

# SARDEOLICA S.r.l.

Sesta Strada Ovest - Z.I. Macchiareddu I-09068 Uta (CA)

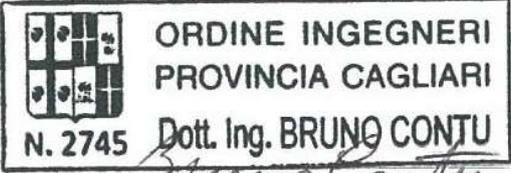
Società del gruppo SARAS

## REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "ONANIE" NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI ONANI' (NU)

### STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE



## RELAZIONE GEOTECNICA

<b>ALLEGATO B.1</b>	<b>Id. elaborato:</b> SIA-ALL-B1	<b>Coordinamento:</b> Dott. Ing. Bruno Contu   <i>Bruno Contu</i>  <b>A cura di:</b> Dott. Geol. Michele A. Ena    <b>Collaborazione:</b> Dott. Geol. Teresa Cossu
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	
0	Settembre 2020	
1	Marzo 2022	
<b>Il Committente:</b> 		
<b>Elaborazione S.I.A.:</b>  <b>ECOS S.R.L.</b> Via Meucci 11a, 09131 CAGLIARI Tel. 07044805 - Fax 0704526095 <a href="http://www.ecos-srl.com">http://www.ecos-srl.com</a> e-mail: <a href="mailto:ecos@ecos-srl.com">ecos@ecos-srl.com</a>		

**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>2</b>
<b>3. SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO, INQUADRAMENTO DELLE PROBLEMATICHE DI NATURA GEOLOGICA E GEOTECNICA CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELLE OPERE, CRITERI DI PROGRAMMAZIONE E ITER METODOLOGICO.....</b>	<b>4</b>
<b>4. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO .....</b>	<b>6</b>
<b>5. INQUADRAMENTO TIPOLOGIE DI INTERVENTO E DI FONDAZIONE .....</b>	<b>8</b>
<b>6. L'INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....</b>	<b>12</b>
<b>7. IL MODELLO GEOTECNICO DELL'AREA DI INTERVENTO .....</b>	<b>14</b>
7.1. La Zona A.....	14
7.2. La Zona B (B1 e B2) .....	17
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>26</b>
<b>ALLEGATO: CERTIFICATI DI LABORATORIO PROVE SUI CAMPIONI.....</b>	<b>28</b>



## 1. PREMESSA

La presente Relazione Geotecnica, redatta dal Dott. Geol. Michele A. Ena (n. iscr. Ordine Geologi Sardegna 423) con la collaborazione della Dott.ssa Teresa Cossu (n. iscr. Ordine Geologi Sardegna 628), è parte integrante del progetto “Realizzazione del Parco Eolico *Onanie*”, che prevede l’installazione di 6 aerogeneratori da 6,2 MW ciascuno nel territorio comunale di Onani (NU), la realizzazione di una sottostazione elettrica nel territorio comunale di Buddusò (SS), nelle vicinanze della sottostazione Terna di prossima costruzione, per la connessione del Parco alla Rete di Trasmissione Nazionale, la realizzazione di un cavidotto interrato in territorio di Onani, Bitti (NU) e Buddusò, per il trasporto dell’energia elettrica dagli aerogeneratori alla sottostazione elettrica, nonché la predisposizione della viabilità, delle opere di regimentazione delle acque meteoriche e delle reti tecnologiche a servizio del Parco.

Il presente elaborato ed i relativi allegati sono stati redatti in conformità alla normativa vigente a corredo del Progetto summenzionato, del quale costituiscono parte integrante e non diversamente utilizzabile per scopi ed interventi differenti da quelli di destinazione, illustrati nel seguito.

Il fine dello studio geotecnico è quello di definire il modello geotecnico del complesso opereterreno di fondazione, attraverso la individuazione della natura e potenza dei litotipi compresi nel volume significativo delle opere in progetto, la parametrizzazione dei medesimi mediante prove in situ e in laboratorio e dati di bibliografia tecnica, volte a definirne le proprietà indice e quelle geotecniche, e la definizione delle unità litotecniche (litotipi) a base di verifica. L’elaborato riporta inoltre geometria e profondità degli eventuali acquiferi a scala di intervento.

In definitiva, nel presente elaborato vengono individuate, in relazione alla rilevanza della tipologia d’opera, le caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo necessarie alla elaborazione delle verifiche geotecniche analitiche di capacità portante del sottosuolo volte al predimensionamento delle opere di fondazione, demandando alla fase del progetto esecutivo la definizione puntuale delle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni di fondazione in corrispondenza delle opere principali (singoli aerogeneratori), previa esecuzione di perforazioni di sondaggio e relative ulteriori analisi di laboratorio e/o in situ.

La redazione della presente Relazione Geotecnica è stata preceduta da una serie di rilievi sul campo volti alla caratterizzazione dei tipi litologici affioranti, alla interpretazione dei rapporti spaziali intercorrenti tra essi, alla individuazione di particolari strutture tettoniche ed al rilievo in situ dei fattori geologici e geomorfologici utili alla definizione di eventuali processi e dissesti geomorfologici, idrologici ed idraulici in atto o potenziali nell’area indagata (Rif. Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica per approfondimenti).

## 2. PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI



I principali riferimenti normativi presi in considerazione nel redigere il presente elaborato sono di seguito riportati:

- *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).*
- *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- *DM 14 gennaio 2008. Pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa Circolare 2 febbraio 2009, n. 617.*
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.*
- *Eurocodice 8 (1998)*
- *Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture: Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).*
- *Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali – UNI*
- *Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI*
- *Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI*
- *D.M. 11/03/1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.). “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, e relativa Circolare di applicazione LL.PP. 24-09-1988 n. 30483 (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).*
- *Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale (T.U. dell'Ambiente).*
- *Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (di seguito PAI) e relative Norme di Attuazione del P.A.I., approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006.*
- *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.), approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, con Delibera n. 2 del 17.12.2015 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna.*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sardegna (P.G.R.A.), approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 15/03/2016.*
- *Legge 18/05/1989 n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”.*
- *D.P.C.M. 29\_09\_1998 e relativi allegati.*



- *Legge n. 64 del 2 febbraio 1974. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- *Delib. G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31. Pubblicata nel B.U. Sardegna 21 agosto 2004, n. 23. Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".*
- *Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163. Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.*
- *D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554. Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.*

### **3. SINTESI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO, INQUADRAMENTO DELLE PROBLEMATICHE DI NATURA GEOLOGICA E GEOTECNICA CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DELLE OPERE, CRITERI DI PROGRAMMAZIONE E ITER METODOLOGICO**

Si riporta di seguito un breve estratto delle previsioni di progetto; per i dettagli relativi ai singoli interventi si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

Il progetto "Realizzazione del Parco eolico *Onanie* nel territorio del Comune di Onani (NU)" prevede il posizionamento di 6 aerogeneratori posti ad adeguata distanza gli uni dagli altri, così da non interferire dal punto di vista aerodinamico tra loro, in funzione dell'esposizione al vento e dell'impatto visivo. Gli aerogeneratori saranno collegati, mediante cavi interrati (cavidotto), alla rete di trasmissione nazionale attraverso una sottostazione elettrica di smistamento/trasformazione, comprensiva di edificio pertinente.

Nell'ambito dell'intervento in progetto sono inoltre previste minime opere di adeguamento della viabilità esistente o realizzazione di tratti ex novo sia per il collegamento dei singoli aerogeneratori alla rete viaria comunale sia di servizio al cavidotto, oltre che la realizzazione di piazzole di servizio per il montaggio degli aerogeneratori.

Sulla base della sintesi sopra riportata appare evidente che in termini geologici e geotecnici le principali criticità connesse alla realizzazione del progetto in essere siano riferibili:

- a) alla realizzazione delle opere in termini di idoneità dei terreni rispetto ai carichi trasmessi dalle opere di fondazione, oltre che dei momenti, soprattutto in riferimento agli aerogeneratori;
- b) alla idoneità dei terreni interessati dalla viabilità di cantiere e di servizio, dati i mezzi pesanti che su questa dovranno transitare;
- c) alla realizzazione del cavidotto, che andrà ad interessare terreni di natura molto differente, linee di impluvio, aste fluviali e zone eterogenee anche in relazione alla stabilità dei versanti.



Ciò premesso, preventivamente alla stesura del progetto del Parco eolico ed al presente elaborato, in particolare, si è ritenuto opportuno effettuare dapprima uno studio geologico, geomorfologico, idrogeologico e geognostico nell'area oggetto di intervento, finalizzato alla modellazione geologica del sottosuolo (Rif. Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica).

Si è di seguito approfondito l'aspetto geomeccanico e geotecnico, con la definizione del modello geotecnico del sottosuolo finalizzato alla verifica della idoneità dei terreni di fondazione rispetto ai carichi trasmessi dalle singole strutture in progetto.

Quanto sopra riportato ha reso necessaria l'adozione di un iter metodologico preciso, riferito in particolare ai settori oggetto di posizionamento degli aerogeneratori, alla viabilità d'accesso all'area Parco ed al tracciato del cavidotto.

Le diverse fasi di studio geologico-geotecnico si sono così articolate:

- reperimento e selezione dei dati bibliografici, cartografici e di letteratura disponibile del comune di Onani, da cui è stato possibile ottenere l'inquadramento preliminare relativo all'assetto geologico;
- esecuzione di operazioni di fotointerpretazione aerea, ad integrazione dei rilievi sul terreno, al fine di evidenziare particolari morfologici e tettonici non immediatamente intuibili durante il rilevamento terrestre;
- analisi e rilevamento litologico e litotecnico di superficie, geomorfologico e idrogeologico, con redazione delle carte tematiche Tav. 9.a - Carta Litologica, Tav. 9.b - Carta Geomorfologica, Tav. 9.c - Carta litotecnica; a questo proposito si precisa che il rilevamento di superficie è stato effettuato secondo i seguenti livelli di dettaglio:
  - a) un rilievo della macroarea di intervento, alla scala 1:25.000;
  - b) un rilievo di dettaglio, alla scala 1:1.000, in corrispondenza del piano di posa dei singoli aerogeneratori e della sottostazione elettrica;
  - c) un rilievo di dettaglio, alla scala 1:2.000, in corrispondenza del tracciato del cavidotto e della viabilità di servizio (adeguamento/rettifiche);
- esecuzione di n. 5 pozzetti geognostici e redazione dei log stratigrafici (indagine geognostica eseguita nell'anno 2014, effettuata nell'area in cui andranno a sorgere gli aerogeneratori);
- verifica, nel corso della esecuzione dei n. 5 pozzetti di cui al precedente punto, della presenza di falde freatiche superficiali che possano condizionare le caratteristiche geotecniche dei terreni su cui andranno ad insistere le opere in progetto;
- definizione della litostratigrafia locale e del modello geologico del sottosuolo nelle zone di intervento (Rif. Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica);
- prelievo di n. 1 campione di terreno disturbato in sede di esecuzione dei pozzetti geognostici e del rilevamento di superficie, rappresentativo dei litotipi prevalenti;
- prelievo di n. 2 campioni di roccia in sede di esecuzione dei pozzetti geognostici e del rilevamento di superficie, rappresentativo dei litotipi prevalenti;



- esecuzione di prove di laboratorio su n. 3 campioni prelevati, col fine di determinare i parametri geotecnici e geomeccanici necessari a condurre le trattazioni analitiche previste;
- definizione del modello geotecnico del sottosuolo;
- rilevamento morfologico dei processi e forme in atto o pregressi nelle zone di intervento, previa consultazione delle perimetrazioni PAI e PGRA, e verifica in situ dello stato dell'attività evolutiva degli stessi, opportunamente estesa ad un intorno significativo;
- considerazioni geologico-tecniche inerenti criticità geologiche connesse alla realizzazione degli interventi e ad eventuali opere di consolidamento necessarie a garantire la stabilità dei luoghi.
- valutazione della necessità di eseguire indagini integrative da eseguirsi nei punti di installazione degli aerogeneratori nel ciclo finale di autorizzazioni, per la fase di progettazione esecutiva.

#### 4. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO

L'intervento in progetto ricade a scavalco delle provincie di Nuoro e Sassari, in agro di Onani (NU), Bitti (NU) e Buddusò (SS).

Più in particolare, ricadono in territorio di Onani i 6 aerogeneratori, il primo tratto di cavidotto, il primo tratto di viabilità di accesso al cantiere (adeguamento, rettifiche tracciato); in territorio di Bitti e Buddusò ricade il restante tratto di cavidotto e di viabilità di accesso al cantiere (adeguamento, rettifiche tracciato) e la sottostazione elettrica.

Dal punto di vista cartografico la zona di intervento è così inquadrata:

- Carta d'Italia IGM Scala 1:25.000. Foglio 481-Quadr. I "Buddusò"; Foglio 482-Quadr IV "Mamone".
- Carta Tecnica Regionale in Scala 1:10.000. Foglio 481 Sezz. 040-080; Foglio 482 Sezz. 020-050-060.

La Carta Tecnica Regionale numerica alla scala 1:10.000, georiferita nel sistema Gauss Boaga - Fuso Ovest rappresenta la base cartografica su cui sono stati programmati e svolti i rilievi in situ. In sede di analisi territoriale, inoltre, ci si è avvalsi per lo studio fotogrammetrico, foto-geologico, clinometrico e topografico, delle seguenti fonti, quando possibile sovrapposte in ambiente GIS, anche in modalità WMS (Web Map Service):

- <http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/Repertorio> immagini di diverse annate, a partire dalle quali è stato possibile condurre, ove necessario, una analisi multitemporale delle informazioni ortofotografiche.
- Ortofoto a colori 2006 formato ecw, georiferite in Gauss Boaga.
- Ortofoto 2016, consultabili online da geoportale della Regione Sardegna in modalità WMS.
- Sardegna 3D, Google Earth Pro.



Nella gestione dei dati raster e vettoriali si è ricorsi alle estensioni \*.dxf e \*.shp, assai diffuse e facilmente interfacciabili con i principali software Gis e Cad, sia commerciali che open-source.

Al fine di semplificare la disamina dei dati raccolti in sede di rilevamento si ritiene opportuno in questa fase suddividere l'area in esame in n. 2 sottozone, denominate Zona A e Zona B:

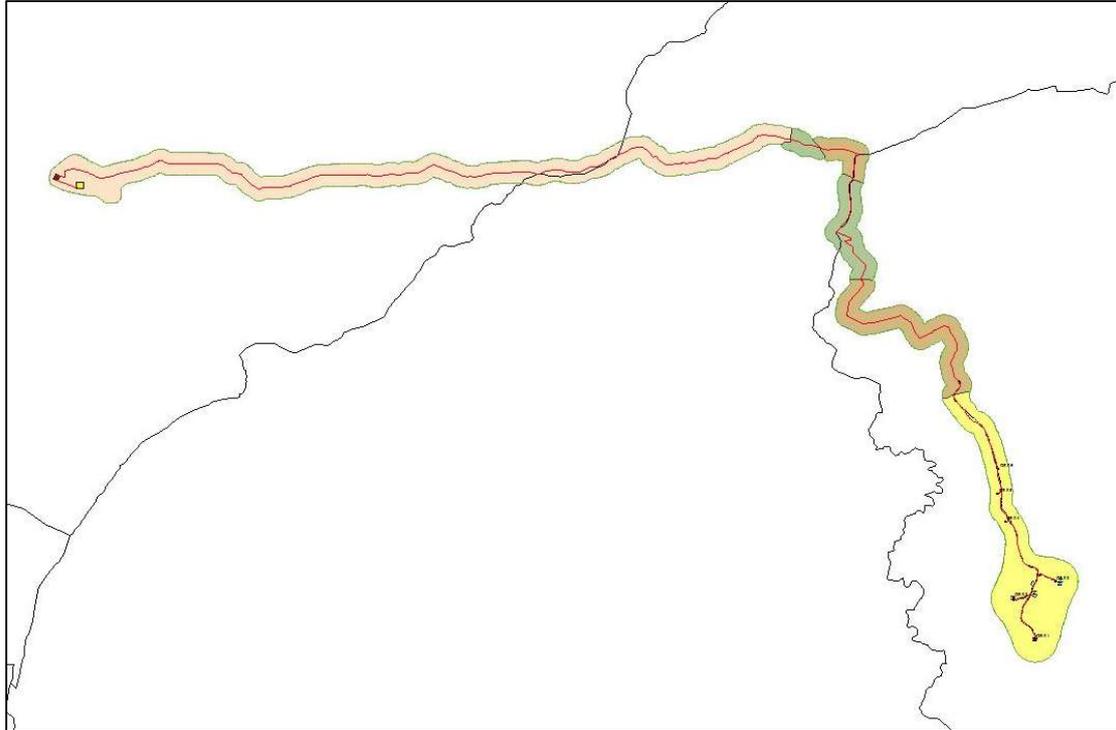
- la Zona A comprende l'area in cui si prevede di realizzare i 6 aerogeneratori e la viabilità a questi più prossima, come da cartografia allegata;
- la Zona B comprende la fascia in cui si prevede la realizzazione del cavidotto, la viabilità di accesso al cantiere (adeguamento e rettifiche tracciato) e la sottostazione elettrica.

Di detta zonizzazione si tiene conto nella redazione della cartografia tematica prodotta a corredo del presente elaborato. Di detta zonizzazione si tiene conto nella redazione della cartografia tematica prodotta a corredo del presente elaborato. Si rimanda in particolare alla Tav. 9.c - Carta Litotecnica, in cui la predetta zonizzazione è sovrapposta alla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Di seguito si riporta una rappresentazione schematica del Parco eolico *Onanie* (rif. Figura 1) con il particolare della Zona A e della Zona B, quest'ultima a sua volta suddivisa in sottozona B1-B1bis e B2 (per ragioni meglio specificate nel seguito).



**Figura 1. Rappresentazione schematica del Parco eolico *Onanie*, con distinzione della Zona A e della Zona B. In nero: limiti comunali.**



### Legenda

- Aerogeneratori
- Tracciato cavidotto
- Nuova Stazione Terna
- Sottostazione Sardeolica
- ZONA A
- ZONA B1
- ZONA B1 BIS
- ZONA B2

## 5. INQUADRAMENTO TIPOLOGIE DI INTERVENTO E DI FONDAZIONE

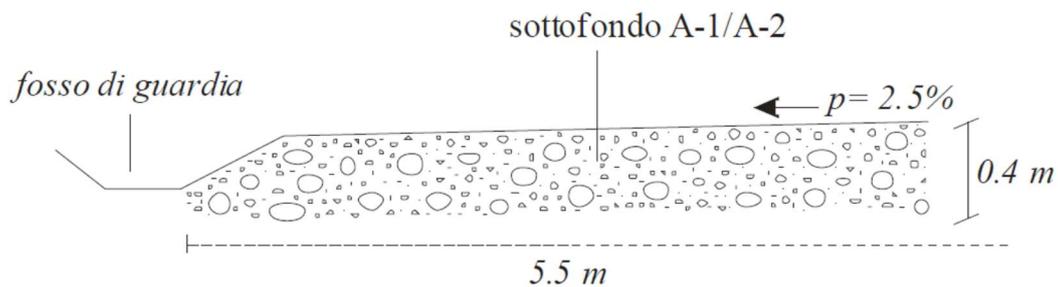
Le diverse tipologie d'intervento nell'area parco sono schematizzabili tipologicamente e temporalmente in:

- realizzazione della viabilità d'accesso ed interna di cantiere, con adeguamento delle carrarecche esistenti e realizzazione di brevi tratti di rettifica ex novo, per l'accesso alle piazzole di imposta degli aerogeneratori da parte dei mezzi di trasporto eccezionale, che in genere hanno un carico massimo per asse pari a 12 t. Si tratta di realizzare piste con specifiche caratteristiche geometriche, con riferimento alla larghezza e alle pendenze



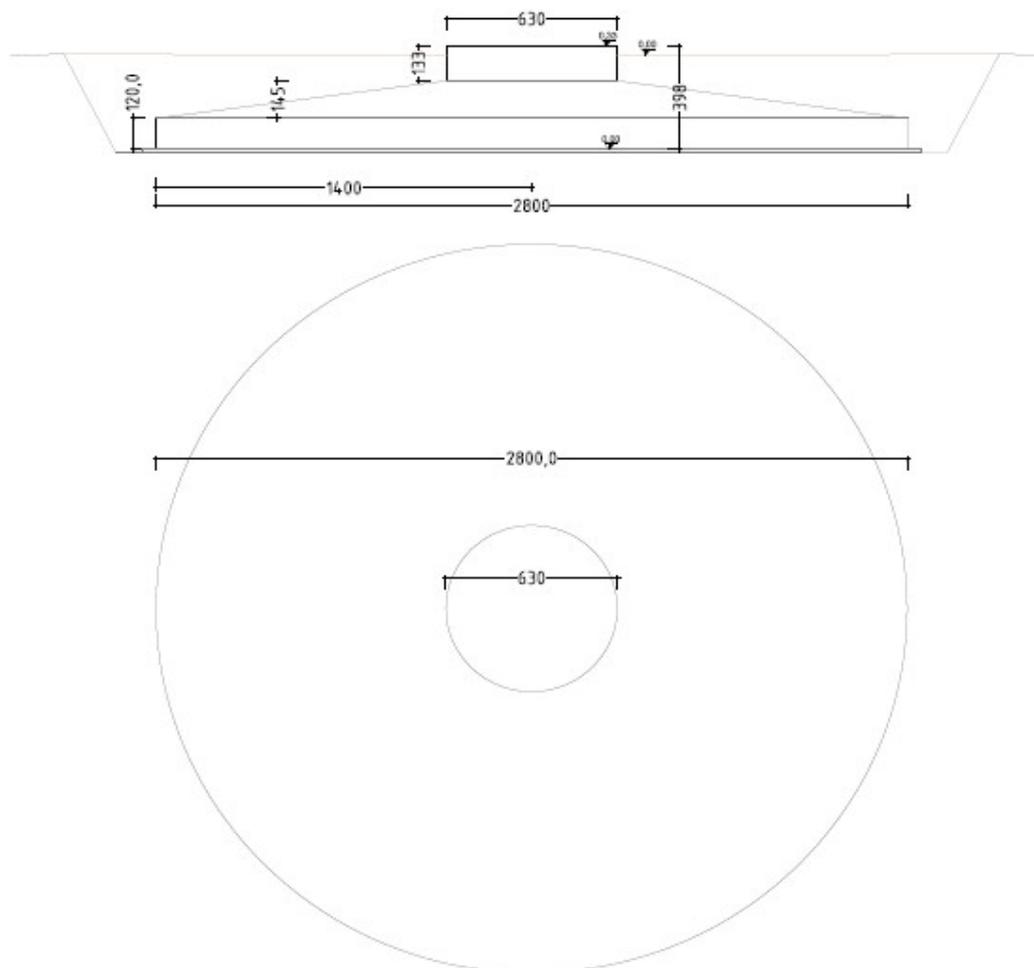
longitudinali e trasversali in grado di permettere il passaggio dei mezzi pesanti necessari al trasporto delle componenti degli aerogeneratori ed al loro montaggio. Oltre alle caratteristiche geometriche (rif. Figura 2), la realizzazione delle piste dovrà soddisfare requisiti sulla capacità geomeccanica e di drenaggio del sottofondo: il sottofondo stradale dovrà essere realizzato con la formazione di un orizzonte superficiale di ghiaia con sabbia grossolana, costituito da stabilizzato (misto granulare ad elementi lapidei), A-1 o A-2 secondo la classificazione stradale delle terre AASHTO, adeguatamente compattato con appositi macchinari;

**Figura 2. Schema sezione tipo di adeguamento viabilità interna al Parco.**



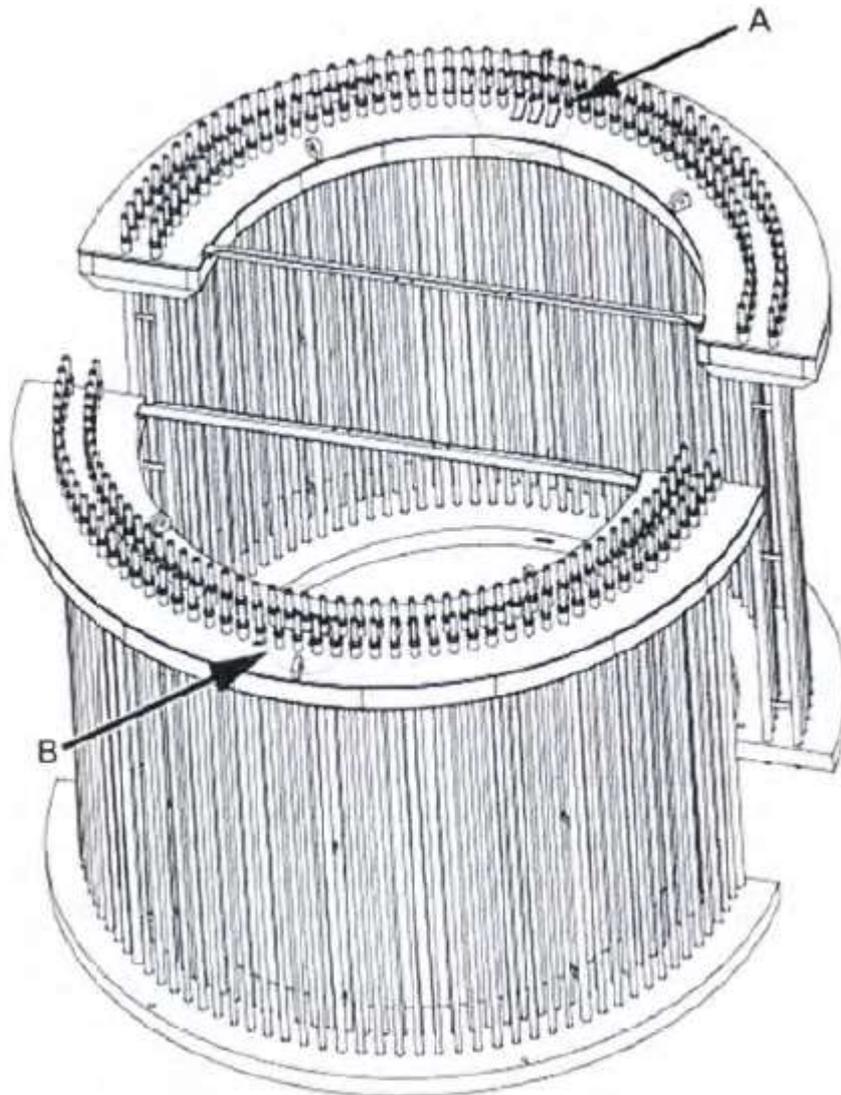
- realizzazione di 6 piazzole di montaggio e manutenzione, nonché del piano di posa di ciascun aerogeneratore, che avverrà mediante operazioni di sbancamento (scotico superficiale) e successivo rinterro di terreno superficiale, seguiti da interventi di regimazione delle acque meteoriche; in riferimento a quest'ultimo punto sugli aspetti idraulici, l'interferenza con il ruscellamento superficiale e con la circolazione idrica sotterranea è da ritenersi trascurabile, in quanto la realizzazione dell'impianto e delle opere connesse non comporterà modificazioni alla morfologia di ciascun sito e la profondità degli scavi risulterà modesta;
- realizzazione delle opere di fondazione dei singoli aerogeneratori. Il plinto di fondazione (rif. Figura 3) ha la pianta circolare con raggio di 14,00 m; è composto da una parte inferiore cilindrica ( $h = 1,20$  m), una intermedia troncoconica ( $h = 1,45$  m), ed una superiore cilindrica di altezza 1,33 m che sporge dal piano di campagna di circa 30 cm. La fondazione ha un'altezza complessiva di 3,98 m.



**Figura 3. Plinto di fondazione dell'aerogeneratore.**

Il collegamento della torre alla fondazione è ottenuto attraverso (100 + 100) tirafondi M42 ad alta resistenza collegati superiormente e inferiormente con flange annegate nel calcestruzzo.



**Figura 4. Collegamento della torre alla fondazione.**

La realizzazione delle fondazioni richiederà movimenti di terreno e roccia in termini di sterro/riporto, privilegiando lavorazioni di compensazione, con il reimpiego/riciclo diretto dei materiali escavati. In particolare, i movimenti terra relativi a ciascuna struttura di fondazione consisteranno in operazioni di sterro per la preparazione del piano di posa, il getto della struttura ed il successivo reinterro della piastra a maturazione del calcestruzzo avvenuta. Si prevede che il basamento non sporga dal piano campagna, limitando in tal modo al minimo possibile l'evidenza estetica della platea;

- realizzazione dell'elettrodotto interrato (cavidotto), per l'interconnessione tra i diversi aerogeneratori, eseguito in trincea stretta e con fondo scavo in sabbia, con profondità di posa 1.2 m e comunque non inferiore a 1 m, ricoperto da sabbia e materiale inerte.



- realizzazione di una sottostazione elettrica, che si compone di un fabbricato con locali tecnici e di un'area all'aperto che ospiterà il trasformatore MT/AT e le apparecchiature di sezionamento e protezione AT.

## 6. L'INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Le indagini ed i rilievi svolti hanno consentito di caratterizzare i litotipi interessati dalle lavorazioni previste ed il loro inserimento nel quadro geologico generale (Rif. Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica).

Vista la complessità della interazione terreno-opera in corrispondenza degli aerogeneratori, sia in relazione agli ingenti carichi verticali che alle sollecitazioni orizzontali e ai momenti trasmessi al terreno di fondazione, in corrispondenza dell'area in cui si prevede la loro realizzazione (Zona A) sono stati eseguiti 5 pozzetti geognostici, spinti fino ad intercettare il bedrock. Ciò ha peraltro consentito di verificare l'eventuale presenza di falda acquifera superficiale.

Per quanto attiene al tracciato del cavidotto, alla viabilità di accesso ed alla sottostazione elettrica (Zona B), i rilievi di dettaglio finalizzati alla redazione della presente si sono concentrati su sezioni di scavo di origine antropica e su numerose sezioni stradali ed affioramenti prossimi ai siti di interesse, non ritenendo necessario in questa fase procedere con indagini geognostiche dirette, vista la natura del substrato, la limitata portata delle opere in termini di scavo e le prestazioni attese. Per quasi tutto il tracciato il cavidotto e la viabilità di accesso al parco ricalcano dapprima la viabilità interpodereale, poi comunale ed infine la statale, e seppure gli affioramenti rilevati siano mediamente di modesta estensione hanno consentito, per la loro continuità spaziale, non solo l'agevole rilievo e caratterizzazione dei litotipi direttamente interessati dalle lavorazioni previste, ma anche la definizione delle potenze e dello stato di alterazione delle formazioni rilevate.

Occorre sottolineare che l'indagine geognostica ad oggi eseguita si riferisce alla definizione delle condizioni di superficie dell'area di interesse. Conseguentemente, per l'esecuzione degli interventi di scavo e rimodellamento del suolo per la realizzazione della viabilità d'accesso, per la realizzazione del cavidotto e per l'attestazione ed il dimensionamento delle opere di fondazione di ciascun aerogeneratore, i litotipi ricadenti nel volume significativo dovranno essere ulteriormente caratterizzati, in fase di progettazione esecutiva, sulla base di un piano d'indagini che preveda l'esecuzione di perforazioni di sondaggio fino ad interessare, appunto, l'intero volume significativo sul settore di ubicazione di ciascun aerogeneratore e di pozzetti geognostici lungo il tracciato del viadotto e/o della viabilità di cantiere. Ciò consentirà di appurare direttamente lo stato del bedrock roccioso in profondità e la presenza di una falda acquifera profonda.

Si riporta nella tabella 1 seguente il riepilogo delle indagini geognostiche eseguite.



**Tabella 1. Indagini geognostiche.**

NOME	COORD X	COORD Y	ZONA INTERVENTO	CAMPIONE
PZ1	1537081	4484799	Zona A	PZ1-C1
PZ2	1536801	4485348	Zona A	PZ2-C1
PZ3	1537089	4485410	Zona A	PZ3-C1
PZ4	1537413	4485546	Zona A	-
PZ4A	1531043	4480537	Zona A	-

Allo scopo di rilevare i valori di angolo di resistenza al taglio  $\Phi'$  e coesione  $c'$ , un campione, prelevato nella Zona A dal pozzetto geognostico PZ1, è stato sottoposto ad una prova di taglio diretto con Scatola di Casagrande. La prova si svolge in condizioni di saturazione, su tre gradini di pressione verticale ( $\sigma$ ) crescente, pari a 100, 200 e 300 kPa, registrando per ognuno il picco dello sforzo di taglio ( $\tau_{max}$ ). Detti valori, tratti dal certificato di prova, sono stati interpolati sul piano di Mohr-Coulomb allo scopo di visualizzare l'involuppo di rottura ed i corrispondenti valori di  $c$  e  $\Phi$  secondo la retta  $\tau_{max} = c + \sigma' \cdot \tan \Phi$ .

Tale prova, nel caso di specie, si interpreta nel campo delle tensioni efficaci ( $\Phi'$  e  $c'$ ).

Il Campione PZ1\_C1, prelevato nella Zona A dal pozzetto geognostico PZ1, è stato sottoposto a prova di compressione con espansione laterale impedita. Essa si svolge su provini indisturbati di terreni granulari coerenti o semicoerenti: il campione, inserito nell'edometro e saturato d'acqua, viene sottoposto ad almeno 7 cicli di carico della durata di 24 h ciascuno, durante i quali la pressione efficace verticale esercitata sul provino viene incrementata in progressione geometrica sino ad un massimo di 1569,12 kPa (16 kg/cm<sup>2</sup>). Riportando su una scala semilogaritmica i valori di sforzo e deformazione (intesa come riduzione della porosità o, in alternativa, dello spessore del provino) si può tracciare la relativa curva edometrica dalla quale è possibile ricavare il grado di preconsolidazione del provino (costruzione di Casagrande). Per ogni incremento di pressione si ottiene, inoltre, il corrispondente valore di  $E_{ed}$ , necessario all'applicazione del metodo di Terzaghi nella stima dei cedimenti in condizioni edometriche.

Infine, i campioni PZ2\_C1 e PZ3\_C1, prelevati nella Zona A rispettivamente dai pozzetti geognostici PZ2 e PZ3, sono stati sottoposti a prova di Resistenza a punzonamento su spezzoni di forma irregolare (Point Load Test).

Nel successivo capitolo 7 si riportano, per ciascuna sequenza litostratigrafica individuata nella zona di intervento, i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nella Zona A o in sito (Zona B1 e Zona B2, determinazione della Resistenza a Compressione Uniassiale attraverso prova sclerometrica).



## 7. IL MODELLO GEOTECNICO DELL'AREA DI INTERVENTO

La redazione del presente elaborato è stata preceduta da un approfondimento del livello conoscitivo della situazione litostratigrafica locale, condotto attraverso il rilievo geologico di dettaglio dell'area di intervento e la esecuzione di indagini geognostiche volte a ricostruirne la stratigrafia, con particolare riferimento ai settori interessati dal posizionamento degli aerogeneratori, oltre che ai settori di tracciato del cavidotto interrato, alla viabilità d'accesso ed interna all'area Parco (adeguamento e rettifiche tracciati) ed alla sottostazione elettrica.

### 7.1. La Zona A

La Zona A comprende l'area in cui si prevede di realizzare i 6 aerogeneratori e la viabilità a questi più prossima.

Nell'area di intervento denominata Zona A si riscontrano direttamente in affioramento filladi e metarenarie iniettate da filoncelli di quarzo secondario, la cui origine è da ricollegarsi alle dinamiche dinamometamorfiche erciniche.

Gli affioramenti rocciosi osservati in corrispondenza dell'area Parco in cui si prevede la realizzazione degli aerogeneratori, delle piazzole di manovra e della viabilità di accesso (Zona A), mostrano una roccia nel complesso da moderatamente a leggermente alterata, localmente decolorata, comunemente attraversata da una fitta rete di giunti.

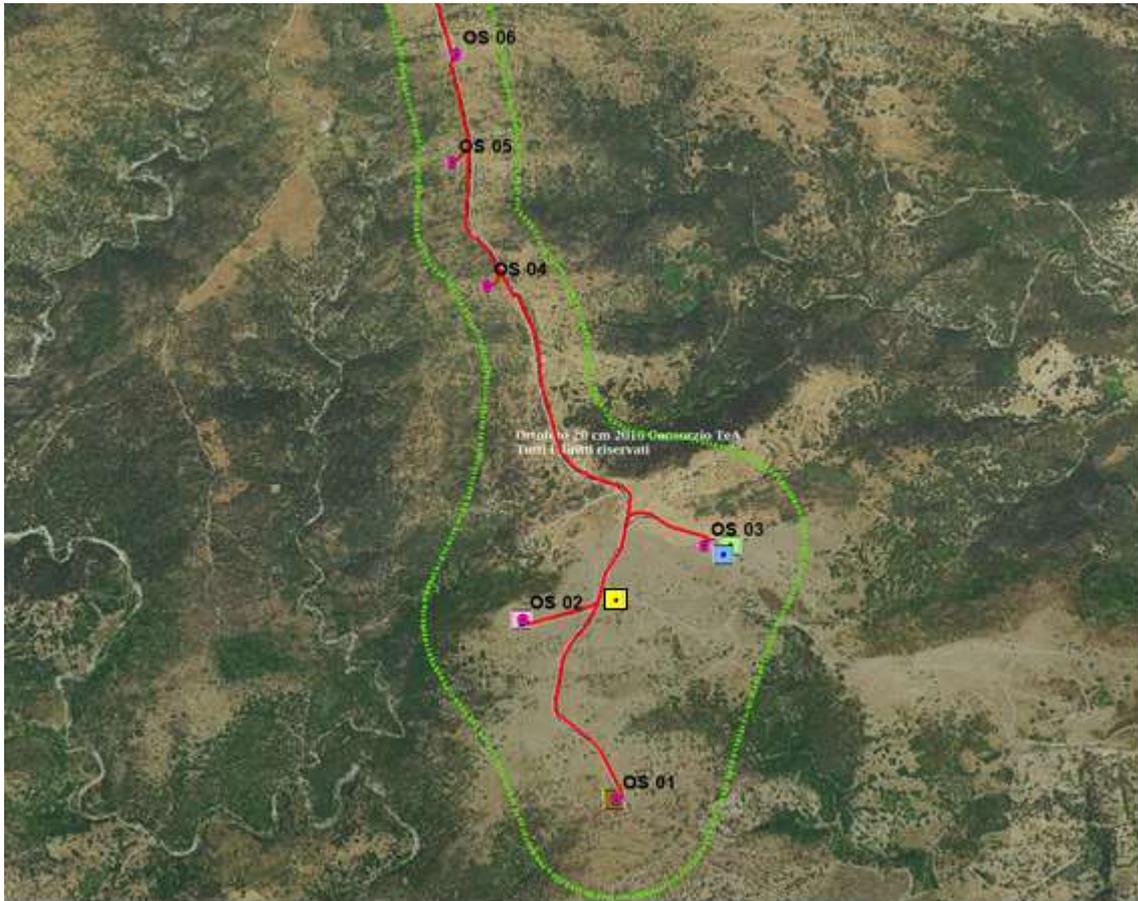
Detti affioramenti si intercalano ad estese aree in cui affiora un corpo suolo poco potente, mediamente decimetrico, poggiante su una coltre regolitica mediamente poco profonda cui segue il bedrock litoide scistoso. Con l'incremento della profondità la roccia scistosa acquisisce una consistenza crescente, sub-litoide. Senza una precisa soluzione di continuità si ha la transizione alla roccia madre, disturbata tettonicamente e fittamente iniettata da filoncelli e vene di quarzo.

La Zona A è stata oggetto di una apposita indagine geognostica, consistita nella esecuzione di 5 pozzetti geognostici mediante escavatore, realizzati in corrispondenza dei previsti piani di posa degli aerogeneratori OS01, OS02 e OS03, come rappresentato nella Figura 5.

Il rilievo geologico di dettaglio effettuato nella Zona A, unitamente alle predette indagini, ha consentito di constatare l'elevata omogeneità nei tratti geologici e litotecnici dell'area in cui andranno a sorgere i 6 aerogeneratori e la viabilità a questi più prossima.



**Figura 5. Posizionamento aerogeneratori e indagini geognostiche su foto aerea e base topografica CTR.**



#### Legenda

- Aerogeneratori
- Tracciato cavidotto
- POZZETTO GEOGNOSTICO PZ1
- POZZETTO GEOGNOSTICO PZ2
- POZZETTO GEOGNOSTICO PZ3
- POZZETTO GEOGNOSTICO PZ4
- POZZETTO GEOGNOSTICO PZ4 A

Nella totalità dei pozzetti geognostici eseguiti, i cui log stratigrafici sono riportati in appendice all'Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica, emerge la presenza del bedrock litoide metarenaceo scistoso ad una profondità variabile tra 0,00 m e 1,50 m dal p.c. In sede di esecuzione della campagna di indagini geognostiche (febbraio 2014) non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera superficiale impostata nella coltre regolitica poggiate sul substrato scistoso litoide disturbato tettonicamente.



Le informazioni e i dati litostratigrafici raccolti in fase di rilevamento di superficie e la esecuzione delle suddette indagini geognostiche e geomeccaniche hanno condotto alla definizione del modello geologico del sottosuolo per la Zona A.

In particolare, il modello geotecnico è stato ricostruito attraverso la definizione di una sequenza litostratigrafica-tipo, di seguito descritta, definibile come una unità geologico-tecnica che tende a comportarsi in maniera omogenea rispetto ad un dato tipo di problema geologico e geotecnico.

### Sezione lito-stratigrafica A

Ubicazione: **superficie altoplanare Zona A.**

È costituita dall'alto verso il basso dai seguenti termini:

- a) Eluvium argilloso con immersi frammenti litici mediamente millimetrici, più raramente centimetrici, di composizione esclusivamente metarenacea.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.10 - 0.30 - 0.50.

- b) Livello regolitico, costituito da frammenti litici di composizione esclusivamente scistosa metarenacea con dimensioni da centimetriche a oltre decimetriche immersi in matrice argillosa dallo spessore variabile.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.00 - 0.50 - 1.20.

Caratterizzazione Geotecnica della matrice:

Campione PZ1-C1\_Pozzetto PZ1\_Profondità prelievo: -0,50 m.

Coesione 0.15 Kg/cm<sup>2</sup>

Angolo d'attrito interno 32.35 °

Peso di volume naturale 1,806 gr/cm<sup>3</sup>

Peso di volume secco 1,654 gr/cm<sup>3</sup>

- c) Filladi di Lula. Paraderivati a tessitura scistosa con consistenza da litoide a sub-litoide. All'esame macroscopico la roccia metamorfica mostra struttura e tessitura scistosa, con piani distanziati di qualche centimetro. La facies di alterazione della roccia madre varia a seconda delle sue caratteristiche, molto variabili di punto in punto per la sua natura di "roccia mista". In generale nelle filladi la tipica facies di alterazione è rappresentata da roccia in disfacimento con componente argillosa medio-elevata concentrata nei piani di scistosità.

Point load test:

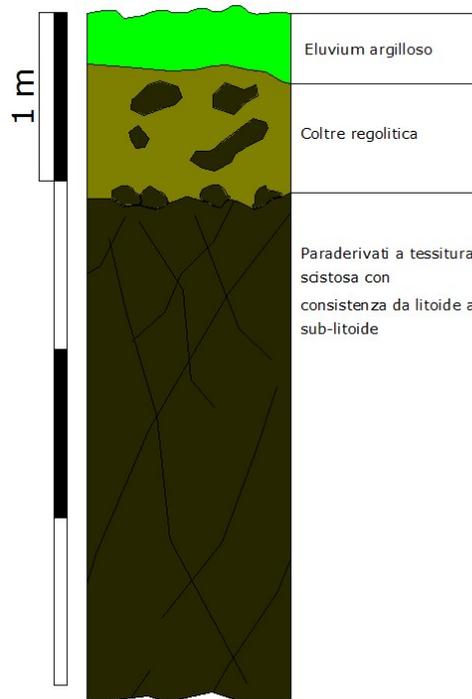
Campione PZ2-C1\_Pozzetto PZ2

Resistenza a compressione 6.166 MPa

Campione PZ3-C1\_Pozzetto PZ3

Resistenza a compressione 4.463 MPa



**Figura 6. Sequenza litostratigrafica A.**

I dati litostratigrafici raccolti e la sequenza litostratigrafica sopra descritta si ritengono rappresentativi dell'area altoplanare in cui si prevede la realizzazione delle piazzole e della viabilità interna al Parco eolico nella cosiddetta Zona A, vista l'omogeneità dei tratti litologici constatata in sede di rilevamento geologico di superficie.

Nel corso della realizzazione dei pozzetti geognostici (febbraio 2014) non si è rilevata la presenza di falda acquifera superficiale.

In Appendice all'Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica si riportano i log stratigrafici relativi ai singoli pozzetti geognostici. In Appendice al presente elaborato si riportano i certificati di laboratorio relativi alle analisi di laboratorio condotte sui tre campioni prelevati.

## 7.2. La Zona B (B1 e B2)

La Zona B comprende la fascia in cui si prevede la realizzazione del cavidotto, della viabilità di accesso al cantiere (adeguamento e rettifiche tracciato) e della sottostazione elettrica.

Il cavidotto si diparte dalla Zona A, per il cui modello geologico si rimanda al precedente paragrafo, per poi svilupparsi lungo viabilità esistente (sia sterrata sia asfaltata) dapprima interpodereale, poi principale, per oltre 20 km lungo quella che è stata definita, ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico, Zona B.



Questa si sviluppa attraverso due ambiti litologici differenti tra loro per natura ed origine, così che per una più efficace schematizzazione litotecnica, la Zona B è stata ulteriormente suddivisa in due sottozone:

- la Zona B1: primo tratto della Zona B, in cui il cavidotto va a svilupparsi su litotipi metamorfici;
- la Zona B2: secondo tratto della Zona B, in cui il cavidotto va a svilupparsi su litotipi ignei intrusivi.

Vista la *limitatissima* entità dell'intervento in termini di larghezza e profondità di scavo non si è ritenuto necessario effettuare indagini geognostiche lungo il tracciato del cavidotto, ritenendo sufficienti affioramenti e trincee stradali che ne costeggiano il corso, che hanno consentito l'agevole rilievo delle formazioni interessate dalle lavorazioni in scavo.

Oltre ai litotipi descritti nel seguito (Zone B1 e B2), il cavidotto andrà ad interessare per brevi tratti (in particolare intersezioni con rete minore ed impluvi) formazioni continentali oloceniche di origine alluvionale e detritica, seppure dai modesti spessori.

Visti gli spessori delle coltri alteritiche e regolitiche delle rocce del basamento paleozoico, metamorfico ed igneo intrusivo, e le potenze limitate delle coltri alloctone succitate, è possibile affermare che lungo il tracciato, in termini di rippabilità, vi sia una omogenea distribuzione di tratti in scavo su roccia lapidea e roccia tenera (semicoerente o sub-litoide).

Nella **Zona B1** in sede di rilevamento geologico di superficie è emersa una situazione geolitologica assimilabile a quella riscontrata nella Zona A: si riscontrano direttamente in affioramento con una certa continuità metamorfiti paleozoiche (filladi, metarenarie e ortogneiss iniettate da filoncelli di quarzo secondario). La potenza media delle formazioni alteritiche e/o detritico-colluviali di copertura è molto limitata, in ragione del posizionamento del cavidotto lungo zone di spartiacque superficiale o comunque in corrispondenza ad alti morfologici relativi, zone in cui non vi sono condizioni morfologicamente favorevoli all'accumulo.

Gli affioramenti rocciosi osservati in corrispondenza della Zona B1 mostrano una roccia nel complesso da moderatamente a leggermente alterata, localmente decolorata, comunemente attraversata da una fitta rete di giunti.

Detti affioramenti si intercalano ad estese aree in cui affiora un corpo suolo poco potente, mediamente decimetrico, poggiante su una coltre regolitica mediamente poco profonda; con l'incremento della profondità la roccia acquisisce una consistenza crescente, sub-litoide, e senza una precisa soluzione di continuità si ha la transizione alla roccia madre, disturbata tettonicamente e fittamente iniettata da filoncelli e vene di quarzo.

Le informazioni e i dati litostratigrafici raccolti in fase degli accurati rilievi di superficie hanno condotto alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo per la Zona B1.

In particolare, il modello geotecnico è stato ricostruito attraverso la definizione di due sequenze litostratigrafiche-tipo, di seguito descritte, definibili come una unità geologico-tecniche che



tendono a comportarsi in maniera omogenea rispetto ad un dato tipo di problema geologico e geotecnico.

Si è ritenuto necessario effettuare la distinzione tra paraderivati ed ortoderivati in quanto i secondi, tendenzialmente, presentano un aspetto più massivo a livello di ammasso roccioso e possono dunque presentare una notevole differenza in termini di scavabilità rispetto ai paraderivati.

La prima (Sequenza litostratigrafica B1) si riferisce ai tratti di cavidotto ricadenti su litotipi parametamorfici (Paraderivati: Filladi di Lula, Micascisti Prevalenti. Cfr. Carta Litologica), ed è analoga alla Sequenza litostratigrafica A, riferita alla Zona A:

### Sezione lito-stratigrafica n. B1

Ubicazione: **superficie altoplanare Zona B1.**

È costituita dall'alto verso il basso dai seguenti termini:

- a) Eluvium argilloso con immersi frammenti litici mediamente millimetrici, più raramente centimetrici, di composizione esclusivamente metarenacea.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.10 - 0.30 - 0.50.

- b) Livello regolitico, costituito da frammenti litici di composizione esclusivamente scistosa metarenacea con dimensioni da centimetriche a oltre decimetriche immersi in matrice argillosa dallo spessore variabile.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.00 - 0.50 - 1.20.

Caratterizzazione Geotecnica della matrice:

Campione PZ1-C1\_Pozzetto PZ1\_Profondità prelievo: -0,50 m.

Coesione 0.15 Kg/cm<sup>2</sup>

Angolo d'attrito interno 32.35 °

Peso di volume naturale 1,806 gr/cm<sup>3</sup>

Peso di volume secco 1,654 gr/cm<sup>3</sup>

- c) Paraderivati a tessitura scistosa con consistenza da litoide a sub-litoide. All'esame macroscopico la roccia metamorfica mostra struttura e tessitura scistosa, con piani distanziati di qualche centimetro. La facies di alterazione della roccia madre varia a seconda delle sue caratteristiche, molto variabili di punto in punto per la sua natura di "roccia mista". In generale nelle filladi la tipica facies di alterazione è rappresentata da roccia in disfacimento con componente argillosa medio-elevata concentrata nei piani di scistosità.

Point load test:

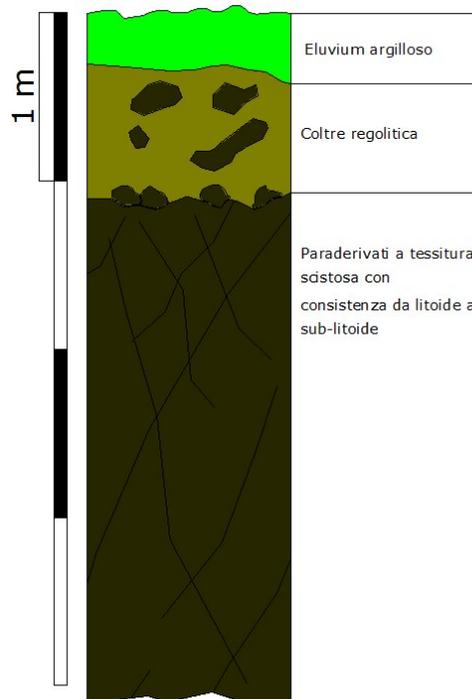
Campione PZ2-C1\_Pozzetto PZ2

Resistenza a compressione 6.166 MPa

Campione PZ3-C1\_Pozzetto PZ3

Resistenza a compressione 4.463 MPa



**Figura 6. Sequenza litostratigrafica B1.**

La seconda (**Sequenza litostratigrafica B1bis**) si riferisce ai tratti di cavidotto ricadenti, sempre in Zona B1, su litotipi ortometamorfici (Ortoderivati: Ortogneiss di Lodè-Mamone).

In sede di rilevamento si è potuto appurare che il grado di alterazione raggiunto nella zona in studio dagli ortogneiss è piuttosto omogeneo, con spessori della coltre alteritica mediamente compresi tra 0,5 e 1,5 m.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle formazioni litoidi e non litoidi riscontrate in affioramento nella Zona B si è fatto riferimento alle risultanze di prove in situ e di sperimentazioni in laboratorio geotecnico eseguite in occasione di pregressi studi condotti nell'area indagata in cui si inquadra l'intervento.

In particolare, il campione a cui si fa riferimento di seguito è rappresentativo del litotipo definito come "ortogneiss in facies alterata", da fortemente a moderatamente alterato. Il campione è da ritenersi disturbato ed è stato estratto da un livello caratterizzato da un grado medio-elevato di alterazione e argillificazione, a favore di sicurezza, posto ad una profondità dal p.c. di circa 0.6 cm.

Si riportano di seguito (Sezione lito-stratigrafica n. B1-bis) i risultati della prova di taglio diretto con Scatola di Casagrande svolta nella modalità consolidata drenata (CD), che ha consentito di pervenire a valori di  $\phi$  e  $c$  ragionevolmente vicini a quelli che la letteratura suggerisce come efficaci ( $\phi'$  e  $c'$ ) per il litotipo in oggetto, nell'ipotesi di una buona capacità di dissipazione delle pressioni neutre in presenza di sovraccarico (condizioni drenate).



La valutazione delle caratteristiche meccaniche della roccia lapidea è stata effettuata sulla base dei risultati delle prove di rimbalzo con il Martello di Schmidt (Sclerometro). Il principio di funzionamento consiste nel misurare il rimbalzo di un pistone metallico che impatta sulla roccia per mezzo della spinta esercitata da una molla. Una volta applicata la correzione ai valori ottenuti in situ a seconda della posizione di impiego dello Sclerometro (da verticale a orizzontale), ed in base alla determinazione della densità della roccia in esame (circa 2400 kg/mc per i litotipi in esame), viene determinato il valore della resistenza alla compressione uniassiale.

In sede di rilevamento di superficie (giugno 2020) non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera superficiale impostata nella coltre alteritica degli ortogneiss. Tuttavia, vista la sequenza litostratigrafica che caratterizza l'area non è da escludersi l'instaurarsi di falde superficiali stagionali al limite tra coltre alteritica e la roccia litoide.

### Sezione lito-stratigrafica n. B1-bis

Ubicazione: **superficie altoplanare Zona B1.**

È costituita dall'alto verso il basso dai seguenti termini:

- a) Eluvium sabbioso-argilloso, con immersi frammenti litici mediamente millimetrici, più raramente centimetrici, di composizione esclusivamente derivante da disfacimento della roccia madre (ortogneiss).

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.10 - 0.30 - 0.50.

- b) Livello regolitico-alteritico, in cui l'ortogneiss si presenta parzialmente arenizzato, destrutturato, con consistenza semicoerente, che rapidamente diviene sub-lapidea con l'incremento della profondità.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.00 - 0.30 - 0.80.

Caratterizzazione Geotecnica (dati bibliografici):

Coesione	0.16 kg/cmq
Angolo d'attrito interno	34.7 °
Contenuto d'acqua	18.3 %
Densità naturale	2,09 g/cmc
Densità secca	1,77 g/cmc
Modulo edometrico	111,1 kg/cmq

- c) Ortoderivati di consistenza da litoide a sub-litoide. All'esame macroscopico la roccia metamorfica mostra tessitura che va da olocristallina inequigranulare (con grana da media a grossolana), a porfirica fino a microcristallina, con marcate evidenze di iso-orientazioni di flusso date dalla conformazione dei filoncelli quarzosi che iniettano la roccia. L'ammasso roccioso è tendenzialmente di aspetto massivo, con piani di scistosità distanziati di qualche centimetro. La facies di alterazione della roccia madre varia a seconda delle sue caratteristiche, molto variabili di punto in punto per la sua natura di "roccia mista". In generale negli ortogneiss prevale il processo di "arenizzazione", similmente a quanto si osserva nei

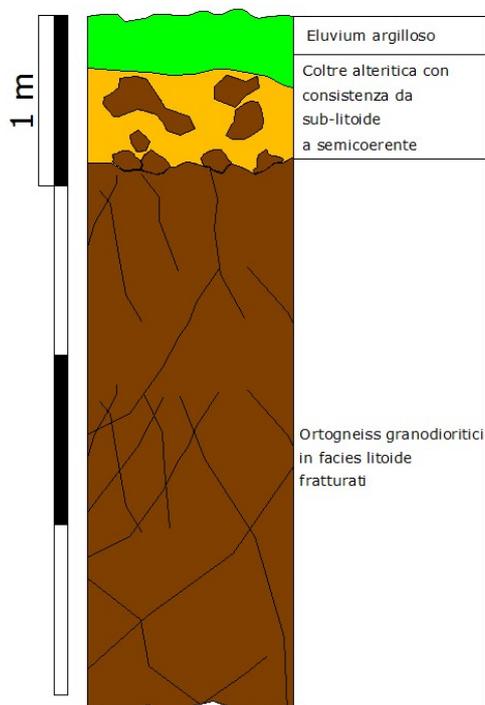


granitoidi.

**Tabella 2. Determinazione della Resistenza a Compressione Uniassiale attraverso prova sclerometrica**

Letture sclerometro (kN)	Valore medio delle letture allo sclerometro (previa esclusione dei valori più alto ** e più basso *)	Resistenza a compressione uniassiale (Stima densità roccia=2400Kg/mc) (Direzione strumento: orizzontale)
20*	26	34 MPa
20		
24		
24		
24		
26		
28		
30		
32		
44**		

Figura 7. Sequenza litostratigrafica B1-bis.



Nella **Zona B2** in sede di rilevamento geologico di superficie emerge una netta variazione nella natura del substrato litologico: ci si trova in questo caso in un contesto geologico igneo intrusivo, di natura granitoide.

Le rocce granitoidi si riscontrano in affioramento con continuità lungo il previsto tracciato del cavidotto nella loro tipica facies massiva, francamente litoide. La superficie altoplanare in cui si sviluppa l'opera a rete presenta deboli pendenze e conformazione regolare, interrotta da spuntoni rocciosi e cataste di blocchi sub-sferoidali (tipica facies di alterazione del bedrock granitico), che lasciano intuire la prossimità del bedrock alla superficie topografica anche laddove non è direttamente riscontrabile, ricoperto da una debole coltre eluvio-colluviale di potenza media decimetrica.

La situazione litostratigrafica della Zona B2 è stata dunque agevolmente indagata attraverso affioramenti diretti e sezioni stradali, oltre che attraverso indagini e scavi eseguiti a breve distanza dalla zona di stretto interesse progettuale nel corso di altri lavori, che hanno confermato sostanzialmente il dato emerso dal rilievo di superficie.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle formazioni granitoidi riscontrate in affioramento nella Zona B si è fatto riferimento alle risultanze di prove in situ e di sperimentazioni in laboratorio geotecnico eseguite in occasione di pregressi studi condotti nell'area indagata. Occorre sottolineare a questo proposito che i risultati delle prove condotte nell'ambito di progettazioni svolte in passato su campioni di materiali prelevati nella zona di intervento, assimilabili a quelli interessati dalle lavorazioni in progetto, mostrano una buona omogeneità nei risultati e sono in linea con i valori bibliografici riportati per l'area in studio, a riprova della validità e rappresentatività dei parametri adottati per il caso in esame.

In particolare, i parametri geotecnici a cui si fa riferimento di seguito per il livello alteritico sono rappresentativi del litotipo granitoide in facies alterata, semicoerente. Il campione è da ritenersi disturbato ed è stato estratto da un livello caratterizzato da un grado medio-elevato di alterazione, posto ad una profondità dal p.c. di circa 1.0 cm.

Si riportano di seguito (Sequenza litostratigrafica n. 2) i risultati di una *prova di taglio diretto con Scatola di Casagrande* svolta nella modalità *consolidata drenata (CD)*, che ha consentito di pervenire a valori di  $\phi$  e  $c$  ragionevolmente vicini a quelli che la letteratura suggerisce come *efficaci* ( $\phi_i$  e  $c'$ ) per il litotipo in oggetto, nell'ipotesi di una buona capacità di dissipazione delle pressioni neutre in presenza di sovraccarico (*condizioni drenate*).

La valutazione delle caratteristiche geomeccaniche della roccia nella facies massiva litoide è stata effettuata sulla base dei risultati di prove di rimbalzo con il Martello di Schmidt (Sclerometro). Il principio di funzionamento consiste nel misurare il rimbalzo di un pistone metallico che impatta sulla roccia per mezzo della spinta esercitata da una molla. Una volta applicata la correzione ai valori ottenuti *in situ* a seconda della posizione di impiego dello Sclerometro (da verticale a orizzontale), ed in base alla determinazione della densità della roccia in esame (circa 2800 kg/mc per i litotipi in esame), viene determinato il valore della resistenza alla compressione uniassiale.



Le informazioni e i dati litostratigrafici raccolti in fase degli accurati rilievi di superficie hanno condotto alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo per la Zona B2.

In particolare, il modello geotecnico è stato ricostruito attraverso la definizione di una sequenza litostratigrafica-tipo, di seguito descritta, definibile come una unità geologico-tecnica che tende a comportarsi in maniera omogenea rispetto ad un dato tipo di problema geologico e geotecnico.

### Sezione lito-stratigrafica n. B2

Ubicazione: **superficie altoplanare Zona B2.**

È costituita dall'alto verso il basso dai seguenti termini:

a) Eluvium sabbioso con immersi frammenti litici da millimetrici a centimetrici di composizione granitoide.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.00 - 0.05 - 0.10.

b) Livello alteritico, costituito da roccia granitoide leggermente alterata<sup>1</sup> da semicoerente a sub-litoide.

POTENZA (m) MIN - MED - MAX: 0.00 - 0.05 – 0.10.

Caratterizzazione Geotecnica (dati bibliografici):

Coesione	0.10 kg/cmq
Angolo d'attrito interno	28°
Densità naturale	2,20 g/cmc
Densità secca	2,00 g/cmc

c) Roccia granitoide massiva francamente litoide.

---

<sup>1</sup> Estratto dalla Rivista di Geotecnica, n. 2, 1993. Metodologia per la descrizione quantitativa delle masse rocciose. Tabella A – "Grado di alterazione delle masse rocciose". FORTEMENTE ALTERATA: Più della metà del materiale roccioso è decomposto e/o disgregato come un terreno. Roccia fresca o decolorata è presente come uno scheletro discontinuo o all'interno di singoli blocchi. MODERATAMENTE ALTERATA: Meno della metà del materiale roccioso è decomposto e/o disgregato come un terreno. Roccia fresca o decolorata è presente o come uno scheletro continuo o all'interno di singoli blocchi. LEGGERMENTE ALTERATA: La decolorazione indica una alterazione del materiale roccioso e delle superfici di discontinuità. Tutto il materiale roccioso può essere decolorato e talvolta può essere esternamente meno resistente della roccia fresca all'interno.

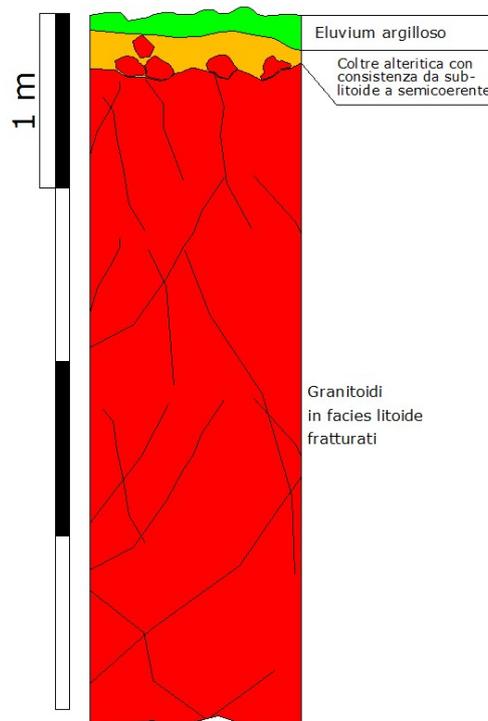


**Tabella 3. Determinazione della Resistenza a Compressione Uniassiale attraverso prova sclerometrica condotta in situ**

Lecture sclerometro (kN)	Valore medio delle letture allo sclerometro (previa esclusione dei valori più alto** e più basso*)	Resistenza a compressione uniassiale Direzione strumento: verticale basso Densità roccia: 2800 Kg/mc
26*	45	102 MPa
32		
36		
36		
45		
48		
49		
55		
59		
75**		

In sede di rilevamento di superficie (giugno 2020) non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera superficiale impostata nella coltre alteritica dei granitoidi. Tuttavia, vista la sequenza litostratigrafica che caratterizza l'area non è da escludersi l'instaurarsi di falde superficiali stagionali al limite tra coltre alteritica e la roccia litoide.

**Figura 8. Sequenza litostratigrafica B2.**



## 8. CONCLUSIONI

Il presente elaborato fornisce la modellazione geotecnica del sito in cui sorgerà il Parco eolico *Onanie* (aerogeneratori ed opere a questi funzionali: cavidotto, viabilità di accesso e sottostazione elettrica), che interessa i comuni di Onani, Bitti e Buddusò.

Gli elementi geotematici acquisiti nel corso della stesura della presente Relazione e dell'Allegato B - Relazione Geologica, geomorfologia e idrogeologica, integrati opportunamente fra loro ed anche attraverso la esecuzione di indagini geognostiche dirette e prove di laboratorio su campioni di terreno e di roccia, hanno permesso di descrivere il modello geotecnico di riferimento delle zone interessate dalla realizzazione degli interventi, con la definizione di 4 sequenze litostratigrafiche-tipo, attraverso cui si potrà effettuare il predimensionamento delle strutture e la quantificazione degli interventi di scavo e rimodellamento del suolo per la realizzazione della viabilità d'accesso, per la realizzazione del cavidotto e per l'attestazione ed il dimensionamento delle opere di fondazione di ciascun aerogeneratore.

Più in particolare:

**Zona A:** comprende l'area in cui si prevede di realizzare i 6 aerogeneratori e la viabilità a questi più prossima. Si ha nella Zona A un'unica sequenza lito-stratigrafica tipo:

- **Sezione lito-stratigrafica A:** si riferisce alla **Zona A**, che comprende l'area in cui si prevede di realizzare i 6 aerogeneratori e la viabilità a questi più prossima.

**Zona B:** comprende la fascia in cui si prevede la realizzazione del cavidotto, della viabilità di accesso al cantiere (adeguamento e rettifiche tracciato) e della sottostazione elettrica, come da cartografia allegata. Si definiscono per la Zona B le seguenti tre sequenze lito-stratigrafiche tipo:

- **Sezione lito-stratigrafica n. B1:** si riferisce alla **Zona B1**, specificatamente ai tratti in cui il cavidotto e la viabilità vanno a svilupparsi su **litotipi parametamorfici**;
- **Sezione lito-stratigrafica n. B1-bis:** si riferisce alla **Zona B1**, specificatamente ai tratti in cui il cavidotto e la viabilità vanno a svilupparsi su **litotipi ortometamorfici**;
- **Sezione lito-stratigrafica n. B2:** si riferisce alla **Zona B2**, in cui il cavidotto va a svilupparsi su **litotipi ignei intrusivi**.

Occorre sottolineare che l'indagine geognostica ad oggi eseguita si riferisce alla definizione delle condizioni di superficie dell'area di interesse, con particolare riferimento alla Zona A, in cui ricadono gli aerogeneratori.

Conseguentemente, per l'esecuzione degli interventi di scavo e rimodellamento del suolo per la realizzazione della viabilità d'accesso, per la realizzazione del cavidotto e per l'attestazione ed il dimensionamento delle opere di fondazione di ciascun aerogeneratore, i litotipi ricadenti nel volume significativo dovranno essere ulteriormente caratterizzati, in fase di progettazione



esecutiva, sulla base di un piano d'indagini che preveda l'esecuzione di perforazioni di sondaggio fino ad interessare, appunto, l'intero volume significativo sul settore di ubicazione di ciascun aerogeneratore e di pozzetti geognostici lungo il tracciato del viadotto e/o della viabilità di cantiere. Ciò consentirà di appurare direttamente lo stato del bedrock roccioso in profondità e la presenza di una falda acquifera profonda.

Vista la limitatissima entità dell'intervento in termini di larghezza e profondità di scavo non si è ritenuto necessario effettuare in questa fase di progettazione indagini geognostiche lungo il tracciato di cavidotto/viabilità di accesso, ritenendo sufficienti affioramenti e trincee stradali che ne costeggiano il corso, che hanno consentito l'agevole rilievo delle formazioni interessate dalle lavorazioni in scavo.

Visti gli spessori delle coltri alteritiche e regolitiche delle rocce del basamento paleozoico, metamorfico ed igneo intrusivo, e le potenze limitate delle coltri alloctone succitate, è possibile affermare che lungo il tracciato delle opere in rete (strade e cavidotto), in termini di rippabilità, vi sia una omogenea distribuzione di tratti in scavo su roccia lapidea e roccia tenera (semicoerente o sub-litoide).

Al fine di preservare l'integrità del cavidotto, si raccomanda che lo scavo a sezione obbligata della trincea di posa sia approfondito fino ad attestarsi su terreni in posto, oltrepassando la eventuale coltre alluvionale o detritico-colluviale che si venga ad intercettare in fase realizzativa, soprattutto alla intersezione con linee di impluvio o corsi d'acqua.

In merito a quanto esposto e prescritto, si esprime un giudizio positivo sulla fattibilità geotecnica delle opere in progetto per il Parco eolico *Onanie*.



## ALLEGATO: CERTIFICATI DI LABORATORIO PROVE SUI CAMPIONI

<b>ENGINEERING SERVICE</b> International promoter manager <b>NUORO - ITALY</b>	<b>ENGINEERING SERVICE</b> Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax: 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@stiscali.it	Denominazione prova: Prova di taglio Diretto ASTM D3080
--	--	---

certificato n°44/14

Committente: Dott. Geol. Michele Ena

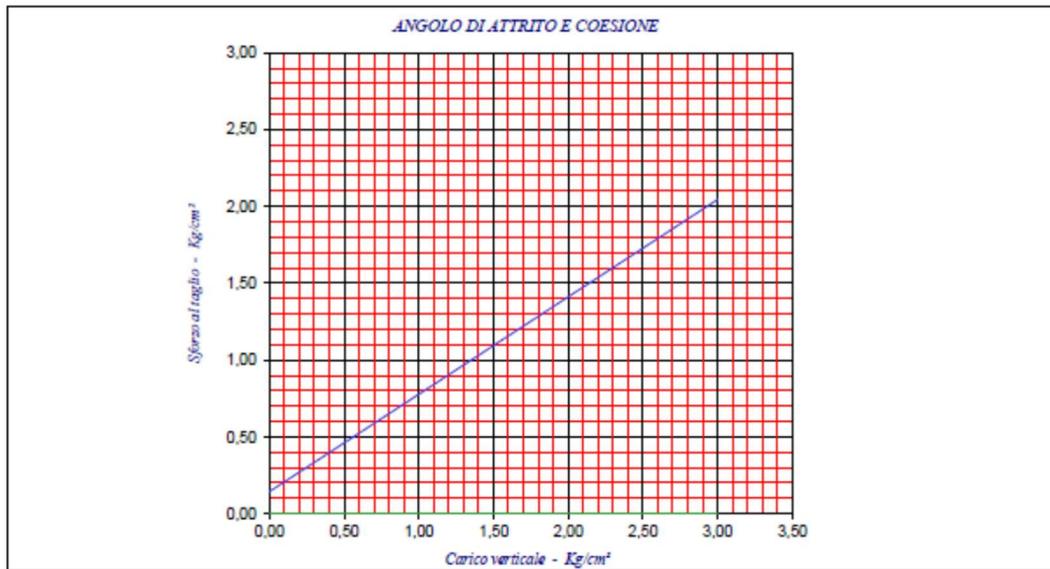
Progetto: Realizzazione di un parco eolico nel territorio comunale di Onani

Campione: Denominato campione "PZ1 C1" campionato dal pozzetto geognostico n°1

Campionamento: A cura della Committenza

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo di prova: C.D.				Superficie scatola cm <sup>2</sup> 36						
CARATTERISTICHE INIZIALI		1	2	3	CONSOLIDAZIONE			1	2	3
Umidità naturale	%	8,43	8,43	8,43	Carico verticale	Kg/cm <sup>2</sup>	1,00	1,00	1,00	
Peso di volume naturale	g/cm <sup>3</sup>	1,806	1,806	1,819	Variatione di volume	%	0,00	0,00	0,00	
Peso di volume secco	g/cm <sup>3</sup>	1,654	1,653	1,666	Peso di volume secco	g/cm <sup>3</sup>	1,654	1,653	1,666	
Peso specifico dei grani	g/cm <sup>3</sup>	2,725	2,725	2,725	Indice dei vuoti	e	0,647	0,648	0,636	
Grado di saturazione	%	38,75	38,70	39,47	Peso di volume saturo	g/cm <sup>3</sup>	2,047	2,047	2,055	
Indice dei vuoti	e	0,647	0,648	0,636	<b>ROTTURA</b>		1	2	3	
			MAX	RES	Carico verticale	Kg/cm <sup>2</sup>	1,00	2,00	3,00	
ANGOLO DI ATRITTO	° sess.		32,35	n.d.	Scorrimento orizzontale	%	6,28	3,53	9,78	
COESIONE	Kg/cm <sup>2</sup>		0,15	n.d.	Sforzo al taglio massimo	Kg/cm <sup>2</sup>	0,749	1,471	2,016	



Il Direttore del Laboratorio  
 Dott. Geol. Davide Boneddu

Nuoro, 13/02/14



NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.  
 AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova solo se su permesso di formale autorizzazione del Direttore del Laboratorio. Sono comunque vietate le riproduzioni parziali.



<b>ENGINEERING SERVICE</b> International promoter manager NUORO - ITALY	<b>ENGINEERING SERVICE</b> Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@triscali.it	Denominazione prova: Prova di compressione edometrica Norme: ASTM D-2435 Certificato n°45/14
---	---	--

Committente: Dott. Geol. Michele Ena

Progetto: Realizzazione di un parco eolico nel territorio comunale di Onani

Campione: Denominato campione "PZ1 C1" campionato dal pozzetto geognostico n°1

Campionamento: A cura della Committenza

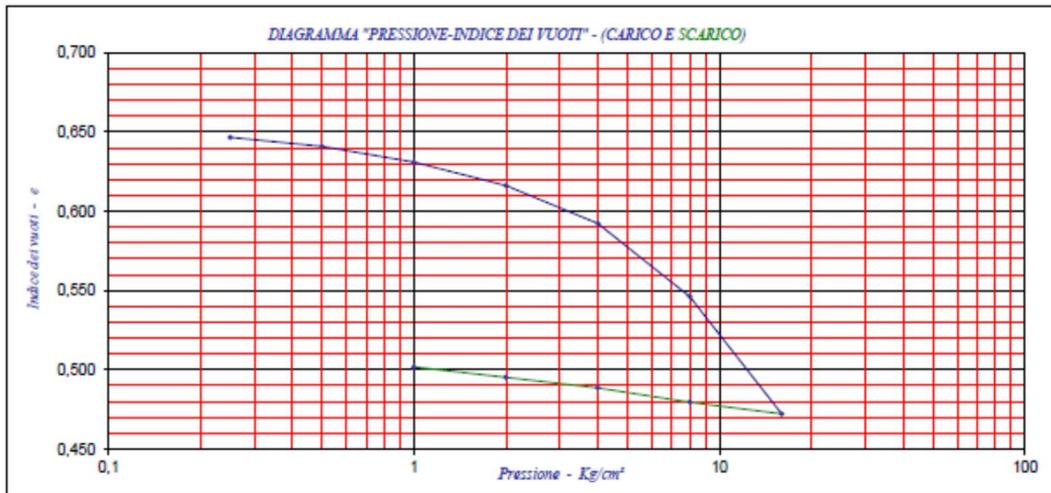
### PROVA DI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA

#### CARATTERISTICHE INIZIALI DEL PROVINO

Altezza iniziale	mm	20,00	Peso di volume saturo	g/cm <sup>3</sup>	2,048
Umidità naturale	%	8,43	Peso di volume secco	g/cm <sup>3</sup>	1,655
Peso di volume naturale	g/cm <sup>3</sup>	1,807	Grado di saturazione	%	38,80
Peso specifico dei grani	g/cm <sup>3</sup>	2,725	Indice dei vuoti	e	0,647

#### CICLI DI CARICO

Pressione	Cedimento	Cedimento	Indice dei vuoti	Densità secca	Densità saturo	Indice di compressibilità	Coeff. di Compressibilità	Modulo Edometrico	Coeff. di permeabilità
Kg/cm <sup>2</sup>	mm	%	e	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	av = Kg/cm <sup>2</sup>	mv = Kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>ed</sub> = Kg/cm <sup>2</sup>	K=cm <sup>2</sup> /sec
0,000	0,00	0,00	0,647	1,655	2,048				
0,125	0,00	0,00	0,647	1,655	2,048	n.d.	n.d.	n.d.	
0,250	0,00	0,00	0,647	1,655	2,048	n.d.	n.d.	n.d.	
0,500	0,07	0,35	0,641	1,661	2,051	0,023	0,014	71,43	5,290E-08
1,000	0,19	0,95	0,631	1,671	2,058	0,020	0,012	83,33	4,340E-08
2,000	0,37	1,85	0,616	1,686	2,067	0,015	0,009	111,11	3,766E-08
4,000	0,66	3,30	0,592	1,711	2,083	0,012	0,007	137,93	3,678E-08
8,000	1,22	6,10	0,546	1,762	2,116	0,012	0,007	142,86	2,853E-08
16,000	2,12	10,60	0,472	1,851	2,172	0,009	0,006	177,78	3,069E-09



Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Davide Boneddu

Nuoro, 13/02/14



NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.  
AVVERTENZA: Il Cliente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova per intero. Eventuali riproduzioni parziali dovranno essere esplicitamente autorizzate.



Realizzazione del Parco eolico *Onanie* nel territorio del Comune di Onani (NU)

<b>ENGINEERING SERVICE</b> International promoter manager <b>NUORO - ITALY</b>	<b>ENGINEERING SERVICE</b> Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - <a href="mailto:dboneddu@risicali.it">dboneddu@risicali.it</a>	Denominazione prova: Point Load Test ASTM d 5731
--	---	--

certificato n°46/14

Committente: Dott. Geol. Michele Ena

Progetto: Realizzazione di un parco eolico nel territorio comunale di Onani

Campione: Denominato campione "PZ2 C1" campionato dal pozzetto geognostico n°2

Campionamento: A cura della Committenza

<b>PROVE DISTRUTTIVE SULLE ROCCE</b>									
<b>RESISTENZA AL PUNZONAMENTO (Point Load Test) SU SPEZZONI DI FORMA IRREGOLARE</b>									
Provino	Dimensioni				Fattore correttivo di Forma	Carico Puntuale	Resistenza a punzonamento		Resistenza a Compressione
	D	W	A = WD	De		P	Is	Is(50)	$\sigma_{max}$
Denominazione	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	F	Kn	Mpa	Mpa	Mpa
Camp. 1	85,00	60,00	5.100	80,58	1,240	2,90	0,447	0,554	5,536
Camp. 2	75,00	70,00	5.250	81,76	1,248	3,10	0,464	0,579	5,786
Camp. 3	60,00	45,00	2.700	58,63	1,074	2,10	0,611	0,656	6,563
Camp. 4	50,00	35,00	1.750	47,20	0,974	1,55	0,696	0,678	6,779
Camp. 5	60,00	40,00	2.400	55,28	1,046	1,70	0,556	0,582	5,820
Media	67,50	52,50	3.700	67,044	1,134	2,41	0,554	0,617	6,166

Piani di debolezza	
	Assenti
	Perpendicolari alla direzione del carico
	Paralleli alla direzione del carico

Peso di volume naturale g/cm <sup>3</sup> 2,675
Indice sclerometrico n.d.

Nuoro, 13/02/2014

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Davide Boneddu

NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.  
AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova solo se in possesso di formale autorizzazione del Direttore del Laboratorio. Sono comunque vietate le riproduzioni parziali.



Realizzazione del Parco eolico *Onanie* nel territorio del Comune di Onani (NU)

<b>ENGINEERING SERVICE</b> International promoter manager <b>NUORO - ITALY</b>	<b>ENGINEERING SERVICE</b> Divisione Laboratorio Geotecnico Via Ballero 85 - 08100 Nuoro tel. fax 0784/38985 - cell. 3280235182 - dboneddu@risicali.it	Denominazione prova: Point Load Test ASTM d 5731
--	---	--

certificato n°47/14

Committente: Dott. Geol. Michele Ena

Progetto: Realizzazione di un parco eolico nel territorio comunale di Onani

Campione: Denominato campione "PZ3 C1" campionato dal pozzetto geognostico n°3

Campionamento: A cura della Committenza

<b>PROVE DISTRUTTIVE SULLE ROCCE</b>									
<b>RESISTENZA AL PUNZONAMENTO (Point Load Test) SU SPEZZONI DI FORMA IRREGOLARE</b>									
Provino	Dimensioni				Fattore correttivo di Forma	Carico Puntuale P	Resistenza a punzonamento		Resistenza a Compressione $\sigma_{max}$
	D	W	A = WD	De			Is	Is(50)	
Denominazione	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	F	Kn	Mpa	Mpa	Mpa
Camp. 1	70,00	35,00	2.450	55,85	1,051	1,35	0,433	0,455	4,549
Camp. 2	70,00	30,00	2.100	51,71	1,013	0,95	0,355	0,361	3,607
Camp. 3	55,00	40,00	2.200	52,93	1,026	1,10	0,393	0,403	4,029
Camp. 4	50,00	30,00	1.500	43,70	0,941	1,15	0,602	0,567	5,667
Camp. 5	40,00	40,00	1.600	45,14	0,955	1,20	0,589	0,563	5,625
Camp. 6	30,00	30,00	900	33,85	0,839	1,00	0,873	0,732	7,322
Media	61,25	33,75	2.063	51,047	1,008	1,14	0,446	0,446	4,463

Piani di debolezza	
	Assenti
	Perpendicolari alla direzione del carico
	Paralleli alla direzione del carico

Peso di volume naturale g/cm <sup>3</sup> 2,611
Indice sclerometrico n.d.

Nuoro, 13/02/2014

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Davide Boneddu

NOTA: I risultati contenuti nel presente Rapporto di Prova si riferiscono esclusivamente al campione provato.  
AVVERTENZA: Il Committente si impegna a riprodurre il presente Rapporto di Prova solo se in possesso di formale autorizzazione del Direttore del Laboratorio. Sono comunque vietate le riproduzioni parziali.

