

SCALA N.A.	SEDE PROGETTO CAGLIARI	FORMATO A4		
REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
01		Ing. R. Sacconi	Innova ServiceS.r.l Arch. G. R. Porpiglia	DS Italia 14 S.r.l.
DATA	TIPO DI EMISSIONE Prima Emissione			
Committente- Sviluppo progetto FV: DS Italia 14 S.r.l. Via del Plebiscito n. 112 - Roma (RM) P.IVA 16380571006 		Studio di progettazione: LA SIA S.p.A. Viale L. Schiavonetti, 28600173-Roma (RM) P.IVA 08207411003 		
PROGETTO Progetto Definitivo per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Bonorva-Mores” della potenza di picco di 36.079,5 kWp e potenza di immissione di 29.830 kW e delle relative opere di connessione alla RTN nei comuni di Bonorva e di Mores (SS)				
TITOLO ELABORATO		STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA-GEOTECNICA		
Coordinamento Progettisti: INNOVA SERVICE S.r.l. Via Santa Margherita, 4 - 09124 Cagliari (CA) P.IVA 03379940921, PEC: innovaserviceca@pec.it 				
GRUPPO DI LAVORO: per INNOVA SERVICE S.r.l. Giorgio Roberto Porpiglia - Architetto Silvio Matta - Ingegnere Elettrico Aurora Melis - Geometra Antonio Dedoni - Ingegnere Idraulico Marta Camba - Geologo per La SIA S.p.A. Riccardo Sacconi - Ingegnere Civile Stefano Cherchi - Archeologo Franco Milito - Agronomo Francesco Paolo Pinchera - Biologo Rita Bosi - Dottore Agronomo				
NOME ELABORATO REL_SP_COMP_GEOL_GEOTEC				REV 00

INDICE

1. PREMESSA.....	2
1.1 Richiesta di integrazioni nota Prot. Uscita n. 3084 del 25/03/2024 (ADIS – Direzione generale Agenzia regionale del distretto idrografico della Sardegna).....	2
1.2 Bibliografia e studi.....	3
2. Inquadramento Geografico	4
3. Inquadramento Geologico.....	8
3.1 Litologia e stratigrafia significative all 'area di Progetto	13
3.2 Tettonica e caratteristiche geostrutturali.....	13
4. Inquadramento Geomorfologico	15
4.1 Geomorfologia dell'area significativa al progetto	16
5. Inquadramento Idrogeologico	18
5.1 Idrografia sotterranea	20
6. Vincoli Vigenti	21
6.1 PAI – Piano di Assetto Idrogeologico.....	21
7. Caratterizzazione geotecnica.....	23
8. Stabilità del pendio	23
9. Ammissibilità dell'Intervento	31
10. Compatibilità geologica.....	33

1. PREMESSA

In supporto al progetto per la realizzazione di un impianto Agro - fotovoltaico in località " Ipaduleddas", "Monte Ulumu" e "Chentu Anzones" nei comuni di Bonorva e di Mores (SS), la Dott.ssa Geol. Marta Camba, iscritta all'Ordine dei Geologi della Sardegna sez.A n°827, e il Dott. Ing. Antonio Dedoni, iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Cagliari n°5398, sono stati incaricati per la redazione della Relazione di Compatibilità Geologica e Geotecnica secondo quanto previsto dalle NTA 2022 del PAI in quanto parzialmente alcuni moduli fotovoltaici ricadono in area a pericolosità geomorfologica Hg2.

La presente è redatta secondo la normativa vigente - **Norme Tecniche di Attuazione PAI** approvate con la Deliberazione del comitato istituzionale **n. 15 del 22/11/2022** ed entrate in vigore con la pubblicazione sul B.U.R.A.S. n.55 del 01/12/2022.

1.1 **Richiesta di integrazioni nota Prot. Uscita n. 3084 del 25/03/2024 (ADIS – Direzione generale Agenzia regionale del distretto idrografico della Sardegna).**

“Per quanto riguarda la parte frane si segnala che le opere previste dall'intervento in oggetto ricadono parzialmente in aree caratterizzate da pericolosità da frana media (Hg2) nella cartografia vigente del P.A.I. Tra la documentazione trasmessa non risulta essere presente lo studio di compatibilità geologica e geotecnica, così come richiesto dagli articoli 23 e 33 delle Norme di Attuazione del P.A.I. Pertanto, per l'emanazione dei provvedimenti autorizzativi di competenza si rimane in attesa di tale studio, redatto secondo quanto disposto dall'art.25 e dall'Allegato F delle medesime norme e della dichiarazione di ammissibilità dell'intervento di cui all'allegato 2 della circolare 1/2019 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino.”

1.2 Bibliografia e studi

Nel presente studio sono state utilizzate le informazioni, dati topografici e tematici resi disponibili dai database Regionali e Nazionali:

Regione Autonoma della Sardegna:

- Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- Carta della Permeabilità dei suoli e substrati, 2019
- Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- ARPA – Dati meteoroclimatici
- Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- Piano di Tutela delle Acque
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- SardegnaGeoportale - DTM passo 1 e 10 metri
- SardegnaGeoportale - Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- SardegnaGeoportale - Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000

I.S.P.R.A - Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale:

- Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100.000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000

2. Inquadramento Geografico

L'impianto in progetto ricade su due territori comunali: Mores e Bonorva. Entrambi sono comuni appartenenti alla provincia di Sassari e pertanto collocati nella Sardegna settentrionale. Mores possiede un'estensione areale di circa 95 Km² mentre Bonorva 149,75 km².

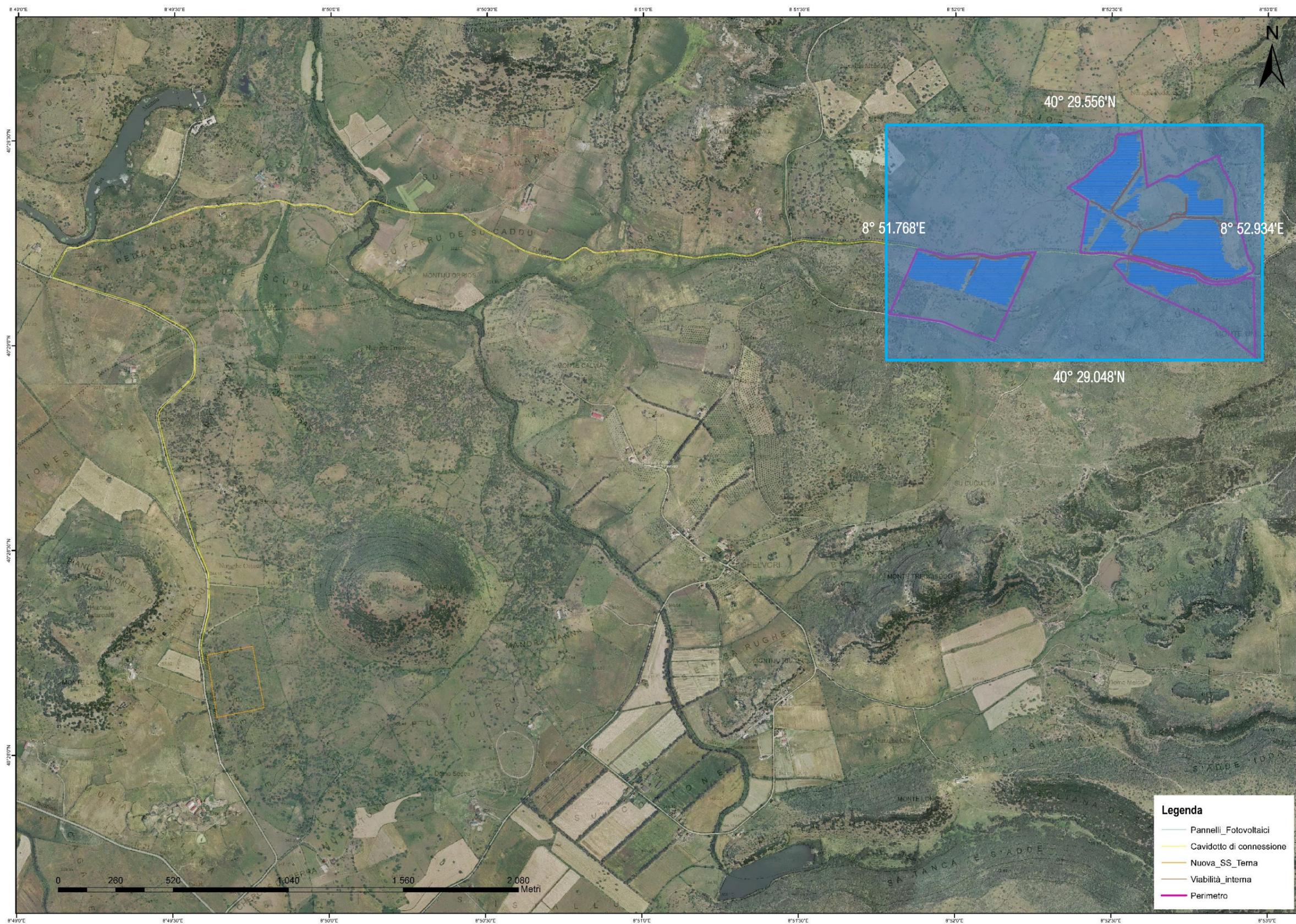


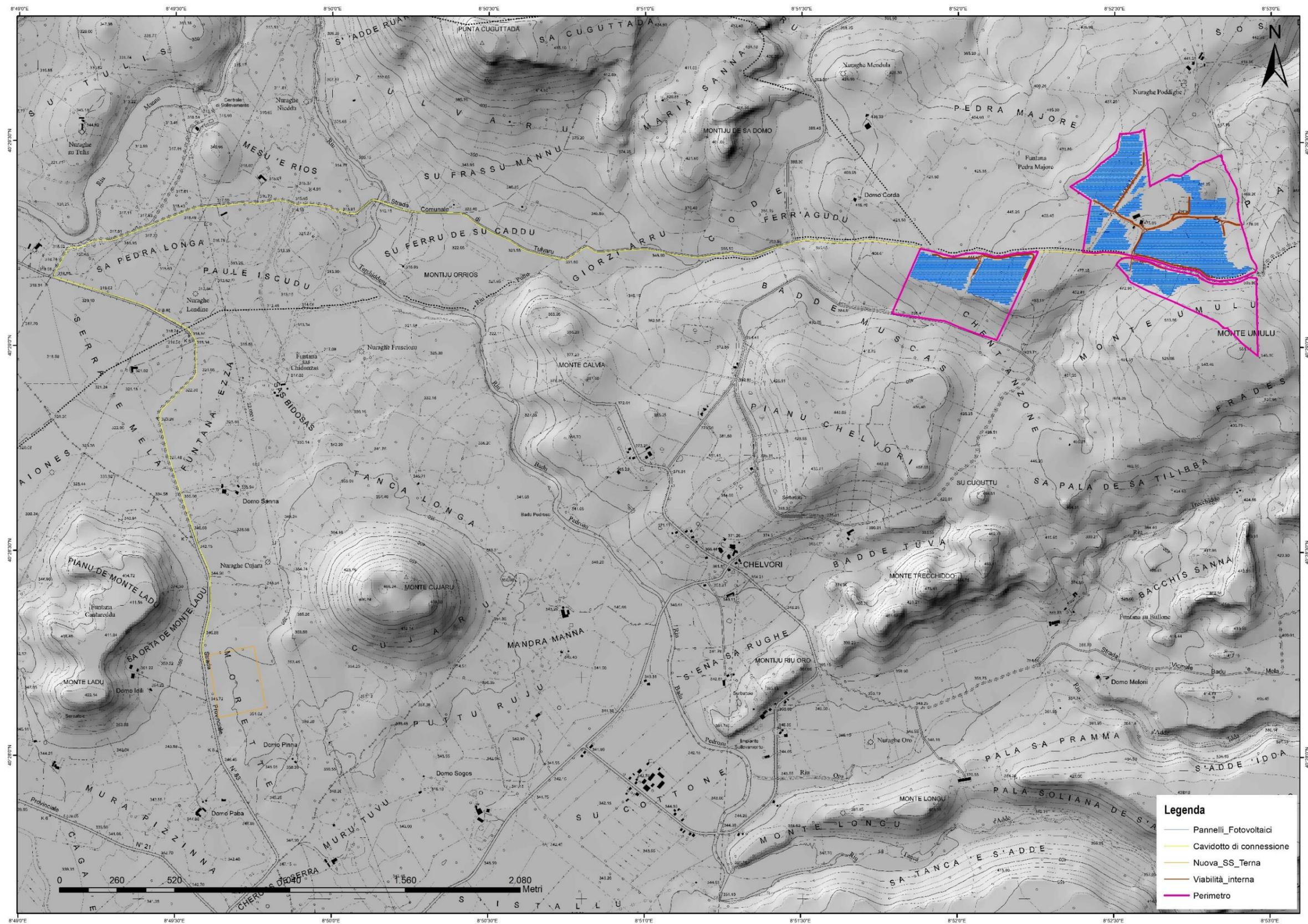
Nello specifico, si riporta l'inquadramento cartografico dell'area oggetto di intervento:

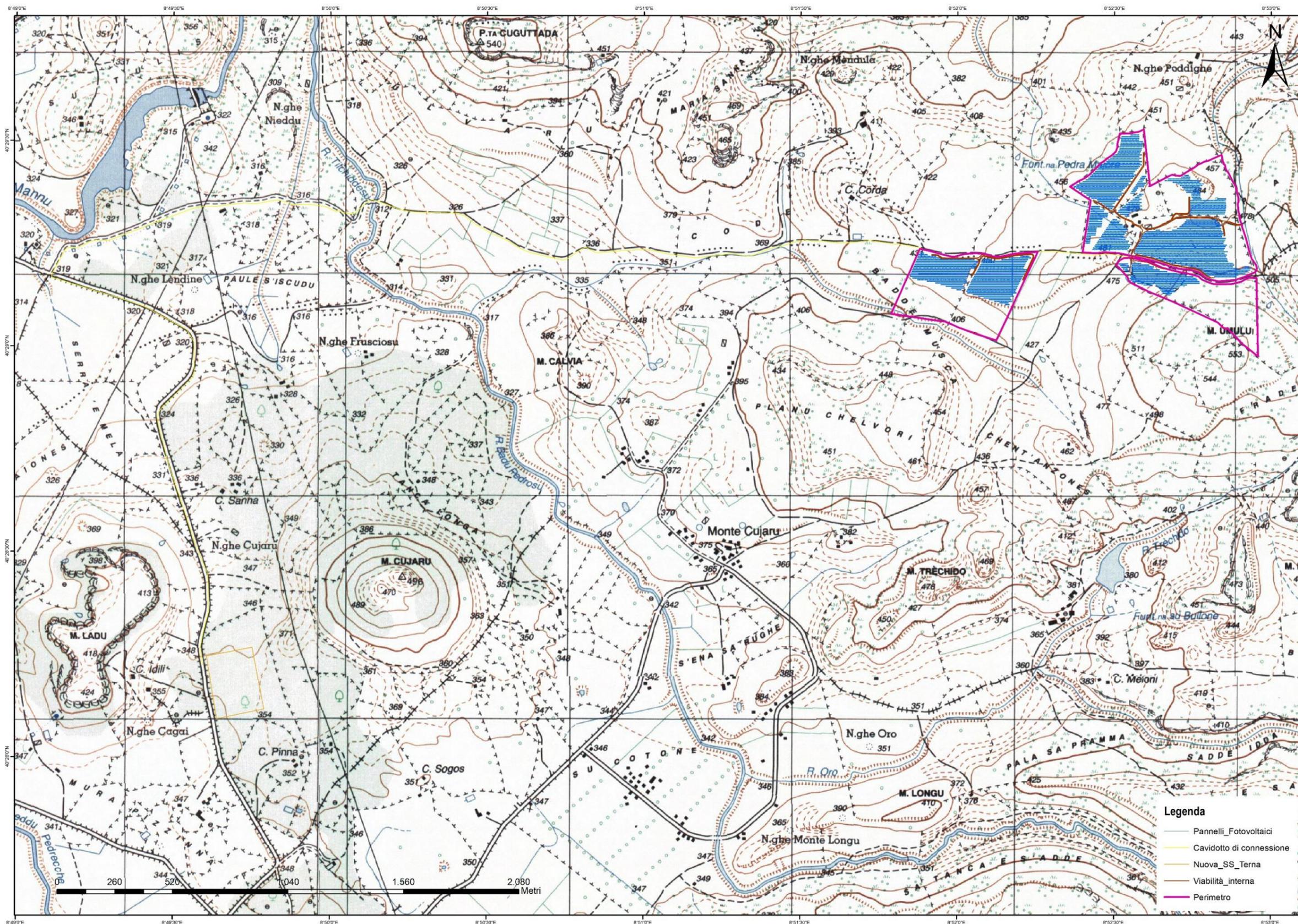
- I.G.M. Serie 25 foglio 480 II "Foresta di Burgos"
- CTR – scala 1:10000 – sez. **480110** "Umulu";
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000 – foglio **193** "Bonorva"
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50.000 – foglio **480** "Bonorva"

Le coordinate WGS84 dell'area interessata dal progetto:

Latitudine Nord	Latitudine Sud	Longitudine Ovest	Longitudine Est
40° 29.556'N	40° 29.048'N	8° 51.768'E	8° 52.934'E







3. Inquadramento Geologico

La Sardegna è classicamente divisa in tre grossi complessi geologici, che affiorano distintamente in tutta la regione per estensioni circa equivalenti: il basamento metamorfico ercinico, il complesso magmatico tardo-paleozoico e le successioni vulcano-sedimentarie tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche.

La formazione della Sardegna (superficie di 24.098 km²) è strettamente legata ai movimenti compressivi tra Africa ed Europa. Questi due blocchi continentali si sono ripetutamente avvicinati, scontrati e allontanati negli ultimi 400 milioni di anni.

L'isola rappresenta una microplacca continentale con uno spessore crostale variabile dai 25 ai 35 km ed una litosfera spessa circa 80 km. Essa è posta tra due bacini con una struttura crostale di tipo oceanico (Bacino Ligure-Provenzale che cominciò ad aprirsi circa 30 Ma e Bacino Tirrenico) caratterizzati da uno spessore crostale inferiore ai 10 km.

L'attuale posizione del blocco sardo-corso è frutto di una serie di progressivi movimenti di deriva e rotazione connessi alla progressiva subduzione di crosta oceanica chiamata Oceano Tetide al di sotto dell'Europa.

La storia collisionale Varisica ha prodotto tre differenti zone distinte dal punto di vista strutturale:

- **“Zona a falde Esterne”** a foreland “thrusts-and-folds” belt formata da rocce metasedimentarie con età variabile da Ediacarian superiore (550Ma) a Carbonifero inferiore (340Ma) che affiora nella zona sud occidentale dell'isola. Il metamorfismo è di grado molto basso Anchimetamorfismo al limite con la diagenesi.

- **“Zona a falde Interne”** un settore della Sardegna centrale con vergenza sud ovest costituito da metamorfiti paleozoiche in facies scisti verdi di origine sedimentaria e da una suite vulcanica di età ordoviciana anch'essa metamorfosata in condizioni di basso grado

- **“Zona Assiale”** (Northern Sardinia and Southern Corsica) caratterizzata da rocce metamorfiche di medio e alto grado con migmatiti e grandi intrusioni granitiche tardo varisiche (320- 280Ma).

Tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano/Messiniano la Sardegna settentrionale (Funedda et. Al 2003), è stata interessata da un'importante tettonica e di una conseguente attività effusiva e sedimentaria che ha portato alla formazione di diversi bacini, i quali si differenziano per differente orientazione, e successivamente evoluzioni tettonico-sedimentarie.

Questi bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come Fossa sarda ("Rift Sardo" in: Casula et al. 2001; Cherchi & Montadert, 1982), e interpretata come un lineamento tettonico orientato N-S che attraversa tutta l'isola, legato ad una estensione crostale orientata E-W (Cherchi & Tremolieres, 1984) avvenuta durante la rotazione del Blocco sardo-corso al Oligocene superiore.

A scala minore, i movimenti relativi tra i blocchi tettonici che costituiscono la Sardegna hanno riattivato i sistemi di faglie di età tardo-ercinica del basamento sardo, peraltro già riattivati durante il Mesozoico e il Paleogene. L'evoluzione conseguente dell'intero Rift Sardo segue una propagazione da sud a nord di un sistema di faglie da trascorrenti semplici a transtensive fino a estensionali, che danno luogo a un sistema regionale di blocchi tettonici separati da depressioni ramificate secondo le direttrici tettoniche regionali disposte grosso modo NE-SW e NW-SE.

Nella Sardegna centrale e settentrionale tale strutturazione è rappresentata da movimenti anstensivi lungo i sistemi di faglie NE-SW dei semi-graben di Ottana e del Logudoro (LECCA et alii, 1994; ASSORGIA et alii, 1995; OGGIANO et alii, 1995) e da movimenti a carattere più estensionale lungo le faglie NW-SE e N-S nel distretto vulcanico del Logudoro, nei bacini del Turritano-Anglona e del Golfo dell'Asinara.

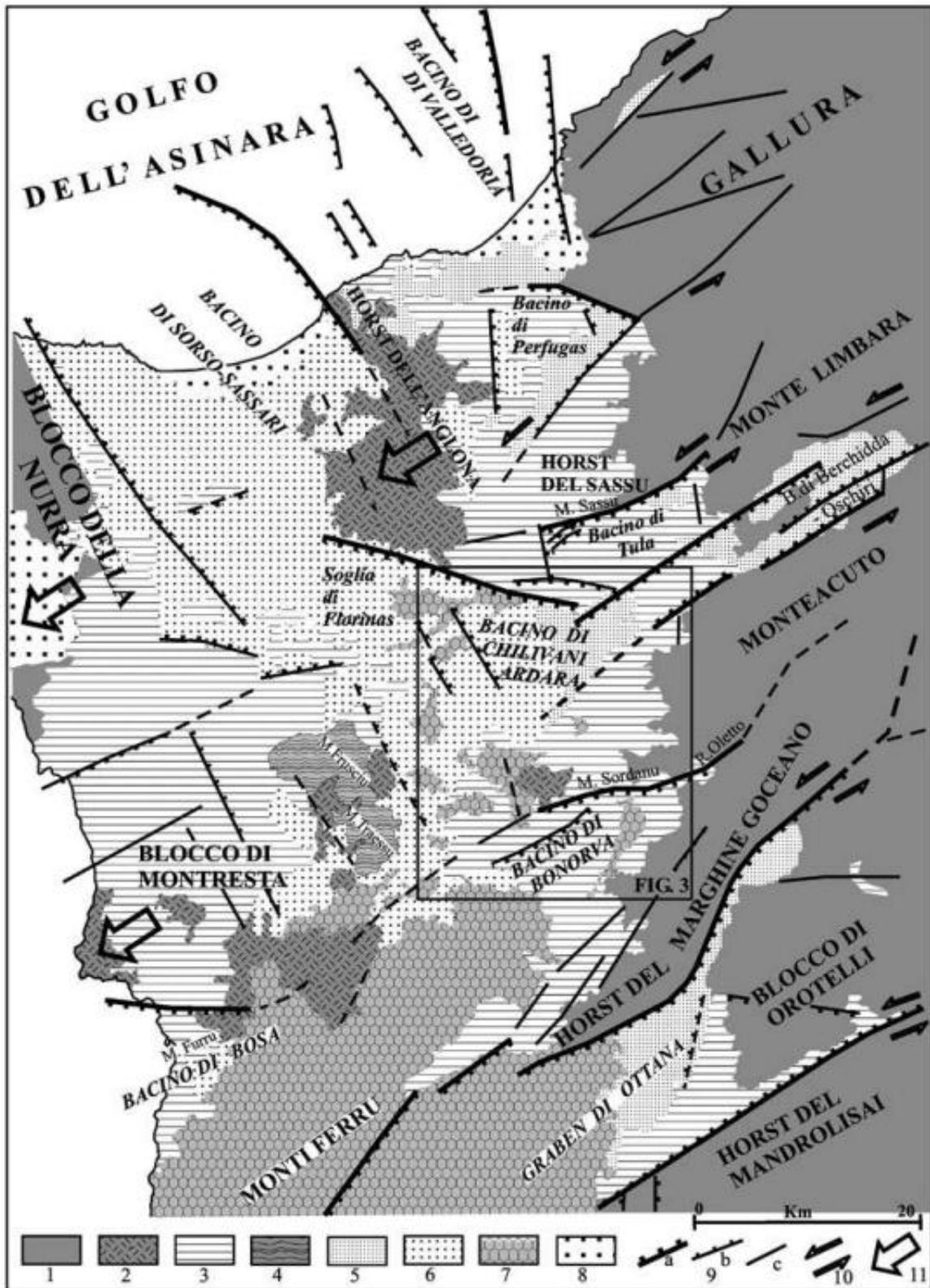


Figura 3-1 Schema geologico del sistema di horst block e semi-graben della Sadezna Settentrionale

Di seguito vengono descritte le unità presenti nell'area vasta:

b_Depositi alluvionali. OLOCENE

b2_Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

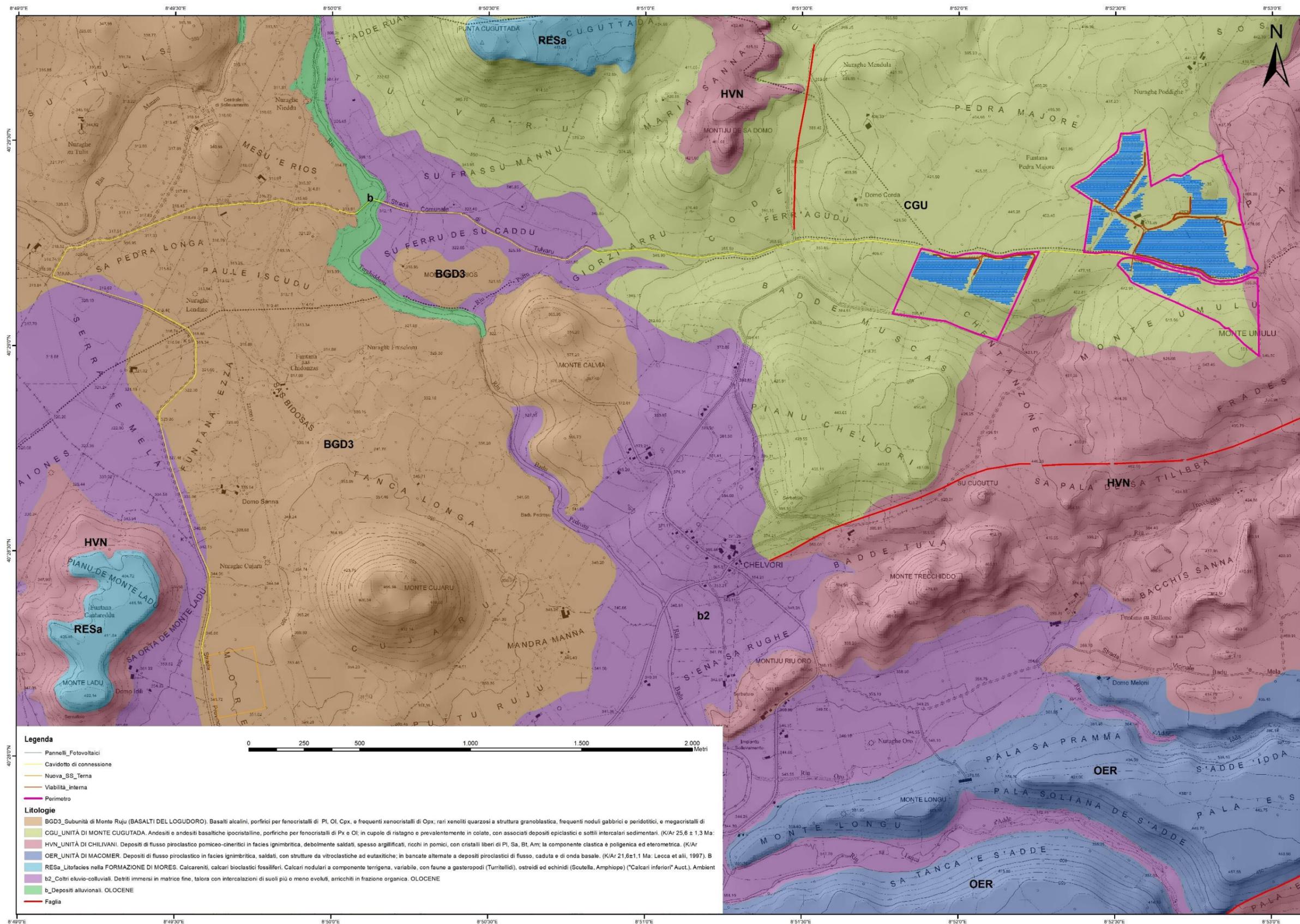
RESa_Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.).

OER_UNITÀ DI MACOMER. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, con strutture da vitroclastiche ad eutaxitiche; in bancate alternate a depositi piroclastici di flusso, caduta e di onda basale. (K/Ar $21,6 \pm 1,1$ Ma: Lecca et alii, 1997).

HVN_UNITÀ DI CHILIVANI. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbratica, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Am; la componente clastica è poligenica ed eterometrica.

CGU_UNITÀ DI MONTE CUGUTADA. Andesiti e andesiti basaltiche ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Px e Ol; in cupole di ristagno e prevalentemente in colate, con associati depositi epiclastici e sottili intercalari sedimentari.

BGD3_Subunità di Monte Ruju (BASALTI DEL LOGUDORO). Basalti alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx, e frequenti xenocristalli di Opx; rari xenoliti quarzosi a struttura granoblastica, frequenti noduli gabbrici e peridotitici.



3.1 Litologia e stratigrafia significative all 'area di Progetto

Nello specifico, la litologia interessata dal progetto è la seguente:

CGU, UNITÀ DI MONTE CUGUTADA.: Andesiti e andesiti basaltiche ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Px e Ol; in cupole di ristagno e prevalentemente in colate, con associati depositi epiclastici e sottili intercalari sedimentari.

Le andesiti basali affiorano nella zona di Monte Cuguttada e costituiscono la culminazione di un horst block che separa i due sub-bacini. L'attribuzione delle unità andesitiche alla parte basale della successione vulcanica deriva, oltre che dall'età radiometrica, dall'assetto generale delle due unità lungo il versante orientale di Monte Cuguttada. I prodotti iniziali dell'attività vulcanica sono rappresentati da andesiti e andesiti-basaltiche in cupole di ristagno che si caratterizzano per la presenza di laminazioni di flusso, con giaciture variabili da orizzontali a sub-verticali e fratture concentriche e/o radiali; localmente si osservano strutture autoclastiche. L'attività prosegue con l'emissione di numerosi flussi lavici che danno luogo ad una successione di colate, la cui potenza media è di 3 m circa. Le singole colate sono facilmente individuabili, sia per la presenza di porzioni autoclastiche al letto e al tetto, che per livelli epiclastici intercalati. In particolare, in località Planu Chelvori, in prossimità dell'area di progetto, le colate poggiano su un'alternanza di livelli epiclastici, a clasti centimetrici poco elaborati di composizione «andesitica» e a frammenti di cristalli cementati da analcime (A.SAU, L.LECCA, R.LONIS, F.SECCHI, M.L FERCIA, 2005)

3.2 Tettonica e caratteristiche geostrutturali

Dal punto di vista strutturale, l'area in esame è caratterizzata da un sistema di faglie che delimitano un ampio e composito semi-graben sopra un blocco che si estende dal Marghine fino al Logudoro, inclinato verso NW. Il blocco è costituito dal basamento paleozoico, dalle andesiti e da sovrastanti ignimbriti lapidee (WI). In questo semi-graben si accumulano piroclastiti tardive, sedimenti lacustri, conglomerati fluviali e sedimenti marini.

Verso ovest questo ampio semi-graben è limitato da una faglia circa NNW-SSE che si riconosce in modo discontinuo e che costituisce la transizione al M. Frusciu M. Traessu e al dominio del blocco di Montresta.

Come suggerito dallo spessore e dalla diversa distribuzione delle unità vulcaniche cartografate, l'area descritta è suddivisa in due sub-strutture di tipo semi-graben (il bacino di Chilivani-Ardara e quello di Bonorva) limitati dalle master faults e dalle rampe dei tilted blocks.

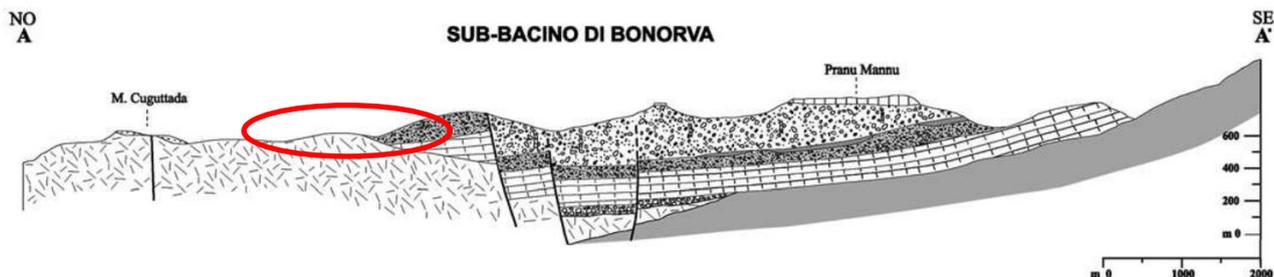
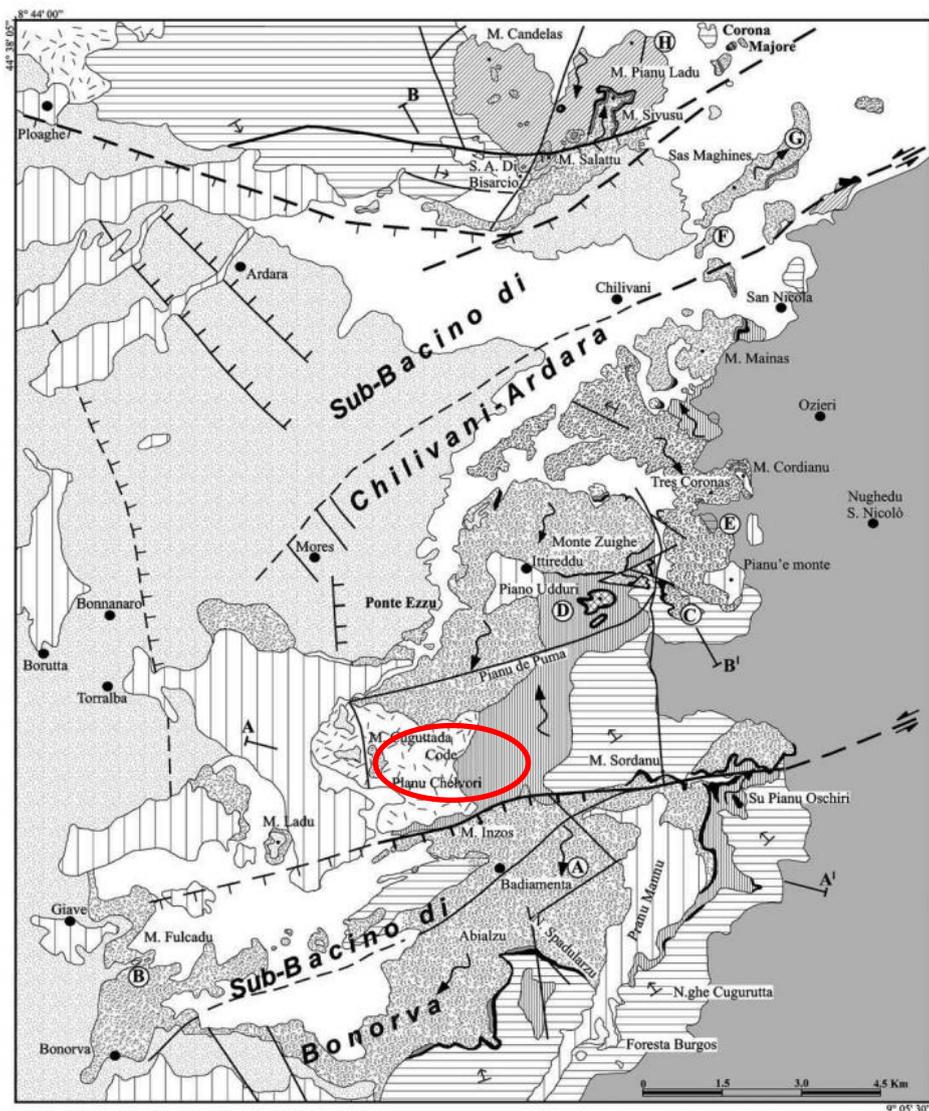




Figura 3-2 Sezioni geologiche schematiche dei sub-bacini di Chilivani-Ardara e Bonorva. Ubicazione in fig. 3. (1) Vulcaniti del ciclo anorogenico Plio-Quaternario; 2-9: ciclo vulcanico e sedimentario Oligo-miocenico: (2) coperture sedimentarie prevalentemente deltaico-marine postvulcaniche (Burdigaliano sup.-Langhiano); (3) Unità di Chilivani (CH); (4) Principale livello epiclastici (EVL); (5) Unità di Pianu de Puma (IC) e Pianu Ladu (PL); (6) ignimbriti saldate e reomorfiche (WI); (7) conglomerati fluviali (presunti); (8) domi e colate andesitiche s.l.; (9) basamento paleozoico; (10) faglie

4. Inquadramento Geomorfológico

I lineamenti geomorfologici dell'area in esame sono strettamente correlati alla molteplicità delle litologie affioranti e alle caratteristiche geostrutturali che hanno interessato questo settore della Sardegna. L'azione combinata di questi due fattori ha conferito al paesaggio una morfologia articolata dovuta prevalentemente alla differente vulnerabilità del substrato affiorante nei confronti degli agenti geomorfodinamici più incidenti in quest'area.

A seguito del vulcanismo che ha interessato l'area, idrografia si è imposta sulle maggiori direttrici tettoniche e ha eroso, inciso valli e portato a giorno le litologie sottostanti. Come si può osservare dallo stralcio della carta geomorfologica della Sardegna in fig.4-1, nell'area vasta sono presenti superfici strutturali impostate sul basamento costituito da rocce effusive basiche ed acide.

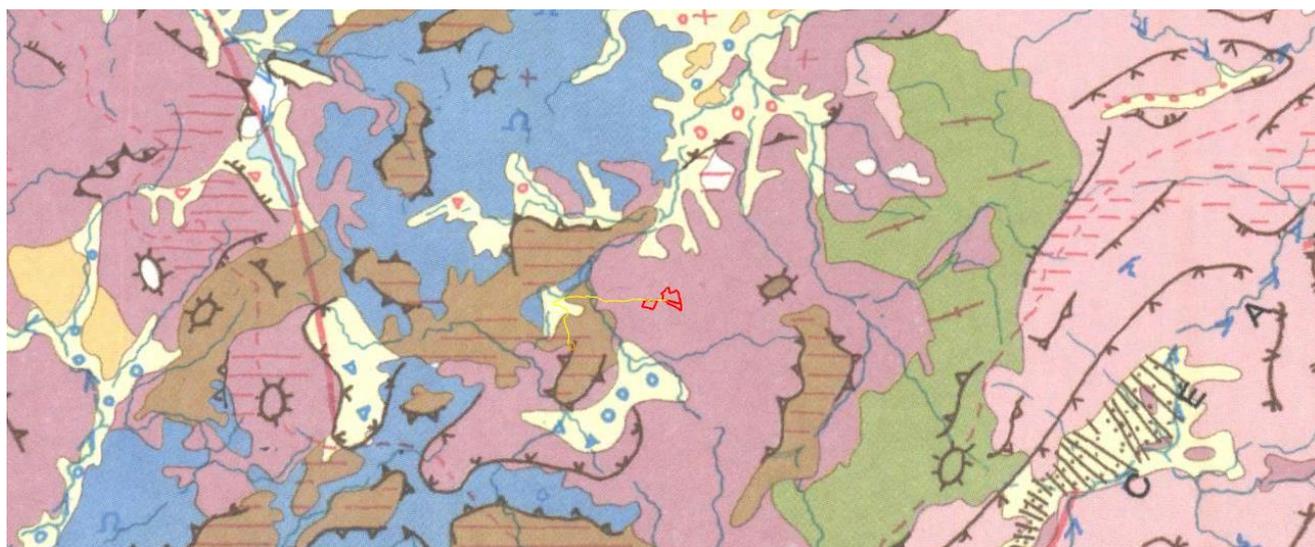


Figura 4-1 Stralcio carta geomorfologica della Sardegna

4.1 Geomorfologia dell'area significativa al progetto

L'area geomorfologicamente significativa è quell'area all'interno della quale gli agenti morfodinamici vanno ad interessare indirettamente o direttamente l'opera oggetto di studio.

Le quote più alte più prossime all'area di progetto si raggiungono nel Pianu Bidure (602 metri) Monte Umulu (551 metri) e Punta Cuguttada (550 metri). La circolazione idrica interna è poco sviluppata e non sono evidenti forme derivanti dallo scorrimento superficiale delle acque.

Pianu Bidure è una piana costituita da depositi di flusso piroclastico mentre sul Rilievo di Punta Cuguttada affiorano circoscritti i calcari della formazione di Mores.

Dall'analisi della carta delle pendenze riportata in fig. 4-2 si evince che l'area di progetto possiede una pendenza verso NNO dovuta presumibilmente dalla messa in posto della colata lavica. Tuttavia le aree dove verranno installati i pannelli presentano delle pendenze medie di circa il 6%. La sua esposizione determina un ottimo irraggiamento solare e condizioni di umidità dei suoli conseguentemente basse.

Il substrato roccioso è per lo più affiorante e ne consegue una scarsa frazione di suolo e una vegetazione quasi del tutto rada.

Nonostante la sua conformazione morfologica, l'area in oggetto non ha indizi di franosità censiti dal progetto IFFI (Fig. 4-3)



Figura 4-2 Carta delle pendenze

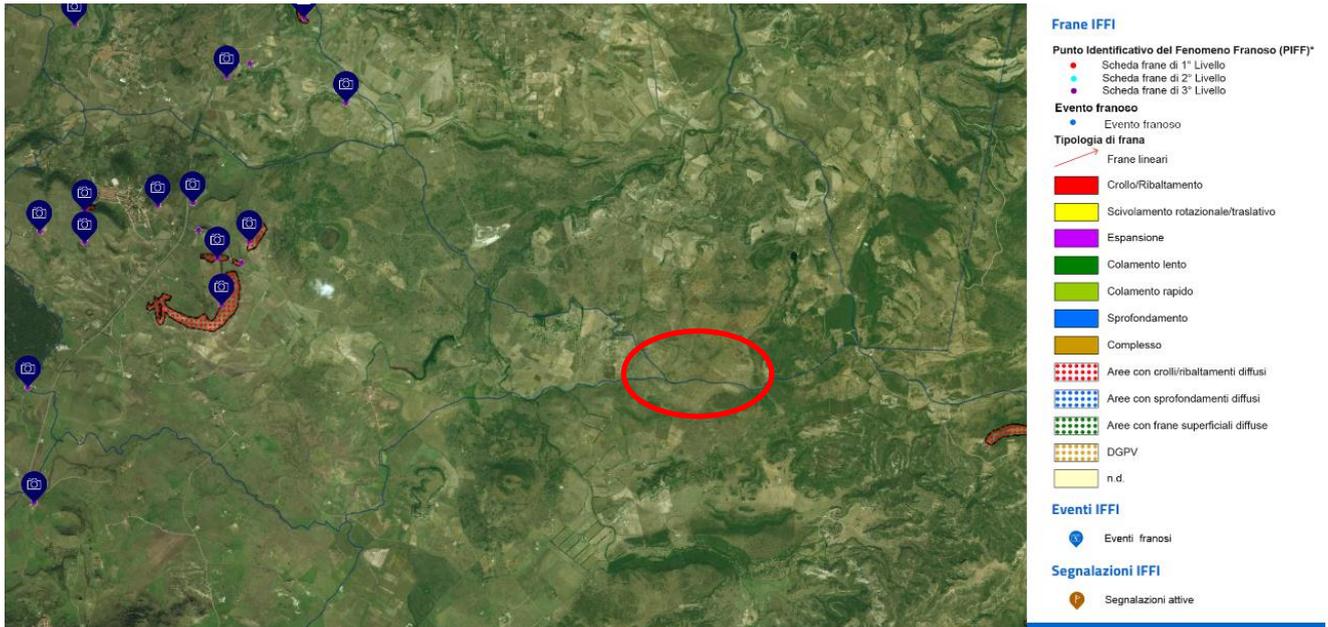


Figura 4-3 Censimento frane_Progetto IFFI (ISPRA)_In rosso la localizzazione dell'area di progetto

5. Inquadramento Idrogeologico

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, l'area oggetto di studio, ricadente nel territorio comunale di Bonorva e Mores, è inclusa nel Sub – Bacino n°3 Coghinas Mannu Temo.

Il Coghinas è considerato il terzo corso d'acqua della Sardegna dopo Tirso e Flumendosa. Il bacino, con superficie di poco meno di 2500 km², ha una forma vagamente triangolare in cui il basso e medio corso del Coghinas, del riu Mannu di Mores e del riu di Berchidda ne costituiscono le bisettrici, oltre che i principali assi drenanti.

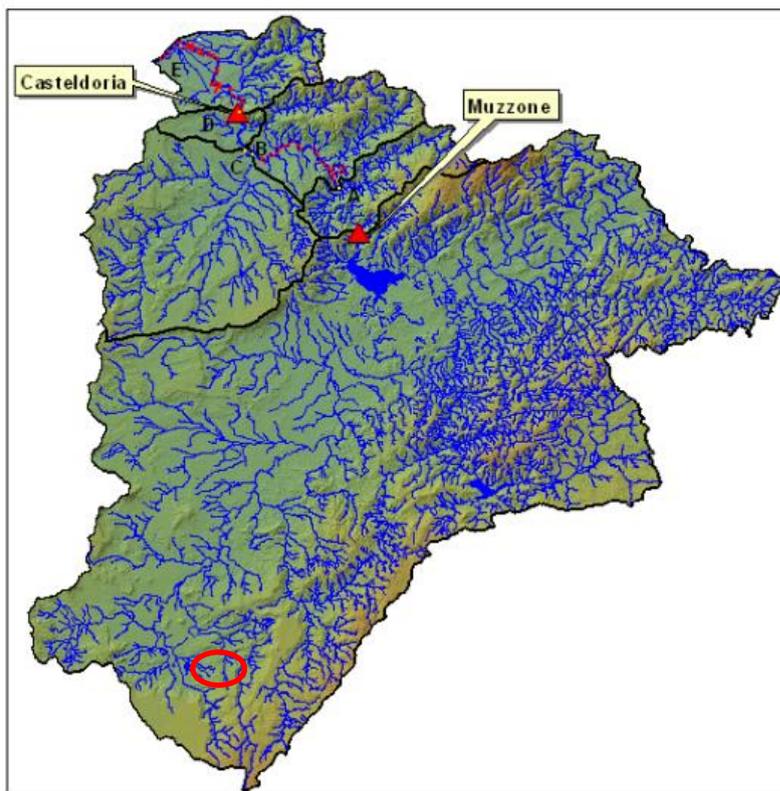


Figura 5-1 Bacino idrografico del Coghinas

Dal punto di vista geologico è possibile distinguere due aree il cui limite segue all'incirca l'asse del basso corso del Coghinas. A Est di tale linea ideale affiorano essenzialmente rocce facenti parte del complesso intrusivo del basamento ercinico, ad Ovest di tale limite sono presenti vulcaniti del ciclo vulcanico Oligo_Miocenico e formazioni sedimentarie mioceniche.

Da un punto di vista strutturale si evidenzia soprattutto una sorta di graben, con asse OSO-ENE, che attraversa l'intero bacino e funge da asse preferenziale per le valli dei due principali immissari del lago del Coghinas, ovvero i riu Mannu - riu Berchidda e riu Mannu di Mores.

Il bacino del Coghinas è un'area caratterizzata dalla presenza di colline e basse montagne, all'interno delle quali vi sono alcune limitate piane alluvionali. La foce avviene in corrispondenza di una piana formata dai depositi alluvionali del Coghinas stesso e chiusa verso il mare da una duna costiera continua, in parte stabilizzata, ma per lo più ancora attiva, dell'altezza di 15-20 m.

In tale contesto la rete idrografica corre per lo più all'interno di valli incise nel substrato, con la classica sezione a "V", salvo che in corrispondenza delle piane alluvionali interne o costiere, dove le incisioni vallive hanno modo di allargarsi e le aste fluviale possono assumere forme più mature con alvei pluricursali o meandriformi. La pendenza dell'asta fluviale del Coghinas è circa dello 0,25 % nel tratto vallivo di indagine e scende repentinamente allo 0,05% nella piana costiera.

L'area di progetto si inserisce in prossimità dell'estremità su del bacino idrografico del Coghinas. Le acque del settore di interesse drenano verso ovest e vanno ad alimentare il rio Badu Pedrosu il quale scorre tra Pianu Chelvori e Monte Cujaru. Nella tavola sottostante viene messo in evidenza lo schema dell'idrografia locale la quale possiede un pattern di tipo dendritico.

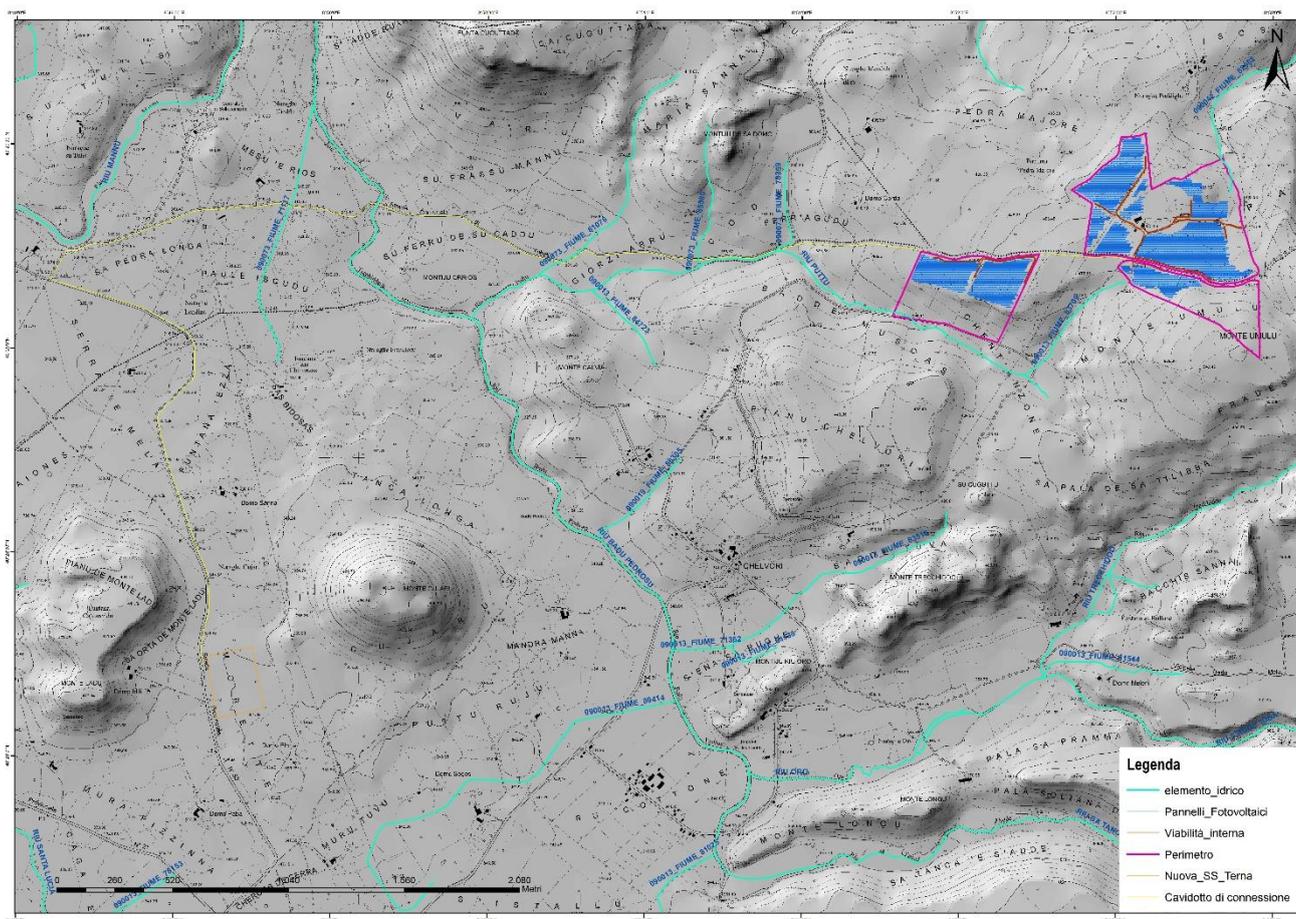


Figura 5-2 Carta dell'idrografia locale

5.1 Idrografia sotterranea

La litologia interessata dal progetto possiede un tipo di permeabilità di secondo grado per fratturazione. Tuttavia, il grado di permeabilità è funzione della presenza della quantità di materiale argilloso il quale potrebbe essere presente in percentuali variabili sul suolo e in caso di una presenza cospicua in alcune zone si può arrivare anche all'impermeabilità. Si evince dalla carta della permeabilità dei suoli e dei substrati (RAS) che la permeabilità dell'area in studio è prevalentemente medio bassa per fratturazione **MBF**. Per tale motivo sulla base delle informazioni disponibili è difficile affermare che tale substrato possa essere sede di un acquifero.

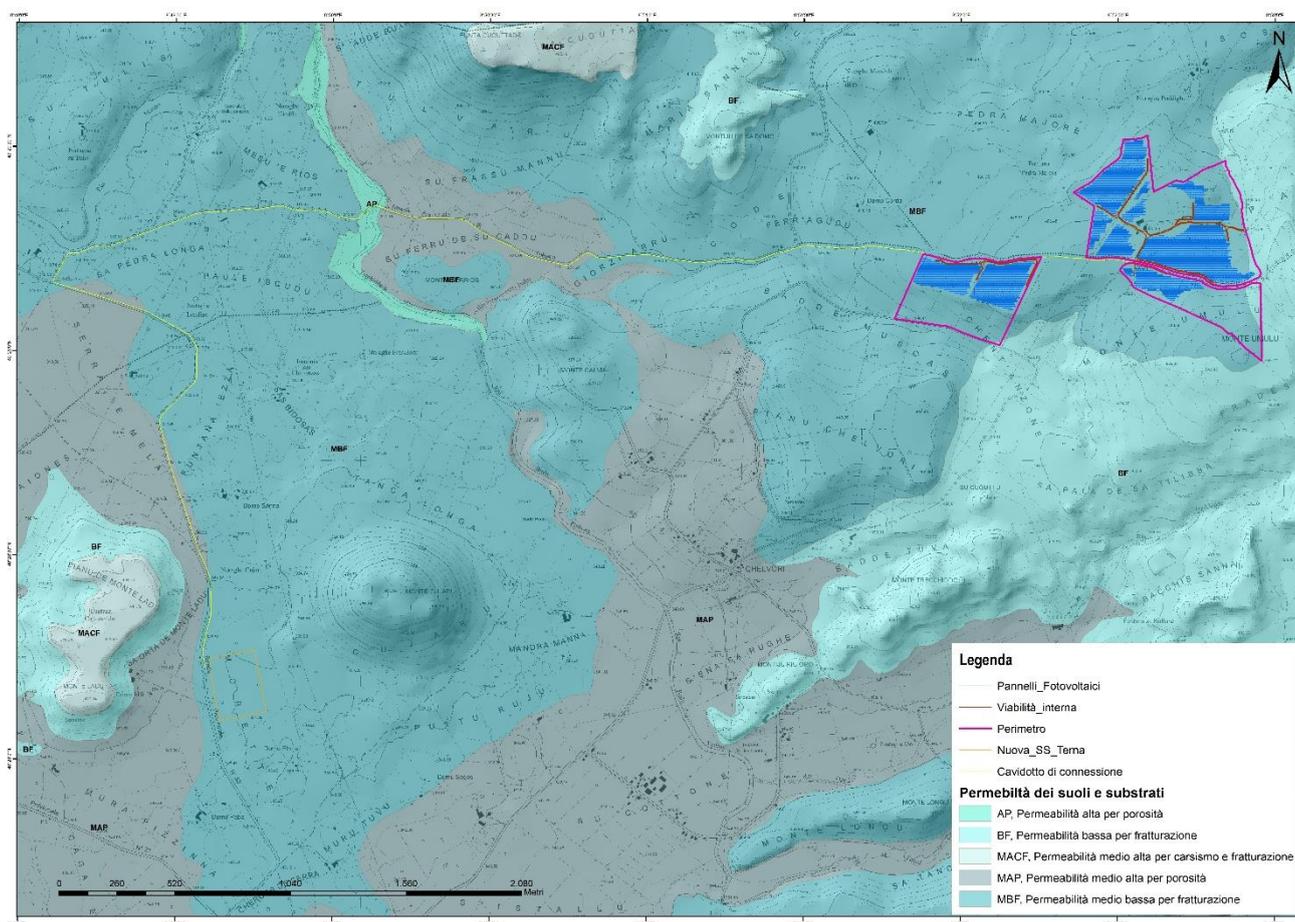


Figura 5-3 Carta delle permeabilità dei suoli e substrati

6. Vincoli Vigenti

6.1 PAI – Piano di Assetto Idrogeologico

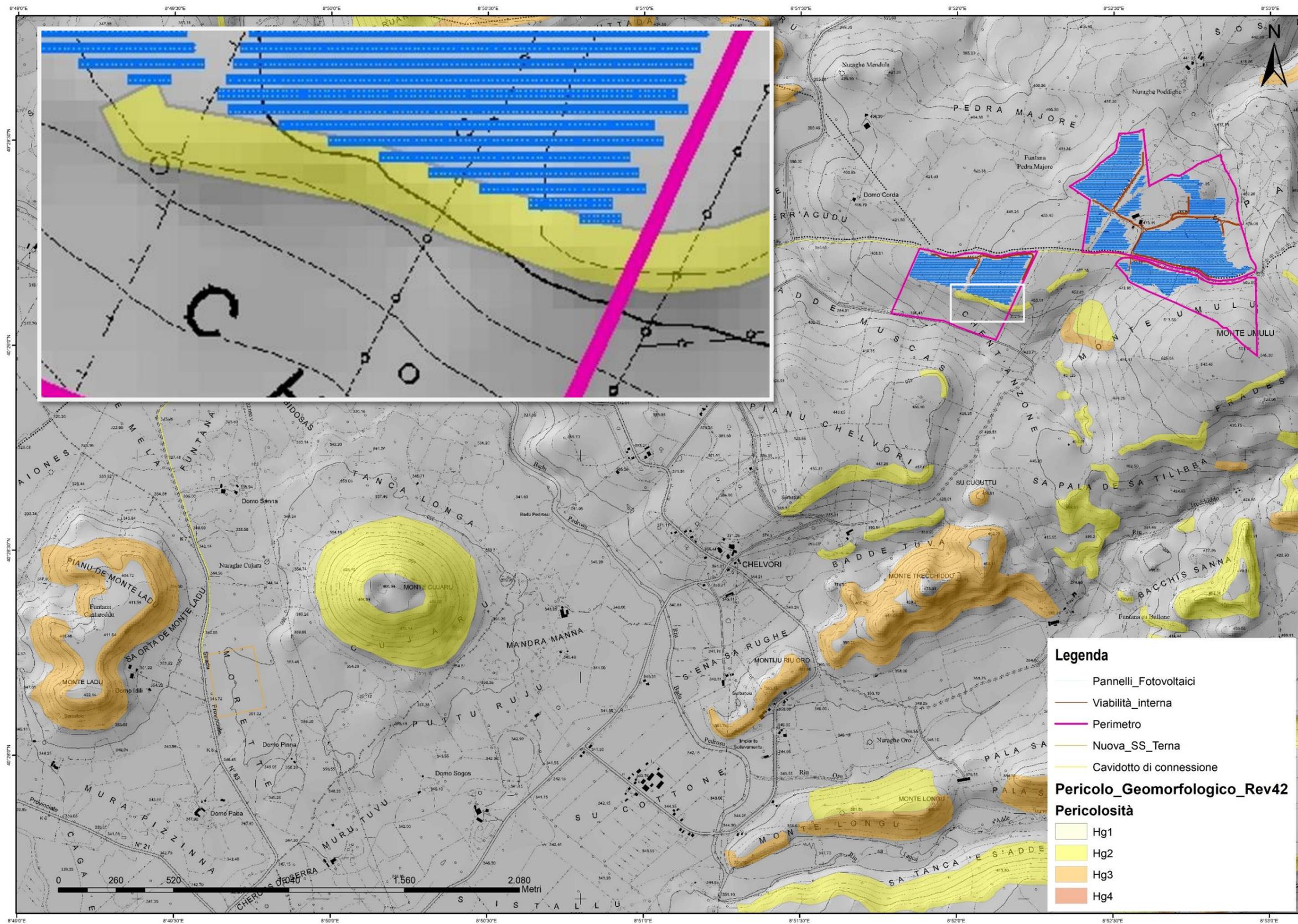
Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (**PAI**) è stato redatto dalla Regione Sardegna ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18 maggio 1989 n. 183 e ss.mm.ii., adottato con Delibera della Giunta Regionale n. 2246 del 21 luglio 2003, reso esecutivo dal Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21 febbraio 2005 e approvato con Decreto del Presidente della Regione del 10.07.2006 n. 67.

Ha valore di piano territoriale di settore e, in quanto dispone con finalità di salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici, prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale (Art. 4 comma 4 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI). Inoltre (art. 6 comma 2 lettera c delle NTA), "le previsioni del PAI [...] prevalgono: [...] su quelle degli altri strumenti regionali di settore con effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali, tra cui i [...] piani per le infrastrutture, il piano regionale di utilizzo delle aree del demanio marittimo per finalità turistico-ricreative.

Con la Deliberazione n. 12 del 21/12/2021, pubblicata sul BURAS n. 72 del 30/12/2021 il Comitato Istituzionale ha adottato alcune modifiche alle Norme di Attuazione del PAI. Le modifiche sono state successivamente approvate con la Deliberazione di giunta regionale n. 2/8 del 20/1/2022 e con Decreto del Presidente della Regione n. 14 del 7/2/2022.

Le vigenti Norme di Attuazione del P.A.I., recitano, all'art. 8, comma 2, che i Comuni, "con le procedure delle varianti al PAI, assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e la pericolosità e il rischio da frana, riferiti a tutto il territorio comunale o a rilevanti parti di esso"

Le aree dove sorgerà l'impianto fotovoltaico risultano essere interessate **parzialmente da pericolosità geomorfologica Hg2**.



7. Caratterizzazione geotecnica

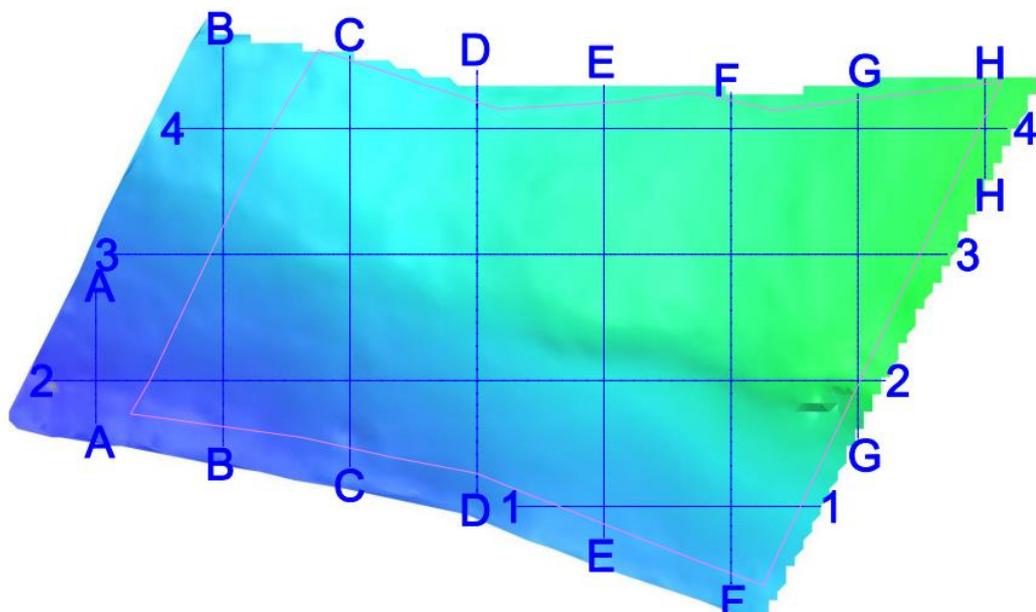
Ai fini delle verifiche di stabilità si riportano i valori medi dei principali parametri meccanici di riferimento desunti da indagini effettuate sulla stessa litologia in prossimità dell'area di progetto e dalla bibliografia esistente del litotipo A.

Litotipo A - da 0,00 a > -5,00 m - Andesiti basaltiche

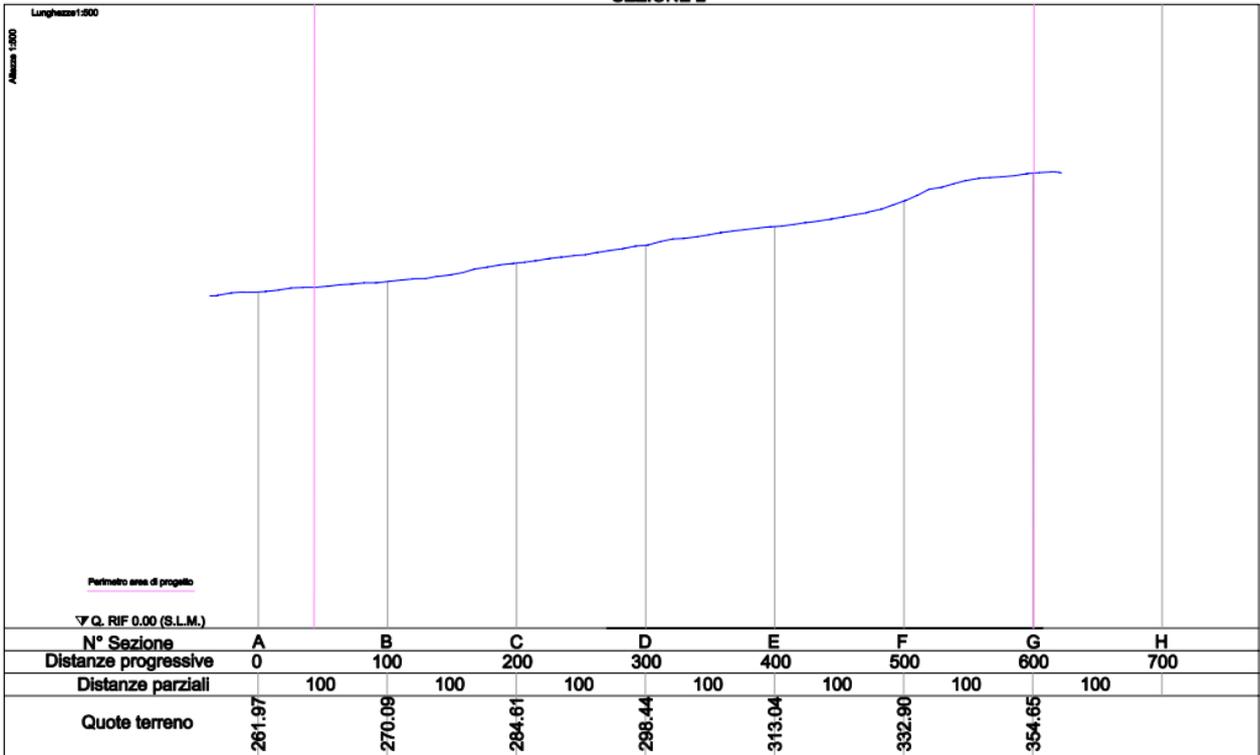
Litotipo	Resistenza a compressione uniaassiale	Coeff.Poisson	Gamma	Gamma saturo	Coesione	Angolo d'attrito
	<i>Mpa</i>		<i>T/m3</i>	<i>T/m3</i>	<i>kg/cm²</i>	<i>°</i>
A	20	0.15	21	23	0	32

8. Stabilità del pendio

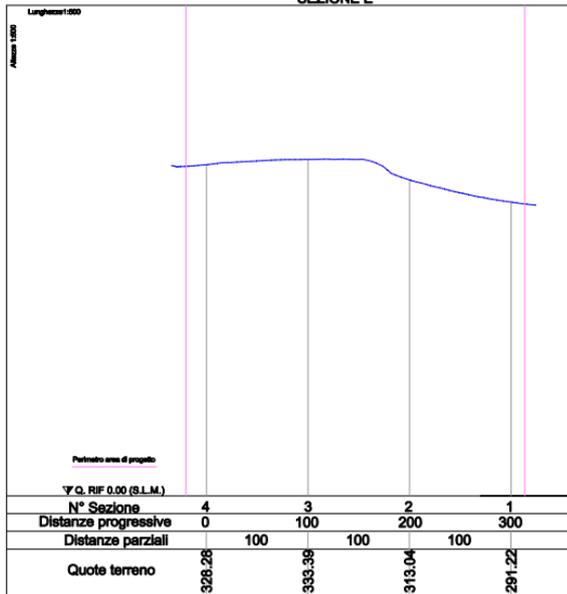
La morfologia del versante ha assunto un profilo di equilibrio geologicamente stabile e non c'è evidenza, osservando inoltre le ortofoto storiche, di fenomeni di instabilità dovuti o dissesti gravitativi per instabilità dei pendii. In relazione a quanto osservato e considerando la debole acclività del pendio e la litologia coinvolta, la realizzazione delle opere non compromette la stabilità del pendio. A favore di verifica, viene proposta l'analisi di stabilità del versante effettuata con il software *Slope* della Geostru nella quale è stato ipotizzato un carico concentrato di circa 10 kN (~1000 Kg). Per l'elaborazione è stato utilizzato il profilo topografico più acclive ricavato dal rilievo topografico di dettaglio dell'area di interesse. Nello specifico si tratta del profilo topografico **E**.



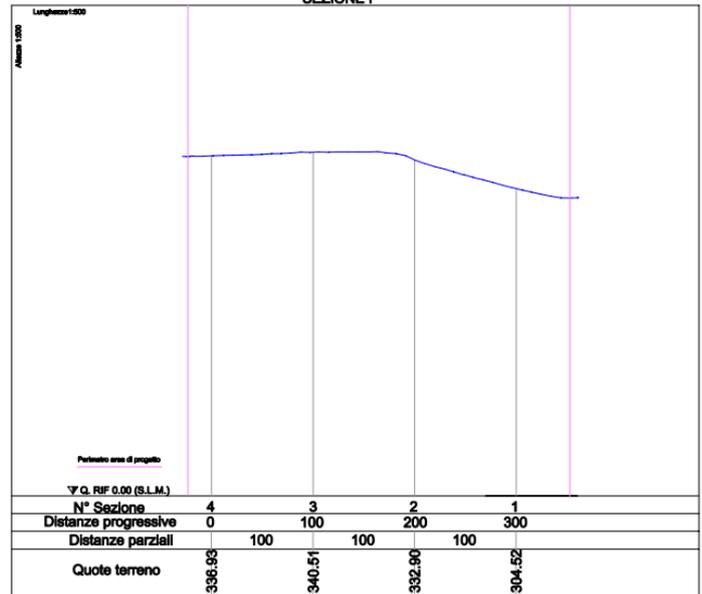
SEZIONE 2

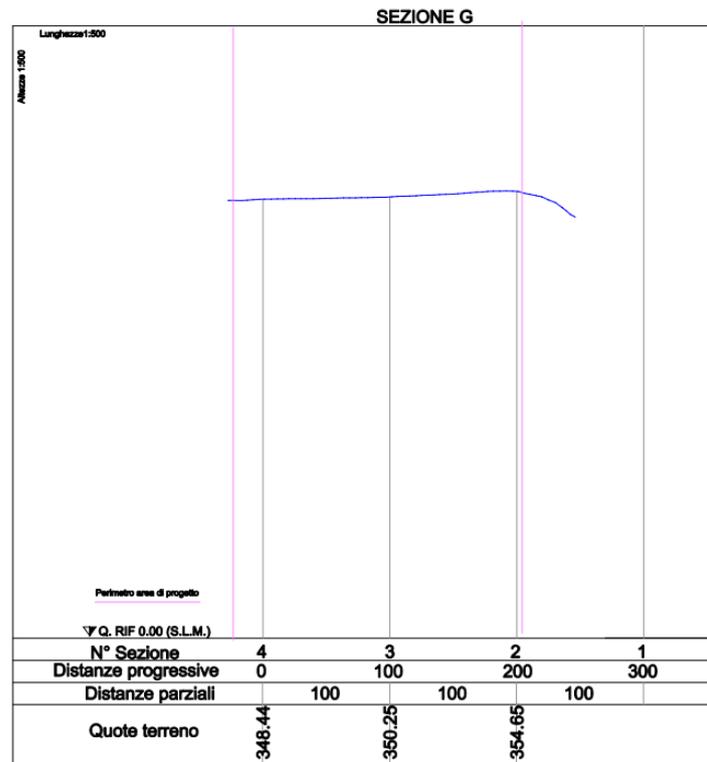


SEZIONE E



SEZIONE F





Pendii in roccia (*Metodo di Hoek e Bray*)

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\operatorname{tg}\varphi = AB \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1}$$

$$c = A\sigma_c \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N\operatorname{tg}\varphi$$

dove:

σ_c è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (riportati in tabella);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione, sulla base di 111 esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

Ai fini di cautelativi è stato utilizzato RMR 44.

	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti
RMR = 100 Q = 500	A = 0.816 B = 0.658 T = -0.140	A = 0.918 B = 0.677 T = -0.099	A = 1.044 B = 0.692 T = -0.067	A = 1.086 B = 0.696 T = -0.059	A = 1.220 B = 0.705 T = -0.040
RMR = 85 Q = 100	A = 0.651 B = 0.679 T = -0.028	A = 0.739 B = 0.692 T = -0.020	A = 0.848 B = 0.702 T = -0.013	A = 0.883 B = 0.705 T = -0.012	A = 0.998 B = 0.712 T = -0.008
RMR = 65 Q = 10	A = 0.369 B = 0.669 T = -0.006	A = 0.427 B = 0.683 T = -0.004	A = 0.501 B = 0.695 T = -0.003	A = 0.525 B = 0.698 T = -0.002	A = 0.603 B = 0.707 T = -0.002
RMR = 44 Q = 1	A = 0.198 B = 0.662 T = -0.0007	A = 0.234 B = 0.675 T = -0.0005	A = 0.280 B = 0.688 T = -0.0003	A = 0.295 B = 0.691 T = -0.003	A = 0.346 B = 0.700 T = -0.0002
RMR = 3 Q = 0.1	A = 0.115 B = 0.646 T = -0.0002	A = 0.129 B = 0.655 T = -0.0002	A = 0.162 B = 0.672 T = -0.0001	A = 0.172 B = 0.676 T = -0.0001	A = 0.203 B = 0.686 T = -0.0001
RMR = 3 Q = 0.01	A = 0.042 B = 0.534 T = 0	A = 0.050 B = 0.539 T = 0	A = 0.061 B = 0.546 T = 0	A = 0.065 B = 0.548 T = 0	A = 0.078 B = 0.556 T = 0

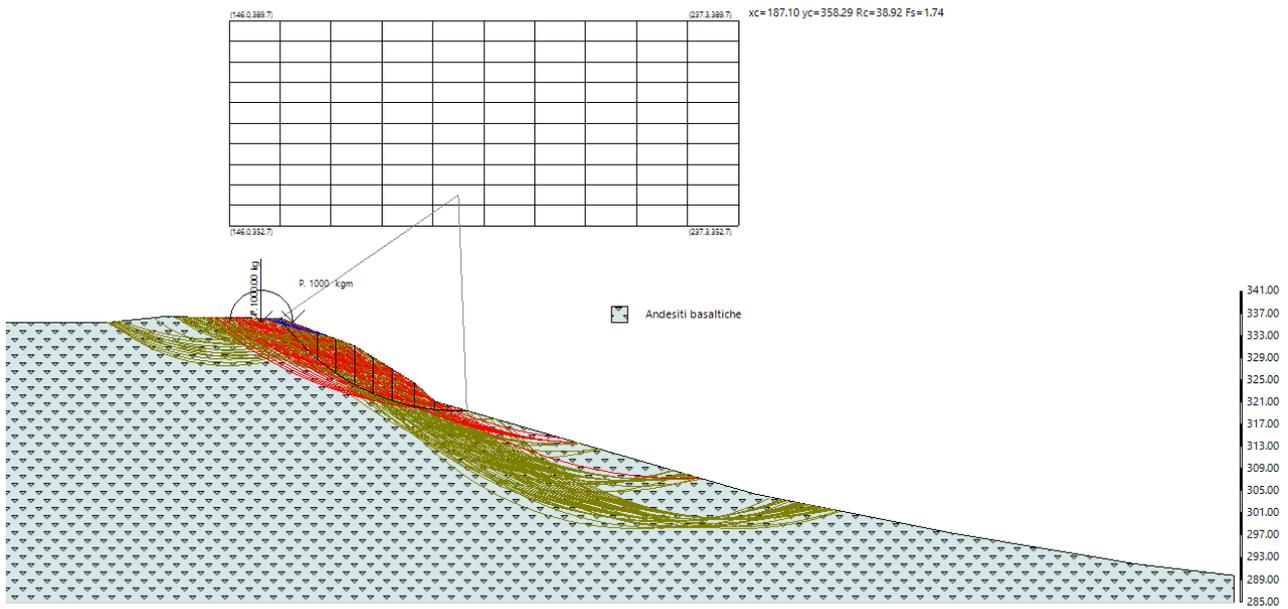


Figura 8-1 Superficie di scorrimento individuate

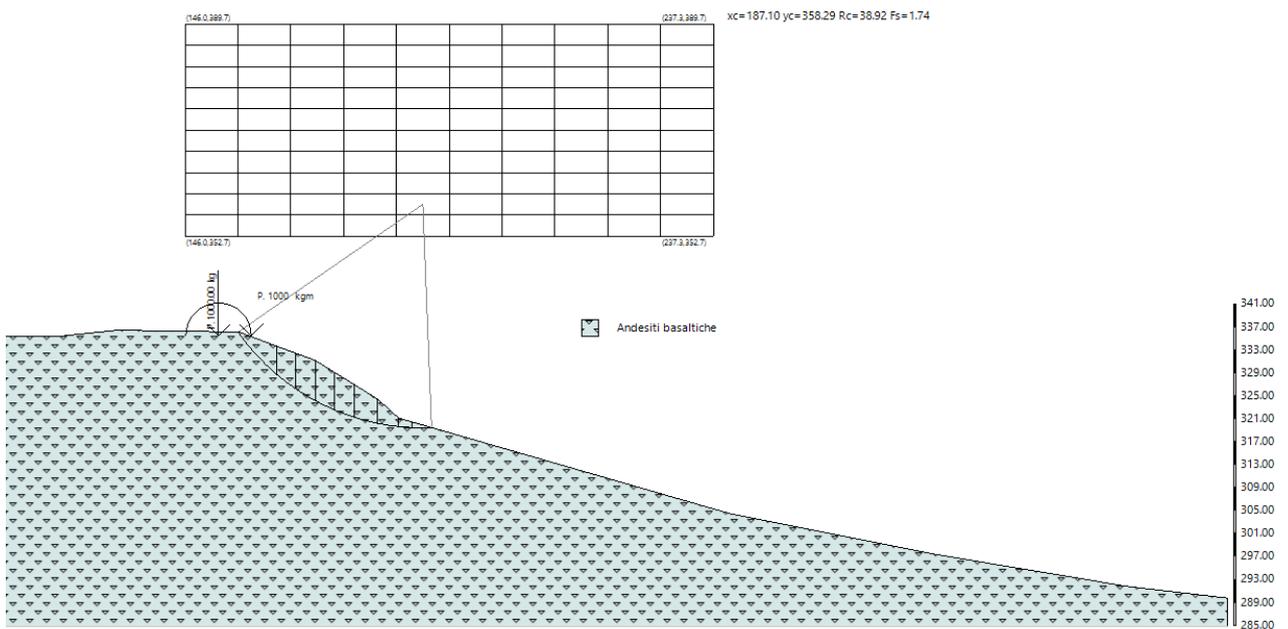


Figura 8-2 Superficie di scorrimento individuata a fattore minimo (Fs 1.74)

Analisi di stabilità dei pendii con :JANBU (1967)

Lat./Long.	40.086143/8.980026 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1

Coefficiente parziale resistenza 1.0
 Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 146.01 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 352.75 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 237.32 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 389.67 m
 Passo di ricerca 10.0
 Numero di celle lungo x 10.0
 Numero di celle lungo y 10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe I
 Vita nominale: 50.0 [anni]
 Vita di riferimento: 35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.186	2.61	0.273
S.L.D.	50.0	0.235	2.67	0.296
S.L.V.	475.0	0.49	2.88	0.34
S.L.C.	975.0	0.588	2.98	0.372

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe I

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.2232	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.282	0.47	0.0135	0.0068
S.L.V.	0.588	0.38	0.0228	0.0114
S.L.C.	0.7056	0.0	0.0	0.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	-34.24	329.38
2	-22.58	328.04
3	4.4	330.71
4	22.72	333.04
5	67.69	335.37
6	108.33	335.37
7	124.98	335.37
8	134.31	336.37
9	155.29	336.04
10	168.62	331.04
11	179.28	324.38
12	182.94	321.05
13	240.23	304.39
14	275.21	297.4
15	308.85	291.74
16	325.84	289.74
17	326.17	289.74

Coefficienti parziali azioni

=====		
=		
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
=====		
=		

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====		
=		
Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25	
Coesione efficace	1.25	
Coesione non drenata	1.4	
Riduzione parametri geotecnici terreno	No	
=====		
=		

Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (kg/m ³)	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm ²)	Texture	Descrizione
1	22000	0.295	0.691	-0.0003	200		Andesiti basaltiche

Carichi concentrati

N°	x	y	Fx	Fy	M
----	---	---	----	----	---

	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(kgm)
1	77.48	65.79	0	1000	1000
2	43.47	69.66	0	1000	1000
3	151.8	335.45	0	1000	1000

Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

=====

=

Fs minimo individuato	1.74
Ascissa centro superficie	187.1 m
Ordinata centro superficie	358.29 m
Raggio superficie	38.92 m

=====

$xc = 187.101 \quad yc = 358.286 \quad Rc = 38.919 \quad Fs = 1.743$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (kg)
1	0.13	55.0	0.2	247.79	0.0	0.0	0.23	63.4	0.0	-9.0	538.5
2	6.57	47.6	9.74	32856.8	0.0	0.0	1.06	36.6	0.0377	305.0358	630.3
3	3.35	37.3	4.24	14562.9	0.0	0.0	1.99	29.0	0.0379	963.4233	222.3
4	3.41	31.3	4.05	00626.7	0.0	0.0	2.45	26.7	0.0459	670.0242	955.0
5	3.28	25.7	3.64	91519.3	0.0	0.0	2.67	25.8	0.0449	911.2220	319.3
6	3.35	20.4	3.64	52754.0	0.0	0.0	2.63	26.0	0.0413	763.5198	781.9
7	4.04	14.7	4.24	44633.4	0.0	0.0	2.39	27.0	0.0408	803.1200	638.3
8	3.66	8.9	3.72	32394.1	0.0	0.0	1.7	30.7	0.0216	336.2122	392.0
9	2.34	4.4	2.36	3088.88	0.0	0.0	0.99	37.5	0.0599	13.3437	32.1
10	3.35	0.2	3.33	7968.71	0.0	0.0	0.59	44.8	0.0378	28.3361	115.8

9. Ammissibilità dell'Intervento

ARTICOLO 25 Studi di compatibilità geologica e geotecnica_NTA del PAI.

1. In applicazione dell'articolo 23, comma 6, lettera b, nei casi in cui è espressamente richiesto dalle presenti norme i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità molto elevata, elevata e media da frana sono accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati nei seguenti commi.

2. Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica non sostituisce le valutazioni di impatto ambientale, le valutazioni di incidenza, gli studi di fattibilità, le analisi costi-benefici e gli altri atti istruttori di qualunque tipo richiesti dalle leggi dello Stato e della Regione Sardegna.

3. Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica: a. è firmato da un ingegnere esperto in geotecnica e da un geologo, ciascuno per quanto di competenza, iscritti ai rispettivi albi professionali; b. valuta il progetto con riferimento alla finalità, agli effetti ambientali; c. analizza le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata; d. verifica e dimostra la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI; e. prevede adeguate misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato agli interventi in progetto.

4. Nei casi in cui leggi regionali o norme di piani territoriali e piani di settore della Regione Sardegna subordinino l'approvazione di progetti localizzati in aree di pericolosità da frana alla formazione di studi geomorfologici equivalenti agli studi di compatibilità geologica e geotecnica di cui al presente articolo questi ultimi possono essere sostituiti dai primi a condizione che contengano elementi valutativi di pari livello e che tale equivalenza sia espressamente dichiarata dall'Assessorato Regionale ai Lavori Pubblici.

5. Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica è predisposto secondo i criteri indicati nell'Allegato F alle presenti norme.

6. I soggetti pubblici o privati titolari dell'attuazione degli interventi di mitigazione delle condizioni di pericolosità da frana e di rischio geomorfologico sono tenuti a formare e trasmettere alla Regione, al fine di predisporre elementi per le eventuali varianti del PAI di cui all'articolo 37, nuove mappature delle aree pericolose interessate dagli interventi elaborate alla scala della cartografia del PAI e con formati compatibili con il SIT della Regione.

7. Lo studio di compatibilità geologica geotecnica è approvato dall'Autorità Idraulica

competente per territorio.

La tipologia di intervento è trattata nell'Art. 33 e nell'Art. 31 delle NTA PAI:

ARTICOLO 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, in materia di interventi strutturali e non strutturali per il controllo dei dissesti - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI - nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

C.3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

e. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;

i. gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici. Le nuove reti urbane ed extraurbane riferibili a servizi pubblici essenziali sono consentite a condizione che con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato venga dimostrato che per la loro realizzazione sono previsti scavi da effettuare esclusivamente lungo strade esistenti e per una profondità di scavo limitata; sono, altresì, consentite nuove linee aeree riferibili a servizi pubblici essenziali a condizione che con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato venga dimostrato che i sistemi sostegno-fondazione risultino adeguatamente dimensionati e verificati rispetto a tutte le possibili azioni che possano comprometterne la loro stabilità e che gli scavi e le opere per il loro posizionamento non determinino peggioramento del dissesto ante intervento.

ARTICOLO 33 Disciplina delle aree di pericolosità media da frana (Hg2)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità media da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto elevata ed elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite negli articoli 31 e 32.

C.3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità media da frana sono inoltre consentiti esclusivamente:

a.gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici;

Si evince pertanto che l'intervento è ammissibile.

10. Compatibilità geologica

La redazione del presente studio di compatibilità geologica-geotecnica si è reso necessario in quanto parzialmente, alcuni moduli fotovoltaici interferiscono con un'area a pericolosità geomorfologica Hg2.

Sulla base delle caratteristiche morfologiche e geotecniche studiate è stato possibile valutare la stabilità del versante in relazione alle opere previste e conseguentemente determinare l'ammissibilità dell'intervento secondo quanto previsto dalle NTA del PAI.

Pertanto dal presente studio si evince che l'intervento sottoposto all'approvazione è stato progettato rispettando il vincolo:

a) di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente - fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso all'intervento ammissibile;

b) di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio;

c) di migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli.

Alla luce di quanto sopra esposto, si attesta la **compatibilità** dell'intervento in riferimento alla componente geologico-tecnica, geomorfologica e topografica.

Dott. Ing. Antonio Dedoni

Firmato digitalmente

Dott.ssa Geol. Marta Camba

Firmato digitalmente