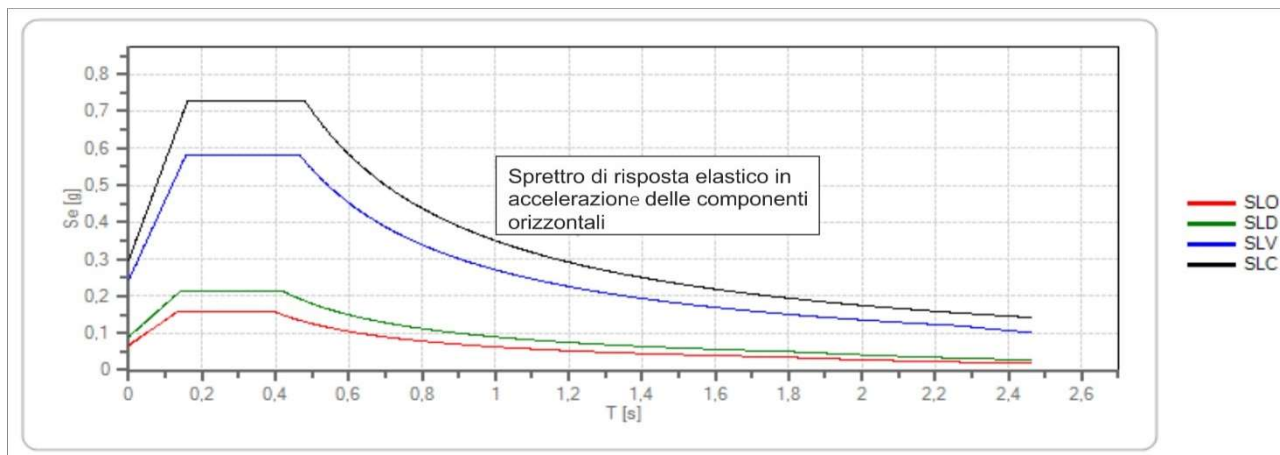
Coefficiente  $c_u$ : 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,045	2,353	0,234
Danno (SLD)	63	50	0,060	2,356	0,255
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,167	2,382	0,299
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,216	2,444	0,310

Coefficienti sismici Stabilità dei pendii

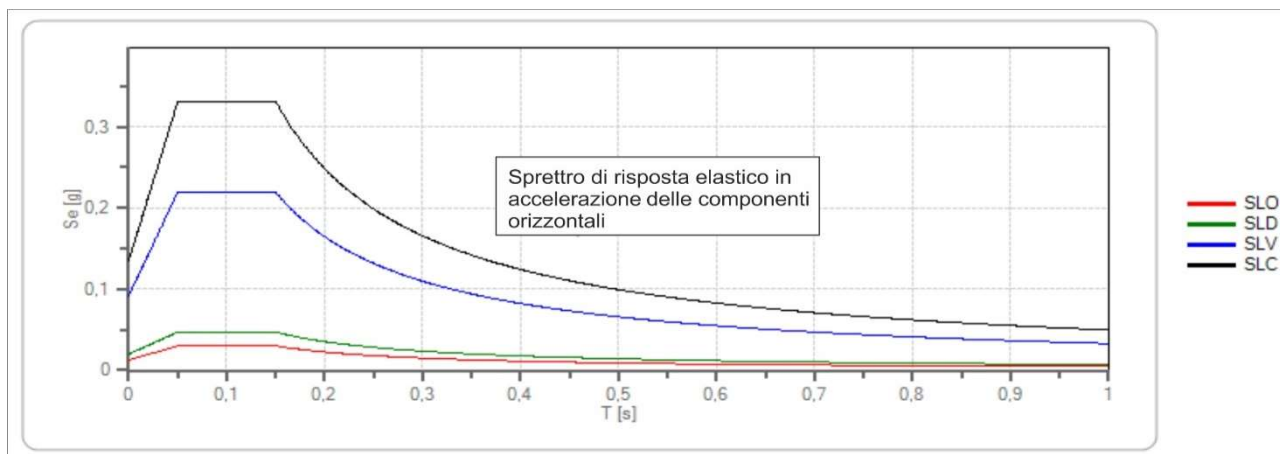
	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,700	1,000	0,013	0,007	0,658	0,200
SLD	1,500	1,650	1,000	0,018	0,009	0,887	0,200
SLV	1,460	1,560	1,000	0,059	0,029	2,391	0,240
SLC	1,380	1,550	1,000	0,083	0,042	2,922	0,280

Risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,045	2,353	0,234	1,500	1,700	1,000	1,500	1,000	0,133	0,398	1,779
SLD	1	0,060	2,356	0,255	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,841
SLV	1	0,167	2,382	0,299	1,460	1,560	1,000	1,460	1,000	0,156	0,467	2,268
SLC	1	0,216	2,444	0,310	1,380	1,550	1,000	1,380	1,000	0,160	0,481	2,464

Risposta elastica in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,045	2,353	0,234	1,000	1,700	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,060	2,356	0,255	1,000	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,167	2,382	0,299	1,000	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,216	2,444	0,310	1,000	1,550	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Sito in esame (Area 4)

Coordinate: WGS84 Lat 37.944388 - Lng 13.472360- ED50: ED50: Lat 37.945450 - Lng 13.473214

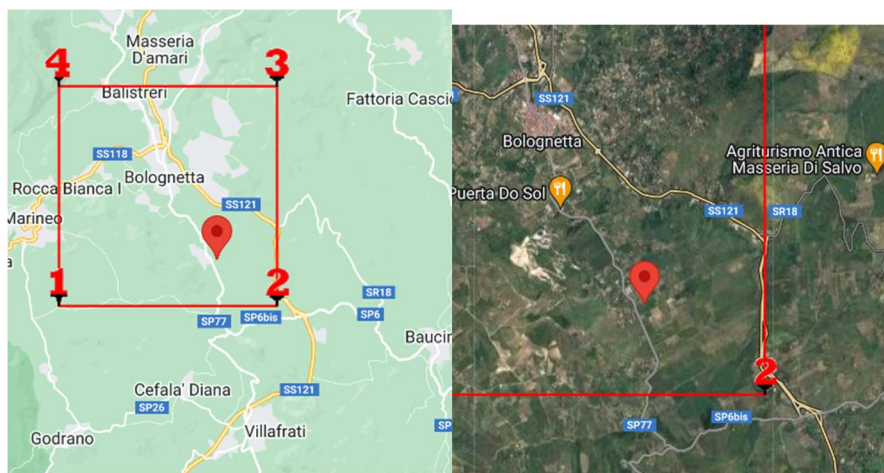


Figura 58 – Individuazione dei nodi del reticolo e delle coordinate del sito oggetto di studio.

Coordinate: ED50; Classe d'uso: II; Vita nominale: 50 [anni]; Tipo di interpolazione: Media ponderata

Tabella 8 - Dati relativi i nodi usati per la modellazione sismica (ID; coordinate e distanza dall'area progettuale)

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	46064	37,934940	13,427640	4163,9
Sito 2	46065	37,934960	13,490840	1936,4
Sito 3	45843	37,984960	13,490810	4656,2
Sito 4	45842	37,984940	13,427520	5943,7

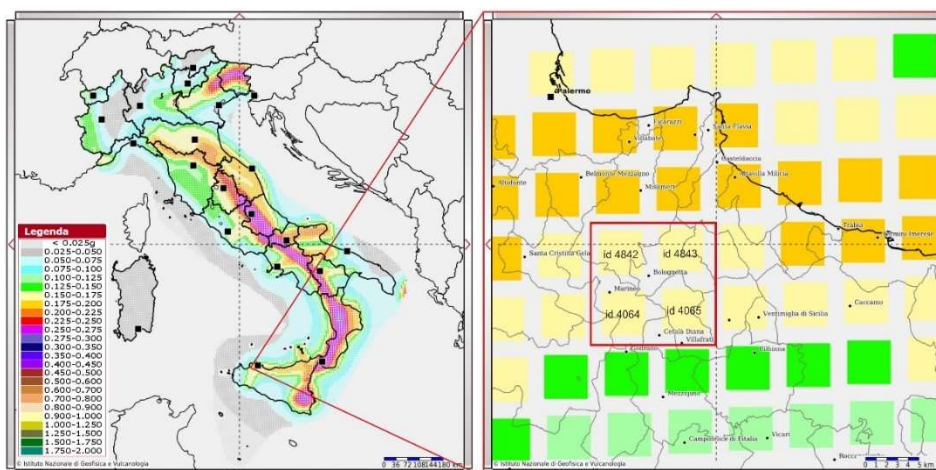


Figura 59 – A sinistra la mappa della pericolosità sismica in Italia: Parametro di scuotimento PGA; Probabilità in 50 anni = 10%; Percentile = 50°; a destra un dettaglio della mappa della pericolosità con in evidenza i 4 nodi utilizzati (ID: 45842, 45843, 46064 e 46064).



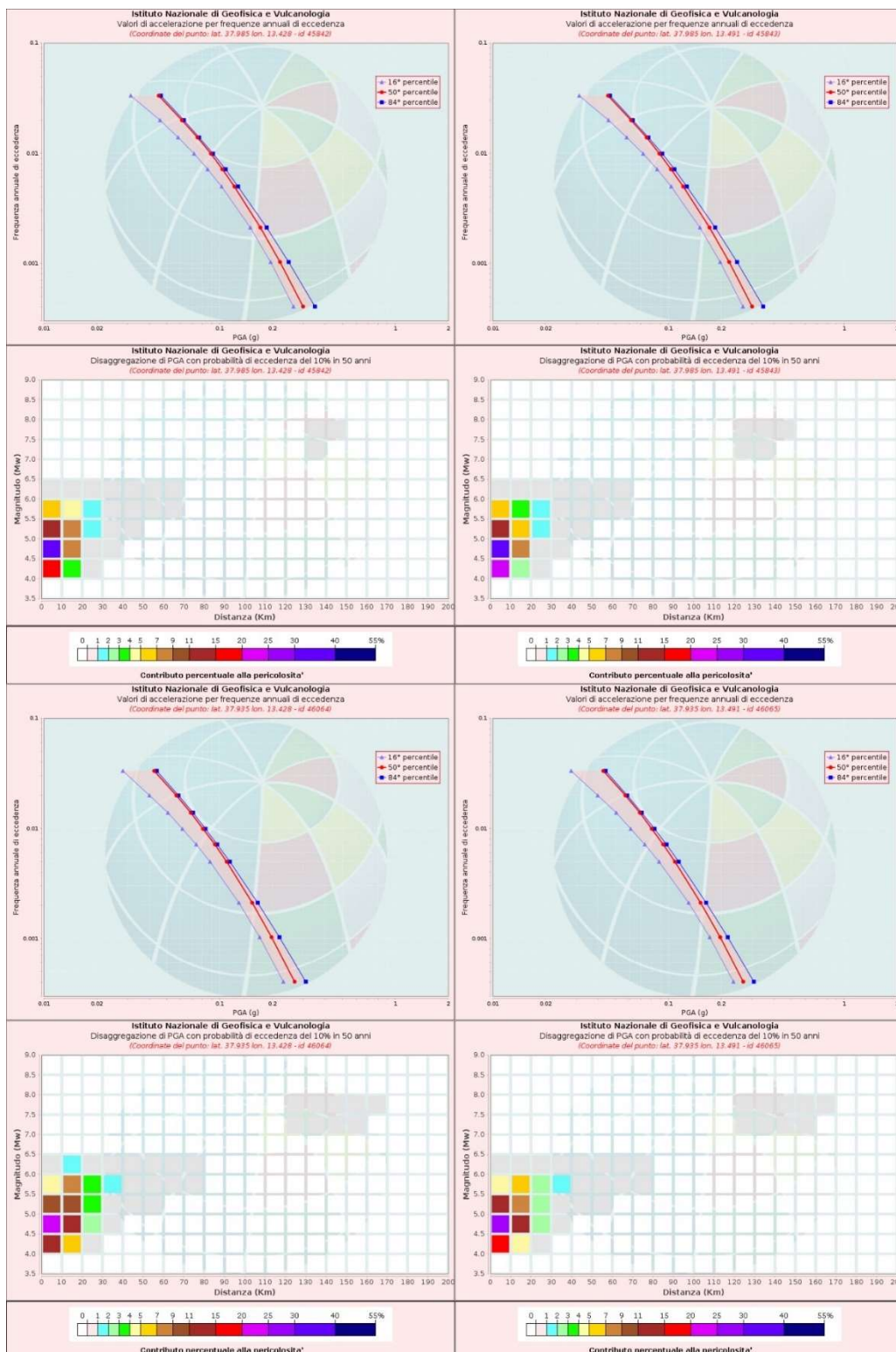


Figura 60– Grafici dei valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza e grafici di disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti i nodi ID: 45843, 45844, 46065 e 46066.

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

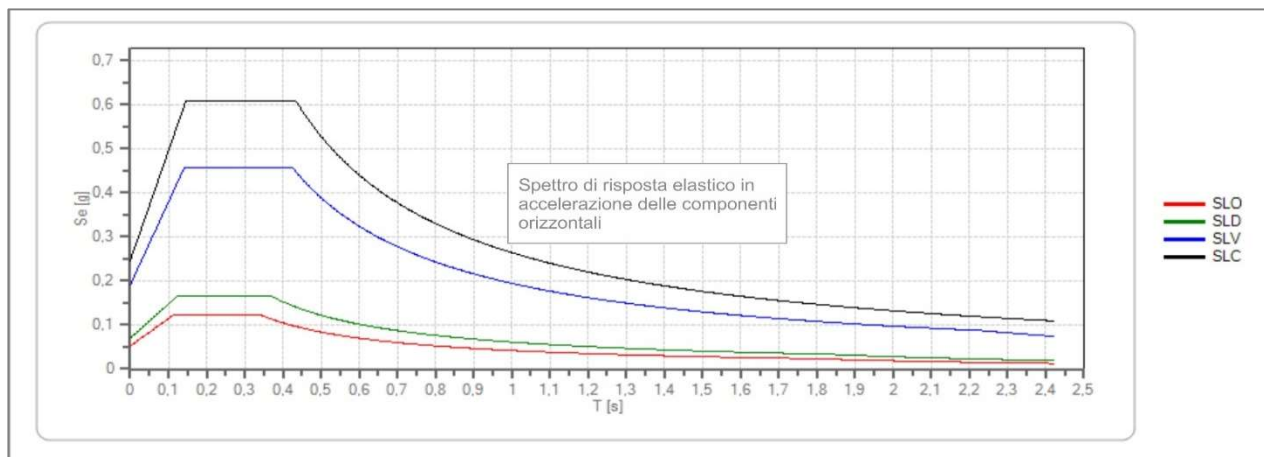
Coefficiente  $c_u$ : 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,044	2,357	0,232
Danno (SLD)	63	50	0,058	2,360	0,255
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,159	2,396	0,304
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,206	2,462	0,313

Coefficienti sismici Stabilità dei pendii

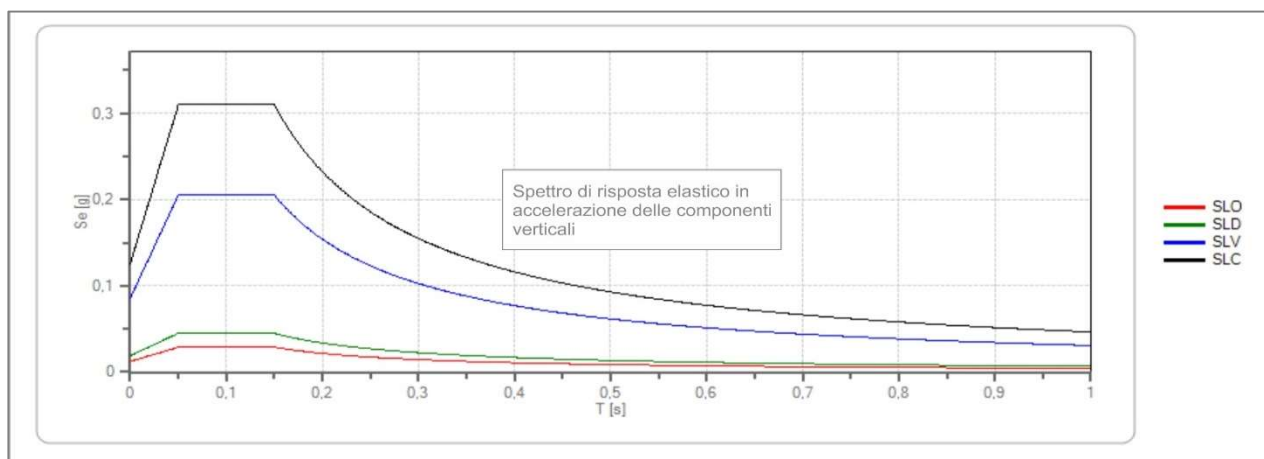
	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,470	1,000	0,000	--	0,512	--
SLD	1,200	1,450	1,000	0,033	0,016	0,687	0,470
SLV	1,200	1,400	1,000	0,073	0,036	1,872	0,380
SLC	1,200	1,390	1,000	0,000	--	2,418	--

Risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,044	2,357	0,232	1,200	1,470	1,000	1,200	1,000	0,114	0,341	1,774
SLD	1	0,058	2,360	0,255	1,200	1,450	1,000	1,200	1,000	0,123	0,369	1,834
SLV	1	0,159	2,396	0,304	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,142	0,425	2,236
SLC	1	0,206	2,462	0,313	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,145	0,435	2,422

Risposta elastica in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,044	2,357	0,232	1,000	1,470	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,058	2,360	0,255	1,000	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,159	2,396	0,304	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,206	2,462	0,313	1,000	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

## 12 CARATTERISTICHE E PARAMETRI GEOTECNICI DEL SITO DI FONDAZIONE

### **12.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DP)**

La prova penetrometrica dinamica continua DP consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi  $N$  necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- ✓ peso massa battente  $M$ ;
- ✓ altezza libera caduta  $H$ ;
- ✓ punta conica: diametro base cono  $D$ , area base  $A$  (angolo di apertura  $\alpha$ );
- ✓ avanzamento (penetrazione)  $\delta$ ;
- ✓ presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso  $M$  della massa battente):

- ✓ tipo LEGGERO (DPL)
- ✓ tipo MEDIO (DPM)
- ✓ tipo PESANTE (DPH)
- ✓ tipo SUPERPESANTE (DPSH)



Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa M (kg)	Prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante(Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

In particolare è stato adoperato un penetrometro In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

✓ **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30)** - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $a=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10 \text{ cm}^2$  rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

✓ **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)** - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $a= 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10 \text{ cm}^2$  rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

✓ **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE)** secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $d=30$  cm, punta conica ( $a = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27 \text{ cm}^2$  rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

✓ **DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)**

massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $d=20-30$  cm, punta conica ( $a = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20 \text{ cm}^2$ , rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

### 12.1.1 Correlazioni con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = b_t N$$

Dove:

$$b_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

**M**= peso massa battente;

**M'**= peso aste;

**H**= altezza di caduta;

**A**= area base punta conica;

**d**= passo di avanzamento.

### 12.1.2 Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{pd}$

L' $R_{pd}$  (resistenza di rottura dinamica alla punta), parametro dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo, è valutabile con la nota "formula degli Olandesi":

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

dove

**R<sub>pd</sub>** = resistenza dinamica punta (area  $A$ );

**e** = infissione media per colpo ( $\delta / N$ );

**M** = peso massa battente (altezza caduta  $H$ );

**P** = peso totale aste e sistema battuta.

Per i dettagli si rimanda al relativo rapporto tecnico di prova allegato alla presente relazione.

**DP1**  
Quota: 380 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 2.2 m

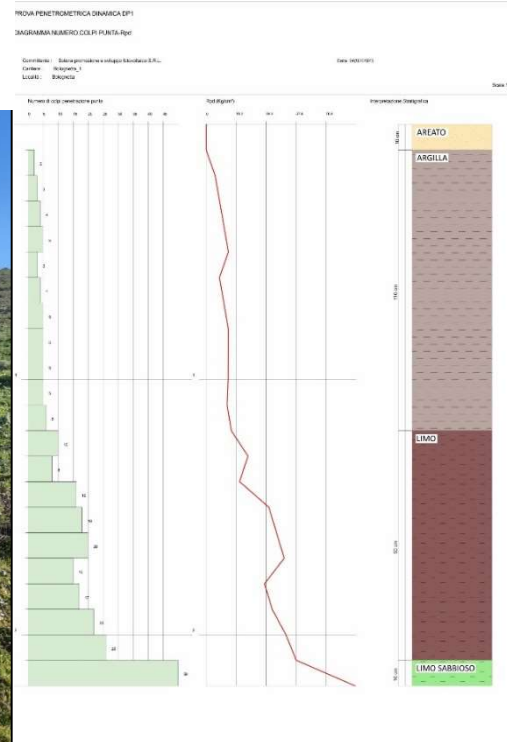


Figura 61 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP1

**DP2**  
Quota: 455 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 4.6 m

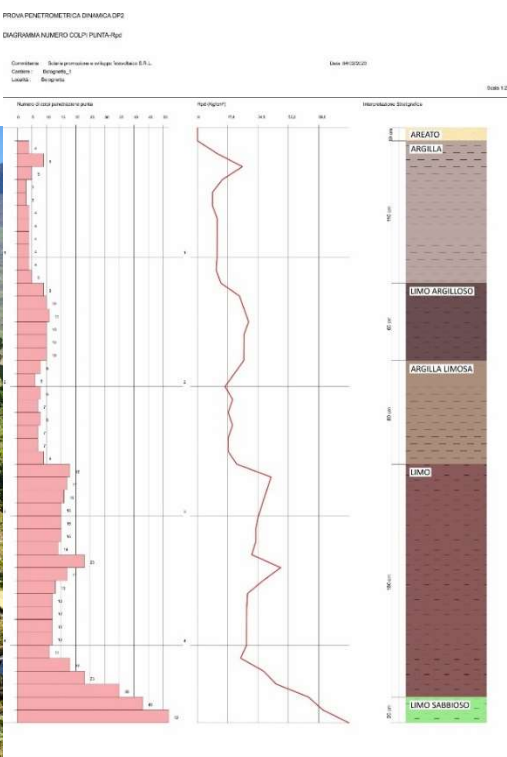


Figura 62 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP2

**DP3**  
Quota: 470 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 1.9 m

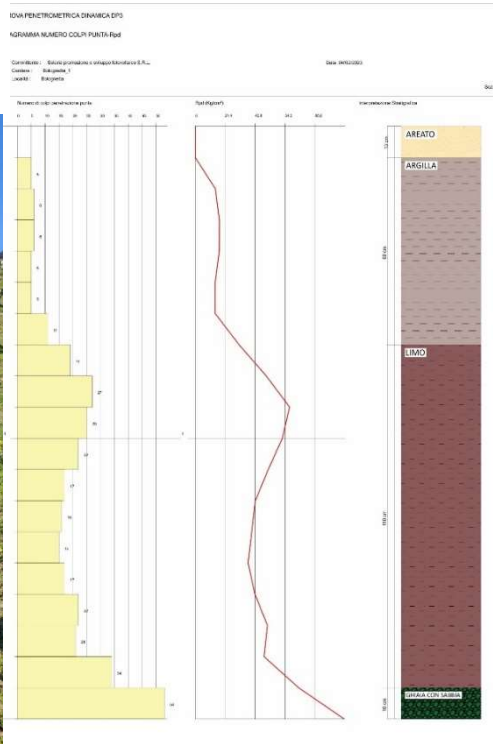


Figura 63–Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP3

**DP4**  
Quota: 372 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 4.5 m

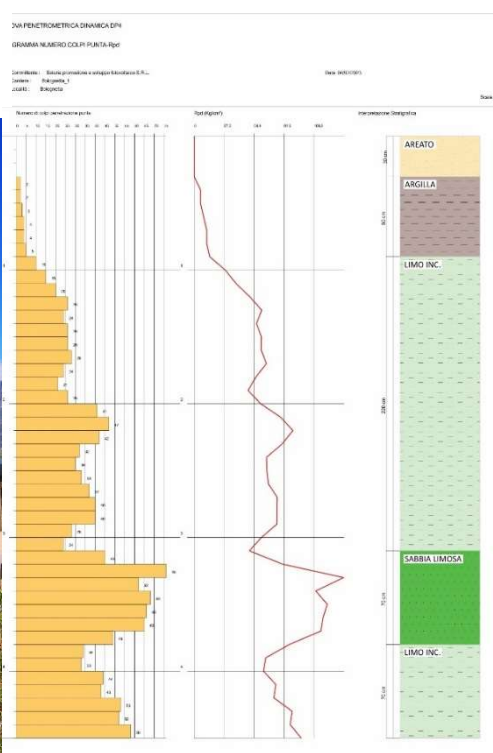


Figura 64 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP4



DP5  
Quota: 440 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 3.5 m

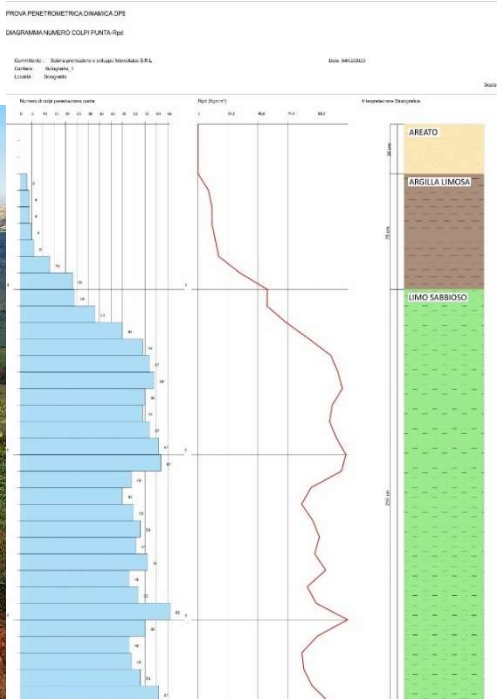


Figura 65 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP5

DP6  
Quota: 329 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 3.10 m

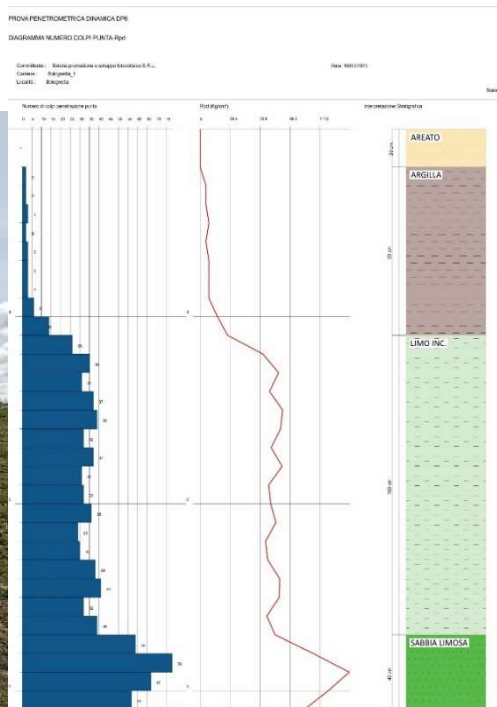


Figura 66 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP6

**DP7**  
Quota: 324 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 2.0 m

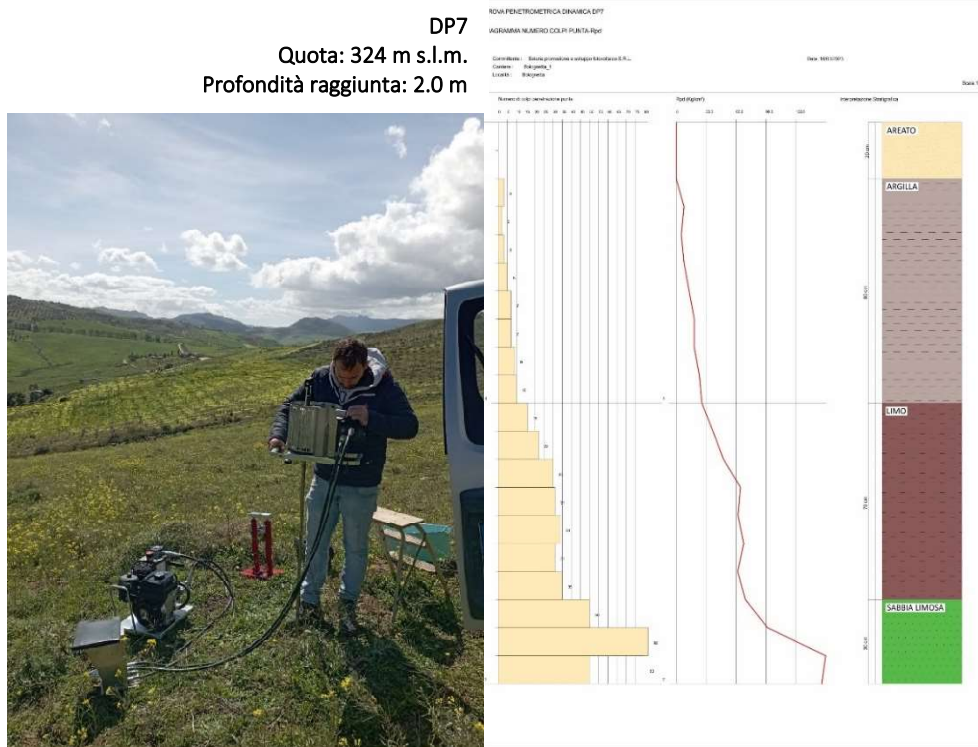


Figura 67 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP7

**DP8**  
Quota: 376 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 2.1 m

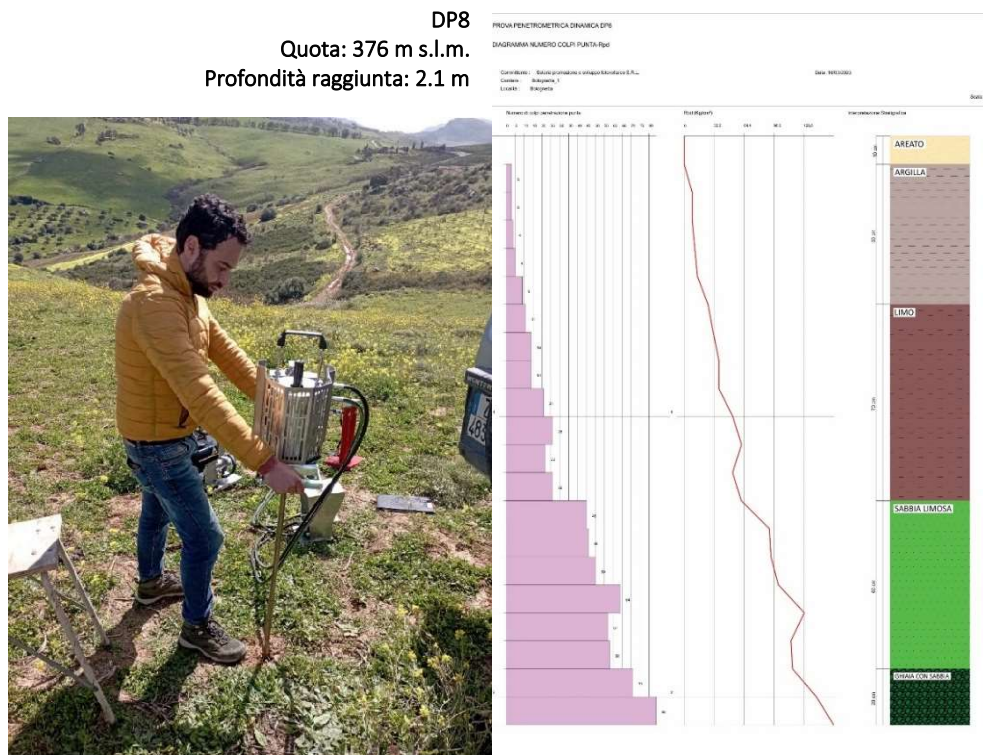


Figura 68 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP8



**DP9**  
Quota: 382 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 2.5 m

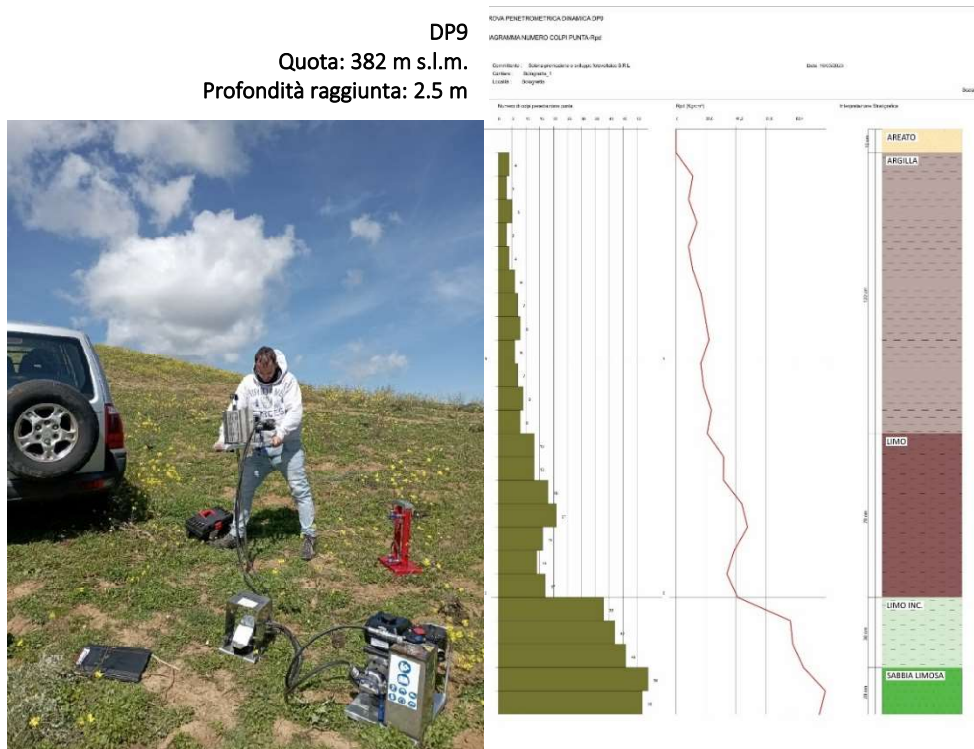


Figura 69 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP9.

**DP10**  
Quota: 376 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 2.7 m

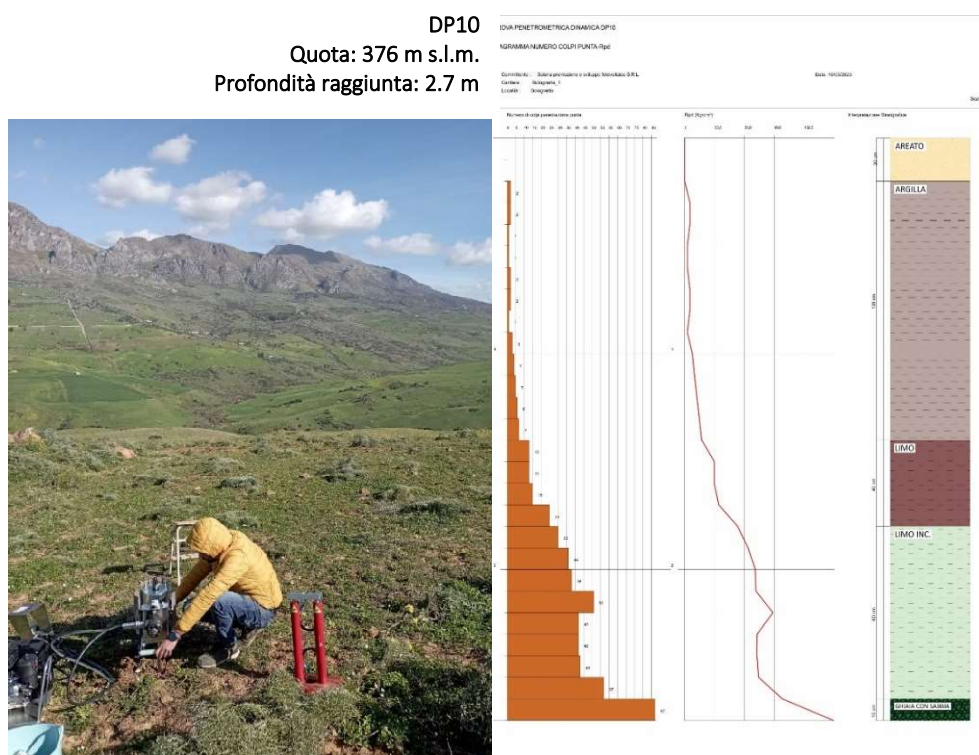


Figura 70 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP10

DP11  
Quota: 304 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 6.5 m

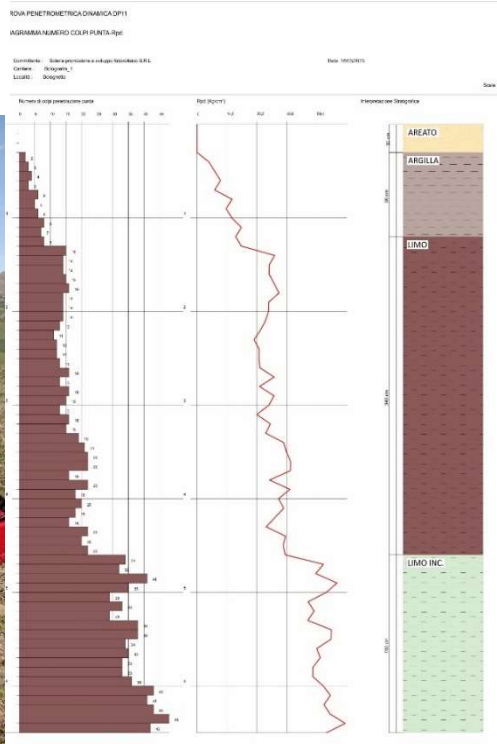


Figura 71–Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP11

DP12  
Quota: 309 m s.l.m.  
Profondità raggiunta: 6.5 m

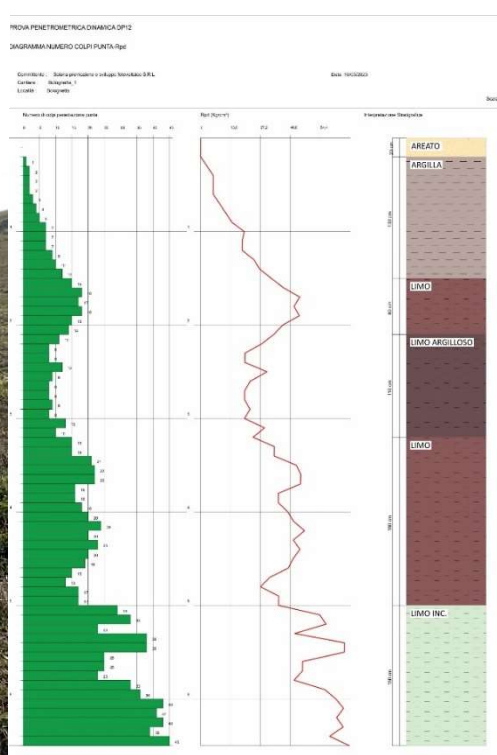


Figura 72 –Diagrammi relativi alla prova penetrometrica dinamica DP12



## 12.2 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE

### 12.2.1 Litostratigrafia e parametri geotecnici dalle indagini MASW

Come è possibile osservare nel grafico adiacente, il profilo a maggiore rigidità è risultato il n. 3, il quale mostra un andamento delle  $V_s$  gradualmente crescente verso il basso, con valori di  $V_s$  che si stabilizzano intorno a 700 m/s a 14 m di profondità; il valore di  $V_{s,eq}$  è il più alto osservato, pari a 545 m/s. Al contrario, il sottosuolo meno rigido è risultato essere in corrispondenza del sito n. 1, in cui fino alla profondità di 6 m si hanno terreni poco rigidi, con  $V_s$  inferiori a 200 m/s. Questo tratto piuttosto lento del profilo ha notevolmente condizionato il valore del  $V_{s,eq}$ , che giunge solamente a 291 m/s, pertanto il sottosuolo ricade in piena Categoria C. Inoltre, i profili 1, 2, 4, e 5, a partire dalla profondità di 10 m circa mostrano un andamento simile, pur nelle differenti velocità osservate. Di estrema importanza è pertanto la prima parte del profilo, che di fatto condiziona sensibilmente il valore complessivo della media equivalente nei trenta metri analizzati. In particolare, il profilo 4, pur rientrando in Categoria B, mostra delle similitudini con il profilo 1 per la presenza di uno strato superficiale più tenero e meno addensato, spesso circa 6 m, che si sovrappone ad un substrato più rigido. Nei profili 2 e 5, invece, si possono osservare alcune inversioni di velocità (a -6 m nella prova 2, a -10 m nella prova 5), che indicano la sovrapposizione di uno strato più compatto al di sopra di uno più tenero. Normalmente, per via dell'incremento del carico

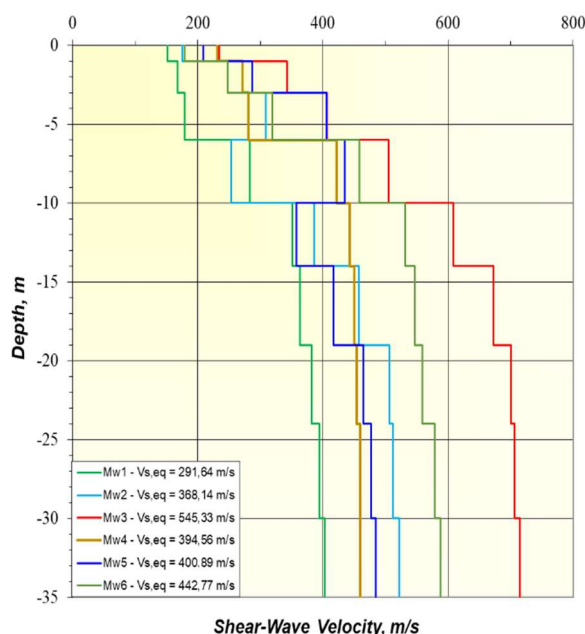
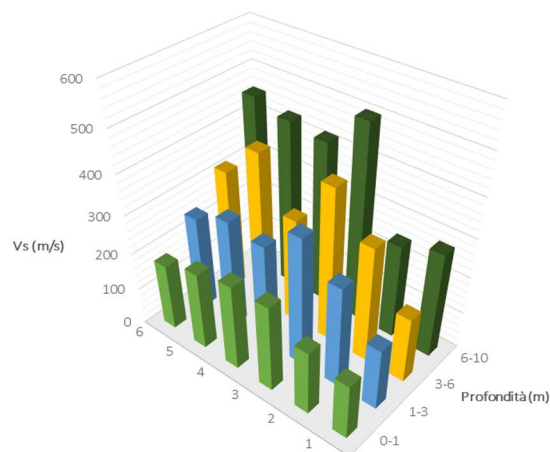


Figura 73—Grafico riepilogativo VS30



	6	5	4	3	2	1
0-1	179	209	231	234	175	152
1-3	248	287	272	343	272	168
3-6	319	406	281	407	309	179
6-10	458	435	422	505	253	283

Figura 74 —Grafico riepilogativo dei valori di VS nei primi 10m di profondità dal p.c.

litostatico, le Vs aumentano gradualmente verso il basso; l'esistenza di un'inversione di velocità potrebbe essere correlata o a fattori stratigrafici, oppure alla presenza di orizzonti di terreno molto umidi, presso cui la presenza di acqua può localmente ridurre la velocità delle onde di taglio. Entro i 30 metri non viene mai raggiunta la soglia degli 800 m/s, per cui, nell'espressione della velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18, il termine H assume sempre il valore di 30 m.

A seguire viene esposto anche un grafico riassuntivo dei valori di  $V_{s_{eq}}$  ottenuti attraverso le prospezioni MASW, dove vengono riportati valori di velocità delle onde di taglio (Vs) nei primi dieci metri di profondità secondo gli intervalli 0-1 m, 1-3 m, 3-6 m e 6-10 m. Per questi intervalli vi 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 (Tab. 1). I terreni ad elevata consistenza, con valore di Vs superiore a 600 m/s, presentano generalmente caratteristiche simili a rocce compatte, a consistenza litoide

Tabella 9 – Parametri elasto-dinamici.

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

Tabella 10 – Consistenza/rigidezza dei terreni.

MASW N°.	$V_{s, eq}$ (m/s)	Categoria sottosuolo	Vs (m/s) 0-1m	Vs (m/s) 1-3m	Vs (m/s) 3-6m	Vs (m/s) 6-10m
1	292	C	152	168	179	283
2	368	B	175	272	309	253
3	545	B	234	343	407	505
4	395	B	231	272	281	422
5	441	B	209	287	406	435
6	443	B	179	248	319	458

Dalla tabella 10 sopra esposta si osserva che i terreni analizzati ricadono nella Categoria B e C, cui alle N.T.C. 2018, con prevalenza dei terreni di tipo B. Inoltre, per quanto sopraindicato, nei primi 10 m di

profondità in nessuna delle indagini MASW eseguite vengono intercettati terreni caratterizzati da consistenza/rigidezza elevata ( $V_s > 600\text{m/s}$ ); mentre prevalgono suoli distinti da valori medi e medio/bassi. L'indagine 1 è chiaramente contrassegnata dalla presenza di terreni con consistenza/rigidezza bassa fino a 6 m di profondità.

L'indagine 6 è stata eseguita in lungo un tratto di strada in cui è prevista la sistemazione del Cavidotto AT a 150 kV, ricadente nell'area comunale di Villafrati (PA), e a circa 4 km a sud dall'area di impianto (area in cui sono state eseguite le precedenti 5 MASW). Sotto il profilo geolitologico quest'area è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari costituiti da ghiaie, ciottoli e massi in matrice siltosa-argillosa e da coltri eluvio-colluviali.

Il profilo  $V_s$  1-D della MASW numero 6 è caratterizzato dalla presenza di un sottosuolo poco rigido nei primi 6 metri di profondità. Il primo metro, poco compatto, è caratterizzato da valori di  $V_s$  bassi, pari a 179 m/s. Successivamente, tra 1 e 6 metri, le velocità aumentano e si collocano nel range dei valori medio e medio-elevati (248 e 319 m/s). A partire da circa 6 m di profondità, si osserva un gradino di crescita più netto e le velocità passano da 319 m/s a 458 m/s, dunque, nella parte superiore del range dei valori medio-elevati; ciò è indice di un chiaro passaggio ai litotipi più competenti (limi, sabbie, ghiaie e ciottoli). All'aumentare della profondità i valori di  $V_s$  continuano ad aumentare ulteriormente, raggiungendo il valore massimo di 579 m/s a partire da 26 m di profondità, ciò è associabile sia alla presenza di litotipi sempre più rigidi e compatti, sia al progressivo incremento del carico litostatico.

### 12.2.2 Litostratigrafia e parametri geotecnici dalle indagini DP

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

Riguardo le profondità d'indagine, tutte le prove sono state eseguite sino a "rifiuto" (N.° colpi >50).

Tutta l'area oggetto di indagine, destinata ad uso agricola e/o pascolo, è interessata dalla presenza di una coltre agraria e terreno di alterazione per uno spessore di circa 0,30 m, identificato come strato areato; quest'ultimo apporta uno scarso contributo all'azione portante.

Per permettere un più agevole confronto, i diagrammi RPD relativi alle dodici prove sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico (Fig. 75).

Come si può evincere dall'analisi dei risultati riportati nel diagramma (Fig. 75), su tutte le prova, ad eccezione delle prove DP2, DP3, DP5 e DP8, si registra entro il primo metro di profondità dal p.c. una certa affinità dei valori della resistenza alla punta, con RDP sotto i 25 Kg/cm<sup>2</sup>; questi valori sono probabilmente dovuti alla presenza di uno strato prettamente argilloso. A profondità maggiori, in quasi in tutte le prove, aumenta la componente limosa e sabbiosa.

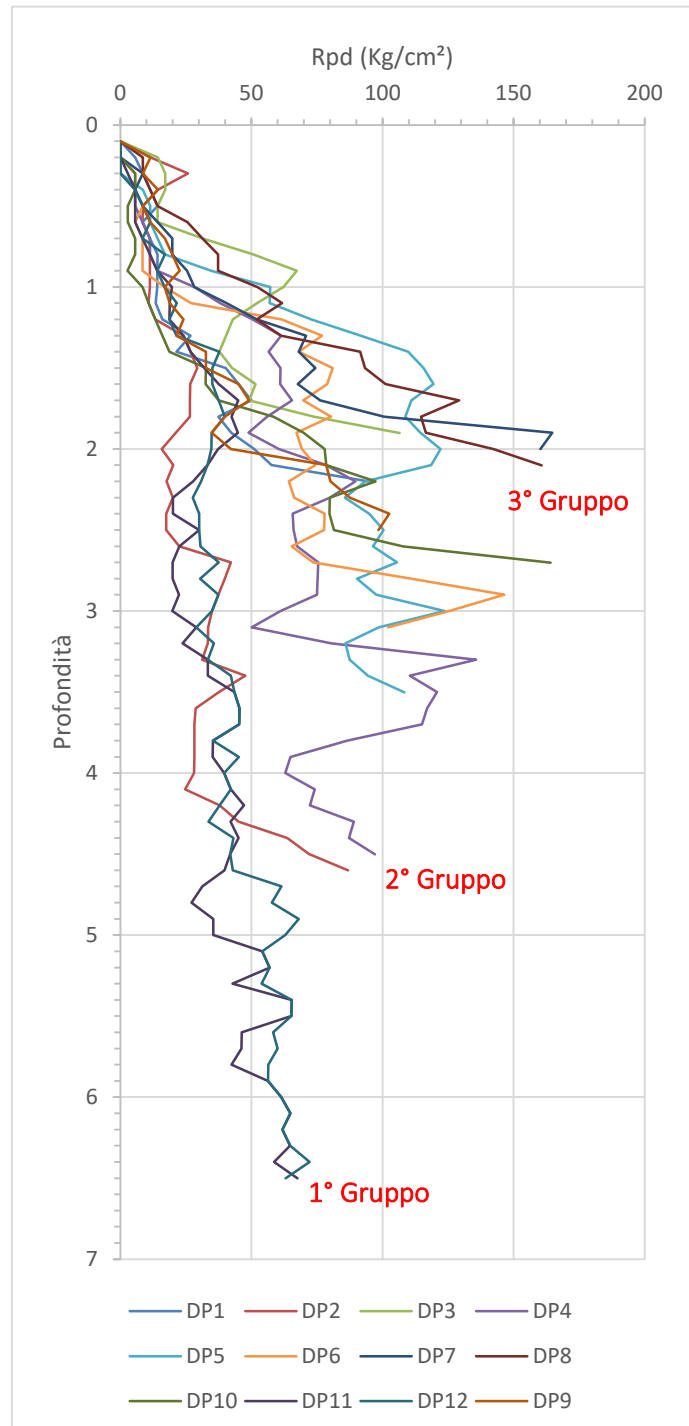


Figura 75 – Rpd delle prove DP



Osservando il grafico si evince in maniera evidente che i profili delle RPD possono essere suddivisi in tre gruppi principali.

Il primo gruppo (DP2, DP11, DP12) è caratterizzato da profili molto regolari, tutti con un andamento sub-verticale, dove non sono visibili rapide variazioni in RPD con l'aumentare della profondità.

Si possono notare variazioni più marcate tra 1m e 1,5m di profondità dal p.c., da qui i valori rimangono costanti sino a 5 m, dove si hanno dei leggeri incrementi. I valori, sino alla profondità di 5 m, si attestano intorno ai 50 Kg/cm<sup>2</sup>.

Nel secondo gruppo (DP4, DP5, DP6, DP9, DP10), a differenza del primo gruppo caratterizzato da un trend quasi sub-verticale, i profili delle RPD crescono maggiormente con l'aumentare della profondità. La profondità di indagine e compresa tra i 3 m e i 4,5 m, i valori di RPD superata la profondità di 1 m dal p.c. sono compresi tra i 50 Kg/cm<sup>2</sup> e i 100 Kg/cm<sup>2</sup>.

I profili del terzo gruppo (DP1, DP3, DP7, DP8) mostrano notevoli variazioni di RPD, con valori anche superiori ai 150 Kg/cm<sup>2</sup> intorno ai di 2 m, all'incirca corrispondente alla profondità d'indagine raggiunta, probabilmente a causa della presenza di sabbie e ghiaie con elementi litici di dimensioni eterometriche, correlabili a intercalazioni arenitiche, che non hanno permesso l'avanzamento della punta.

Nella tabella seguente si riportano e si evidenziano i principali parametri geotecnici, per i relativi strati, calcolati dall'elaborazione delle 12 prove penetrometriche, e le relative interpretazioni (Tab.10).

Tabella 11 - Parametri geotecnici e strati correlati.

DP1						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,1	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	3,25	1,2	0,20	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	12,85	2,1	0,87	---	COESIVI	Limo
Strato 4	38,05	2,2	---	38,65	INCOERENTI	Limo Sabbioso
DP2						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,1	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	3,39	1,2	0,21	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	7,61	1,8	0,48	---	COESIVI	Limo Argilloso
Strato 4	5,71	2,6	0,36	---	COESIVI	Argilla Limosa
Strato 5	12,6	4,4	0,85	---	COESIVI	Limo
Strato 6	36,15	4,6	---	38,12	INCOERENTI	Limo Sabbioso

DP3						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,1	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	4,82	0,7	0,3	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	16,25	1,8	1,1	---	COESIVI	Limo
Strato 4	20,93	1,9	---	33,86	INCOERENTI	Ghiaia con Sabbia
DP4						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,3	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	2,53	0,9	0,16	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	22,14	3,1	---	34,2	INCOERENTI	Limo Inc.
Strato 4	46,85	3,8	---	41,12	INCOERENTI	Sabbia Limosa
Strato 5	34,47	4,5	---	37,65	INCOERENTI	Limo Inc.
DP5						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,3	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	6,31	1	0,39	---	COESIVI	Argilla Limosa
Strato 3	39,48	3,5	---	39,05	INCOERENTI	Limo Sabbioso
DP6						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,2	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	1,96	1,1	0,12	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	26,33	2,7	---	35,37	INCOERENTI	Limo Inc.
Strato 4	49,66	3,1	---	41,9	INCOERENTI	Sabbia Limosa
DP7						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,2	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	4,38	1	0,27	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	21,64	1,7	1,46	---	COESIVI	Limo
Strato 4	53,78	2	---	43,06	INCOERENTI	Sabbia Limosa
DP8						
	Nspt	Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)	Terreni	Interpretazione
Strato 1	0	0,1	---	---	COESIVI	Areato

Strato 2	3,65	0,6	0,23	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	14,57	1,3	0,98	---	COESIVI	Limo
Strato 4	40,58	1,9	---	39,36	INCOERENTI	Sabbia Limosa
Strato 5	58,98	2,1	---	44,51	INCOERENTI	Ghiaia con Sabbia
<b>DP9</b>						
	<b>Nspt</b>	<b>Prof. Strato (m)</b>	<b>Cu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>	<b>Terreni</b>	<b>Interpretazione</b>
Strato 1	0	0,1	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	4,35	1,3	0,27	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	12,18	2	0,82	---	COESIVI	Limo
Strato 4	31,96	2,3	---	36,95	INCOERENTI	Limo Inc.
Strato 5	40,33	2,5	---	39,29	INCOERENTI	Sabbia Limosa
<b>DP10</b>						
	<b>Nspt</b>	<b>Prof. Strato (m)</b>	<b>Cu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>	<b>Terreni</b>	<b>Interpretazione</b>
Strato 1	0	0,2	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	2,28	1,4	0,14	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	12,56	1,8	0,85	---	COESIVI	Limo
Strato 4	32,25	2,6	---	37,03	INCOERENTI	Limo Inc.
Strato 5	66,21	2,7	---	46,54	INCOERENTI	Ghiaia con Sabbia
<b>DP11</b>						
	<b>Nspt</b>	<b>Prof. Strato (m)</b>	<b>Cu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>	<b>Terreni</b>	<b>Interpretazione</b>
Strato 1	0	0,3	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	3,72	1,2	0,23	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	12,35	4,6	0,83	---	COESIVI	Limo
Strato 4	27,75	6,5	---	35,77	INCOERENTI	Limo Inc.
<b>DP12</b>						
	<b>Nspt</b>	<b>Prof. Strato (m)</b>	<b>Cu (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Angolo d'attrito (°)</b>	<b>Terreni</b>	<b>Interpretazione</b>
Strato 1	0	0,2	---	---	COESIVI	Areato
Strato 2	4,16	1,5	0,26	---	COESIVI	Argilla
Strato 3	12,31	2,1	0,83	---	COESIVI	Limo
Strato 4	7,19	3,2	0,45	---	COESIVI	Limo Argilloso
Strato 5	14,08	5	0,95	---	COESIVI	Limo
Strato 6	26,08	6,5	---	35,3	INCOERENTI	Limo Inc.

Dall'analisi della tabella 11 si evince che la stratigrafia, seppur differente tra una prova ed un'altra, presenta delle similitudini che permettono di semplificare il modello geotecnico di sottosuolo in 4 principali categorie costituite da dei litotipi ben definiti:

- ✓ **Livello 1** (areato);
- ✓ **Livello 2** (argille e/o argille limose);
- ✓ **Livello 3** (limi coesivi e/o incoerenti);
- ✓ **Livello 4** (limi sabbiosi, sabbie limose e ghiaie con sabbia).

Dopo l'areato (livello 1), di spessore compreso tra i 0,10 m e i 0,30 che presenta valori di scarsa portanza, verranno illustrate le caratteristiche dei livelli più profondi e di maggior interesse progettuale.

Nelle prove del primo gruppo (DP2, DP11, DP12), il secondo livello presenta RPD inferiore a 25 Kg/cm<sup>2</sup> con valori di coesione non drenata compresa tra 0,20 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,26 Kg/cm<sup>2</sup>; questi valori, dovuti a terreni classificati come argille o argille limose, di natura per lo più coesiva, presentano una discreta portanza e secondo la classificazione AGI sono da considerarsi MODERATAMENTE CONSISTENTI.

Il terzo livello, che ha valori di RPD  $\geq$  50 Kg/cm<sup>2</sup> e di coesione non drenata compresa tra 0,83 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,95 Kg/cm<sup>2</sup>, è correlato a limi di natura coesiva e classificato come CONSISTENTI (Classificazione AGI).

Il quarto livello, che ha valori di RPD  $>$  50 Kg/cm<sup>2</sup>, nelle prove DP11 e DP12, è caratterizzato da valori di angolo d'attrito compresi tra i 35,30° e i 35,77°, pertanto, associabili a terreni limosi di natura incoerente, mentre nella DP2, dove si ha un valore di angolo d'attrito pari a 38,12°, questo livello è stato interpretato come limo sabbioso. Secondo la classificazione AGI, i terreni di questo quarto livello (DP11, DP12 E DP2) sono da definirsi MODERATAMENTE ADDENSATI.

Nelle prove del secondo gruppo (DP4, DP5, DP6, DP9, DP10) il secondo livello presenta RPD inferiore a 25 Kg/cm<sup>2</sup> e valori di coesione non drenata compresa tra 0,12 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,39 Kg/cm<sup>2</sup>. Questi valori, dovuti a terreni classificati come argille o argille limose, di natura per lo più coesiva, presentano una discreta portanza e, secondo la Classificazione AGI, sono valutabili come MODERATAMENTE CONSISTENTI e POCO CONSISTENTI.

Nello stesso gruppo, il terzo livello ha un RPD compreso tra i 50 Kg/cm<sup>2</sup> e 100 Kg/cm<sup>2</sup>. Talvolta comprende litotipi con valori di coesione non drenata compresa tra 0,82 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,85 Kg/cm<sup>2</sup>, pertanto, interpretati come limi di natura coesiva che secondo la classificazione AGI sono da considerare CONSISTENTI, in altri casi comprende limi di natura incoerente, con valori di angolo d'attrito compreso tra i 35,37° e i 34,20° e classificabili come ADDENSATI (Classificazione AGI).



Il quarto livello, che annovera valori di RPD  $> 100 \text{ Kg/cm}^2$ , è costituito da terreni identificabili come limi di natura incoerente o sabbie, con valori di angolo d'attrito superiore ai  $37^\circ$ , e definibili come ADDENSATI (Classificazione AGI).

Nelle prove del terzo gruppo (DP1, DP3, DP7, DP8) il secondo livello presenta valori di RPD inferiori a  $50 \text{ Kg/cm}^2$ . Con valori di coesione non drenata compresa tra  $0,2 \text{ Kg/cm}^2$  e  $0,3 \text{ Kg/cm}^2$ , dovuti a terreni di natura per lo più coesiva (argille o argille limose), presentano una limitata portanza; secondo la classificazione AGI questi terreni rientrano tra i MODERATAMENTE CONSISTENTI e i POCO CONSISTENTI.

Il terzo livello ha un RPD compreso tra i  $50 \text{ Kg/cm}^2$  e  $100 \text{ Kg/cm}^2$ ; con valori di coesione non drenata compresa tra  $0,3 \text{ Kg/cm}^2$  e  $0,85 \text{ Kg/cm}^2$ , è riconducibile a limi di natura coesiva. secondo la Classificazione AGI questi terreni rientrano tra quelli CONSISTENTI.

Il quarto livello, che presenta valori di RPD  $> 150 \text{ Kg/cm}^2$ , è caratterizzato da terreni correlabili ai limi di natura incoerente o sabbie con ghiaie. Con valori di angolo d'attrito compresi tra  $33^\circ$  e  $44,51^\circ$ , questi litotipi sono classificati come ADDENSATI (Classificazione AGI).

I risultati delle prove DP appartenenti al gruppo 1 indicano la presenza di importanti spessori di terreni argillosi e/o argillosi limosi.

Nel gruppo 2, invece, gli strati sono stati interpretati come terreni caratterizzati da una maggiore componente limosa e/o sabbiosa. Quindi in questo secondo gruppo, a differenza del primo, gli spessori degli strati argillosi risultano essere minori, passando velocemente a strati limosi e/o limosi sabbiosi già a pochi metri dal piano campagna.

Nel gruppo 3 gli spessori delle componenti argillose e limose sono molto bassi, tanto che si è raggiunto lo stato di "rifiuto" a basse profondità per la presenza di terreni sabbiosi e ghiaiosi, con probabile intercalazione di elementi litici di dimensioni eterometriche, o veri e propri banchi litoidi. A tal riguardo è significativo segnalare che alcune prove hanno raggiunto il "rifiuto" già entro  $1,5 \text{ m}$  da p.c. (presenza di elementi litici). Nei casi in cui si è verificata questa condizione, al fine di raggiungere profondità maggiori e utili ai fini progettuali, è stato reputato opportuno rieseguirle ad una distanza di qualche metro dalla prima ubicazione.

## 13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione geologica, geotecnica e idrogeomorfologica, commissionata dalla Società Solaria - Promozione Sviluppo Fotovoltaico S.r.l., vengono esposti i risultati dello studio a supporto del progetto di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nei territori comunali di Bolognetta (PA) e Villafrati (PA).

Il presente lavoro è stato redatto allo scopo di fornire una descrizione delle proprietà geologiche-strutturali, idrogeologiche, geomorfologiche, idrauliche, sismiche e geotecniche dell'area d'interesse e del suo intorno.

Lo studio è stato condotto attraverso rilievi geologici di superficie, un approfondito studio della bibliografia tecnico-scientifica presente in letteratura, una campagna d'indagini sismiche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), necessarie per il calcolo della pericolosità sismica del sito nonché per la definizione geomeccanica del sottosuolo, e di prove penetrometriche dinamiche continue (DP) per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo.

- ✓ L'area di progetto è ubicata ad una quota compresa tra 290 e 500 m s.l.m.; da un punto di vista geomorfologico, le aree oggetto di studio evidenziano un carattere piuttosto irregolare e contraddistinto da varie forme morfologiche che sono strettamente legate sia agli agenti geodinamici attivi, sia alla natura dei litotipi presenti, dunque alla loro reazione agli agenti demolitori.
- ✓ Lungo i pendii talora si individuano aree caratterizzate da processi geomorfologici attivi, sia di tipo fluviale (erosione lineare o diffusa), sia di versante (scollamenti, movimenti gravitativi) che interessano il più delle volte la coltre superficiale e solo in qualche caso anche le porzioni superiori e più alterate dei terreni del substrato geologico. Ciò è riconducibile alla natura argillosa terreni, che essendo impermeabili determinano un elevato deflusso superficiale delle acque meteoriche.
- ✓ All'interno dell'area progettuale si riscontra la presenza di diversi impluvi dai quali si raccomanda di mantenere una ragguardevole distanza di sicurezza (fascia di rispetto) per assicurarsi che fenomeni di erosione e/o approfondimento degli impluvi non compromettano la stabilità degli impianti in progetto. È chiaro che nelle aree ove verranno previsti gli impianti sarà comunque opportuno prevedere una regimentazione delle acque vadose e la loro canalizzazione e convogliamento a valle, per una garanzia di stabilità e durata almeno per il periodo di esercizio previsto.

- ✓ Nel caso in cui la progettazione interessi anche le aree con acclività maggiori al 15 %, si raccomanda di attenzionare la presenza di processi attivi e/o potenziali e prevedere interventi atti a mitigare gli effetti di ruscellamento e dell'imbibizione. Pertanto, anche in tal caso si consiglia la messa in opera di sistemi drenanti, di regimentazione, di canalizzazione delle acque, ecc.
- ✓ Geologicamente l'area d'impianto è costituita perlopiù da peliti di colore bruno talora manganesifere, con laminazione piano-parallela e riferibili al Membro di Portella Colla (formazione Fylsch Numidico – FYN<sub>2</sub>) e dalla coltre eluvio-colluviale (AFL<sub>b2</sub>).
- ✓ Dal punto di vista idrogeologico le peliti (FYN<sub>2</sub>) sono caratterizzate da un grado di permeabilità molto basso, talora nullo, che inibisce l'infiltrazione a favore del ruscellamento delle acque superficiali verso il reticolo idrografico. Essi, inoltre, costituiscono il substrato impermeabile al di sotto della coltre eluvio-colluviale (AFL<sub>b2</sub>). Quest'ultima, costituita da clasti di dimensioni eterometriche immersi in matrice argilloso-siltosa, presenta un grado di permeabilità variabile, che si attesta tra basso e medio, talora anche medio-alto. Le acque, una volta filtrate verticalmente, vengono recepite e drenate verso la rete idrografica dal substrato pelitico impermeabile. Nelle frazioni destinate alla messa in posa dei pannelli si può escludere la presenza della "falda" negli strati superficiali; in genere essa si attesta a profondità > ai 5 m da p.c.
- ✓ Dal punto di vista geostrutturale, dallo studio della documentazione bibliografica, dal rilievo effettuato sui luoghi e dall'esito delle indagini geofisiche si evince che l'area non è interessata da discontinuità tettoniche capaci o attive; tuttavia, come in tutto il territorio italiano, l'area in esame è soggetta a scuotimento sismico per il movimento delle strutture tettoniche regionali.
- ✓ Le 6 indagini geofisiche di tipo MASW effettuate per la caratterizzazione sismica del sottosuolo ai sensi del D.M. 17.01.18, hanno permesso di definire che la quasi totalità dell'area indagata rientra in Categoria B; fa eccezione l'indagine MASW1, che ha fornito valori che rientrano in categoria C.
- ✓ Sotto il profilo geologico-tecnico, dai risultati delle indagini eseguite è emerso che la porzione superficiale del terreno, per uno spessore che può essere variabile da 1 a 4 m, è caratterizzata da bassa e media consistenza/rigidezza del terreno.
- ✓ Dalle 12 prove penetrometriche dinamiche continue effettuate si evince che i terreni del sito in esame presentano un grado di portanza variabile a seconda dell'area interessata. Sono state

individuare tre zone con distinte caratteristiche geotecniche. La prima, riferita alle aree orientali posizionate a valle e a quelle posizionate a Nord-Ovest, costituite da livelli argillosi e limosi coesivi di spessore tra 4 m a 5 m. La seconda, riferita alle aree intermedie tra il fondovalle e le porzioni sommitali, costituita da spessori di argille e limi (coesivi e/o incoerenti) tra i 2 m e i 3 m. Infine, una terza zona (aree sommitali) dove gli spessori delle argille e dei limi risulta inferiore ai 2 m.

✓ Dalle prove penetrometriche sono stati individuati i seguenti range dei valori di coesione e di angolo d'attrito:

*Coesione (0,12 Kg/cm<sup>2</sup> - 1,46 Kg/cm<sup>2</sup>)*

*Angolo d'attrito (33,86 ° - 46,54°).*

Sia i valori di Coesione, sia quelli di Angolo d'attrito, possono essere soggetti a variazioni legati al contenuto d'acqua. Pertanto, per una miglior definizione di tali parametri, si consiglia l'esecuzione opportune analisi geotecniche di laboratorio nelle fasi progettuali successive.

✓ Va sottolineato, infine, che i risultati delle indagini DP sono risultati conciliabili con quelli ottenuti dalle indagini sismiche MASW. L'indagine MASW1 (categoria C) ha fornito valori di velocità estremamente bassi nei primi 6 m di profondità, in linea con i bassi valori dei parametri geotecnici riscontrati nelle prove DP eseguite nella medesima area (DP11 e DP12). Mentre, nelle aree di medio versante e in quelle sommitali, sia le caratteristiche geotecniche ottenute dalle indagini DP, che le velocità delle indagini MASW (Categoria B), indicano una maggior competenza dei litotipi attraversati.

Il geologo  
(Dott. Graziano Patti)





## BIBLIOGRAFIA

- Aki, K., & Richards, P. G. (1980). *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, Vol. 1 WH Freeman & Co. New York.
- Bolt, B.A. (1976) "Nuclear Explosions and Earthquakes", W.H. Freeman and company.
- Caccamo, M. T., Castorina, G., Colombo, F., Insinga, V., Maiorana, E., & Magazù, S. (2017). *Weather forecast performances for complex orographic areas: Impact of different grid resolutions and of geographic data on heavy rainfall event simulations in Sicily*. *Atmospheric Research*, 198, 22-33.
- Cannarozzo, M., D'asaro, F., & Ferro, V. (1995). *Regional rainfall and flood frequency analysis for Sicily using the two component extreme value distribution*. *Hydrological Sciences Journal*, 40(1), 19-42.
- Cestelli Guidi, C. (1980) – *Geotecnica e tecnica delle fondazioni*. Volumi 1 e 2. Ed Hoepli
- Catalano, R., Avellone, G., Basilone, L., Gasparo Morticelli, M., & LO, C. G. (2010). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 608 "Caccamo" e carta geologica allegata*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Conti, F. L., Noto, L. V., Cannarozzo, M., & La Loggia, G. (2007). *Regional frequency analysis of extreme precipitation in Sicily, Italy*. In *2nd International Workshop on Hydrological Extremes: Variability in Space and Time of Extreme Rainfalls, Floods and droughts.*, Cosenza.
- Dal Moro, G. (2012). *Onde di superficie in geofisica applicata: acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR*. Dario Flaccovio Editore
- Freni, G. (2020). *Bacino Idrografico del Fiume Milicia (035)*.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves*. *Geophysics*, 64(3), 800-808.
- Pasqualini, E. (1983): *Standard Penetration Test – Atti dell'istituto di Scienza delle Costruzioni – Politecnico di Torino*
- Patti, G., Grassi, S., Morreale, G., Corrao, M., & Imposa, S. (2021). *Geophysical surveys integrated with rainfall data analysis for the study of soil piping phenomena occurred in a densely urbanized area in eastern Sicily*. *Natural Hazards*, 108(3), 2467-2492.
- Rayleigh, J.W.S. (1885), "On Waves propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid," *Proceedings of the London mathematical Society*, Vol. 17, pp. 4-11.
- Regione Sicilia Assessorato Territorio e Ambiente DIPARTIMENTO DELL' AMBIENTE Servizio 3 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"; (2015): *Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) - All. A.10 - Bacino Idrografico del Fiume Milicia*

- Roma, V. (2001). *Soil properties and site characterization by means of Rayleigh waves*. PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- Roma, V. (2002, April). *Automated inversion of Rayleigh geometrical dispersion relation for geotechnical soil identification*. In *3rd World Conference on Structural Control* (pp. 7-12).
- Roma, V., Hebel, G., Rix, G., & Lai, C. G. (2002, September). *Geotechnical soil characterization using fundamental and higher Rayleigh modes propagation in layered media*. In *XII European Conference on Earthquake Engineering, London* (pp. 9-13).
- Roy, N., & Jakka, R. S. (2017). *Near-field effects on site characterization using MASW technique*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 289-303.
- Scesi, L., Papini, M. (2006). *Il rilevamento geologico-tecnico, Torino, Città studi*.
- Stokoe, K. H., & Santamarina, J. C. (2000, November). *Seismic-wave-based testing in geotechnical engineering*. In *ISRM International Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*.
- Vanelli, F. And Benassi, E.: (1983), *Penetrómetro Dinámico Sunda DL030, Studio de Geologia e Meccanica dei Terreni, Bologna, Italia*.