



Statkraft



Per Ski 21 S.r.l

ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE

WINDFARM IGLESIAS

**RELAZIONE SPECIALISTICA ED
ELABORATI GRAFICI INDAGINI
GEOGNOSTICHE**

HH0694A-IG-PD-RE-35

0	03/11/2023	Emissione finale	BAVESTRELLI	ESPOSITO	CLERICI
Rev.	Data di emissione	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato

WSP E&IS Italy S.r.l



Via S. Caboto, 15 – 20094 Corsico- Milan – Italy

Tel. +39 02 4486 1 - Capitale Sociale i.v. € 190.000,00

Codice Fiscale/Partita IVA/Reg. Imprese Milano 12363640967 – R.E.A. MI N° 2656546



PEC: Environment.infrastructure@legalmail.it

Fatturazione Elettronica: Codice Destinatario ISHDUAE – PEC: Invoices-woodplc@legalmail.it

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 2 a 23

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	PREMESSA	5
2.1	Normativa di Riferimento	5
2.2	Documenti tecnici di Riferimento.....	7
3	LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO	8
3.1	Modello dell'aerogeneratore di progetto	9
4	GEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO	10
5	Plano di indagine	13
5.1	Saggi esplorativi	13
5.2	Sondaggi Geognostici.....	13
5.3	Indagini sismiche - MASW	14
5.3.1	Premesse sulle MASW.....	15
5.3.2	Elaborazione dei dati.....	17
5.3.3	Caratterizzazione sismica del sito	17
5.4	Rilievo Strutturale Degli Ammassi Rocciosi.....	19
6	Costo delle indagini	21
7	CONCLUSIONI	22
8	PRECISAZIONI.....	23

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 3 a 23

ALLEGATI

HH0694A-IG-PD-PL-27_COROGRAFIA DEI BACINI

HH0694A-IG-PD-PL-29_AREE SOGGETTE A PERICOLOSITA' DA ALLUVIONE - PGRA

HH0694A-IG-PD-PL-32_CARTA DEI DISSESTI

HH0694A-IG-PD-RE-35_RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI
GEOGNOSTICHE

HH0694A-IG-PD-PL-37A_PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

HH0694A-IG-PD-PL-37B_PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

HH0694A-IG-PD-PL-39_CARTA IDROGEOLOGICA

HH0694A-IG-PD-PL-40_PROFILI GEOLOGICI

HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA



HH0694A-IG-PD-PL-46_CARTA GEOMORFOLOGICA

HH0694A-IG-PD-PL-47_CARTA PEDOLOGICA

HH0694A-IG-PD-PL-48_CARTA DI ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

HH0694A-IG-PD-PL-49_CARTA USO DEL SUOLO

HH0694A-IG-PD-RE-42_RELAZIONE COMPATIBILITA' CON IL PTA

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 4 a 23



1 INTRODUZIONE

Il presente documento è stato predisposto da parte di WSP E&IS Italy S.r.l., parte di WSP Group (qui di seguito WSP E&IS) su incarico di SKI 21 s.r.l. (qui di seguito SK) e costituisce la Relazione Geologica e relativi studi di compatibilità geologica e geotecnica di progetto redatta ai sensi della normativa in materia.

La relazione specialistica HH0694A-IG-PD-RE-35, RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE descrive il piano delle indagini che si intende sviluppare in sede di progettazione esecutiva al fine di verificare e validare in dettaglio gli studi e le considerazioni fatte in sede autorizzativa.

Lo stesso piano è redatto in riferimento alle norme tecniche sulle costruzioni vigenti (NCT 2018).

Le indagini sono previste in corrispondenza delle opere principali e prevedono l'esecuzione di saggi esplorativi, sondaggi con esecuzione di prove sui terreni sciolti e/o prelievo di campioni indisturbati oltre alla installazione di piezometri per la verifica di eventuale circolazione idrica, rilievi strutturali e MASW.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 5 a 23

2 PREMESSA

La presente relazione specialistica delle indagini geognostiche previste in sede di progettazione esecutiva è relativa al progetto denominato “IGLESIAS” per la realizzazione di un parco eolico nel comune di Iglesias (SU) che prevede l’installazione di n. **6 aerogeneratori** per una potenza complessiva dell’impianto stimabile in **39,6 MWp**.

I nuovi aerogeneratori del progetto sono previsti in territorio di Iglesias e saranno elettricamente collegati alla RTN in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione RTN 220/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 220 kV “Sulcis-Oristano” situata a **20 km** di distanza nel territorio del Comune di Gonnese

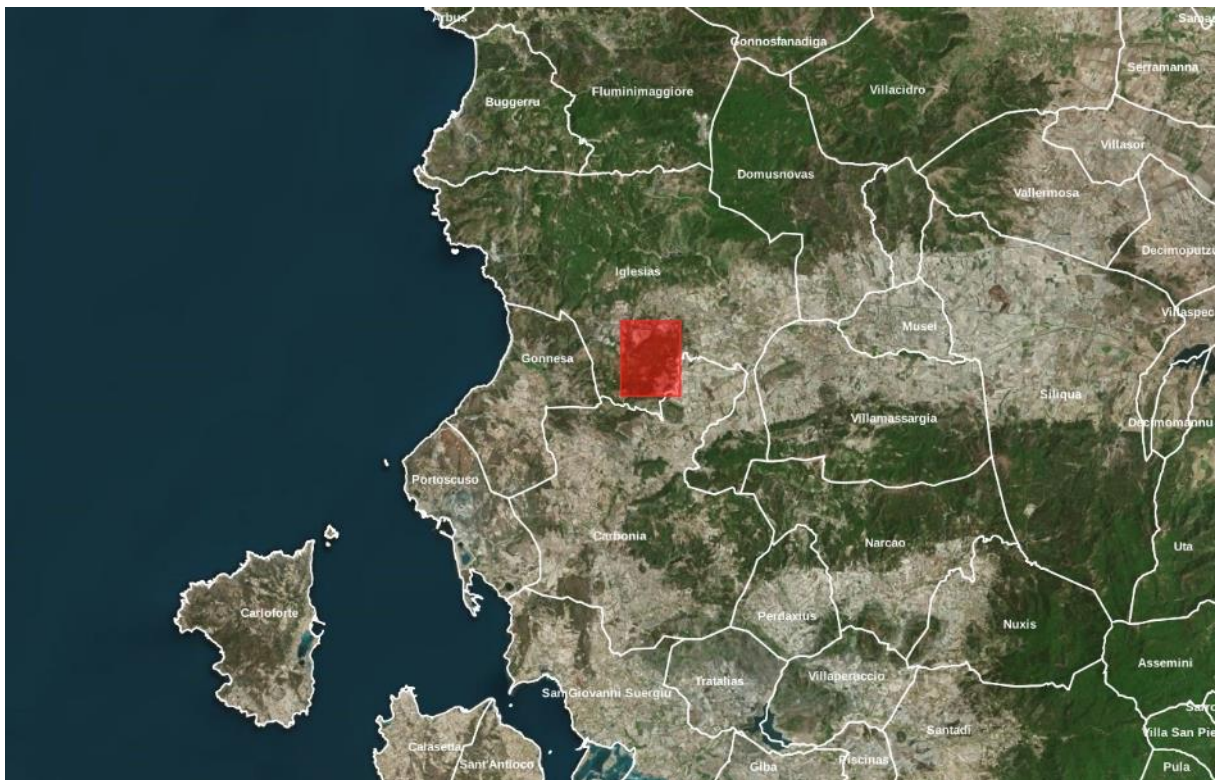






Figura 2-1: Localizzazione dell’impianto eolico in progetto.

2.1 Normativa di Riferimento

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la redazione del presente documento tecnico è la seguente:

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 6 a 23

- Circolare C.S. LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 «Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018»;
- D.M. 14.01.2018 «Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni»;
- Circolare C.S. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009 «Istruzioni per l'applicazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008»;
- Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;
- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- 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» e relativa Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988;
- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l'obbligatorietà dell'applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero LL.PP.;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 7 a 23



Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 del 11.03.2005;

- Norme di Attuazione del P.A.I. - Testo coordinato e ss.mm.

2.2 Documenti tecnici di Riferimento

I principali documenti tecnici consultati ai fini della redazione del presente documento sono:

- Piano Urbanistico Comunale in adeguamento al piano paesaggistico regionale del Comune di Gonnese - riordino delle conoscenze, assetto ambientale – Carta Idrogeologica in scala 1:10.000.
- ISPRA – Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 foglio 555 Iglesias
- Cartografia tematica e relative note illustrative disponibili sul Geoportale della Regione Sardegna (www.sardegna.geoportale.it)
- Climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010, Agenzia Regionale Pro S'Amparamu de S'Ambiente. ARPAS

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 8 a 23

3 LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO



Il parco eolico del progetto Iglesias ricade interamente nel Comune di Iglesias ed è limitrofo al comune di Carbonia sul lato a Est; sarà costituito da 6 generatori eolici la cui ubicazione definitiva è qualitativamente illustrata in Figura 3-1, e i cui dati altimetrici sono indicati in Tabella 3-1.



Figura 3-1: Ubicazione dei generatori dell'impianto eolico in progetto.

ID WTG	COORDINATE (WGS84)	QUOTA TERRENO
WTG01	39.2624525;8.52643106	297 m
WTG02	39.26342746;8.53386027	266 m
WTG03	39.26841087;8.53616316	300 m
WTG04	39.27475714;8.53392362	319 m
WTG05	39.28072557;8.54094975	350 m
WTG06	39.26958031;8.52985446	296 m

Tabella 3-1: Posizione di installazione degli aerogeneratori in progetto.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 9 a 23

3.1 Modello dell'aerogeneratore di progetto

Il modello previsto di aerogeneratore selezionato per il layout di progetto è prodotto dall'azienda Siemens; il modello scelto, tra quelli disponibili in commercio è il **Gamesa SG 6.6-170** da **6,6 MW** le cui caratteristiche principali sono riportate nella Tabella 3-2. Le dimensioni riportate fanno riferimento alla schematizzazione dell'aerogeneratore riportata in Figura 3-2.

MODELLO WTG	ALTEZZA DEL MOZZO (H)	DIAMETRO ROTORE (D)	DIAMETRO ALLA BASE (Lb)	DIAMETRO AL MOZZO (Lm)	POTENZA
SIEMENS Gamesa SG 6.6-170	135 m	170 m	6,0 m	3,5 m	6,6 MW

Tabella 3-2: Dati di base degli aerogeneratori in progetto.

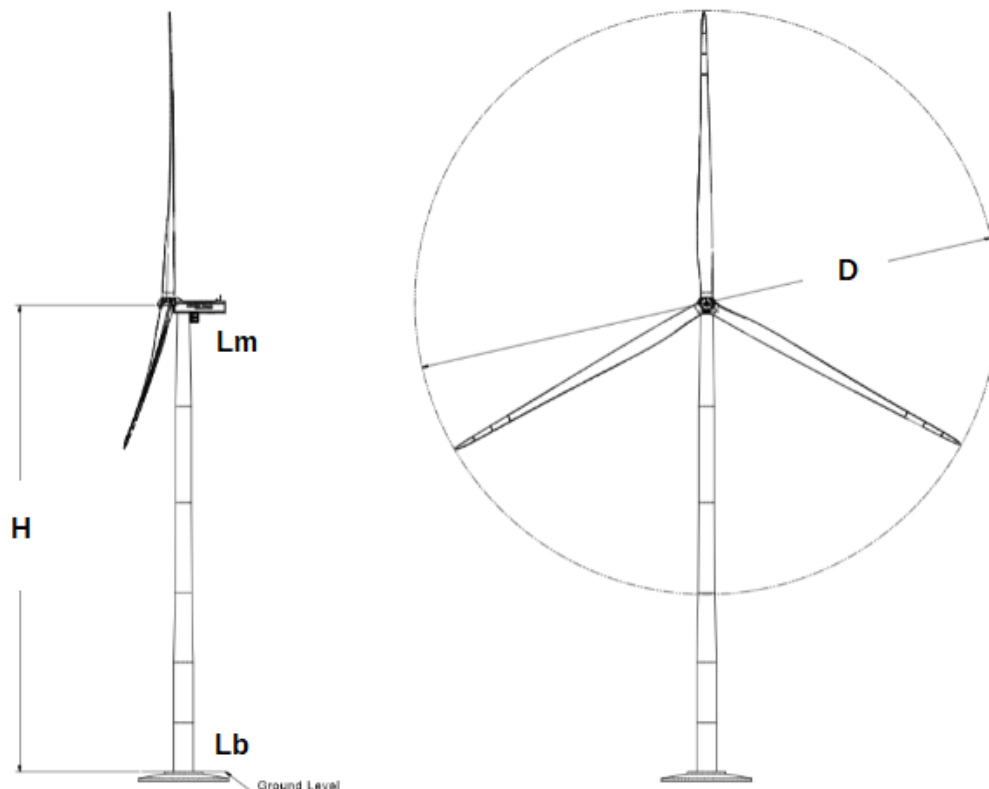




Figura 3-2: Aerogeneratore tipo in progetto: Altezza del mozzo (H), Diametro rotore (D), Diametro alla base (Lb), Diametro al mozzo (Lm).

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 10 a 23

4 GEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO

L'assetto geologico dell'area vasta di progetto viene descritto sulla base delle conoscenze bibliografiche relative a questa porzione dell'iglesiente verificate in sito tramite appositi sopralluoghi diretti e il supporto di riscontri di indagini dirette effettuate sul sito.

La Tavola HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA riporta la geologia dell'area di progetto in corrispondenza delle opere ed è redatta con riferimento alla documentazione disponibile sul Geoportale della Sardegna.



Questa porzione del territorio è caratterizzata dall'affioramento di successioni sedimentarie e corpi metamorfici di età antica, alcuni dei quali sono interessati da eventi deformativi orogenici che hanno prodotto intense deformazioni, fenomeni di metamorfismo e hanno prodotto intrusioni di corpi granitoidi (orogenesi caledoniana e orogenesi varisca).

A questi importanti eventi geologici sono seguiti altri eventi deformativi di minore intensità, legati alla complessa ed articolata evoluzione geologica successiva all'orogenesi ercinica, di età mesozoica e cenozoica, che hanno prodotto deformazioni soprattutto di tipo fragile, con sviluppo di faglie trascorrenti e di faglie dirette.

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, l'area è costituita prevalentemente da rocce metamorfiche paleozoiche, da subordinati depositi sedimentari di età terziaria e da coperture alluvionali ed eluvio-colluviali di età quaternaria.

La successione stratigrafica circostante l'area di interesse ha inizio con rocce metamorfiche di età cambriana appartenenti alla Formazione di Nebida, sormontate dalla potente successione carbonatica della Formazione di Gonnese ("Metallifero", Auct.). Si passa quindi prima alla formazione carbonatica terrigena di Campo Pisano ("Calcescisti", Auct.) e poi a quella terrigena di Cabitza. Queste formazioni affiorano progressivamente da est verso ovest in questa porzione del territorio e costituiscono i colli che separano la piana del Riu Cixerri ad est e la valle del Rio San Giorgio ad Ovest.

La Tavola HH0694A-IG-PD-PL-40_PROFILI GEOLOGICI riporta il profilo geologico dell'area di intervento ed illustra i rapporti stratigrafici tra i diversi complessi e le successioni geologiche presenti nell'area.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 11 a 23

La figura sotto, estratta dalla Tavola HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA, illustra nello specifico l'assetto geologico dell'area di interessata dagli aerogeneratori.

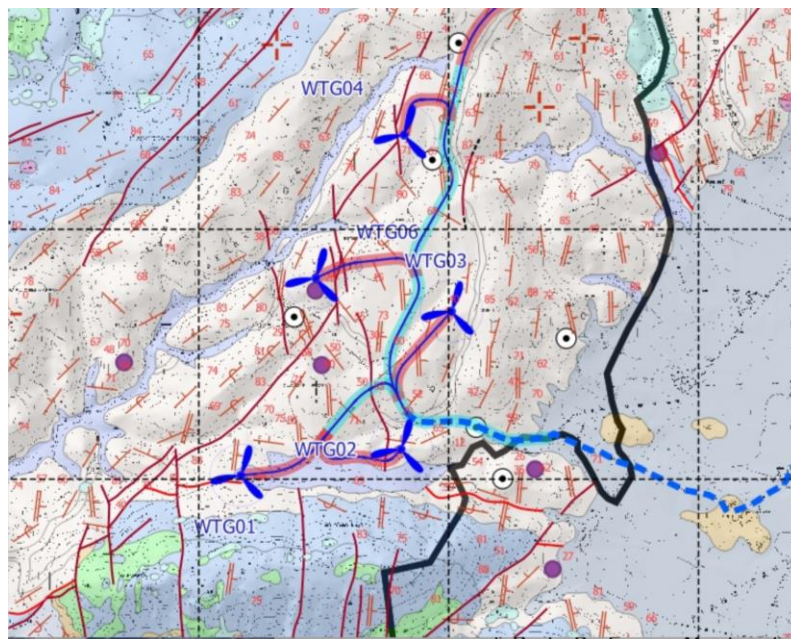




Figura 4-1: Geologia dell'area, estratto della Tavola HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA

Nello specifico in corrispondenza dell'areale di progetto si rileva la presenza delle seguenti rocce e depositi:

- *Metarenarie quarzose e siltiti, con laminazioni incrociate e piano parallele, verso l'alto con alternanze di calcari, talvolta ricchi in archeociati, e dolomie con bioturbazioni, spesso sicilizzate. CAMBRIANO. Membro di Punta Manna, (FORMAZIONE DI NEBIDA), [NEB];*
- *Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base. CAMBRIANO INF. Membro della Dolomia rigata (FORMAZIONE DI GONNESA), [GNN1].*
- *Alternanze di metasiltiti e metapeliti. CAMBRIANO I MEDIO – ORDOVICIANO. Membro di Punta Su Funu e Membro di Riu Cea de Mesu (FORMAZIONE DI CABITZA), [CAB2/3].*
- *Sabbie ed Arenarie Eoliche del Sistema di Portovesme; [PVM2b]*

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 12 a 23

- *Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE; [B2]*

In riferimento alla natura del substrato ed alla ubicazione planimetrica delle opere principali di progetto, come evidenziato nella Carta Geologica (Tavola HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA) e nell'estratto riportato nella precedente Figura 4-1, il substrato geologico direttamente interessato dalle singole opere è il seguente:

- Metarenarie del Membro di Punta Manna, Formazione di Nebida [NEB2], interessano gli aerogeneratori WTG02, WTG03, WTG04, WTG05 e WTG06;
- Depositi eluvio colluviali [b2], interessano l'aerogeneratore WTG01;
- Formazione di Gonnese [GNN1] e Formazione di Cabitza [CAB2/3], interessano parte della viabilità e dei cavidotti

La natura del substrato interessato dalle opere di progetto è schematizzato nella Tabella 4-1 che riporta la litologia/geologia dei terreni in corrispondenza delle singole opere di progetto.



Si evince come 5 dei 6 aerogeneratori, che sono le opere certamente di maggiore rilievo per sollecitazione sulle fondazioni, poggiano sul substrato roccioso costituito dalle Metarenarie quarzose [NEB2] appartenenti al Membro di Punta Manna (FORMAZIONE DI NEBIDA). Si può anticipare che trattasi di rocce metamorfiche di buone caratteristiche tecniche.

Unicamente l'aerogeneratore WTG01 poggia su uno strato detritico di depositi stabilizzati [b2] di potenza limitata sotto i quali sono ancora presenti le Metarenarie della FORMAZIONE DI NEBIDA.

La Cabina Utente è invece posizionata a 20km di distanza nel territorio del Comune di Gonnese ove affiorano Sabbie ed Arenarie Eoliche del Sistema di Portovesme [PVM2b].

NEB2 (metarenarie quarzose)	PVM2b (Sabbie ed Arenarie Eoliche)	b2 (depositi stabilizzati)	GNN1 e CAB2/3
WTG02, WTG04 WTG06, WTG03 WTG05 Viabilità e Cavidotti	Cabina Utente	WTG01	Viabilità e Cavidotti

Tabella 4-1: Geologia dei terreni in corrispondenza delle opere

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 13 a 23

5 PIANO DI INDAGINE

5.1 Saggi esplorativi

E' prevista l'esecuzione di 21 saggi esplorativi da realizzarsi a mezzo escavatore gommato e spinti fino al raggiungimento della roccia in posto e comunque fino ad un massimo di 5 metri.

I saggi sono previsti in asse alla viabilità al fine di verificare il substrato roccioso e la portanza oltre alla natura dei terreni interessati da scavi e riporti.

La campagna di indagine verrà documentata attraverso la redazione di stratigrafie di ogni saggio e fotografie dei materiali riscontrati.

L'ubicazione dei saggi è indicata in Tavola Xxxxxxxx.

5.2 Sondaggi Geognostici

E' prevista l'esecuzione di 18 sondaggi geognostici di cui 6 in corrispondenza dell'asse dei 6 aerogeneratori e 12 in corrispondenza della viabilità.

I sondaggi previsti in asse agli aerogeneratori avranno una profondità di 30 metri da pianoi campagna.

I sondaggi previsti in asse alla viabilità avranno una profondità stimata di massimo 10 metri e verranno spinti fino al raggiungimento del BedRock inalterato spingendosi 2,5 metri all'interno di quest'ultimo.



L'ubicazione dei sondaggi è indicata in Tavola Xxxxxxxx.

I sondaggi verranno realizzati a carotaggio continuo con diametro di perforazione non inferiore a 101 mm e nel caso di necessità in avanzamento il foro verrà rivestito con rivestimento provvisorio \varnothing 127 mm.

Le carote prelevate verranno collocate in apposite cassette catalogatrici.

In caso di avanzamento verranno effettuate le seguenti prove:

- nel caso di terreni sciolti non coesivi: prove SPT ogni 3 metri di avanzamento;

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 14 a 23

- nel caso di terreni sciolti coesivi: prelievo di campioni nindisturbati ogni 3 metri di avanzamento;
- nel caso di roccia in posto prelievo di campione indisturbato ogni cambio di litologia e/o ogni 10 metri di perforazione.

Per i sondaggi da realizzarsi in asse agli aerogeneratori è prevista l'installazione di piezometri a Tubo Aperto con diametro di 3 pollici per la verifica della presenza di falda.

I tubi piezometrici in pvc, diam. 3", fessurazione slot 0.5-2 mm, dovranno essere installati completi di tappi di testa e di fondo, filtro in ghiaino lavato diam. 3-4 mm per tutta la lunghezza del tratto fessurato, cementazione del tratto cieco con boiaccia cementizia/bentonite.

Sui campioni eventualmente prelevati, sia essi disturbati o indisturbati, verranno effettuate prove di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici caratteristici.



A seconda della natura dei terreni o delle rocce si potranno prevedere prove penetrometriche, prove edometriche e/o prove di taglio diretto o indiretto. Prove di rottura sulle rocce quali ad esempio point load.

5.3 Indagini sismiche - MASW

Ai fini della caratterizzazione del comportamento sismico dei terreni interessati della opere, necessaria alla determinazione dei parametri sitospecifici per il calcolo delle fondazioni, è prevista la realizzazione di 3 MASW la cui ubicazione sarà definita in sede esecutiva.

Con riferimento alla Carta Geologica (Tavola HH0694A-IG-PD-PL-45_CARTA GEOLOGICA) le 3 MASW sono attualmente indirizzate alla caratterizzazione dei 2 principali terreni di fondazione previsti secondo il seguente criterio:

- 2 MASW saranno realizzate per la caratterizzazione dei litotipi interessati dalle WTG02, WTG03, WTG04, WTG05 e WTG06 (Metarenarie del Membro di Punta Manna, Formazione di Nebida [NEB2], interessano gli aerogeneratori)
- 1 MASW verrà realizzata in corrispondenza della WTG01 dove sono presenti coperture superficiali di Depositi eluvio colluviali [b2],

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 15 a 23

5.3.1 *Premesse sulle MASW*

La sismica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.



Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità sfruttando le Onde di Rayleigh – "R".

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 V_s , 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

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 16 a 23

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 con la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 1,5 m. 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 2m e 4m e 6m.





Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico.

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.

Per le elaborazioni ci si avvarrà di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto da SARA Electronic Instruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei 24 canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz

Per l’energizzazione si adotterà una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 k.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 17 a 23

5.3.2 *Elaborazione dei dati*

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvederà all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

Di seguito si indicano le correlazioni bibliografiche da utilizzare per il calcolo dei parametri di deformazione dinamici calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_p , V_s e densità per ciascun sismostrato definito dalle indagini geofisiche eseguite:

$$\text{Coefficiente di Poisson } \nu = \frac{V_p^2 - 2 V_s^2}{2 (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\text{Modulo di Young dinamico } E_d = \gamma V_s^2 [(3V_p^2 - 4 V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$



$$\text{Modulo di taglio (rigidità) } G_0 = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di comprimibilità o di Bulk } K = \gamma (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

5.3.3 *Caratterizzazione sismica del sito*

Secondo il §3.2 delle NTC 2018, le “azioni sismiche di progetto” si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la “risposta sismica locale”.

La pericolosità sismica è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento del periodo di riferimento” PVR.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 18 a 23

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale;
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, si definiscono di seguito i parametri sismici relativi al sito di intervento:

- Accelerazione orizzontale massima del sito a_g
- Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale F_0
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale T_c

Per determinare la risposta sismica locale sarà possibile quindi seguire un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo e l'individuazione, mediante apposite tabelle fornite dalla normativa, del coefficiente di amplificazione stratigrafica SS, del coefficiente di amplificazione topografica ST nonché del coefficiente CC che modifica il periodo TC e di conseguenza gli altri periodi notevoli dello spettro (NTC 2018, §3.2.2-3)



Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" aggiornate con D.M. del 17 gennaio 2018, definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Per tale motivo si esegue una classificazione del sottosuolo compreso fra il piano di campagna ed il "bedrock" attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio (V_s).

Per quanto riguarda l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 19 a 23

Con:

h_i = spessore dello stato i -esimo;

$V_{s,i}$ = 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 V_s non inferiore a 800 m/sec.

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

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità viene riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Le attività porteranno quindi alla conferma della classe e. categoria indicata in sede autorizzativa con la determinazione specifica del il valore delle V_S equivalenti.



5.4 Rilievo Strutturale Degli Ammassi Rocciosi

Al fini della caratterizzazione geomeccanica delle rocce di fondazione verranno effettuati 2 rilievi geomeccanici che interesseranno la Formazione di Nebida [NEB2] ed in particolare le Metarenarie del Membro di Punta Manna interessate dalle fondazioni degli aerogeneratori.

Le stazioni strutturali saranno ubicate in sede esecutiva in corrispondenza di affioramenti quali tagli stradali e/o scarpate naturali dove ci sono i fronti che mostrano le migliori esposizioni.



I rilievi strutturali verranno realizzati secondo gli standard di riferimento e in modo tale da permettere la classificazione degli ammassi rocciosi secondo il metodo di Bieniawski (1989) che tiene in considerazione l'influenza che alcuni parametri fisici, meccanici e geologico strutturali esercitano sulla qualità della roccia. La classificazione completa di Bieniawski (1989), detta Rock Mass Rating (RMR) si basa su questi 5 parametri:

- R1 - Resistenza a compressione: nella fattispecie ricavata attraverso prove sclerometriche (Fig.1);

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 20 a 23

- R2 - RQD: rappresenta la percentuale di recupero di un sondaggio. Essa è data dal rapporto tra la somma degli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore a 10 cm e la lunghezza totale della carota. In mancanza di sondaggi il valore di RQD può essere stimato tramite la seguente relazione empirica basata sul numero di fratture rilevabili in affioramento:
 - $RQD = 100 (0,1 f + 1)$ e $-0,1f$ dove f rappresenta il numero di discontinuità per metro;
 - R3 - Spaziatura dei giunti;
 - R4 - Condizione dei giunti (alterazione, apertura, persistenza, rugosità e riempimento);
- R5 – Condizione idrauliche dei giunti.



Sulla base di questi dati sarà possibile quindi classificare i terreni di fondazione secondo la Rock Mass Rating ottenendo i parametri caratteristici dell'ammasso roccioso interessato dalle opere.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 21 a 23

6 COSTO DILLE INDAGINI

Il costo della indagine è riportato nella tabella che segue.

Voce	UDM	Numero	Costo Unitario	Costo Totale
Pozzetti esplorativi	Cad	21	150€	3.150€
Sondaggi geognostici da 30 mt	Cad	6	4.000€	24.000€
Sondaggi geognostici da 10 mt	Cad	12	1.500€	18.000€
MASW	Cad	3	600€	1.800€
Rilievi strutturali	Cad	2	1.000€	2.000€
Prove di laboratorio sui campioni prelevati	Cad	6	1.000€	6.000€
Costo Totale				54.950€



 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 22 a 23

7 CONCLUSIONI

La presente RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE è redatta dal Dott. Andrea Bavestrelli (iscritto all'Albo dei Geologi della Regione Lombardia al Nr. 791) in relazione all'incarico affidato alla Società Maxxi Engineering S.r.l. e pertinente il progetto di realizzazione di un parco eolico da realizzarsi all'interno del territorio comunale di Iglesias e descrive il piano delle indagini che si intende sviluppare in sede di progettazione esecutiva al fine di verificare e validare in dettaglio gli studi e le considerazioni geologiche e geotecniche effettuate in sede autorizzativa.

Lo stesso piano è redatto in riferimento alle norme tecniche sulle costruzioni vigenti (NCT 2018).

Le indagini sono previste in corrispondenza delle opere principali e prevedono l'esecuzione di saggi esplorativi, sondaggi con esecuzione di prove sui terreni sciolti e/o prelievo di campioni indisturbati oltre alla installazione di piezometri per la verifica di eventuale circolazione idrica, rilievi strutturali e MASW.

 	PROGETTO: Attività di Progettazione Windfarm Iglesias	NUMERO DI DOCUMENTO HH0694A-IG-PD-RE-35	INDICE DI REVISIONE 0
	TITLE RELAZIONE SPECIALISTICA ED ELABORATI GRAFICI INDAGINI GEOGNOSTICHE		Page 23 a 23

8 PRECISAZIONI

Il presente documento è stato preparato da WSP E&IS per SKI 21 S.r.l. unicamente per gli scopi previsti dal contratto che regola la prestazione del presente servizio. Nessun'altra garanzia, espressa o implicita, diversa da quella definita nel contratto, viene data da WSP E&IS in relazione ai contenuti oggetto del presente documento o su qualsiasi altro servizio fornito da WSP E&IS. Il presente documento non potrà essere utilizzato da terze parti senza il previo ed espresso accordo scritto di WSP E&IS.

Le valutazioni effettuate sono basate sulle informazioni ricevute da SKI 21 S.r.l. in relazione alle quali WSP E&IS non assume alcun tipo di responsabilità. Qualora intervengano significative variazioni rispetto alle informazioni utilizzate relativamente al sito, il presente documento dovrà essere aggiornato.