



Nuovo impianto per la produzione di  
energia da fonte eolica nel comune di  
Maracalagonis (CA)

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA

Rev. 0.0

Data: Giugno 2022

WIND003.REL003d

ECOWIND 2 S.r.l.

Via Alessandro Manzoni 30,  
20121 Milano (MI)

P.IVA: 12071590967

PEC: [ecowind2srl@legalmail.com](mailto:ecowind2srl@legalmail.com)

Incaricato:

**Queequeg Renewables, ltd**

Unit 3.03, 1110 Great West Road  
TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: [mail@queenter.co.uk](mailto:mail@queenter.co.uk)

## SOMMARIO

1 Premessa e finalità dello studio .....	3
2 Normativa di riferimento .....	3
3 Studi ed indagini di riferimento.....	3
4 Inquadramento geografico generale .....	4
5 Caratteristiche di progetto dell'opera.....	10
6 Inquadramento geologico.....	13
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	13
7 Caratteri strutturali generali .....	18
8 Inquadramento geomorfologico.....	19
8.2 Lineamenti geomorfologici generali .....	25
8.3 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa .....	26
9 Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	28
9.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea .....	29
9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee .....	29
Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi .....	31
11 Inquadramento pedologico.....	32
12 Uso del Suolo .....	33
13 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	35
13.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.) .....	35
13.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I. ....	38
13.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	38
13.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) .....	40
15 Modellazione geologica .....	41
15.1 Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	41
15.2 Modello Geologico di sito .....	51
15.2.1 Modello Geologico 01 e Modello Geologico 02 – Granodiorite inequigranulare.....	52
15.2.2 Viabilità di impianto e Sottostazione.....	54
16 Compatibilità idraulica e geologico-geotecnica .....	56
Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI .....	56
Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI) .....	59
17 CONCLUSIONI.....	61

## 1 Premessa e finalità dello studio

La presente geologica è parte integrante del procedimento di **Valutazione d'Impatto Ambientale** ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

Nell'ambito della redazione del **Progetto Definitivo** che prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, di potenza nominale pari a 92.400 kW denominato "*Bruncu de Lianu*" e dislocato nel territorio comunale di Maracalagonis nella Provincia di Cagliari, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione di compatibilità Idrogeologica**, secondo quanto previsto dalle NTA 2020 del Piano d'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (PAI) in supporto al progetto, con l'obiettivo di valutare la compatibilità idraulica e geologico-geotecnica dell'intervento e, in relazione a quanto prescritto dalla normativa vigente in materia di rischio idrogeologico.

## 2 Normativa di riferimento

La presente è redatta in ottemperanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

- D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali 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 in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- Norme Tecniche di Attuazione PAI – aggiornamento GIUGNO 2020 allegato B Delib.G.R. n. 43/2 del 27.8.2020.

## 3 Studi ed indagini di riferimento

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000

- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 sezione 558130 "Bruncu de su Soli", 558140 "Castiadas", 567010 "Geremeas" e 567020 "Santa Barbara".
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°234 "Cagliari"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG) nel foglio n°557 "Cagliari" e 549 "Muravera".
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna delle indagini geologico-geostrutturali e geofisiche eseguita in data 10-15 e 16/03/2021 nella zona di interesse.

## 4 Inquadramento geografico generale

**Maracalagonis** è un Comune italiano di 7 922 abitanti della città metropolitana di Cagliari, che si trova a 82 metri sul livello del mare.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 558 "Castiadas" sez. III, e sez. I, 567 "Geremeas" sez. IV.
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 sezione 558130 "Bruncu de su Soli", 558140 "Castiadas", 567010 "Geremeas" e 567020 "Santa Barbara".



Figura 1-Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio



Figura 2-Panoramica dal lato occidentale dell'area di studio

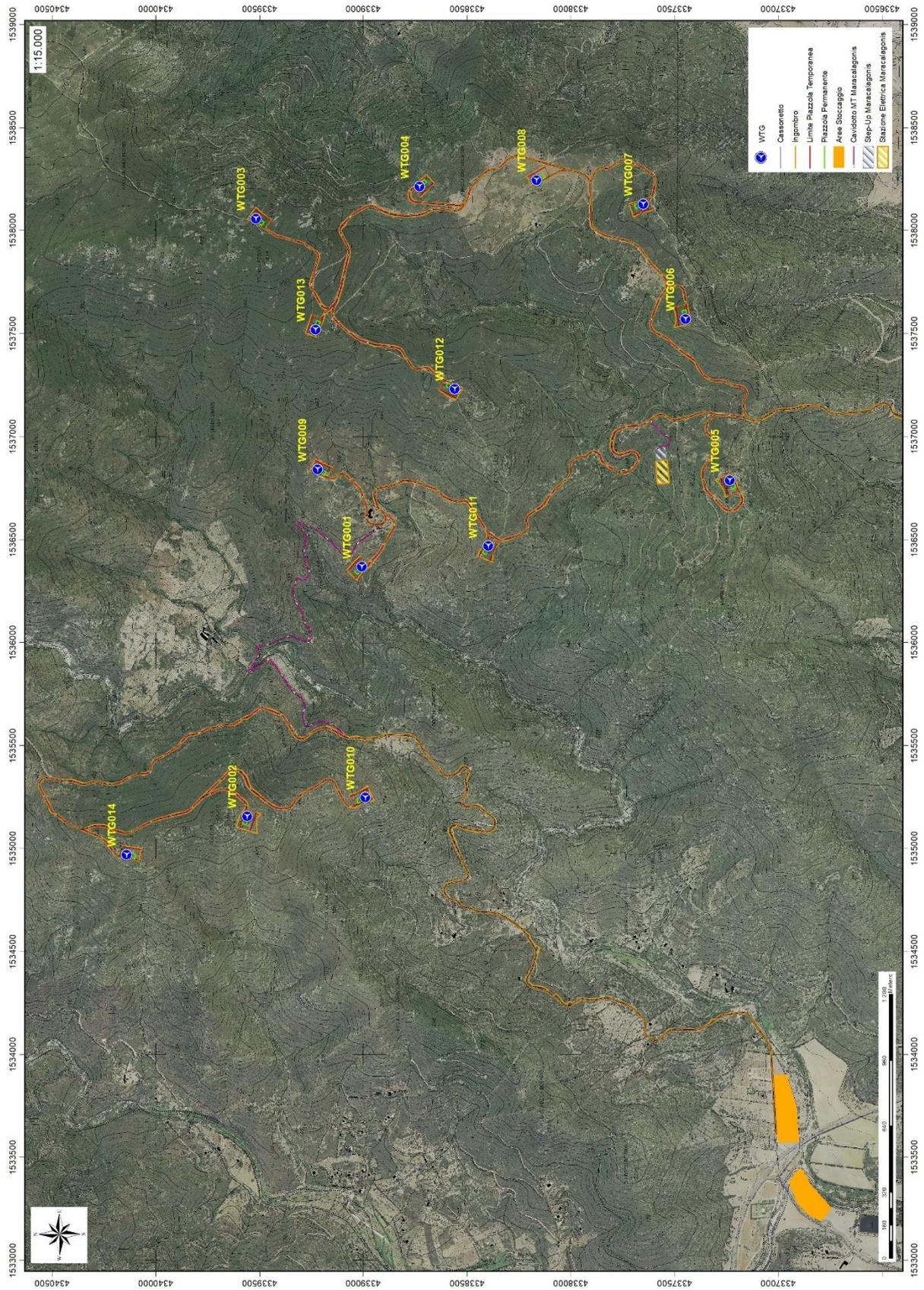


Figura 3-Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

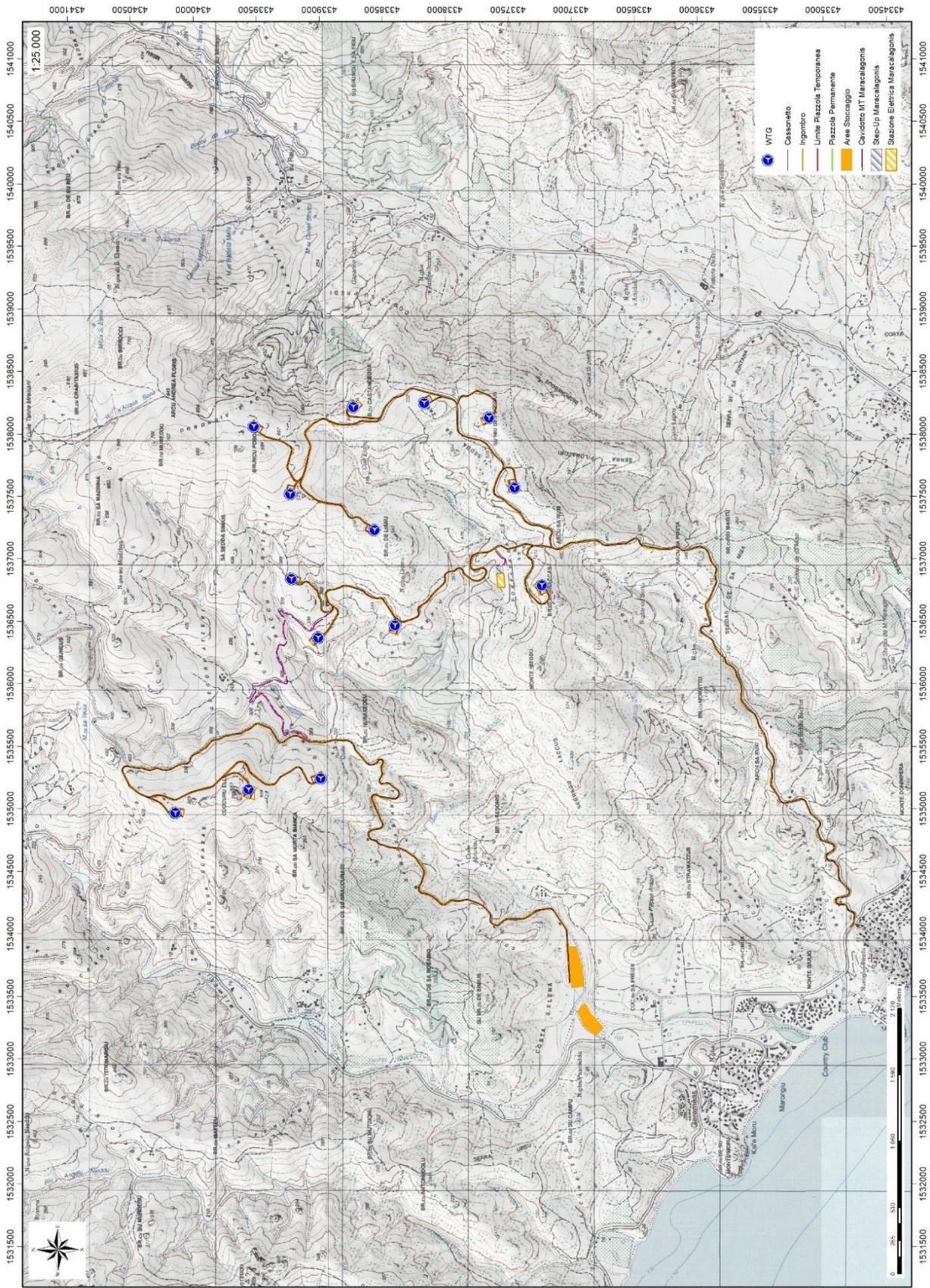


Figura 4-Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

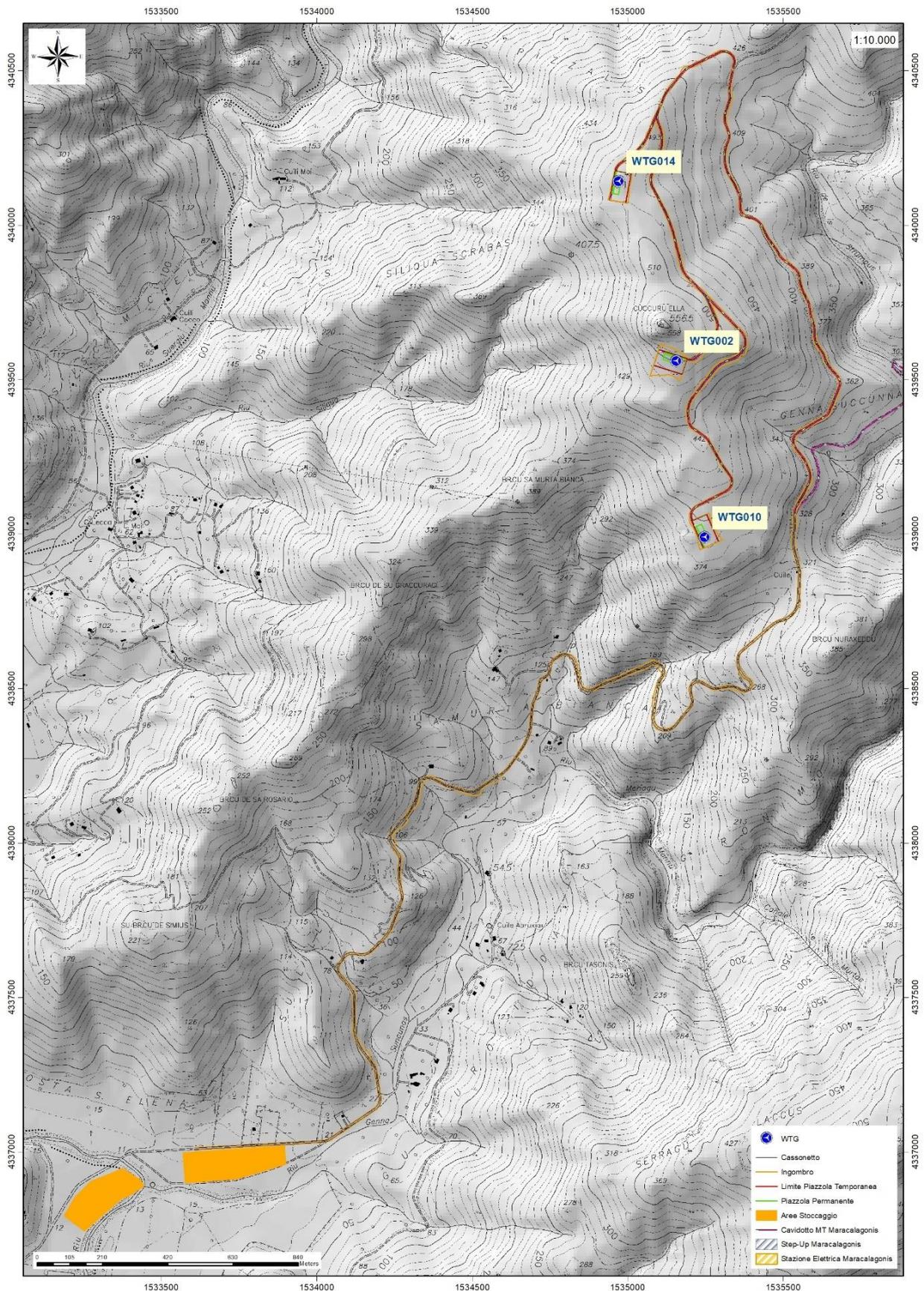


Figura 5-Inquadrimento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore OVEST

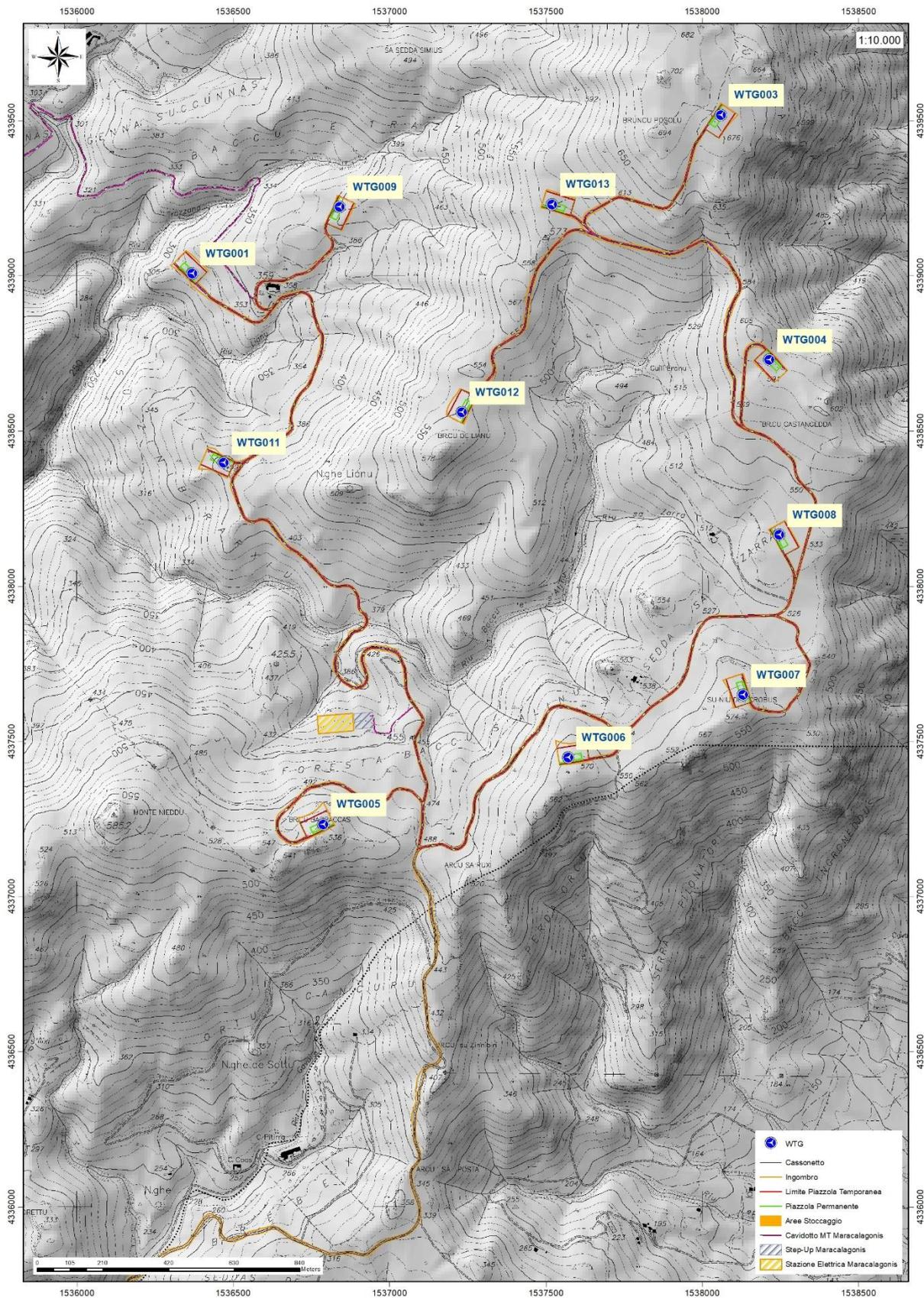


Figura 6-Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore EST

Le turbine verranno posizionate nelle sommità dei colli situati circa 5Km a NE di Geremeas. L'area del Parco eolico in progetto è delimitata da *Cuccuru Ella, Sa Sedda Simius, Bruncu Posolu, Br.cu Castangedda*, cava di pietra di *Bacci Ingroneddu, Monte Nieddu e Br.cu Sa Murta Bianca*.

## 5 Caratteristiche di progetto dell'opera

È prevista l'installazione di 14 aerogeneratori di ultima generazione ad asse orizzontale (HAWTG, Horizontal axis wind turbine generators) di potenza pari a 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 92,4 MW, denominati in ordine crescente da WTG001 a WTG014. Gli aerogeneratori saranno montati su torri tubolari di acciaio che porteranno il mozzo del rotore a un'altezza da terra di 135 metri, e l'altezza massima dal suolo di ogni macchina sarà pertanto pari a 220 metri. È inoltre prevista l'installazione di una torre anemometrica di misura che monitorerà le condizioni di vento e ambientali della zona di impianto per tutta la vita di quest'ultimo.

Aerogeneratore	CooX	CooY	CooZ
WTG001	1536368.583	4339008.329	321
WTG002	1535156.337	4339560.923	501
WTG003	1538058.740	4339519.341	678
WTG004	1538214.087	4338730.348	592
WTG005	1536787.866	4337233.403	530
WTG006	1537571.352	4337448.357	564
WTG007	1538129.925	4337650.813	564
WTG008	1538246.199	4338165.999	532
WTG009	1536840.138	4339222.730	401
WTG010	1535246.799	4338990.539	396
WTG011	1536469.533	4338399.080	407
WTG012	1537231.039	4338560.993	552
WTG013	1537520.016	4339231.078	581
WTG014	1534970.376	4340142.446	491

Gli aerogeneratori previsti sono macchine con potenza nominale pari a 6,6 MW, orientati sopravento, con controllo attivo del pitch delle pale e dello yaw della navicella. Per la progettazione di dettaglio, ai fini della valutazione dei carichi, delle dimensioni e di tutti i valori tecnici e di ingombro architettonico sono stati utilizzati gli aerogeneratori SG-170 di Siemens Gamesa. In fase realizzativa le macchine potranno però essere differenti, rimanendo nelle caratteristiche tecniche e dimensionali delle stesse.

Il rotore (rotor) del generatore è composto da tre pale ognuna di lunghezza pari a 83,33 metri. Nel complesso, il gruppo rotante ha un diametro di 170 metri, e spazza un'area pari a 22.698 metri quadrati. Il mozzo del generatore sarà collocato ad un'altezza di 135 metri (hub height), mentre l'altezza massima raggiunta da ogni generatore (tip height), inclusa l'altezza massima da terra delle pale, sarà di 220 metri.

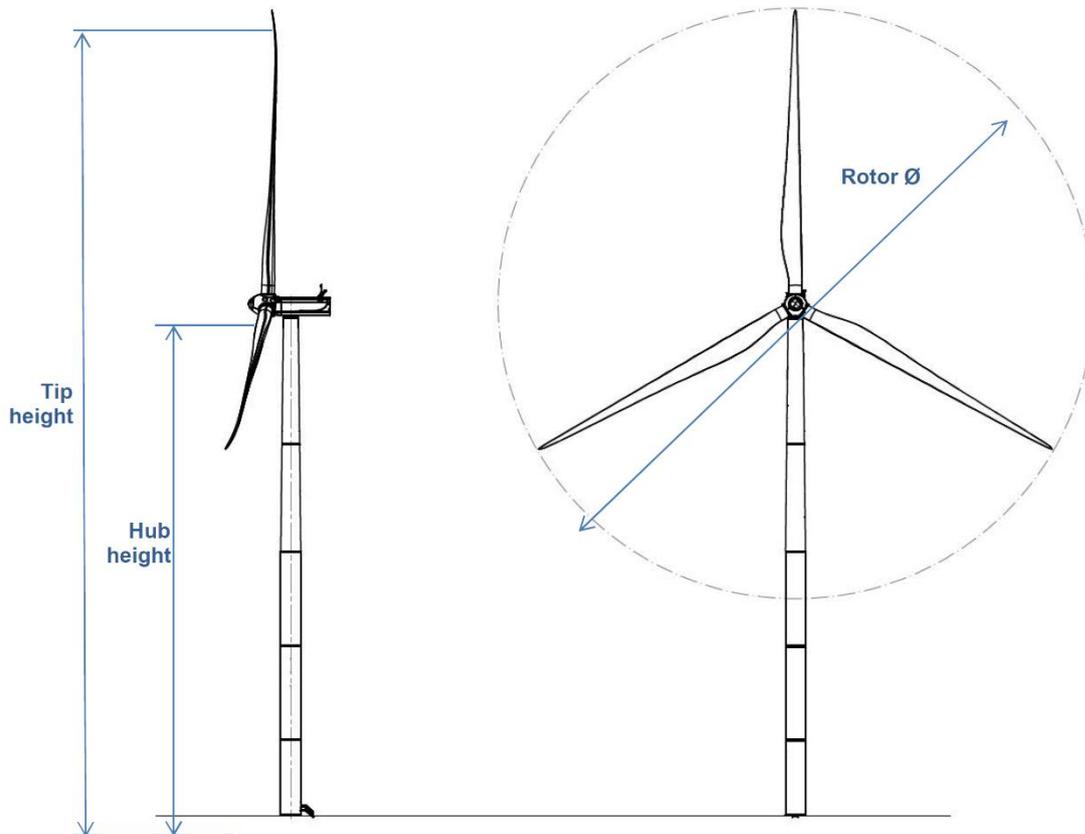


Figura 7-generatore eolico ad asse orizzontale

L'impianto verrà collegato in antenna a 150 kV, verso una futura stazione elettrica SE della RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alla RTN a 150 kV "Villasimius-Quartucciu", gestita dall'operatore Terna S.p.A. L'energia prodotta sarà convogliata tramite un cavidotto in media tensione a 30 kV interamente interrato su strada, che raggiungerà la stazione di innalzamento della tensione di competenza del proponente, come da elaborati prodotti (rif. Elaborati WIND003.ELB010a; WIND003.ELB011b). Nella Sottostazione Elettrica Utente (SSE), l'energia prodotta dall'impianto ad una tensione di 30 kV, viene portata ad una tensione di 150 kV per poi convogliarla nella Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale (RTN) gestita da Terna S.p.A.

Le strade di accesso al parco sono state previste secondo le specifiche di curva, inclinazione longitudinale e pendenza previste dal produttore delle componenti del generatore eolico, così da permettere ai mezzi pesanti che opereranno durante la fase di cantiere di manovrare e percorrere la viabilità. Un trasportatore specializzato nella movimentazione e nella posa di strutture eoliche ha supportato queste valutazioni provvedendo a una fattibilità per le soluzioni di viabilità e opere civili previste in progetto.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 6 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia di distanza. I gradienti longitudinali non dovranno superare il 20% sui rettilinei e il 15% in prossimità delle curve. Le curve stesse dovranno avere un raggio di curvatura interna non inferiore a 30 metri.

Le componenti con il maggiore ingombro saranno stoccati nel porto commerciale di Cagliari e successivamente trasportati verso i luoghi d'intervento e stoccati temporaneamente in due aree di stoccaggio. Detti componenti sono le navicelle dei generatori, i tronchi delle torri di sostegno e le pale.

La viabilità di arrivo prevista è composta da strade statali, provinciali e comunali. La viabilità esistente è per lo più in condizioni idonee: il trasporto delle pale prevede l'utilizzo esclusivo del Blade Lifter.

**Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.**

## 6 Inquadramento geologico

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
- Definizione del modello geologico di sito;

### 6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi composti, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus, settore di interesse della presente relazione.

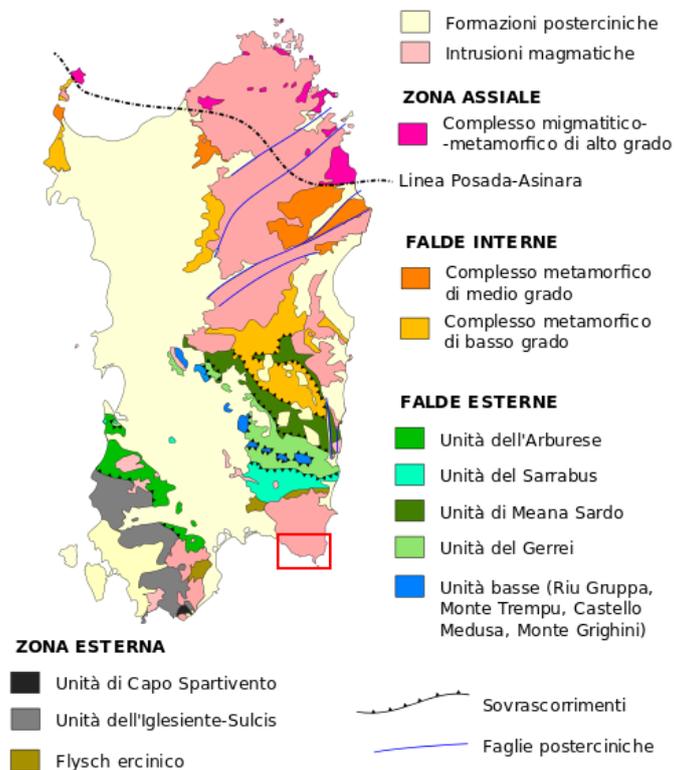


Figura 8-Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Tale complesso è costituito da prodotti intrusivi ed effusivi che si sono messi in posto tra il Carbonifero superiore e il Permiano, contemporaneamente al sollevamento, al collasso e allo spianamento della catena ercinica. Tra i granitoidi nell'aria di interesse affiorano litologie appartenenti all' *Unità Intrusiva di Geremeas (GEA)* e all'*Unità Intrusiva di S.Gregorio (GGO)*.

La prima è costituita da granodioriti da inequigranulari a fortemente inequigranulari a grana grossa, con megacristalli di K-feldspato bianchi o rosati che vanno dai 2-3cm ai 6-7cm, e da granodioriti equigranulari mesocrate a grana media grossa.

La seconda è costituita sia da monzograniti biotici a struttura equigranulare e tessitura isotropa, sia da monzograniti biotici a struttura inequigranulare in genere microporfirica.

Nei corpi granitoidi sono frequenti filoni basici e filoni aplitici, che presentano direzioni comprese fra nord ovest - sud est e nord - sud. Tali masse granitiche hanno indotto sulle formazioni che hanno intruso un'aureola metamorfica più o meno estesa.

Sono poi presenti talvolta depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti.

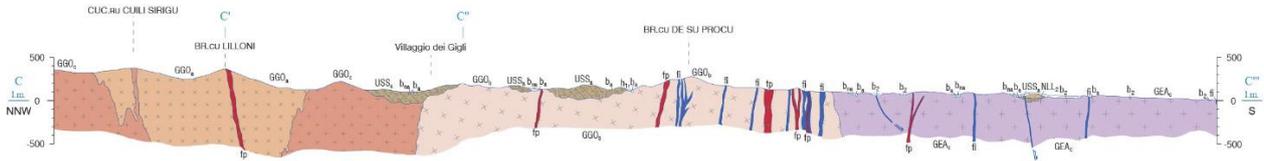


Figura 9-Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (da Foglio CARG 557)

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

#### DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

**ba-** Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE

**bna-** Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

**PVM2a - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME).** Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

#### CORTEO FILONIANO

**fq-** Filoni idrotermali di Quarzo, spesso mineralizzati a Barite

**fp-** Filoni ed ammassi acidi, porfidi riolitici e dacitici

**fa-** Filoni acidi: aplo-pegmatiti

**fi-** Filoni intermedio-basici da andesitici a basaltici indistinti CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

#### GRANITOIDI E PLUTONITI BASICHE

##### UNITA' INTRUSIVA DI SAN GREGORIO

**GGOc - Micro-sienograniti** a biotite a carattere leucocrato, a struttura microporfirica, talora microgranulare a grana fine.

**GGOb Leuco-sienograniti biotitici** a grana medio-grossa, struttura equigranulare

**GGOa Monzograniti biotitici** a grana media, struttura equigranulare, localmente microporfirica. CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

##### UNITA' INTRUSIVA DI GEREMEAS

**GEAc** Granodioriti biotitico-anfiboliche con accessori allanite e titanite, a grana grossa, struttura inequigranulare localmente faneroporfirica per feldspati pluricetimetrici.

**GEAb** Masse gabbriche, gabbri anfibolici e pirossenico anfibolici grigio verdastri a struttura equigranulare.

**GGOa** Episeniti a grana medio fine, struttura inequigranulare per cristalli di plagioclasio (albite) di taglia massima di 1cm, solitamente molto alterati.

CARBONIFERO SUP.-PERMIANO

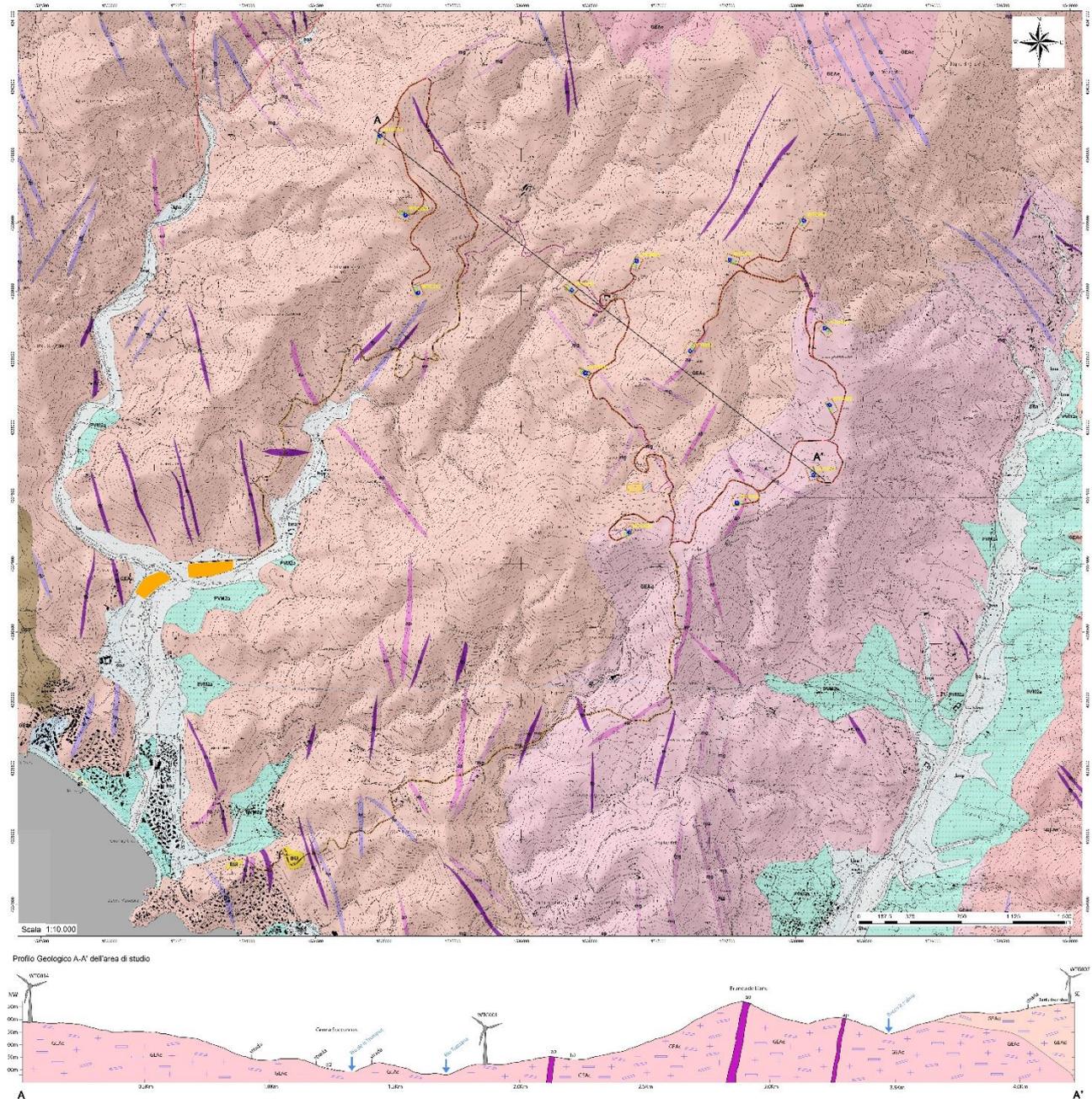


Figura 10 - Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

**Legenda**

-  WTG
-  Cassonetto
-  Ingombro
-  Piazzola Permanente
-  Aree Stoccaggio
-  Cavidotto MT Maracalagonis
-  Step-Up Maracalagonis
-  Stazione Elettrica Maracalagonis
-  <all other values>

**simbDesc**

-  Faglia Certa
-  Faglia Diretta Certa
-  Faglia Diretta Presunta
-  Faglia Presunta

**GEOLOGIA\_Clip8**

**UNITA**

-  Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
-  Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. ?PLEISTOCENE SUP. - ?OLOCENE
-  Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE
-  Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE
-  Litofacies nel Subsystema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
-  Litofacies nel Subsystema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.
-  FORMAZIONE DI USSANA. Conglomerati e breccie, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base.
-  Facies Bruncu Su Casteddu (UNITÀ INTRUSIVA DI GEREMEAS). Leucograniti biotitici biancastri, a grana medio-fine, equigranulari, tessitura isotropa. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Facies Is Mortorius (UNITÀ INTRUSIVA DI GEREMEAS). Granodioriti biotitico-anfiboliche, bianco rosate, a grana grossa, inequigranulari, localmente porfiriche per megacristalli di Kfs pluricentimetrici, localmente con tessitura orientata.
-  Facies Nicola Bove (UNITÀ INTRUSIVA DI GEREMEAS). Leucograniti biotitici rosati, a grana medio-grossa, equigranulari, localmente porfirici per Qtz globulare e Kfs rosato di taglia centimetrica, tessitura isotropa. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Facies nell'UNITÀ INTRUSIVA DI GEREMEAS. Granodioriti monzogranitiche, a grana media, inequigranulari per fenocristalli di Kfs pluricentimetrici. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Filoni basaltici a serialità transizionale, di composizione basaltica olivinica e trachibasaltica, a struttura porfirica per fenocristalli di Pl, Oi, Cpx, tessitura intersertale-otfita. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Filoni e ammassi apfiliti. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Filoni e ammassi di micrograniti. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da africa e porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
-  UNITÀ INTRUSIVA DI BURCEI. Gabbro-tonaliti (da quarzo-gabbri a tonaliti) grigio-verdi, a grana media, talora inequigranulari per fenocristalli di Pl, Opx, Bt; tessitura isotropa. Locali granodioriti grigio-chiare, a grana media.

Figura 11 - Legenda della Carta Geologica



Figura 12 - GEOAC inalterato in grigio e alterato color nocciola.



Figura 13-Filone basico nel dettaglio.

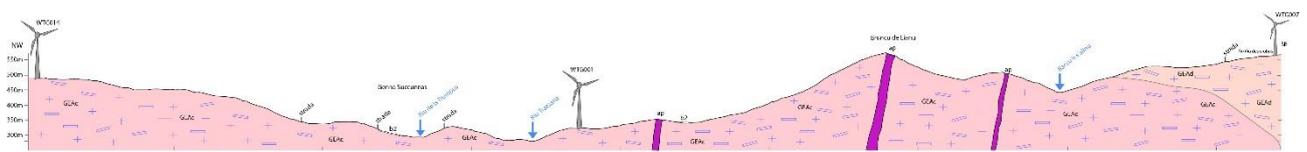


Figura 14-Sezione geologica dell'area di studio creata in seguito ai rilievi di campo

## 7 Caratteri strutturali generali

Il plutone granitico del Sarrabus, in seguito al suo raffreddamento, ha subito gli effetti della tettonica Cenozoica, i principali sono un sistema di faglie con orientazione prevalente NS, NW-SE e SW-NE.

Nell'area di studio sono poi presenti due principali sistemi di fratturazione, le fratture da raffreddamento e le fratture tettoniche secondarie:

- Fratture da raffreddamento. Sono delle fratture primarie legate ai processi di raffreddamento dei graniti ed è possibile distinguerli dalla presenza di filoni, questi hanno orientazione principale NS, e in maniera meno frequente NW-SE, NE-SW.
- Fratture tettoniche secondarie. L'origine delle fratture tettoniche secondarie è posteriore alla messa in posto dei plutoni granitici ed è probabilmente legata alla tettonica alpina; non è da escludere, comunque, la possibilità che alcune direzioni di fratturazione siano state già attive durante le fasi tardive dell'orogenesi ercinica e, successivamente, riutilizzate durante la tettonica alpina, nell'area di studio tendono infatti ad avere la medesima orientazione delle fratture da raffreddamento sopra citate alle quali però si associa un sistema meno marcato con orientazione EW.

Queste strutture hanno probabilmente condizionato, nel Plio-Pleistocene, la sovra escavazione delle valli.

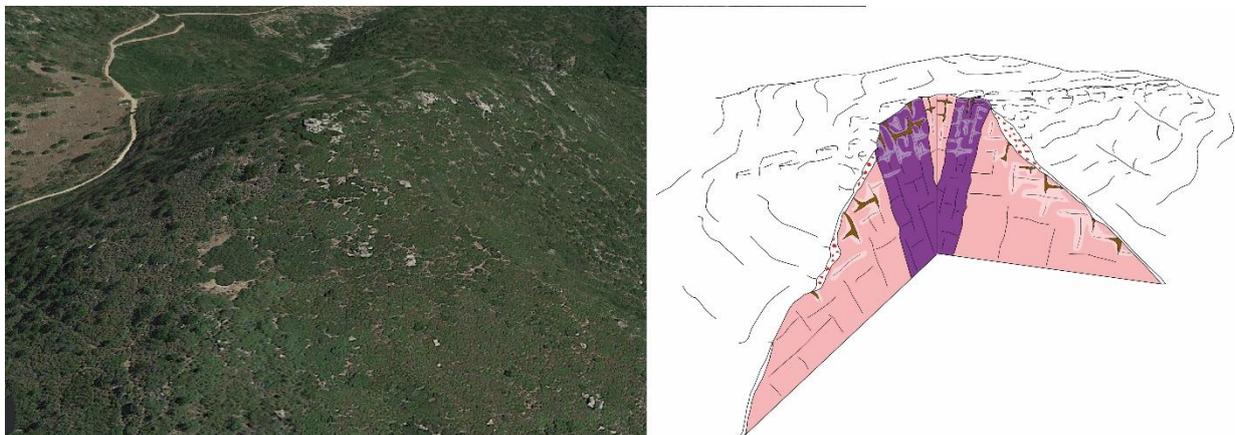


Figura 15-Bloccodiagramma illustrativo delle condizioni geostrutturali dell'ammasso roccioso



Figura 16-Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Filone basico)

## 8 Inquadramento geomorfologico

L'evoluzione geomorfologica dell'area di studio è influenzata dalle caratteristiche del substrato litoide, costituito da rocce del complesso intrusivo e filoniano. I caratteri strutturali hanno svolto un ruolo importante nel modellamento dell'area legato all'approfondimento delle valli lungo le faglie e le fratture tettoniche principali. La mancanza di sedimenti più antichi attribuibili al Pleistocene medio impedisce di valutare le dinamiche quaternarie di questi elementi e la presenza di eventuali riattivazioni anche locali. L'area in esame è caratterizzata da una morfologia irregolare, in cui i processi di alterazione sulle rocce intrusive e successivamente la rielaborazione da parte delle acque superficiali, giocano un ruolo predominante.



Figura 17 - Monte Nieddu 586 m s.l.m.

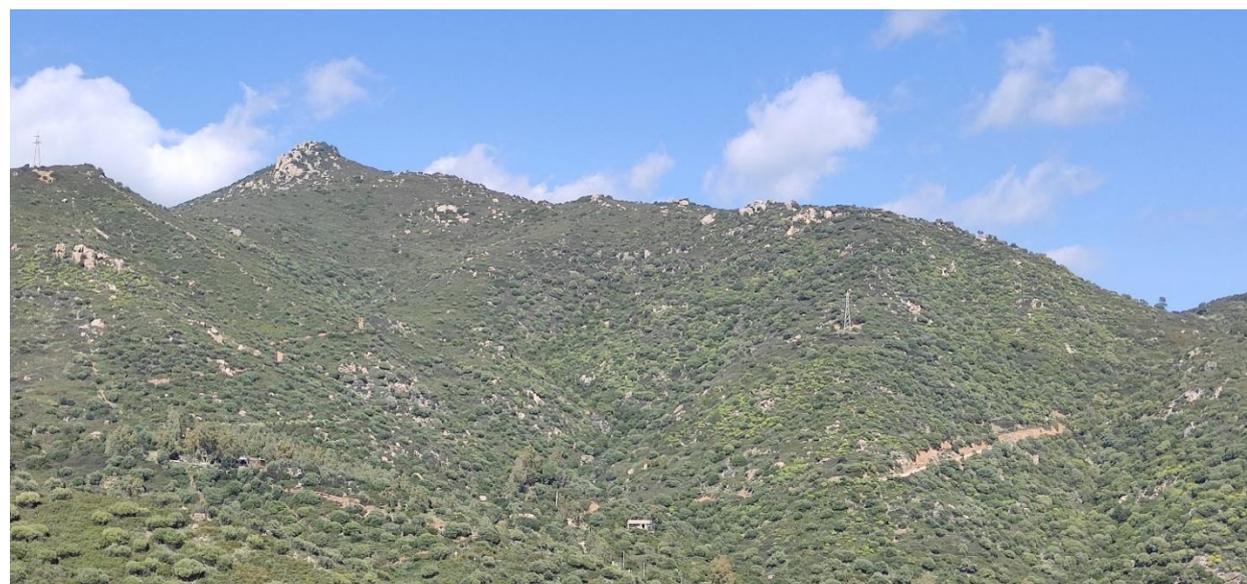


Figura 18 - Cuccuru Ella 558 m s.l.m.

Il paesaggio è caratterizzato da morfologia montuosa, tra i rilievi più importanti ricordiamo: Bruncu Posulu 694 m s.l.m.; Bruncu Castangiedda 602 m s.l.m.; M. Nieddu 586 m s.l.m.; Su Niu Des Crobus 574 m s.l.m.; Cuccuru Ella 558 m s.l.m.

Il litotipo dominante è la granodiorite, sulla quale i processi di alterazione fisico-chimica e la successivamente rielaborazione da parte delle acque dilavanti, giocano un ruolo predominante nella formazione delle macroforme tipiche dei rilievi granitici. L'erosione selettiva ha giocato un ruolo importante anche nel

modellamento subaereo dell'area dato che le valli sono spesso rettilinee ed orientate secondo i principali lineamenti tettonici. Sono inoltre estremamente diffuse tutte le morfologie connesse all'arenizzazione dei graniti ed alla successiva erosione differenziata dei blocchi da parte delle acque superficiali e del ruscellamento diffuso.



Figura 19 – Granodiorite interessata da processi di alterazione fisico-chimica.

L'area di studio è modellata prevalentemente sul complesso intrusivo del Sarrabus, nel quale prevalgono le dinamiche erosive che generano le tipiche forme aspre e rupestri comuni nel paesaggio sui litotipi granitoidi. Sono particolarmente diffuse forme quali inselberg o strutture domiformi con blocchi isolati e monoliti tor variamente scolpiti e modellati dagli agenti esogeni. Sono diffuse tutte le microforme ricorrenti quali tafoni, "nidi d'ape", vacuoli e cavità di varie dimensione, dovute principalmente all'idrolisi, processo di degradazione meteorica per il quale i silicati, componenti essenziali del granito, ed in particolare i feldspati e i minerali ferromagnesiaci, aggrediti dalle acque di precipitazione leggermente acidule per la presenza dell'anidride carbonica dell'atmosfera, si decompongono, con desquamazione ed esfoliazione sferoidale (vedi figura) di superfici compatte, il che può comportare, per erosione selettiva, l'approfondimento e l'allargamento delle

discontinuità, costituite da lesioni e fratture di origine meccanica della roccia, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche.



Figura 20-Esfoliazione sferoidale nei pressi di GEAc-2

Il processo dell'idrolisi dei silicati è massimo in condizioni di clima caldo-umido. La deflazione eolica può nel tempo rimuovere le parti rocciose distaccate, determinando nel blocco ancora inalterato la formazione di cavità tipiche, note come tafoni. Numerose sono le torri ed i campi di blocchi connessi con il crollo di prismi di roccia dai quali è stata precedentemente allontanata la frazione alterata.

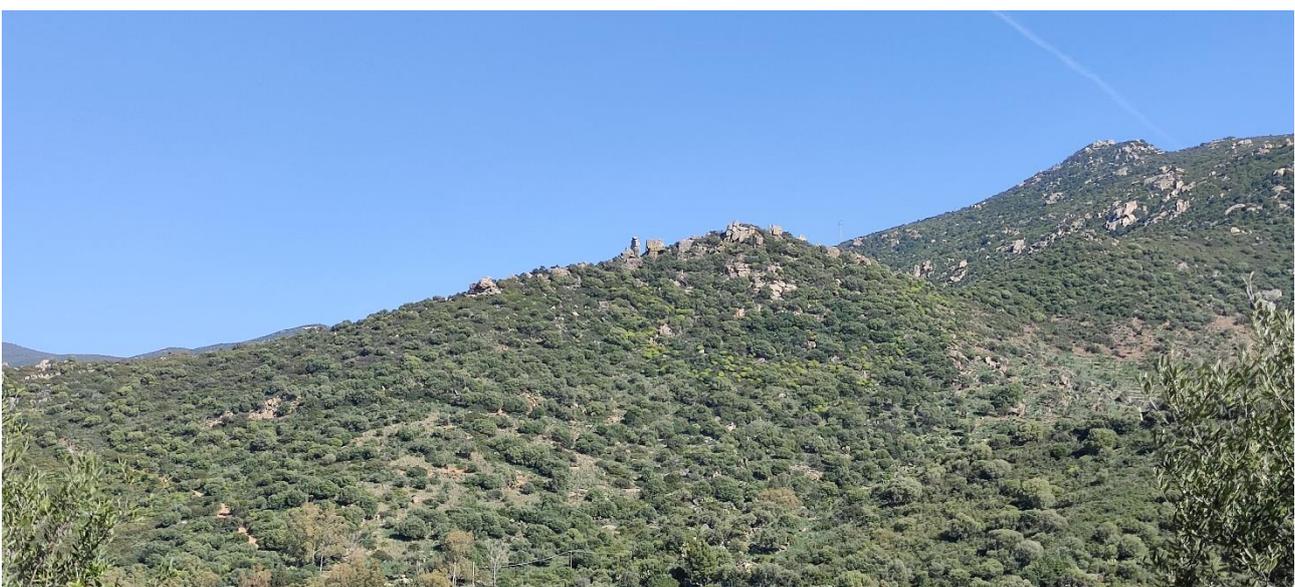


Figura 21 - Morfologie a Tor e Inselberg.

L'assetto strutturale dell'area è caratterizzato dalla sovrapposizione di complessi sistemi di lineazioni tettoniche (faglie e fratture), che spesso costituiscono vie preferenziali di incanalamento e/o infiltrazione delle acque superficiali.



Figura 22 – Tipica forma di alterazione a Tafone con vacuoli a nidi d'ape.



Figura 23-Vaschetta di corrosione, l'accumularsi di materia organica favorisce l'attività di microrganismi che porta ad un aumento dell'acidità dell'acqua stagnante favorendo quindi il fenomeno dell'idrolisi.

Le numerose incisioni che solcano i versanti si presentano incassate, spesso colmate, nei tratti meno acclivi, da scariche detritiche riconducibili all'azione dei processi gravitativi. A scala locale si osservano alcune valli più o meno profonde dal profilo simmetrico marcatamente a V, con frequenti meandri incassati, segno di un

recente ringiovanimento con tendenza all'approfondimento degli alvei. I depositi alluvionali presentano spessori molto modesti e relegati nel fondo valle spesso costituiti da blocchi di grosse dimensioni che indicano trasporti di massa considerevoli. I corsi d'acqua presentano un regime esclusivamente torrentizio e sono caratterizzati da scarsa permeabilità del substrato, ridotta sezione idraulica ed elevata pendenza media delle aste.

Per quanto riguarda le caratteristiche geomorfologiche dei fenomeni franosi l'area di studio è caratterizzata da processi gravitativi legati a processi di smantellamento delle rocce granitoidi; i processi principali sono dati da frane di crollo per scivolamento e ribaltamento di blocchi, crollo di torrioni e prismi accompagnati da più frequenti rilasci detritici formati da piccoli blocchi in matrice sabbioso-ghiaiosa. Questi ultimi si accumulano entro i compluvi alla base delle pareti rocciose e alla base dei versanti, formando ampie pietraie soggette a locale rimobilizzazione secondaria, in corrispondenza di eventi pluviometrici intensi. I crolli di grosse dimensioni, sono da considerarsi i più pericolosi, la notevole massa con la morfologia acclive dei versanti concorre ad incrementare considerevolmente l'energia potenziale associabile a ciascun blocco e di conseguenza l'energia cinetica dissipabile in fase di crollo e/o rotolamento, con zone di arresto generalmente ubicate nei compluvi.



Figura 24 - Blocco in equilibrio precario con giacitura instabile all'apice di un Tor.

Le frane di crollo attive si concentrano soprattutto alla base delle pareti e dei versanti (versanti occidentali di M. Nieddu e di Currucu Ella, e versanti sud orientali Su Niu des Crobus); sono frequenti anche scariche di detrito che colmano i compluvi costituendo falde di detrito potenzialmente rimobilizzabili in colate durante

gli eventi pluviometrici maggiori. Sull'intero versante, si ritrovano vaste aree punteggiate di blocchi isolati, in parte derivanti dai crolli descritti in precedenza, in parte da distacchi da forme residuali in roccia (piccoli Tor) che affiorano sporadicamente con elevazione modesta.



Figura 25 - Deposito di crollo alla base di un dicco basico.

## 8.2 Lineamenti geomorfologici generali

Nell'area di studio è possibile rinvenire resti di questa superficie 500m a NE della WTG013.

Le valli presentano forma a "V", le principali hanno orientazione NS, sono poi presenti vallecole secondarie sub-perpendicolari alle prime; risultano molto incise e con quasi totale assenza di depositi.

Le WTG002, WTG005, WTG006, WTG007, WTG008 saranno situate lungo le vette di una cresta che delimita la parte Sud-Orientale del Parco eolico.

La WTG012 sarà invece situata lungo una cresta poco accentuata al centro dell'area di interesse.

La WTG014 si troverà ad una quota di 470m in una sottocima di *Cuccuru Ella* mentre la WTG010 poggerà su una sella nei pressi di *Brunco Nuraxeddu*.

Le WTG003, WTG004 e WTG011 saranno situate a mezza costa tra i 350m e i 430m di quota mentre le WTG009 e WTG001 si troveranno nei pressi della valle di *Baccu'e Tramazzana*.



Figura 26-Morfologia del paesaggio.

### 8.3 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali. Pertanto la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera.

La geomorfologia di quest'area è prevalentemente interessata dall'azione geochimica e fisica che l'acqua esercitata sui graniti fratturati, la quale, assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio; le profonde valli a "V" sono poi dovute all'azione delle acque superficiali che scorrono sul basamento cristallino impermeabile

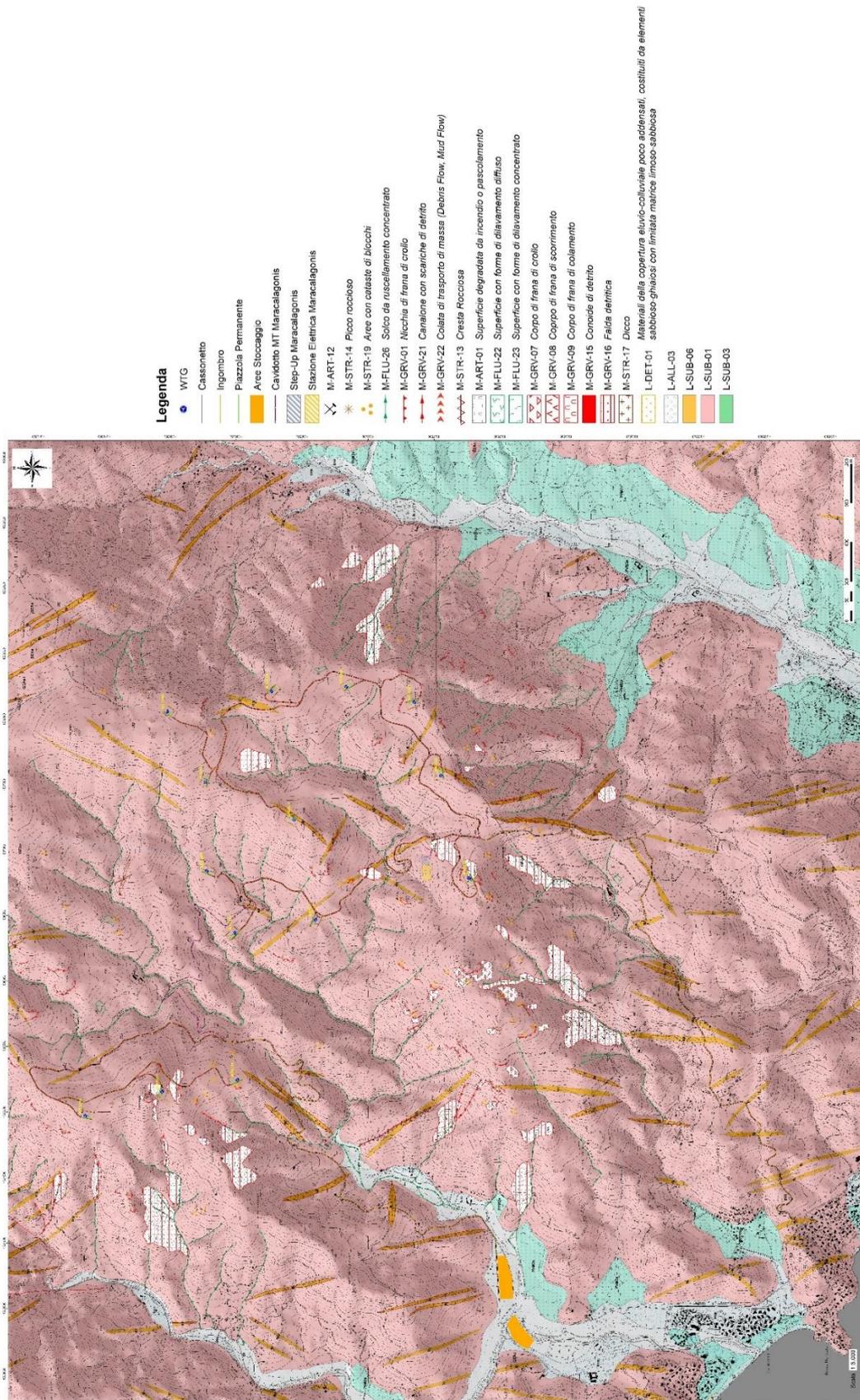


Figura 27 - Stralcio della Carta Geomorfológica dell'area di interesse

## 9 Inquadramento idrologico e idrogeologico

Il Sub\_Bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri si estende per 5960 Km<sup>2</sup>, pari al 24.8 % del territorio regionale; l'area oggetto di studio ricade nella parte sud-orientale di tale bacino. In particolare i bacini direttamente interessati dal parco eolico sono:

- Il bacino Riu Geremeas, copre una superficie di 5768907 metri quadri, tutti gli aerogeneratori meno uno (WTG007) ricadono all'interno di questo bacino.
- Il bacino Riu Solanas, copre una superficie di 3133890 metri quadri, in tale bacino ricade la WTG007, comprende la parte sud-orientale del parco eolico.



Figura 28 - Suddivisione dei bacini idrografici sardi.

## 9.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea

Il parco eolico è attraversato nella parte occidentale da Nord a Sud, dal *Riu de s trampus* e nella parte occidentale, con andamento Est Ovest, dal *Riu Trazzana*, *Riu Lianu* e *Riu Baccu'e S'alinu*. Questi ultimi tre torrenti si uniscono a Ovest con il *Riu de s trampus* andando a diventare *Riu Meriagu mannu*. La WTG009 e la WTG001 sono interessate dal passaggio del *Riu Trazzana*. La WTG003 e la WTG004 sono invece interessate dal passaggio del *Riu Baccu'e S'alinu*. In ogni caso non si parla di distanze inferiori ai 70-100 metri tra torrente e aerogeneratore. Le altre torri, trovandosi in alti morfologici, non risultano interessate dal passaggio di corsi d'acqua.

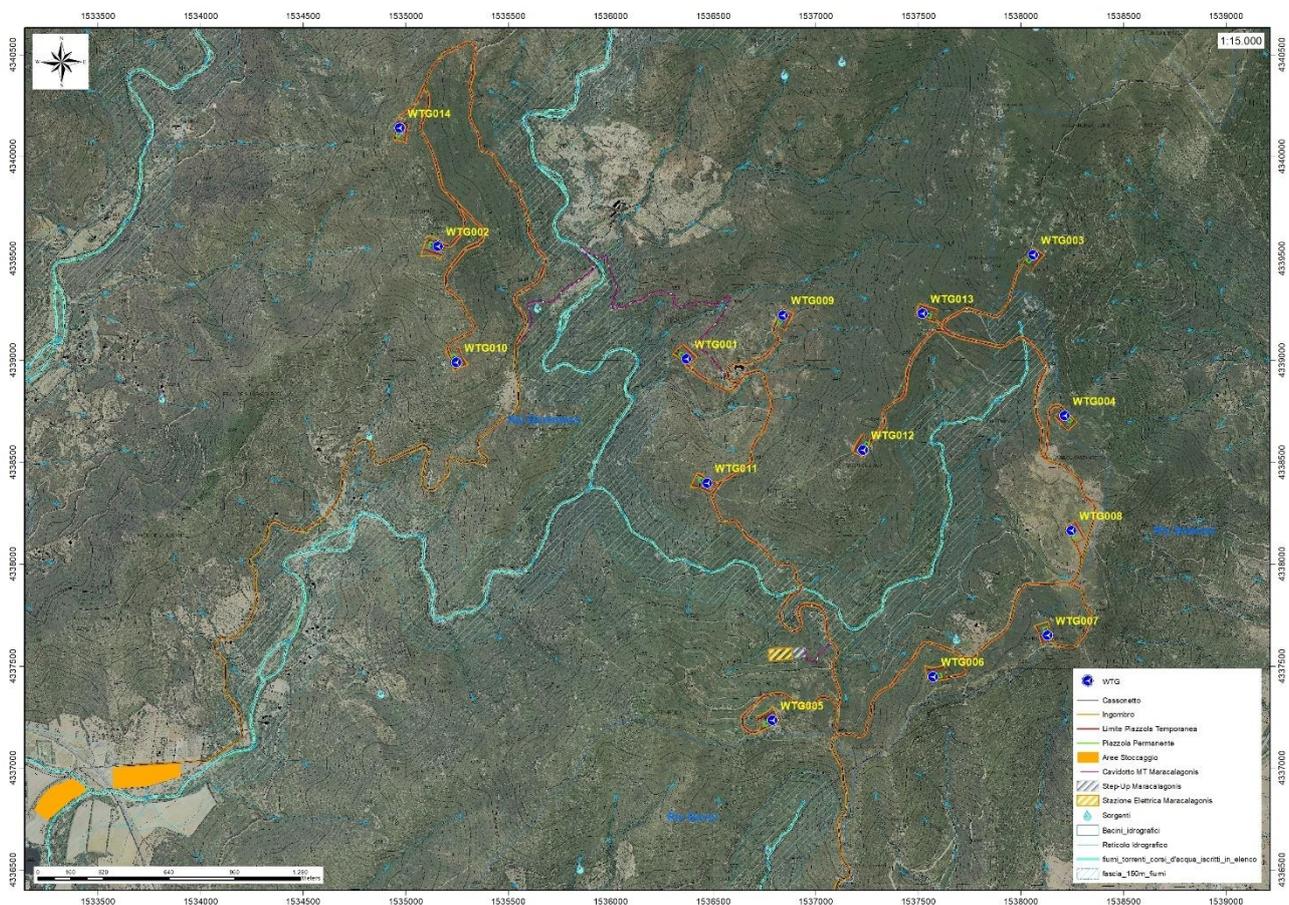


Figura 29 Inquadramento idrologico

## 9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera.

Nell'area di interesse sono presenti rocce di diversa natura, anche se principalmente sono da riferire al Paleozoico e al Quaternario. Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche, che si trovano quindi a scorrere in superficie, come è possibile vedere dallo sviluppo del reticolo idrografico superficiale; su tali litologie (granitoidi) verranno installate le turbine in progetto.

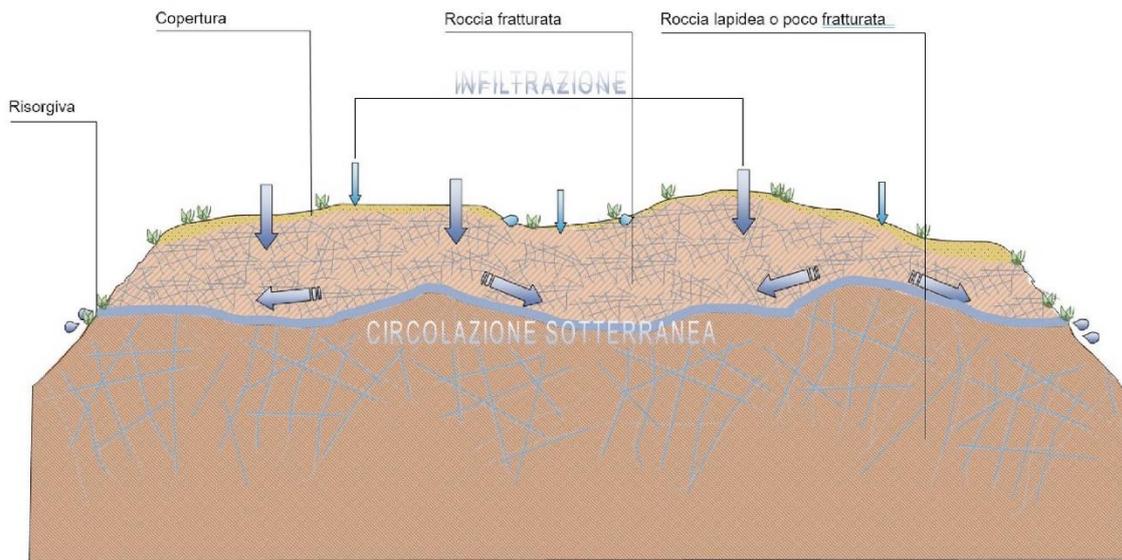


Figura 30-Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere le valli, mentre la frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infiltra nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse.

Maggiore è la presenza di fratture e la porosità del mezzo, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità. Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti che si possono sviluppare sono per l'appunto legati principalmente alla Fratturazione delle rocce granitoidi costituenti l'area di interesse per la messa in opera delle turbine.

Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in tre gruppi principali:

- Basamento Paleozoico granitoide. Copre la totalità dell'area vasta, ed è costituito da rocce granitoidi caratterizzate da una permeabilità molto bassa per fratturazione.
- I filoni tardo paleozoici, che intersecano gli ammassi granitoidi con andamento generale NS e NW-SE e NE-SW, presentano permeabilità bassa per fratturazione.
- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate nella parte meridionale dell'area di interesse raggiungendo spessori poco significativi, con una permeabilità alta per porosità. I depositi di versante essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi.

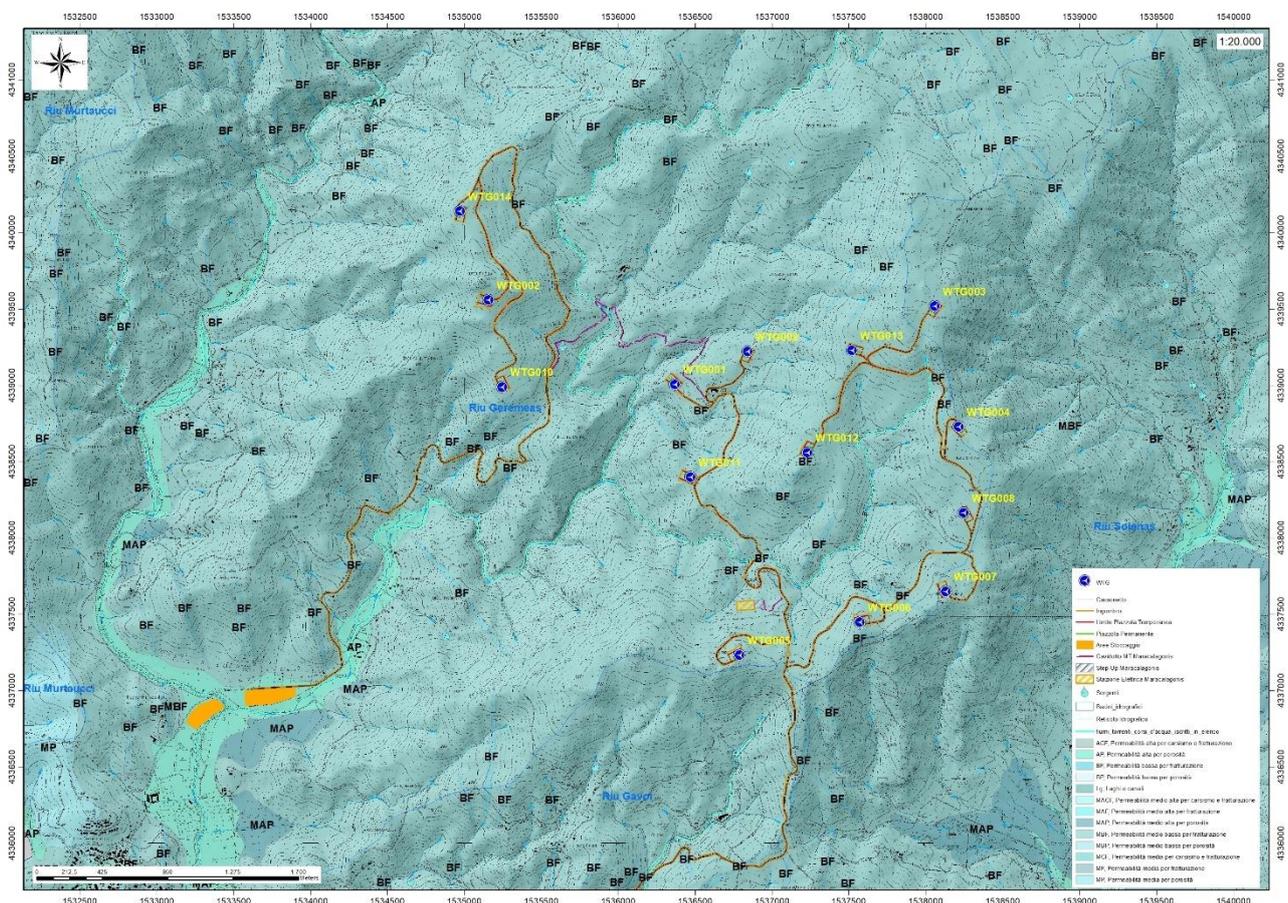


Figura 31-Stralcio della carta di permeabilità dei suoli, fonte RAS

## Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi

Ai fini della tutela della risorsa idrica si è fatta una valutazione qualitativa della vulnerabilità degli acquiferi presenti in relazione alle opere da realizzare e in relazione alle varie attività di cantiere.

Non sono presenti sorgenti alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e area di deposito temporaneo) e le opere non interferiscono con il normale deflusso delle acque sotterranee. Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

## 11 Inquadramento pedologico

Le tipologie di suolo sono legate per genesi alle caratteristiche delle formazioni geo-litologiche presenti e all'assetto idraulico di superficie nonché ai diversi aspetti morfologici, climatici e vegetazionali.

Poiché la litologia del substrato o della roccia madre ha una importanza fondamentale quale fattore nella pedogenesi dei suoli, le unità principali sono state delimitate in funzione delle formazioni geologiche prevalenti, e successivamente all'interno di esse sono state individuate unità, distinte dalla morfologia del rilievo, dall'acclività e dall'uso del suolo prevalente.



Figura 32-Suolo nei pressi dell'area di studio

L'area di progetto su cui verranno installate le turbine ricade nei paesaggi su "Rocce intrusive (graniti, granodioriti, leucograniti, ecc.) del Paleozoico e relativi depositi di versante.", cui sono associati suoli dell'unità C1-C2 e C3 della Carta dei Suoli della Sardegna. Le turbine (WTG001, WTG002, WTG005, WTG010, WTG009, WTG011, WTG012) ricadono nell'unità C1, ovvero "**Roccia affiorante, suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso franchi a franco sabbiosi, permeabili, acidi, parzialmente desaturati**". Le turbine WTG006, WTG007, WTG008, WTG013, WTG014 ricadono nell'unità C2, ossia "**Profili A-C, A-Bw-C, roccia affiorante e subordinatamente suoli a profilo A-Bt-C, da poco a**

*mediamente profondi, da sabbioso franchi a franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati". Le turbine WTG003 e WTG004 ricadono invece nell'unità C3, ovvero "Profili A-Bw-C, A-C, subordinatamente A-Bt-C e roccia affiorante, da poco profondi a profondi, da sabbioso franchi a franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati".*

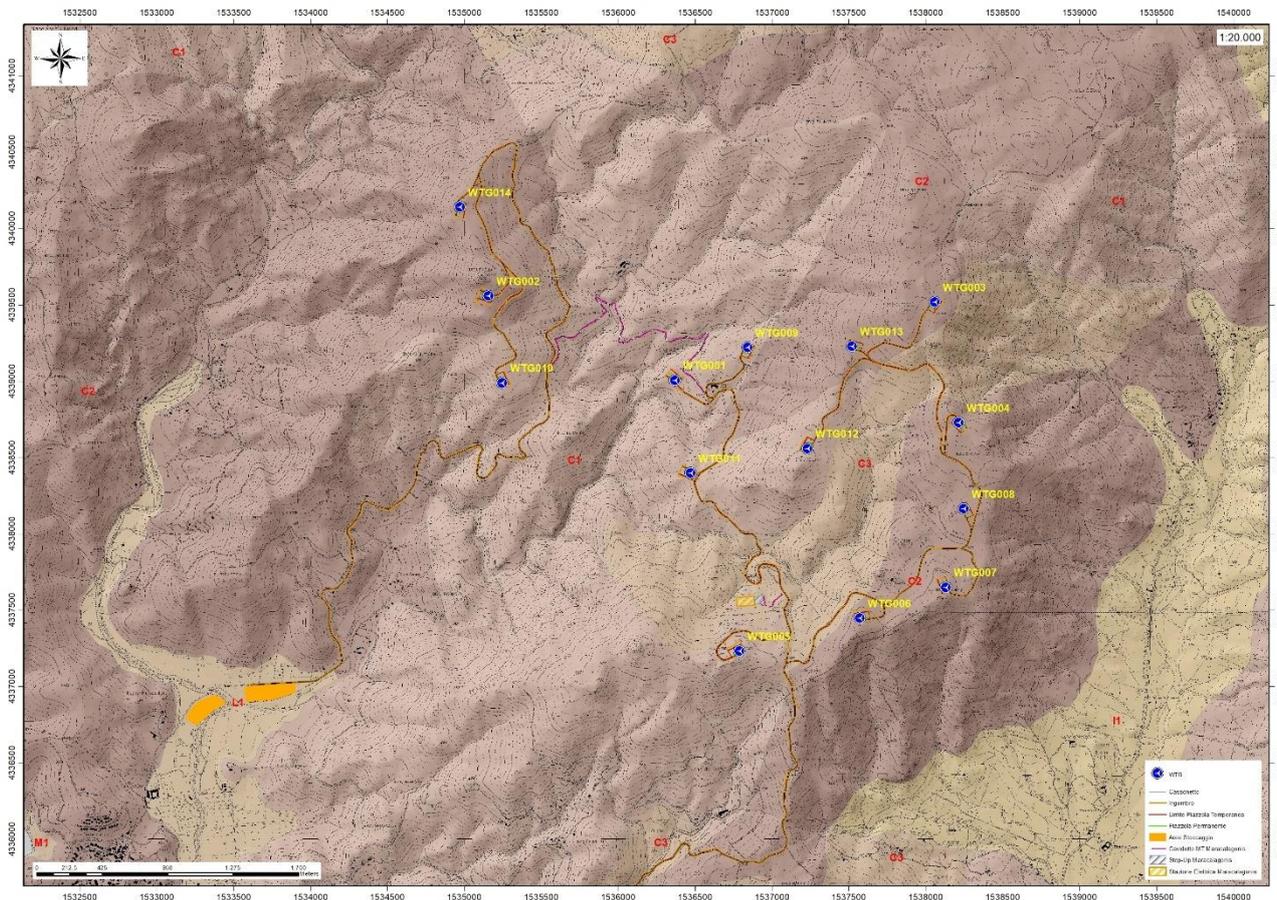


Figura 33-Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS).

## 12 Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Maracalagonis" si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade in vari livelli (Figura 34).

Intorno al lotto di interesse, nello specifico dell'area di installazione delle turbine, le destinazioni d'uso ricadono in ambiti quali Macchia Mediterranea (3231), Aree a pascolo naturale (321) e Boschi di latifoglie (3111).

In particolare, dall'analisi della cartografia esistente, si evince che:

- Ricadono nel livello "321", classificate come "Aree a pascolo naturale" le turbine WTG008 e WTG009.
- Ricadono nel livello "3231", classificate come "Macchia Mediterranea" le turbine WTG001, WTG002, WTG004, WTG006, WTG010, WTG014 e WTG015.
- Ricadono nel livello "3111", classificate come "Boschi di latifoglie" le turbine WTG003, WTG005, WTG007, WTG011, WTG012 e WTG013.

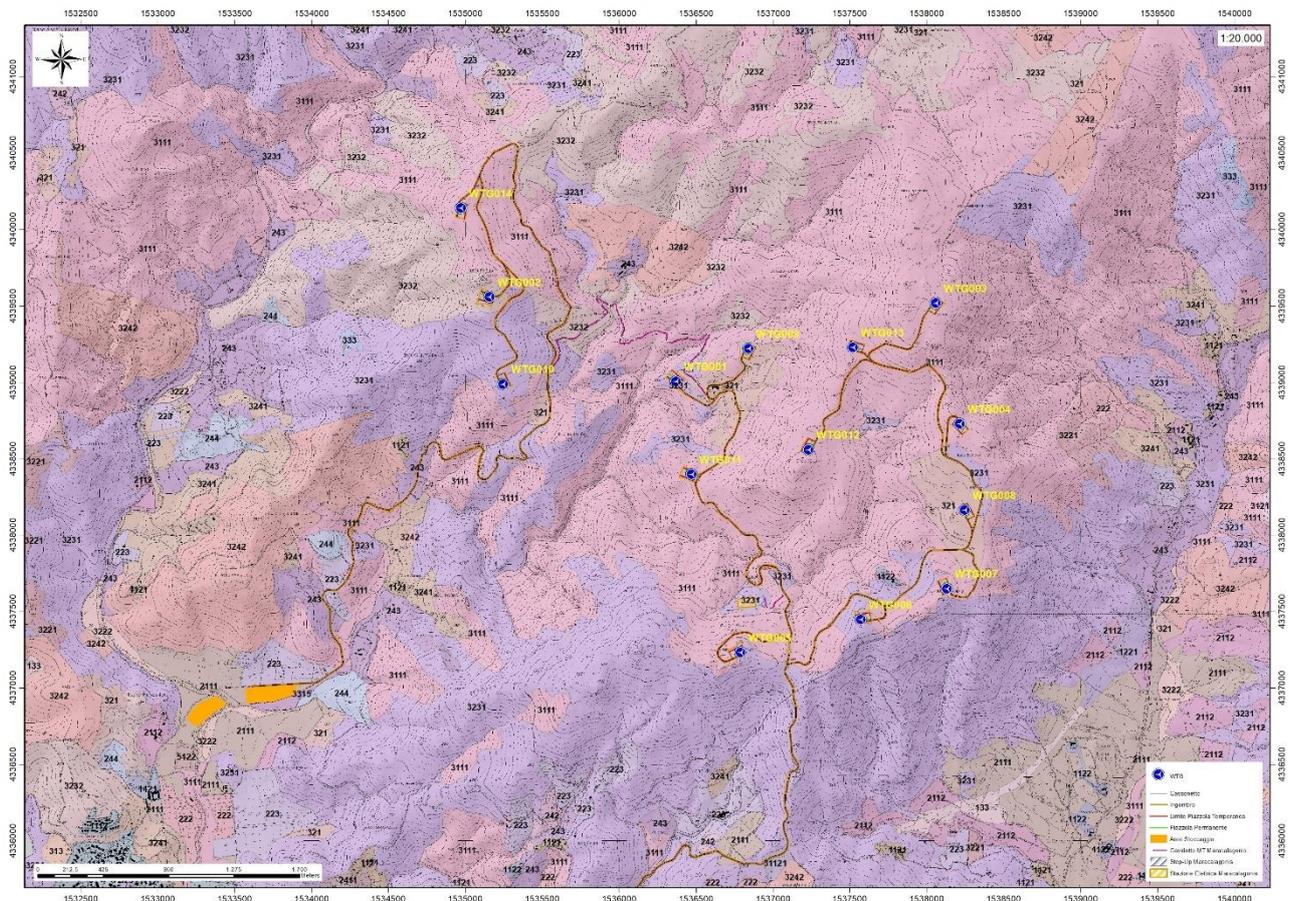


Figura 34– Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

## 13 Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

### 13.1 Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla pericolosità idrogeologica, si sintetizzano gli esiti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che 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, approvato con Delibera n. 54/33 del 30 dicembre 2004 e reso esecutivo dal Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21 febbraio 2005.

Il PAI 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 delibera CC n. 20-2018 del Comune di Maracalagonis è stata formalizzata la presa d'atto dello studio di compatibilità idraulica e geologica geotecnica dell'intero territorio comunale. Con l'adozione della citata delibera consiliare, nelle aree perimetrate dal suddetto studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica, sono efficaci, fin data di adozione della sopracitata deliberazione consiliare di presa d'atto, quali norme di salvaguardia, le disposizioni del Titolo III delle Norme di attuazione del P.A.I. che regolamentano la disciplina degli interventi nelle aree a pericolosità idrogeologica, secondo quanto disposto dagli articoli 4 e 8 cc. 8, 9, 10, 11 e 12, artt. 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 e 34 delle Norme di Attuazione del P.A.I.

Nello specifico del progetto, le turbine WTG001, WTG003, WTG004, WTG007, WTG008, WTG009, WTG010, WTG011, WTG012, WTG013 e WTG014 sono localizzate in una perimetrazione di pericolosità da frana moderata Hg1 (i fenomeni franosi potenziali presenti sono marginali); mentre le turbine WTG002, WTG005 e WTG006 sono localizzate in una perimetrazione di pericolosità da frana media Hg2.

Per quanto riguarda le piste di accesso, parte di queste ultime ricade sulla perimetrazione Hg2 e per un minimo tratto in Hg3, in corrispondenza della bretella di collegamento tra la WGT002 e la WGT010.

Le turbine sono posizionate su un pianoro sufficientemente ampio da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica del versante attiguo.

Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

**L'area di progetto è compresa nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI.**

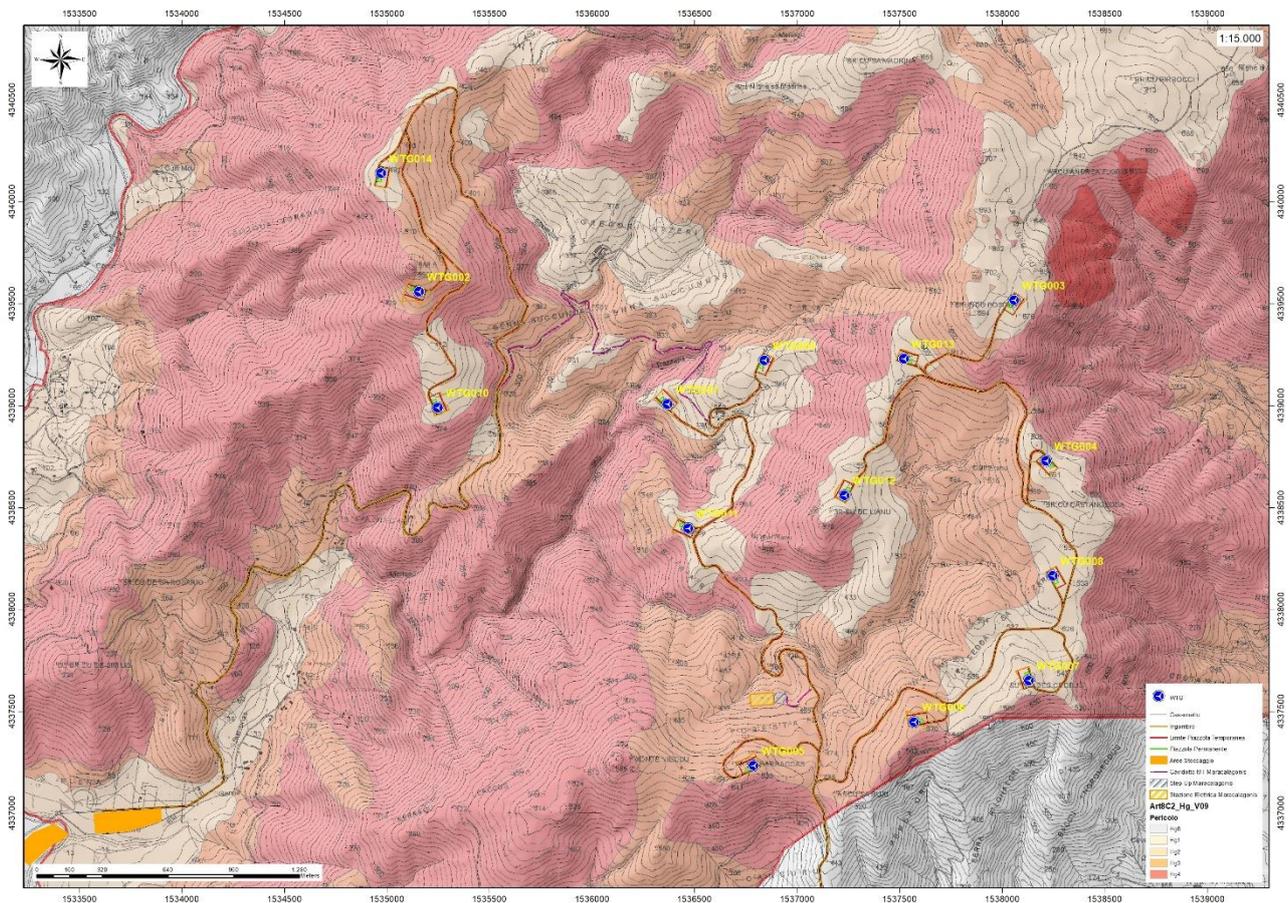


Figura 35: Pericolosità da frana PAI

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica resa disponibile dallo studio di compatibilità idraulica del PAI di Maracalagonis, risulta che nel territorio circostante l'area di interesse sono presenti diversi settori con diverso grado di pericolosità legata a fenomeni idraulici o aree interessate da fenomeni di esondazione naturali, che si trovano distanti dal sito dove verrà realizzato il progetto. L'unica eccezione seppur temporanea riguarda le aree di deposito temporaneo che in parte ricadono in Hi4. L'art. 27 delle NTA del PAI al comma 3 e 4 prevede l'ammissibilità, in materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico, delle opere provvisorie temporanee funzionali agli interventi (comma 3) a carattere provvisorio o precario indispensabili per la conduzione dei cantieri (comma 4).

**L'area di impianto non è compresa nelle perimetrazioni di pericolosità idraulica del PAI.**

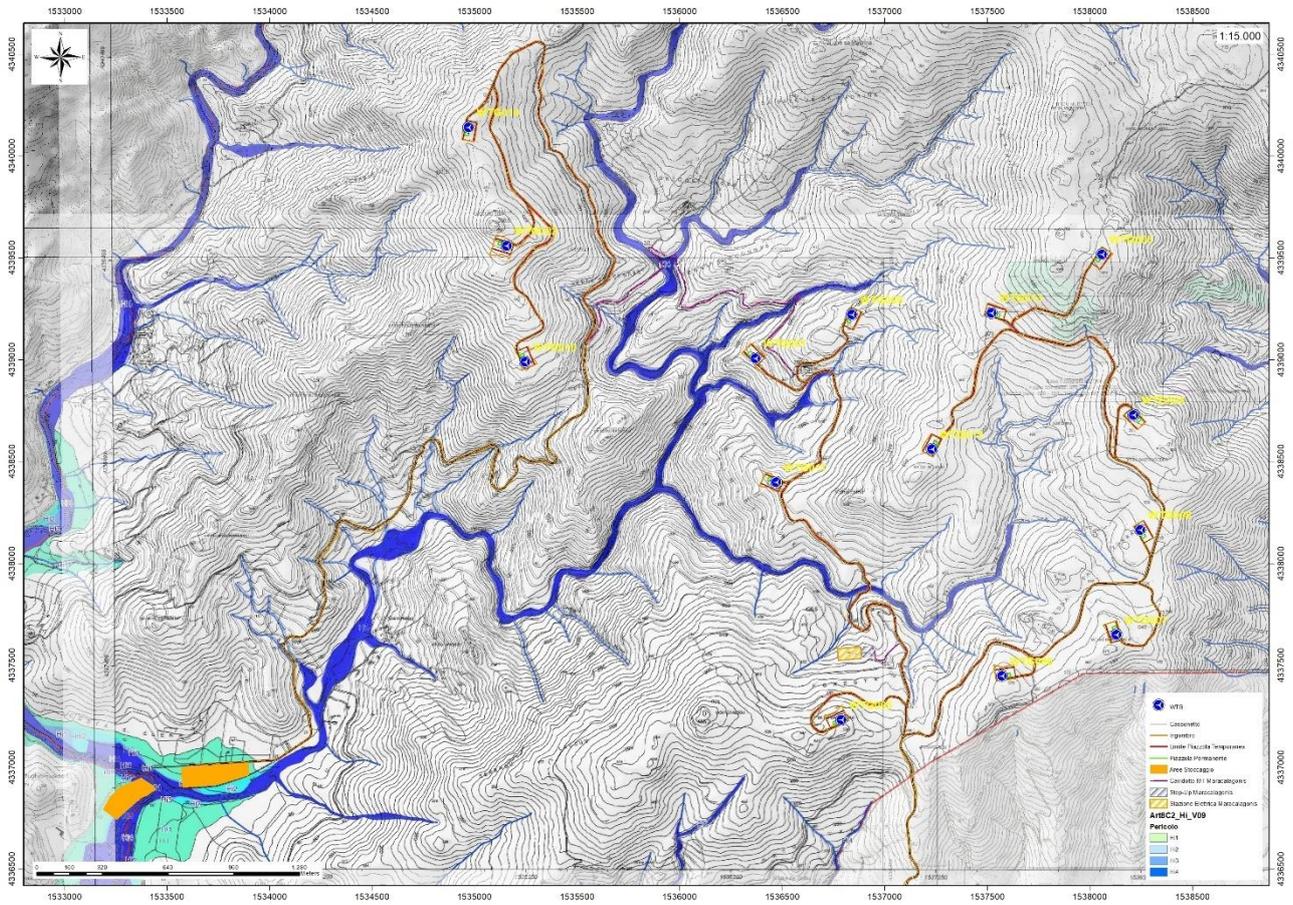


Figura 36 -Pericolosità idraulica PAI

### 13.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario non sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale dell'area di interesse.

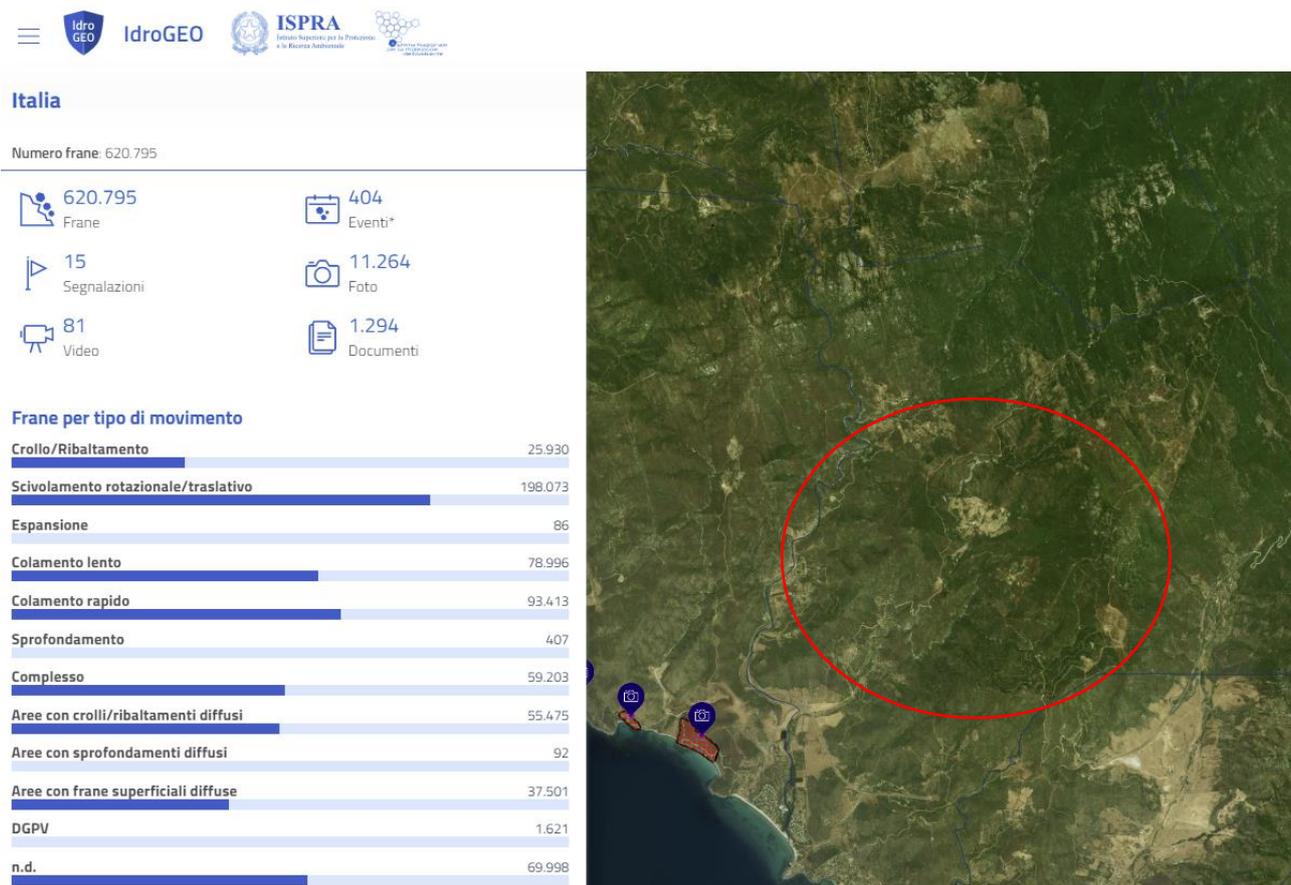


Figura 37-Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

### 13.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) definisce, per i principali corsi d'acqua della Sardegna, le aree inondabili e le misure di tutela per le fasce fluviali. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto

fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Con Delibera n. 2 del 17.12.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna, ha approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015.

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio circostante l'area di Maracalagonis è presente un'area di fascia A<sub>2</sub> individuabile nella parte orientale del territorio lungo l'alveo del Riu Solanas. La fascia descritta è comunque localizzata 1,3Km fuori dall'area oggetto di studio. Verificare poi x aree temporanee

**L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del PSFF.**

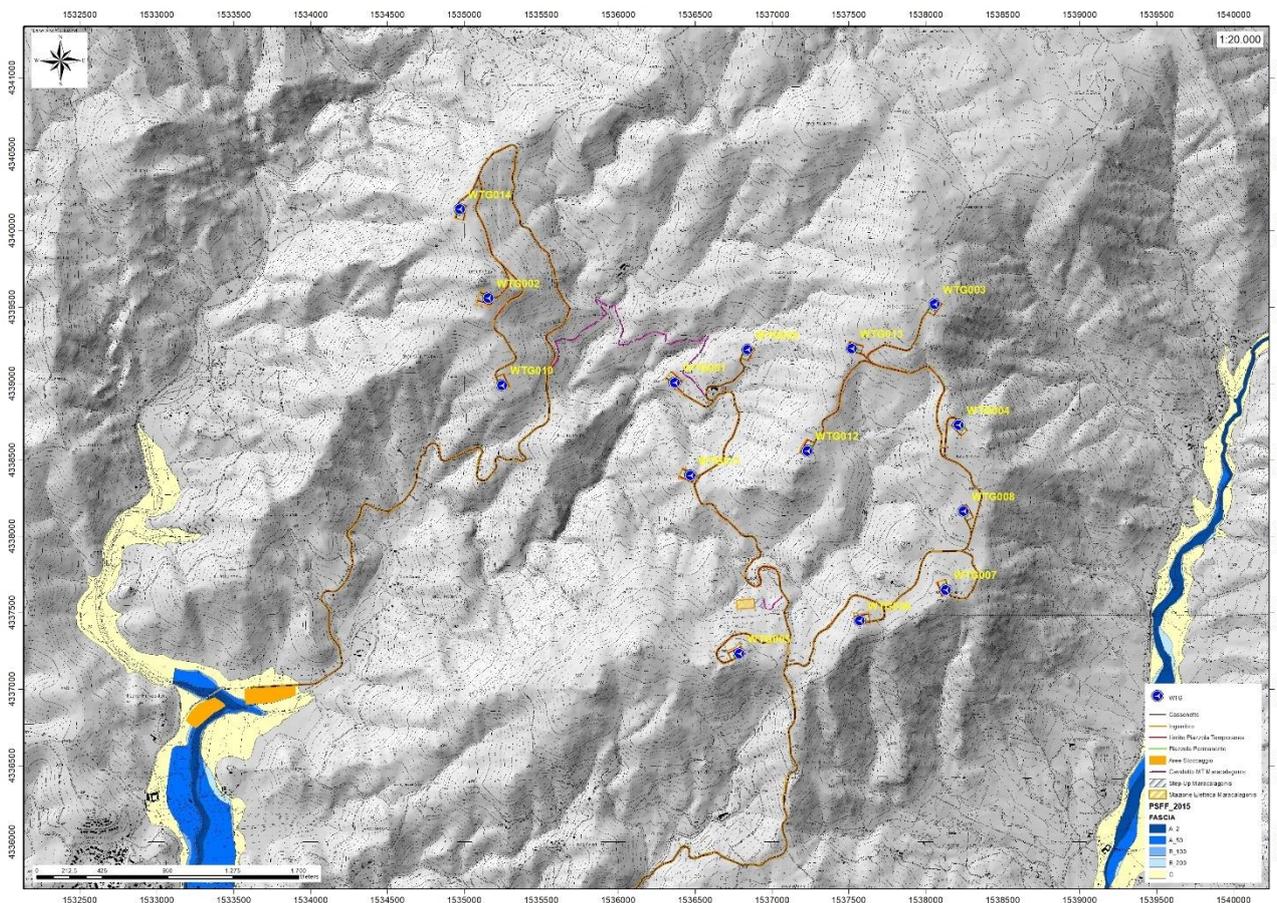


Figura 38 -Carta delle perimetrazioni PSFF

### 13.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

L'articolo 7 del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art. 64 del D.Lgs.152/2006, sia predisposto il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito indicato come PGRA).

L'obiettivo generale del PGRA è la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali. Esso coinvolge pertanto tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, con particolare riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure vengono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. Il PGRA individua strumenti operativi e di *governance* (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative.

**Il territorio in studio non risulta essere interessato da perimetrazioni per rischio alluvioni.**

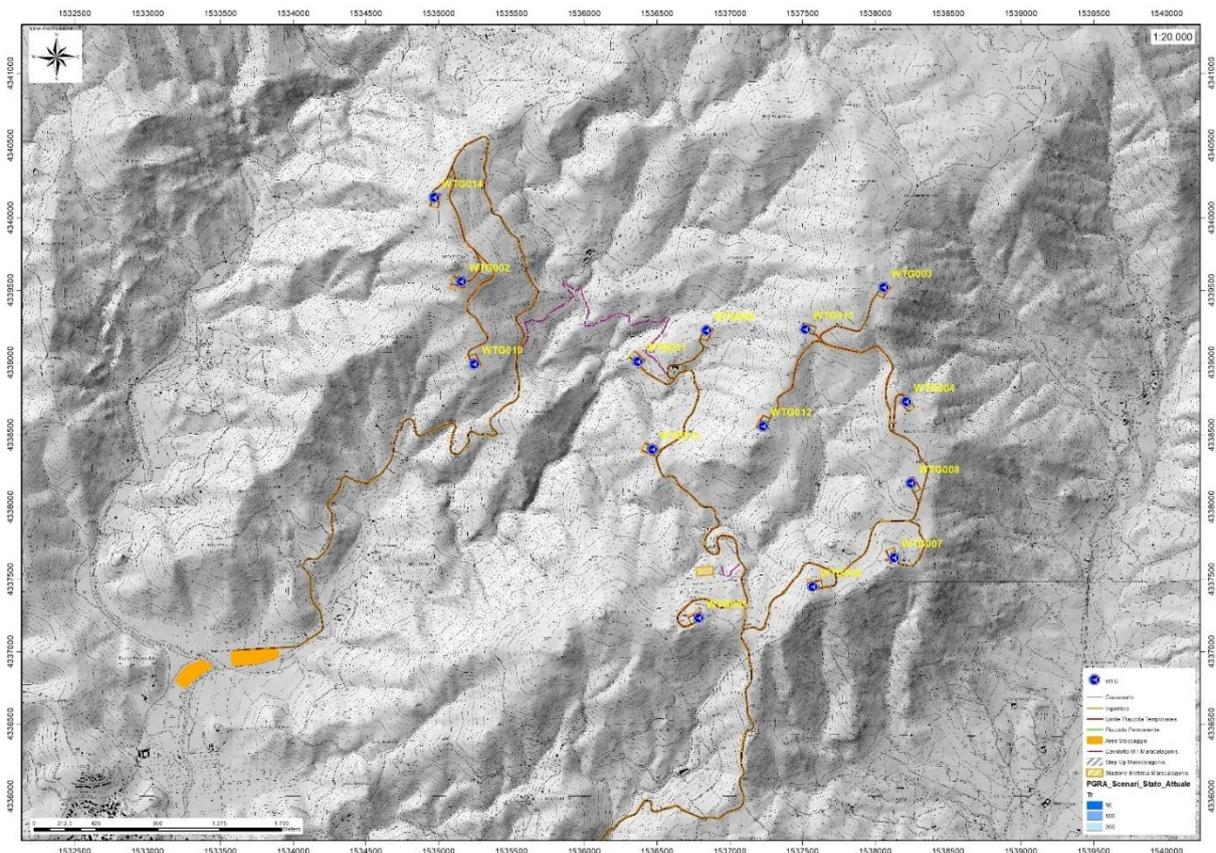


Figura 39: PGRA (Fonte RAS)

## 15 Modellazione geologica

### 15.1 Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione delle turbine si appoggia, è stato adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrutturali rilevati in sito in pareti esposte laddove disponibili.

Sulla base di tale classificazione, il cui criterio di rottura è definito dalla relazione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (mb (\sigma'_3 / \sigma_{ci}) + s)^a$$

dove:

$\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

$mb$  = costante d'ammasso

$s$  ed  $a$  = costanti d'ammasso

$\sigma_{ci}$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

è stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb.

Tale metodologia si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

- *Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso:* tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può esser definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Figura 41) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
- *Determinazione della costante  $m_i$  (Funzione del tipo di roccia):* i valori delle costanti caratteristiche della roccia ( $\sigma_{ci}$  e  $m_i$ ) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Figura 42, che riassume i valori della costante  $m_i$  per diversi tipi di roccia.

CLASSE [*]	DESCRIZIONE	RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE (MPa)	INDICE DI RESISTENZA (POINT LOAD) (MPa)	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA IN SITO	ESEMPI
R6	Resistenza estremamente elevata	> 250	> 10	Un campione può essere scheggiato solamente con un martello geologico	Basalto intatto, silice, selce, diabase, gneiss granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria basalto, gabbro, gneiss, granodiorite calcare, marna riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcare bianco, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

[\*] In accordo a Brown E.T. Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods, pp. 171-183. Oxford, Pergamon (1981).  
 [\*\*] La prova meccanica point load su rocce con resistenza a compressione monoassiale inferiore a 25 MPa fornisce risultati poco attendibili.

Figura 40: Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

Sulla base di queste caratteristiche si ottengono i seguenti valori di  $mb$ ,  $s$ ,  $a$  :

$$mb = mi [(GSI-100)/28]$$

$$s = e [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = 0,5 \text{ (per } GSI > 25)$$

tramite i quali si stimano coesione e angolo di attrito interno secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\sigma'1 = (2c' \cos \phi' / 1 - \sin \phi') + (1 + \sin \phi' / 1 - \sin \phi') \sigma'3$$

I valori coesione e di angolo di attrito interno ottenuti attraverso l'applicazione di tale classificazione sono in generale rispondenti alla tipologia litologica interessata.

È utile sottolineare che esistono delle correlazioni dirette fra i valori di GSI e il valore RMR del sistema di classificazione di Bieniawski riportato nella Figura 43.

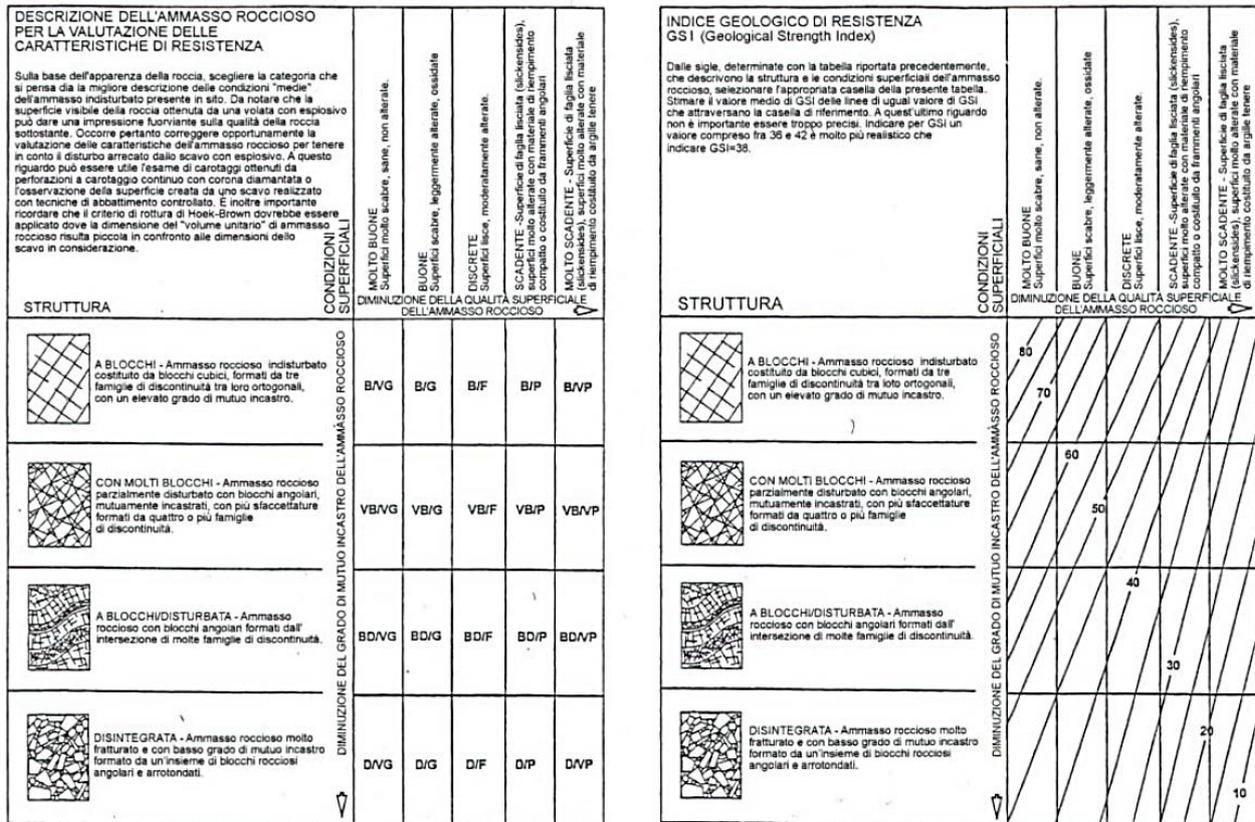


Figura 41: Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
		Organogene		Grovacche (18)		
	Non clastiche	Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate	Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24		
	Leggermente foliate	Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)		
	Foliate*	Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9	
IGNEE	Chiare	Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)	
		Granodiorite (30)		Dacite (17)		
		Diorite (28)		Andesite 19		
	Scure	Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)		
		Norite 22				
	Effusive piroclastiche	Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)		

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 42: Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione di nr.6 tipologie tra le litologie che caratterizzano la formazione presente e il corteo filoniano.

Il calcolo degli indici è stato effettuato:

- Sulla facies GEAc inalterata
- Sulla facies GEAc alterata
- Sulla facies GEAd inalterata
- Sulla facies GEAd alterata
- Su un filone basico Fb
- Su un filone aplitico Ap

Per il calcolo degli indici e della relativa trasformazione in parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb è stato utilizzato il software RocData vers.3.013 della Rocscience Inc.

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_{eff} (\sigma_3 + s)^2}$ <p><math>\sigma_1</math> = tensione efficace principale massima  <math>\sigma_3</math> = tensione efficace principale minima  <math>\sigma_{eff}</math> = resistenza a compressione monoassiale  m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argille, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCE CRISTALLINE IGNEE E GRANAFINE</p> <p>Andesiti, diorite, diabasi e rocce</p>	<p>ROCCE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfiboite, gabbro, gneiss, mica, quarzo-clorite</p>
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</p> <p>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</p> <p>Indice CSIR: RMR = 100</p> <p>Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</p> <p>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 85</p> <p>Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.082	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.082
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</p> <p>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 65</p> <p>Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</p> <p>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</p> <p>Indice CSIR: EMR = 44</p> <p>Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 23</p> <p>Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 3</p> <p>Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

CSIR (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) Organizzazione Scientifica ed Industriale di Riorca (Bieniawski 1974)  
NGI Norway Geotechnical Institute (Barton 1974)

Figura 43: Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr -Coulomb:

### Geremeas Fm GEAc-1 (Inalterata)

Standard ISRM = R5 Un campione richiede molti colpi di martello per essere fratturato

RQD =85%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,4 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1,5 m

Apertura del giunto = 1 - 25 mm

Giunto – rugoso (JRC medio= 7)

Pareti - non alterate

Riempimento - Sciolto 10-20 mm ; Assente 1-5mm

Roccia – asciutta

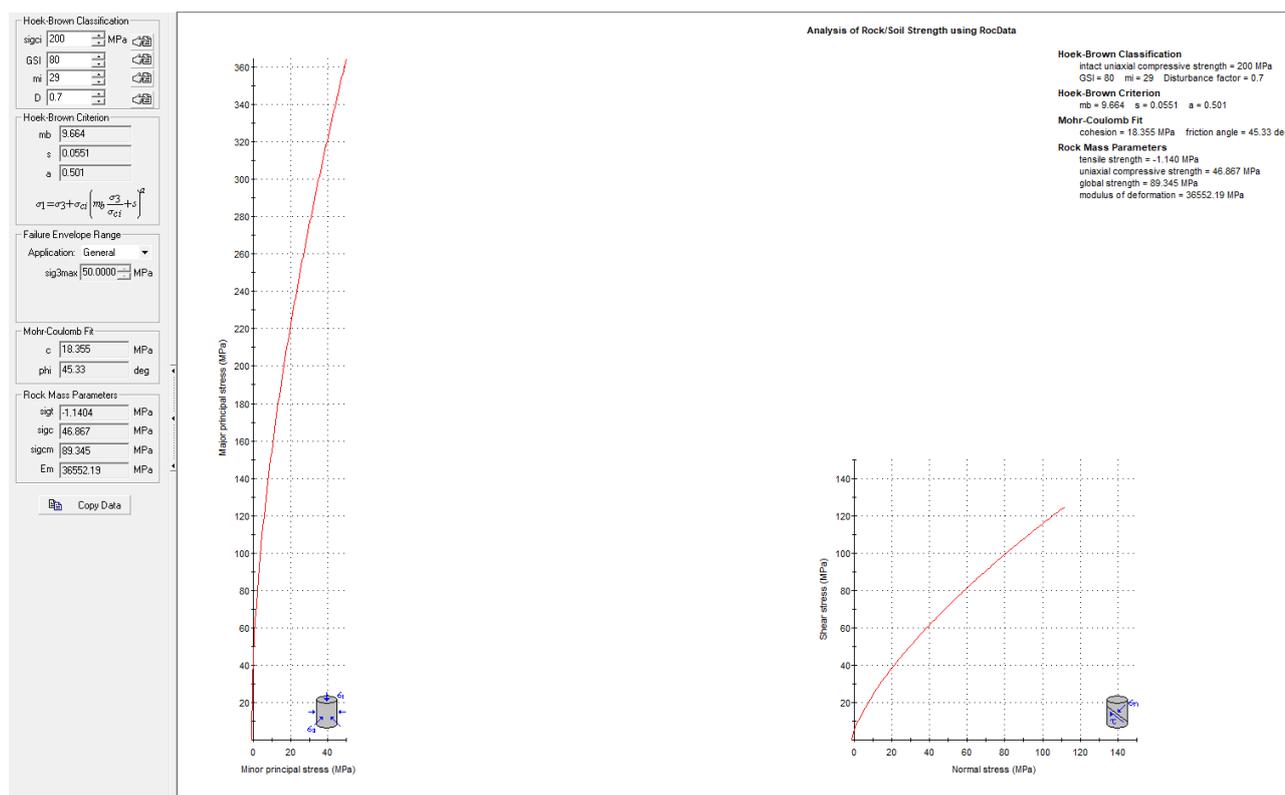


Figura 44 -Parametri ammasso roccioso GEAc-1 da Rocdata

### Geremeas Fm GEAc-2 (Alterata)

Standard ISRM = R2 Debole, si sbriciola con un colpo di martello

RQD =50%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,3 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1,5 m

Apertura del giunto = 1 - 8 mm

Giunto – rugoso (JRC medio= 8)

Pareti - alterate

Riempimento - Sciolto 3-10 mm ; Assente 1-5mm

Roccia – asciutta

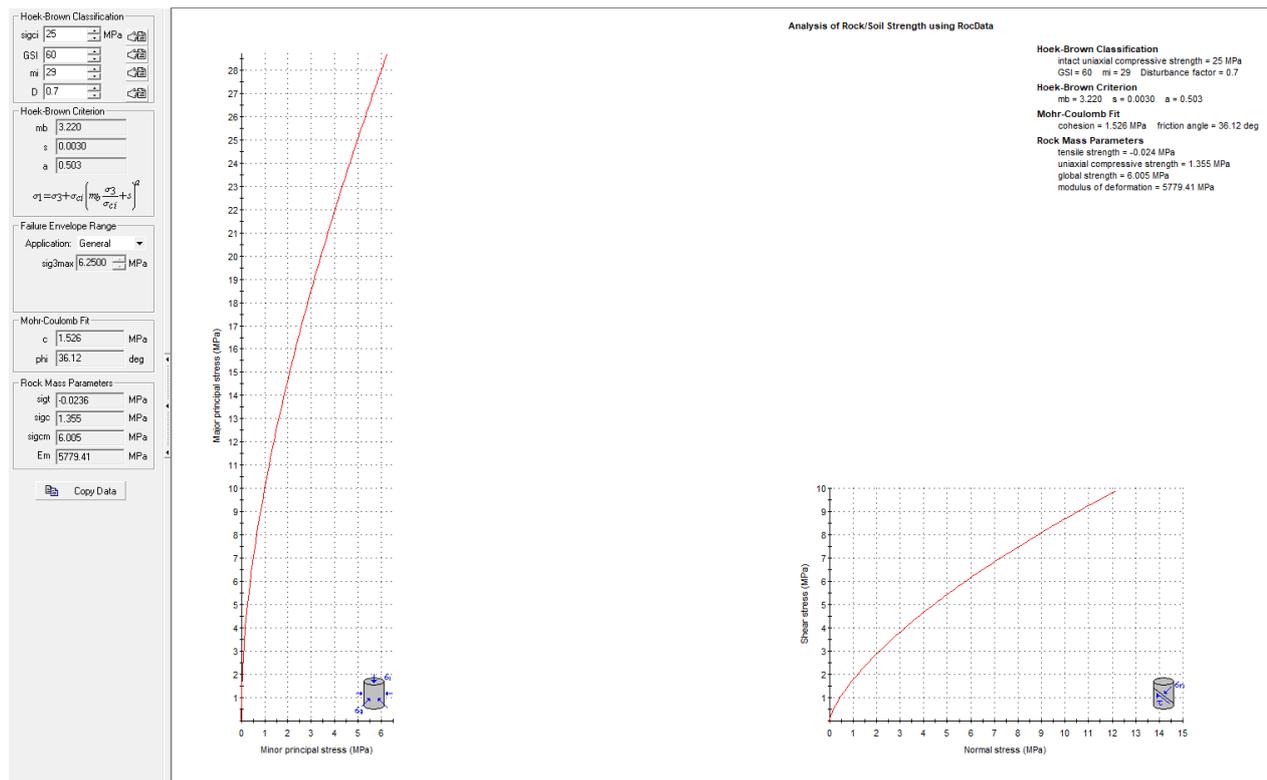


Figura 45-Parametri ammasso roccioso GEAc-2 da Rocdata

**Geremeas Fm GEAd-1 (Inalterata)**

Standard ISRM = R5 Un campione richiede molti colpi di martello per essere fratturato

RQD =50%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,3 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1,5 m

Apertura del giunto = 2 - 30 mm

Giunto – rugoso (JRC medio= 8)

Pareti – non alterate

Riempimento - Sciolto 2-40 mm ; Assente 1-30mm

Rocchia – asciutta

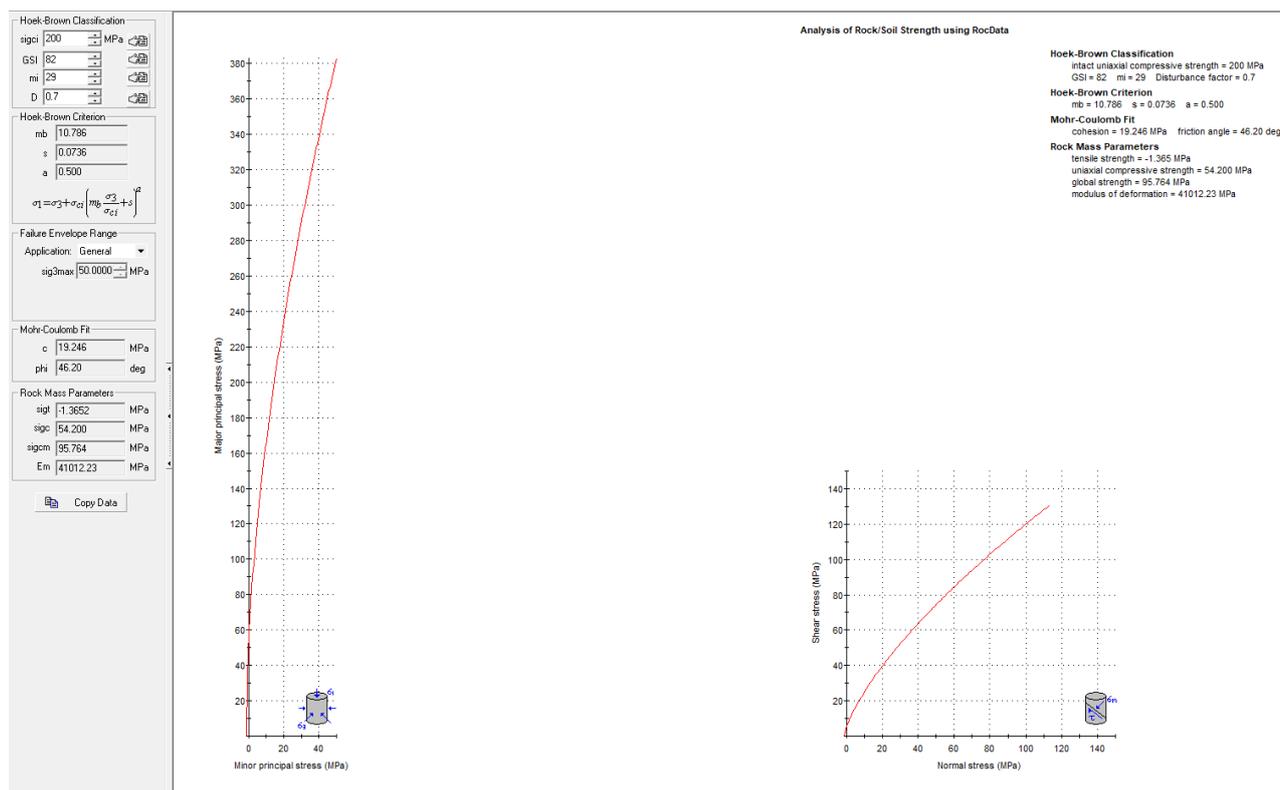


Figura 46-Parametri ammasso roccioso GEAd-1 da Rocdata

**Geremeas Fm GEAd-2 (Alterata)**

Standard ISRM = R2 Debole, si sbriciola con un colpo di martello

RQD =10%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,2 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1,5 m

Apertura del giunto = 1 - 10 mm

Giunto – rugoso (JRC medio= 7)

Pareti - alterate

Riempimento - Sciolto 3-10 mm ; Assente 1-2mm

Roccia – asciutta

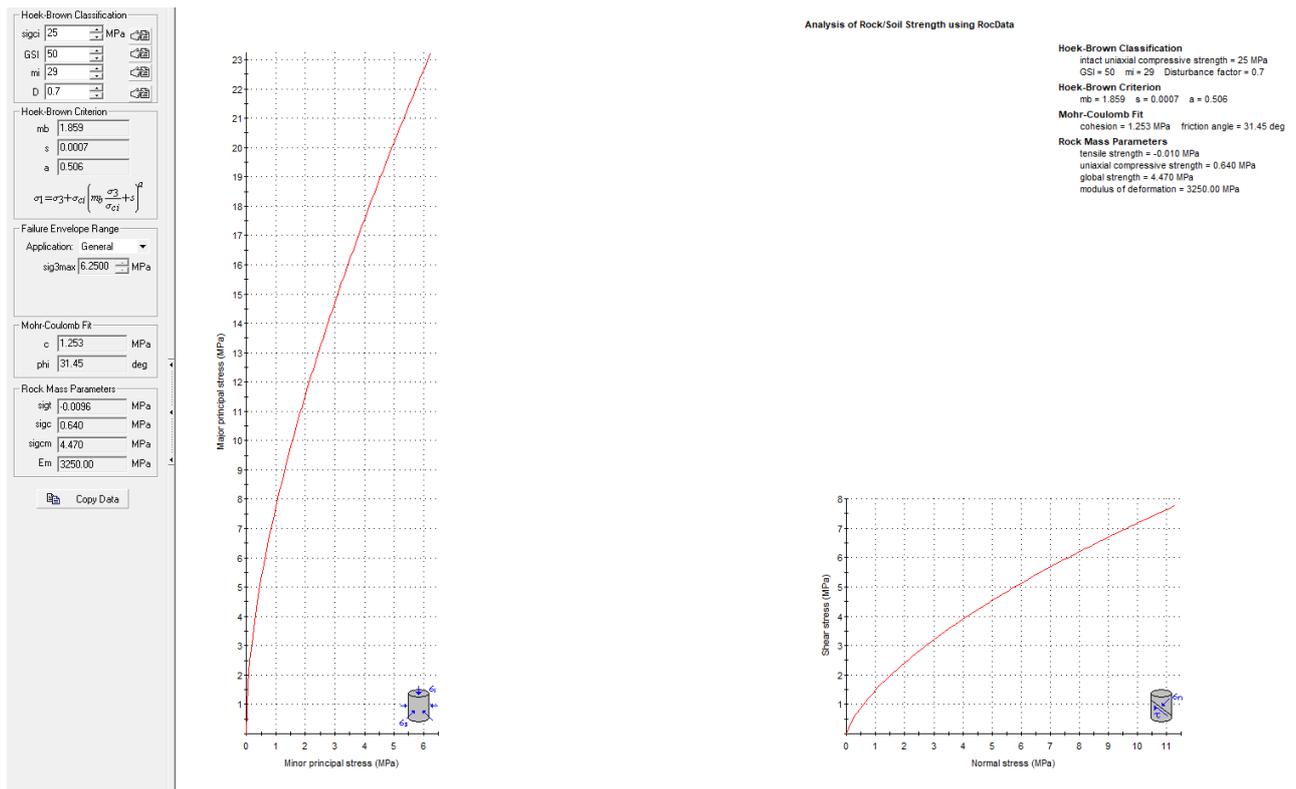


Figura 47 - Parametri ammasso roccioso GEAd-2 da Rocdata

### Filone Basico Fb (Inalterato)

Standard ISRM = R6 Estremamente resistente, si scheggia se sottoposto a vari colpi di martello

RQD =90%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,5 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1,5 m

Apertura del giunto = 2 - 50 mm

Giunto – rugoso (JRC medio-basso = 4)

Pareti – non alterate

Riempimento - Sciolto 5-50 mm ; Assente 1-15mm- Quarzo 2mm

Roccia – asciutta

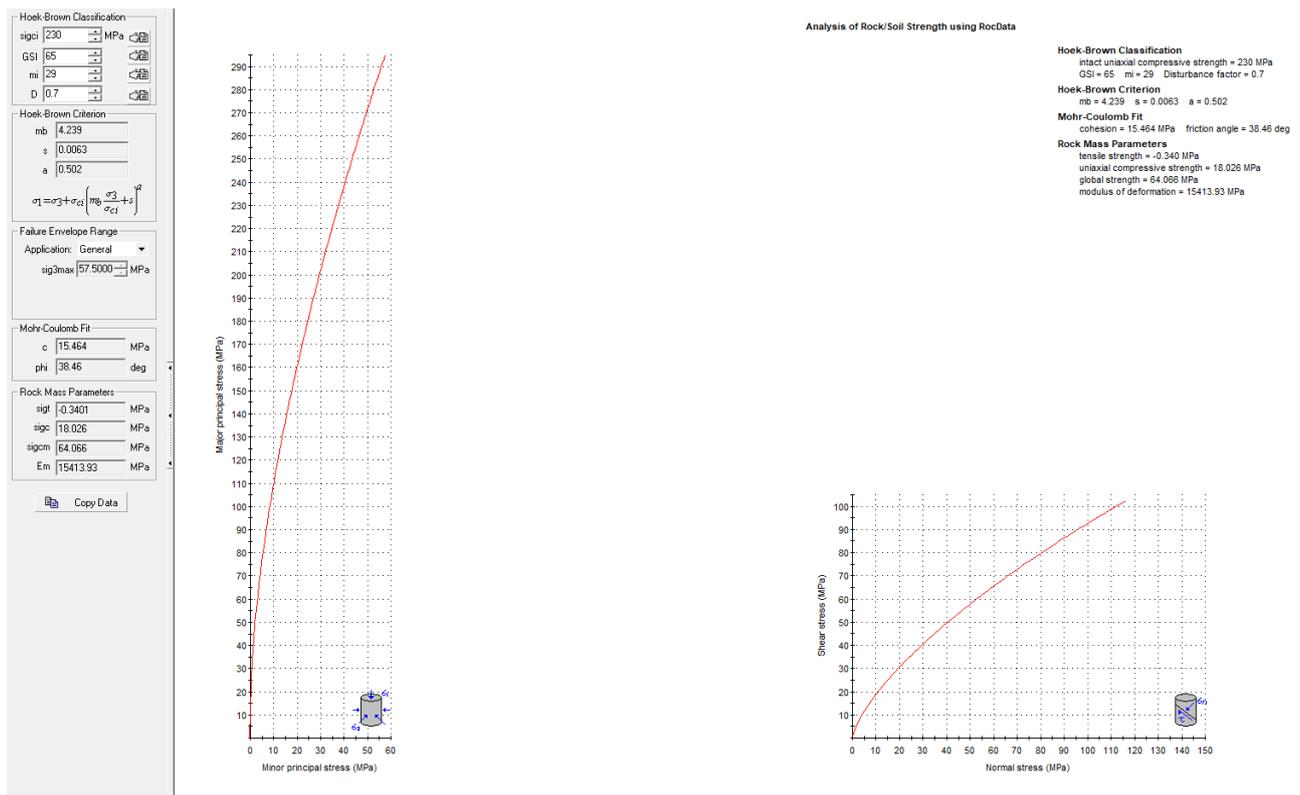


Figura 48 - Parametri ammasso roccioso Fb da Rocdata

### Filone Aplítico Ap (Inalterato)

Standard ISRM = R5 Un campione richiede molti colpi di martello per essere fratturato

RQD =50%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,3 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 m

Apertura del giunto = 1 - 15 mm

Giunto – rugoso (JRC medio-basso= 5)

Pareti – non alterate

Riempimento - Assente 1-15mm

Roccia – asciutta

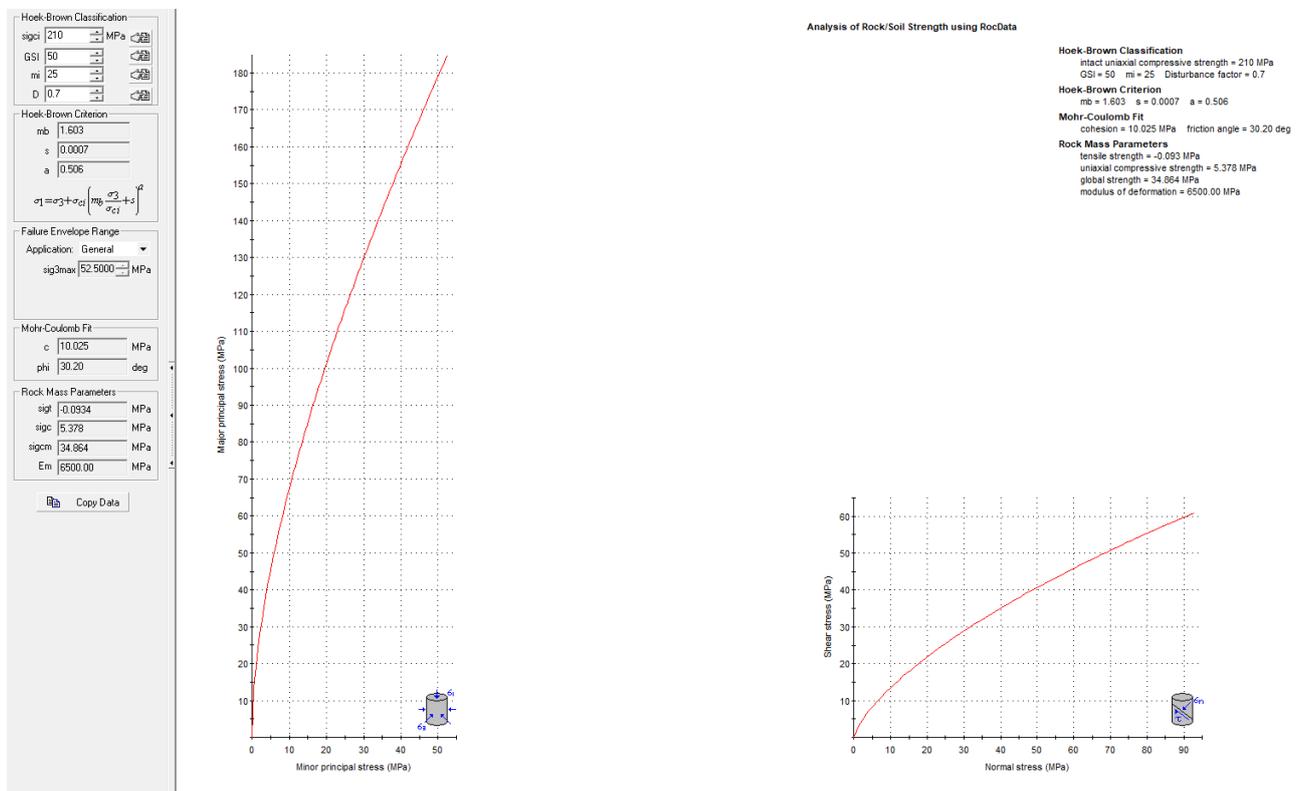


Figura 49 - Parametri ammasso roccioso Ap da Rocdata

## 15.2 Modello Geologico di sito

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, in relazione soprattutto alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare ribaltamenti di blocchi e scivolamenti di cunei deconfinati, pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.



Figura 50 - Piccola frana su taglio stradale nei pressi dell'area di studio

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito che viene di seguito riassunto. In particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sono stati individuati nr.2 modelli geologici rappresentativi descritti di seguito.

Sono stati distinti due litotipi principali - **Litotipo A** - rocce granitiche in disfacimento e/o rocce molto rippabili) e il **Litotipo B** – rocce da poco fratturate a integre. A loro volta i due litotipi sono stati suddivisi in ulteriori classi in relazione al grado di alterazione e di fratturazione.

**Modello Geologico 01:** Tale modello è stato ottenuto dalla correlazione dei risultati di rilevamento geologico di campo e indagini geofisiche (**M1-R1/, M2/R2, M3/R3, M5/R5**) e dal sondaggio SN\_01, tiene conto di un substrato costituito dall'ammasso roccioso granodioritico caratterizzato da una fratturazione medio-bassa principalmente per diaclasi, i risultati della sismica a rifrazione e MASW suggeriscono una profondità del substrato (Litotipo B2) intorno ai 13 metri. Il sovrastante Litotipo B1, riconosciuto per un repentino abbassamento della V delle onde di taglio e per una diminuzione sostanziale del PV, è probabilmente costituito da granodiorite fratturata si riscontra tra i 10 e i 13m. I primi 10 metri (Litotipo A1-A2-A3), sono costituiti da ciottoli residuali del basamento immersi in una matrice limo argillosa rossastra prodotto dell'alterazione chimica data dall'acqua infiltrata tra le fratture. Il litotipo A va probabilmente da clasto-sostenuto (regolite) a matrice-sostenuto dal basso verso l'alto stratigrafico. Il sondaggio ha permesso di determinare che la roccia può essere talvolta alterata chimicamente fino a profondità che superano gli 8,5 metri. Tra gli 8,5m e gli 11,5m (prof. max sondaggio) il granito risulta estremamente fratturato poco alterato chimicamente, caso del Litotipo A3-B1;

**Modello Geologico 02:** Per tale modello si è tenuto conto dei risultati dati da rilevamento geologico di campo, da indagini sismiche (**M4/R4**). La divisione dei litotipi è identica a quella del Modello 01, la differenza è data dagli spessori degli stessi. Il litotipo A può raggiungere profondità di 18,5m. Sotto i 18,5m le caratteristiche dell'ammasso migliorano. Un tale grado di fratturazione e di alterazione chimica che si spinge fino a queste profondità può essere dovuto non più solo a fenomeni superficiali, probabilmente aree con queste caratteristiche sono situati in prossimità di piccole faglie non rilevabili perché coperte ma che danno luogo ad una fascia di intensa fratturazione che si propaga in profondità nel substrato, l'alterazione chimica sarà poi data dall'acqua meteorica che potrà conseguentemente infiltrarsi a profondità maggiori.

### 15.2.1 Modello Geologico 01 e Modello Geologico 02 – Granodiorite inequigranulare.

In seguito all'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e mediante l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici

dell'ammasso roccioso sono stati ottenuti i seguenti valori caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		<b>Maracalagonis - MODELLO GEOLOGICO 01</b> (WTG001-WTG002-WTG003-WTG004-WTG005-WTG008-WTG009-WTG010-WTG011-WTG012- WTG013- WTG014)				
<b>Dati Parametri Resistenza</b>						
Tipo di Terreno/ <b>profondità (m da p.c.)</b>		Litotipo A1 0,00– 4,00	Litotipo A2 4,00– 7,00	Litotipo A3 7,00– 10,00	Litotipo B1 10,00– 13,00	Litotipo B2 > 13,00
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1900	2000	2100	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	1950	2050	2150	2300
Angolo di attrito interno	[°]	35.0	36.12	40.0	45.33	50.0
Coazione	[kg/cmq]	1.0	1.526	2.0	18.355	49.86
<b>Dati Parametri Deformabilità</b>						
Modulo elastico	[MPa]	314	892	1981	5158	16397
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0.33	0.33	0.33	0.33
Modulo di taglio (G)	[MPa]	118	333	745	1932	6149
Velocità onde di taglio	[m/sec]	255	420	610	960	1635

Sito		Maracalagonis - MODELLO GEOLOGICO 02 (WTG006-WTG007)				
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno/ profondità (m da p.c.)		Litotipo A1 0,00– 4,00	Litotipo A2 4,00– 6,00	Litotipo A3 6,00– 18,00	Litotipo B1 18,00– 34,00	Litotipo B2 > 34,00
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1900	2000	2100	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	1980	2050	2150	2300
Angolo di attrito interno	[°]	31.45	35.0	40.0	46.20	49.9
Coazione	[kg/cm <sup>2</sup> ]	1.253	2.0	5.0	19.246	20.0
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[MPa]	398	814	2079	5492	12543
Coefficiente di Poisson	[]	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Modulo di taglio (G)	[MPa]	147	304	785	2059	4707
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	285	400	625	1010	1540

Si sottolinea che i parametri geotecnici individuati sono derivati da indagine geofisica realizzata in prossimità di 5 turbine e pertanto rappresentativa ma non di dettaglio delle condizioni geostrutturali dell'ammasso roccioso e da formulazioni empiriche pertanto tale modellazione, come l'esistenza o meno di cavità, diaclasi o particolari condizioni di fratturazione, dovrà essere verificata e validata per ogni singola WTG in fase di progettazione esecutiva.

### 15.2.2 Viabilità di impianto e Sottostazione

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando in parte dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi. Verrà inoltre realizzata viabilità ex novo che si svilupperà in sostanza lungo la cresta dei rilievi e in qualche tratto lungo il versante, a servizio dell'impianto per il collegamento delle singole aerostazioni e il passaggio del cavidotto di connessione. La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 24,5 tonnellate, una pressione massima di 2,45 kg/cm. Lo sbancamento stradale di percorrenza dovrà essere pari a 5 metri, compresi 50 centimetri per lato di fascia

di distanza. I gradienti longitudinali non superano il 13.6%.sui rettilinei e il 13% in prossimità delle curve. Le curve stesse hanno a progetto un raggio di curvatura interna non inferiore a 30 metri.

Sostanzialmente tutta la viabilità si snoda lungo substrato roccioso con presenza in taluni casi di una copertura superficiale di terreno vegetale e /o roccia degradata con spessori variabili da 0,00m a 1,00m.

Per quanto riguarda la scavabilità del substrato roccioso esso, nelle varie facies presenti e nella parte superficiale, risulta quasi sempre da fratturato a molto fatturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone per uno spessore generalmente individuato in 4-7m da piano campagna.

Non sono previste fondazioni profonde pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.

## 16 Compatibilità idraulica e geologico-geotecnica

### Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI

La condizione di ammissibilità delle opere in progetto è contemplata nelle norme di attuazione del PAI ai seguenti articoli per i quali sono richiamati gli elementi essenziali:

#### **Articolo 23 - Prescrizioni generali per gli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica**

**Comma 7.** Nel caso di interventi per i quali non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica o geologica e geotecnica i proponenti garantiscono comunque che i progetti verifichino le variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità delle aree interessate alla realizzazione degli interventi, prevedendo eventuali misure compensative.

#### **PERICOLOSITA' IDRAULICA**

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità idraulica per la loro posizione morfologica. Per quanto neanche il tracciato del cavidotto, che si snoda lungo aree pianeggianti interessate da un reticolo idrografico ben definito, sia interessato da perimetrazione idraulica, facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree **l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hi4**, secondo il combinato disposto:

#### **Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)**

**Comma 3.** *In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:*

***lettera g.** le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; **nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.***

## PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Dall'osservazione della carta della pericolosità da frana della quale si riporta stralcio si identifica quanto segue:

- La WTG002, WTG005 e la WTG006 ricadono in aree perimetrare Hg2 mentre le restanti turbine ricadono in aree Hg1. Tutte le aree interessate dalle posizioni suddette sono aree a pendenza minore o uguale al 15% per espresso requisito derivante dalla normativa regionale sulla localizzazione delle aree idonee ad accogliere impianti eolici.
- la viabilità di impianto ricalca per lo più strade esistenti in parte interessate da pericolosità Hg3 e Hg2
- i nuovi collegamenti tra la viabilità esistente e le turbine di nuova costruzione, ricadono in Hg1, salvo una porzione di bretella di collegamento tra la WTG002 e la WTG010 che ricade in Hg3

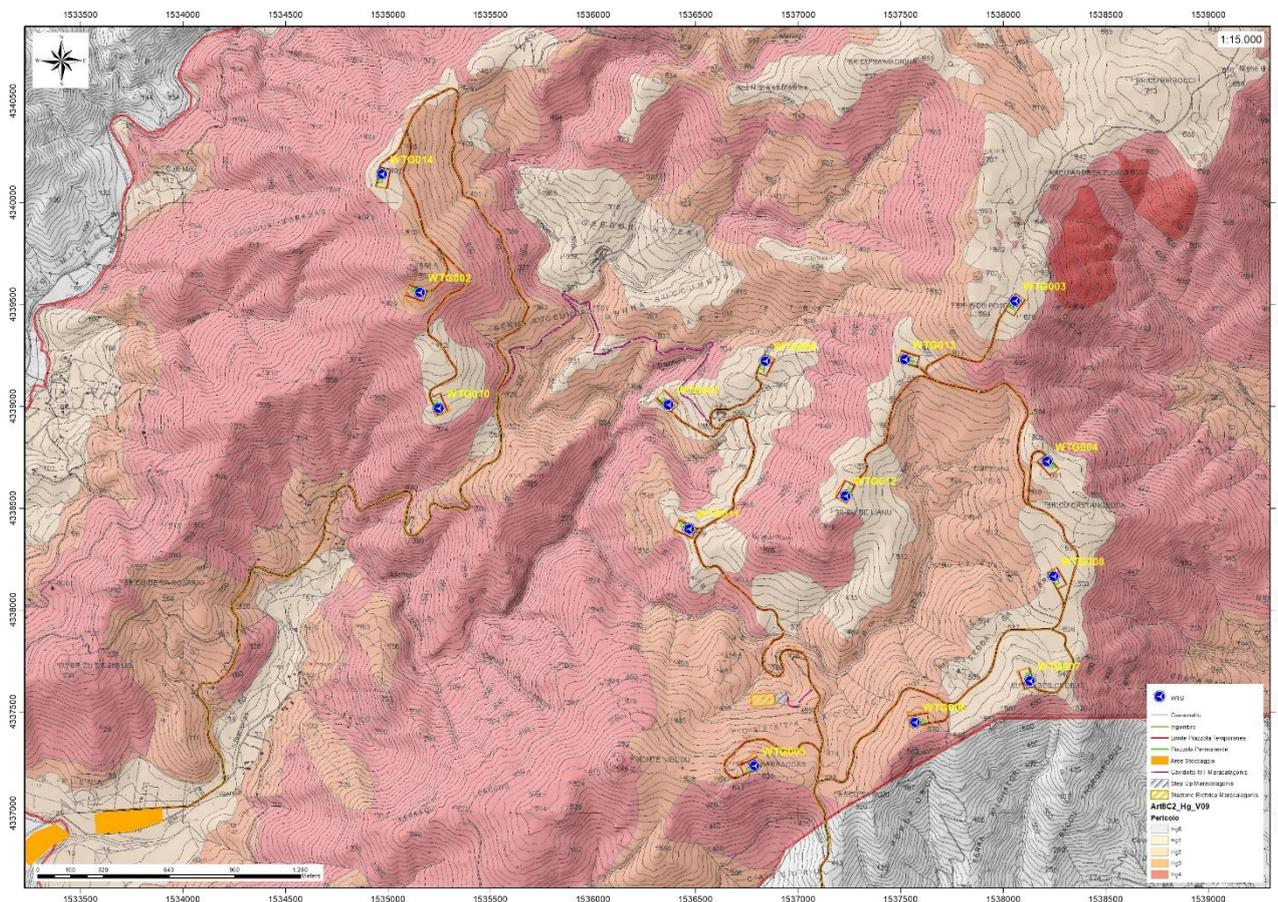


Figura 51 – Carta della pericolosità da frana

Nei tratti a maggior grado di pericolosità, in fase di progettazione esecutiva a seguito di accurati rilievi verranno disposti adeguati interventi di mitigazione della franosità (nel caso specifico sostanzialmente frane da crollo) attraverso sistemi di messa in sicurezza dei versanti mediante l'utilizzo di tecniche di ingegneria

naturalistica chiodature, reti di contenimento, muri in gabbionata limitando laddove strettamente necessario la realizzazione di muri di contenimento in c.a.

Facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica media Hg2 e elevata Hg3, le opere in progetto sono ammesse secondo il combinato disposto:

**Art. 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:

- a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;
- b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;

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:

- b. gli interventi di manutenzione straordinaria;
- 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.

**Art.32 Disciplina delle aree di pericolosità elevata da frana (Hg3)**

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

2. Nelle aree di pericolosità elevata da frana valgono i divieti generali di cui all'articolo 31, comma 4.

**Art. 33 - Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg2)**

**comma 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:*

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

*lettera 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.*

Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)

**Risposta idrologica e permeabilità.** L'intervento prevede una minima occupazione di suolo dovuta all'impronta dei sostegni delle turbine e degli elementi fondanti delle stesse che **non determina una sostanziale variazione al regime di deflusso idrico superficiale o sulla permeabilità relativamente alle condizioni ante intervento.**

Le piazzole di cantiere previste per la realizzazione dei singoli aerogeneratori avranno un impatto temporaneo e strettamente legato al tempo di realizzazione dell'impianto successivamente verranno rinaturalizzate ripristinando lo stato dei luoghi.

Gli interventi successivi e quelli sulla viabilità esistente incidono in maniera poco significativa sull'assetto idraulico andando ad adattare tracciati già presenti che verranno interessati da sole opere di adeguamento funzionale all'esigenze operative di realizzazione e di esercizio. Le nuove tratte di viabilità di impianto previste si snodano lungo la cresta dei rilievi. Gli interventi siffatti non interrompono o ostacolano il normale deflusso superficiale in quanto non sono previste in elevazione e non vi è sottrazione incidente di suolo, nel caso specifico già quasi del tutto assente per le caratteristiche geologiche e morfologiche del sito.

Analogamente la rete di connessione, trovandosi interrata, non determina variazioni sostanziali all'attuale regime di deflusso delle acque superficiali.

Per le bretelle di collegamento di nuova costruzione facendo espresso riferimento a quella che ricade in parte in Hg3, in fase di progettazione esecutiva a seguito di accurati rilievi verranno disposti adeguati interventi di

regimazione delle acque superficiali in accordo con le soluzioni prescelte di mitigazione della pericolosità geomorfologica.

**Al fine di garantire il corretto smaltimento delle acque superficiali afferenti a quest'area, in fase di progettazione esecutiva, verrà predisposto un piano di regimazione delle acque superficiali il cui bilancio idraulico, riferito al recettore finale, rispetterà il criterio dell'invarianza idraulica richiamato all'art.47 delle NTA PAI.**

**Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità idraulica ex ante.**

***Effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti.*** Le turbine verranno installate aree sub pianeggianti con inclinazioni medie inferiori al 15%, la maggior parte della viabilità di impianto e del cavidotto interessano strade esistenti, i brevi tratti di viabilità di nuova costruzione si sviluppano sostanzialmente su aree a pericolosità da frana moderata Hg1, mentre un breve tratto di collegamento tra la WTG002 e la WTG010 che ricade in Hg3 e per il quale in fase di progettazione esecutiva a seguito di accurati rilievi verranno disposti adeguati interventi di mitigazione della franosità (nel caso specifico sostanzialmente frane da crollo) attraverso sistemi di messa in sicurezza dei versanti mediante l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica chiodature, reti di contenimento, muri in gabbionata limitando laddove strettamente necessario la realizzazione di muri di contenimento in c.a.

La realizzazione del cavidotto prevede l'esecuzione di uno scavo temporaneo poco profondo che verrà ricoperto subito dopo il posizionamento degli strati di allettamento, la stesura del cavo e i relativi rinfianchi. Verrà eseguito per porzioni pertanto non esiste la possibilità della permanenza di scavi aperti per lungo tempo, garantendo di fatto, il mantenimento delle condizioni di stabilità ex ante ed ex post.

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni delle turbine **verranno eseguiti verificando di volta in volta la stabilità delle parti di scavo in relazione agli esiti della campagna di indagine puntuale realizzata per il progetto esecutivo** ed in base alla quale verranno previste opere provvisorie quali rinforzi al piede dello scavo, puntellature o palancolate o gradonature dello scavo per garantire la sicurezza degli operatori ed evitare l'innescarsi di eventuali smottamenti. La stabilità dei versanti in fase di apertura dello scavo è stata studiata attraverso simulazioni in funzione dei modelli geologico-geotecnici individuati in relazione alla verifica delle opere fondanti.

I movimenti terra previsti sono sostanzialmente tutti riferibili allo scavo e successivo riutilizzo di materiale finalizzato al rinterro lungo la viabilità e al riempimento successivo alla realizzazione delle fondazioni delle turbine, pertanto non si evidenziano fattori potenziali tali da ingenerare fenomeni di instabilità. Il materiale di rinterro/riempimento verrà steso e rullato/compattato secondo i criteri di buona regola d'arte al fine di conferire la giusta stabilità per i carichi previsti per la durata dell'impianto.

**Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità da frana ex ante.**

## 17 CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di verificare la compatibilità delle opere in progetto con le prescrizioni del PAI. Dall'analisi delle caratteristiche delle opere, della sua ubicazione e delle interazioni con lo strumento normativo del PAI, le stesse è ammissibile secondo quanto disposto dall'art 23 comma 7 delle NTA PAI:

### **Articolo 23 - Prescrizioni generali per gli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica**

**Comma 7.** Nel caso di interventi per i quali non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica o geologica e geotecnica i proponenti garantiscono comunque che i progetti verificano le variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità delle aree interessate alla realizzazione degli interventi, prevedendo eventuali misure compensative.

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità idraulica per la loro posizione morfologica. Per quanto neanche il tracciato del cavidotto, che si snoda lungo aree pianeggianti interessate da un reticolo idrografico ben definito, non è interessato da perimetrazione idraulica facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree, **l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hi4**, secondo il combinato disposto:

### **Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)**

**Comma 3.** *In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:*

***lettera g.*** *le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la*

***condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.***

Le opere in progetto ricadono per una piccola parte in aree perimetrare con pericolosità da frana Hg2 e Hg3, tuttavia gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti.

Facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica media Hg2 e elevata Hg3, le opere in progetto sono ammesse secondo il combinato disposto:

***Art. 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:*

- a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;*
- b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;*

*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:*

- b. gli interventi di manutenzione straordinaria;*
- 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.*

***Art.32 Disciplina delle aree di pericolosità elevata da frana (Hg3)***

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

2. Nelle aree di pericolosità elevata da frana valgono i divieti generali di cui all'articolo 31, comma 4.

**Art. 33 - Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg2)**

**comma 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:

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

*lettera 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.

Inoltre, secondo quanto previsto dall'Art. 23 "Pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica – nuovi interventi sul territorio" al comma 9 vengono rispettate le seguenti indicazioni:

- a. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario**, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
- b. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli** attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
- c. non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale nè la sistemazione idrogeologica a regime;
- d. **non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli** al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;
- e. **limitare l'impermeabilizzazione dei suoli** e creare idonee reti di regimazione e drenaggio;
- f. favorire quando possibile la formazione di nuove aree esondabili e di nuove aree permeabili;

l. **non incrementare le condizioni di rischio specifico idraulico o da frana** degli elementi vulnerabili interessati ad eccezione dell'eventuale incremento sostenibile connesso all'intervento espressamente assentito;

m. assumere adeguate misure di compensazione nei casi in cui sia inevitabile l'incremento sostenibile delle condizioni di rischio o di pericolo associate agli interventi consentiti;

n. garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;

o. garantire coerenza con i piani di protezione civile.

Inoltre, gli interventi previsti non producono incremento del carico insediativo.

Pertanto, alla luce delle considerazioni sopra riportate, **si attesta la compatibilità idrogeologica** tra l'opera e il territorio circostante in relazione alle prescrizioni del PAI.