

TITLE: *Relazione Geologica e sismica*
AVAILABLE LANGUAGE: **IT**

**IMPIANTO EOLICO DI 31MW IN LOCALITA' "FERRALZOS"
COMUNI DI SUNI, SAGAMA E SCANO DI MONTIFERRO (OR), SINDIA E MACOMER (NU)**

RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

Il Tecnico

Dott. Geol. Agostino Scalercio



File: C21BLN001DWR05100_Relazione geologica sismica.pdf

00	17/06/2022	PRIMA EMISSIONE	R. De Fiore	A. Scalercio	L. Sblendido
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
VALIDATION					
<i>NOME</i>		<i>NOME</i>	<i>NOME</i>		
COLLABORATORS		VERIFIED BY	VALIDATED BY		
PROJECT / PLANT EO SUNI		INTERNAL CODE			
		C21BLN001DWR05100			
CLASSIFICATION: COMPANY		UTILIZATION SCOPE			

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 GENERALITÀ.....	3
1.2 SCOPO DEL LAVORO E METODOLOGIE DI INDAGINE	3
1.3 RACCOMANDAZIONI E NORMATIVE TECNICHE.....	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	9
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE GENERALE	9
3.2. ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO LOCALE	14
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	23
4.1. INQUADRAMENTO GENERALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI	23
5. VINCOLI TERRITORIALI	30
6. IDROGEOLOGIA	33
6.1. CLIMA.....	33
6.2. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE	36
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE	40
8. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI	40
8.1. SISMICITÀ E TETTONICA ATTIVA	40
8.1.1. LE SORGENTI SISMOGENETICHE	40
8.1.2. ITHACA – DATABASE DELLE FAGLIE CAPACI	41
8.3 SISMICITÀ STORICA	42
8.4 MACROZONAZIONE SISMICA - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	44
9. LIQUEFAZIONE.....	46
10. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	47
10.1 CATEGORIA TOPOGRAFICA	48
11. RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INDAGATI	49
12. CONCLUSIONI.....	51

1. PREMESSA

1.1 GENERALITÀ

La presente relazione ha come finalità la caratterizzazione geologico-tecnica del sito interessato dal progetto IMPIANTO EOLICO DI 31MW IN LOCALITÀ "FERRALZOS" e delle relative opere di connessione, proposto da Wind Energy Sindia srl nei territori comunali di Suni, Sagama e Scano di Montiferro (OR), Sindia e Macomer (NU) (aerogeneratori Suni 1, 2, 3, 4, 5) e per le opere di connessione in parte nel comune di Macomer.

La presente relazione si completa con i seguenti allegati ed elaborati grafici, cui si rimanda per maggiori dettagli:

PROGETTO DEFINITIVO	
Titolo	Scala
Carta Geolitotecnica	1:10.000
Carta Geomorfologica	1:10.000
	1:20.000
Carta Geologica	1:10.000

Tabella 1.1 – Allegati alla Relazione Geologica ed elaborati di riferimento

Nel corpo della relazione viene descritto l'assetto geologico-litostратigrafico-idrogeologico, geomorfologico e sismico del sito destinato agli interventi in progetto.

È stata verificata la compatibilità degli interventi da un punto di vista ambientale e nei confronti dell'assetto geomorfologico-idrogeologico del territorio, nonché con gli eventuali vincoli territoriali presenti, al fine di soddisfare gli adempimenti emergenti dalla normativa nazionale e regionale, ovvero in ottemperanza al "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)".

In fase esecutiva, le ipotesi e le prescrizioni contenute nella presente relazione dovranno essere necessariamente verificate. Se il confronto tra i dati forniti dalla presente relazione e quelli provenienti da osservazioni dirette dovesse evidenziare differenze sostanziali, nel pieno rispetto del D.M. 17/01/2018, le indagini dovranno essere necessariamente integrate e le opere adeguate alle eventuali criticità riscontrate.

1.2 SCOPO DEL LAVORO E METODOLOGIE DI INDAGINE

L'obiettivo del lavoro è stato quello di fornire una visione d'insieme delle caratteristiche generali del sito investigato ed un modello geologico-tecnico di dettaglio; in particolare, lo studio è stato impostato seguendo quelle che sono le direttive ministeriali e regionali, allo scopo di:

- definire le principali caratteristiche geologiche;
- definire i lineamenti geomorfologici del territorio e la loro tendenza evolutiva;



- definire le caratteristiche litostratigrafiche del sito in esame e le relative caratteristiche geotecniche;
- ricostruire lo schema di circolazione idrica sotterranea e superficiale, ovvero i caratteri idrogeologici e idraulici;
- definire il comportamento dei terreni nei confronti del rischio sismico.

Nella presente fase progettuale non vengono definite in maniera dettagliata le caratteristiche geometriche e geotecniche dei litotipi, dato che sarà approfondito nella successiva fase di progetto mediante una adeguata campagna di indagini geognostiche.

1.3 RACCOMANDAZIONI E NORMATIVE TECNICHE

La presente relazione e gli studi ad essa associati sono redatti in conformità a quanto previsto dalla normativa tecnica, fra cui di seguito sono elencati i principali riferimenti:

- ✓ R.D.3267/23: "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani".
- ✓ L. 08/08/1985 n. 431: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 27 giugno 1985, n. 312, recante disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale (G.U. 22 agosto 1985, n. 197)";
- ✓ Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- ✓ Circolare Min. LL.PP: 24 settembre 1988 n° 30483: "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- ✓ L. 18/05/89 n. 183: "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo".
- ✓ D.P.C.M. 23/03/1990: "Atto di indirizzo e coordinamento al fini della elaborazione e adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- ✓ L. 07/08/1990 n.253: "Disposizioni integrative alla legge 18 maggio 1989 n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- ✓ L. 06/12/91 n. 394: "Legge quadro sulle aree protette";
- ✓ Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).

- ✓ Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”. (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- ✓ L. 05/01/1994 n. 37: “Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche L. 5 gennaio 1994, n. 36. Disposizioni in materia di risorse idriche”;
- ✓ D.P.R. 14/04/1994: "Delimitazione bacini”;
- ✓ D.P.R. 18/07/1995: "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino”;
- ✓ D.M. 14/02/1997: "Direttive tecniche per l'individuazione perimetrazione, da parte delle regioni delle aree a rischio idrogeologico”;
- ✓ D.L. 11/06/1998, n. 180: "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”;
- ✓ L. 03/08/1998 n. 267: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”;
- ✓ D.L. 11/05/99 n. 152: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva CEE 91/271 e 91/676”;
- ✓ L. 13/07/1999 n. 226 (G.U. 14.07.1999, n. 112): "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto - legge 13 maggio 1999, n.132, recante interventi urgenti in materia di protezione civile." (in vigore dal 15.7.1999);
- ✓ D.P.R 6 giugno 2001 n. 380: “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- ✓ Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 pubblicate sulla G.U. n° 29 del 04.02.2008;
- ✓ Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP.;
- ✓ O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: “Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico”;

- ✓ DM 17/01/2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- ✓ DGR n. 28/56 del 26.07.07 “Studio per l’individuazione delle aree in cui ubicare gli impianti eolici”;
- ✓ DGR n. 3/17 del 16.1.2009, “Modifiche allo “Studio per l’individuazione delle aree in cui ubicare gli impianti eolici (DGR n. 28/56 del 26.07.07)”;
- ✓ DGR n. 27/16 del 1.6.2011, “Linee guida attuative del decreto del Ministero per lo Sviluppo Economico del 10.9.2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", e modifica della Delib.G.R. n. 25/40 dell'1.7.2010”;
- ✓ DGR n. 45/34 del 12 novembre 2012, “Linee guida per la installazione degli impianti eolici nel territorio regionale di cui alla Delib.G.R. n. 3/17 del 16.1.2009 e s.m.i.”;
- ✓ DGR n. 40/11 del 07.08.2015, “Individuazione delle aree e dei siti non idonei all’installazione degli impianti alimentati da fonti di energia eolica”.
- ✓ Delibera Consiglio Regionale 27/11/2020 “Individuazione delle aree non idonee all’installazione di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili”.

È necessario ricordare che le norme stesse tengono conto del fatto che la fase di progetto non è sufficiente per definire nei dettagli la reale situazione geologico-tecnica. È necessario pertanto che, in base a quanto disposto dalle norme medesime, sia da eseguirsi, in relazione alle esigenze della fase costruttiva, il controllo delle ipotesi di progetto attraverso i dati ottenuti con verifiche nel corso dei lavori, adottando il cosiddetto “Metodo Osservazionale”, volto al controllo e all’eventuale modifica di quelle variabili di progetto sensibili alle caratteristiche geologiche e geotecniche effettivamente riscontrate.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

L’area oggetto del presente studio ricade nei territori comunali di Suni, Sagama e Scano di Montiferro(OR), Sindia e Macomer (NU); le WTG sono poste a quote comprese tra 350 a 450 m.s.l.m circa.

I riferimenti geografici più prossimi all’area di interesse sono il centro abitato di Sindia a Est e il centro abitato di Sagama a sud-ovest. Il comune di Santa Lussurgiu, a sud, risulta nettamente più distante dall’area di impianto.

Nell’elaborazione del presente lavoro è stato necessario avvalersi di carte topografiche, tecniche e tematiche ed in particolare sono state utilizzati i livelli WMS disponibili sul sito del GeoPortale Nazionale, i livelli WMS, WFS e gli shapefile disponibili sul SITR della Regione Sardegna, ivi comprese le tematiche della pericolosità e del rischio idraulico e da frana. Per l’area in oggetto non è invece disponibile la cartografia geologica CarG in scala 1:50.000, poiché

ricadente del Foglio 498 "Macomer", indisponibile, mentre risulta consultabile la carta in scala 1:100.000, Foglio 160 "Sassari", che risulta però piuttosto datata (1950-1960 i rilevamenti). Di seguito un elenco delle fonti cartografiche.

- Servizi vettoriali Sardegna: <http://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/ows>
- Servizi raster sardegna: <http://webgis.regione.sardegna.it/geoserverraster/ows>
- GeoPortale Nazionale, servizi di consultazione WMS: [Servizio WMS - Geoportale Nazionale \(minambiente.it\)](#)
- GeoPortale Nazionale, servizi di scaricamento dati vettoriali WFS: [Servizio di scaricamento WFS - Geoportale Nazionale \(minambiente.it\)](#)
- GeoPortale Nazionale, servizi di scaricamento dati raster WCS: [Servizio di scaricamento WCS - Geoportale Nazionale \(minambiente.it\)](#)
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 ISPRA: [CartoWeb \(isprambiente.it\)](#)

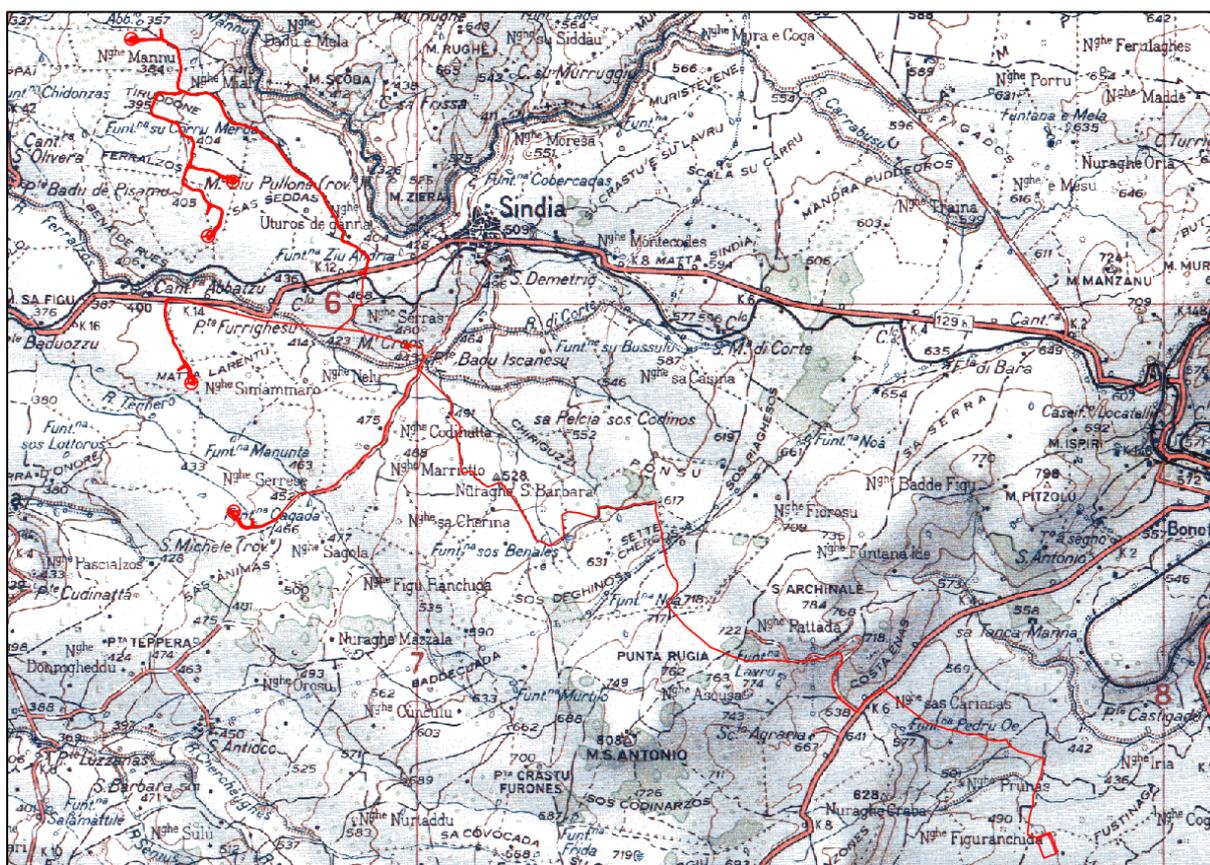


Figura 1: Inquadramento territoriale (non in scala) dell'area di studio su base Carta Topografica d'Italia in scala 1:100.000, da Geoportale Nazionale (con indicazione delle WTG in rosso e dei territori comunali in nero).

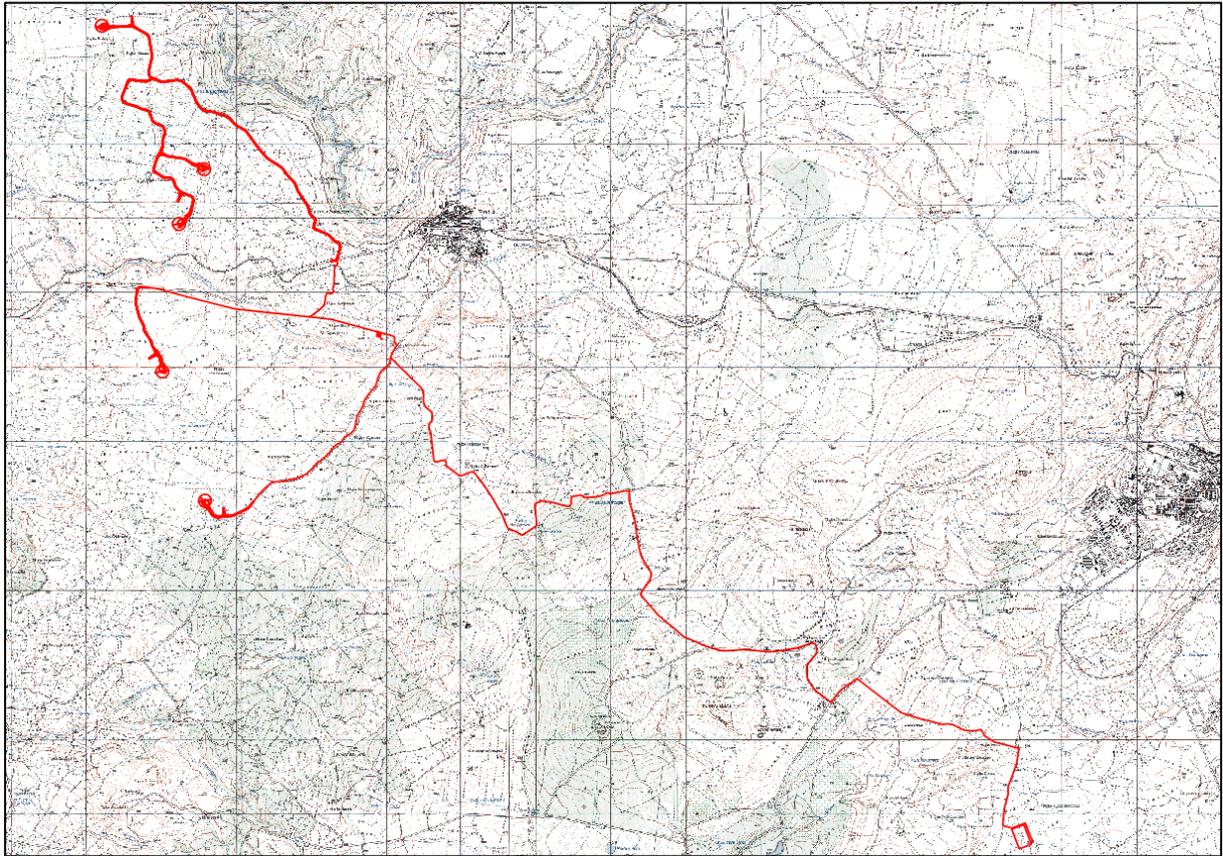


Figura 2: Inquadramento territoriale (non in scala) dell'area di studio su base Carta Topografica d'Italia in scala 1:25.000, da Geoportale Nazionale, livello WMS (con indicazione delle WTG e delle opere di connessione – indicazione in rosso).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE GENERALE

L'inquadramento geologico che qui segue riprende largamente quanto riportato nelle note illustrative del Foglio Geologico CarG 459, "Sassari" e 528 "Oristano", che sono i fogli della cartografia CarG più prossimi all'area di studio e relativa bibliografia, che definiscono le caratteristiche generali dei complessi tettonostrutturali presenti, anche se l'area di studio non è rientra in tali fogli.

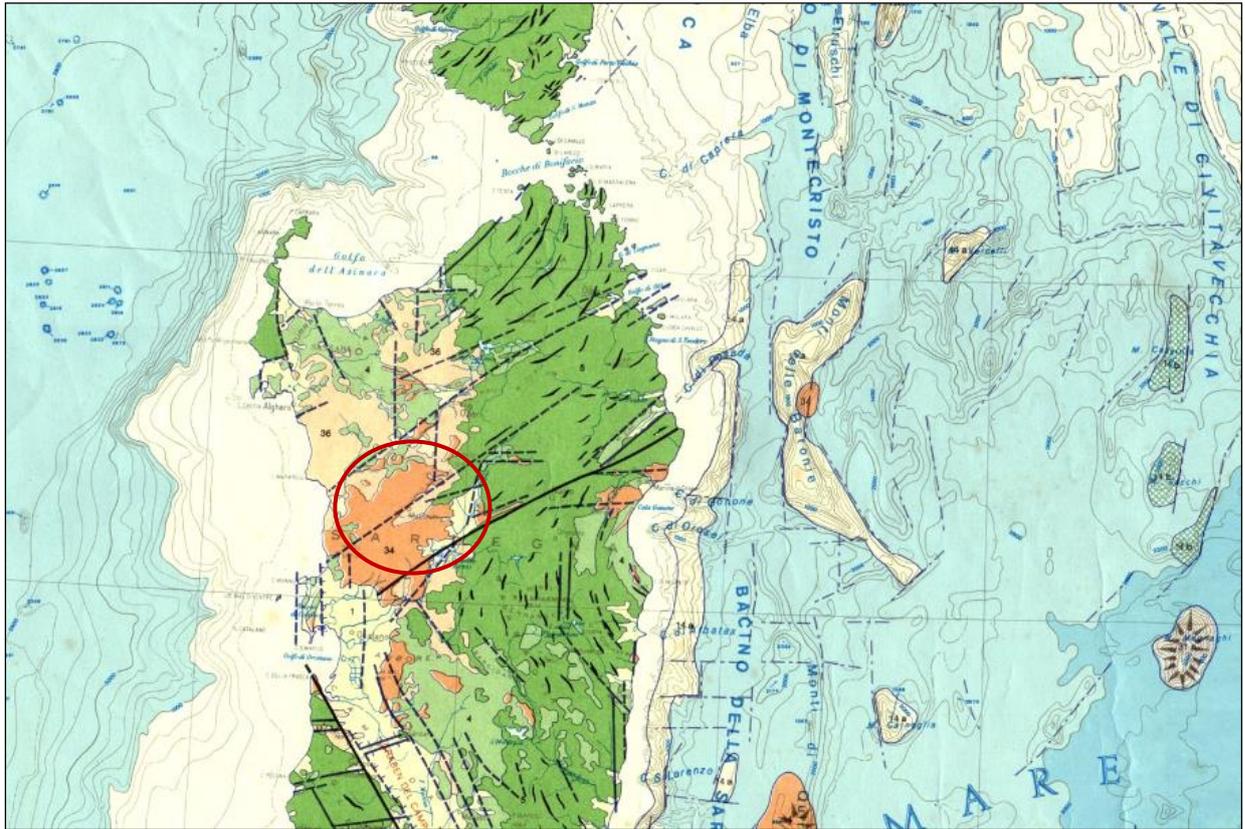
La Sardegna è usualmente divisa in tre complessi: il basamento metamorfico ercinico, il complesso intrusivo tardo-ercinico, le coperture sedimentarie e vulcaniche tardo-erciniche, mesozoiche e cenozoiche.

Il basamento sardo è un segmento della catena ercinica sud-europea, considerata una catena collisionale, con subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano, e collisione continentale con importante ispessimento crostale, metamorfismo e magmatismo durante il Devoniano e il Carbonifero. In Sardegna la geometria collisionale della catena ercinica è ancora ben riconoscibile. Secondo alcuni autori il margine armoricano sovrascorso è rappresentato dal complesso metamorfico di alto grado che affiora nella Sardegna settentrionale, mentre il margine del Gondwana subdotto è rappresentato da un complesso metamorfico di basso e medio grado, a sua volta suddiviso in Falde interne e Falde esterne, che affiora nella Sardegna centrale e sud-orientale. I due complessi sono separati dalla Linea Posada-Asinara, lungo la quale si rinvencono relitti di crosta oceanica.

Alla strutturazione collisionale segue nel tardo-ercinico un'evoluzione caratterizzata da: collasso gravitativo della catena, metamorfismo di alto T/P, messa in posto delle plutoniti che formano il Batolite sardo-corso.

Dopo l'Orogenesi ercinica altri settori di crosta sono stati incorporati nella catena pirenaica, nelle Alpi e nell'Appennino, mentre il settore di crosta che attualmente costituisce il Blocco Sardo-corso non è stato coinvolto in eventi orogenici di qualche rilevanza. Le deformazioni più importanti sono di carattere trascorrente e si manifestano tra l'Oligocene ed il Miocene.

La successione stratigrafica attualmente riconosciuta parte dal Mesozoico, tali successioni appartengono alla piattaforma connessa con l'evoluzione del margine passivo sud-europeo, costituita prevalentemente da calcari e da dolomie. I depositi più diffusi, riferiti al Terziario, sono rappresentati da vulcaniti e da sedimenti clastici e carbonatici. Le vulcaniti sono costituite da lave andesitiche alternate a flussi piroclastici saldati e non saldati a chimismo riolitico e riodacitico.



UNITÀ ALPINE E SARDO-CORSE

- 4  5 «Massiccio» sardo-corso, Maures-Estere, Giura svizzero. Nuclei cristallini prepermi (5) e coperture (4).
- 6  7 «Zona dell'ineso-elvetica» e «Zona ultraelvetica». Massicci cristallini «esterni» precarboniferi (7) (Argentera, Pelvoux-Belledonne, M. Bianco-Aiguilles Rouges, Aar, Tavetsch, nuclei cristallini del M. Chétif e del Gottardo) e coperture (6).

MAGMATISMO POST-ERCINICO

Vulcanismo plio-pleistocenico legato ai processi di oceanizzazione del Mediterraneo occidentale

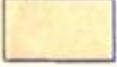
- a b  31 – Vulcaniti centrotirreniche, a) Seamounts in prevalenza tholeitici; b) ad affinità non determinata.
- 32  33 – Vulcaniti di margine di bacino (magmi in prevalenza «mediterranei»: sistema toscano-laziale-campano, I. Ponziane, ed I. Eolie p.p. (32); basamento andesitico delle Eolie (Alicudi, Filicudi, Panarea, Lipari p.p., Salina p.p.) (33).
-  34 – Vulcaniti basaltiche di piattaforma: Pantelleria, Linosa, Iblei, Etna, Ustica-Anchise, Sardegna p.p. Centri vulcanici sottomarini storici del Canale di Sicilia (Δ).
-  35 **Magmatismo acido mio-pliocenico appenninico:** plutoniti dell'I. d'Elba, I. del Giglio, I. di Montecristo, di Gavorrano e vulcaniti dell'I. di Capraia, di S. Vincenzo e Roccastrada, di Montecatini e Orciatto, della Tolfa, dei Ceriti e di Manzianna.
-  36 Vulcanismo terziario contemporaneo a fasi compressive alpine: Sardegna p.p. (andesiti-riodaciti); Calabria (limburgiti-andesiti, non cartografate).

Figura 3: Carta Tettonica d'Italia – Progetto finalizzato GEODINAMICA CNR – sca 1:500.000

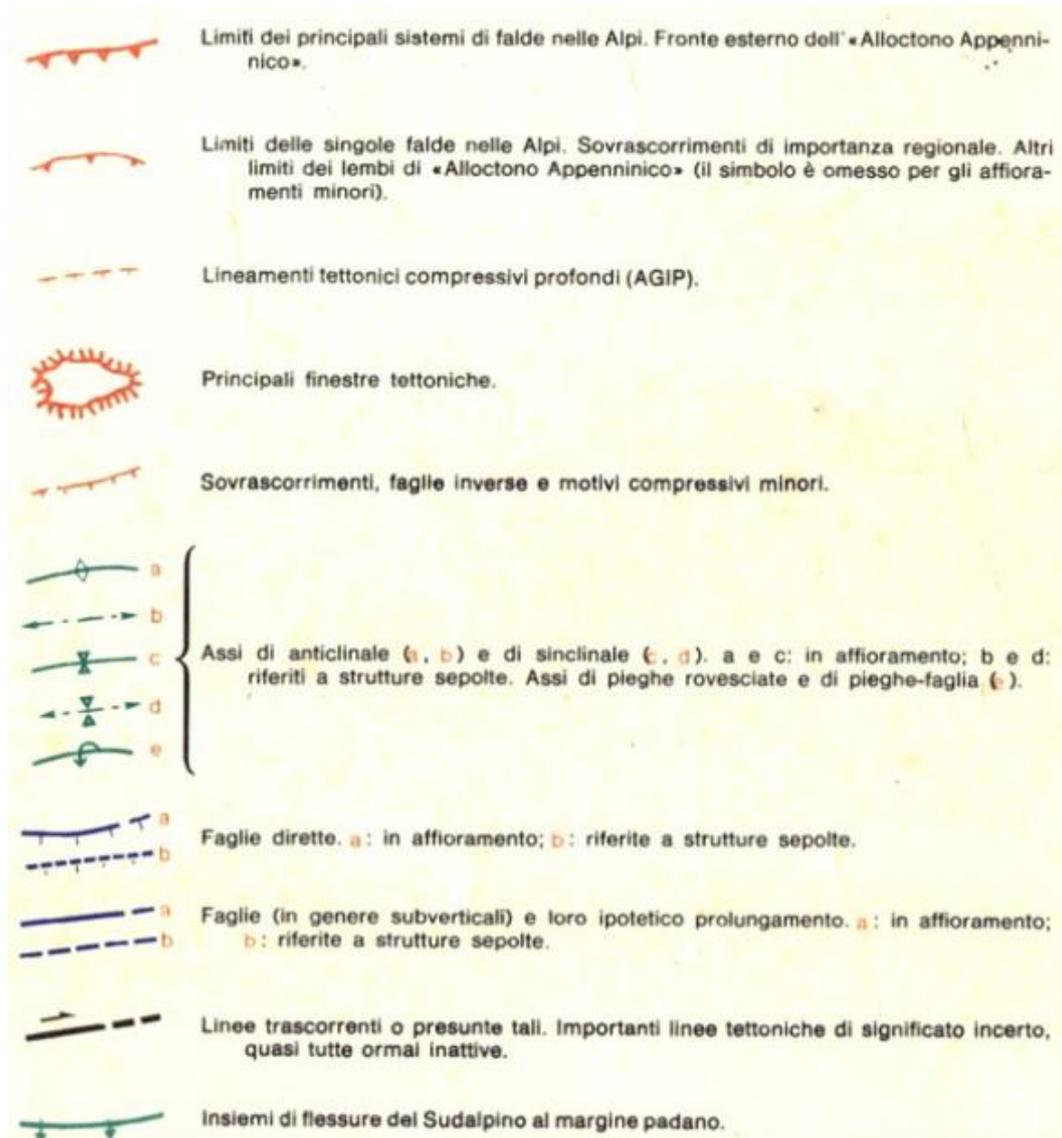


Figura 4: Legenda Carta Tettonica d'Italia – Progetto finalizzato GEODINAMICA CNR – sca 1:500.000

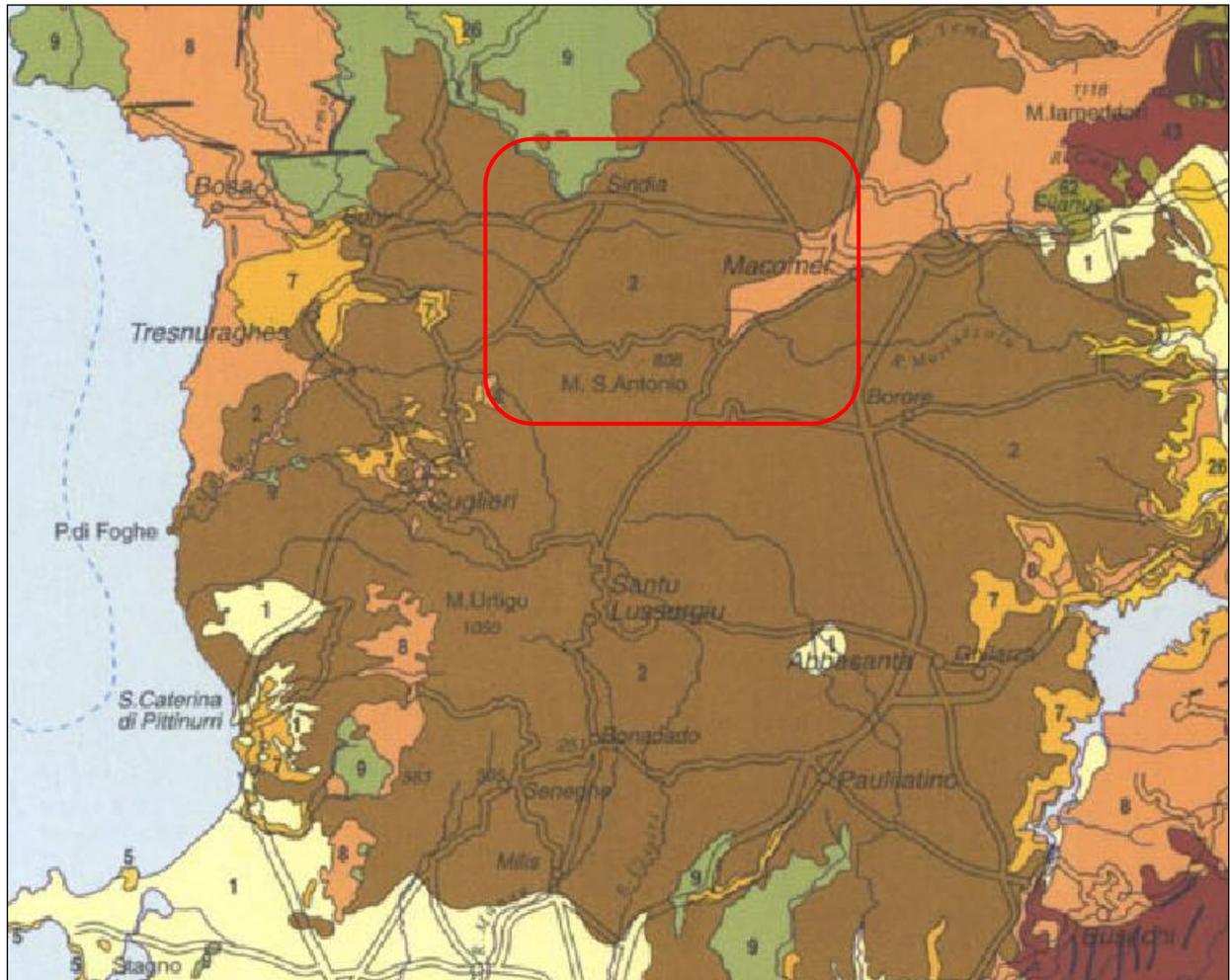


Figura 5: Stralcio Carta Geologica e strutturale della Sardegna e della Corsica; 1-Depositi alluvionali olocenici, 2-Basalti Alcalini e transizionali del plio-pleistocene, 5-marne e calcari evaporitici messiniani, 7-Conglomerati, brecce e calcareniti burdigaliano-serravalliani, 8-Rioliti e riolaciti ignimbriche burdigaliano-aquitaniane, 9-Andesiti e basalti burdigaliano-aquitaniane, 26-Conglomerati e brecce, marne, marne arenacee, calcari, tufiti marine del post-Eocene medio-Burdigaliano inferiore-medio, 38-Successioni vulcano-sedimentarie andesitiche, dacitiche e riolitiche del Paleozoico, 39-Leucomonzograniti a biotite del Paleozoico, 57-Paragneiss e micascisti paleozoici.

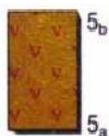
Come è possibile osservare l'area rientra interamente nella zona caratterizzata dalla serie basaltica del plio-pleistocene.

Nella carta geologico-strutturale di Sardegna e Corsica l'area rientra interamente nel settore caratterizzato dalla serie basaltica alcalina e transizionale del Pliocene-Pleistocene, senza ulteriori differenziazioni.

Nella più accurata Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000 a cura del Comitato per il Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna (edizione 1996) l'area rientra nel gruppo denominato 5b, ovvero "Basalti alcalini e transizionali, basaniti, trachibasalti e hawaii, talora con noduli peridotitici; andesiti basaltiche e basalti sub-alcalini. Alla base, o intercalati, sono presenti conglomerati, sabbie e argille lacustri" e 5a "Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche in cupole e colate, talora in bancate scoriacee".



Figura 6: Stralcio Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000. Fonte [Cartografia geologica | Ordine Regionale dei Geologi della Sardegna](#).



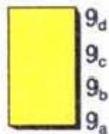
5_b Basalti alcalini e transizionali, basaniti, trachibasalti e hawaiiiti, talora con noduli peridotitici; andesiti basaltiche e basalti subalcalini; alla base, o intercalati, conglomerati, sabbie e argille fluvio-lacustri (es. **Formazione di Nuraghe Casteddu**) (Montiferro; Campeda; Baroniè; Orosèi; Marmilla: M.te Arci; etc.); coni di scorie basaltiche (Logudoro; etc.) 5_b. **Pliocene - Pleistocene.**

5_a Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche e tefriti fonolitiche in cupole e colate, talora in bancate scoriacee (Montiferro; Marmilla: M.te Arci; Sarrabus: Capo Ferrato) 5_a. **Pliocene.**

*Alkaline and transitional basalts, basanites, trachybasalts and hawaiites with peridotitic nodules; basaltic andesites and subalkaline basalts; at the bottom, and between lava flows, fluvial-lacustrine conglomerates, sands and clays (e.g. **Nuraghe Casteddu Formation**) (Montiferro; Campeda; Baroniè; Orosèi; Marmilla: Monte Arci; etc.); cones of scoriaceous basalts (Logudoro; etc.) 5_b. **Pliocene - Pleistocene.***
*Trachytes, phonolitic trachytes, phonolites, thephritic phonolites, phonolitic thephrites in lava domes and scoriaceous lava flows (Montiferro; Marmilla: Monte Arci; Sarrabus: Capo Ferrato) 5_a. **Pliocene.***



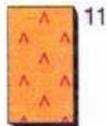
Filoni a composizione trachibasaltica, alcalibasaltica e hawaiiitica (Montiferro) 7. **Pliocene - Pleistocene.**
*Dikes with trachybasaltic, alkalibasaltic and hawaiitic composition (Montiferro) 7. **Pliocene - Pleistocene.***



9_d
9_c
9_b
9_a

Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 12 e N 13, Molluschi (*Amusiopecten spinulosus*, *Flabellipecten fraterculus*, *Pecten benedictus*) (formazione delle Arenarie di Pirri Auct.) (Campidano: Cagliari; Sassarese; Logudoro) **9_d. Serravalliano medio - ? sup.**
 Marne e marne arenacee epibatiali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 8 - N 11 / N 12, Molluschi pelagici (*Vaginella austriaca*, *Clio distefanoi*, *C. caralitana*, *C. pulcherrima*), Molluschi bentonici (*Abra longicallus*, *Ficus conditus*), Coralli Bianchi (formazione di Fangario Auct.) (Campidano: Cagliari; Logudoro; Marmilla) **9_c. Langhiano medio-sup. - Serravalliano inf.**
 Marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee sublitorali-epibatiali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 7 e N 8, Molluschi pelagici (*Vaginella austriaca*, *V. rotundata*, *Clio pulcherrima*), Molluschi bentonici (*Gigantopecton ziziniiae*, *Pecten jossilingi*, *Amusiopecten baranensis*, *Aequipecten submalvinae*, *Ficus conditus*, *Abra longicallus*, etc.), Echinoidi (*Schizaster* sp.), Coralli Bianchi; (formazione delle Marne di Gesturi, formazione della Marmilla p.p. Auct.) (Marmilla, Trexenta, Campidano, Sassarese, Logudoro, Gallura) **9_b. Burdigaliano sup. - Langhiano medio-sup.**
 Conglomerati e sabbie a matrice argillosa, con elementi del basamento ercinico e subordinate vulcaniti terziarie (Logudoro: Oppia Nuova, Tula); conglomerati e arenarie deltizi (Baronie: Orosei) **9_a. Burdigaliano sup. - ? Serravalliano.**

Ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico (14 - 32 Ma) *Oligocene-Miocene calcalcaline volcanic cycle (14-32 Ma)*



11

Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, a cui si associano prodotti freatomagmatici ("fall" e "surge"); talora livelli epiclastici intercalati (Sulcis; Mandrolisai; Allai, Asuni, Ruinas; Oristanese: Paulilatino; Valle del Tirso: Fordongianus; Logudoro; Anglona; Planargia) **11. Oligocene sup. - Miocene inf. medio.**

Ignimbrites, lava domes and rare lava flows of rhyolitic, rhyodacitic, dacitic and locally comenditic composition, with fall and surge deposits; intercalations of sedimentary and epiclastic deposits (Sulcis; Mandrolisai; Allai, Asuni, Ruinas; Oristanese: Paulilatino; Valle del Tirso: Fordongianus; Logudoro; Anglona; Planargia) 11. Upper Oligocene - Lower Middle Miocene.



12

Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati, in colate, cupole di ristagno (Planargia: Montresta, Tresnuraghes; Oristanese: Bauladu; Marmilla: Aies; Sulcis: Narcao, S. Antioco); lave dacitiche e andesitiche in cupole e fitoni (Valle del Cixerri; Campidano: Monastir; Planargia: C. Marargiu; Sulcis: Pula, Carbonia, Sarroch); andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinità da calcalcalina alta in K a shoshonitica (Anglona); localmente gabbrì e gabbroonoriti in corpi ipoabissali (Arburese: M. Arcuentu, M. Nureci); quarzodioriti porfiriche (porfiriti di alghero Auct.), (Nurra: Calabona) **12. Oligocene sup. - Miocene inf.**

Figura 7: Legenda Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000; [Cartografia geologica | Ordine Regionale dei Geologi della Sardegna.](#)

3.2. ASSETTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO LOCALE

Il dettaglio delle condizioni geologiche può essere desunto attraverso la cartografia geologica ufficiale disponibile; in mancanza della cartografia in scala 1:50.000 si farà quindi riferimento alla cartografia in scala 1:100.000, che pur datata, rappresenta comunque una cartografia ufficiale di riferimento. Nell'area sono affioranti quindi i seguenti terreni, riportandone la nomenclatura come nella cartografia appena citata:

βp^1 Basalti alcalini grigi con intercalati trachibasalti e basalti debolmente alcalini, talora marcatamente porfirici per cristalli di olivina all'interno di quest'area ricade la WTG Suni 1.

βp^2 Basalti debolmente alcalini e trachibasalti con microcristalli e noduli olivini e pirossenici; tale litologia rappresenta quella più diffusa in tutta l'area e costituisce i terreni di riferimento delle WTG Suni 2, 3, 4, 5.

βmp^1 Basalti alcalini e trachibasalti di colore grigio perla a grana fine, con noduli peridotitici; sono presenti all'intorno dell'area di studio e rappresentano i terreni di riferimento per il cavidotto di connessione e futura SE, in particolare nell'area di Macomer;

βmp^2 Basalti alcalini e trachibasalti a grossi fenocristalli di plagioclasti; sono presenti all'intorno dell'area di studio e rappresentano i terreni di riferimento per il caviodotto di connessione;

$\tau\phi$ Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti in domi e colate;

ms Arenarie, arenarie calcaree, arenarie marnose e marno-arenacee fossilifere; sono presenti localmente nell'intorno dell'area di studio.

τi_3 Rioliti e riodaciti essenzialmente in facies ignimbratica a fiamme, ricche in elementi xenolitici; sono presenti al di fuori dell'area di realizzazione delle WTG, verso Est;

α^3 Andesiti augitico-ipersteniche con intercalati tufi pomicei e arenacei; sono presenti a nord dell'area di studio, in corrispondenza dell'abitato di Sindia.

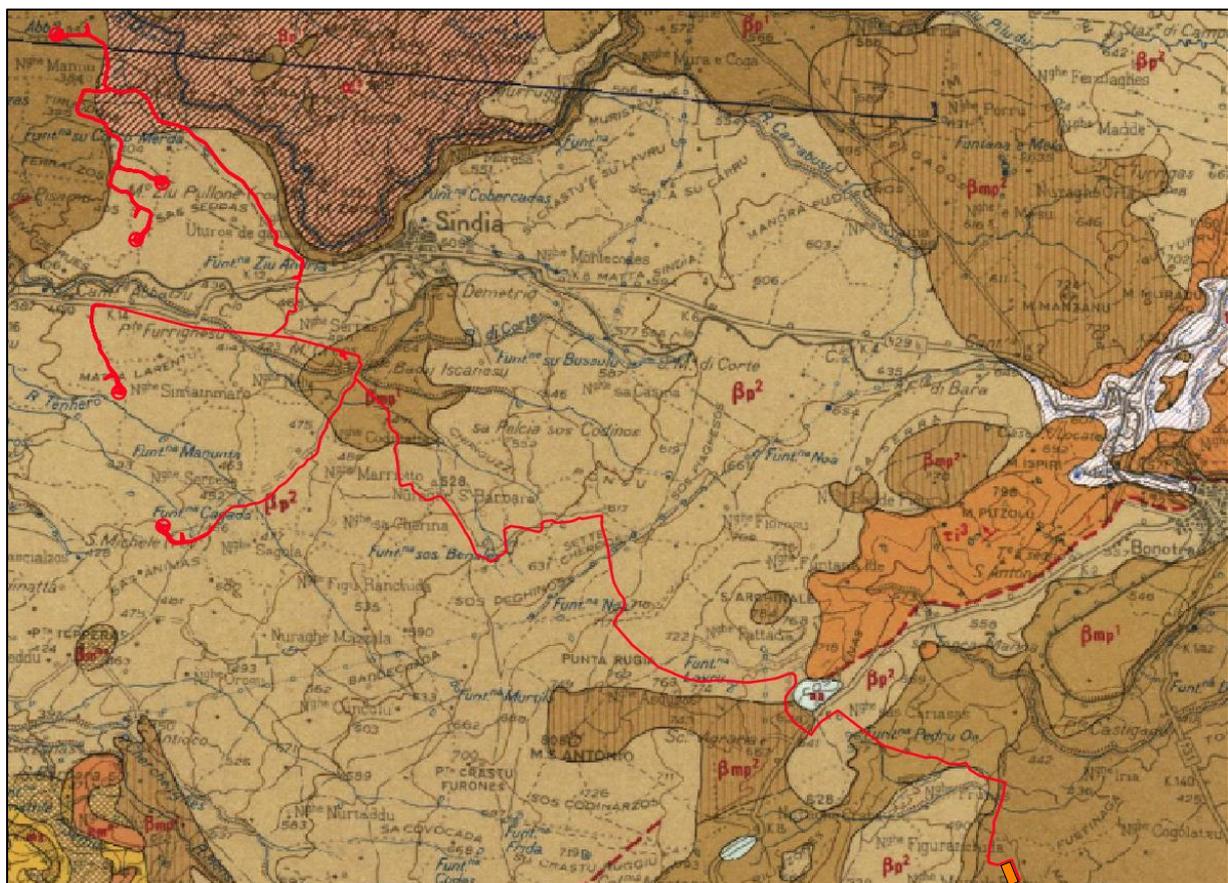


Figura 8: Stralcio carta geologica d'Italia, foglio 205-206 "Capo Mannu-Macomer"; (fonte [CartoWeb \(isprambiente.it\)](http://CartoWeb.isprambiente.it)); per la Legenda consultare il testo riportato prima della figura.

Tali carte geologiche, ad ampia scala, non tengono conto di eventuali coperture e orizzonti colluviali, che localmente possono avere spessore cospicuo e che possono avere una certa importanza per la realizzazione delle strutture di fondazione. Dalle cartografie non si evince inoltre lo stato di alterazione/fratturazione delle serie effusive.

Il maggior dettaglio delle conoscenze geologiche dell'area proviene dai tematismi digitalizzati disponibili nei database geotopografici della Regione Sardegna, che rende disponibili in formato vettoriale i tematismi litologici alla scala 1:50.000.

La maggior parte dell'area ricade nell'Unità dei Basalti dei Plateau, Subunità di Sindia (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA): Basalti debolmente alcalini olocristallini, porfirici per fenocristalli di Olivina, Plagioclasio, e rari xenocristalli quarzosi; in colate. Presenti inoltre trachibasalti, trachibasalti debolmente alcalini, da olocristallini ad ipocristallini.

Nella zona est è presente una maggiore varietà litologica, essendo presenti anche l'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). B), la Subunità di Funtana di Pedru Oe (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA): basalti debolmente alcalini e trachibasalti, a grana minuta, porfirici per fenocristalli di Plagioclasio, Olivina, Pirosseno; in estese colate. C), la Subunità di Dualchi (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA): (Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi). Localmente, in corrispondenza di alcune aste fluviali e bassi morfologici, sono presenti modesti spessori di natura alluvionale e colluviale. Di seguito si riportano gli stralci elaborati in ambiente GIS con il dettaglio della litologia attesa.

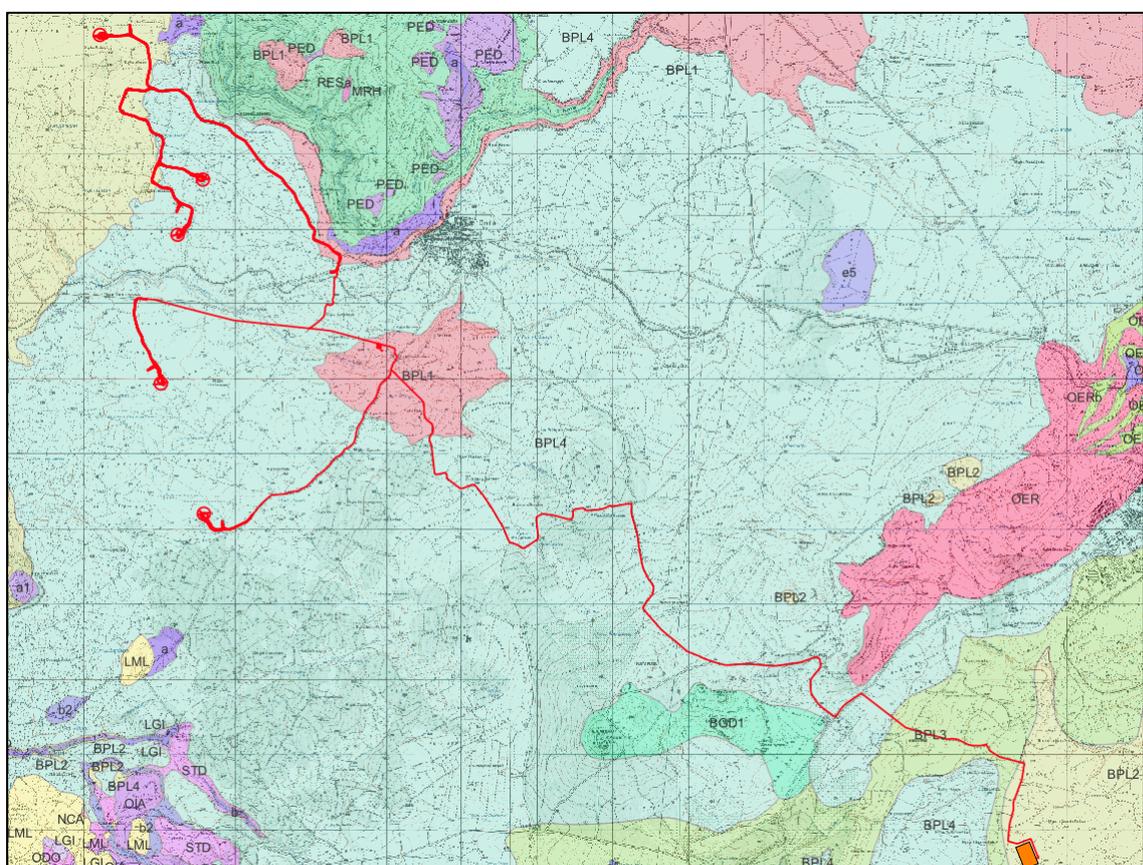


Figura 9: Carta Litologica: Subunità di Sindia (BPL4), Subunità di Campeda (BPL1) e Subunità di Dualchi (BPL2).

Facendo riferimento alla precedente figura le sigle indicano le seguenti litologie e unità:

b2 Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE.

b SEDIMENTI ALLUVIONALI. OLOCENE.

LGI UNITÀ DI SANTU LUSSURGIU. Trachiti, trachiti fonolitiche e fonoliti in cupole di ristagno e colate; depositi piroclastici stratificati e brecce vulcaniche. (3.2 Ma: Beccaluva et alii, 1976-77; 2.8 Ma: Coulon et alii, 1974). PLIO-PLEISTOCENE.

STD UNITÀ DI ROCCA SA PATTADA. Basalti alcalini e trachibasalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl e Cpx. PLIO-PLEISTOCENE.

BPL1 Subunità di Campeda (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti più raramente andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx e Ol. Basalti e trachibasalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx. PLIOCENE.

BPL2 Subunità di Dualchi (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espandimenti. Trachibasalti e basalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; PLIO-PLEISTOCENE

BPL3 Subunità di Funtana di Pedru Oe (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti debolmente alcalini e trachibasalti, a grana minuta, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Px; in estese colate. PLIOCENE SUPERIORE.

BPL4 Subunità di Sindia (BASALTI DELLA CAMPEDA-PLANARGIA). Basalti debolmente alcalini olocristallini, porfirici per fenocristalli di Ol, Pl, e rari xenocristalli quarzosi; in colate. Trachibasalti, trachibasalti debolmente alcalini, da olocristallini ad ipocristallini. PLIOCENE.

BGD1 Subunità di Thiesi (BASALTI DEL LOGUDORO). Basaniti ad analcime, porfiriche per fenocristalli di Ol e Cpx, con abbondanti noduli peridotitici; in colate. (2,3 ± 0,2 Ma; 2,1 ± 0,1 Ma: Beccaluva et alii, 1981). Hawaiiiti olocristalline, porfiriche. PLIOCENE.



Figura 10: Affioramento di Basalti olocristallini compatti della subunità di Sindia nella zona dell'area di studio



Figura 11: Basalti porfirici a fenocristalli pirossenici (Basaniti) con fessurazione colonnare nei dintorni dell'area di studio.



Figura 12: Mineralizzazioni dendritiche di idrossidi di manganese nei vacuoli delle colate basaltiche.

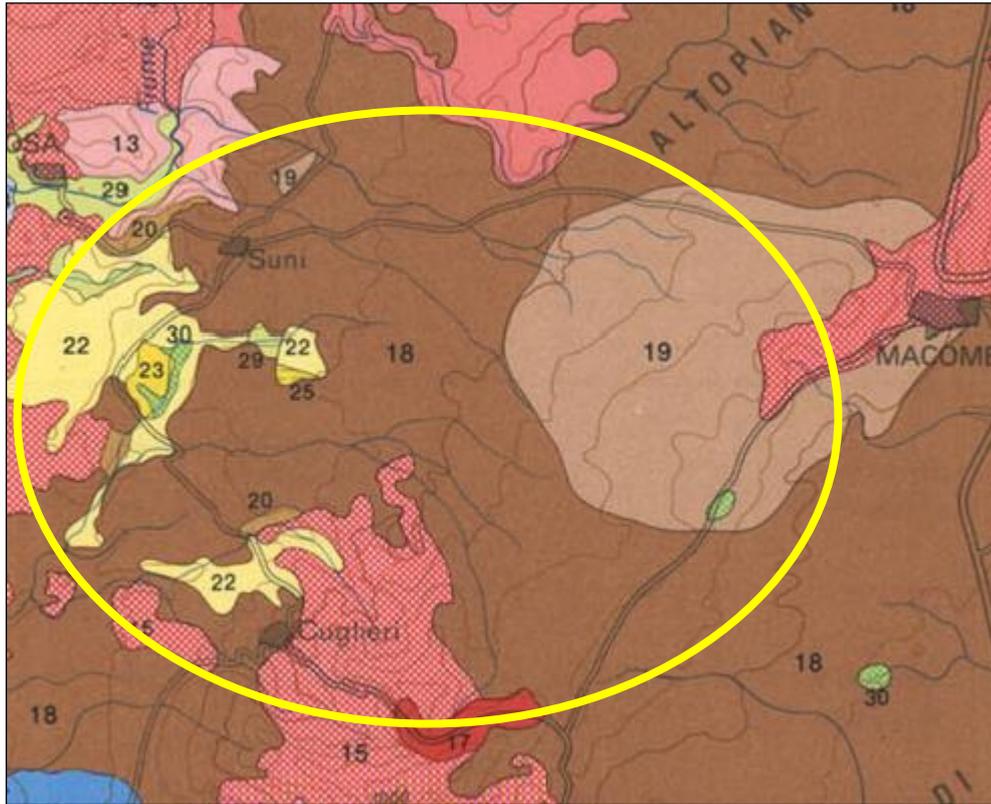


Figura 13: Profilo di alterazione dei Basalti della Subunità di Sindia. L'alterazione chimica è piuttosto profonda e ha causato la perdita della consistenza litoide dell'orizzonte superficiale in affioramento, che risulta sostanzialmente friabile.



Figura 14: Grosso fenocristallo plagioclasico nei basalti della Subunità di Sindia.

La Sardegna è dotata di una cartografia pedologica ad ampia scala, che di seguito si riporta, nella quale si può osservare che l'intera zona è caratterizzata sostanzialmente da due classi di suolo, riportati con la numerazione 18 e 19, suoli evolventisi su rocce effusive basiche e relativi depositi colluviali e di versante, che rappresentano il substrato roccioso nudo (lithic xerorthents, 18) e typic e lithic xerochrepts (19).



E Paesaggi su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali Landscapes on basic effusive rocks (basalts) of the Upper Pliocene and Pleistocene and their slope and colluvial deposits		
18	Rock outcrop Lithic Xerorthents	Rock outcrop Eutric e Lithic Leptosols
19	Typic e Lithic Xerochrepts Typic e Lithic Xerorthents	Eutric Cambisols Eutric e Lithic Leptosols
L Paesaggi su alluvioni (a), (b), (c) e su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei (d) dell'Olocene Landscapes on alluvial deposits (a), (b), (c) and conglomerates, eolian deposits and calcareous crusts (d) of the Holocene		
29	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents	Eutric, Calcaric e Mollic Fluvisols
30	Typic Pelloxererts Typic Chromoxererts	Eutric e Calcic Vertisols

Figura 15: Stralcio carta dei suoli della Sardegna e relativa legenda (A. Aru et alii, 1989).



Figura 16: Profilo di pedogenizzazione nei pressi dell'area di studio, con moderata presenza di scheletro.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

4.1. INQUADRAMENTO GENERALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area oggetto di studio fa parte di un settore collinare e semi-montano, appartenente alla fascia di rilievo compreso fra i Monti Ferru (massima elevazione della zona il Monte Urtigu, a sud, 1050 m) e i monti a nord-est di Macomer (Monte Cuguruttu-Monte Santu Padre, 1025 m). Tale

amplissima dorsale si presenta discontinua, con modesti rilievi di forma tabulare (residui di plateau basaltici) che caratterizzano morfologicamente l'area, separati da selle morfologiche. Spesso le aree sommitali ospitano strutture nuragiche (Nuraghe di Monte Sant'Antonio, Nuraghe Ascusa, Nuraghe Tamuli, Nuraghe Elighe Onna e altri). Il paesaggio assume una forma blandamente ondulata, nel quale la continuità è interrotta da piccole e medie scarpate, corrispondenti a colate laviche a chimismo basaltico, che a causa dell'erosione differenziale emergono dal paesaggio circostante. La dorsale separa il bacino del Tirso e del lago Omodeo a ovest e il bacino del Riu Marate e del fiume Temo a sud-ovest e nord-ovest rispettivamente.

Poiché l'area è prossima alla dorsale le aste fluviali presenti sono di basso ordine gerarchico secondo la definizione di Horton, come ben visibile nella figura a seguire, nella quale si riporta una elaborazione GIS degli ordini Horton del reticolo idrografico, tratti dal Portale Cartografico della Regione Sardegna. Il reticolo idrografico è tipicamente a graticcio, con assenza di controllo tettonico rilevabile e densità di drenaggi piuttosto bassa, con una netta asimmetria fra i versanti est, più umidi e a più alta densità di drenaggio, e quelli ovest, più secchi e a densità minore.

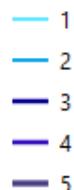
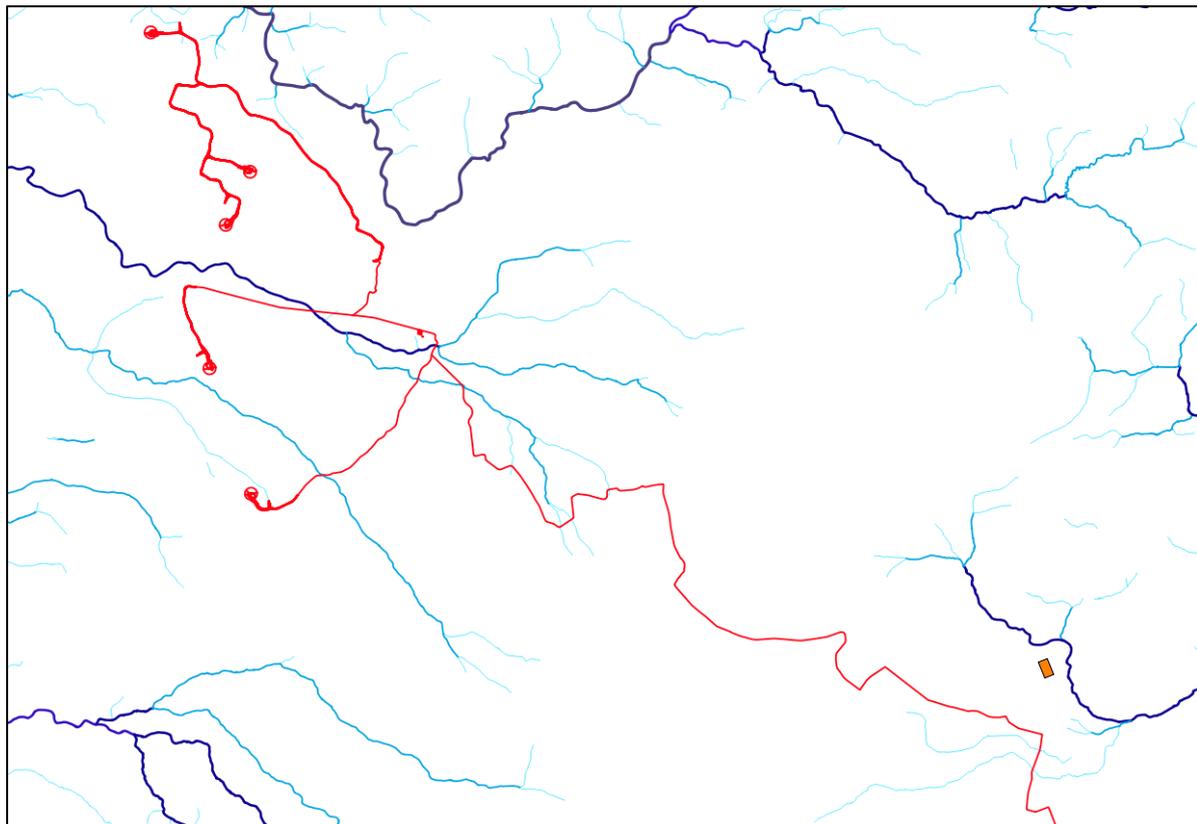


Figura 17: Reticolo idrografico dell'intera area; nella figura, elaborata in ambiente GIS, vengono riportati gli ordini Horton secondo quanto disponibile nel Portale Cartografico della Regione Sardegna. La zona bianca

che attraversa il settore da sud-ovest a nord-est corrisponde all'ampia dorsale che caratterizza l'area fra i Monti Ferru e i monti a nord di Macomer.

Il reticolo idrografico si presenta prevalentemente poco inciso e le valli si presentano molto svasate, a testimoniare una scarsa attività di approfondimento degli alvei (*deepning*), solitamente attribuita a fenomeni di sollevamento regionale (*uplift*), che in Sardegna risultano attualmente nulli o trascurabili; fanno eccezioni piccoli tratti fluviali in cui la maggiore freschezza morfologica è invece da addebitare a fattori morfoselettivi (per esempio il Riu S'Adde, a nord di Macomer), in cui il settore vallivo mostra un tipico aspetto *V-shaped*, dovuto a sovrimpresione del reticolo idrografico. Le superfici pianeggianti o sub-pianeggianti che caratterizzano l'area sono sovente interpretate come piattaforme di abrasione marina in epoca quaternaria.



Figura 18: Forme di erosione per dissoluzione su basalti nell'area di Nuraghe Sant'Antonio.



Forme e depositi di versante
Slope landforms and deposits



Orlo di scarpata
Edge of scarp



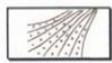
Rottura di pendio convessa
Convex nickpoint



Rottura di pendio concava
Concave nickpoint



Rilievo isolato, inselberg
Isolated hill, inselberg



Falda, deposito di glacis (Pleistocene)
Talus cone, glacis deposits



Morfologia carsica
Karst forms



Ruscaldamento diffuso
Slope wash

Depositi superficiali
Superficial deposits



Sabbie di spiaggia (Olocene)
Beach sands



Sabbie eoliche (Olocene)
Eolian sands



Depositi per gravità (Olocene)
Talus heaps



Alluvioni (Olocene)
Alluvial deposits



Arenarie e conglomerati di spiaggia (Pleistocene sup.)
Beach sandstones and conglomerates



Arenarie eoliche (Pleistocene sup.)
Eolian sandstones



Alluvioni (Pleistocene)
Alluvial deposits



Depositi per gravità (Pleistocene)
Talus heaps

Litologie del substrato
Bedrock



Calcari, dolomie
Limestones, dolomites



Marne, marne arenacee, calcareniti marnose
Marls, sandy marls, marly calcarenites



Arenarie, conglomerati
Sandstones, conglomerates



Scisti, scisti arenacei, argilloscisti, metamorfiti
Shales, arenaceous shales, mudstones, metamorphic rocks



Rocce intrusive
Intrusive rocks



Rocce effusive acide
Acid effusive rocks



Rocce effusive basiche
Basic effusive rocks

Livelli marini quaternari
Quaternary sea levels

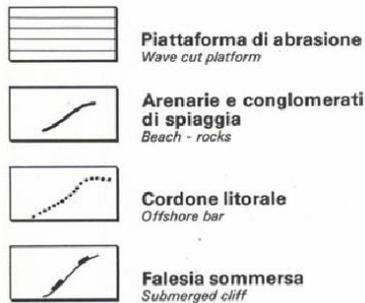


Figura 19: Stralcio Carta Geomorfologica della Sardegna marina e continentale (A. Ulzega, 1984).

A seguire si riportano uno stralcio della Carta di Elevazione e uno stralcio della Carta delle Pendenze, entrambe con sovrapposizione del reticolo idrografico; tutti i tematismi sono elaborati a partire dai dati del GeoPortale Sardegna.

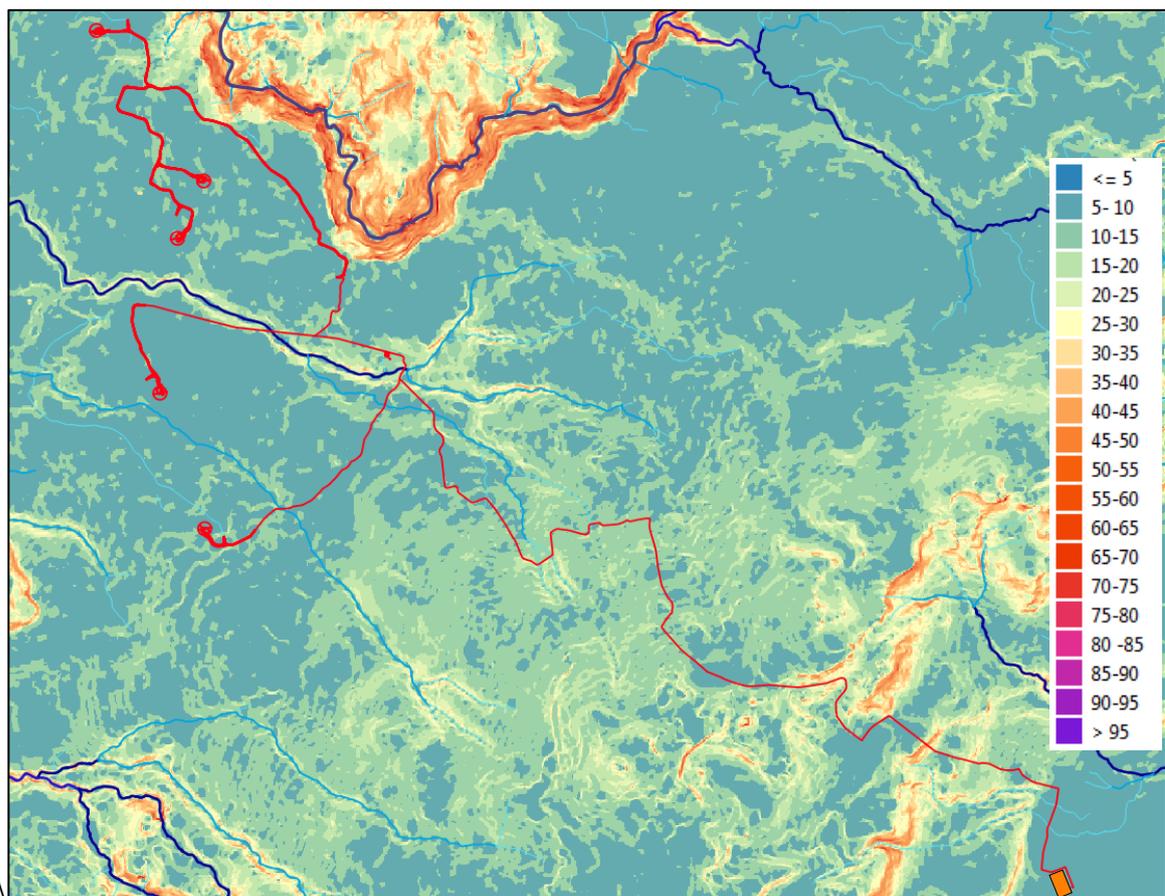


Figura 20: Modello digitale di elevazione del suolo del settore in oggetto; i toni caldi indicano le maggiori elevazioni. Tematismi in ambiente GIS a partire dal DTM 5k della Sardegna.

Per quanto riguarda i fenomeni gravitativi occorre dire che l'area si presenta sostanzialmente stabile e la presenza di fenomeni franosi è legata all'evoluzione morfologica delle scarpate dovute ai *plateaux* basaltici; la forma delle aree in frana è tipicamente nastriforme e segue l'andamento delle scarpate e delle aree più acclivi che bordano i *plateaux*, in particolare laddove i *plateaux* vengono incisi dal reticolo idrografico.

A seguire si riportano stralci della cartografia di base in scala 1:25.000 con le aree considerate a pericolo di frana secondo i tematismi del GeoPortale Sardegna e secondo quanto riportato nel database IFFI del GeoPortale Nazionale; appare di immediata evidenza che nelle vicinanze delle WTG non sono cartografati fenomeni franosi.

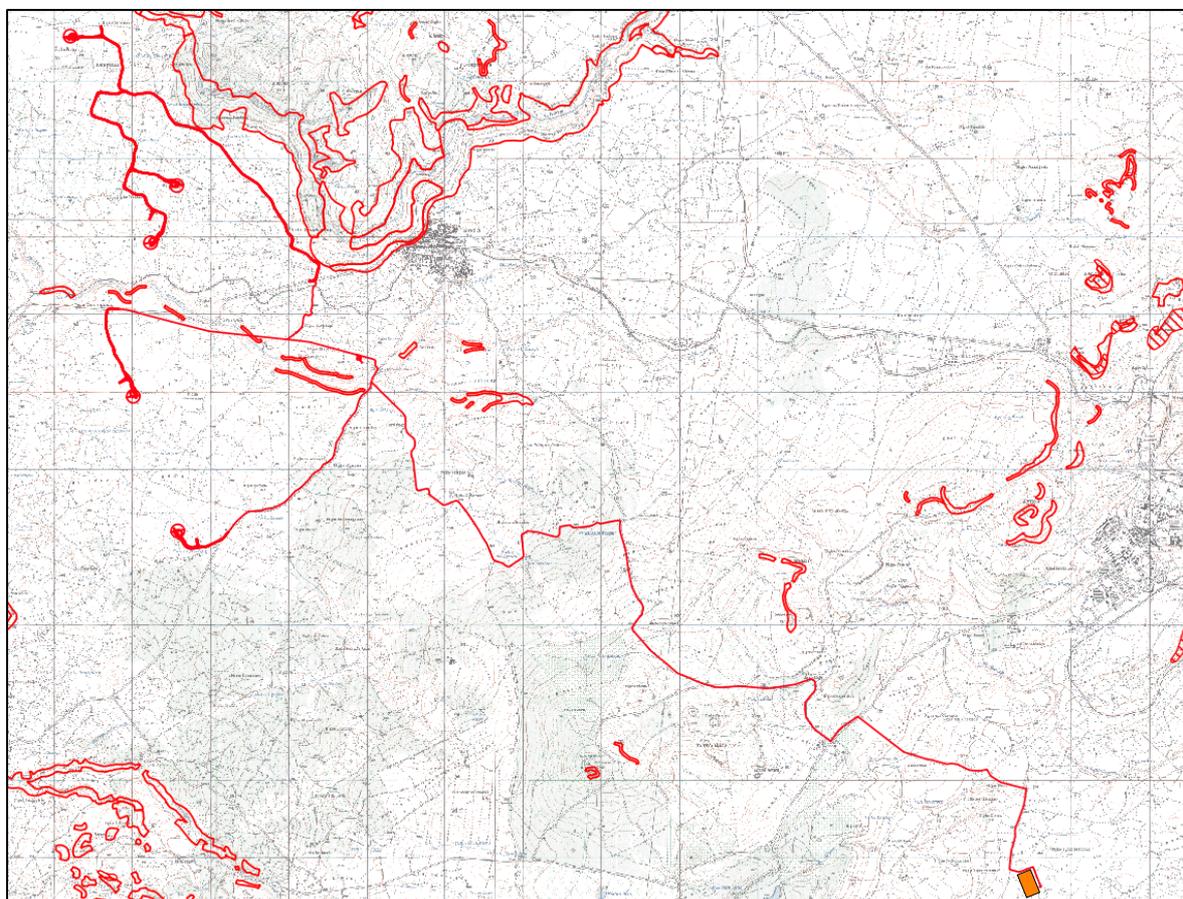


Figura 21: Delimitazione dei fenomeni gravitativi; fonte GeoPortale Sardegna (tematismi PAI) e GeoPortale Nazionale (IFFI). I tematismi IFFI sono indicati con la retinatura trasversale, mentre quelli del PAI sono indicati con il solo perimetro esterno.

5. VINCOLI TERRITORIALI

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (in seguito denominato PAI), del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni della L. 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa del rischio idrogeologico del territorio; esso ha valore di piano sovraordinato e prevale sullo strumento urbanistico locale.

Il PAI persegue l'obiettivo di garantire al territorio di competenza dell'ABR adeguati livelli di sicurezza rispetto all'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana, all'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo di inondazione e all'assetto della costa, relativo alla dinamica delle linee di rive e al pericolo dell'erosione costiera.

I tematismi del vigente piano sono disponibili in formato vettoriale (shapefile) sul sito istituzionale del GeoPortale della Sardegna (<http://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/ows>) e sono stati caricati in ambiente GIS per la sovrapposizione e visualizzazione unitamente ad altri *layers*; lo sfondo è costituito dalla cartografia in scala 1:25.000.

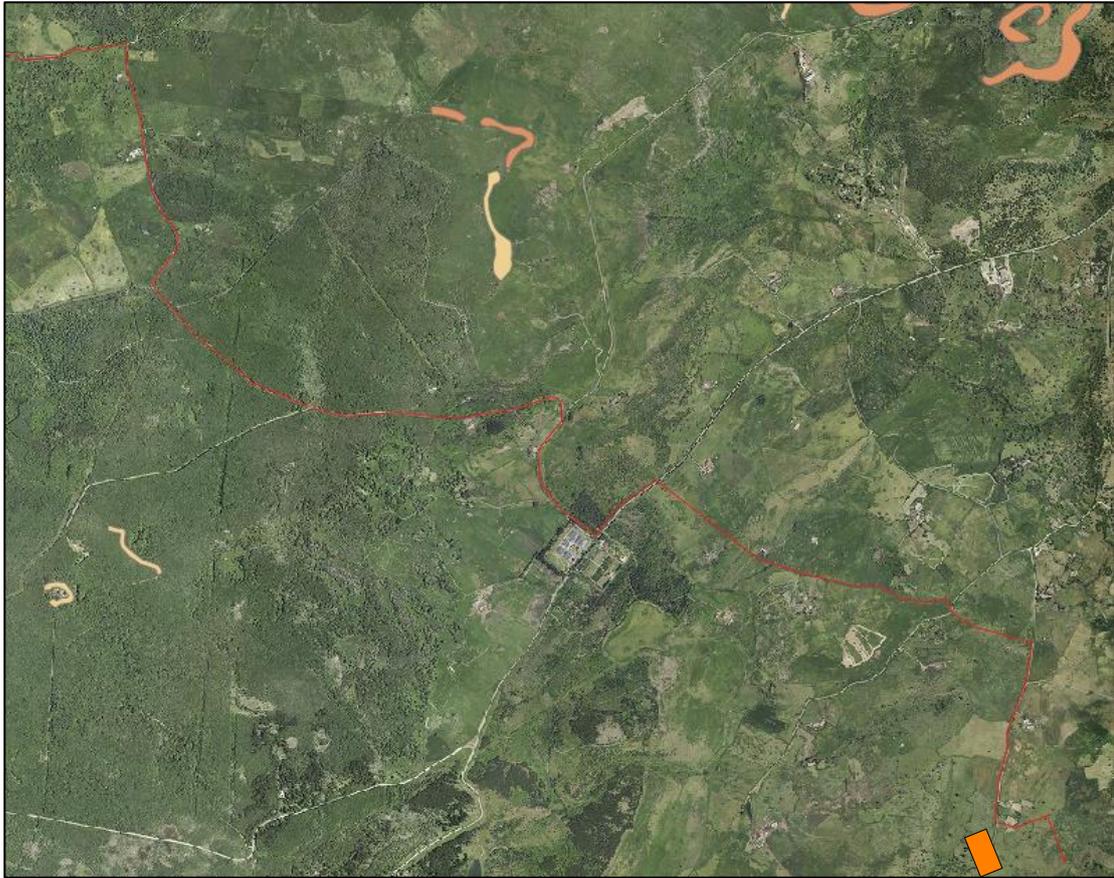
Appare immediatamente chiaro che nessuna WTG è interessata da vincoli da frana o da esondazione e anche quando presenti risultano a distanza dalle WTG. Le minori distanze sono individuate per la Suni 1 (circa 700 m), Suni 3 (circa 600 m) e Suni 2 (circa 800 m), mentre tutte le altre sono poste a distanza superiore a circa 800 m.



Pericolo Geomorfologico Rev. 42 (Pericolo Frana PAI)

- Hg0
- Hg1
- Hg2
- Hg3
- Hg4

Figura 22: Elaborazione in ambiente GIS con i tematismi delle aree a pericolo da frana e idraulico e le relative aree considerate a rischio. Fonte <http://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/ows>.



Pericolo Geomorfologico Rev. 42 (Pericolo Frana PAI)

- Hg0
- Hg1
- Hg2
- Hg3
- Hg4

Figura 23: Elaborazione in ambiente GIS con i tematismi delle aree a pericolo da frana e idraulico e le relative aree considerate a rischio. Fonte <http://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/ows>.

6. IDROGEOLOGIA

6.1. CLIMA

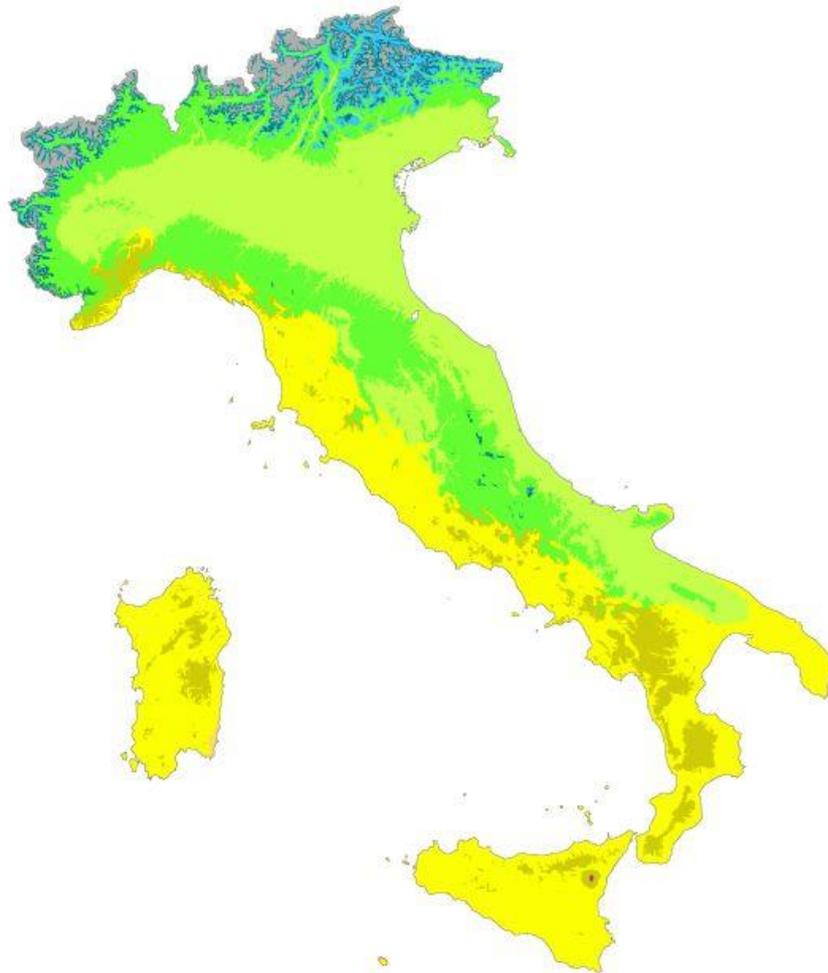
L'area in esame presenta un tipico clima mediterraneo con inverno mite ed estate calda e secca, ma con una tendenza negli ultimi anni a una certa tropicalizzazione del clima; nella classificazione di Köppen attuale, desunta dalla pagina internet worldclim.org, l'area è caratterizzata da clima Mediterraneo a estate calda (Csa, Hot Summer Mediterranean).

Elementi di climatologia e di distribuzione delle temperature, delle piogge e della evapotraspirazione potenziale sono riportati in varie fonti, fra cui Sardegna-Clima.it, in cui possono anche essere reperiti i dati di pioggia giornaliera per singola stazione a partire dagli anni '20.

La stazione pluviometrica di Macomer ha registrato, per il periodo 1922-1992, una pioggia media di 905,6 mm



Köppen climate types of Italy



Köppen climate type

EF (Ice-cap)	Cfb (Oceanic)
ET (Tundra)	Cfa (Humid subtropical)
Dfc (Subarctic)	Csb (Warm-summer mediterranean)
Dfb (Warm-summer humid continental)	Csa (Hot-summer mediterranean)
Dsc (Dry-summer subarctic)	BSk (Cold semi-arid)
Dsb (Warm-summer mediterranean continental)	BSh (Hot semi-arid)
Cfc (Subpolar oceanic)	

*Isotherm used to separate temperate (C) and continental (D) climates is -3°C

Data source: Climate types calculated from data from WorldClim.org

Figura 24 – Classificazione climatica dell'Italia secondo il metodo di Köppen (fonte worldclim.org).

Di seguito si riporta una elaborazione dei dati medi di pioggia del periodo 1922-1991 effettuata dal sito Sardegna-Clima.it su dati dell'Ente Idrografico della Sardegna; risulta molto chiaro che la piovosità è fortemente influenzata dall'orografia locale, con un netto divario fra le aree di bassa quota, sia costiere che interne, caratterizzate da piovosità bassa o molto bassa, anche minore di 600 mm/anno, piuttosto aride, e le aree montane, in cui la piovosità, anche a fronte di quote piuttosto contenute, registra valori che eccedono i 1000 mm. In particolare proprio l'area di studio, corrispondente a un'area di dorsale, rappresenta un'area a discreta piovosità.

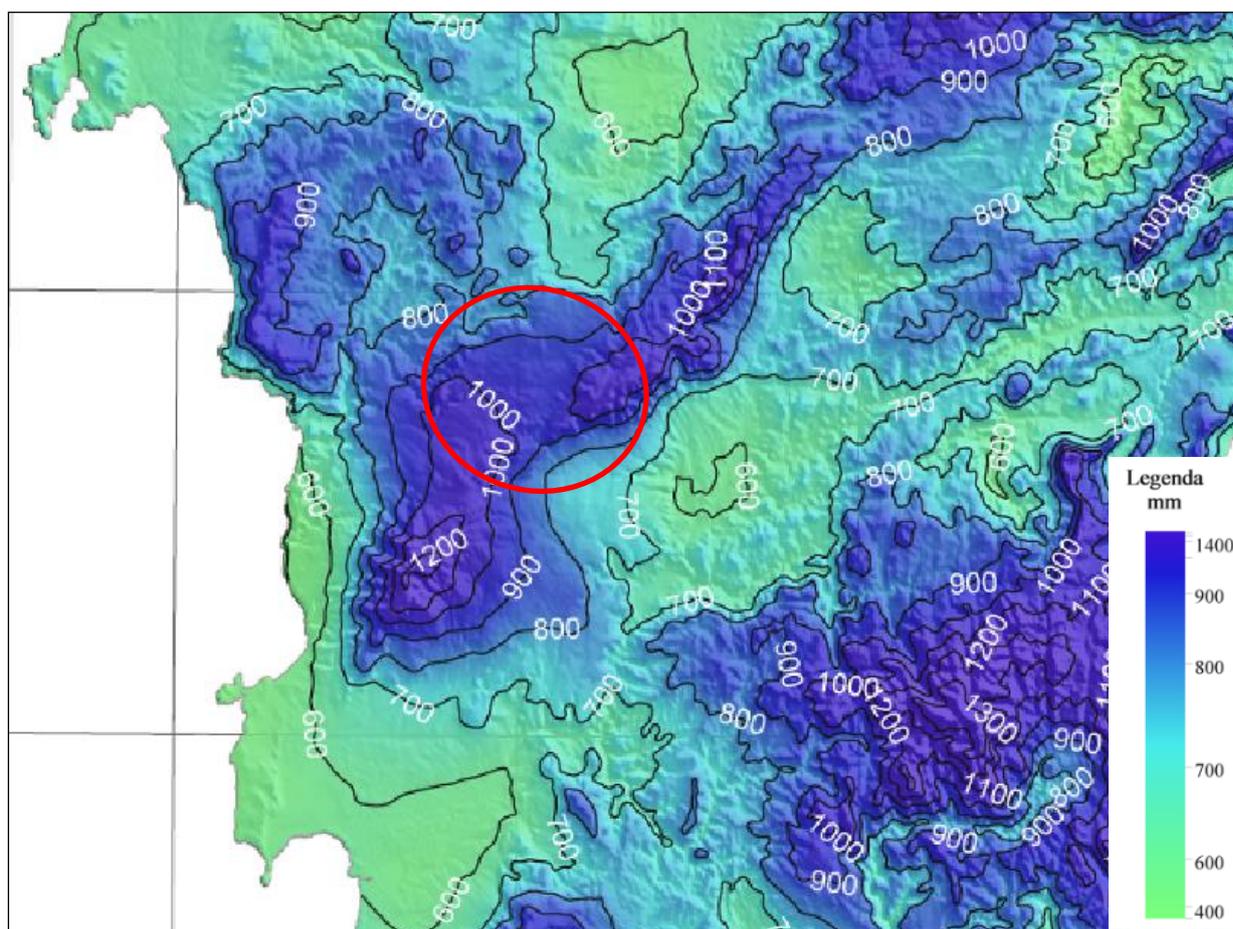


Figura 25: Dati pluviometrici elaborati da Sardegna-clima.it su dati del Servizio idrografico della Sardegna per il periodo 1922-1991. Fonte [Dati Climatici \(sardegn-clima.it\)](http://Dati Climatici (sardegn-clima.it)).

A seguire si riporta una elaborazione termometrica della medesima fonte, nella quale è evidente la zona della dorsale in cui è previsto l'impianto, più fresca delle aree circostanti. Appare evidente l'influsso marino sui Monti Ferru, che risultano più caldi rispetto ad altre aree di quota simile, ma più interne.

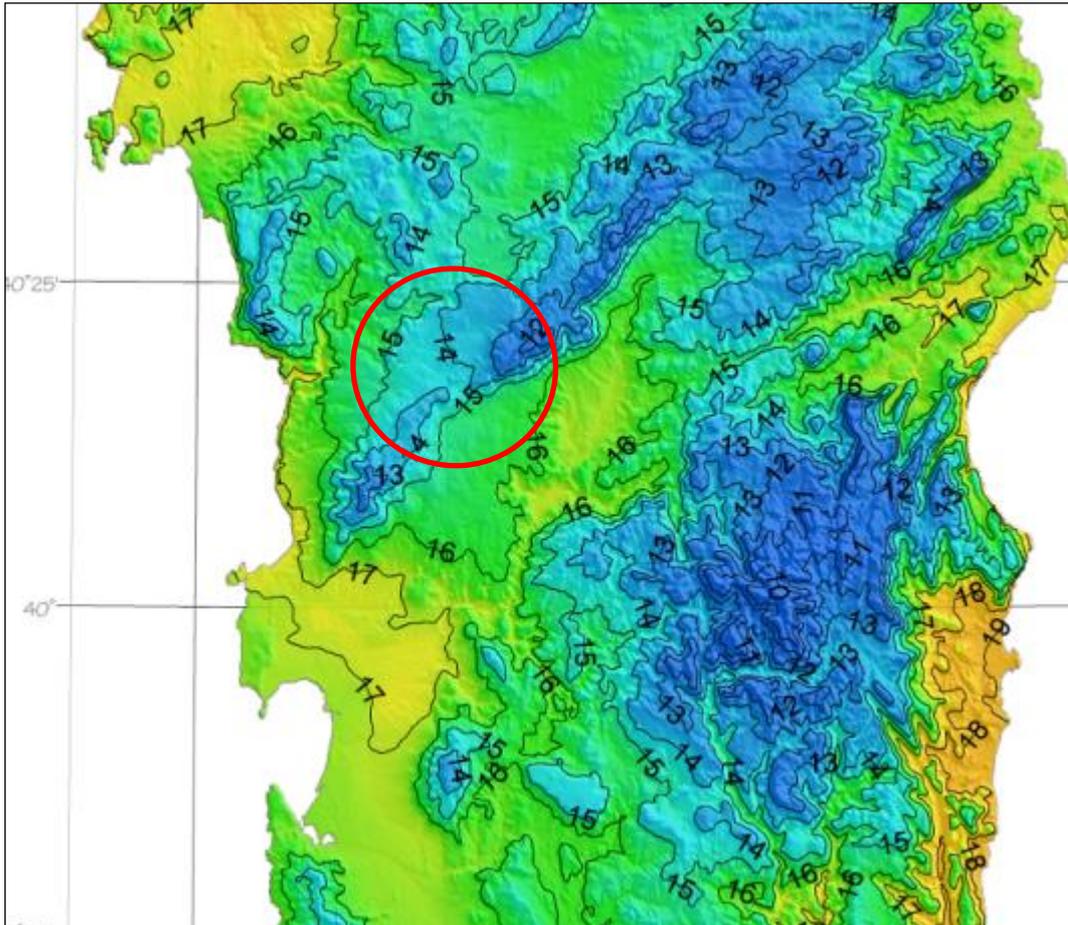


Figura 26: Dati termometrici elaborati da Sardegna-clima.it su dati del Servizio idrografico della Sardegna per il periodo 1922-1991. Fonte [Dati Climatici \(sardegna-clima.it\)](http://dati.climatici.sardegna-clima.it).

6.2. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

I fattori che condizionano la circolazione idrica sotterranea sono molteplici, ma tutti riconducibili alle caratteristiche idrologiche dei terreni; queste ultime sono stimate in fase di rilevamento in maniera qualitativa. Com'è noto le proprietà idrogeologiche dei terreni valutabili qualitativamente durante le fasi di rilevamento di campagna sono: il tipo di permeabilità, identificabile nella natura genetica dei meati (primaria o per porosità, e secondaria o per fessurazione, ed il grado di permeabilità relativa definibile in prima analisi attraverso le categorie elevato, medio, scarso e impermeabile a cui sono associabili ampi intervalli di variazione del valore della conducibilità idraulica.

Ad ampia scala è presente un unico complesso idrogeologico, corrispondente al complesso delle rocce vulcaniche, secondo quanto riportato dai file vettoriali del GeoPortale Nazionale. L'ottimo portale cartografico della Regione Sardegna riposta anche una suddivisione dei complessi idrogeologici, nel quale sono tematizzati sia la tipologia di permeabilità, suddivisa in carsismo/fratturazione, fratturazione e porosità; mentre da un punto di vista quantitativo vengono distinti i valori di permeabilità bassa, medio-bassa, media, medio-alta e alta.

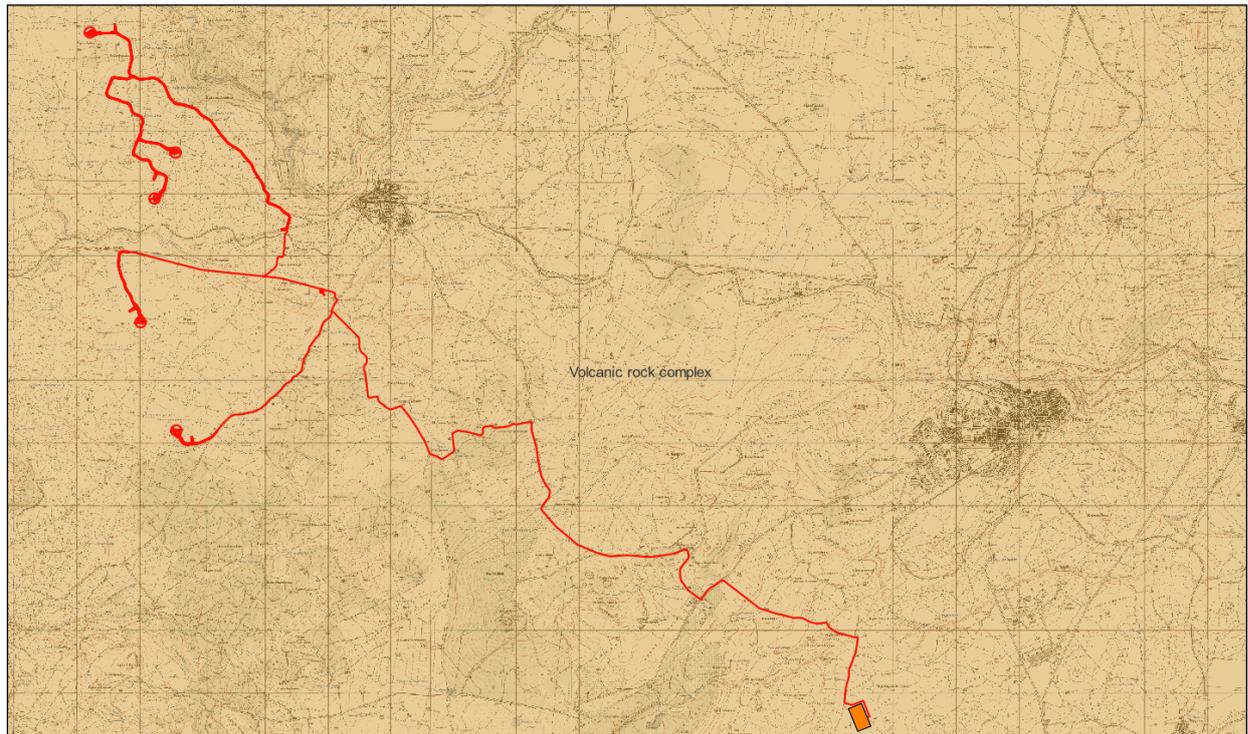


Figura 27: Estratto della Carta Idrogeologica in scala 1:500.000 del GeoPortale Nazionale; l'intera area rientra nel complesso delle rocce vulcaniche.

Grazie ai tematismi messi a disposizione dalla Regione Sardegna è stato quindi possibile meglio discriminare il comportamento idrogeologico dei terreni. Dall'osservazione della cartografia che di seguito si riporta è evidente che non sono presenti terreni interessati da carsismo (mancano terreni a chimismo carbonatico), mentre la gran parte dei terreni sono caratterizzati esclusivamente da permeabilità per fratturazione (le litologie a prevalenza basaltica sono largamente dominanti). Solo localmente, in particolare in corrispondenza delle modeste aree caratterizzate da orizzonti alluvionali ed eluvio-colluviali, la permeabilità è per porosità, in cui i filetti fluidi si muovono in funzione del diametro efficace dei meati e del grado di interconnessione fra i meati stessi. In particolare tutte le WTG ricadono in aree caratterizzate da una media/bassa permeabilità (per fratturazione).

In generale quindi la circolazione idrica avviene prevalentemente per fratturazione e risente quindi della rete di discontinuità; solitamente tale rete è più fitta in superficie (minore spaziatura delle fratture e maggiore pervasività delle stesse) e decresce con l'aumentare del carico litostatico. A profondità di qualche decina di metri tutte le discontinuità sono chiuse, eccetto quelle maggiori, legate alla presenza di lineamenti tettonici. La morfologia superficiale incide in maniera non trascurabile sulle capacità di infiltrazione in falda, poiché terreni a bassa pendenza consentono tempi di stazionamento più lunghi dei filetti fluidi e quindi una maggior probabilità di infiltrazione in falda, mentre i settori a più elevata pendenza permettono un ruscellamento più rapido e minore potenziale di infiltrazione, consentendo quindi ai filetti fluidi di raggiungere in

breve tempo le aste drenanti più prossime. Non si hanno informazioni di dettaglio sulle condizioni della falda, ma è possibile fare qualche valutazione sulla base della presenza delle sorgenti, che sono mappate nella carta IGM 1:25.000. Sono presenti un gran numero di sorgenti, a varie quote stratigrafiche, talvolta allineate lungo la medesima linea di quota, a testimoniare la presenza di contrasti di permeabilità locali, spesso corrispondenti a singoli cicli di messa in posto dei tavolati basaltici (sorgenti per soglia di permeabilità). Molto spesso le sorgenti prendono il nome locale di "Funtana".

Con elevata probabilità l'area è caratterizzata da un acquifero multifalda molto complesso, ma in parziale collegamento per fenomeni di drenanza, mentre i sottili orizzonti alluvionali possono localmente ospitare una falda freatica a pelo libero, di alta permeabilità e modesta trasmissività, a causa dell'esiguo spessore del materasso alluvionale. Il contrasto di permeabilità fra i terreni dotati di porosità e i sottostanti terreni effusivi costituisce la barriera che permette l'instaurarsi delle falde a pelo libero in ambiente alluvionale (o eluvio-colluviale).

Non si hanno informazioni sulla circolazione profonda e in assenza di interpretazione e dati alternativi si ritiene che gli spartiacque superficiali corrispondano agli spartiacque della circolazione idrica profonda. Date le caratteristiche plano-altimetriche e di permeabilità dell'area si ritiene che il gradiente piezometrico sia piuttosto basso. L'ampia area di dorsale della congiungente Crastu Nieddu - Crastu Truttulas - Monte Ladu - Elighe-Onna - Monte Sant'Antonio - Monte Pitzolu, rappresenta una importante area di ricarica delle falde locali, mentre immediatamente all'esterno di tale asse sono presenti le sorgenti e si irraggia il reticolo idrografico.

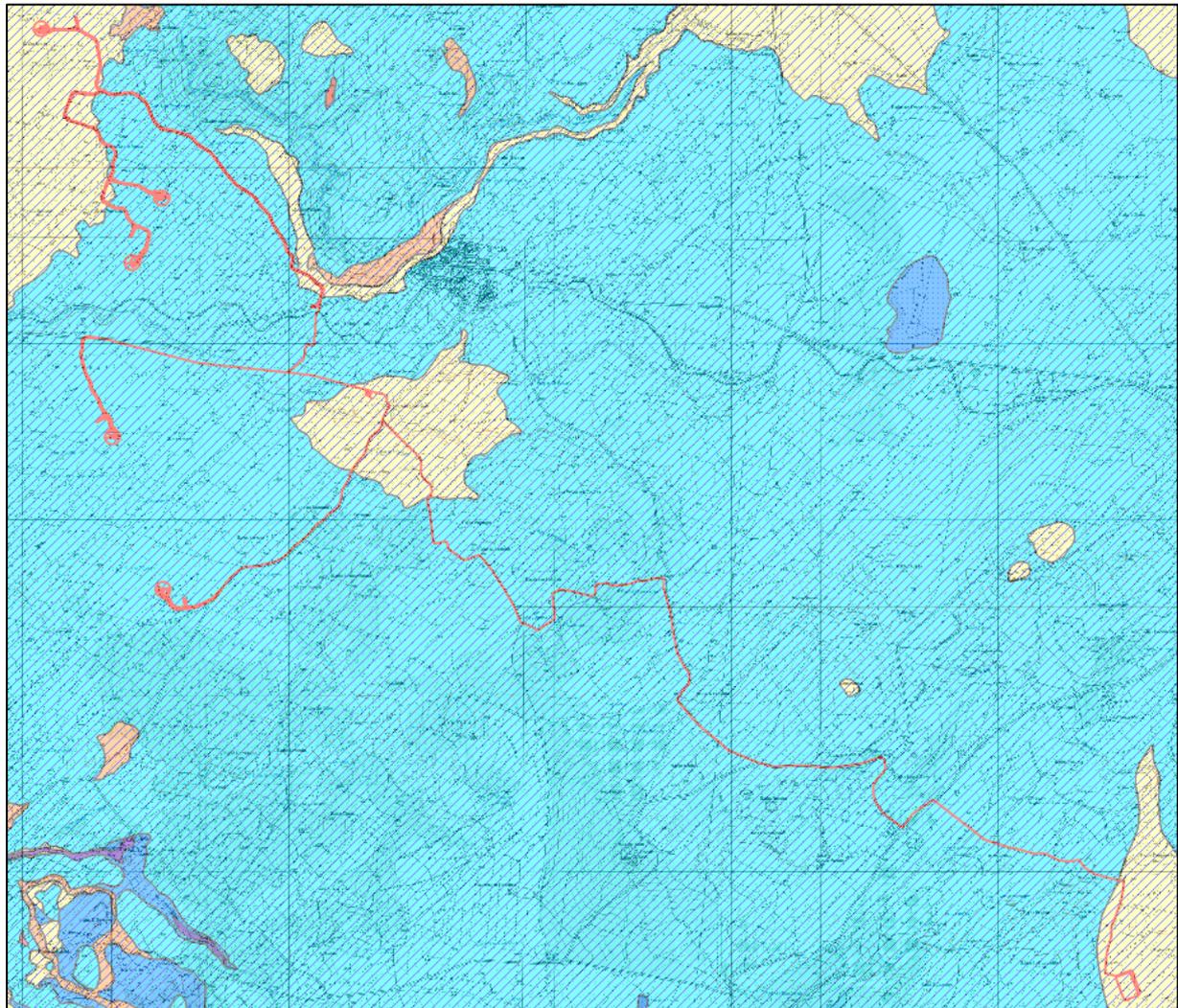


Figura 28: Carta della permeabilità dell'impianto. Tematismi a partire da quelli disponibili nel geodatabase della Regione Sardegna.

Una parte delle sorgenti sono ben visibili anche da immagine satellitare, in quanto captate e utilizzate a fini irrigui o per abbeverare animali da pascolo, mentre in diversi casi è possibile osservare che sorgenti e/o vasche presenti nella cartografia IGM risultano oblitee da operazioni antropiche e/o disseccate dall'incipiente desertificazione che interessa parte della Sardegna.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nella presente fase progettuale non sono disponibili indagini geognostiche, demandate alla fase successiva.

8. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI

8.1. SISMICITÀ E TETTONICA ATTIVA

Come ampiamente noto la Sardegna è priva di sorgenti sismogenetiche note e caratterizzata da una sismicità storica pressoché assente, legata esclusivamente al risentimento locale di sismi a grande distanza.

8.1.1. LE SORGENTI SISMOGENETICHE

Il primo passo per la definizione dell'azione sismica è quella di individuare le "sorgenti sismiche capaci" caratterizzanti l'area di studio. Per il presente studio si è fatto riferimento al DISS 3.3.0 (Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy) che individua per l'area oggetto del presente studio le sorgenti sismogenetiche.

Dall'osservazione della cartografia su WebGis è possibile osservare che l'area sarda non è caratterizzata dalla presenza di sorgenti sismogeniche; le sorgenti all'intorno sono posizionate a centinaia di chilometri e le più prossime sono **Northern Africa offshore East** (magnitudo massima 7,0), **Imperia Promontory** (magnitudo massima 6,6) e la **Southern Tyrrhenian** (magnitudo massima 6,5), seguono quindi tutte le sorgenti sismogenetiche appenniniche. a causa della grande distanza nessuna di queste sorgenti è in grado di indurre deformazioni nel territorio o danni nel patrimonio antropico di rilievo.

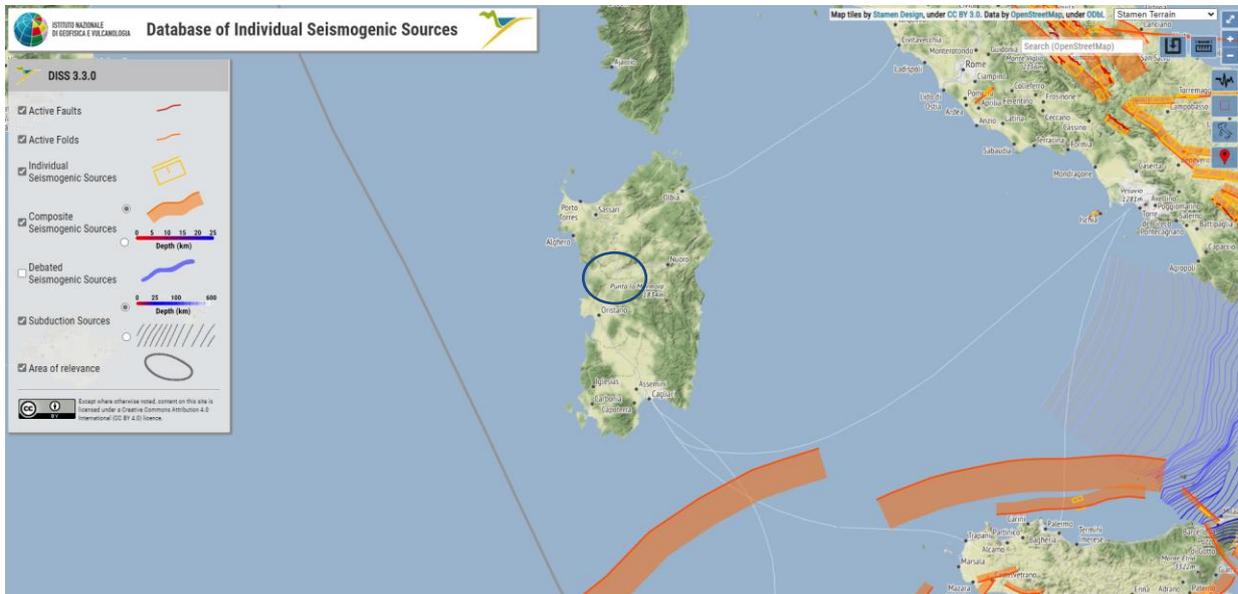


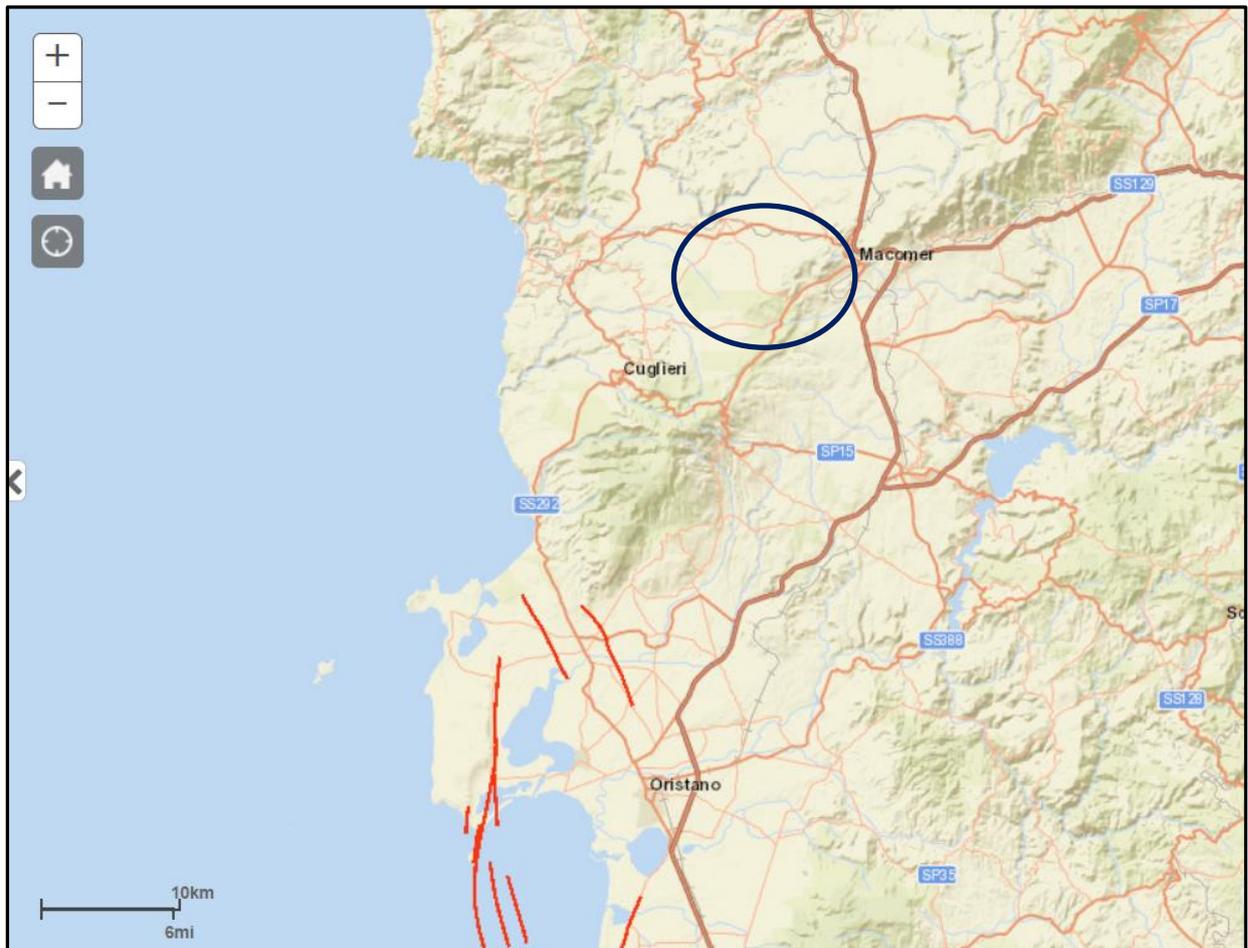
Figura 29 - Le Sorgenti Sismogenetiche nell'intorno della Sardegna contenute nella nuova versione del "Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy"; per l'ubicazione dell'area in esame (progetto DISS - <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>).

8.1.2. ITHACA – DATABASE DELLE FAGLIE CAPACI

Il catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) colleziona le informazioni disponibili sulle faglie capaci, cioè le faglie con attività almeno pleistocenica che potenzialmente possono creare deformazione tettonica permanente in superficie, che interessano il territorio italiano. ITHACA è uno strumento fondamentale per l'analisi di pericolosità ambientale e sismica, per la comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, per la pianificazione territoriale e per la gestione delle emergenze di Protezione Civile.

L'area di diretto interesse non è interessata da faglie capaci, che vengono riportate nell'area più a sud-ovest, presso Oristano, in cui vengono riportate: la faglia di Baratili, una faglia cieca di attività pleistocenica a cinematismo normale del Graben del Campidano, con 8,7 km di sviluppo, la faglia di Stagno de is Bénas-Isca Maiori (7,3 km di sviluppo, cinematismo normale, blind fault) e la faglia Sinis 1, sempre a cinematismo normale, sub-verticale, cieca, con sviluppo di circa 12,9 km.

Nessuno dei segmenti di faglia appena citati è collegato ad attività sismica in epoca storica.



Kinematics

- Unknown
- Normal Fault
- ... Oblique Fault
- - Reverse Fault
- . Strike Slip

Figura 30 - Le faglie capaci presenti in prossimità dell'area di studio, contenute nel database ITHACA (GeoMapView, ISPRA - <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>). Tutte le faglie risultano a notevole distanza dall'area di progetto.

8.3 SISMICITÀ STORICA

Per l'esame della sismicità storica sono disponibili le informazioni reperibili nel database INGV del progetto Emidius (https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/query_place/), nel quale vengono riportati i terremoti per ciascuna località italiana.

Sono state verificate le località dell'area di impianto e per tutta l'area l'unico evento segnalato nel database è un sisma nell'area tirrenica; si riporta il tabulato per il comune di Suni e Macomer, la principale località dell'area. Il risentimento macrosismico locale non è definito a causa dell'intensità troppo bassa risentita in situ. fa eccezione il comune di Sindia, per il quale si riporta una intensità al

sito 4-5.

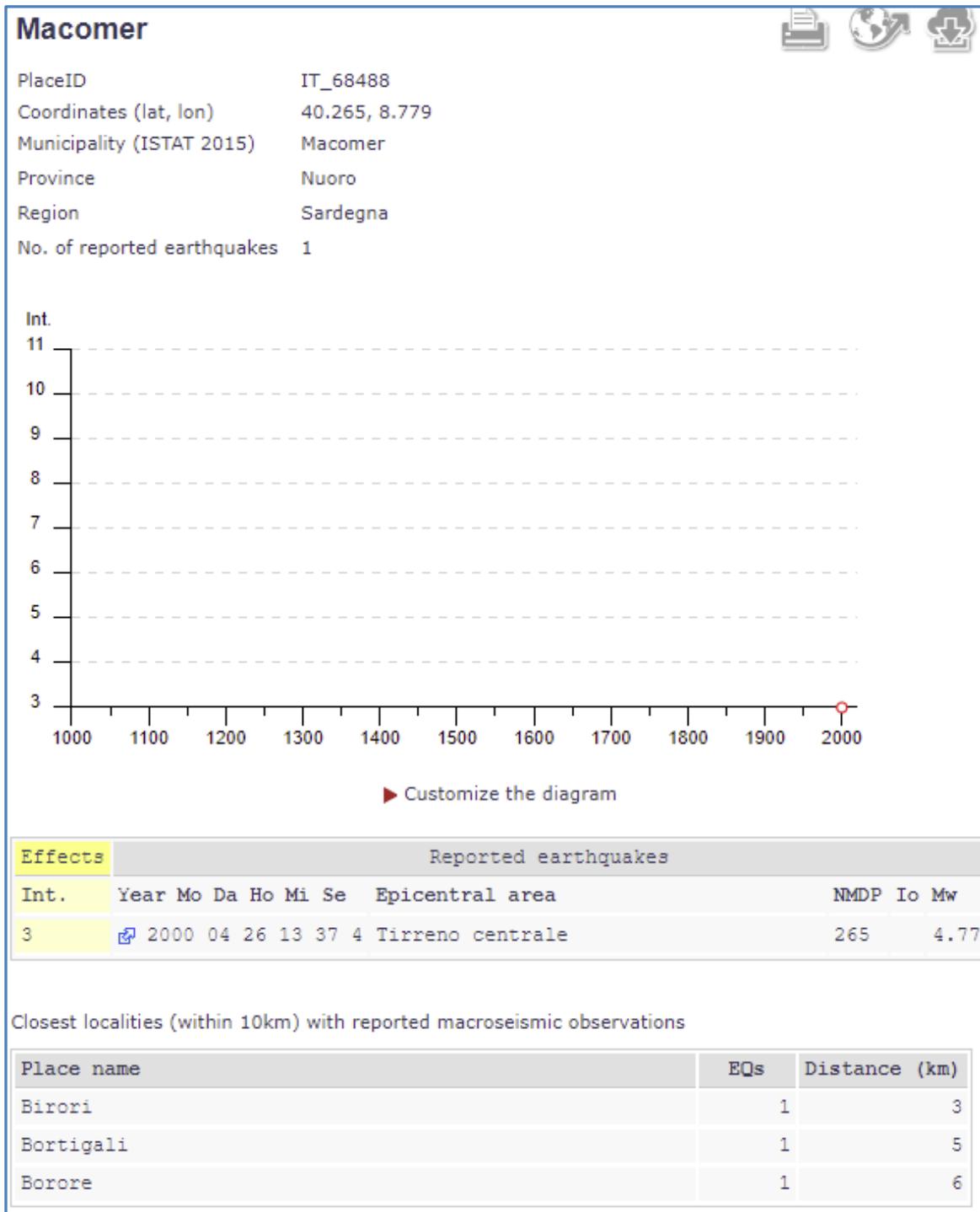


Figura 31 - Storia sismica di Macomer (NU); in ordinata: Intensità al sito (Is); in ascissa: anni; in alto in formato tabellare; non sono presenti sismi e l'unico riportato ha intensità locale non definita. Fonte [CPTI15-DBMI15 v3.0 \(ingv.it\)](#).

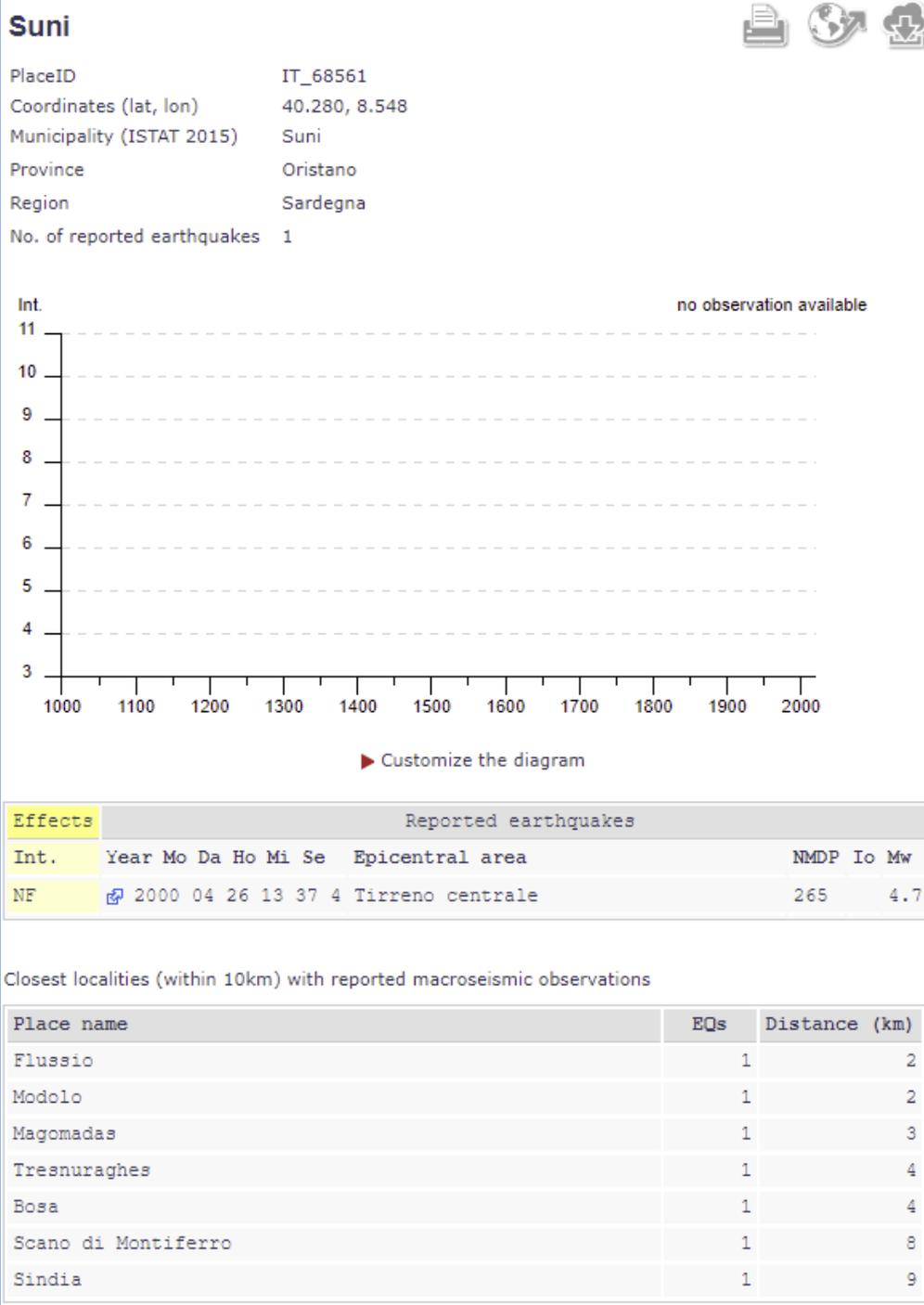


Figura 32 - Storia sismica di Suni (OR); in ordinata: Intensità al sito (Is); in ascissa: anni; in alto in formato tabellare; non sono presenti sismi e l'unico riportato ha intensità locale non definita. Fonte [CPTI15-DBMI15 v3.0 \(ingv.it\)](#).

8.4 MACROZONAZIONE SISMICA - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In data 24 ottobre 2005 entra in vigore il D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni", successivamente aggiornata ed emendata fino all'attuale versione NTC2018. La norma suddivide il territorio in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore di parametro a_g , che rappresenta l'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di

categoria A. L'area in esame ricade nei comuni di Sunì e Macomer e rientra in zona sismica 4, a rischio sismico molto basso.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Figura 33 - Livello di pericolosità delle zone sismiche suddivise in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

Le accelerazioni a_g attese su suolo di categoria A, in tutta l'area di impianto (e in generale in tutta la Sardegna), rientrano nel range 0,025-0,050 g.

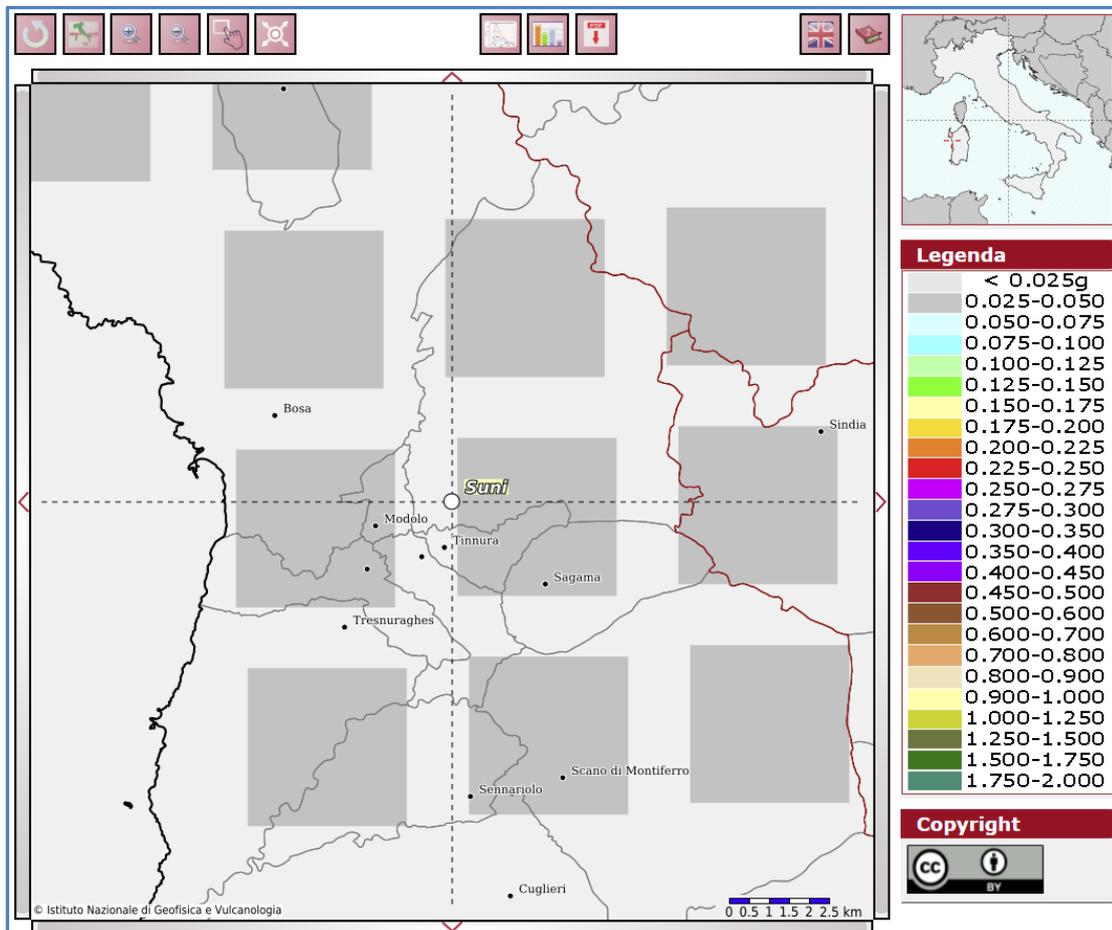


Figura 34 – accelerazioni al suolo attese per suolo di categoria A nel Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 dell'Istituto Nazionale Italiano di Geofisica e Vulcanologia (fonte [Modello di pericolosità sismica MPS04 \(ingv.it\)](http://Modello%20di%20pericolosit%C3%A0%20sismica%20MPS04%20(ingv.it))).

9. LIQUEFAZIONE

Valutazioni circa la possibilità o meno di sviluppo di fenomeni di liquefazione durante eventuali attività sismiche vanno svolte in presenza di terreni granulari saturi, con fuso granulometrico a dominanza sabbiosa. La liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

L'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), così come già indicato nelle NTC 2008, indica che le verifiche alla liquefazione per le opere possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero inferiori a $0.1g$;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e per strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 23(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 23(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

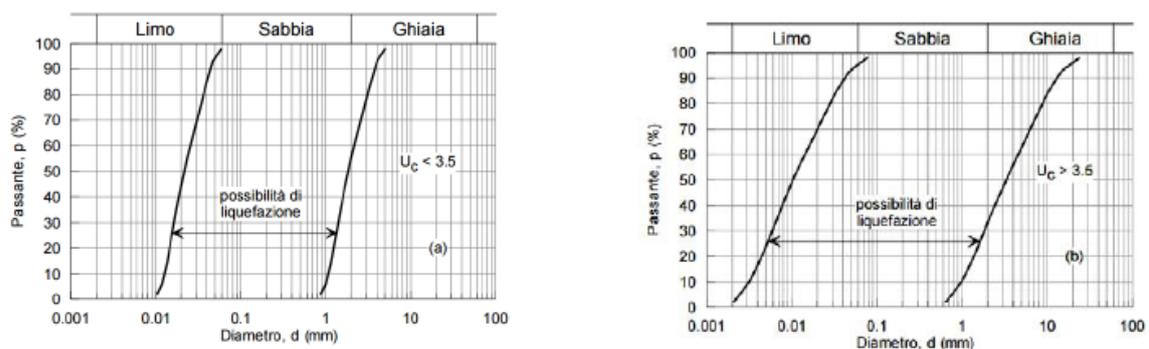


Figura 35 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione ai sensi delle NTC

Alla luce delle caratteristiche sismiche dell'area, caratterizzata da sismicità moto bassa e dalle caratteristiche litologiche dei terreni, prevalentemente basaltici, si escludere che vi possano essere fenomeni di liquefazione dei sottofondi.

10. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella seguente, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio "Vs". I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VSeq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- hi spessore dell'i-esimo strato;
- VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite

nella tabella seguente.

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

Tabella 1 - Categorie di sottosuolo ai sensi delle NTC vigenti

La caratterizzazione di tale importante parametro di progetto è demandata alla successiva fase progettuale. Situazioni geologiche similari conducono solitamente a categoria di tipo B se con copertura rilevante oppure A se l'ammasso vulcanico è in affioramento o quasi; decisamente meno probabile che si possa ottenere una categoria "C". Tali asserzioni saranno verificate mediante opportune tecniche geofisiche.

10.1 CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto attiene la categoria topografica, l'area ricade in un contesto collinare a bassa-moderata pendenza.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati 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 $i > 30^\circ$

Figura 36 – Categorie topografiche ai sensi delle NTC 2018

Di seguito si riportano le categorie topografiche per ciascuna WTG.

Sindia 1	T1
Sindia 2	T1
Sindia 3	T1
Sindia 4	T1

Sindia 5 T1
 Sindia 6 T1
 Sindia 7 T1

11. RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INDAGATI

Non essendo disponibili in tale fase progettuale indagini geognostiche, è possibile fornire per i terreni in oggetto solamente delle valutazioni di larga massima delle caratteristiche geotecniche. In linea generale sono presenti due grandi categorie di terreno differenti, una afferente alla grande famiglia delle rocce di origine vulcanica, ovvero i basalti, le daciti, le riodaciti, ecc..., mentre la seconda categoria è quella dei terreni sedimentari olocenici, rappresentati dalle alluvioni fluviali e dai prodotti eluvio-colluviali.

Le rocce vulcaniche sono inoltre interessate dai fenomeni di alterazione superficiale (*weathering*) e non si presentano quindi sempre nella forma litoide originaria; quando l'alterazione è sufficientemente profonda esse perdono l'aspetto di una roccia e si comportano geotecnicamente come una terra. Sarà precipuo compito delle indagini geognostiche verificare anche lo stato di alterazione dei litotipi vulcanici per verificarne il comportamento geotecnico. Di seguito viene riportata una tabella con i principali valori geotecnici per i terreni previsti.

<i>Complesso</i>	<i>Descrizione</i>	ϕ (°)	C (daN/cm ²)	c_u (daN/cm ²)	γ (daN/cm ³)
<i>Vulcanico integro/poco alterato</i>	Basalti, andesiti, trachibasalti poco o nulla alterati, a consistenza litoide	36-42	1000	3000	2160
<i>Vulcanico molto alterato</i>	Basalti, andesiti, trachibasalti molto alterati, privi di consistenza litoide	30-34	100	300	1860
Coltri eluvio-colluviali	Coltri eterogranulari, molto variabili, mediamente limoso-sabbiose e in parte ghiaioso-argillose	22	400	800	1570

Tabella 2 – Parametri geotecnici di massima

Sulla scorta di quanto verificato in base alla cartografia ufficiale disponibile è possibile esprimere

un parere di massima sulle strutture di fondazione da adottare, che dovrà essere puntualmente verificato sulla scorta delle necessarie indagini in situ.

Sindia 1 Fondazioni superficiali

Sindia 2 Fondazioni superficiali

Sindia 3 Fondazioni superficiali

Sindia 4 Fondazioni superficiali

Sindia 5 Fondazioni superficiali

Sindia 6 Fondazioni superficiali

Sindia 7 Fondazioni superficiali

12. CONCLUSIONI

La presente relazione ha come finalità la caratterizzazione geologico-tecnica del sito interessato dal progetto IMPIANTO EOLICO DI 31MW IN LOCALITA' "FERRALZOS" e delle relative opere di connessione, proposto da Wind Energy Sindia srl nei territori comunali di Suni, Sagama e Scano di Montiferro (OR), Sindia e Macomer (NU) (aerogeneratori Suni 1, 2, 3, 4, 5) e per le opere di connessione in parte nel comune di Macomer.

Morfologicamente, la stabilità d'insieme dell'area appare buona e allo stato attuale non sono stati rilevati dissesti in atto o potenziali di tipo gravitativo, così come riportato dai tematismi del P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativi all'area in esame, disponibili sul sito del Portale Cartografico della Regione Sardegna, da cui si evince che i siti di posa delle WTG non sono interessati da vincoli per fenomeni franosi e tantomeno per rischio di esondazione.

Litologicamente le aree sono caratterizzate prevalentemente dai terreni delle serie eruttive vulcaniche, prevalentemente dei basalti e subordinatamente dei trachibasalti e delle andesiti, poco o moderatamente alterati; localmente sono presenti orizzonti non trascurabili di coltri eluvio-colluviali. Presuntivamente la categoria di suolo di fondazione varia fra la categoria B e la categoria A, mentre la categoria topografica è ovunque T1 (pendii poco acclivi). Come tutto il territorio sardo l'area è caratterizzata da sismicità pressoché assente, legata esclusivamente a sismi dell'area tirrenica e con risentimento locale molto blando.

Presuntivamente, date le caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche, è possibile che tutte le WTG possano avere fondazioni di tipo superficiale.

Nelle successive fasi progettuali dovranno essere dettagliate le caratteristiche geolitologiche, geotecniche e sismostratigrafiche mediante una campagna di indagini appositamente realizzata.