

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



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE PARCO EOLICO "GOMORETTA"

Elaborato : EP_GEO_R001 Rev1

Scala : -

Data : 18 dicembre 2018

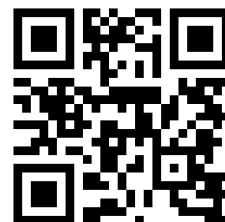
Relazione Geologica e Geotecnica

COMMITTENTE :
Siemens Gamesa Renewable Energy Italy S.p.A.

RESPONSABILE TECNICO COMMESSA :
Dott. Ing. Gianluca Mercurio

COORDINAMENTO :

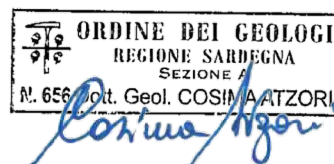
Bm Studio Tecnico Industriale
Dott. Ing. **Bruno Manca**



N° REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
Rev.00	20/11/2017	CA	NMPEPE	GMERCURIO/NMPEPE	A1 (841x594mm)
Rev.01	18/12/2018	CA	GMERCURIO	GMERCURIO	A0 (1189x841mm)

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

Gruppo di lavoro : Dott.ssa in Arch. Giorgia Campus
Dott.ssa Ing. Barbara Dessì
Dott.ssa in Arch. Elisabetta Zucca



INDICE

1. PREMESSA E FINALITA' DELLO STUDIO	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	6
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE	6
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
5.1. <i>Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento</i>	9
6. STUDI ED INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE	12
6.1. <i>Situazione geologica e litostratigrafica dell'area interessata dall'intervento</i>	13
6.2. <i>Analisi delle condizioni geostruturali generali</i>	14
6.3. <i>Indagini integrative di caratterizzazione geostruturale e geotecnica degli ammassi rocciosi</i>	16
6.3.1. SISMICA A RIFRAZIONE - Tecnica e parametri utilizzati.....	18
6.3.2. M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati	19
6.3.3. SISMICA A RIFRAZIONE – Elaborazioni e risultati	20
6.3.4. BASE SISMICA BS1	20
6.3.5. BASE SISMICA BS2	22
6.3.6. BASE SISMICA BS3	23
6.3.7. MASW – Elaborazioni e risultati.....	24
6.3.8. MASW M1	24
6.3.9. MASW M2	26
6.3.10. MASW M3	27
6.4. <i>Considerazioni sull'assetto geostruturale degli ammassi rocciosi</i>	28
6.5. <i>Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso</i>	29
6.5.1. Rocce metamorfiche	29
6.5.1. Rocce granitiche	30
7. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	32
7.1. <i>Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea</i>	32
7.2. <i>Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee</i>	33
8. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	35
8.1. <i>Lineamenti geomorfologici generali</i>	35
8.2. <i>Definizione dell'area geomorfologicamente significativa</i>	38
9. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO	39
10. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI	40
10.1. <i>Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.) E Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)</i>	40

10.2. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	42
10.3. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	42
10.4. Aree Protette	42
11. MODELLO GEOLOGICO DI SITO	44
11.1. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 01	44
11.2. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 02	45
12. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE NTC2008.....	46
12.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....	46
13. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA.....	48
14. CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA DEI TERRENI E DELLE ROCCE E DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	49
14.1. Caratterizzazione del litotipo B.....	49
14.2. Caratterizzazione dell'ammasso roccioso – litotipi C e D.....	49
15. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO DEL SITO.....	55
15.1. Azioni e resistenze nelle verifiche agli stati limite.....	56
16. VERIFICHE DI SICUREZZA (§C6.4.2)	58
16.1. Verifiche di sicurezza agli SLU di tipo geotecnico (GEO) (§C6.4.2.1).....	58
16.1. Verifiche di esercizio (SLE) (§C6.4.2.2).....	59
17. FRONTI DI SCAVO (§C6.8.6).....	59
17.1. ANALISI DELLE AREE PERIMETRATE DAL PAI – COMPATIBILITÀ GEOLOGICO- GEOTECNICA DEGLI INTERVENTI.....	60
17.1.1. Caratteristiche geologiche e geostrutturale del sito	61
17.1.2. Descrizione degli interventi	62
17.1.3. Verifiche di stabilità del pendio in assenza ed in presenza degli interventi di stabilizzazione dall'intervento (condizioni ex-ante ed ex-post)	63
17.1.4. Eventuali interazioni con altre opere	65
17.1.5. Osservazioni	65
18. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	66

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_rev.1	Carta Geomorfologica - settore 1 - settore 3

EP_GEO_D002_4_rev.1 Carta Geomorfologica - settore 2

INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1"	7
Figura 4.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2"	8
Figura 5.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972	10
Figura 5.2- Stralcio "Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna" - 1972.....	11
Figura 6.1- Ubicazione delle indagini geognostiche	12
Figura 6.2- Esiti del carotaggio, in ordine S_01, S_02, S_03 e S_04	13
Figura 6.3 - Schema tettonico del Basamento Paleozoico	15
Figura 6.4 - Stazioni di rilievo geomeccanico G01 e G02 rispettivamente in località Sas Tennias e M.te Saraloi. Sotto le rispettive proiezioni stereografiche dei piani di frattura	16
Figura 6.5 - Ubicazione delle basi sismiche BS1, BS2 e BS3 (Fonte Google Earth, 2018)	18
Figura 6.6 - tratto della S.S.389 soggetto a fenomeni gravitativi di scivolamento e/o crollo	30
Figura 6.7 - Esempio di assetto geostrutturale su un affioramento sui graniti	31
Figura 7.1 - Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo	33
Figura 7.2 - Esempio di captazione di risorgive stagionali per l'abbeveraggio del bestiame. Loc.Funtana d'Oliena e esempio di formazione di pozze e ristagni dopo importanti piogge.....	34
Figura 8.1 - schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico.....	35
Figura 8.2- Vista da Sud del sistema di rilievi e valli che caratterizzano l'area di impianto del Parco "Eolico Gomoretta" (in rosso)	36
Figura 8.3 - Vista da sud dell'area delle turbine WGT8 e WGT9 e particolare delle metamorfiti	37
Figura 8.4 - Affioramento su graniti e particolare dei processi di alterazione	37
Figura 9.1- Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo Corine Land Cover, RAS 2008.....	40
Figura 10.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI)	41
Figura 10.2 - Inquadramento delle opere in progetto su PGRA.....	42
Figura 13.1 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito	48
Figura 14.1 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia.....	50
Figura 14.2 - Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	51
Figura 14.3 - Valori della costante mi, per diversi tipi di roccia.....	52
Figura 14.4 - Correlazione fra i valori di mi, s, l'indice RMR ed il tipo di roccia.....	53
Figura 14.5 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso metamorfico (RosScience – RocDATA) ...	54
Figura 14.6 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso intrusivo (RosScience – RocDATA)	55

Figura 18.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI)	60
Figura 18.2 – Panoramica della trincea sulla strada di servizio	62

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 e 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. TZRC5M72H41B354F 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 determinazione dei parametri geotecnici di sito**.

La presente contiene le integrazioni richieste dal Ministero dell'Ambiente con prot. DVA 2018-0012609 del 31.05.2018 in ordine alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale, con specifico riferimento alla Componente "Suolo, Sottosuolo, e Acque sotterranee: punti 17,18, 19, 20, 21, 22, 23.

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

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**

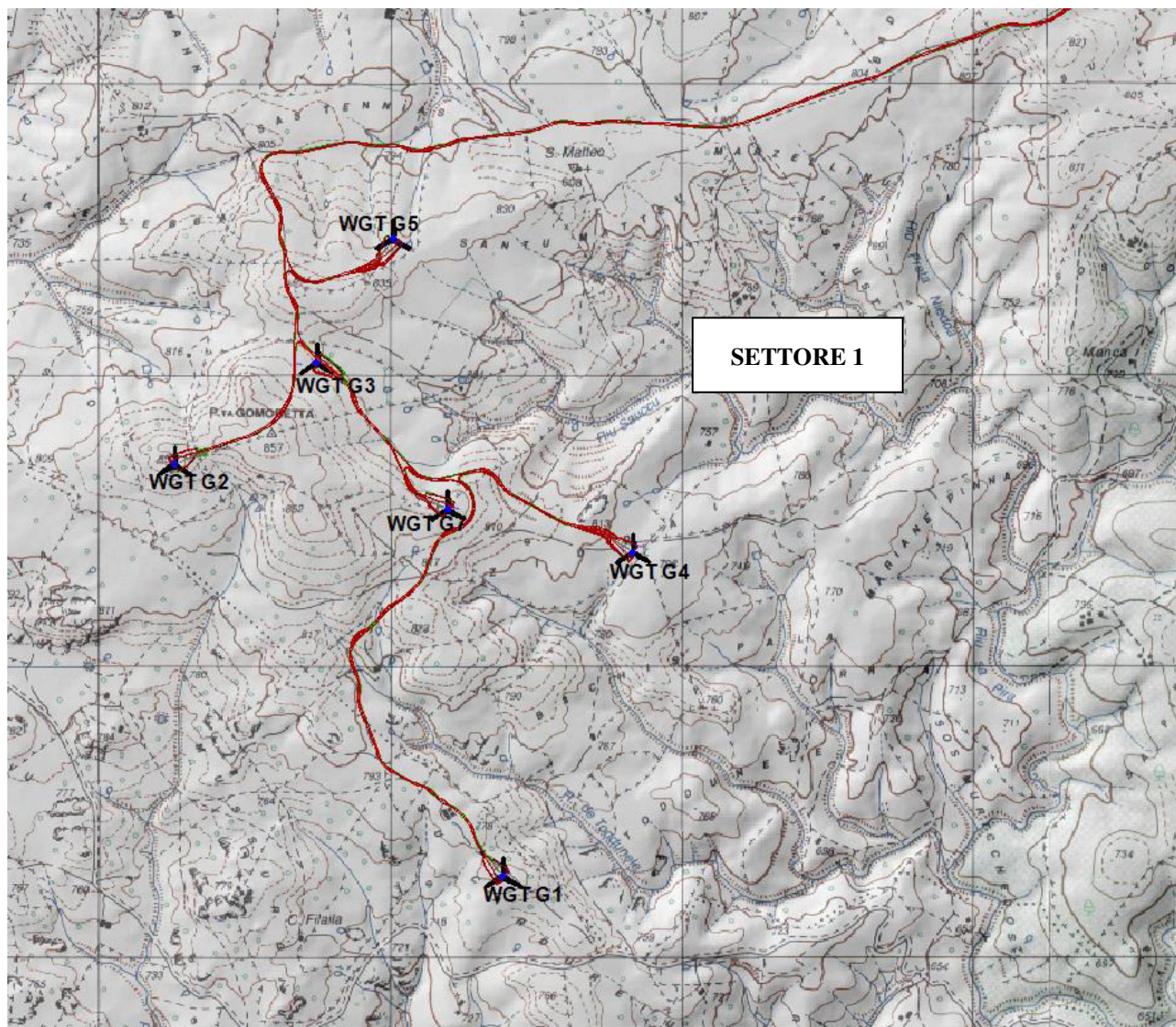


Figura 4.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1"

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			

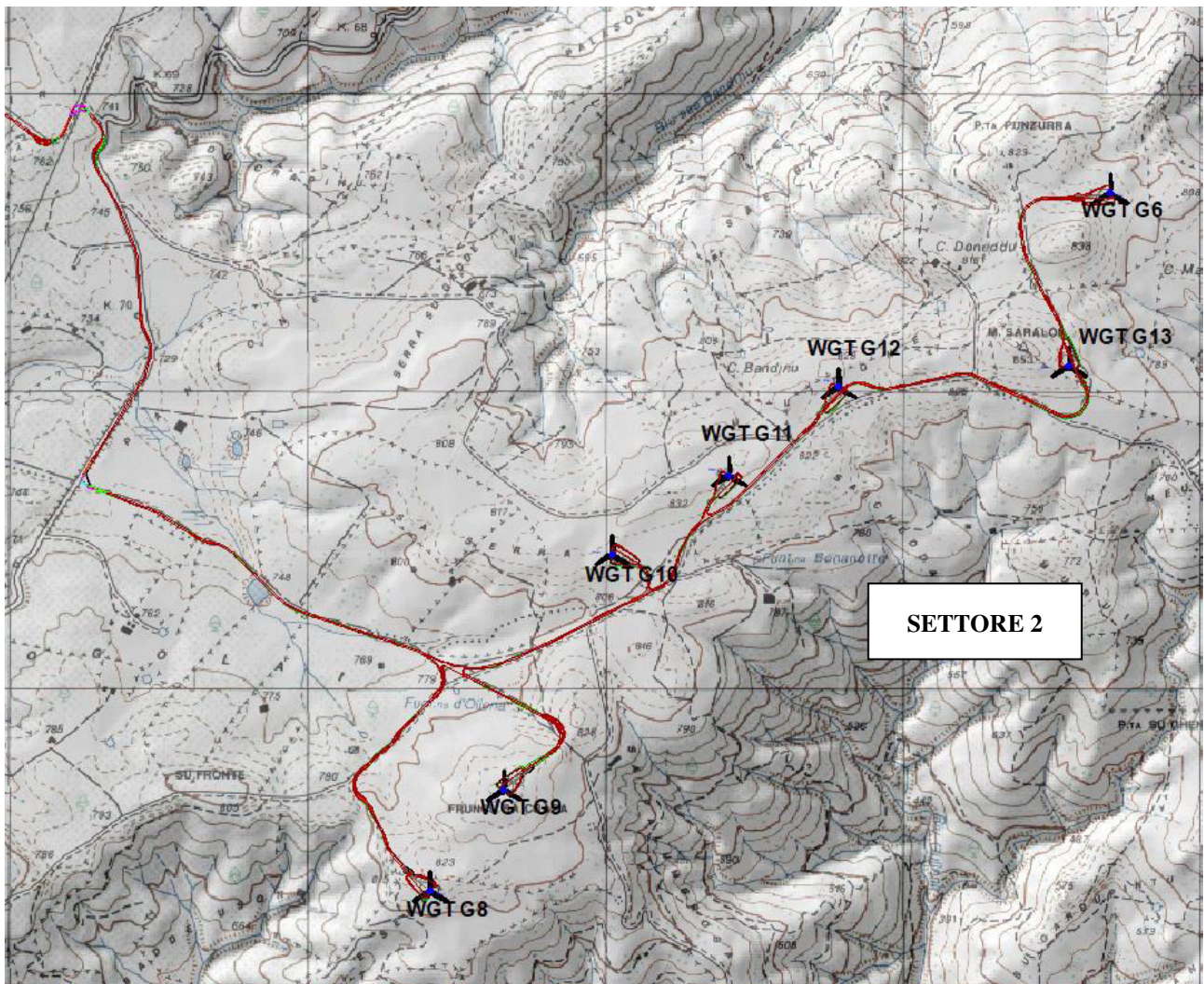


Figura 4.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2"

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;

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 quarzose 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 scistosa piana, in essi sono ampiamente diffuse lenti quarzose.

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, in fase distensiva, 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.

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

² Carmignani 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.

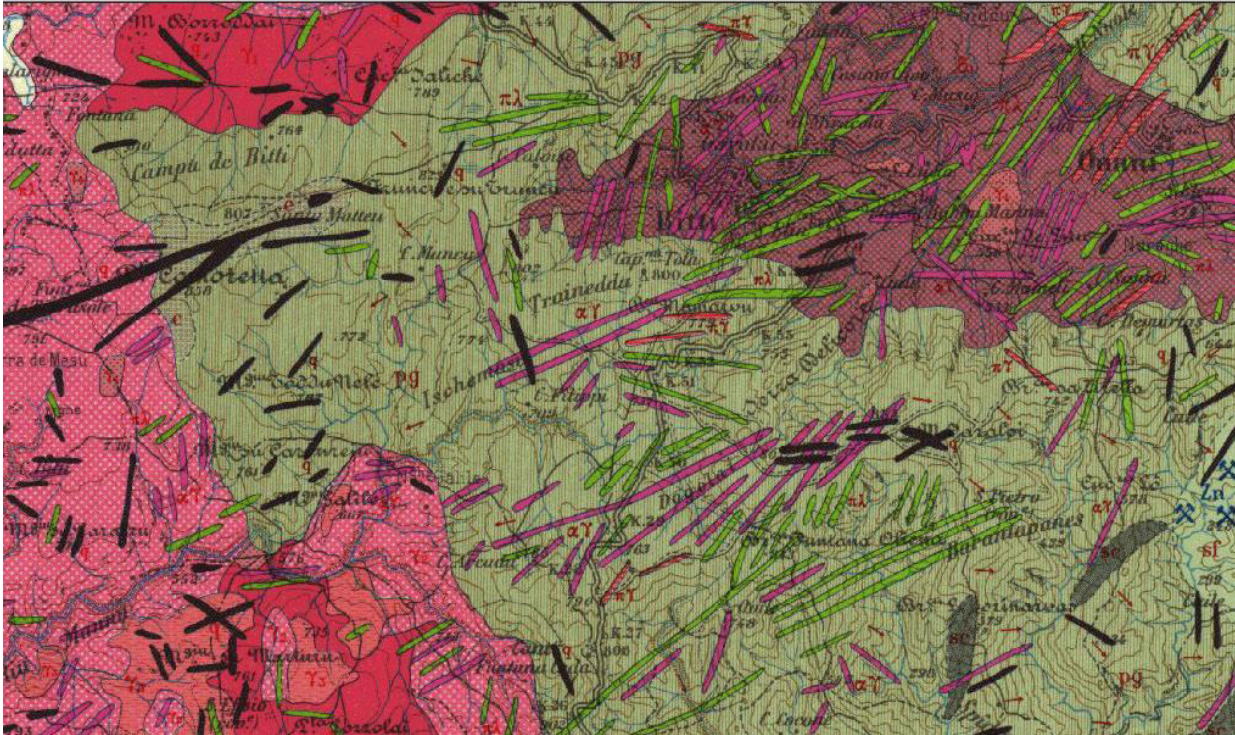


Figura 5.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972

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.

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 fondivalle 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

6. 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:

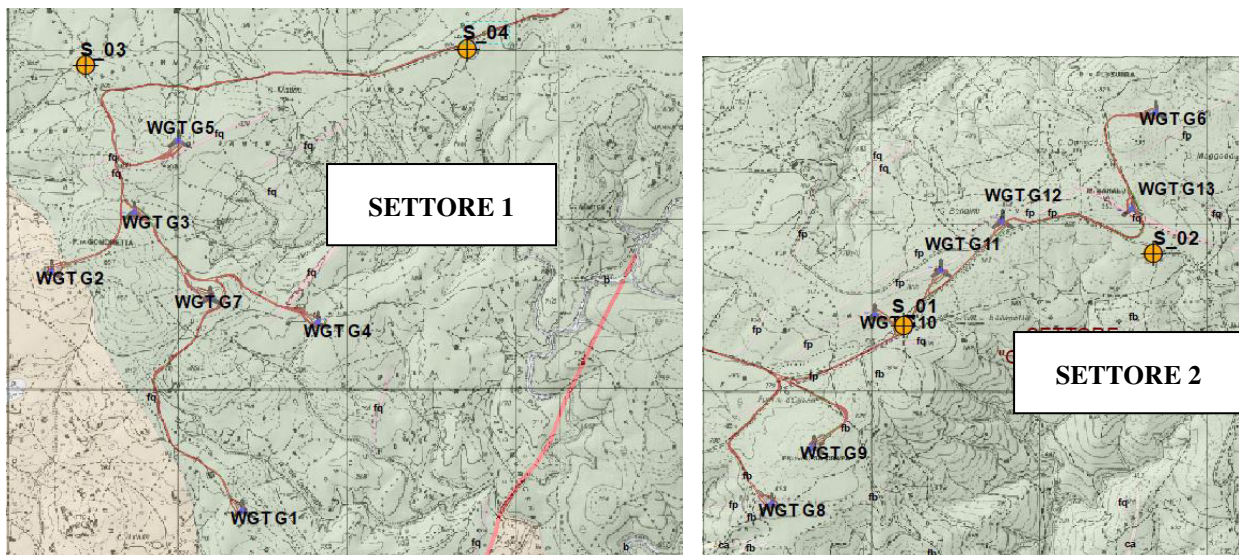


Figura 6.1- Ubicazione delle indagini geognostiche

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.

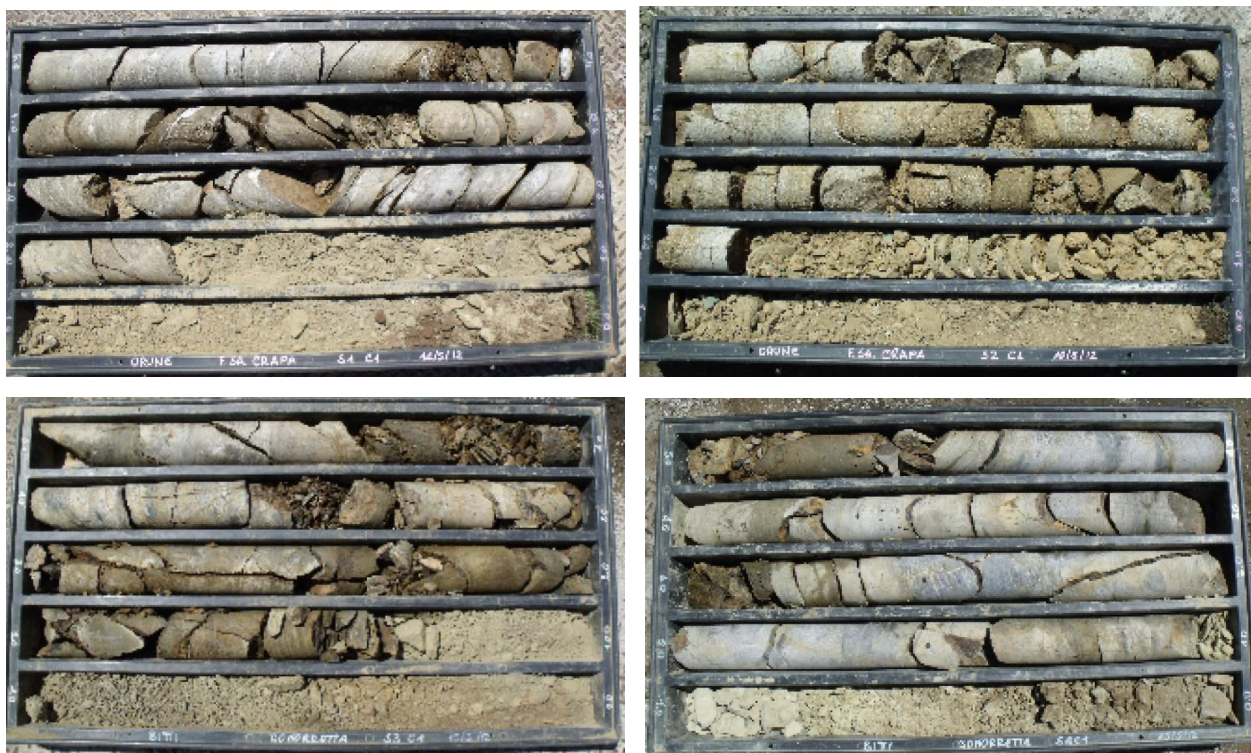


Figura 6.2- Esiti del carotaggio, in ordine S_01, S_02, S_03 e S_04

In Allegato 1 le stratigrafie di dettaglio.

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

L'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 delineano 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 poggiati sopra il basamento.

6.2. 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

Nel corso dei rilievi effettuati è stata portata avanti un'indagine mirante alla caratterizzazione del basamento roccioso affiorante, indirizzata al rilievo di tutti i parametri tecnici, verificando in prima battuta le caratteristiche strutturali, come direzione, immersione e inclinazione delle discontinuità presenti, e analizzando le caratteristiche dei vari sistemi di discontinuità. L'analisi della struttura dell'ammasso roccioso e delle discontinuità è infatti indispensabile in quanto regolano i processi di rottura e deformazione della roccia: lungo tali piani di debolezza infatti le resistenze alla trazione risultano sostanzialmente nulle.⁵

Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame affiorano essenzialmente due litologie predominanti, afferenti al Complesso scistoso metamorfico e al Complesso intrusivo plutonico. Per la determinazione dei parametri geomeccanici di tali litologie sono stati presi in considerazione due affioramenti di roccia, utilizzati come punti stazione, dei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità. Il primo stendimento geomeccanico, denominato GM_1, è sito in località Sas Tennias, nel settore Gomoretta 1, in prossimità del sondaggio S 1 eseguito nel corso delle

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

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

indagini, è lungo 4 m e vede in affioramento litologie del Complesso metamorfico; per il secondo stendimento è stato considerato invece l'affioramento del Complesso intrusivo plutonico nel settore Gomoretta 2, in località Monte Saraloi, lungo il filone affiorante sul quale andrà installato l'aerogeneratore G13 nella stazione denominata GM_2 anch'essa di lunghezza 4 m. Tali affioramenti, diversi in funzione della loro componente mineralogica-petrografica, permettono di classificare in modo preliminare le unità litologiche più rappresentative del sito di indagine. Alla prima fase di rilievo dei dati in situ, è seguita la fase di elaborazione dei dati riguardanti le giaciture delle discontinuità. La distribuzione nello spazio di tali fratture è stata rappresentata mediante la proiezione equiangolare di SCHMIDT-LAMBERT, proiezione stereografica che visualizza nell'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento i piani di discontinuità, rappresentati da archi di ellissi (ciclografiche).

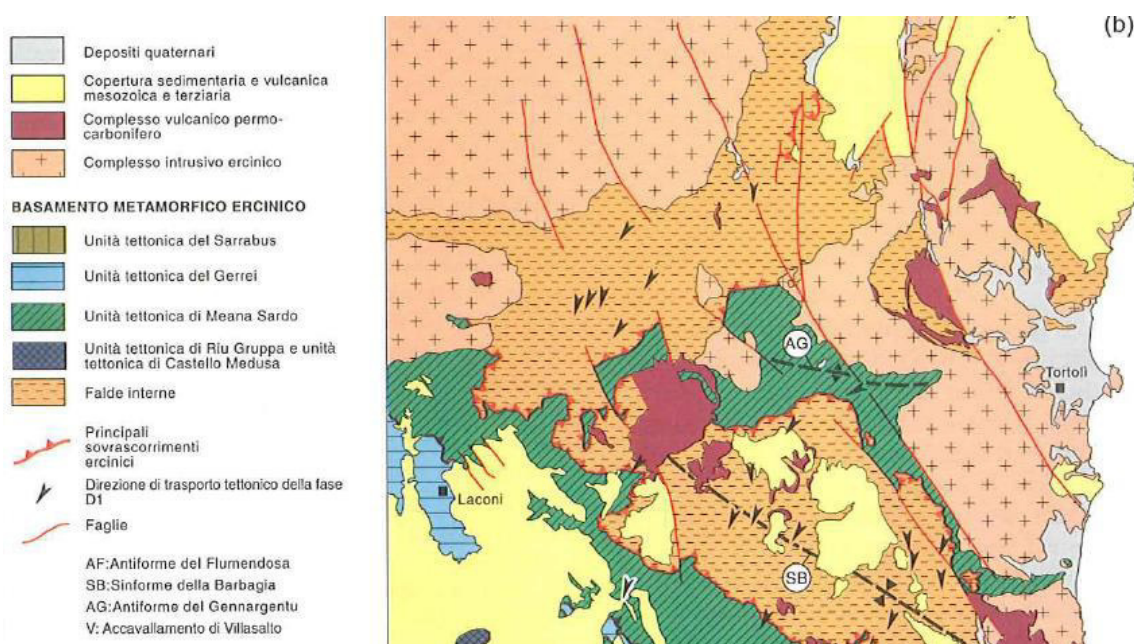


Figura 6.3 - Schema tettonico del Basamento Paleozoico

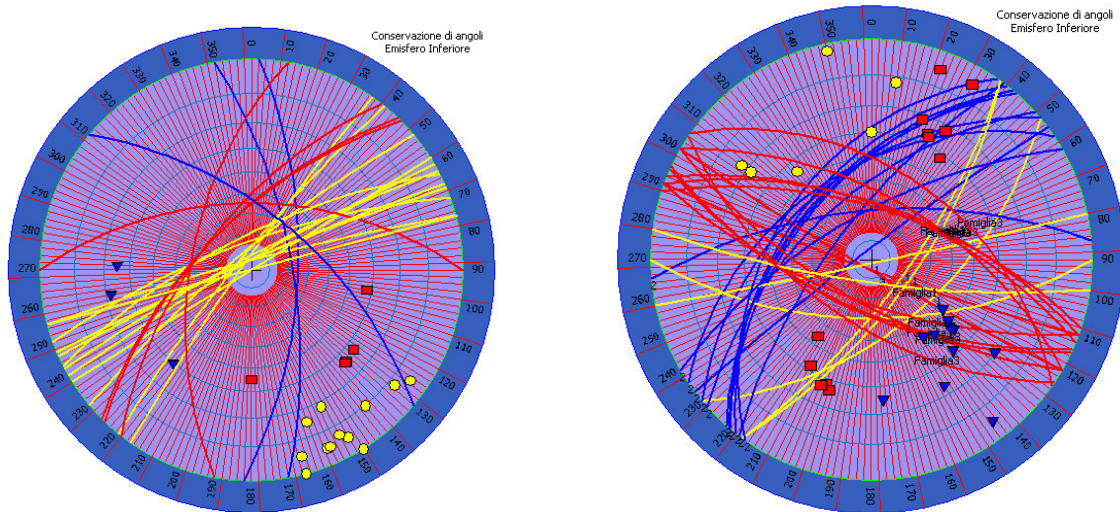
Dall'analisi svolta è emerso che le giaciture delle discontinuità strutturali per i due affioramenti presentano una orientazione pressappoco comune, e riportano una sostanziale somiglianza per quanto riguarda l'intensità di fratturazione, la spaziatura e l'apertura delle discontinuità.

La giacitura delle discontinuità strutturali rilevate sulle rocce scistose nel settore di Gomoretta 1 sono caratterizzate da una generale direzione NE-SW, con immersione a SE e inclinazioni variabili da 65-70° a sub-verticali (80-85°); in Figura 13 si rileva come la fratturazione dominante sia N60-N70, compatibile con le deformazioni tettoniche principali e riutilizzate per la risalita dei magmi filoniani.

Nei graniti ed in particolare nel complesso intrusivo rilevato nel settore Gomoretta 2, la fratturazione riprende le direzioni riscontrate nel complesso scistoso, evidenziando una maggiore dispersione delle giaciture attorno alla direzione principale N40-N70 che, con le strutturazioni coniugate ortogonali, N110-N130, scompongono la roccia in blocchi prismatici di dimensioni che possono raggiungere l'ordine del metro cubo.



Figura 6.4 - Stazioni di rilievo geomeccanico G01 e G02 rispettivamente in località Sas Tennias e M.te Saraloi. Sotto le rispettive proiezioni stereografiche dei piani di frattura



6.3. INDAGINI INTEGRATIVE DI CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE E GEOTECNICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

In data 22.10.2018 è stata realizzata prospezione geofisica eseguita con la tecnica della sismica a rifrazione e MASW integrativa al piano di indagini dirette effettuate mediante l'esecuzione di sondaggi. Sono stati realizzati nr. 3 stendimenti posizionati in modo da essere rappresentativi delle condizioni litostratigrafiche e geostutturali in accordo con quanto rilevato dai sondaggi e dai rilievi di superficie. Le indagini sono state eseguite dalla ditta Geoservice snc.

La sismica a rifrazione ha permesso di migliorare la **caratterizzazione dei primi 15-20m di profondità** degli ammassi rocciosi investigati, fornendo importanti informazioni sullo stato di fratturazione e di alterazione e sulle loro caratteristiche geotecniche propedeutiche allo studio di instabilità potenziale dei versanti direttamente connessi al layout di progetto.

Di seguito si riportano le specifiche di rilievo e gli esiti dell'elaborazione dei profili sismici acquisiti.

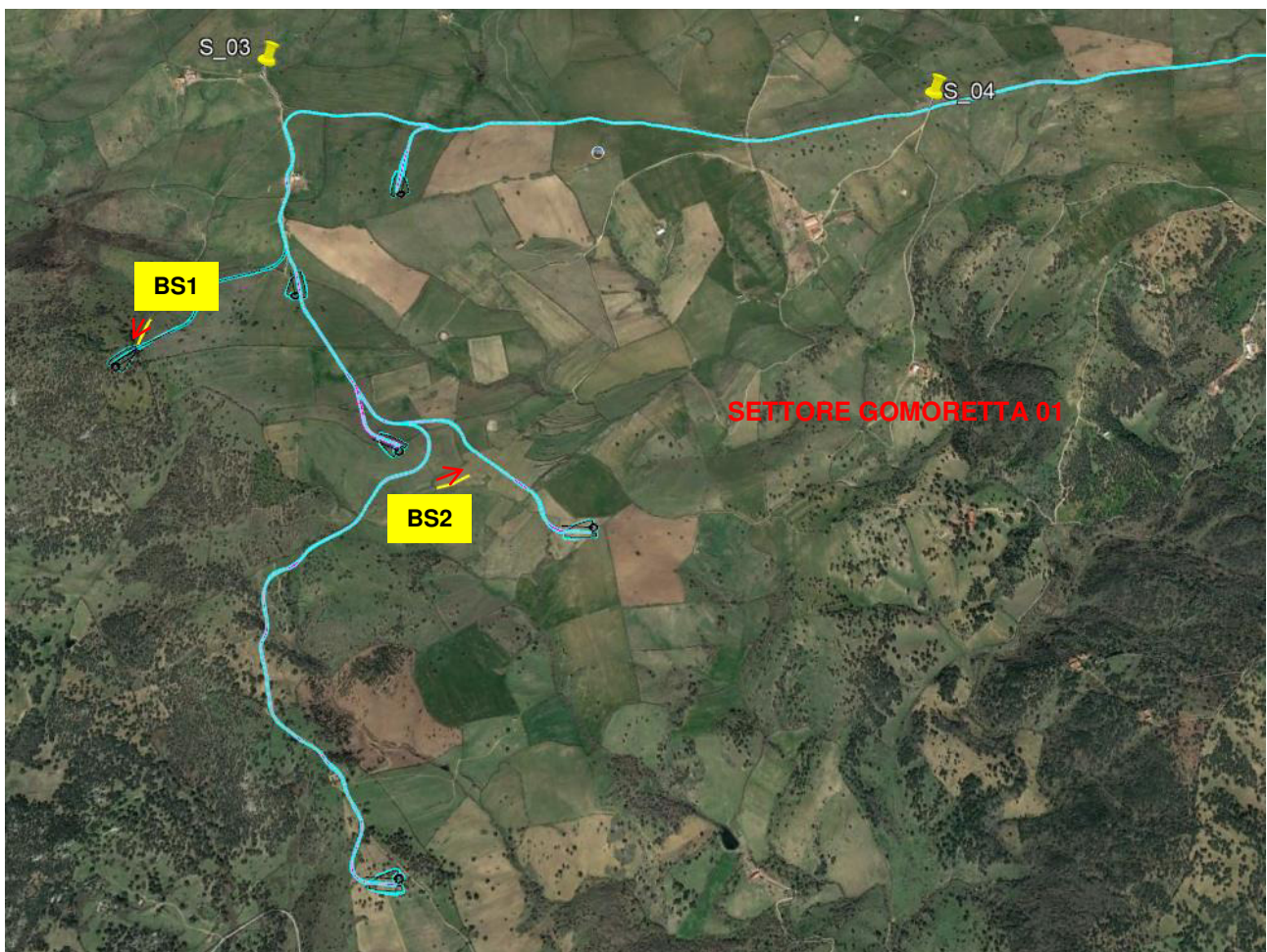
La sismica a rifrazione, con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P ed S) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, del terreno investigato.

A supporto della progettazione geotecnica e strutturale, sono stati determinati sulla base di correlazioni bibliografiche i parametri elastici dinamici derivati dalle indagini sismiche, il modulo statico di deformazione e i parametri geotecnici dei terreni superficiali.

Sono stati realizzati in totale n° 3 stendimenti di SISMICA A RIFRAZIONE IN onde P ed S e n° 3 stendimenti di MASW, ubicati come in figura.

La metodologia di studio risulta articolata nelle seguenti fasi:

- studio preliminare dell'assetto litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico dell'area;
- valutazione della configurazione geometrica e della relativa ubicazione degli stendimenti ritenuta più adeguata in funzione dello scopo dell'indagine, della risoluzione richiesta, delle profondità da investigare e dell'accessibilità dei luoghi;
- taratura dei sismostrati mediante correlazione con i dati diretti acquisiti con i sondaggi
- acquisizione dei dati di campagna e loro successiva elaborazione ed interpretazione.



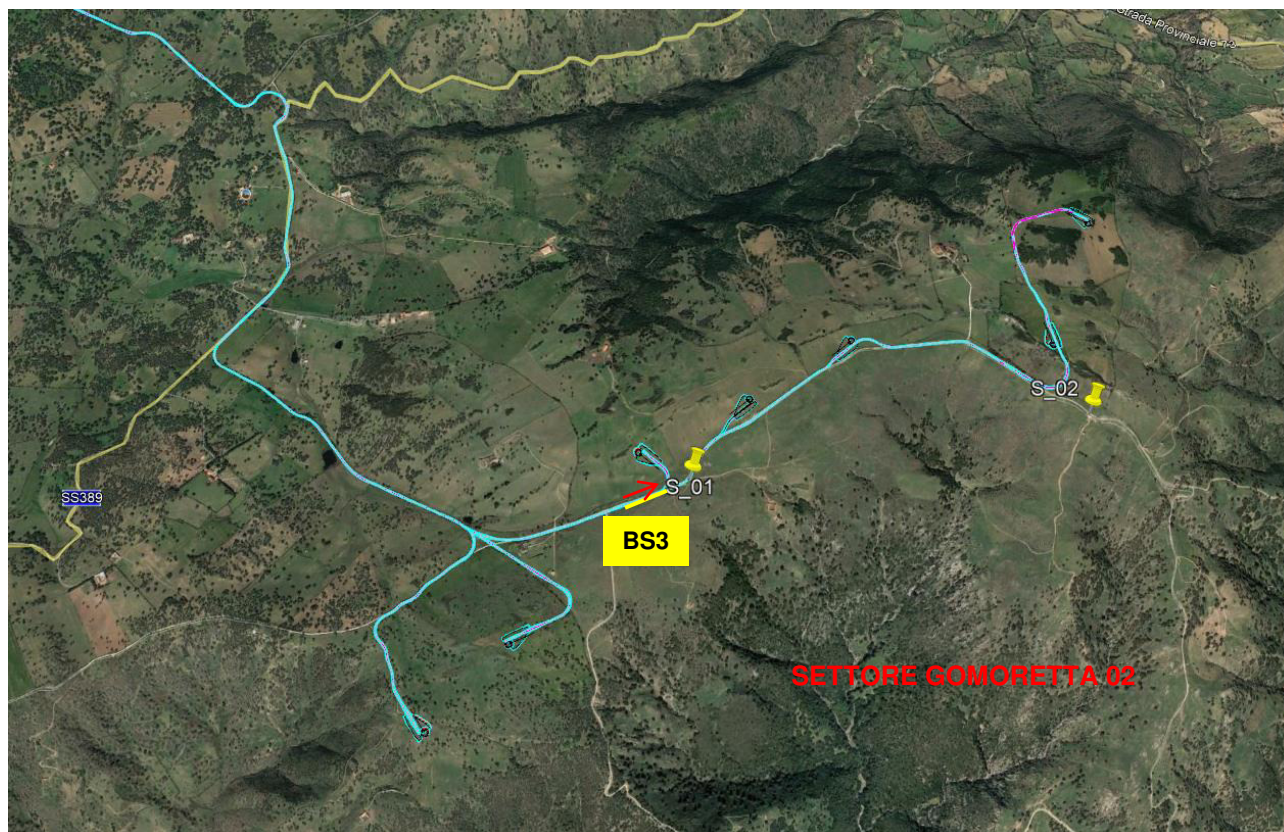


Figura 6.5 - Ubicazione delle basi sismiche BS1, BS2 e BS3 (Fonte Google Earth, 2018)

6.4. SISMICA A RIFRAZIONE - TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

In ambito d'indagini indirette l'esplorazione geofisica la sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica inferiore.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

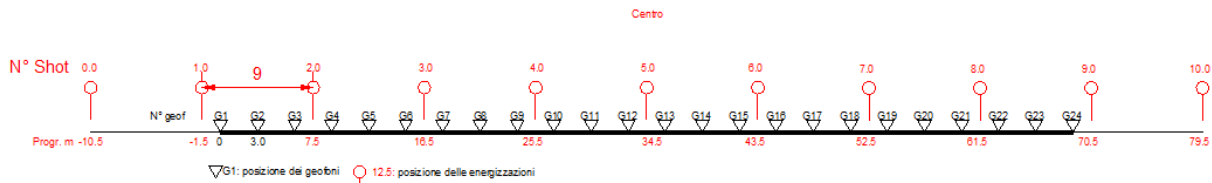
Varie metodologie di interpretazione si sono susseguite nel tempo, passando dalle valutazioni di spessori e velocità in funzione del tempo all'intercetta fino a giungere alle più classiche interpretazioni mediante il General Reciprocal Method di Palmer '72.

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto.

La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25/30% della distanza geofonica.

Nel caso in esame, in funzione della lunghezza degli stendimenti sono state eseguite 11 energizzazioni-shot al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica come meglio specificato nello schema di seguito rappresentato.



6.5. M.A.S.W. - TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

“Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

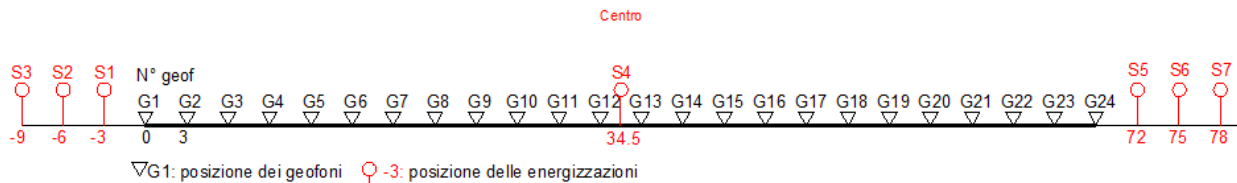
Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.” (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in “andata” e in “ritorno” con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema).

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.



6.6. SISMICA A RIFRAZIONE – ELABORAZIONI E RISULTATI

Si riportano di seguito gli elementi identificati nelle sezioni sismiche elaborate. Sulla base delle velocità misurate e dei dati bibliografici, sono stati definiti i seguenti sismostrati nelle sezioni tomografiche:

- A - Sismostrato A: Coperture e/o rocce molto fratturate e allentate
- R1 - Sismostrato R1: unità delle rocce da fratturate a poco fratturate
- R2 - Sismostrato R2: unità delle rocce lapidee integre/poco fratturate

La delimitazione dei sismostrati ha un valore indicativo, può presentare delle oscillazioni locali a causa delle variazioni delle caratteristiche dei litotipi.

Nelle descrizioni che seguono le profondità sono riferite al piano di campagna e per direzione dello stendimento si intende l'orientamento geografico formato dalla linea che unisce il geofono iniziale con quello finale, che nella planimetria di ubicazione è stato indicato con una freccia.

6.6.1. BASE SISMICA BS1

Nella sezione BS1 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

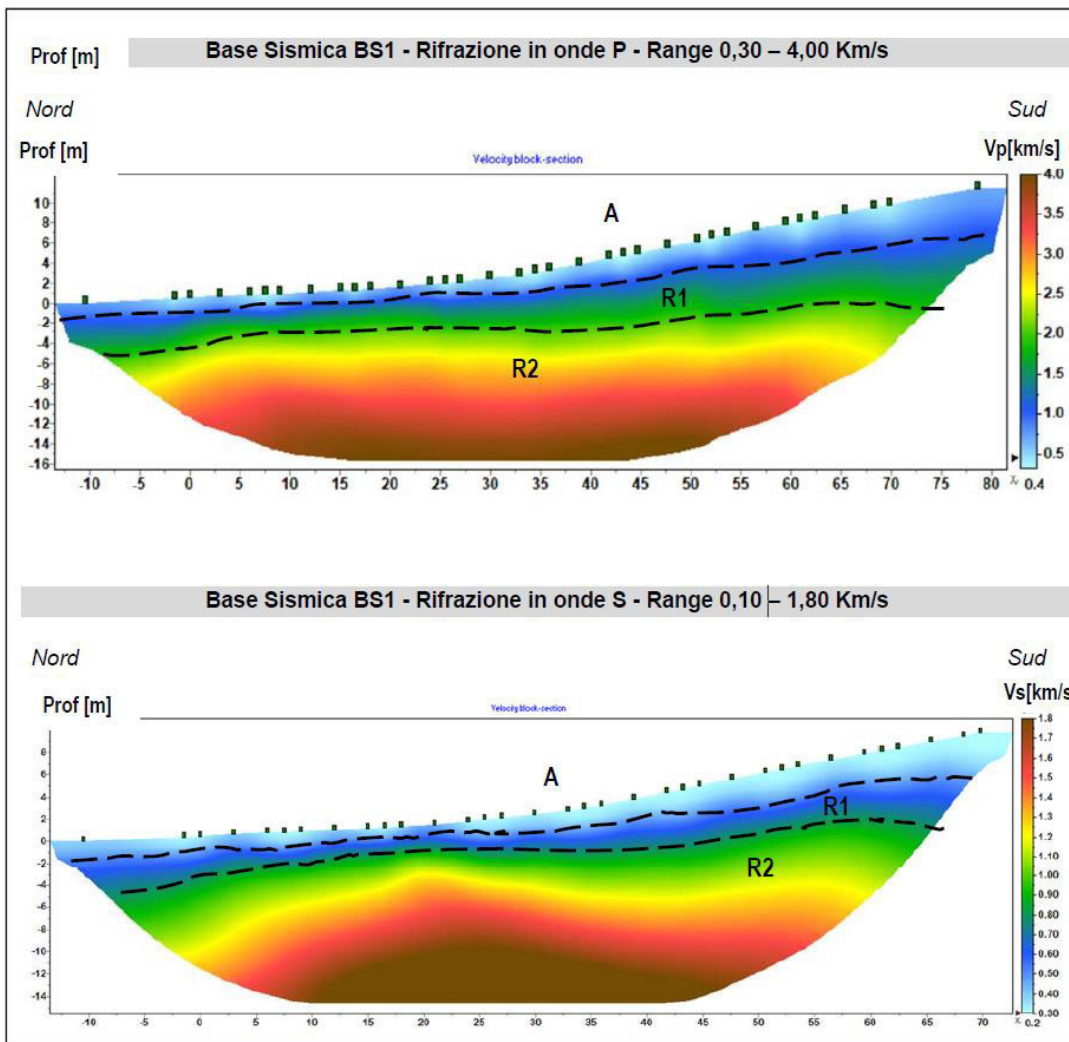
Stendimento BS1 Sismostrati	ONDE P		ONDE S	
	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)	Velocità in m/s
A: Coperture	0 a 2/3	450-800	0 a 2/3	200-400
R1: Rocce fratturate	2/3 a 4/5	800-1800	2/3 a 4/5	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 4/5	1800-4000	> 4/5	800-1800

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella tabella seguente si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico E _d	Modulo di taglio G ₀	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	medio	terre	1.800	625	300	0,35	441	53	167	490
R1	tetto	0,30	2.100	800	400	0,33	892	268	333	892
R1	media	0,50	2.200	1300	600	0,36	2157	1079	794	2658
R2	tetto	0,80	2.600	1800	800	0,38	4580	3664	1667	6198
A	-2	terre	1.800	800	400	0,33	765	92	284	765
R1	-3	0,30	2.100	1300	650	0,33	2363	709	883	2363

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)



A: Coperture e/o rocce molto fratturate e allentate R1: Rocce fratturate R2: Rocce lapidee/integre

6.6.2. BASE SISMICA BS2

Nella sezione BS2 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

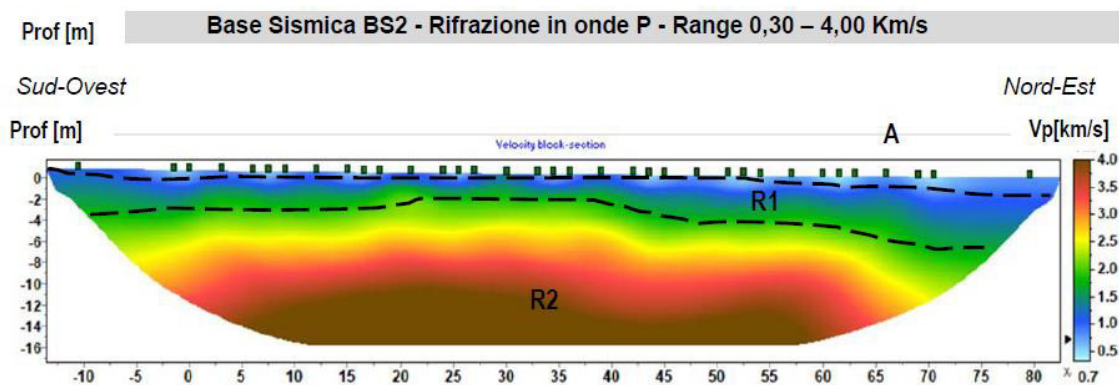
Stendimento BS2	ONDE P		ONDE S	
Sismostrati	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)	Velocità in m/s
A: Coperture	0 a 1/1.5	450-800	0 a 1/1.5	200-400
R1: Rocce fratturate	1/1.5 a 2/5	800-1800	1/1.5 a 2/5	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 2/5	1800-4000	> 2/5	800-1800

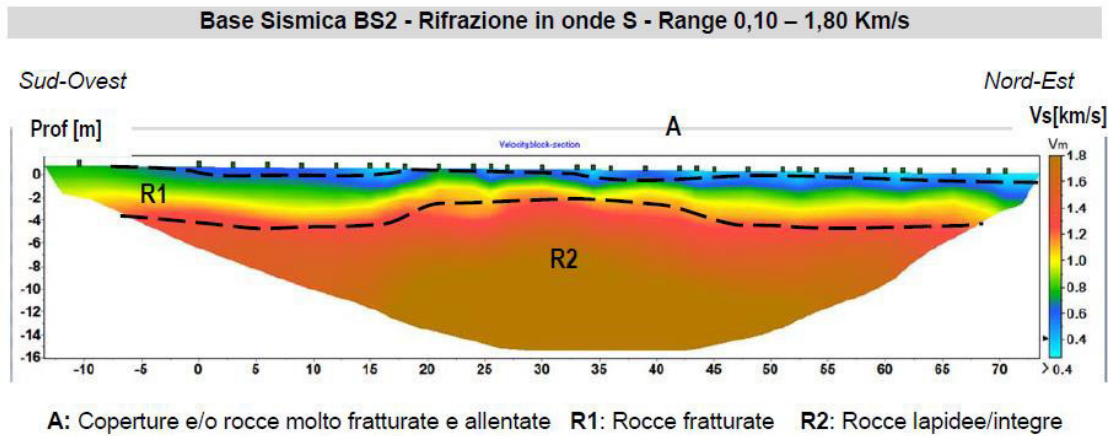
Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella tabella seguente si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G ₀	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	medio	terre	1.800	625	300	0,35	441	53	167	490
R1	tetto	0,30	2.100	800	400	0,33	892	268	333	892
R1	media	0,50	2.200	1300	600	0,36	2157	1079	794	2658
R2	tetto	0,80	2.600	1800	800	0,38	4580	3664	1667	6198
R1	-2	0,30	2100	1000	650	0,13	2010	603	883	912
R1	-3	0,30	2.100	1300	700	0,30	2667	800	1030	2177

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)





6.6.3. BASE SISMICA BS3

Nella sezione BS3 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

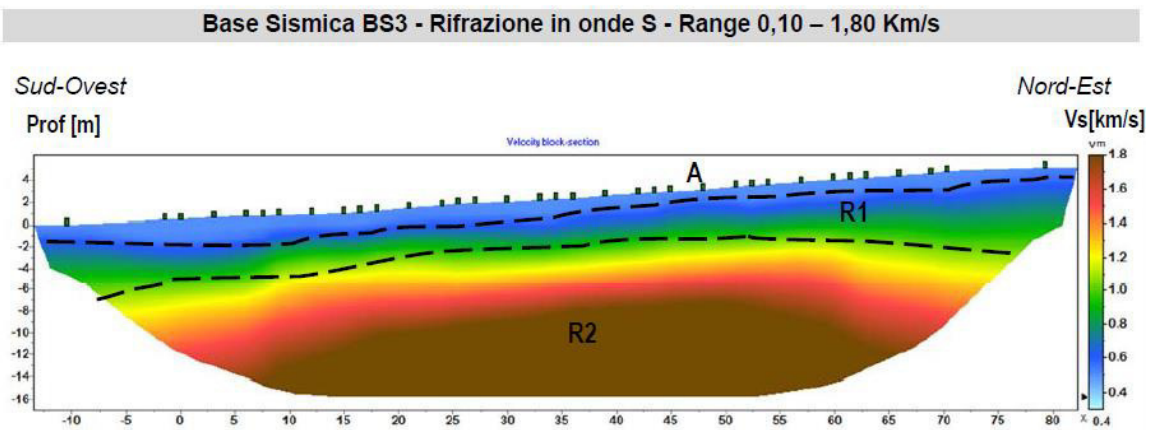
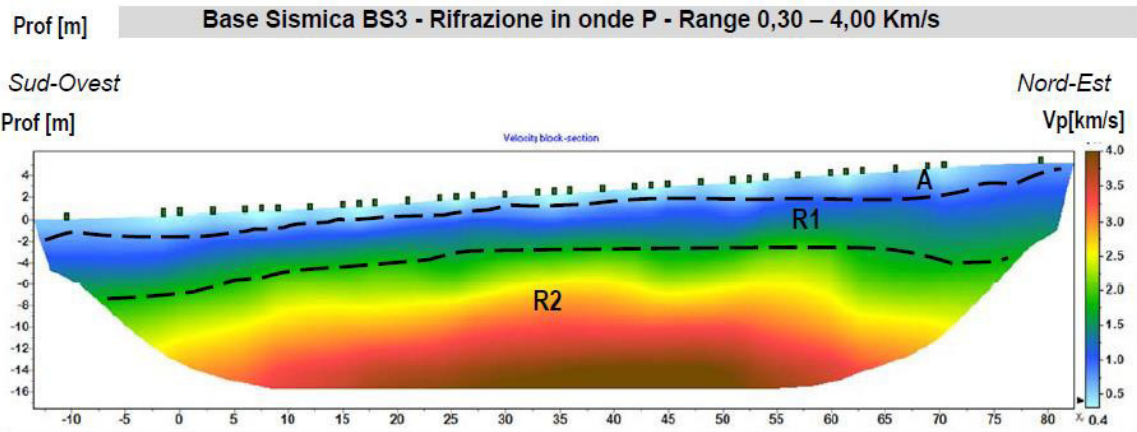
Stendimento BS3 Sismostrati	ONDE P		ONDE S	
	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)	Velocità in m/s
A: Coperture	0 a 1/2	450-800	0 a 1/2	200-400
R1: Rocce fratturate	1/2 a 5/8	800-1800	1/2 a 5/8	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 5/8	1800-4000	> 5/8	800-1800

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella tabella seguente si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità Y [Kg/m ³]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Coefficiente di Poisson v	Modulo di Young dinamico Ed [MPa]	Modulo di Young statico Ed [MPa]	Modulo di taglio G ₀ [MPa]	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K [MPa]
A	medio	terre	1.800	625	300	0,35	441	53	167	490
R1	tetto	0,30	2.100	800	400	0,33	892	268	333	892
R1	media	0,50	2.200	1300	600	0,36	2157	1079	794	2658
R2	tetto	0,80	2.600	1800	800	0,38	4580	3664	1667	6198
R1	-2	0,30	2.100	800	400	0,33	892	268	333	892
R1	-3	0,30	2.100	1200	700	0,24	2560	768	1030	1657

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)



A: Coperture e/o rocce molto fratturate e allentate **R1:** Rocce fratturate **R2:** Rocce lapidee/integre

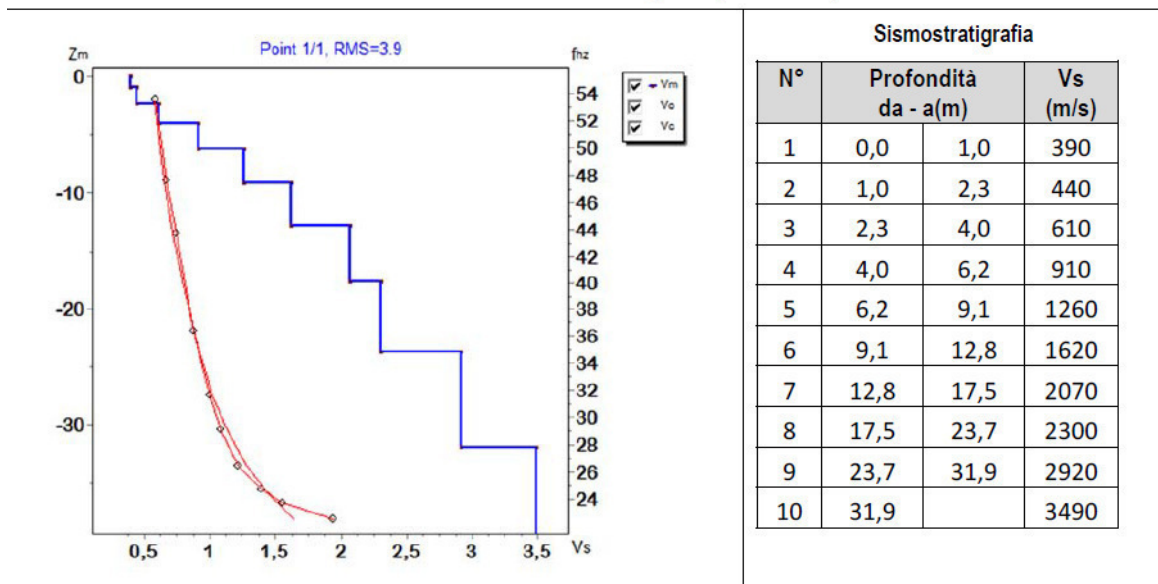
6.7. MASW – ELABORAZIONI E RISULTATI

6.7.1. MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,0	1° sismostrato con Vs tra 390 e 610 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,0– 6,2	2° sismostrato con Vs tra 610 e 910 rocce tenere e/o mediamente fratture
6,2 – 12,8	3° sismostrato con Vs tra 910 e 1620 m/s, substrato roccioso integro o poco fratturato
12,8 - 23,7	4° sismostrato con Vs tra 1620 e 2920 m/s, substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	5° sismostrato con Vs >di 2920 m/s, substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M1 - PROFILO Vs (Vs eq= 485 m/s)



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

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

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,0 m** (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.0 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 4.03/0,01072 = 485 \text{ m/s}$$

ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B-Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta delle stesse poste a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, infatti la Vs diventa maggiore di 800 m/s comprendente in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

A titolo indicativo si riporta anche il valore calcolato delle Vs30 secondo le vecchie NTC 2008.

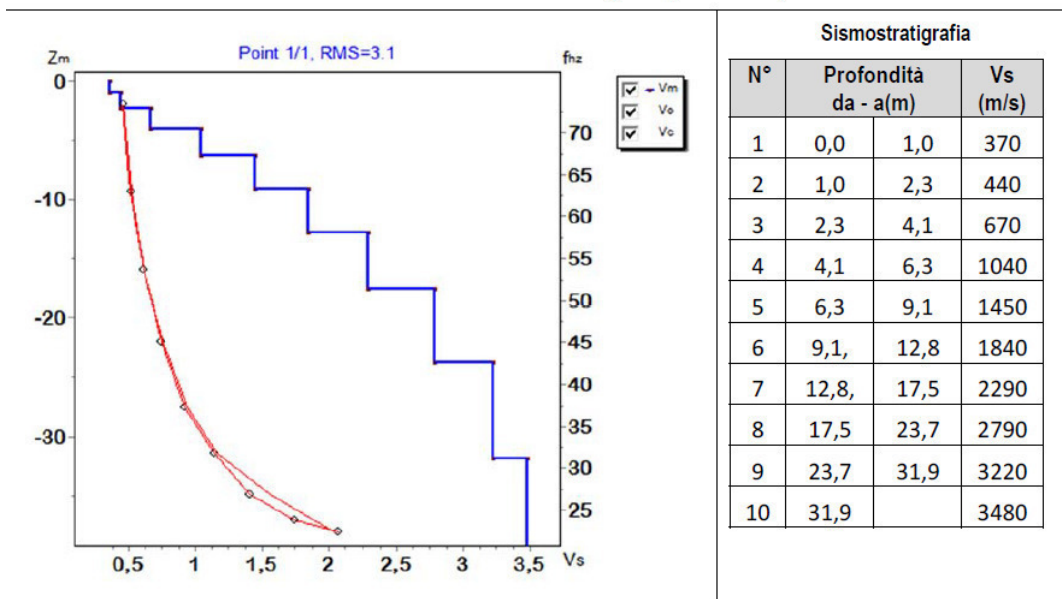
$$V_{s30} = 1338 \text{ m/s (Categoria A)}$$

6.7.2. MASW M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,1	1° sismostrato con Vs tra 370 e 670 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,1 – 12,8	2° sismostrato con Vs tra 670 e 1840 rocce tenere o mediamente fratturate
12,8 – 23,7	3° sismostrato con Vs tra 1840 e 2790 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	4° sismostrato con Vs > 2790 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M2 - PROFILO Vs (Vs eq= 490 m/s)



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

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

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 4,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.1 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 4,1 / 0,008365 = 490 \text{ m/s}$$

ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B-Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta delle stesse poste a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, infatti la Vs diventa maggiore di 800 m/s comprendente in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

A titolo indicativo si riporta anche il valore calcolato delle Vs30 secondo le vecchie NTC 2008.

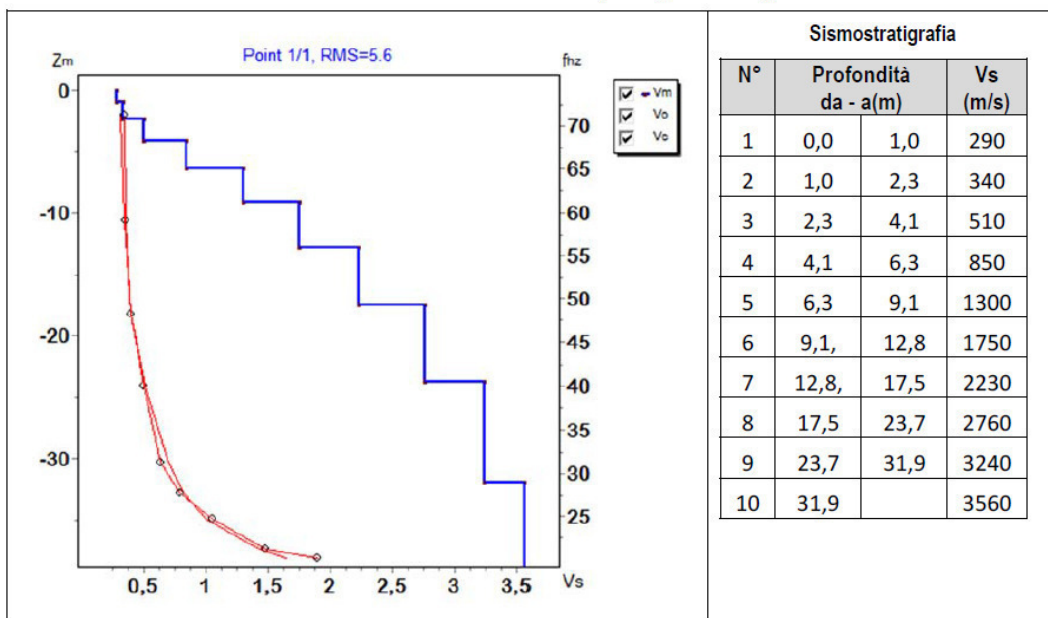
Vs30= 1450 m/s (Categoria A)

6.7.3. MASW M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,1	1° sismostrato con Vs tra 290 e 510 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,1 – 9,1	2° sismostrato con Vs tra 510 e 1300 rocce tenere o mediamente fratturate
9,1 – 23,7	3° sismostrato con Vs tra 1300 e 2760 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	4° sismostrato con Vs > 2760 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M3 - PROFILO Vs (Vs eq= 373 m/s)



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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{V_{s,i}}}$$

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 4,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.1 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_s eq = 4,1/0,010994 = 373 \text{ m/s,}$$

ciò consente di classificare il terreno come Categoria B–Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta delle stesse poste a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, infatti la V_s diventa maggiore di 800 m/s comprendente in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

A titolo indicativo si riporta anche il valore calcolato delle V_{s30} secondo le vecchie NTC 2008.

$$V_{s30} = 1245 \text{ m/s (Categoria A)}$$

6.8. CONSIDERAZIONI SULL'ASSETTO GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

La prospezione geofisica attraverso l'impiego della tecnica della sismica a rifrazione con elaborazione tomografica e della MASW ha permesso di ricostruire con buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche. In particolare, nelle basi sismiche realizzate, è stato possibile individuare i diversi rifrattori associabili alle differenti formazioni di cui si compongono i terreni che caratterizzano l'area d'indagine. Lungo tutti gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s crescente con la profondità, e possono essere rilevati i seguenti sismostrati:

Stendimento BS1	ONDE P		ONDE S	
	Sismostrati	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)
A: Coperture	0 a 2/3	450-800	0 a 2/3	200-400
R1: Rocce fratturate	2/3 a 4/5	800-1800	2/3 a 4/5	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 4/5	1800-4000	> 4/5	800-1800

Stendimento BS2	ONDE P		ONDE S	
	Sismostrati	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)
A: Coperture	0 a 1/1.5	450-800	0 a 1/1.5	200-400
R1: Rocce fratturate	1/1.5 a 2/5	800-1800	1/1.5 a 2/5	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 2/5	1800-4000	> 2/5	800-1800

Stendimento BS3	ONDE P		ONDE S	
	Sismostrati	Profondità (m)	Velocità in m/s	Profondità (m)
A: Coperture	0 a 1/2	450-800	0 a 1/2	200-400
R1: Rocce fratturate	1/2 a 5/8	800-1800	1/2 a 5/8	400-800
R2: Rocce lapidee/integre	> 5/8	1800-4000	> 5/8	800-1800

I risultati della BS1 sono riferibili al litotipo intrusivo granitoide, mentre la BS2 e la BS3 sono riferibili ai litotipi metamorfici.

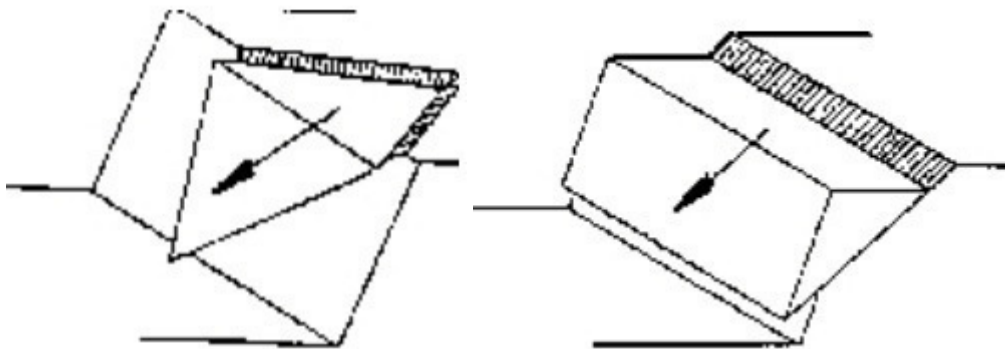
6.9. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Sulla base dei dati geostrutturali ottenuti dalle indagini integrative e da ulteriori ricognizioni effettuate in sito durante la campagna di rilievi del 10.11.2018, di seguito vengono analizzate le caratteristiche di stabilità e/o propensione al dissesto dei due litotipi principali presenti nel contesto di progetto.

6.9.1. ROCCE METAMORFICHE

L'intensa fratturazione e il grado di metamorfismo, ampiamente descritti nei precedenti capitoli producono sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il grado di fissilità. Pertanto è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto.

Si può definire un range di spaziatura alla mesoscala, tale da individuare una potenziale compagine di blocchi in grado di staccarsi dall'ammasso se le condizioni geostrutturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio):



Tali dimensioni possono essere individuate tra il decimo di metro cubo a qualche metro cubo. Nell'immagine successiva è raffigurata una porzione di trincea, di circa 20 m di lunghezza, lungo la SS389 in prossimità della rotatoria da e per il settore Gomoretta 02. Come è visibile dalla foto, la variabilità direzionale delle famiglie di giunti che individuano i blocchi è piuttosto marcata e diversificata in funzione, come detto della competenza degli strati soggetti agli sforzi. Ne deriva di fatto, una difficile previsione delle potenziali propensioni a fenomeni di crollo e/o scivolamento, ma si tratta di caratteri locali la cui eterogeneità laterale risulta sempre molto marcata.

In generale si può affermare che versanti come questo sono oggetto di due fenomeni di scivolamento distinti per le dominie di famiglie di giunti.

Alla piccola scala laddove il materiale originario è costituito da granulometrie fini e a forte componente argillosa, sono più frequenti fenomeni di sfaldamento e distacco di lamine da centimetriche a decimetriche. Queste ultime divengono più simili a piccoli blocchi se la componente sabbiosa aumenta (metasiltiti, metarenarie).

A scala media, le spaziature sono maggiori, anche di qualche metro ed interessano blocchi più grandi ma che rispondono alle medesime dinamiche di quelli pocanzi analizzati.

Di fatto quindi, non potendo generalizzare alla piccola scala è sempre d'obbligo un rilievo puntuale sugli fioramenti ove possibile. Il materiale crollato si raccoglie ai piedi del pendio, in accumuli più o meno estesi in funzione della pendenza.



Figura 6.6 - tratto della S.S.389 soggetto a fenomeni gravitativi di scivolamento e/o crollo

Dalle indagini effettuate lo spessore della roccia metamorfica più o meno fratturata, con grado di fratturazione e alterazione crescente con la profondità è stimato da 1,5m a 5m al di sotto di una coltre di alterazione in parte pedogenizzata dello spessore variabile da 0m a 2m.

6.9.1. ROCCE GRANITICHE

Per quanto concerne gli ammassi rocciosi granitici, che nel contesto progettuale sono limitati alla porzione est del settore Gomoretta 01 le dinamiche di alterazione legate alla fratturazione sono diverse per genesi.

La fratturazione dei graniti infatti ha tre origini differenti:

- 1) Fratturazione da raffreddamento: il batolite raffreddandosi, dopo la sua messa in posto, si frattura: tale fratturazione in genere ad andamento radiale e "a cipolla" interessa la parte più superficiale (da pochi ma diverse decine) dell'ammasso roccioso;

- 2) Fratturazione legata alla fase distensiva dell'orogene: sono fratture profonde spesso riempite da fluidi idrotermali a chimismo sia basico che acido.
- 3) Fratturazione legata a movimenti di tipo tettonico successivi alla sua messa in posto e che hanno direzioni definite dall'assetto delle forze orogenetiche.

Gli ammassi rocciosi interessanti il contesto di progetto fanno capo al complesso intrusivo dell'unità di Benetutti nella facies di Orune. Si tratta di granodioriti monzogranitiche fratturate nella parte sommitale, con famiglie di giunti semiaperti quasi ortogonali tra loro a formale isolati blocchi pseudo cubici delle dimensioni variabili fino al metro cubo. I fenomeni di instabilità sono per lo più legati al crollo di codesti blocchi quando il piano di appoggio si trova a inclinazione maggiore di quella del pendio.



Figura 6.7 - Esempio di assetto geostrutturale su un affioramento sui graniti

Dalle indagini effettuate lo spessore della roccia granitica più o meno fratturata, con grado di fratturazione e alterazione crescente con la profondità è stimato da 2m a 5m al di sotto di una coltre di alterazione in parte pedogenizzata dello spessore variabile da 0m a 2m.

7. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

7.1. 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 generalmente 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.

⁶Il 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 del fiume Tirso e del Fiume Posada, l'idrografia superficiale della zona è poco sviluppata: i bacini idrografici che alimentano i corpi idrici sono di modeste dimensioni. 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, ad evidente controllo tettonico, 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 strettamente legata al grado di fratturazione dell'acquifero roccioso.

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.

Laddove lungo il versante la parte superiore dell'ammasso roccioso, generalmente più fratturato e pertanto con porosità secondaria più efficiente incontra quella più profonda e meno interessata da fratturazioni si manifestano delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale.

Altre informazioni di dettaglio, sul sistema di circolazione idrica sotterranea profonda, sono state dedotte da dati di perforazioni prossime al sito di interesse, resi disponibili dall'ISPRA - Archivio Nazionale delle Indagini nel

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): 40.506668 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		240

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	53.8	54.2	0.400000000000006
2	86	86.6	0.599999999999994

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

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

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.

Le indagini geofisiche hanno permesso di caratterizzare in maniera più dettagliata gli ammassi rocciosi interessati dal progetto e di meglio comprendere il regime di circolazione delle acque sotterranee che si instaura sulla porzione superficiale degli ammassi.

7.2. CARATTERISTICHE E DINAMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione, accumulo e circolazione legato al regime delle piogge e caratterizzante in analogo misura sia le litologie metamorfiche che quelle intrusive nella porzione sommitale e di interesse alle opere del parco eolico.

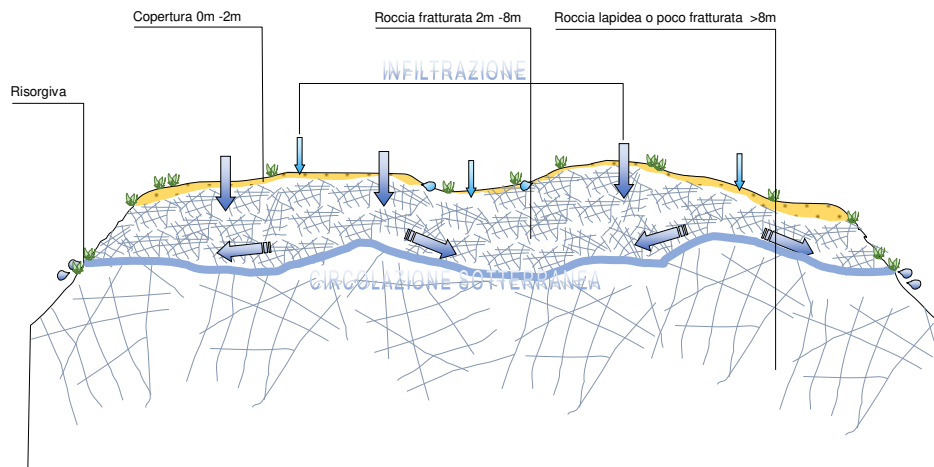


Figura 7.1 - Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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 il bordo dell'altopiano oltre il quale si riversano lungo valli strette a V ancora in evoluzione geomorfologica.

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. È possibile infatti che alcune fratturazioni seppur beanti in origine, vengano riempite da materiale fino in genere argille che proviene dallo stesso disfacimento della roccia metamorfica incassante.

Maggiore è la presenza di fratture maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità.

Dall'esame dei profili sismici si sono riscontrate due interfacce utili anche alla comprensione dei meccanismi di trasporto delle acque piovane e di falda. La prima, molto superficiale si individua in corrispondenza del passaggio tra la coltre superficiale alterata (copertura) e la prima fascia di roccia fratturata. Quest'interfaccia è presente sia nelle metamorfite che nelle rocce intrusive e si differenzia per lo spessore e la composizione mineralogica.

La seconda, più profonda si individua intorno ai 5-8m, al passaggio ad un ammasso roccioso con minore fratturazione. Questa differenza fa sì che si generi una diversa permeabilità secondaria ovvero per fratturazione e, impedendo il deflusso in profondità l'acqua può localmente accumularsi e spostarsi lateralmente quando gli apporti sono considerevoli e la permeabilità dell'ammasso roccioso più "sano" limita l'infiltrazione. È in tali momenti che si manifestano la maggior parte delle risorgive conosciute nella zona di interesse.

Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti che si hanno lungo i versanti e nei tagli erosivi sono per l'appunto legate principalmente alla presenza dei sistemi di frattura a diversa scala e dal materiale derivante dall'alterazione superficiale degli ammassi rocciosi con particolare riferimento ai graniti.

Risulta pertanto di difficile individuazione il reale collegamento tra le acque di infiltrazione e quelle provenienti dalle risorgive ma si può fare un ragionamento ad ampio raggio come quello schematizzato in fig. 7.1, poiché i vari sistemi di fratture sono diffuse praticamente ovunque.



Figura 7.2 - Esempio di captazione di risorgive stagionali per l'abbeveraggio del bestiame. Loc.Funtana d'Oliena e esempio di formazione di pozze e ristagni dopo importanti piogge.

Le sorgenti si ritrovano per lo più lungo le incisioni vallive e in corrispondenza di importanti differenze di fratturazione. Le portate sono modeste, nell'ordine di 0,2-0,4l/sec e fortemente dipendenti dalle stagioni. Vengono intercettate e utilizzate per l'abbeveraggio del bestiame da allevamento durante il pascolo allo stato brado. La geochimica di queste acque riflette il percorso che fanno all'interno dell'acquifero roccioso arricchendosi in minerali abbondanti in queste litologie. La geochimica di queste acque è legata in particolar modo alla composizione delle rocce incassanti e al tempo di contatto che le acque di pioggia hanno con la stessa roccia prima di venire nuovamente a giorno attraverso le risorgive. Per quanto riguarda le falde freatiche stagionali esse risentono delle componenti presenti nei primi strati, mentre le falde profonde, che si ritrovano anche a decine di metri di profondità, le quali vengono raggiunte attraverso la perforazione di pozzi, hanno di norma maggiore arricchimento di alcuni minerali maggiormente solubili, dovuto al maggior tempo di permanenza e deflusso all'interno dell'acquifero.

Altra caratteristica che si può riscontrare in superficie, anch'essa schematizzata in fig.7.1 è la formazione di pozze in occasione di piogge intense, in corrispondenza di naturali avvallamenti dell'altopiano dove affiorano rocce poco fratturate. Essendo il deflusso quasi totalmente impedito o limitato si creano dei ristagni.



8. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

8.1. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

⁷Il 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 strutturale nota con il nome di penepiano ercinico. I successivi fenomeni di sollevamento tettonico, imputabili all'orogenesi alpina, hanno ridefinito la morfologia del paesaggio operando un ringiovanimento del rilievo. La superficie strutturale paleozoica si è quindi trovata ad una quota maggiore. Questo ha innescato una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altipiano così come lo conosciamo, ovvero solcato da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti.

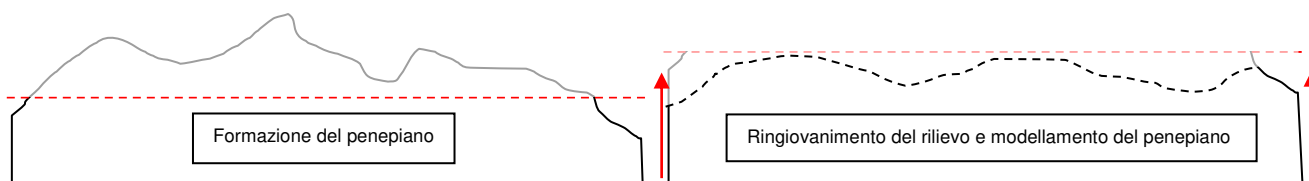


Figura 8.1 - schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie presenti ad esempio nel fondovalle della valle di Nuoro.

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.

I due settori in esame presentano dunque caratteristiche morfologiche molto simili, con aspetto prevalentemente collinare, essendo entrambi caratterizzati da ampi altipiani sub-pianeggianti, che raccordano deboli rilievi in corrispondenza delle manifestazioni filoniane posti a quote più elevate.

Le forme arrotondate sulle litologie metamorfiche sono dovute al loro assetto geostrutturale, non vi è una direzione preferenziale di strato ma, l'estrema variabilità di risposta alle sollecitazioni tettoniche produce un ammasso roccioso dalle caratteristiche strutturali molto incostanti. Le linee preferenziali di erosione a grande scala restano dunque solo le lineazioni tettoniche principale dirette NE e SW con le loro complementari. Il reticolo idrografico, sulla superficie dell'altipiano è effimero e poco sviluppato, la circolazione delle acque avviene per laminazione e a deboli rivoli concentrati che posso assumere carattere torrentizio in caso di piogge intense e in zone a maggiore acclività.

Le forme arrotondate dall'aspetto collinare vengono spesso interrotte da affioramenti di rocce più competenti, di natura intrusiva costituite dalle intrusioni filoniane a chimismo sia acido che basico. La risposta agli agenti

⁷ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

geomorfogenetici è differente rispetto alle litologie metamorfiche. Essi emergono dal contesto circostante in forme aspre tipo *tor* con vegetazione pressoché assente. Presentano fratturazioni in blocchi tipiche di queste formazioni. Spesso definiscono degli spartiacque di sub bacini.

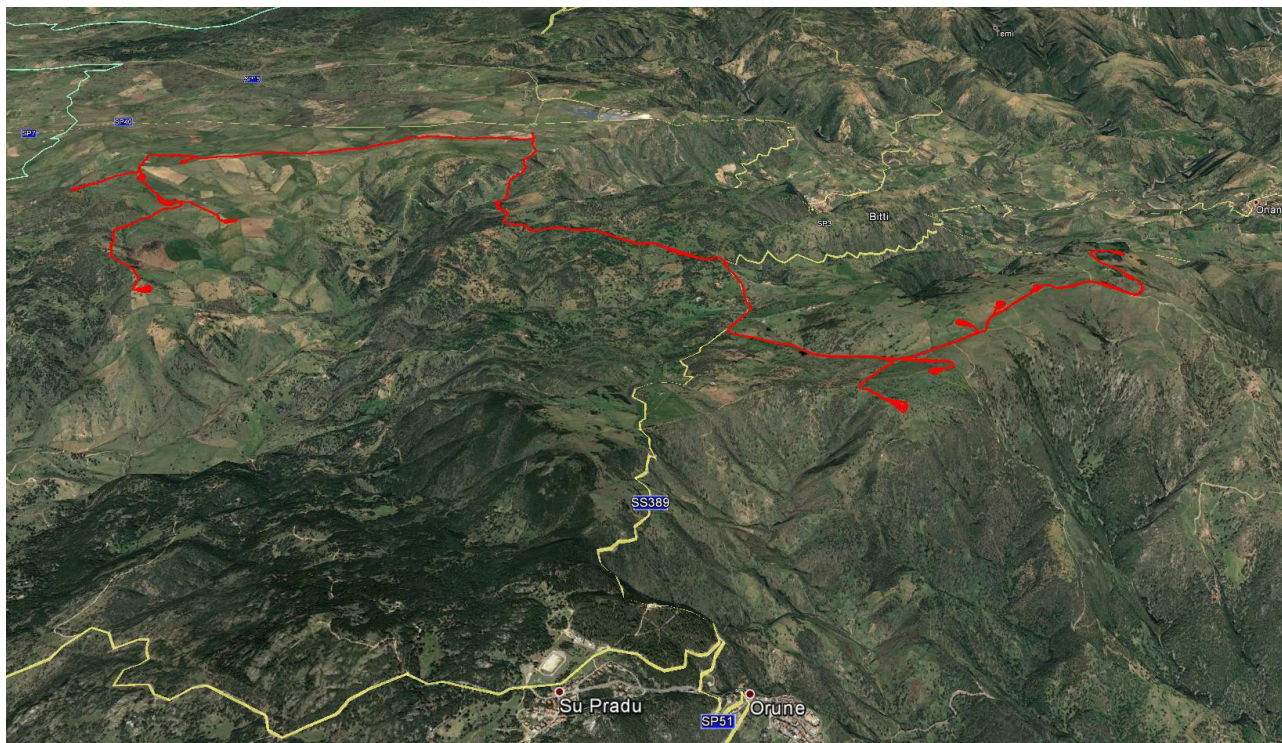


Figura 8.2- Vista da Sud del sistema di rilievi e valli che caratterizzano l'area di impianto del Parco "Eolico Gomoretta" (in rosso)



Figura 8.3 - Vista da sud dell'area delle turbine WGT8 e WGT9 e particolare delle metamorfiti

Per quanto concerne il complesso granitico a est dell'area di interesse al progetto, esso si presenta in tipiche forme a *tor*, con frequenti tafoni, segno indelebile dell'azione del vento. I blocchi si presentano spesso arrotondati per via dell'azione delle acque di ruscellamento e del vento. Il grado di arrotondamento è funzione della spaziatura del giunto e dell'esposizione.



Figura 8.4 - Affioramento su graniti e particolare dei processi di alterazione

La roccia si presenta generalmente con andamento sub collinare talvolta aspro in affioramenti fioniani più competenti. Nelle zone vallive, alla base dei pendii, la concentrazione delle acque di ruscellamento e la loro infiltrazione favorisce processi di arenizzazione dei graniti con formazione di ossidati ben visibili per via del colore.

Al di sopra del substrato metamorfico e granitico sono adagate le coperture detritiche di versante, soprattutto in corrispondenza dei versanti più acclivi, dove sovente sono soggetti a processi erosivi ad opera delle acque di ruscellamento superficiale, che si incanalano lungo gli impluvi naturali presenti marginalmente all'area indagata.

8.2. 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.

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. Tilibiliche.

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.

9. 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.⁸

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).

⁸ Carta dei suoli della Sardegna, Aru et alii, 1990

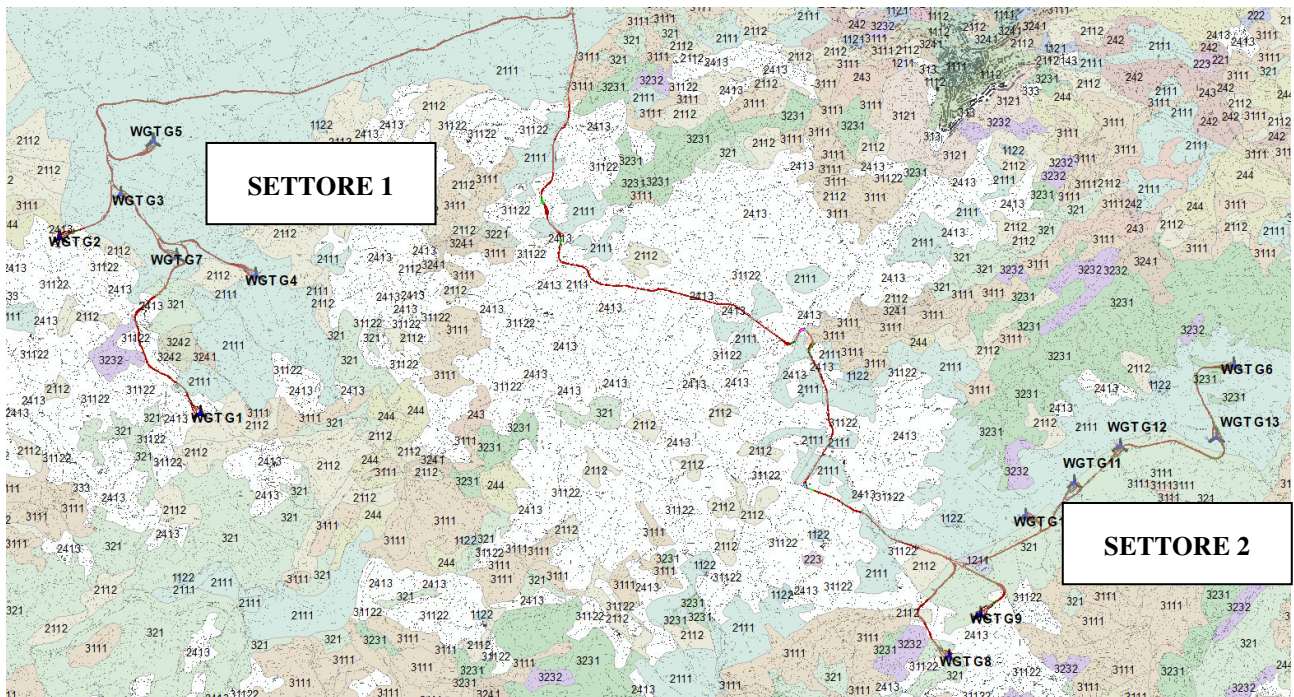


Figura 9.1- Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo Corine Land Cover, RAS 2008

10. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

10.1. 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".

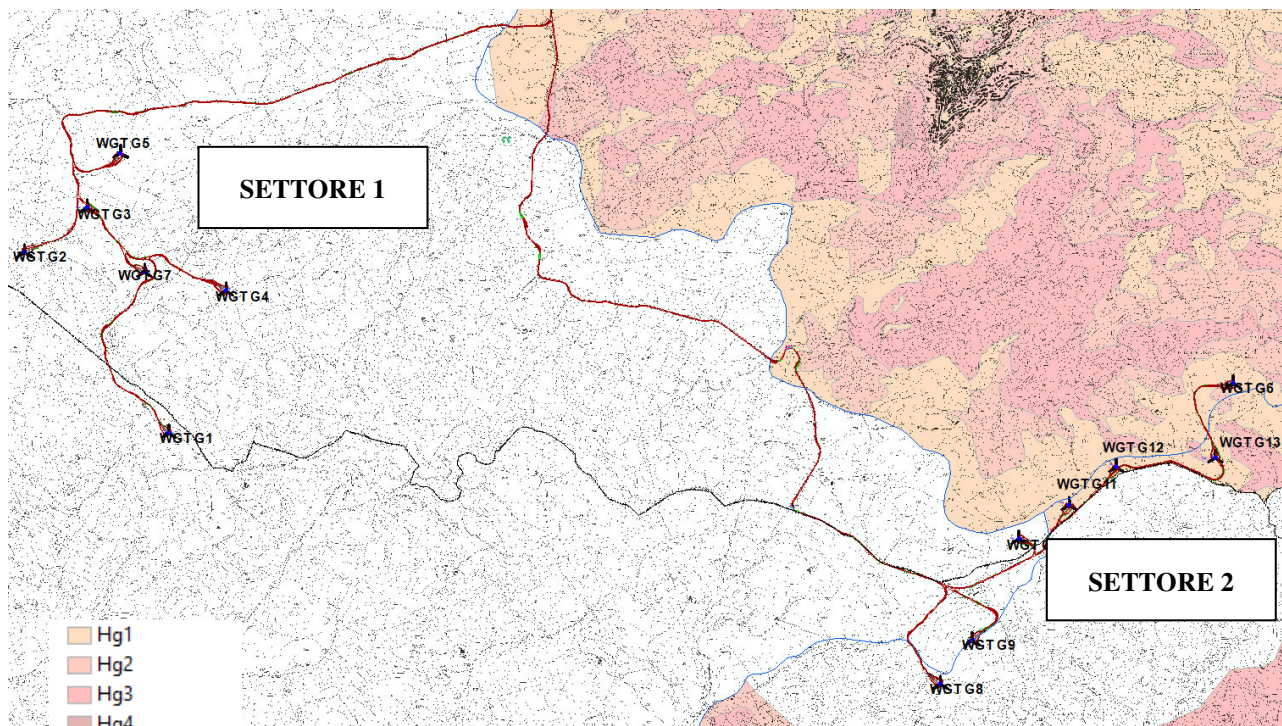


Figura 10.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il PAI 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) perimetrate 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.

10.2. 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 interessato dal progetto non risulta essere interessato da perimetrazioni per rischio alluvioni mentre risulta interessato da pericolosità geomorfologica. Le tavole del PGRA riportano di fatto, le perimetrazioni presenti nel PAI, già affrontate nella presente, e che riguardano un tratto della SS389 a pericolosità Hg3 ed un area intorno alle turbine G6 e G13 a pericolosità Hg1.

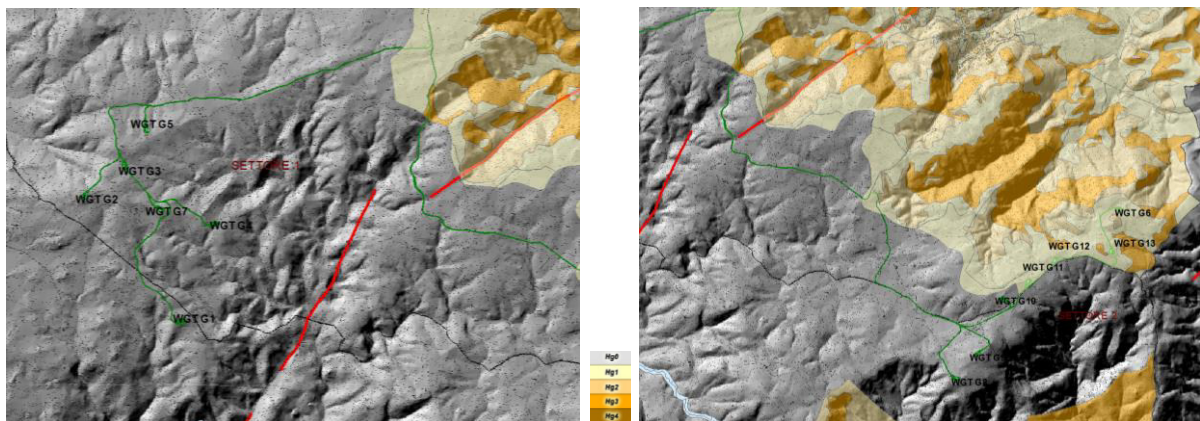


Figura 10.2 - Inquadramento delle opere in progetto su PGRA

10.3. 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.

10.4. 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.

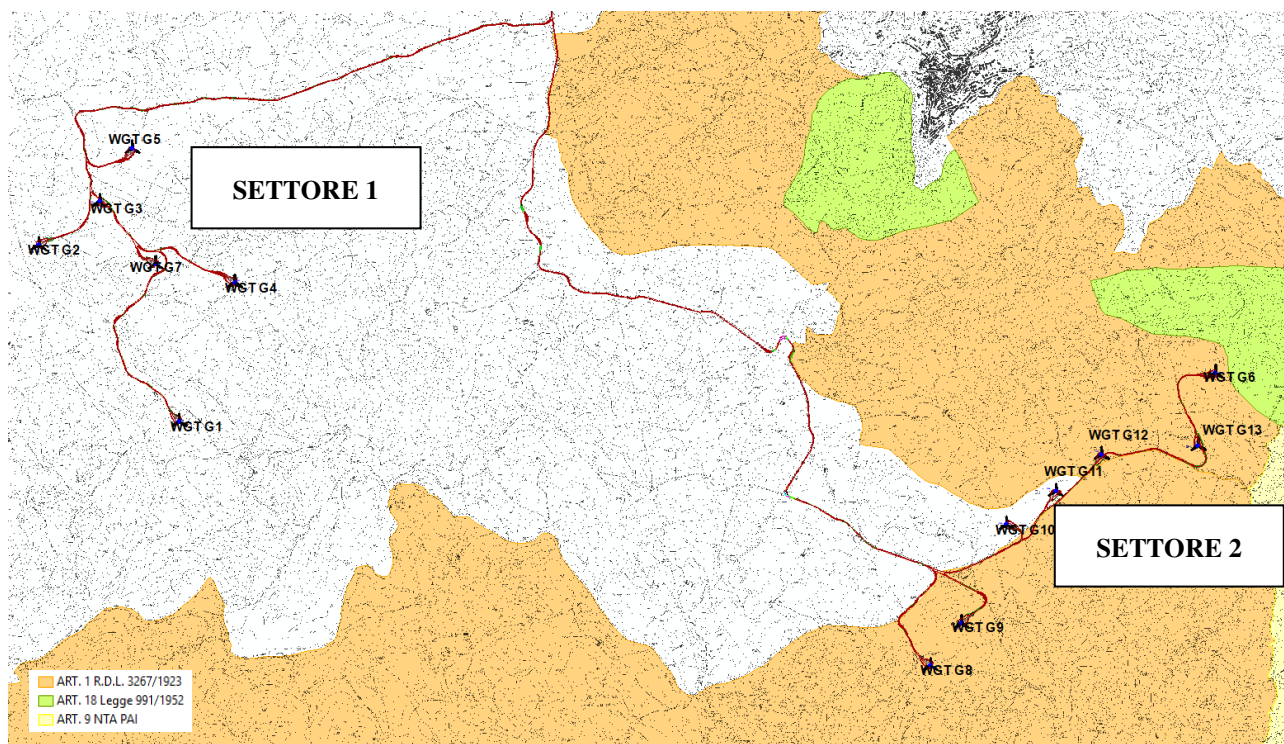
Nello specifico il vincolo ha come scopo principale quello di preservare l'ambiente fisico e quindi di impedire forme di utilizzazione del territorio che possano determinare denudazione, innesco di fenomeni erosivi, perdita di stabilità, turbamento del regime delle acque ecc., con possibilità di danno 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).



11. 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, 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. L'intensa deformazione che le metamorfiti hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione dei scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
- 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, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione di graniti e metamorfiti. 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.

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.

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.

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 $i > 30^\circ$

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).

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;

F₀ 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):

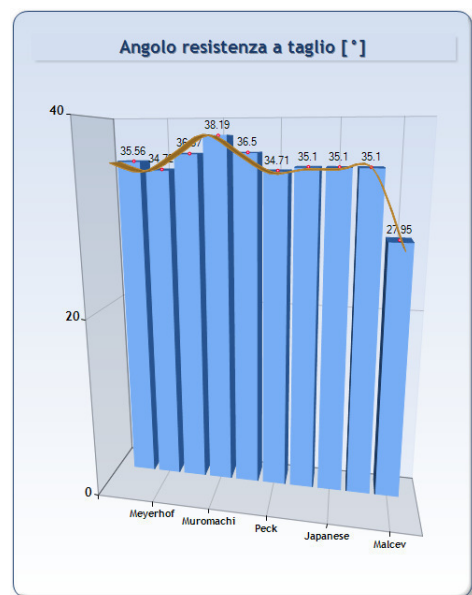
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):

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)	Limo e 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),

Litologia	RMR base	RMR corretto	Classe	Descrizione	Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
Complesso scistoso	64,77	62,77	Seconda	Buono	29,54	64,77	323,85	37,39	259,08	30,91
Complesso intrusivo	67	65	Seconda	Buono	34	67	335	38,5	268	31,8

Tabella 6: Parametri caratteristici degli ammassi rocciosi sulla base del rilievo geomeccanico.

supportato dai dati geostrukturali rilevati in sito 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:

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

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 Strenght 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.

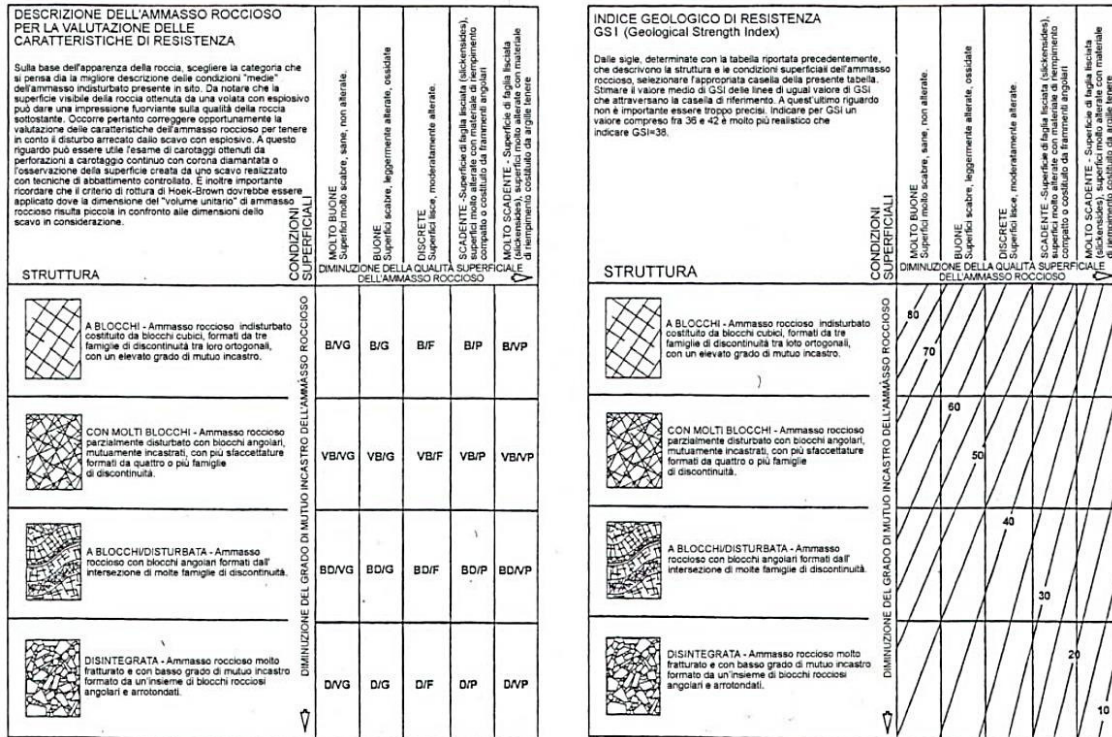


Figura 14.2 - Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.

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 seguono.

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
				Grovacche (18)		
	Non clastiche	Organogene			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)	
	Scure		Diorite (28)		Andesite 19	
			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

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

$$m_b = m_i [(GSI-100)/28]$$

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

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

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

$$\sigma'_1 = (2c' \cos \varphi' / 1 - \sin \varphi') + (1 + \sin \varphi' / 1 - \sin \varphi') \sigma'_3$$

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:

PROGETTO DEFINITIVO

<p> Critero di rottura empirico $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{eff}\sigma_3 + s\sigma_3^2}$ σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima σ_{eff} = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche </p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p> ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO Dolomiti, calcare e marmo </p>	<p> ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE Argille, sabbie, scisti argillosi con clivaggio ben marcato </p>	<p> ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE Arenarie e quarzite </p>	<p> ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANITA FINE Andesiti, diabasi, diabasi e nolle </p>	<p> ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE Anfibolite, gabbro, gneiss, norite, quarzo-diorite </p>
<p> CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa) Indice CSIR: RMR = 100 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 Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m Indice CSIR: RMR = 85 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 Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m. Indice CSIR: RMR = 65 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 Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m. Indice CSIR: RMR = 44 Indice NGI: Q = 1 </p>	m s	0.128 0.00009	0.163 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p> AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata. Indice CSIR: RMR = 23 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 Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine. Indice CSIR: RMR = 3 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 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

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

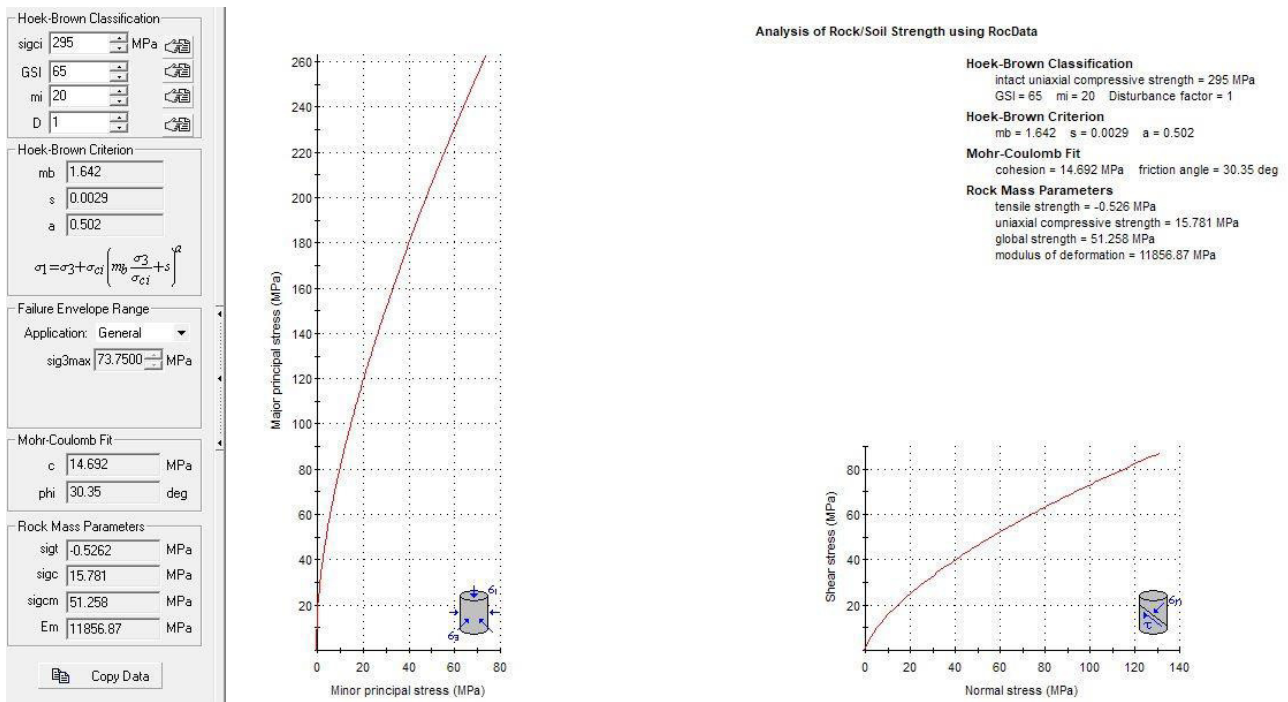


Figura 14.5 – Analisi sforzi/deformazioni dell'ammasso roccioso metamorfico (RocScience – RocDATA)

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

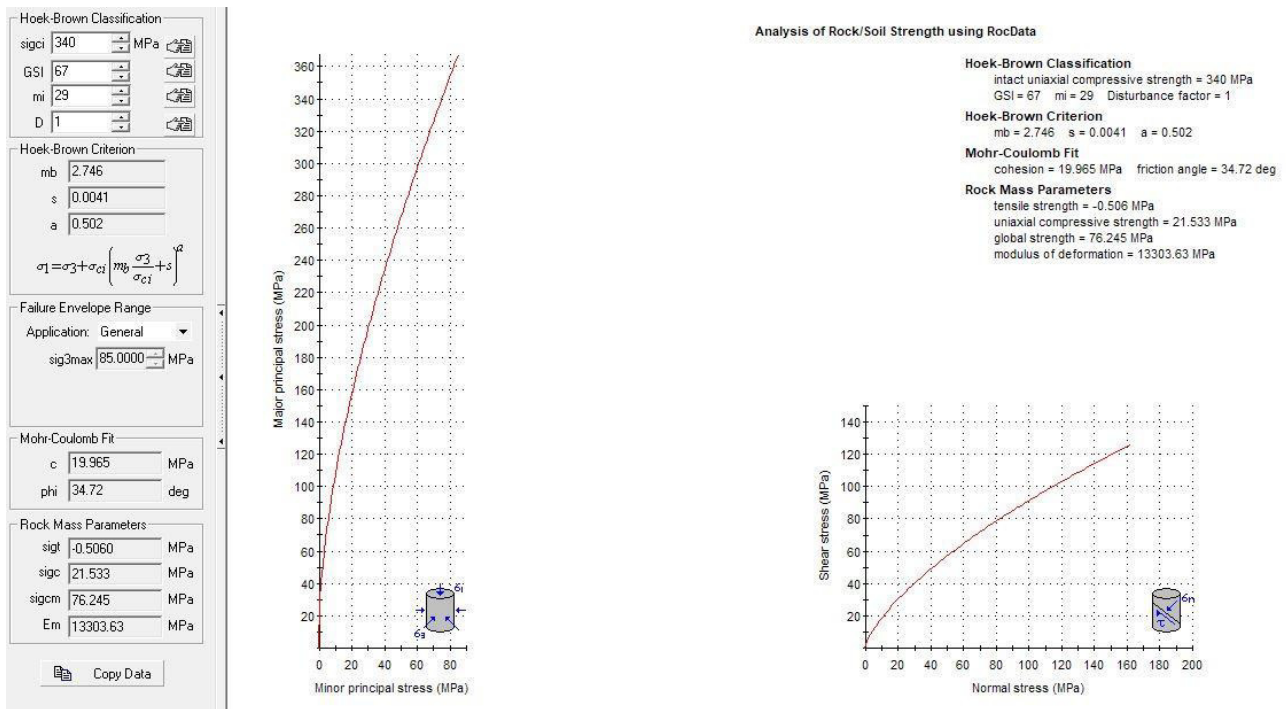


Figura 14.6 – Analisi sforzi/deformazioni dell’ammasso roccioso intrusivo (RocScience – RocDATA)

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.

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 ϕ_{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.

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 permangono 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: (A2+M2+R2)

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: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2:

(A1+M1+R3).

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

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

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 rigidezza 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.

17.1. ANALISI DELLE AREE PERIMETRATE DAL PAI – COMPATIBILITÀ GEOLOGICO-GEOTECNICA DEGLI INTERVENTI

In accordo con quanto indicato all'articolo 23, comma 6, lettera b. delle NTA PAI, nei casi in cui è espressamente richiesto dalle presenti norme i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità molto elevata, elevata e media da frana sono accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica finalizzato a:

- b. valutazione del progetto con riferimento alla finalità, agli effetti ambientali;
- c. analisi delle relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata;
- d. verifica e dimostrazione della coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI;
- e. previsione di adeguate misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato agli interventi in progetto.

Nel caso specifico del progetto di cui alla presente, alcuni tratti della strada comunale che collega la SS.389 alla SP40, in località "Errede" tra i due settori ricade in area a pericolosità Hg3. Tutte le turbine sono scevre da vincolo.

Il PAI 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) perimetrate nell'ambito del PAI mentre **sono presenti alcune aree di seguito esplicitate a pericolosità geomorfologica.**

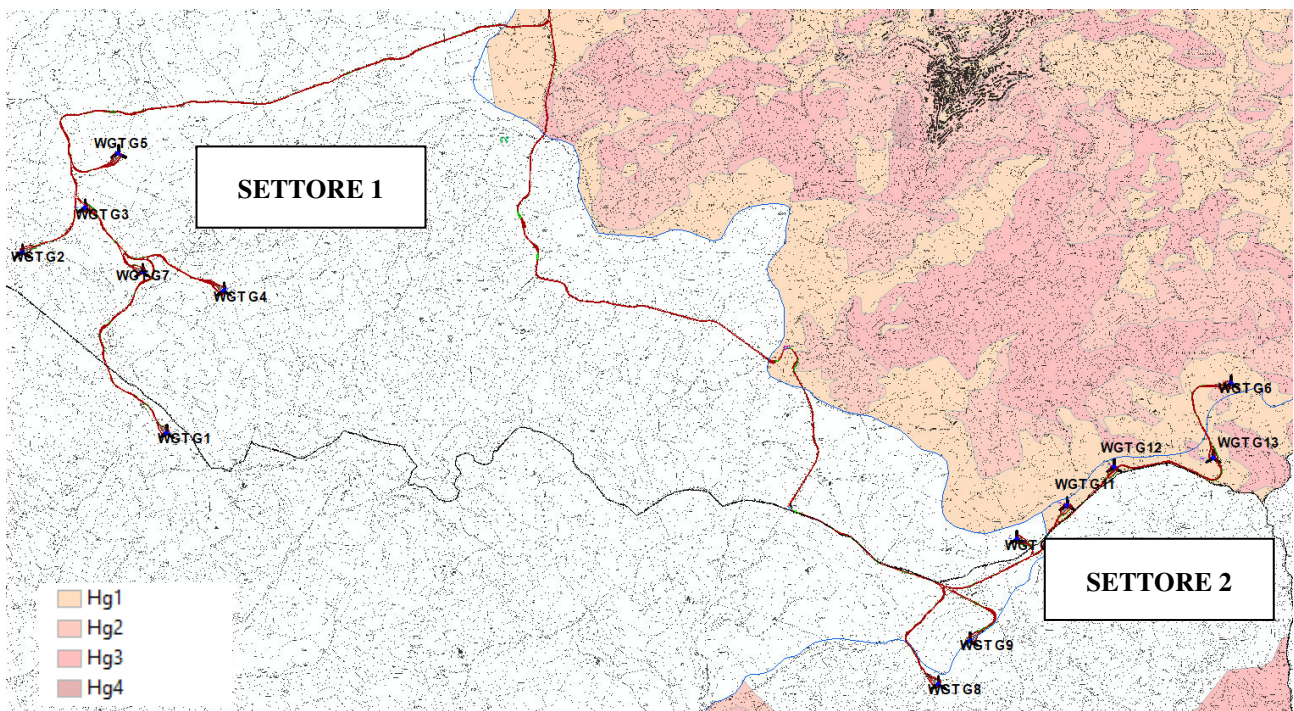


Figura 17.1- Inquadramento Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI)

Di seguito verrà effettuata un'analisi approfondita come richiesta dall'art.25 delle NTA PAI e in conformità all'annesso Allegato F.

17.1.1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOSTRUTTURALE DEL SITO

La strada si sviluppa interamente in trincea, presente su entrambe le carreggiate, sulle litologie metamorfiche precedentemente descritte. La trincea esposta a est presenta un'altezza massima di circa 6m e un'inclinazione di 60°, la trincea oposta è più bassa raggiunge circa i 3m nel punto più alto ed è analogamente alla prima inclinata di 60°.

L'assetto strutturale manifesta i diversi caratteri deformativi tipici di queste zone estremamente variabili con la direzione. Sono presenti e ben visibili diverse strutture plicative e locali faglie, conseguentemente l'ammasso si presenta intensamente fratturato a tratti moderatamente in ordine alla presenza di corpi filoniani più competenti. Le famiglie di giunti hanno direzioni variabili e localmente si dispongono a franapoggio predisponendo il versante a locali smottamenti come in fig.18.2 – d) ma nel complesso si osserva un buon grado di stabilità.



a)



b)



c)



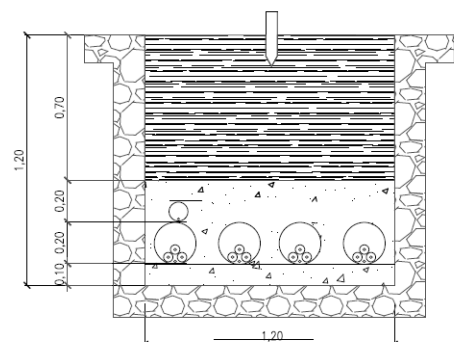
d)

Figura 17.2 – Panoramica della trincea sulla strada di servizio

17.1.2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Lungo la strada comunale, che nel tratto oggetto di verifica si sviluppa in trincea, verrà effettuato uno scavo per l'alloggiamento del cavidotto secondo lo schema indicativo riportato, di larghezza e profondità di 1,20m. il taglio verrà effettuato lungo l'asse viario non essendoci luogo idoneo ai piedi della trincea, ad una distanza tale da non determinare interferenze con la stabilità della stessa.

CAVIDOTTO IN TERRENO STRADALE 4 TERNE



17.1.3. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL PENDIO IN ASSENZA ED IN PRESENZA DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DALL'INTERVENTO (CONDIZIONI EX-ANTE ED EX-POST)

Al fine di verificare gli impatti delle opere previste sulla stabilità delle opere è stata effettuata una verifica di stabilità ex ante ed ex post della quale seguono gli esiti, utilizzando il metodo di Fellenius e considerando l'ammasso roccioso classificato con Hoek & Bray per RMR pari a 62.

Le verifiche ex post sono state condotte considerando lo scavo di posa del cavidotto aperto a simulare la condizione più gravosa. Difatti, ad opera completata, lo scavo verrà chiuso ripristinando la sovrastruttura stradale.

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,86 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-1,4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,32 m
Ordinata vertice destro superiore ys	6,43 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	5,0	0,0
3	7,9	-5,0
4	15,9	-5,0
5	17,65	-2,0
6	20,0	-2,0

Piezometrica Nr..1

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0

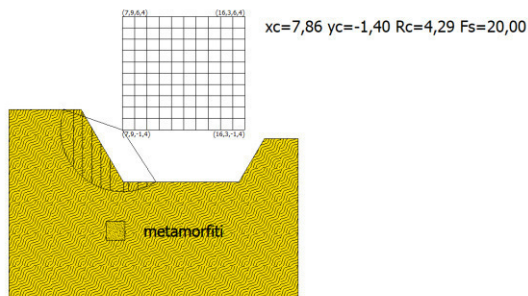
Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

PROGETTO DEFINITIVO

Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (Kg/m ³)	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm ²)	Texture	Descrizione
1	2500	0,427	0,683	-0,004	3008		metamorfiti



EX ANTE

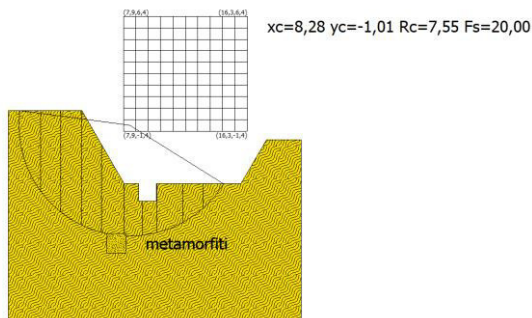
Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	20,0
Ascissa centro superficie	7,86 m
Ordinata centro superficie	-1,4 m
Raggio superficie	4,29 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 7,857 yc = -1,398 Rc = 4,291 Fs=20,00

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,64	-80,9	4,04	5602,35	0,0	0,0	23,66	53,3	0,0	885,3	-5532,0
2	0,64	-46,6	0,93	6976,76	0,0	0,0	23,66	53,0	0,0	4795,5	-5067,4
3	0,64	-35,1	0,78	6755,58	0,0	0,0	23,67	52,8	0,0	5524,6	-3888,1
4	0,64	-25,2	0,71	5585,76	0,0	0,0	23,67	52,8	0,0	5054,4	-2377,7
5	0,64	-16,0	0,66	4208,24	0,0	0,0	23,67	52,9	0,0	4044,6	-1162,1
6	0,9	-5,5	0,91	3278,61	0,0	0,0	23,66	53,1	0,0	3263,5	-314,8
7	0,37	3,1	0,37	638,16	0,0	0,0	23,66	53,2	0,0	637,2	34,1
8	0,64	9,9	0,65	1000,25	0,0	0,0	23,66	53,2	0,0	985,4	171,9
9	0,64	18,7	0,67	740,5	0,0	0,0	23,66	53,3	0,0	701,2	237,9
10	0,64	28,1	0,72	300,17	0,0	0,0	23,66	53,3	0,0	264,8	141,4



EX POST

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	20,0
Ascissa centro superficie	7,86 m
Ordinata centro superficie	-1,4 m
Raggio superficie	4,29 m

xc = 7,857 yc = -1,398 Rc = 4,291 Fs=20,00

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,51	-82,4	3,85	4342,02	0,0	0,0	23,66	53,3	0,0	577,6	-4303,4
2	0,51	-50,3	0,8	5321,43	0,0	0,0	23,66	53,0	0,0	3397,1	-4096,0
3	0,51	-40,5	0,67	5802,37	0,0	0,0	23,67	52,9	0,0	4414,5	-3765,6
4	0,51	-31,9	0,6	5149,28	0,0	0,0	23,67	52,8	0,0	4370,1	-2723,5
5	0,51	-24,1	0,56	4366,52	0,0	0,0	23,67	52,8	0,0	3984,4	-1786,3
6	0,51	-16,8	0,54	3479,91	0,0	0,0	23,67	52,9	0,0	3331,0	-1007,1
7	0,51	-9,8	0,52	2503,55	0,0	0,0	23,66	53,0	0,0	2467,2	-425,1
8	0,51	-2,9	0,51	1447,52	0,0	0,0	23,66	53,1	0,0	1445,7	-72,4
9	0,51	4,0	0,51	867,5	0,0	0,0	23,66	53,2	0,0	865,4	60,4
10	0,51	10,9	0,52	784,52	0,0	0,0	23,66	53,2	0,0	770,2	149,0

17.1.4. EVENTUALI INTERAZIONI CON ALTRE OPERE

Non sono presenti altri opere.

17.1.5. OSSERVAZIONI

Dalle verifiche effettuate la realizzazione dello scavo non crea nuove condizioni di instabilità generali dell'ammasso roccioso, tuttavia si evidenzia la presenza di locali piccoli distacchi che sono più di interesse alla sicurezza stradale che connessa alle opere in progetto che in questo tratto saranno totalmente interrato.

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.

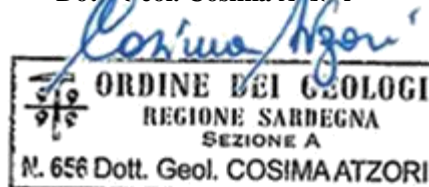
- la localizzazione degli aerogeneratori e della sottostazione Gamesa in progetto non interferiscono con processi geomorfologici connessi alle dinamiche fluviali e di versante, l'area indagata non evidenzia segni di dissesto profondo tanto che nel suo insieme può essere considerata stabile.

- 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





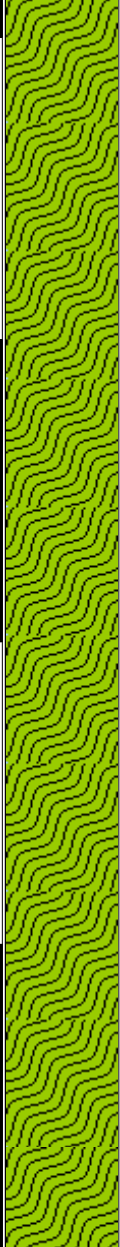
Committente GAMESA ENERGIA ITALIA S.p.A.	Profondità raggiunta 5 m	Quota Ass. P.C. 814 m s.l.m.	Certificato n° 1	Pagina 1
Operatore Geoambiente Italia snc - Nuoro	Indagine Parco Eolico - Gomoretta	Inizio/Fine Esecuzione 14/05/2012		
Responsabile Dr. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio Sondaggio n. 1	Tipo Carotaggio continuo	Tipo Sonda	Coordinate X Y E 1533157, N 447204

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Carot. Catalog.	Falda
		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	

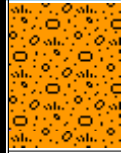

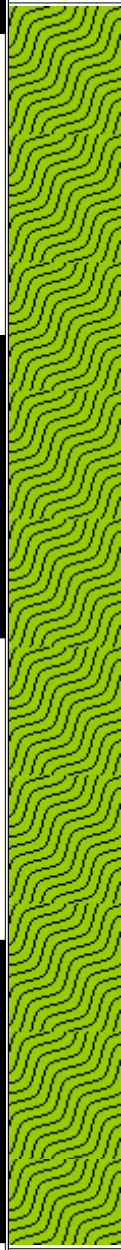
Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo

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