

Via Ostiense, 131/L - 00154 Roma - tel 065750531 fax 065741869 P.IVA 06141061009

COMUNI DI BITTI, ORUNE E BUDDUSO'
PROVINCE DI NUORO E SASSARI



PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO "GOMORETTA"

Elaborato : EP_GEO_R001	Relazione geologica e geotecnica
Scala : -	
Data : 20 novembre 2017	

<p>COMMITTENTE : Siemens Gamesa Renewable Energy Italy S.p.A. RESPONSABILE TECNICO COMMESSA Dott. Ing. Nicola Maria Pepe</p>	<p>COORDINAMENTO : <i>Bm</i> Studio Tecnico Industriale Dott. Ing. Bruno Manca</p>	
--	---	---

N° REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
Rev.00	20/11/2017	CA	NMPEPE	GMERCURIO/NMPEPE	A4 (210x297mm)

Gruppo di lavoro: Dott.ssa in Arch. Giorgia Campus
Dott.ssa Ing. Barbara Dessì
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas



INDICE

1. PREMessa E FINALITA' DELLO STUDIO.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	4
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE	4
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
5.1. <i>Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento</i>	<i>6</i>
5.2. <i>Analisi delle condizioni geostrutturali generali.....</i>	<i>9</i>
5.3. <i>Situazione geologica e litostratigrafica dell'area interessata dall'intervento</i>	<i>10</i>
6. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	11
6.1. <i>Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.....</i>	<i>11</i>
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	12
7.1. <i>Lineamenti geomorfologici generali.....</i>	<i>12</i>
7.2. <i>Definizione dell'area geomorfologicamente significativa</i>	<i>13</i>
8. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO	14
9. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI.....	15
9.1. <i>Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.) E Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....</i>	<i>15</i>
9.2. <i>Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)</i>	<i>16</i>
9.3. <i>Aree Protette</i>	<i>17</i>
10. STUDI ED INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE.....	18
11. MODELLO GEOLOGICO DI SITO	19
11.1. <i>MODELLO GEOLOGICO DI SITO 01</i>	<i>20</i>
11.2. <i>MODELLO GEOLOGICO DI SITO 02</i>	<i>20</i>
12. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE NTC2008.....	21
12.1. <i>Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento</i>	<i>21</i>
13. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA	23
14. CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE E DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	24
14.1. <i>Caratterizzazione del litotipo B.....</i>	<i>24</i>
14.2. <i>Caratterizzazione dell'ammasso roccioso – litotipi C e D</i>	<i>24</i>
15. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO DEL SITO.....	29
15.1. <i>Azioni e resistenze nelle verifiche agli stati limite.....</i>	<i>30</i>
16. VERIFICHE DI SICUREZZA (§C6.4.2).....	32
16.1. <i>Verifiche di sicurezza agli SLU di tipo geotecnico (GEO) (§C6.4.2.1).....</i>	<i>32</i>
16.1. <i>Verifiche di esercizio (SLE) (§C6.4.2.2)</i>	<i>33</i>
17. FRONTI DI SCAVO (§C6.8.6).....	33
18. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	34

PROGETTO DEFINITIVO

ALLEGATI

Stratigrafie dei sondaggi

ELABORATI CARTOGRAFICI

EP_GEO_D001_1	Carta geologica - settore 1 - settore 3
EP_GEO_D001_2	Carta geologica - settore 2
EP_GEO_D002_1	Carta idrogeologica - settore 1 - settore 3
EP_GEO_D002_2	Carta idrogeologica - settore 2
EP_GEO_D002_3	Carta Geomorfologica - settore 1 - settore 3
EP_GEO_D002_4	Carta Geomorfologica - settore 2

INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1".....	5
Figura 4.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2".....	6
Figura 5.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972	7
Figura 5.2- Stralcio "Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna" - 1972.....	8
Figura 5.3 - Schema tettonico del Basamento Paleozoico.....	9
Figura 7.1- Vista da Sud del sistema di rilievi e valli che caratterizzano l'area di impianto del Parco "Eolico Gomoretta" (in rosso).....	12
Figura 8.1- Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo Corine Land Cover, RAS 2008	15
Figura 9.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI).....	16
Figura 10.1- Ubicazione delle indagini geognostiche.....	18
Figura 10.1- Esiti del carotaggio, in ordine S_01, S_02, S_03 e S_04.....	19
Figura 15.1 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito	23
Figura 14.1 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia.....	25
Figura 5.5 - Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.	26
Figura 14.3 - Valori della costante m_i , per diversi tipi di roccia	26
Figura 14.4 - Correlazione fra i valori di m_i , s , l'indice RMR ed il tipo di roccia	27
Figura 14.5 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso metamorfico (RosScience – RocDATA)	28
Figura 14.6 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso intrusivo (RosScience – RocDATA).....	29

PROGETTO DEFINITIVO**1. PREMESSA E FINALITA' DELLO STUDIO**

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Gomoretta" dislocato nei territori comunali di Bitti, Orune e Buddusò, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico-geotecnico è stato conferito alla scrivente Dott.ssa Geol. Cosima Atzori, regolarmente iscritta all'Albo Professionale dei Geologi della Sardegna al n°656, con polizza RC professionale LLOYD'S n°CQ150048100 e con studio in Decimomannu (CA) – Via Bologna 30, C.F. TZRCSM72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della **Relazione Geologica e Geotecnica** a corredo del Progetto Definitivo, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 14/01/2008 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, in via preliminare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto, in particolare attraverso:

- Analisi dell'assetto geologico e geomorfologico e definizione del **modello geologico di sito**;
- La **caratterizzazione geotecnica** preliminare del modello geologico di sito;
- L'analisi dell'**interazione opera-terreno nel volume significativo** in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta, in relazione alla generica tipologia di fondazioni previste e le potenziali interazioni con le dinamiche di circolazione sotterranea eventualmente esistenti.
- La **valutazione preliminare della portanza dei terreni e l'indicazione delle indagini necessarie alla determinazioni dei parametri geotecnici di sito**.

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 naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione 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.

D.M. Infrastrutture 14.01.2008 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – *Caratterizzazione e modellazione geologica del sito*, 6.2.2. *Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica*; 6.4. *Opere di fondazione*.

Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 02.02.2009 n°617 – Applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".

Delibera della Giunta Regionale n. 5/11 del 15 febbraio 2005 - Procedure per l'attuazione dell'art. 31 della L.R. 18 gennaio 1999 n. 1 recante "Norma transitoria in materia di valutazione di impatto ambientale"

Delibera della Giunta Regionale n. 24/23 del 23 aprile 2008 - Direttive per lo svolgimento delle procedure di valutazione di impatto ambientale e di valutazione ambientale strategica

PROGETTO DEFINITIVO

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 dicembre 2005 - Individuazione della documentazione necessaria alla verifica della compatibilità paesaggistica degli interventi proposti, ai sensi dell'art. 146, comma 3, del Codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42.

Delibera della Giunta Regionale n. 34/33 del 7/08/2012 - Direttive per lo svolgimento delle procedure di valutazione ambientale. Sostituzione della Delib.G.R. n. 24/23 del 23.4.2008.

3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

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

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- RAS - Modello digitale del Terreno con passo 10m
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, foglio 194 "Ozieri"
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25000
- 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 – ARPA – Dati meteorologici 1971-2000 e 2014
- 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
- Analisi orto-fotogrammetrica

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti da studi effettuati nell'area di interesse dalla *Dott. Geol. Francesca Demurtas* (Gamesa, 2013)

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area che interessa le opere in progetto è situata nel territorio comunale di Bitti tra Punta Gomoretta (852 m s.l.m.) e i rilievi a sud della valle del Rio de Toddunele per il Settore 1 (n. 3 aerogeneratori) mentre nel territorio comunale di Orune si sviluppa il Settore 2 (n.10 aerogeneratori) dal rilievo nei pressi di P.ta Punzurra (824 m s.l.m.) sito in comune di Bitti, e procede secondo una direzione NE lungo i rilievi di Fruncu Sa Capra (842 m s.l.m.), fino a Sa Elena e Serra (814m s.l.m.). La sottostazione elettrica in progetto andrà ubicata in agro di Buddusò, ad est del centro abitato, in prossimità del km 43 della S.S. 389.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 **Tav.481 II, Tav. 482 III**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – **Sez. 481120, 481160, 482090, 482130**

PROGETTO DEFINITIVO

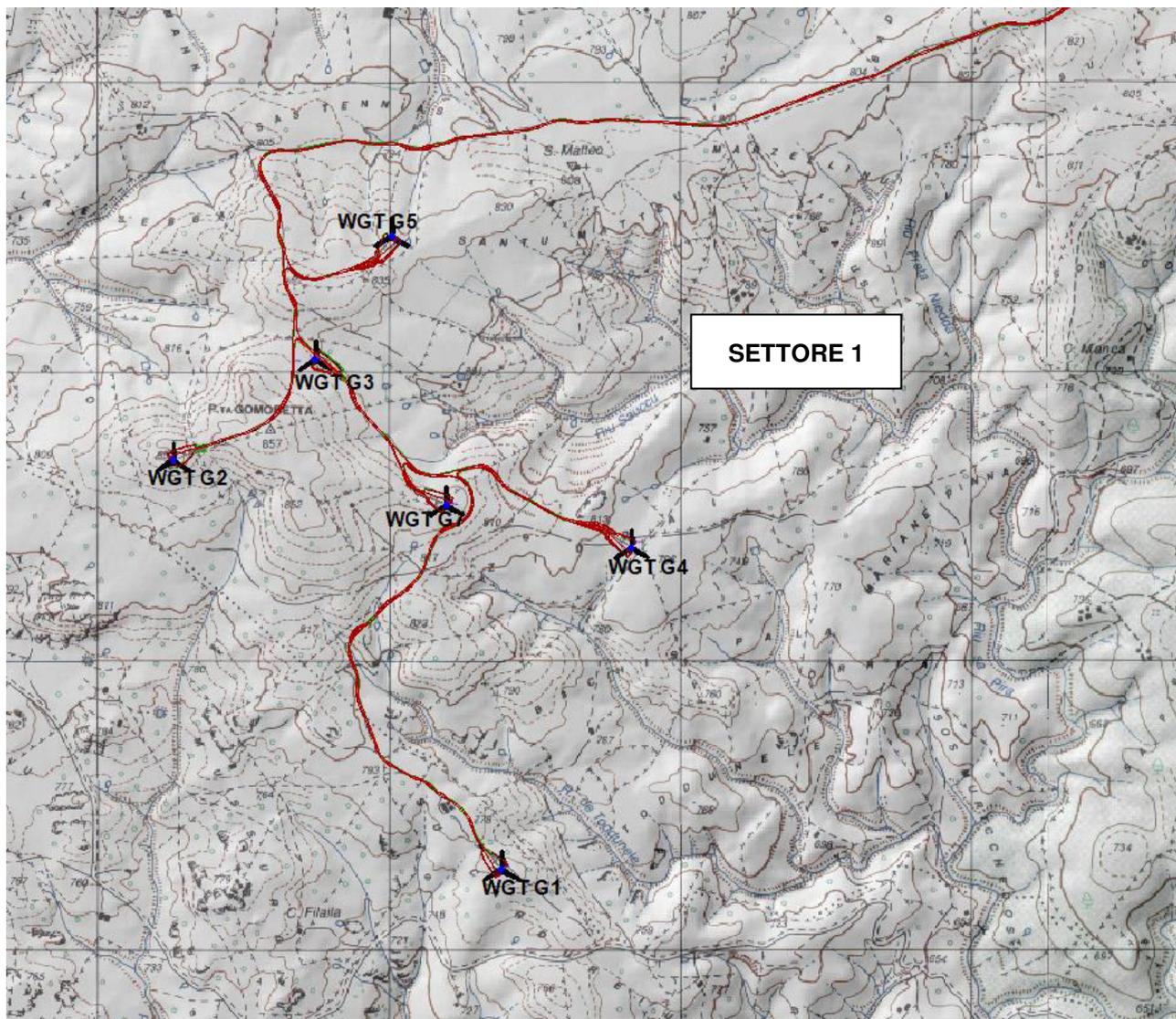


Figura 4.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1"

Le coordinate dei punti di installazione delle torri eoliche nel sistema di riferimento GAUSS-BOAGA sono:

No. (*)	Easting (m)	Northing (m)	No. (*)	Easting (m)	Northing (m)
WGT G1	1526339	4478097	WGT G8	1532362	4476140
WGT G2	1525211	4479509	WGT G9	1532611	4476480
WGT G3	1525700	4479857	WGT G10	1532974	4477271
WGT G4	1526785	4479208	WGT G11	1533367	4477536
WGT G5	1525961	4480283	WGT G12	1533734	4477832
WGT G6	1534648	4478486	WGT G13	1534509	4477904
WGT G7	1526149	4479355			

PROGETTO DEFINITIVO

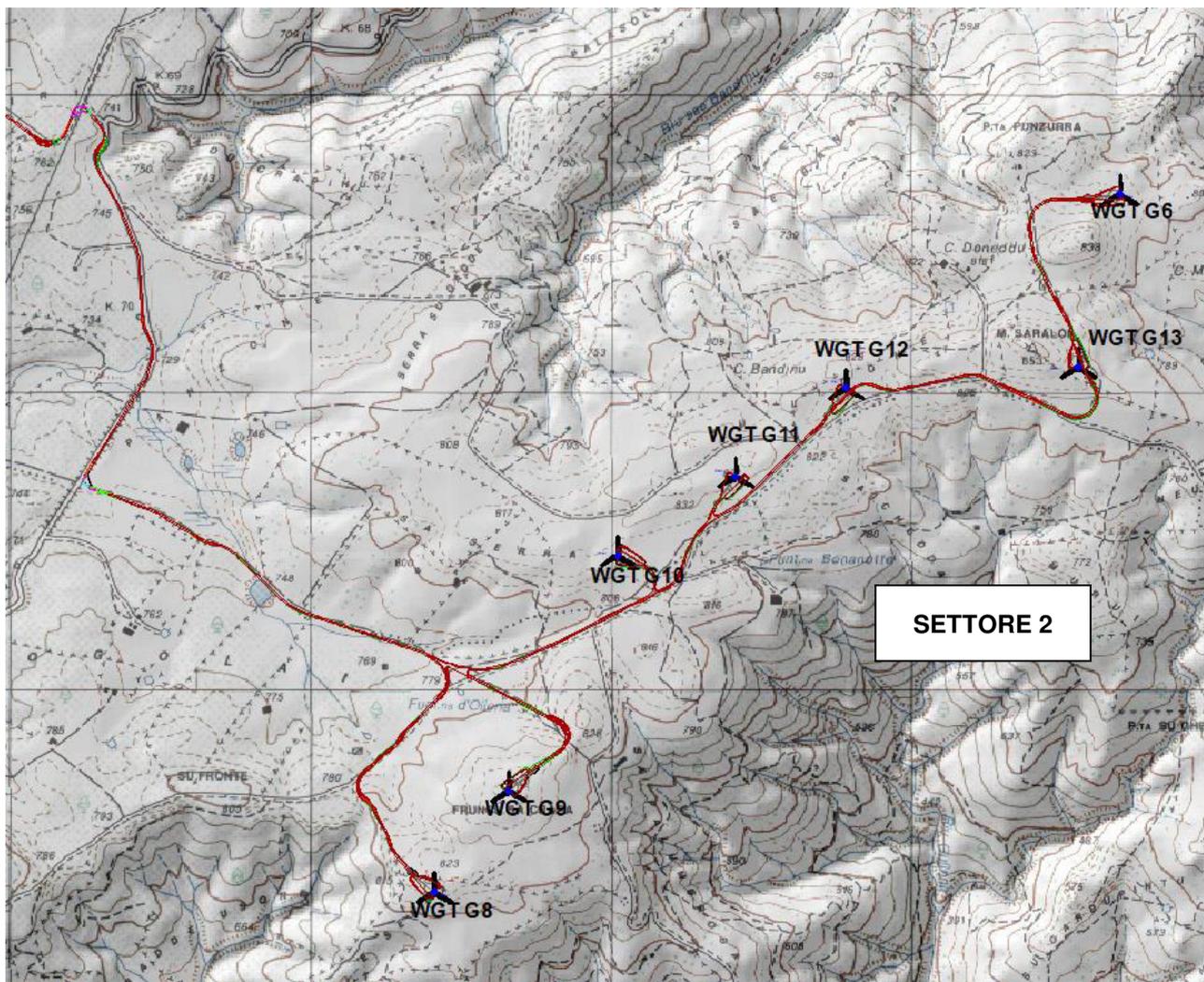


Figura 4.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2"

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è stata quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verranno installate le turbine e le infrastrutture di servizio e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del piano di posa delle fondazioni, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione della rete viaria 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 e geotecnico di sito;

PROGETTO DEFINITIVO

¹L'area oggetto di indagine è costituita in prevalenza da litologie appartenenti al Paleozoico, rappresentate dal complesso metamorfico-sedimentario, dal complesso intrusivo ercinico e dal sistema filoniano tardo-ercinico. Sono attribuibili al Quaternario i depositi in alveo e i detriti di versante.

I termini metamorfici appartengono in scala più ampia al "Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica"², costituito da una importante, monotona successione terrigena di quarziti, metarenarie e micascisti, rappresentate da più facies a vario grado evolutivo, prevalentemente scistose e polifasiche, riferibili all'Ordoviciano sup.-Siluriano.

All'interno di questo Complesso alcuni Autori³ distinguono i termini prevalentemente filladici (micascisti a muscovite e biotite), presenti nell'area sud - est in esame, a Nord dell'abitato di Orune (località Fruncu sa Capra), per passare, con un aumento graduale e non definito di cristallinità da SE verso NW, verso termini gneissici con aumento nel contenuto in feldspati (metarenarie quarzoso feldspatiche) in località p.ta Gomoretta.

I termini filladici sono caratterizzati da un colore grigio con toni verde-bruni o rossastri sovrapposti, presentano scistosità per lo più ondulata, rivelando una lineazione tettonica costante e un medio metamorfismo, testimoniato anche dalla abbondanza in biotite. I termini gneissici sono caratterizzati da aspetto e colore variabile, dal grigio, grigio - verde, al bruno - nerastro e presentano tessitura per lo più scistoso piana, in essi sono ampiamente diffuse lenti quarzose.

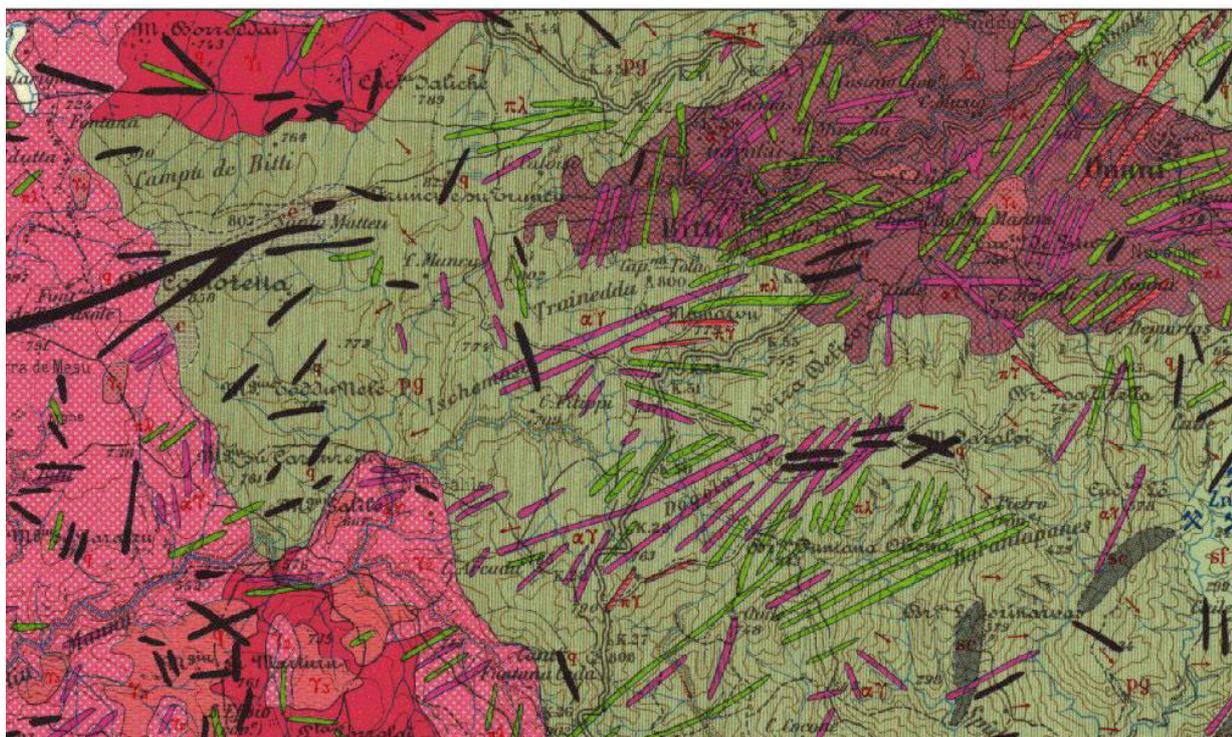


Figura 5.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972

¹ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

² Carnignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S. (1992): Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna a Scala 1:200.000 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Roma.

³ D'Amico C. (1960) - Relazione sul rilevamento geologico delle Tavole orientali del Quadrante Bitti F° 194 (Ozieri e petrografia delle formazioni rocciose - Boll. Serv. Geol. It. n. 80.

PROGETTO DEFINITIVO

Le metamorfiti si manifestano intensamente strutturate, sia per via del loro carattere originariamente sedimentario, sia per le azioni di metamorfismo che hanno incrementato la fissilità, sia ancora per l'elevato grado di tettonizzazione.

In tali depositi, durante il tardo paleozoico si intrudono i prodotti di magmatismo intrusivo quali granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm; tessitura orientata per flusso magmatico, che caratterizzano l'area a ovest a quella di interesse per il progetto.

Nell'area, il Quaternario è rappresentato da una modesta copertura detritica di versante, costituita dai prodotti di alterazione delle rocce metamorfiche, presente in modo discontinuo lungo i versanti, in particolare nel settore meridionale del rilievo Fruncu Sa Capra in corrispondenza delle maggiori pendenze dove spesso l'alta scistosità contribuisce ad accentuare la sfaldabilità della roccia che causa locali smottamenti e il movimento di tali detriti.

Lungo le aste tributarie di primo e secondo ordine sono riconoscibili depositi torrentizi, ove presenti, di modesto spessore, costituiti da ciottoli per lo più spigolosi poco arrotondati, in matrice arenaceo-limosa spesso cementata.

La successione stratigrafica delle formazioni che interessano l'area (dal Paleozoico al Quaternario) è stata oggetto di numerosi studi specialistici, a cui si fa esplicito riferimento anche nelle Note Illustrative alla carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio 194 "Ozieri" utilizzate come base di conoscenze per la stesura della presente relazione.

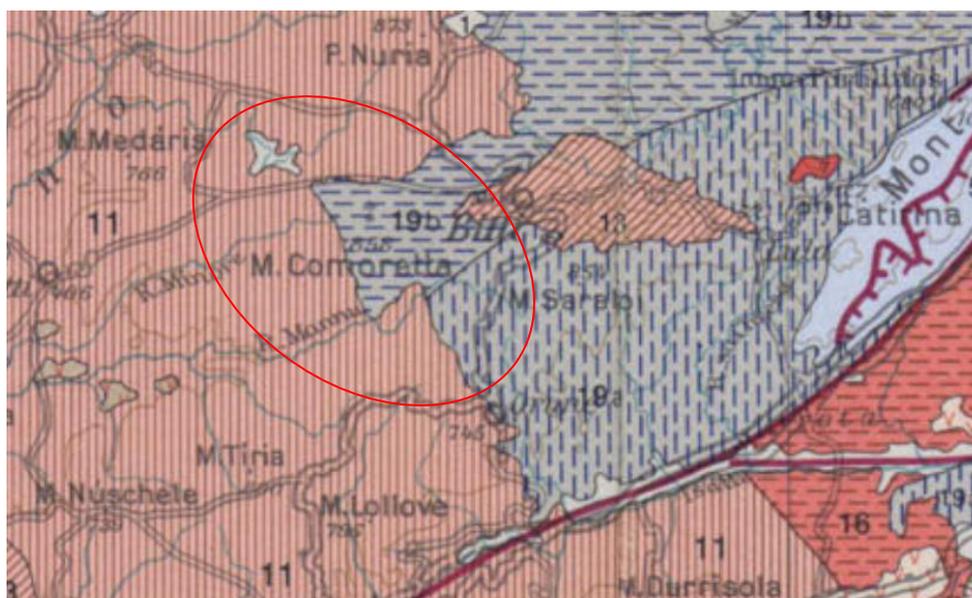


Figura 5.2- Stralcio "Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna" - 1972

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:

b - Depositi alluvionali. OLOCENE. Sono presenti, in esigui spessori, lungo i fondovalle laddove l'energia di trasporto è tale da permetterne il deposito.

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

BTUb – Facies Orune (UNITÀ INTRUSIVA DI BENETUTTI). Granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm; tessitura orientata per flusso magmatico. CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

PROGETTO DEFINITIVO

BUDb - Facies S. Reparata (UNITÀ INTRUSIVA DI BUDDUSÒ). Monzograniti equigranulari, a marcata tendenza leucocrata, a grana da media a medio-fine, tessitura orientata. CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

OSCa - Facies Punta Gomoretta (UNITÀ INTRUSIVA DI SOS CANALES). Graniti a cordierite, andalusite e muscovite, a grana media, inequigranulari, porfirici per rari fenocristalli di Kfs biancastri di taglia fino a 3-4 cm, tessitura isotropa. CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

LUL - FILLADI DI LULA. Filladi, filladi carboniose, quarziti con subordinate metarenarie quarzoso-micacee. ?CAMBRIANO-?CARBONIFERO

5.2. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

A nord dell'Unità di Meana Sardo fino al Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica della Sardegna Nord-Orientale, affiorano metamorfiti di basso e medio grado che costituiscono il complesso delle falde interne. Nell'alto Sarcidano e Barbagia, tettonicamente sovrapposto al di sopra delle formazioni siluriano-devoniane dell'Unità di Meana Sardo, affiora un potente complesso epimetamorfico costituito prevalentemente da una successione terrigena nota in letteratura come "Postgotlandiano". Tale complesso costituisce il nucleo della sinforme della Barbagia e a nord buona parte dei monti del Gennargentu. In generale le falde interne mostrano molte affinità con le altre unità tettoniche della Sardegna centro-meridionale, ma se ne differenziano per importanti caratteri strutturali e stratigrafici, essendo segnate da due eventi plicativi isoclinali ed una ricristallizzazione metamorfica leggermente più elevata.⁴

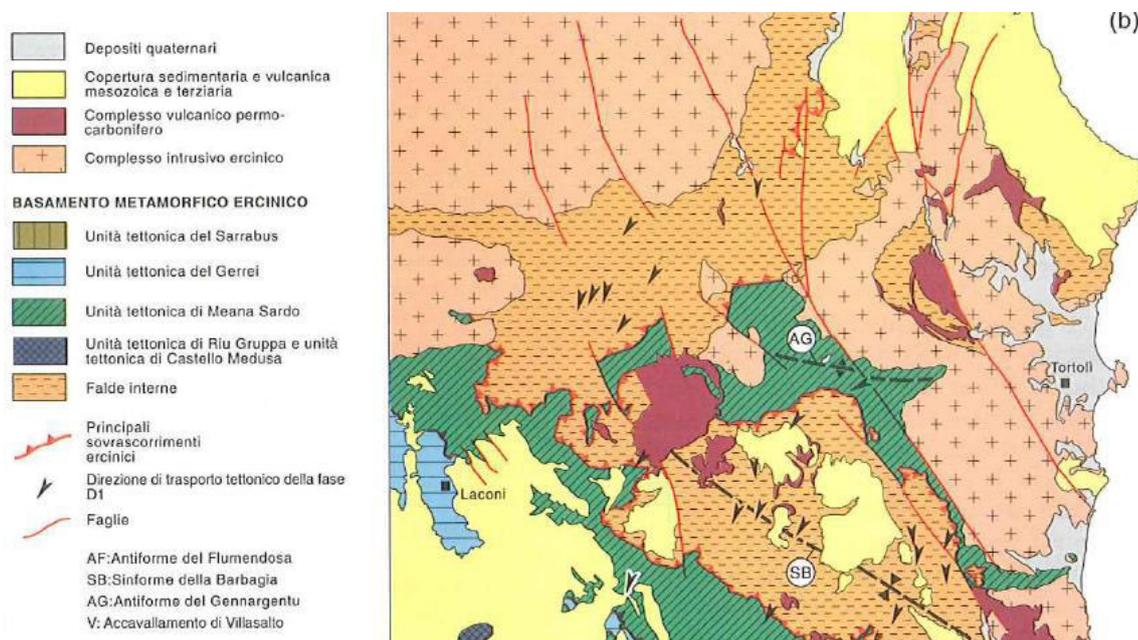


Figura 5.3 - Schema tettonico del Basamento Paleozoico

⁴ Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia 1:200.000, Servizio Geologico Nazionale vol.LV

PROGETTO DEFINITIVO

5.3. SITUAZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA INTERESSATA DALL'INTERVENTO

¹L'area su cui andranno realizzati gli interventi in oggetto sono caratterizzati per la maggior parte dall'affioramento della successione metamorfica paleozoica, che si presenta in diverse facies composizionali che vanno dai termini filladici più diffusi, alle metarenarie, micascisti e quarziti secondarie, con laminazioni piano parallele ed incrociate.

Le rocce metamorfiche, come detto, affiorano nella gran parte del territorio interessato dallo sviluppo del progetto: i graniti sono presenti unicamente nella parte occidentale del settore 1 (versante ovest del rilievo P.ta Gomoretta): essi si presentano, alla scala dell'affioramento, in prevalenza in facies massiva, fratturati; talvolta, in modo sporadico, il grado di fratturazione ne determina l'alterazione, con l'arenizzazione degli strati più superficiali.

Sia il Complesso metamorfico che quello intrusivo risultano diffusamente attraversati dal sistema filoniano tardo-ercinico a chimismo sia acido che basico, la cui messa in posto è ascrivibile alle fasi distensive post-orogenetiche: essi delimitano le quote in rilievo dell'area e le principali morfo-strutture del paesaggio in ragione della loro bassa suscettibilità all'erosione.

La roccia, per effetto degli stress tettonici subiti, si presenta localmente intensamente fratturata, pervasa da più sistemi di frattura e piani di scistosità, i quali come detto per i graniti ma in generale interessa anche il basamento metamorfico, in funzione della loro persistenza e frequenza, favoriscono i processi di alterazione chimica, che talvolta, isolatamente, interessano il primo strato superficiale in affioramento.

La scistosità della roccia metamorfica varia relativamente spesso, anche entro zone ristrette, tuttavia si è rilevata una certa prevalenza delle direzioni comprese tra N-S e NE-SW, con immersione verso E o SE: negli areali ove si hanno maggiori pendenze, è stato riscontrato come tali direzioni di immersione coincidano con l'inclinazione del pendio, ritrovandosi in condizioni di franapoggio sul versante. Tale caratteristica determina delle locali situazioni di instabilità morfologica, evidenziato da fenomeni di scorrimento superficiale interessanti i detriti superficiali poggianti sopra il basamento.

Nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione 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, sia in relazione alla maggiore componente fine presente (filladi carboniose piuttosto che metarenarie) sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio.
- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

PROGETTO DEFINITIVO

6. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

6.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

L'area oggetto di studio riceve le acque dei due bacini idrografici del Fiume Tirso e del Fiume Posada. Il regime delle acque di questa rete di drenaggio, data la conformazione geomorfologica dei bacini stessi è di tipo torrentizio. Il reticolo minore, di tipo effimero, viene attivato dalle piogge intense e contribuisce allo smaltimento delle acque. Il trasporto solido è limitato a deboli accumuli di fondo alveo laddove presenti.

Il reticolo idrografico della zona in esame è influenzato dall'assetto strutturale e dalla litologia affiorante. Poiché i settori indagati sono rappresentati dai rilievi costituenti le testate dei bacini idrografici presenti, l'idrografia superficiale della zona è poco sviluppata: i bacini idrografici che alimentano i corpi idrici sono di modeste dimensioni e non sono presenti corsi d'acqua naturali. Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle, nei settori a nord e a sud delle aree indagate: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni.

Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione interessanti coltri alluvionali di spessore rilevante (Riu Mannu, Rio Marreri e Riu Mannuri). Complessivamente, le forti pendenze dei versanti non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche: la circolazione idrica profonda è di modesta entità, e si riflette nello scarso numero di sorgenti in tutta l'area.

Da un punto di vista idrogeologico, in riferimento alla capacità di assorbimento, il substrato impermeabile è rappresentato sia dai termini metamorfici e sia dai termini intrusivi in facies litoide, affioranti in tutta l'area: i sistemi di fratturazione presenti nel basamento impermeabile consentono una permeabilità secondaria per fratturazione, con parziale infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano la circolazione idrica profonda, soprattutto negli areali dove è presente la coltre detritica e di alterazione del substrato, comunque di modesto spessore.

Altre informazioni di dettaglio, di sostegno alla definizione del sistema di circolazione idrica sotterranea, sono state dedotte da dati di perforazioni prossime al sito di interesse, resi disponibili dall'ISPRA - Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo (pozzo cod.n. 195866, distante circa 3000m dal lotto e riportato di seguito) che individua l'inizio di circolazione idrica sotterranea di interesse a partire da 53m da p.c. su litologie granitiche.

Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

Scheda indagine		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
Codice: 195866 Regione: SARDEGNA Provincia: NUORO Comune: BITTI Tipologia: PERFORAZIONE Uso: IRRIGUO Profondità (m): 96.00 Quota pc sim (m): 730 Anno realizzazione: 2005 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 1.2 Portata esercizio (l/s): 0.8 Numero falde: 2 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): ND Numero strati: 4 Longitudine ED50 (dd): 9.325277 Latitudine ED50 (dd): 40.505668 Longitudine WGS84 (dd): 9.324308 Latitudine WGS84 (dd): 40.505663 (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0	96	96	240	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	53.8	54.2	0.4000000000000006		
2	86	86.6	0.5999999999999994		
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
MAG / 2005	26.2	67.2	41	1	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	0.3	0.3		TERRENO VEGETALE SUBSTRATO PEDOLOGICO
2	0.3	8.3	8.0	PALEOZOICO	SUBSTRATO GEOLOGICO ALTERATO GRANITI DEL PALEOZOICO
3	8.3	30.3	22.0	PALEOZOICO	SUBSTRATO GEOLOGICO FESSURATO GRANITI DEL PALEOZOICO ALTERATO DA AZIONI MECCANICHE
4	30.3	96	65.7	PALEOZOICA	MATRICE GEOLOGICA COMPATTA GRANITI DEL PALEOZOICO

⁵ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

PROGETTO DEFINITIVO

7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

7.1. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

⁶Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da un esteso altipiano, la cui forma prevalentemente pianeggiante è il risultato della graduale demolizione del rilievo ercinico ad opera degli agenti erosivi, avvenuta alla fine dell'orogenesi ercinica, che ha portato alla formazione di una estesa superficie erosionale in rilievo, con il denudamento delle rocce paleozoiche che costituiscono il basamento affiorante. I fenomeni di sollevamento tettonico recente hanno ridefinito la morfologia del paesaggio con la ridefinizione della superficie erosionale post-ercinica, oggi solcata da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti.

Il territorio indagato rientra nella fascia altimetrica collinare - montana, essendo compreso tra 850 e 650 metri sul livello del mare. L'affioramento prevalente dell'unità litologica del Complesso metamorfico determina una monotonia del paesaggio, caratterizzato per lo più da forme arrotondate e poco acclivi.

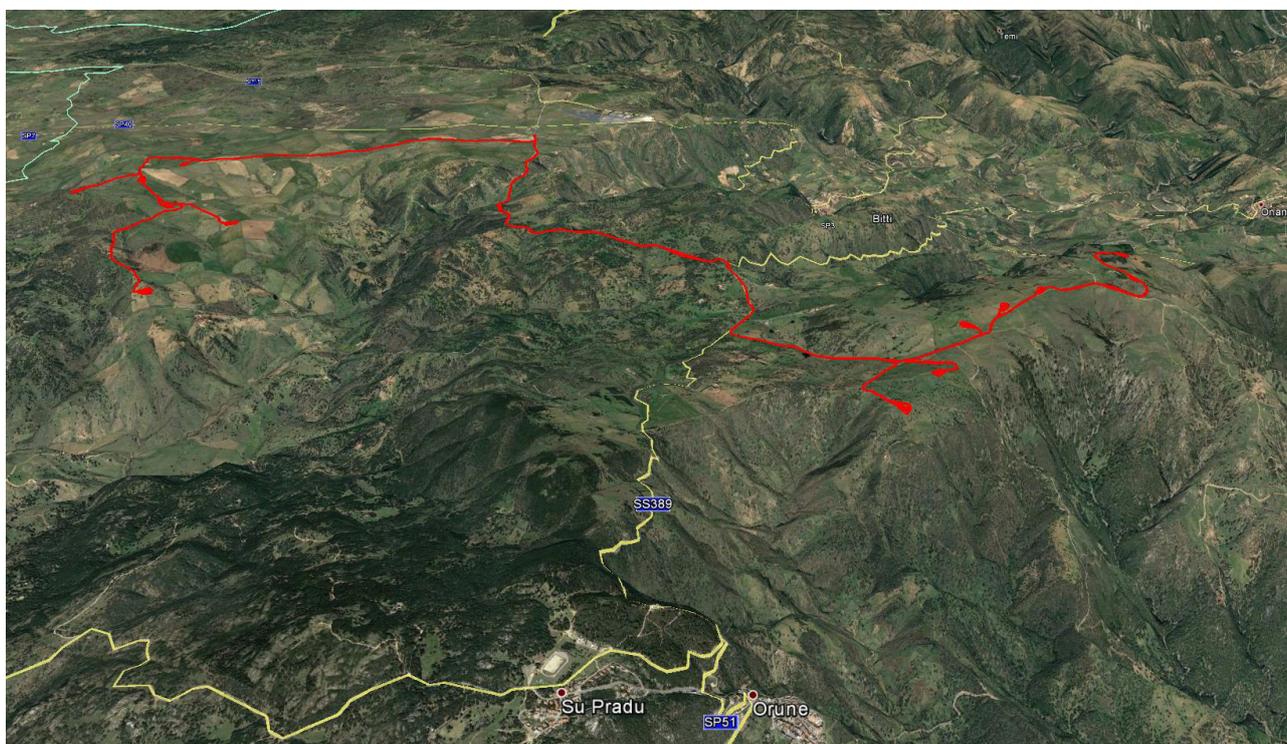


Figura 7.1- Vista da Sud del sistema di rilievi e valli che caratterizzano l'area di impianto del Parco "Eolico Gomoretta" (in rosso)

I due settori in esame presentano dunque caratteristiche morfologiche molto simili, con aspetto prevalentemente collinare, essendo entrambi caratterizzati da ampi altipiani sub-pianeggianti, che ricordano i rilievi collinari dalle forme rotonde posti a quote più elevate, la cui regolarità morfologica è spezzata raramente da incisioni torrentizie profonde.

L'uniformità del paesaggio collinare è localmente interrotta dall'affioramento dei filoni a chimismo acido che smembrano l'ammasso scistoso, spesso ricoperto da colture erbacee e da vegetazione arborea, tali filoni sono manifesti come roccia affiorante, intensamente fratturata e dalle forme aspre. Al di sopra del substrato metamorfico e granitico sono adagate le coperture detritiche di versante, soprattutto in corrispondenza dei versanti più acclivi, dove sovente

⁶ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

PROGETTO DEFINITIVO

sono soggetti a processi erosivi ad opera delle acque di ruscellamento superficiale, che si incanalano lungo gli impluvi naturali presenti marginalmente all'area indagata.

7.2. 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.

Settore 1 - si sviluppa su un altipiano in prevalenza sub-pianeggiante (Figura 9) con altezza media di 820 m s.l.m. avente forma allungata secondo direzione prevalente W-E, dal rilievo Punta Gomoretta (852 m s.l.m.) seguendo uno sviluppo verso E fino al pianoro in loc. Su Truncu, a W dal centro abitato. Alle quote più elevate di tale altipiano saranno impostati gli aerogeneratori in progetto, in aree per lo più pianeggianti o sub-pianeggianti, morfologicamente stabili. Allo stato attuale tutto il settore è adibito a colture estensive ed erbai per l'allevamento, attività unica nell'area di indagine, che mostra una elevata pietrosità con un suolo poco sviluppato di massimo 20 cm di profondità e diffusa roccia affiorante. Tale altipiano rappresenta lo spartiacque che divide le acque di ruscellamento superficiale rispettivamente verso N, facendole confluire lungo il Rio de Lughei, corso d'acqua che scorre secondo direzione E-W, e si immette sul Fiume Tirso più a NW in territorio di Osidda, mentre le acque che drenano verso S vengono raccolte dal Rio Mannuri che anch'esso scorre lungo direzione W-E e confluisce più a SW sul Fiume Tirso in comune di Benetutti.

Il crinale viene lambito dalle aste tributarie di primo e secondo ordine dei suddetti rii, i cui versanti presentano pendenze sempre inferiori al 15%.

L'area è collegata da una serie di strade poderali e camminamenti, la maggior parte sterrate, che seguono nella maggioranza dei casi le linee di minor pendenza dei rilievi collinari: in esse spesso è visibile la roccia affiorante. Tali strade saranno riprese in fase di esecuzione lavori e saranno utilizzate per la viabilità interna per l'accesso alle aree di cantiere.

Settore 2 - è anch'esso caratterizzato da un areale in rialzo, prevalentemente pianeggiante, avente forma allungata secondo direzione SW-NE, che dal rilievo Cuccuru Orvine (890 m s.l.m.) sito in comune di Orune, prosegue lungo direzione NE interessando i rilievi di Fruncu Sa Capra (842 m s.l.m.), M.te Saraloi (830 m s.l.m.) e P.ta Zirella (735 m s.l.m.). A differenza del settore 1, i rilievi presentano versanti più acclivi con pendenze medie tra il 20 e 40%: tutti gli aerogeneratori in progetto interesseranno comunque il settore sub pianeggiante sulla sommità dei versanti, caratterizzato da pendenze tra lo 0 e il 15% in aree morfologicamente stabili, così come prescritto dalla delibera DGR 3/17 del 16/01/2009, art. 2.6, che stabilisce che "Nella localizzazione degli aerogeneratori si dovranno escludere i siti caratterizzati da una acclività superiore al 15 %, nonché quelli per i quali vige il vincolo idrogeologico."

Il settore 2 costituisce il displuvio che separa le acque di ruscellamento superficiale che, verso N, parte seguono la direzione del Rio Mannuri verso Ovest, e parte defluiscono verso NE, immettendosi sul Rio Mannu. Le aste torrentizie del settore meridionale, confluiscono a Sud alla vicina valle del Rio Marreri a S di Orune.

Il sistema filoniano, presente in modo diffuso su tutta l'area, assume notevole importanza nella formazione del paesaggio morfologico: avendo caratteristiche mineralogiche e petrografiche più resistenti, risulta più dura e compatta sia del Complesso metamorfico che dello stesso Complesso intrusivo, resistendo maggiormente all'azione disagregatrice degli agenti erosivi. In corrispondenza dell'affioramento dei filoni le forme del rilievo sono più aspre per la loro maggiore resistenza all'erosione.

PROGETTO DEFINITIVO

Il versante meridionale del rilievo Fruncu sa Crapa è caratterizzato da elevati dislivelli che hanno dato origine ad una profonda articolazione morfologica del settore, con la formazione di profonde e strette valli con profilo a "V" e versanti fortemente acclivi. La morfologia, unita alla strutturazione e spesso alla giacitura a franapoggio del basamento scistoso cristallino, determina situazioni di instabilità con distacchi di porzioni di roccia e fenomeni gravitativi interessanti lo strato più superficiale alterato del basamento. Tali i processi erosivi mostrano un graduale e progressivo approfondimento e conseguente arretramento delle scarpate per erosione regressiva.

Settore 3 - La sottostazione Siemens Gamesa sarà adiacente alla nuova stazione di smistamento RTN a 150 kV denominata Buddusò, nel comune di Buddusò. L'area presenta una conformazione in prevalenza pianeggiante e morfologicamente stabile, adibita allo stato attuale a colture estensive per il pascolo. I suoli, anche in questo settore, sono poco sviluppati, raggiungendo una profondità massima di 20 cm, i quali si alternano in affioramento alla roccia granitica con caratteri massivi fin dal piano campagna. All'area si accede in prossimità del km 43 della SS 39, in direzione N in loc. Tilbilche.

Nel complesso in tutta l'area non sono rilevabili alla scala dell'affioramento tracce geomorfologiche riconducibili a vecchie scarpate di frana, mentre scarpate e frane recenti, caratterizzano i settori a maggiore acclività e le porzioni inferiori dei versanti, dove, tra l'altro, i corsi d'acqua principali, esercitano una notevole azione erosiva al piede.

Tuttavia le aree di cresta interessate dallo sviluppo del parco eolico in progetto presentano condizioni geostatiche stabili, infatti non sono stati rilevati processi erosivi in atto tali da indurre modificazioni e squilibri nel tempo; così come non sono stati riscontrati elementi riferibili a processi di frana in atto o potenzialmente prevedibili, neanche nelle aree immediatamente circostanti a quelle interessate dallo sviluppo del progetto.

8. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO

I suoli presenti riflettono le caratteristiche granulometriche e composizionali del substrato. Secondo la classificazione U.S.D.A. Soil Taxonomy-1988, in base alla quale è stata redatta la Carta dei Suoli della Regione Sardegna, in quest'area sono presenti suoli tipici dei substrati sulle metamorfite (Aru et al, Carta dei suoli della Sardegna, 1990).

Profili A-C, A-Bw-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati A tratti: rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro. Forte pericolo di erosione.⁷

Per quanto riguarda l'uso del suolo, l'ambito di progetto si inserisce in un contesto in cui il suolo è prevalentemente utilizzato a pascolo naturale (321), seminativi in aree non irrigue (2111) e macchia mediterranea (1122).

⁷ Carta dei suoli della Sardegna, Aru et alii, 1990

PROGETTO DEFINITIVO

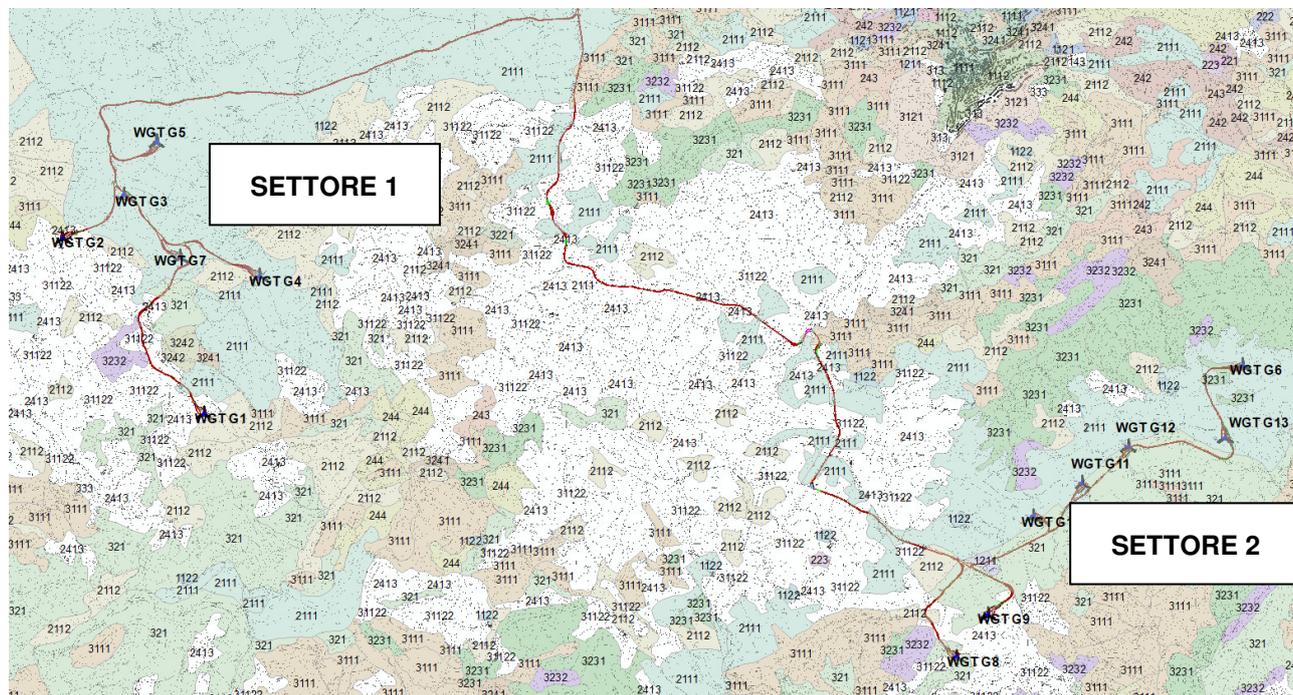


Figura 8.1- Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo Corine Land Cover, RAS 2008

9. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

9.1. PIANO STRALCIO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA SARDEGNA (P.A.I.) E PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (P.S.F.F.)

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".

PROGETTO DEFINITIVO

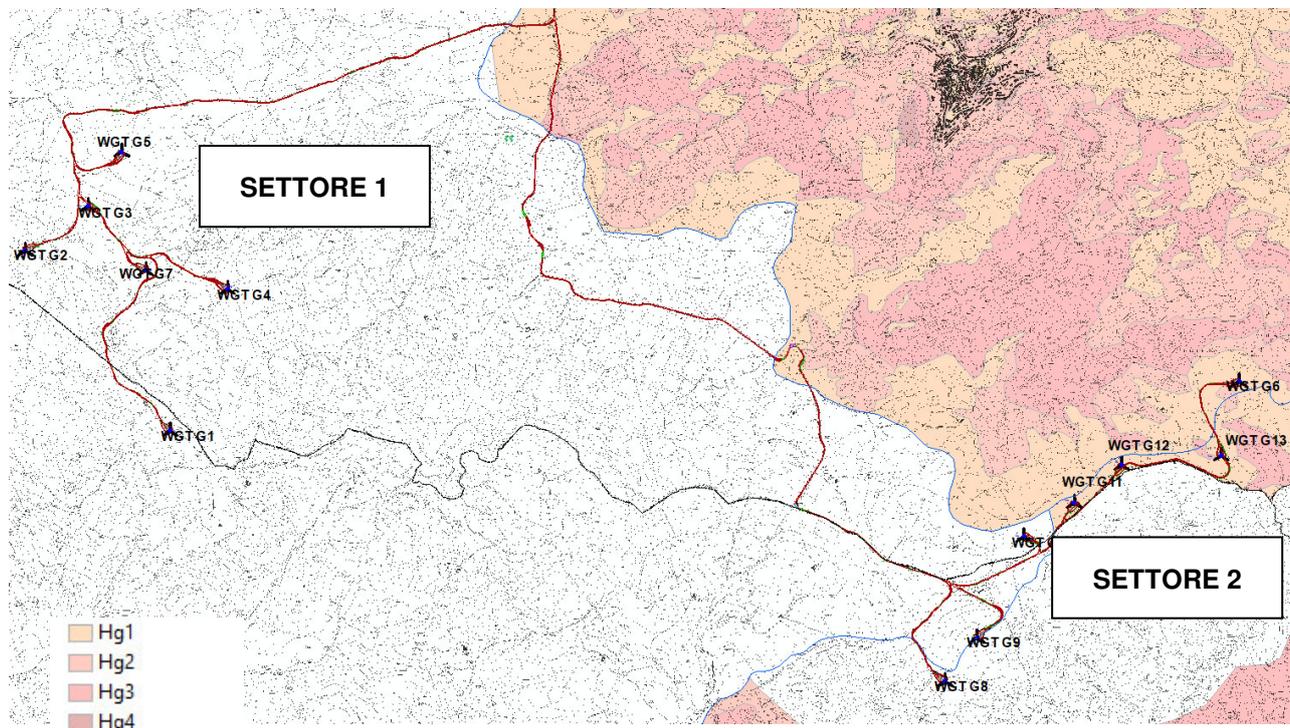


Figura 9.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il PA I individua e perimetra, all'interno dei singoli sub-bacini, le aree a pericolosità idraulica (molto elevata Hi4, elevata Hi3, media Hi2 e moderata Hi1) e a pericolosità da frana (molto elevata Hg4, elevata Hg3, media Hg2, moderata Hg1), rileva gli insediamenti, i beni, gli interessi e le attività vulnerabili nelle aree pericolose, allo scopo di valutarne le condizioni di rischio, individua e delimita, quindi, le aree a rischio idraulico (molto elevato Ri4, elevato Ri3, medio Ri2, moderato Ri1) e a rischio da frana (Rg4, Rg3, Rg2, Rg1).

Nell'area di progetto non sono presenti aree di pericolosità (idraulica) perimetrata nell'ambito del PAI mentre **sono presenti alcune aree di seguito esplicitate a pericolosità geomorfologica.**

In particolare, alcuni tratti della strada di servizio, in località "Errede" tra i due settori ricade in area a pericolosità Hg3. Tutte le turbine sono scevre da vincolo.

9.2. PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF)

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.

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

PROGETTO DEFINITIVO

9.3. AREE PROTETTE

L'analisi relativa all'eventuale presenza di aree SIC, ZPS, Parchi Nazionali, aree incendiate (aggiornate al 2016) ha evidenziato che nell'area di progetto non sussistono i suddetti vincoli.

Aree sottoposte a vincolo idrogeologico ex art.1 del R.D.L.3267/1923: è interessato in buona parte il settore 2 con particolare riferimento alle turbine WGT G6, WGT G8, WGT G9, WGT G11, WGT G12, WGT G13.

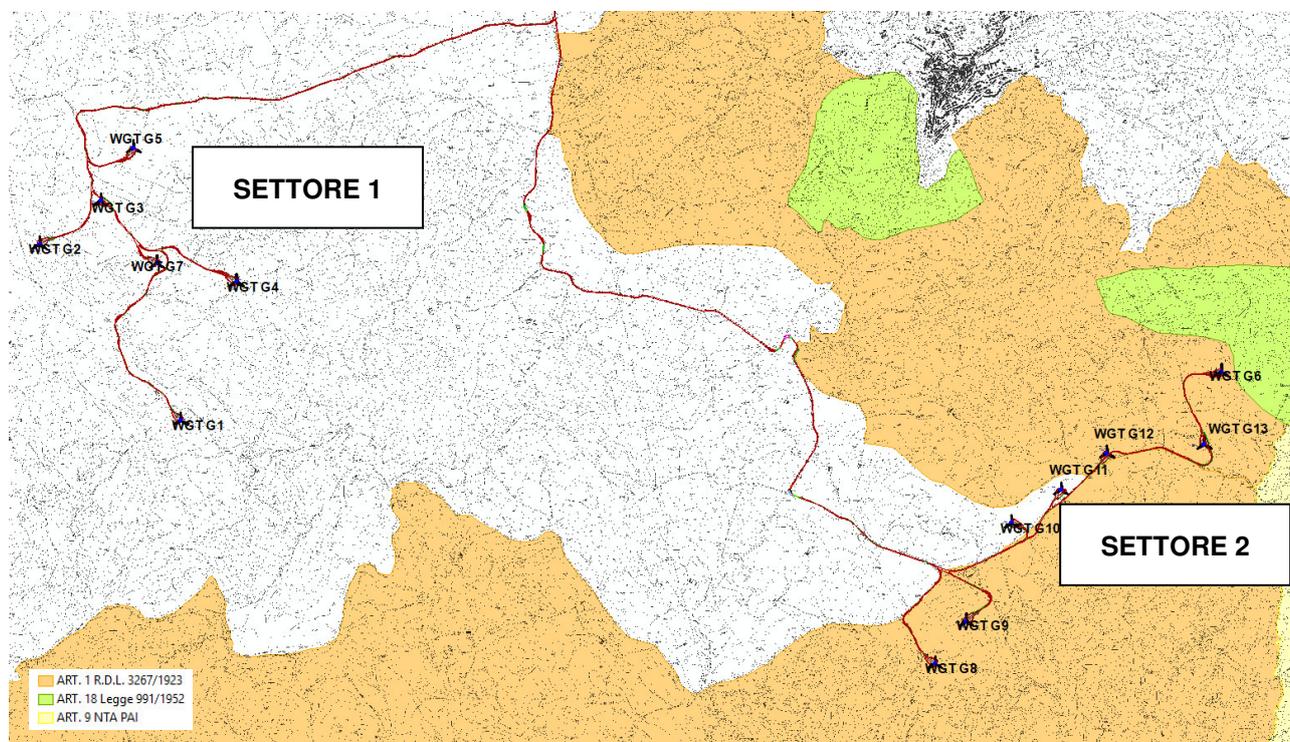
Nello specifico il vincolo ha come scopo principale quello di preservare l'ambiente fisico e quindi di impedire forme di utilizzazione del territorio che possano determinare denudazione, innesco di fenomeni erosivi, perdita di stabilità, turbamento del regime delle acque ecc., con possibilità di danno pubblico. Partendo da questo presupposto detto Vincolo, in generale, non preclude la possibilità di intervenire sul territorio.

L'art. 7 del R.D.L. 3267 postula un divieto di effettuare le seguenti attività:

1. trasformazione dei boschi in altre qualità di coltura;
2. trasformazione dei terreni saldi in terreni soggetti a periodica lavorazione.

La dottrina giurisprudenziale ritiene che nella previsione dell'art. 7 rientri anche l'attività edificatoria perché anch'essa determina sul terreno vincolato una variazione dell'assetto idrogeologico, eventualmente anche più grave di quello previsto con la pura e semplice trasformazione.

L'attività costruttiva legata alla realizzazione delle turbine e delle infrastrutture di servizio è limitata ad una **porzione minima di territorio** caratterizzata da **basse acclività**. Gli interventi previsti pertanto non mutano l'assetto idrogeologico esistente (stabilità dei terreni e regime delle acque).



10. STUDI ED INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Al fine di definire le caratteristiche geologico-geotecniche dei siti di imposta degli aerogeneratori, in aggiunta alle informazioni contenute nella Relazione Geologica circa l'assetto geologico, idrogeologico e geotecnico di area vasta, nel maggio 2013 è stata realizzata una campagna di indagini in sito con l'intento di indagare nello specifico le condizioni geologiche-idrogeologiche e geotecniche nel volume significativo interessato dalle opere di fondazione degli aerogeneratori.

A tale scopo sono stati pertanto realizzati n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, mediante sonda cingolata, della profondità di 5 m ciascuno, dei quali n. 2 nel settore 1, e n. 2 nel settore 2. Nella pianificazione delle indagini è stato inoltre ritenuto utile programmare una serie di prove penetrometriche SPT (Standard Penetration Test) lungo i fori di sondaggio

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti nella seconda decade del mese di maggio 2013, i primi due sono stati eseguiti lungo la strada comunale in località Fruncu sa Capra (settore 2), i restanti lungo la strada in località Gomoretta (settore 1). L'ubicazione dei sondaggi è stata stabilita in modo tale da avere un quadro uniforme dei due settori oggetto di indagine, al fine di avere un quadro geometrico ben definito sull'andamento del basamento lapideo in profondità.

Di seguito viene riportata l'ubicazione delle indagini:

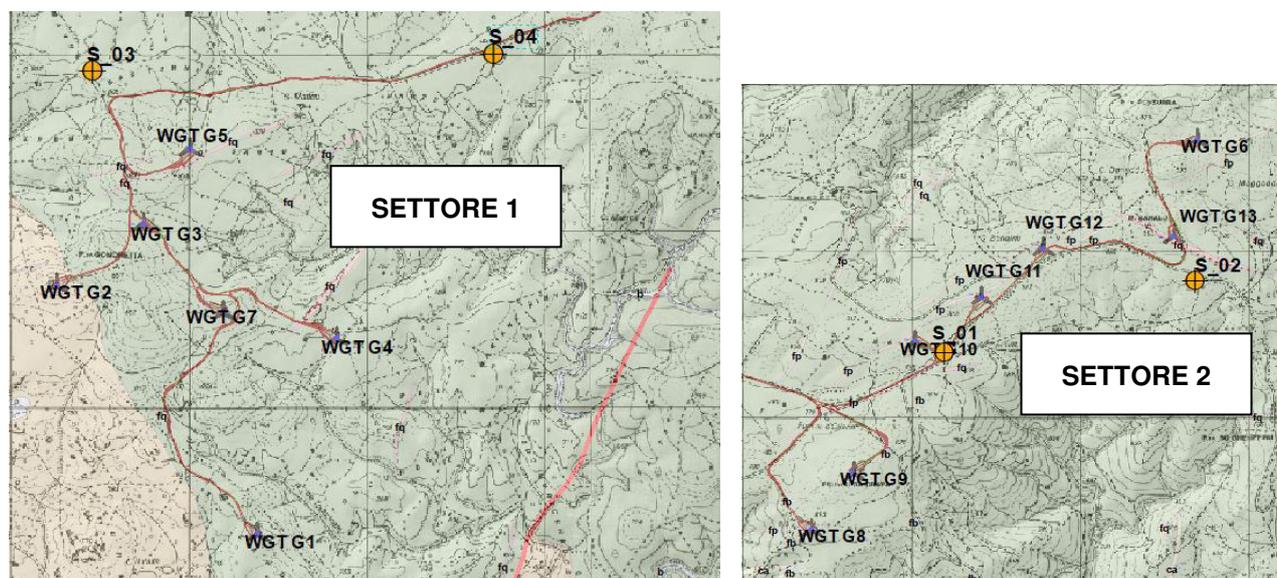


Figura 10.1- Ubicazione delle indagini geognostiche

Sondaggio	Località	Coordinate EST (GB)	Coordinata NORD (GB)	Profondità (m)	SPT quota (m da p.c.)	Nspt
S_01	F.na Bonanotte	1533157	4477204	5,00	1,05	27-38-42
S_02	Neulache	1534652	4477643	5,00	0,50	35-48-R
RS_03	Sas Tennias	1525395	4480715	5,00	0,40	42-47-R
S_04	Badde e Terrinu	1525395	4480715	5,00	-	-

Su tutte le verticali, in generale superati i primi 5-10cm di suolo vegetato, si incontra uno strato di roccia alterata dello spessore che varia da 40cm a 100cm per poi passare alla roccia sana. Durante i sondaggi sono state effettuate delle prove penetrometriche standard (SPT) per definire i parametri geotecnici dello strato alterato della roccia.

In questa campagna non sono stati effettuati sondaggi sulle litologie intrusive, di particolare interesse per l'aerogeneratore WGT G1 e WGT G2 . Pertanto per questi si farà riferimento a dati di campagna e di letteratura.

Di seguito si riportano le immagini delle cassette catalogatrici relative ai quattro sondaggi.

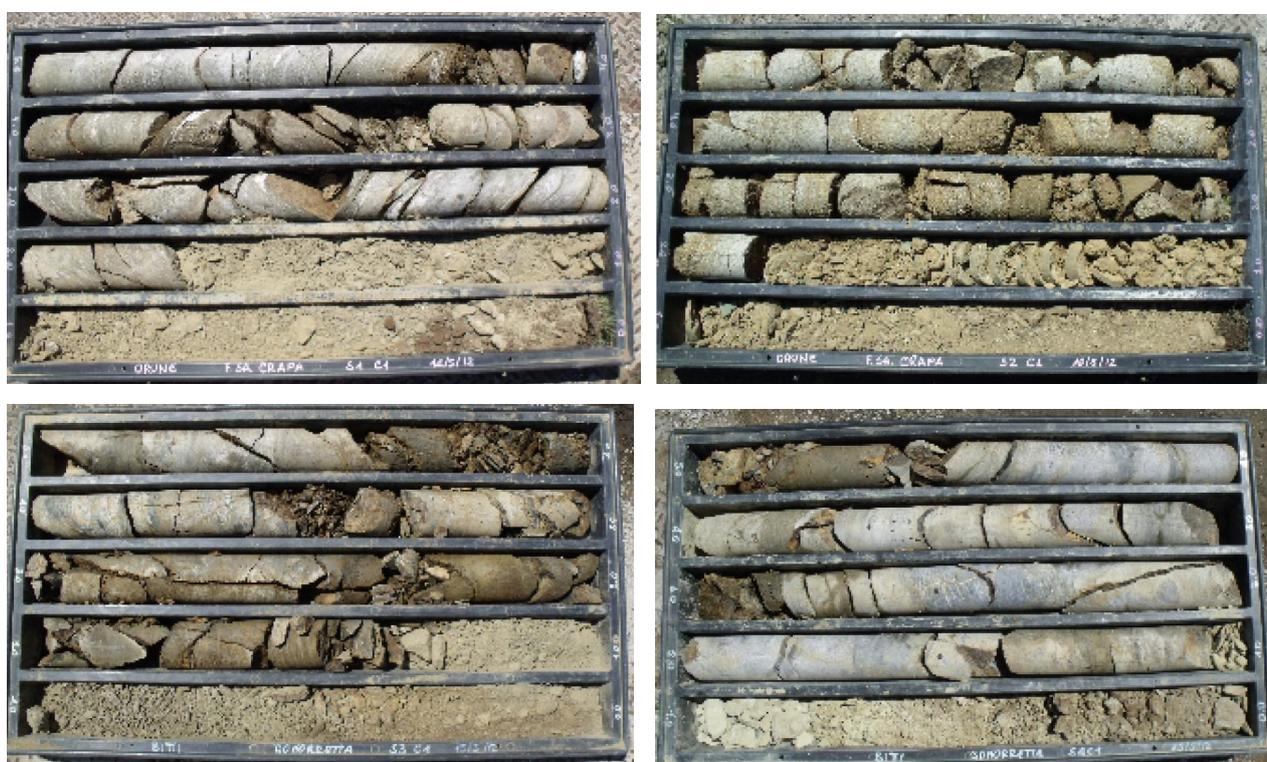


Figura 10.2- Esiti del carotaggio, in ordine S_01, S_02, S_03 e S_04

In Allegato 1 le stratigrafie di dettaglio.

11. MODELLO GEOLOGICO DI SITO

Sulla base dei dati raccolti è stato quindi possibile definire il modello geologico del sito che viene di seguito riassunto.

Se per il Settore 2 il modello è uniforme, caratterizzato dalla costante presenza del litotipo A (metamorfiti) al quale si appoggia uno strato di spessore variabile di roccia alterata, per il Settore 1 alcune turbine sono impostate su limite di passaggio tra le metamorfiti e le rocce intrusive granitoidi. Pertanto, si ritiene di dover distinguere due modelli geologici su cui fare riferimento.

PROGETTO DEFINITIVO**11.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 01**

Settore 2 e Settore 1 (WGT G2, WGT G3, WGT G4, WGT G5, WGT G6, WGT G7, WGT G8, WGT G9, WGT G10, WGT G11, WGT G12, WGT G13)

- 0,15m – 0,50m di spessore **LITOTIPO A** – suolo più o meno evoluto, con frammenti vegetali, colore bruno
- 0,30m – 1,30m di spessore **LITOTIPO B** – alterazione della roccia sottostante metamorfica, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa.
- da profondità variabile da 0,45m a 1,70m da p.c. – **LITOTIPO C** – roccia metamorfica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso.

11.2. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 02

Settore 1 (WGT G1) (da verificare con indagini dirette)

- 0,30m di spessore **LITOTIPO A** – suolo più o meno evoluto, sabbioso con frammenti vegetali, colore bruno/beige
- 0,30m – 1,00m di spessore **LITOTIPO B** – alterazione della roccia madre sottostante, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa.
- da profondità variabile da 0,45m a 1,70m da p.c. – **LITOTIPO D** – roccia granitica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso.

PROGETTO DEFINITIVO

12. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE NTC2008

12.1. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2008 - par.2.4) ha **vita nominale ≥ 50 anni** (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni...) essendo la vita media di un impianto eolico di 20-25 anni e appartiene alla **classe d'uso II**.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II. Nel Caso specifico **$C_U = 2$** .

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Il valore del periodo di riferimento è **$V_r = 100$**

Amplificazione stratigrafica e topografica: Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica

La **categoria topografica è la T1** a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

PROGETTO DEFINITIVO

Al fine di definire l'azione sismica di progetto, basata sull'identificazione della categoria del sottosuolo di riferimento, si è voluto definire il parametro fondamentale per la "classificazione sismica dei terreni", e quindi per la determinazione della categoria, corrispondente alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS 30, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna.

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 14/01/2008 - Tab. 3.2.II, la determinazione del parametro delle onde di taglio VS 30 viene qui stimato in funzione del parametro NSPT (Numero di colpi) che si ricava dall'omonima prova SPT Standard Penetration Test eseguita e descritta nel precedente paragrafo, sulla base di molteplici equazioni empiriche che mettono in relazione VS 30 e NSPT.

In funzione dei valori numerici NSPT ricavati mediante le prove penetrometriche dinamiche, è stata utilizzata la correlazione empirica di Ohta & Goto (1978), che si ritiene in questo caso la più cautelativa nel calcolo del parametro VS, rispetto alle correlazioni di altri autori come Imai (1977), Yoshida e Motonori (1988) e Iysan (1996), le quali determinano valori maggiori del parametro VS.

La formula di Ohta e Goto (1978), valida per tutti i tipi di terreni, è di seguito rappresentata:

$$V_s = 85,35 \text{ NSPT}^{0,348}$$

I valori di VS così ricavati nel sito di indagine, per i primi strati di terreno rilevati, su cui sono state eseguite le prove dinamiche, sono elencati nella seguente tabella:

SONDAGGIO	Nspt	Vs
S1	42	313,39
S2	48	328,30
S3	47	325,90

Categorie di sottosuolo: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. Dai dati di Nspt è stato possibile determinare il valore di Vs, pertanto la classe di sottosuolo risulta essere la C. (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

PROGETTO DEFINITIVO

13. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC. (SW AZTEC Sisma 10.0 e GEOSTRU PS):

	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [--]	T_C^* [s]
SLO	30	0.183	2.610	0.273
SLD	50	0.231	2.670	0.296
SLV	475	0.490	2.880	0.340
SLC	975	0.591	2.980	0.372

Figura 13.1 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

Dove:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di Danno (SLD)

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):

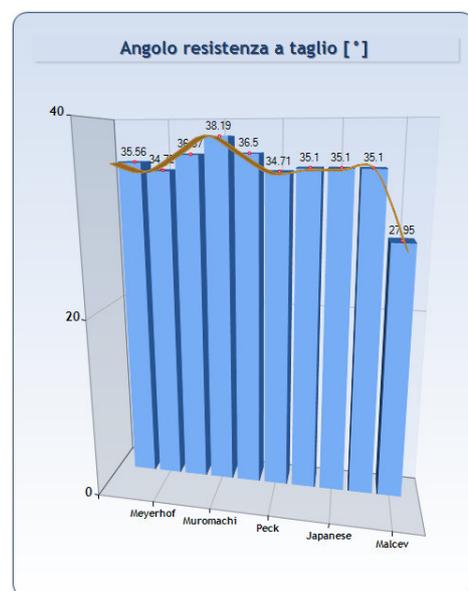
PROGETTO DEFINITIVO

14. CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE E DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

14.1. CARATTERIZZAZIONE DEL LITOTIPO B

Sulla base dei dati ricavati dalle prove SPT nei tre sondaggi S_01, S_02 e S_03, attraverso l'ausilio di formule di correlazione si possono ricavare i parametri geotecnici del litotipo. In assenza di altre prove, considerando il grado di alterazione possibile e la sua distribuzione si è scelto di valutare i parametri che seguono utilizzando il più basso valore di N_{spt} registrato ossia 27. Resta inteso che le stesse dovranno essere validate da indagini dirette su ogni postazione.

Incoerenti	Coesivi
Densità relativa [%] [Dr]	
Bazara=53.31	
Meyerhof=56.73	
Angolo di resistenza a taglio [°] [i]	
Sowers=35.56 (Sabbie a profondità minore di 4mt)	
Meyerhof=34.72 (Sabbie e sabbie limose)	
Velocità onde di taglio [m/s] [Vs]	
Ohta=158.10 (Limo, sabbie, ghiaie)	Depositi recenti
Lee=303.29 (Limo, sabbie, argille)	
Dikmen=214.05 (Limo, sabbie, argille)	
Peso unità volume [t/m³] [g]	
Meyerhof=2.10 (Assenza di falda)	
Terzaghi=2.50 (Presenza di falda)	
Modulo edometrico [Kg/cm²] [Ed]	
Menzenbach=320.42 (Sabbia e ghiaia)	Sabbia e ghiaia
Begemann=338.70 (Sabbia e ghiaia)	
Modulo elastico [kg/cm²] [E _y]	
Bowles Sabbia argillosa=134.40 (Sabbia argillosa)	
Bowles Sabbia limosa e Limo sabbioso=99.00 (Sabbia limosa e Limo sabbioso)	
Modulo di taglio [kg/cm²] [G]	
Robertson=936.43 (Sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0.5 - 4.0 kg/cmq)	
Coefficiente di Poisson [n]	
Poisson Fi=38.97=0.27 (Angolo di resistenza a taglio di: 38.97)	
Poisson Fi=34.72=0.30 (Angolo di resistenza a taglio di: 34.72)	
Liquefazione	
NSPT Normalizzato Tensione Efficace=12.405	
Sforzo Taglio Ciclico Indotto Sisma=0.184	



14.2. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO – LITOTIPI C E D

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione degli aerogeneratori si appoggia si è adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrutturali rilevati in sito⁸ in pareti esposte, laddove disponibili, e dai dati derivanti dai sondaggi geognostici.

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

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

⁸ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

PROGETTO DEFINITIVO

dove:

σ'_1 e σ'_3 = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

mb = costante d'ammasso

s ed a = costanti d'ammasso

σ_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

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

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 14.1 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

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:

1) Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength - IUCS):

Nello specifico, laddove è stato possibile effettuare misure sclerometriche, si è utilizzato tale valore come rappresentativo del parametro IUCS.

2) Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso.

Tale indice è stato introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995) e può essere definito sulla base delle caratteristiche d'ammasso o sulla base di un confronto diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniaski.

PROGETTO DEFINITIVO

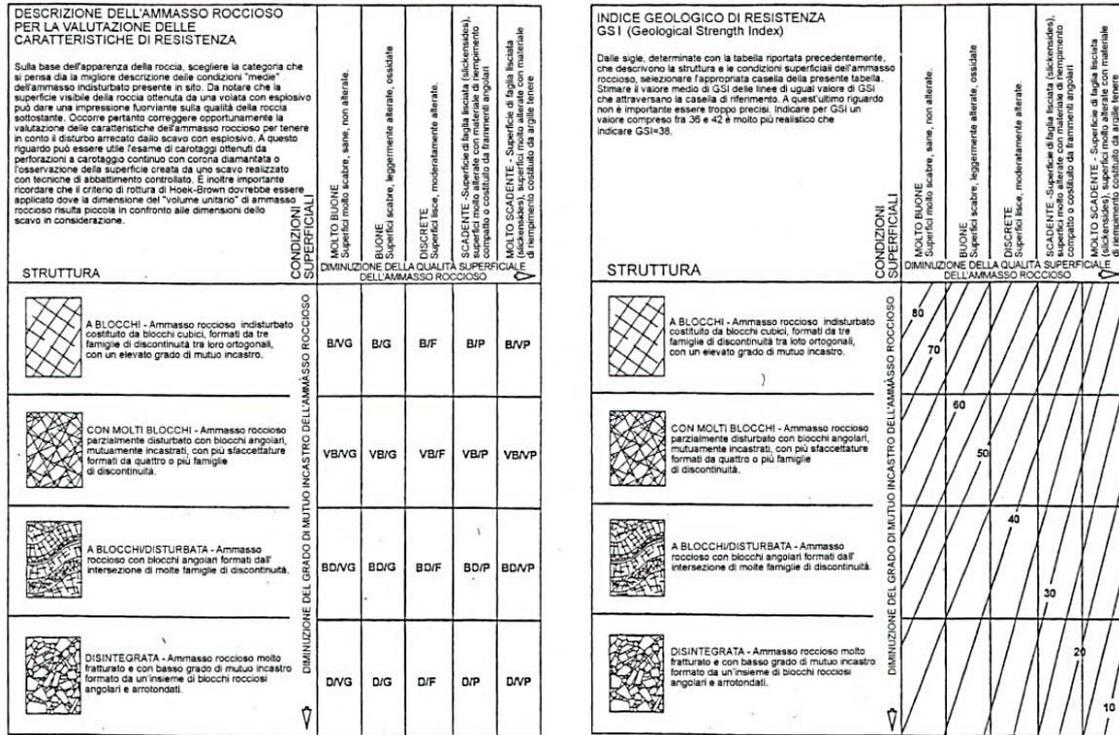


Figura 14.2 - Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.

3) Determinazione della costante mi (funzione del tipo di roccia)

I valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e m_i) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio.

In assenza di prove di laboratorio si può anche fare riferimento a quanto riassunto nelle tabelle che

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			Calcare bianco (7)		
		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_i sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

seguono.

Figura 14.3 - Valori della costante m_i , per diversi tipi di roccia

Sulla base di queste caratteristiche si ottengono i seguenti valori di m_b , s , a

PROGETTO DEFINITIVO

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

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

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

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 tabella seguente:

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1' = \sigma_3' + \sqrt{m_j a (\sigma_1' - \sigma_3')^2 + s \sigma_3'^2}$ <p>σ_1' = tensione efficace principale massima σ_3' = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(\sigma_3')}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argillite, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, diabasi, olivine e rocce</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolette, gabbro, gneiss, norite, 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: 7.00 s: 1.00	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: 2.40 s: 0.082	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: 0.575 s: 0.00293	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: RMR = 44</p> <p>Indice NGI: Q = 1</p>	m: 0.128 s: 0.00009	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: 0.029 s: 0.000003	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: 0.007 s: 0.0000001	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 Ricerca (Bieniawski 1974)
NGI Norway Geotechnical Institute (Barton 1974)

Figura 14.4 - Correlazione fra i valori di m, s, l'indice RMR ed il tipo di roccia

LITOTIPO C - metamorfiti

PROGETTO DEFINITIVO

Standard ISRM = La roccia si frattura solo dopo molti colpi di martello
Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm
Somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (Lc) =700 mm
Spaziatura delle discontinuità (s)=0,2 m
Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m
Apertura del giunto = 0,1 - 1 mm
Giunto - rugoso
Pareti - non alterate
Riempimento - compatto > 5 mm
Roccia – umida

Hoek-Brown Classification

sigci 295 MPa

GSI 65

mi 20

D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 1.642

s 0.0029

a 0.502

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(mb \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: General

sig3max 73.7500 MPa

Mohr-Coulomb Fit

c 14.632 MPa

phi 30.35 deg

Rock Mass Parameters

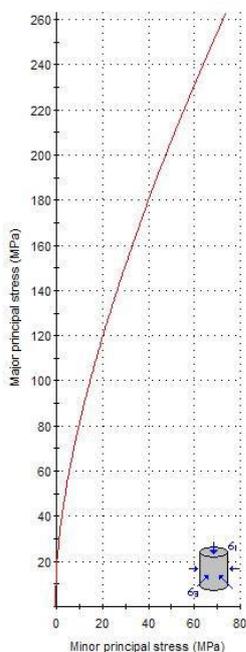
sigt -0.5262 MPa

sigc 15.781 MPa

sigcm 51.258 MPa

Em 11856.87 MPa

Copy Data



Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 295 MPa
GSI = 65 mi = 20 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
mb = 1.642 s = 0.0029 a = 0.502

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 14.692 MPa friction angle = 30.35 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.526 MPa
uniaxial compressive strength = 15.781 MPa
global strength = 51.258 MPa
modulus of deformation = 11856.87 MPa

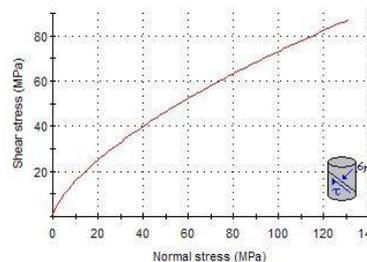


Figura 14.5 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso metamorfico (RoscScience – RocDATA)

LITOTIPO D – graniti

Standard ISRM = La roccia si scheggia solamente
Numero medio di giunti per metro (n) =11
Spaziatura delle discontinuità (s)=0,15 m
Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m
Apertura del giunto = 0,1 - 1 mm
Giunto - rugoso
Pareti - non alterate
Riempimento - compatto < 5 mm
Roccia – umida

PROGETTO DEFINITIVO

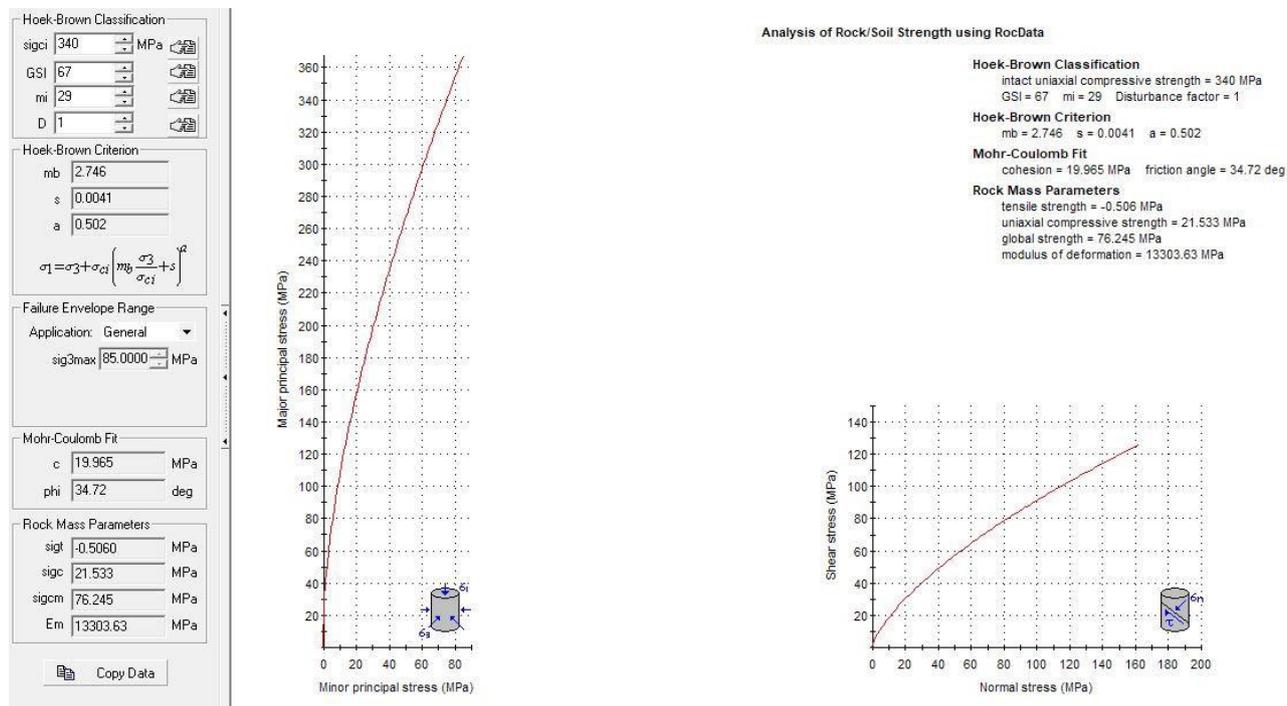


Figura 14.6 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso intrusivo (RocScience – RocDATA)

15. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO DEL SITO

Il modello geologico individuato vede poi nella parametrizzazione dei litotipi la definizione del modello di comportamento meccanico del sito o modello geotecnico.

Di seguito i parametri di riferimento per la progettazione geotecnica per i singoli litotipi.

- LITOTIPO B** Peso Volume naturale: 2,10 g / cm³
Peso Volume saturo: 2.50 g / cm³
Coesione: 0 Kg / cm²
Angolo di attrito: 34,72 °
- LITOTIPO C** Peso Volume: 2,5 g / cm³
Coesione di picco (MPa): 14,69
Angolo di attrito di picco (°):30,35
Modulo di deformazione (MPa): 11857
- LITOTIPO D** Peso Volume: 2,6 g / cm³
Coesione di picco (MPa): 19,96
Angolo di attrito di picco (°):34,72
Modulo di deformazione (MPa): 13304

Essendo questi ricavati per via empirica e sulla base di soli 4 sondaggi, pertanto non sufficientemente rappresentativi delle condizioni fisico-meccaniche locali si suggerisce, in fase esecutiva, la realizzazione di una campagna di indagini mirata alla conferma/definizione dei parametri suddetti alla scala del singolo aerogeneratore.

PROGETTO DEFINITIVO

15.1. AZIONI E RESISTENZE NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

La nuova normativa sulle costruzioni prevede i coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni indicati nella Tab. 6.2.I. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 delle NTC. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione ψ_{ij} devono essere assunti come specificato nel Cap. 2.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nel caso specifico di fondazioni superficiali come quella in progetto [6.4.2] "si considerano azioni sull'opera di fondazione quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi, all'acqua, ad eventuali ancoraggi presollecitati, ad urti e collisioni, alle variazioni di temperatura e al ghiaccio.

Per quanto concerne i sovraccarichi si deve tener conto della eventuale presenza di costruzioni, di depositi di materiale, di veicoli in transito, di apparecchi di sollevamento.

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

PROGETTO DEFINITIVO

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
		γ_M		
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale q_u deve essere applicato un coefficiente parziale $\gamma_{qu}=1,6$. Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

Nello specifico, la normativa evidenzia anche che ...[6.2.4] nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione può essere basata sul metodo osservazionale.

Nell'applicazione di tale metodo si deve seguire il seguente procedimento:

- devono essere stabiliti i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
- si deve dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
- devono essere previste soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
- deve essere istituito un adeguato sistema di monitoraggio in corso d'opera, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.

16. VERIFICHE DI SICUREZZA (§C6.4.2)

16.1. VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) (§C6.4.2.1)

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale
- SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: $(A_2+M_2+R_2)$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I, seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: $(A_1+M_1+R_1)$
- Combinazione 2: $(A_2+M_2+R_2)$

Approccio 2:

$(A_1+M_1+R_3)$.

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente g_R non deve essere portato in conto.

Nel caso in esame le verifiche dovranno essere condotte secondo l'approccio 1 combinazione 2.

PROGETTO DEFINITIVO

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Le verifiche sono state eseguite per sui 4 modelli geotecnici identificati e rappresentativi delle diverse condizioni riscontrate in sito.

Si fa notare come la scelta di valori dei parametri geotecnici "cautelativi" in mancanza di indagini dirette potrebbe sottostimare la capacità portante dei terreni di imposta. Si ritiene opportuno in fase esecutiva disporre un accurato piano di indagini localizzato sulle singole postazioni.

16.1. VERIFICHE DI ESERCIZIO (SLE) (§C6.4.2.2)

Si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7).

Analogamente, forma, dimensioni e rigidità della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

Si fa notare come la scelta di valori dei parametri geotecnici "cautelativi" in mancanza di indagini dirette potrebbe sottostimare la capacità portante dei terreni di imposta. Si ritiene opportuno in fase esecutiva disporre un accurato piano di indagini localizzato sulle singole postazioni.

17. FRONTI DI SCAVO (§C6.8.6)

È stata eseguita una verifica di stabilità dei fronti di scavo della fondazione in ordine all'altezza di scavo prevista e alla tipologia di materiale attraversato. In generale per i litotipi A e B si hanno da scarse a medie proprietà di autosostegno mentre per le restanti tipologie ed in particolare per il diverso assetto stratigrafico nei litotipi C e D si riscontra una miglior resistenza. Dato il grado di fratturazione presenti alle profondità investigate non si escludono fenomeni di detensionamento in fase di scavo con il possibile innesco di fenomeni gravitativi localizzati.

Di conseguenza, in fase esecutiva sarà opportuno verificare con indagini dirette le caratteristiche proprie dei terreni e valutare quindi l'opportunità di realizzare pareti di scavo inclinate e/o gradonate.

PROGETTO DEFINITIVO**18. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Lo studio ha evidenziato che le aree direttamente interessate dallo sviluppo degli aerogeneratori sono delle superfici pianeggianti e subpianeggianti, in cui affiora il substrato paleozoico di natura scistosa prevalente e subordinatamente granitica, in facies rocciosa, fratturato nelle porzioni più superficiali e localmente ricoperto da un debole strato pedogenizzato.

L'areale su cui andrà posizionata la sottostazione in progetto è caratterizzato esclusivamente da rocce paleozoiche di natura granitica, affioranti in prevalenza fin dal piano campagna; dove si ha la presenza di suolo, esso si sviluppa essenzialmente lungo il substrato di alterazione della roccia madre, che non supera l'1,5 m di profondità.

Lo studio condotto di cui alla presente, ha permesso di:

- Identificare **n.02 modelli geotecnici rappresentativi** dei siti di imposta degli aerogeneratori;
- Ricavare i **parametri geotecnici** delle varie formazioni interessate;
- Valutare con buona approssimazione la **circolazione idrica sotterranea nel volume significativo di terreno**;
- Valutare qualitativamente la **capacità di autosostegno delle pareti di scavo delle fondazioni**.

In fase esecutiva sarà opportuno prevedere una campagna di indagini dirette mediante la realizzazione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove in sito e in laboratorio finalizzate alla determinazione diretta dei parametri geotecnici delle formazioni, alle varie profondità interessate dagli sforzi indotti dalle opere previste.

In particolare dallo studio è emerso quanto segue:

- nell'ambito dell'area esaminata non sono stati rilevati movimenti gravitativi importanti che possano coinvolgere estese porzioni di territorio; localmente sono stati rilevati processi legati alla dinamica dei versanti, nei settori più acclivi, con fenomeni gravitativi e smottamenti interessanti le coperture detritiche di modesto spessore.

- la localizzazione degli aerogeneratori e della sottostazione Gamesa in progetto non interferiscono con processi geomorfologici connessi alle dinamiche fluviali e di versante, l'area indagata non evidenzia segni di dissesto profondo tanto che nel suo insieme può essere considerata stabile.

- la tipologia di intervento in progetto, non invasiva, non comporta alterazioni nell'attuale assetto idrologico del territorio, tuttavia dovrà essere curato il drenaggio delle acque superficiali, in particolare nelle piste e nelle strade di accesso, per scongiurare i fenomeni di erosione;

- il progetto non prevede modificazioni morfologiche significative rispetto all'assetto attuale, anche l'apertura della viabilità di servizio non comporta modifiche profonde allo stato dei luoghi in quanto segue, ridefinendola e adattandola, la viabilità esistente.

Il Geologo incaricato

Dott. Geol. Cosima Atzori



Committente GAMESA ENERGIA ITALIA S.p.A.	Profondità raggiunta 5 m	Quota Ass. P.C. 814 m s.l.m.	Certificato n° 1	Pagina 1
Operatore Geoambiente Italia snc - Nuoro	Indagine Parco Eolico - Gomoretta	Inizio/Fine Esecuzione 14/05/2012		
Responsabile Dr. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio Sondaggio n. 1	Tipo Carotaggio continuo	Tipo Sonda	Coordinate X Y E 1533157, N 4477204

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Carot. Catalog.	Falda
0		Suolo agrario	0,40	%C=100			(CS) -0,10			Assente
-1		Materiale detritico proveniente dall'alterazione e dalla fratturazione della roccia madre, regolite.	1,30	%C=100	27-38-42 -1,05 PA			(RM)		
-2		Rocce scistose intensamente fratturate: Filladi con subordinate metarenarie quarzose micacee, intercalati da filoni quarziferi, riferibili alla Unità di Lula (Cambriano - Carbonifero)	3,32	%R,CD=70 %C=100			(CD) -1,70	(RM) -1,70		
-4								(RM) -5,00	S1 C1 -5,00	

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo

Dr. Geol. Francesca Demurtas

Committente GAMESA ENERGIA ITALIA S.p.A.	Profondità raggiunta 5 m	Quota Ass. P.C. 802 m s.l.m.	Certificato n° 2	Pagina 1
Operatore Geoambiente Italia snc - Nuoro	Indagine Parco Eolico - Gomoretta	Inizio/Fine Esecuzione 14/05/2012		
Responsabile Dr. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio Sondaggio n. 2	Tipo Carotaggio continuo	Tipo Sonda	Coordinate Gauss Boaga E 1534652, N 4477643

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	% Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Class. Catalog.	Falda
		Suolo agrario	0.15	% C= 100			(CS) -0.10			Assente
		Materiale detritico proveniente dall'alterazione e dalla fratturazione della roccia madre, regolite.	0.70	% C= 100	35-48-R -0.50 PA					
		Roccie scistose intensamente fratturate: Filladi con subordinate metarenarie quarzose micacee, intercalati da filoni quarziferi, riferibili alla Unità di Lula (Cambriano - Carbonifero)	4.17	% RQD=60 % C= 100			(CD) -0.90	(RM) -0.90		
								(RM) -5.00	S2 C1 -5.00	

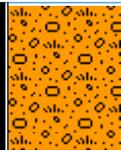
Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo

Committente GAMESA ENERGIA ITALIA S.p.A.	Profondità raggiunta 5 m	Quota Ass. P.C. 812 m s.l.m.	Certificato n° 3	Pagina 1
Operatore Geoambiente Italia snc - Nuoro	Indagine Parco Eolico - Gomoretta	Inizio/Fine Esecuzione 15/05/2012		
Responsabile Dr. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio Sondaggio n. 3	Tipo Carotaggio continuo	Tipo Sonda	Coordinate Gauss Boaga E 1525395, N 4480715

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	% Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Class. Catalog.	Falda
		Suolo agrario	0.15	% C= 100			(CS) -0.10	(RM)		
		Materiale detritico proveniente dall'alterazione e dalla fratturazione della roccia madre, regolite.	0.30	% C= 100	42-47-R -0.40 PA			-0.20		Assente
		Rocce scistose intensamente fratturate: Filladi con subordinate metarenarie quarzoso micacee, intercalati da filoni quarziferi, riferibili alla Unità di Lula (Cambriano - Carbonifero)	4.57	% RQD= 62 % C= 100			(CD) -1.30			
								(RM)	S2 C1	
								-5.00	-5.00	

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo

Committente GAMESA ENERGIA ITALIA S.p.A.	Profondità raggiunta 5 m	Quota Ass. P.C. 805 m s.l.m.	Certificato n° 4	Pagina 1
Operatore Geoambiente Italia snc - Nuoro	Indagine Parco Eolico - Gomoretta	Inizio/Fine Esecuzione 15/05/2012		
Responsabile Dr. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio Sondaggio n. 4	Tipo Carotaggio continuo	Tipo Sonda	Coordinate Gauss Boaga E 1527686, N 4480867

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	% Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Class. Catalog.	Falda
		Suolo agrario	0.50	% C= 100			(CS) -0.10			Assente
		Materiale detritico proveniente dall'alterazione e dalla fratturazione della roccia madre, regolite.	0.40	% C= 100			(RM) (CD) -0.90			
-1		Roce scistose intensamente fratturate: Filiali con subordinate metarenarie quarzose micacee, intercalati da filoni quarziferi, riferibili alla Unità di Lula (Cambriano - Carbonifero)	4.12	% ROD= 75 % C= 100				(RM) -5.00	S2 C1 -5.00	
-2										
-3										
-4										

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo