



**COMUNE DI
LUOGOSANTO**



**REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA**



**COMUNE DI
AGLIENTU**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA DENOMINATO "PARCO EOLICO LUOGOSANTO", DELLA POTENZA DI 95.2 MW, LOCALIZZATO NEL COMUNE DI LUOGOSANTO, E DELLE SOLE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE PER IL COLLEGAMENTO IN ANTENNA 36 KV CON UNA NUOVA STAZIONE ELETTRICA (SE) DELLA RTN A 150 KV/36KV DA INSERIRE IN ENTRA-ESCE ALLA LINEA RTN A 150 KV "AGLIENTU-S. TERESA", SITA NEL COMUNE DI AGLIENTU.



Studio anemologico e produzione energetica

PROPONENTE

MYT EOLO 1 S.R.L.
Via Vecchia Ferriera 22
36100 Vicenza (VI)
P.IVA 04436470241
REGISTRO IMPRESE VI-397007

PROGETTISTI

ING. CARLO PERUZZI
Via Pallone 6
37121 Verona (VR)
P.IVA 03555350234
PEC carlo.peruzzi@ingpec.eu



RENX ITALIA S.R.L.
Via Vecchia Ferriera 22
36100 Vicenza (VI)
P.IVA 04339940241
PEC: renx-italia@pec.it

DATA	REVISIONE

ELABORATO
RTS07

INDICE

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO	5
3	DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO D'INTERVENTO	6
4	ULTERIORI RIFERIMENTI NORMATIVI INERENTI AL PRESENTE DOCUMENTO E AI RELATIVI ALLEGATI	10
5	BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI	11
5.1	DATI CARTOGRAFICI	11
5.1.1	Nazionale.....	11
5.1.2	Sovraregionale: Autorità di Bacino (https://autoritadibacino.regione.sardegna.it/).....	11
5.1.3	Regionale: GeoPortale Sardegna - https://www.sardegna.geoportale.it/	12
5.2	DATI SITOGRAFICI	14
5.2.1	Sovraregionale e regionale	14
5.2.2	Provinciale	14
5.2.3	Comunale	14
5.2.4	Altri riferimenti sitografici	15
6	DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO	16
7	ANALISI PRELIMINARE DEI DATI VENTO	21
7.1	SELEZIONE, CONFIGURAZIONE ED ANALISI	21
7.2	DATI MESOSCALA ERA5+ E WRF	21
7.3	ANEMOMETRO SATELLITARE	22
7.4	ERA5+, WRF COME ANALISI DEI DATI A LUNGO TERMINE	24
8	SPECIFICHE DELLA TURBINA DI PROGETTO E CURVA DI POTENZA	28
9	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E MAPPA DELLA RUGOSITA'	31
10	RISULTATI DELLO STUDIO ANEMOLOGICO E STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA.....	34
10.1	MAPPA DELLA RISORSA EOLICA	34
10.2	STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA	34
10.3	CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA ANNUA LORDA	36
10.4	CALCOLO DELLA PRODUZIONE ANNUA DI ENERGIA COMPRENSIVA DELL'EFFETTO SCIA E DELLE PERDITE PER RIDUZIONE DI POTENZA.....	41
10.5	CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA NETTA ANNUA	48
11	CONCLUSIONI	51

1 PREMESSA

La società **Myt Eolo 1 S.r.l.**, d'ora in avanti indicata sinteticamente come il “**Proponente**”, ha elaborato il presente progetto per la produzione di energia rinnovabile da fonte eolica ubicato nel comune di Luogosanto, le cui opere ed infrastrutture connesse per il collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (di seguito RTN) ricadono nei comuni di Luogosanto e Aglientu.

Il titolo completo del progetto è il seguente: “**Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Luogosanto”, della potenza di 95,2 MW, localizzato nel Comune di Luogosanto e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150kV “Aglientu - S. Teresa”, sita nel Comune di Aglientu**”.

Di seguito, i dati identificativi sintetici del Proponente:

- Società Proponente: MYT EOLO 1 S.r.l.
- Forma Giuridica: Società a Responsabilità Limitata
- Presidente del CdA: SICCARDI IGOR
- Sede: Via Vecchia Ferriera, 22 – 36100 – VICENZA (VI)
- Posta certificata: myteolo1srl@pec.it
- REA: VI - 404143
- P.IVA: 04436470241
- Iscritta alla Sezione Ordinaria di VICENZA

Il Proponente è parte del gruppo **Renx Italia S.r.l.**, società di diritto italiano avente ad oggetto lo studio, la compravendita, la costruzione, la gestione e la commercializzazione di impianti di produzione di energia rinnovabile, tra cui spicca nella fattispecie la fonte eolica.

Renx Italia S.r.l. nasce dalla comune visione dei soci fondatori di creare un'entità altamente specializzata nella progettazione e nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili. Affidandosi ad un team multispecialistico comprendente oltre quaranta tra collaboratori e consulenti che quotidianamente operano con professionalità e competenze nella ricerca e nello sviluppo delle nuove iniziative del gruppo, ad oggi, Renx Italia S.r.l. è, nel segmento delle piccole e medie imprese, uno degli operatori qualificati che opera con fondi e grandi compagnie energetiche con la maggiore pipeline di sviluppo di progetti a fonti rinnovabili.

La forte espansione del gruppo, dalla sua nascita ad oggi, trae origine indubbiamente dalle competenze e dalle esperienze in ambito energetico acquisite nel corso degli anni della proprietà, abbinata a valori etici, varietà di competenze multiculturali, gestione imprenditoriale e forte orientamento ai risultati di un gruppo di lavoro giovane, motivato e appassionato dal settore delle energie rinnovabili.

L'ipotesi progettuale prevede l'installazione di n. 14 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 95,2 MW nel comune di Luogosanto (di seguito "**Parco eolico Luogosanto**").

Secondo quanto previsto dalla Soluzione Tecnica Minima Generale (**STMG**) ricevuta ed accettata dal Proponente in qualità di titolare dei diritti del progetto di cui al **Codice Pratica 202201369**, Terna S.p.A. prevede che il "**Parco Eolico Luogosanto**" venga collegato in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150kV "Aglientu – S. Teresa", previa realizzazione dei seguenti interventi previsti dal Piano di Sviluppo Terna:

- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV in GIS denominata "Buddusò";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV denominata "Santa Teresa";
- nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV in GIS denominata "Tempio";
- nuovo elettrodotto di collegamento della RTN a 150kV tra la SE Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

E' giusto precisare che le opere "SE RTN" sopra citate non appartengono alla presente progettazione.

Internamente al parco eolico, i singoli aerogeneratori saranno collegati mediante cavidotto interrato a 30kV alla Sottostazione Elettrica di condivisione e trasformazione 30/36kV di proprietà dell'utenza dalla quale partirà il cavidotto interrato 36kV che, seguendo per quanto più possibile il tracciato stradale esistente, veicolerà l'energia prodotta dal Parco Eolico per la connessione in antenna 36kV con la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150kV "Aglientu-S. Teresa" di cui alla STMG, sita nel comune di Aglientu, che rappresenta il punto di connessione dell'impianto alla RTN.

2 RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO

Il presente documento appartiene al progetto di fattibilità tecnica ed economica (PFTE) allegato all'istanza di procedura V.I.A. (artt. 23, 24, 24bis e 25 del d.Lgs. n° 152/2006 e ss. mm. e ii.) inerente al **“Progetto per la realizzazione e l’esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Luogosanto”, della potenza di 95,2 MW, localizzato nel Comune di Luogosanto e delle sole opere ed infrastrutture connesse per il collegamento in antenna 36kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150kV/36kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 150kV “Aglientu - S. Teresa”, sita nel Comune di Aglientu”**.

L'intero progetto, come richiesto dalla procedura di V.I.A. , è stato elaborato in ottemperanza a quanto richiesto per un livello di **“fattibilità tecnica ed economica”** secondo il recente d.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 - Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al governo in materia di contratti pubblici - (G.U. n. 77 del 31 marzo 2023 - S.O. n. 12).

Da questo momento in poi e per tutti gli elaborati progettuali, qualsiasi riferimento di legge o norma s'intenderà già comprensivo della dicitura “ss. mm. e ii.”.

3 DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO D'INTERVENTO

Il parco eolico di progetto si sviluppa nella fascia di territorio della Gallura posizionato mediamente a circa 6,5 km in direzione nord-est rispetto al centro abitato del comune di Luogosanto, in posizione ovest rispetto al fiume Liscia e ad una altezza sul livello del mare che varia dai 40 ai 175 metri s.l.m.m.

Il territorio interessato dall'intervento è inserito all'interno del comune di Luogosanto, posto a sud del centro abitato della frazione Bassacutena del comune di Tempio Pausania, confinante a nord con Santa Teresa di Gallura, a sud con Luras, ad est con Arzachena e ad ovest con Aglientu.

Il parco eolico è composto complessivamente da n° 14 turbine.

Un primo gruppo è composto da n° 2 turbine (identificabili con i codici: **L_01** ed **L_02**) e sono ubicate in località Santu Jaccu, in posizione ovest rispetto alla S.S. n° 133. Il secondo gruppo è composto da n° 12 aerogeneratori (identificabili con i codici da **L_03** a **L_14**) sono localizzate tra le frazioni Nibbareddu e Lu Mocu, in posizione est rispetto alla stessa S.S. n° 133.

Nelle successive **figure**, si propone il layout dell'intero intervento e degli stralci del solo parco eolico.

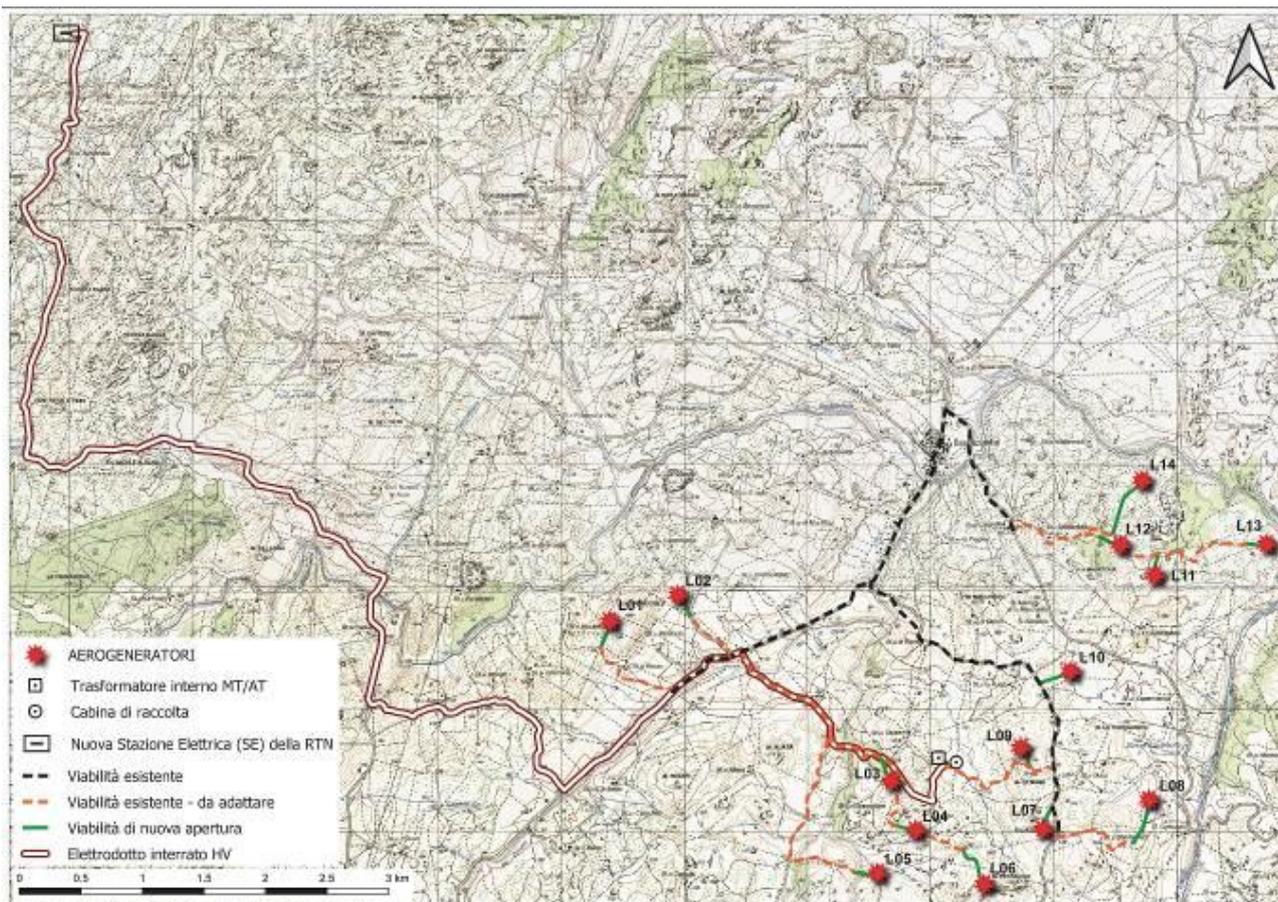


Figura 1. Individuazione dell'intero intervento su base cartografica DGBT

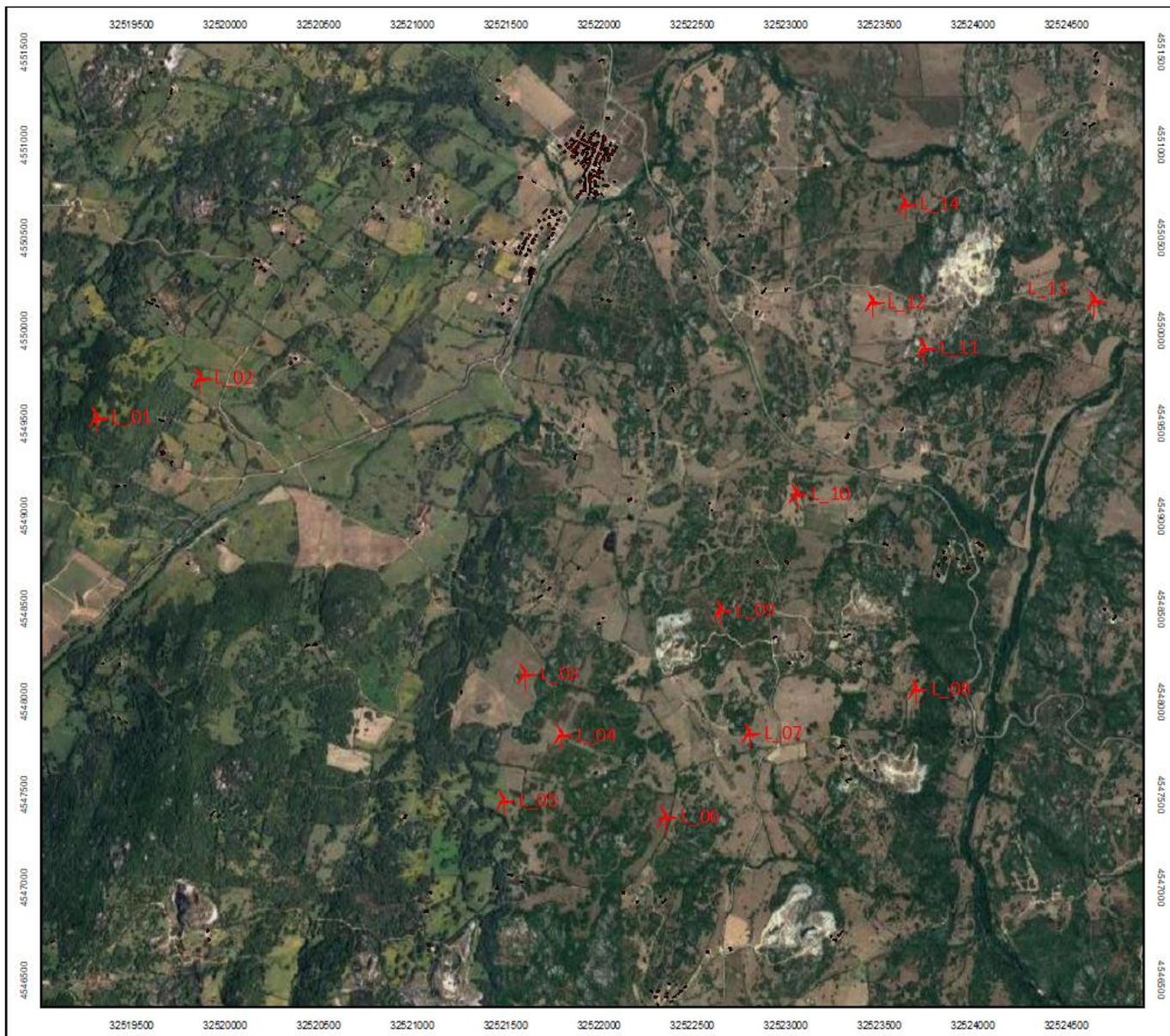


Figura 2. Stralcio del solo parco eolico su base ortofotografica

Di seguito, invece, le coordinate per l'individuazione dei singoli aerogeneratori:

Identificativo degli aerogeneratori	Comune	Coordinata UTM Nord	Coordinata UTM Est
L_01	Luogosanto	4549532.00	519312.00
L_02	Luogosanto	4549745.71	519865.02
L_03	Luogosanto	4548224.17	521599.48
L_04	Luogosanto	4547824.48	521797.06
L_05	Luogosanto	4547471.16	521487.65
L_06	Luogosanto	4547382.49	522353.81
L_07	Luogosanto	4547833.09	522831.19
L_08	Luogosanto	4548072.30	523695.44
L_09	Luogosanto	4548497.40	522652.10
L_10	Luogosanto	4549123.40	523054.99
L_11	Luogosanto	4549906.80	523740.64
L_12	Luogosanto	4550154.91	523462.18
L_13	Luogosanto	4550162.21	524649.83
L_14	Luogosanto	4550682.03	523637.89

Tabella 1. Coordinate aerogeneratori Parco Eolico Luogosanto, in formato UTM

La rete stradale appare ben articolata sulla dorsale della S.S. n° 133 "Palau" e della S.P. n° 115.

La viabilità interna del parco è ben collegata rispetto alle due sopracitate dorsali.

L'elettrodotto di collegamento alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN (150kV/36kV) si sviluppa, mediante cavidotto interrato a 36kV, lungo una strada interna esistente fino alla S.S. n° 133 e poi da questa, sempre attraverso dei collegamenti esistenti, raggiunge la cabina di consegna Terna 36kV/150kV in Comune di Aglientu.

Dall'esame dell'elaborato "**SCGG - Studio di Compatibilità Geologica e Geomorfologica**", allegato alla presente progettazione, emerge quanto segue:

"Da un punto di vista geologico il territorio in esame appartiene unicamente al complesso intrusivo tardo - ercinico che si estende fra la Sardegna nord orientale e la Corsica e denominato "**Batolite Sardo - Corso**". Il complesso granitoide risulta iniettato da manifestazioni filoniane acide o basiche, tardo erciniche, orientate secondo la direttrice principale **SSW - NNE** analogamente alle principali faglie cartografate nell'area. Secondo le Note Illustrative della **Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 "Foglio 428 - Arzachena"**, l'insieme dei dati petrografici e strutturali permettono di definire singole unità intrusive caratterizzate ognuna da geometria, aspetti composizionali e strutturali propri, e contraddistinte dalla cronologia relativa di messa in posto, deducibile dall'analisi dei contatti tra differenti litofacies delle diverse unità intrusive. I depositi quaternari olocenici, di origine alluvionale, detritica ed eluvio - colluviale, non raggiungono mai estensioni superficiali e potenze tali da renderli prevalenti, seppure localmente, rispetto alle formazioni paleozoiche. Nei dintorni dell'area di indagine, tra i più significativi depositi alluvionali si segnalano quelli lungo il **fiume Liscia**, ad est degli aerogeneratori in progetto, mentre gli affioramenti di coltri eluvio - colluviali sono ben rappresentati nelle ampie aree sub - pianeggianti di **Bassacutena** nel contiguo comune di **Tempio Pausania**, a nord o ad ovest degli aerogeneratori in progetto. Infine, si riscontra la presenza di coperture terrigene antropiche associate all'estrazione del granito (discariche minerarie).

4 ULTERIORI RIFERIMENTI NORMATIVI INERENTI AL PRESENTE DOCUMENTO E AI RELATIVI ALLEGATI

Il presente elaborato è stato redatto ai sensi del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) del 10 settembre 2010, n° 219 ed in ottemperanza a quanto stabilito dalla Delibera Regione Sardegna n° 59/90 del 27 novembre 2020 avente ad oggetto la “*Individuazione delle aree non idonee all’installazione di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili*”.

In particolare, il presente lavoro di studio fa riferimento all’Allegato E alla Delib.G.R. n. 59/90, del 27/11/2020, avente ad oggetto le “*indicazioni per la realizzazione di impianti eolici in Sardegna*”, di cui si riporta di seguito estratto:

2 Indicazioni per la valorizzazione della risorsa eolica

*Al fine di massimizzare il contributo della fonte eolica alla produzione di energia da fonte rinnovabile anche sulla base delle indicazioni dello studio GSE Il punto sull’eolico (ottobre 2017) e con riferimento al tematismo **producibilità specifica** dell’Atlante Eolico di RSE (<http://atlanteeolico.rse-web.it/>), i progetti di realizzazione di impianti eolici dovrebbero valorizzare adeguatamente le seguenti aree:*

- *areali con producibilità specifica pari almeno a **1.000 MWh/MW** a 25 m s.l.t./s.l.m.*
- *areali con producibilità specifica pari almeno a **1.500 MWh/MW** a 50 m s.l.t./s.l.m.*
- *areali con producibilità specifica pari almeno a **2.000 MWh/MW** a 75 m s.l.t./s.l.m.*
- *areali con producibilità specifica pari almeno a **2.500 MWh/MW** a 100 m s.l.t./s.l.m.*

In generale in termini di ore annue equivalenti (o.a.e.), la producibilità per le diverse categorie di impianti dovrebbe essere:

- *$P \leq 200 \text{ kW}$: > 1.200 o.a.e;*
- *$P > 200 \text{ kW}$: > 2.000 o.a.e.*

Alla luce delle indagini anemologiche svolte ed illustrate successivamente, il sito di progetto garantisce il pieno rispetto delle prescrizioni di cui al punto 2, infatti, **il Parco Eolico Luogosanto ha un potenziale anemologico per garantire una produzione energetica stimata (P50) pari a 2.768 MWh/MW ad un’altezza di 118m s.l.m. e un valore corrispondente di 2.768 o.a.e., rispettando appieno i requisiti della Delibera 59/90.**

5 BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

5.1 DATI CARTOGRAFICI

5.1.1 Nazionale

Istituto Geografico Militare (I.G.M.)

L'Istituto geografico militare (IGM) ha il compito di fornire supporto geotopografico alle Unità e ai Comandi dell'Esercito italiano. L'istituto svolge le funzioni di ente cartografico dello Stato ai sensi della Legge n. 68 in data 2 febbraio 1960 ed opera alle dipendenze del Comando Militare della Capitale. (<https://www.igmi.org/>).

In particolare, sono state utilizzate le seguenti:

- **Carta Topografica d'Italia – scala 1:50.000 – Foglio n° 427 - Luogosanto – Serie 50**
- **Carta Topografica d'Italia – scala 1:25.000 – Foglio n° 427 – Sezione I – Luogosanto – Serie 25**
- **Carta Topografica d'Italia – scala 1:25.000 – Foglio n° 427 – Sezione I – Bassacutena – Serie 25**

Progetto CARG

Alla fine degli anni '80, prende il via il Progetto di realizzazione della cartografia geologica nazionale alla scala 1:50.000, inizialmente nell'ambito del Programma annuale di interventi urgenti di salvaguardia ambientale (L. 67/88), poi nella Programmazione triennale per la tutela dell'ambiente (L. 305/89), grazie allo stanziamento di risorse dedicate che hanno dato così inizio al Progetto CARG (CARTografia Geologica). Il Progetto è svolto in collaborazione con le Regioni e le Province autonome, con il CNR e le Università ed è coordinato dal Servizio Geologico d'Italia in qualità di organo cartografico dello Stato (L. 68/60). Il Progetto CARG prevede la realizzazione e l'informatizzazione dei 636 fogli geologici e geotematici alla scala 1:50.000 che ricoprono l'intero territorio nazionale. (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/progetto-carg-cartografia-geologica-e-geotematica>)

5.1.2 Sovraregionale: Autorità di Bacino (<https://autoritadibacino.regione.sardegna.it/>).

Il Piano di bacino/distretto idrografico è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa, alla valorizzazione e alla corretta utilizzazione del suolo e delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali dei territori interessati. Esso rappresenta il quadro di riferimento a cui devono adeguarsi e riferirsi tutti i provvedimenti autorizzativi e concessori inerenti agli interventi comunque riguardanti il bacino e ha valore di piano territoriale di settore.

Il Piano di bacino può essere redatto e approvato anche per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali. Contenuti specifici e obiettivi del Piano di bacino sono definiti dall'art. 65 del d.Lgs. n° 152/2006.

La Sardegna è considerata, ai sensi dell'art. 64 del d.Lgs n° 152/2006 un unico distretto idrografico e gli stralci funzionali del Piano approvati e vigenti sono riportati di seguito:

- Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (**PAI**)
- Piano di tutela delle acque
- Piano stralcio di bacino per l'utilizzo delle risorse idriche (**PSURI**)
- Nuovo Piano regolatore generale degli acquedotti
- Piano stralcio delle fasce fluviali (**PSFF**)
- Piano di gestione del distretto idrografico
- Piano di gestione del rischio alluvioni (**PGRA**)
- In particolare, il riferimento principale per le aree a pericolosità/rischio idrogeologico è costituito dalle Norme Tecniche di Attuazione (**NTA**) del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (**PAI**) - Testo coordinato aggiornato con le modifiche approvate dal comitato istituzionale dell'Autorità di bacino con deliberazione n. 15 del 22 novembre 2022

5.1.3 Regionale: GeoPortale Sardegna - <https://www.sardegnageoportale.it/>

E' il riferimento principale per quasi tutti gli aspetti di interesse.

Il Geoportale è il luogo di accesso a diverse informazioni geografiche sulla regione, come richiesto dalla Direttiva europea INSPIRE (Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo). Nella preparazione della documentazione del progetto sono state utilizzate principalmente tre aree del geoportale:

- **Navigatori:** attraverso i navigatori, la Regione Sardegna fornisce strumenti per la visualizzazione online dei dati cartografici. Con l'applicazione SardegnaMappe sono state utilizzate e scaricate le mappe disponibili, i metadati e i dati cartografici necessari. Ad esempio, il layer "Sardegna Mappe Aree Tutelate" disponibile sul geoportale è stato utilizzato per preparare il set di mappe "Aree non idonee" necessarie per la presentazione della domanda VIA.
- **Accesso ai dati:** consente di accedere al catalogo dei dati geografici forniti dall'amministrazione regionale. Questi possono essere consultati attraverso il seguente servizio: Catalogo del Geoportale. Vengono estratti dati raster (ad esempio la mappa Ortofoto) o vettoriali come Aree non idonee. La procedura per scaricare la maggior parte dei dati scaricati si basa sulla selezione dei dati raster o vettoriali di interesse (si trovano nella barra di sinistra del desktop di Sardegna Mappe), cliccando sul tasto destro del mouse, quindi sull'icona dentata e ottenendo l'accesso diretto al download dei dati. Per la preparazione delle mappe sono stati utilizzati due moduli: WMS cioè una forma di database o shp cioè un pacchetto di file scaricati direttamente sul nostro computer.

- **Aree tematiche:** insieme di dati geografici, raggruppati per area tematica. Per facilitare il download, sono disponibili in pacchetti zippati.

Proprio dal menu a tendina “Aree Tematiche” è disponibile la seguente documentazione:

SardegnaGeoportale



NAVIGATORI
ACCESSO AI DATI
AREE TEMATICHE
STRUMENTI
DOCUMENTAZIONE
AGENDA
CONTATTI

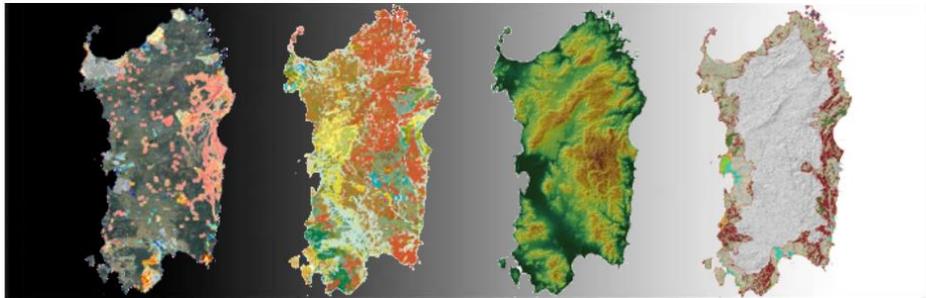
Q

sardegna geoportale / aree tematiche

AREE TEMATICHE

- Carta tecnica regionale
- Database Geotopografico (DBGT)
- Modelli digitali terreno e superfici
- Carte tematiche regionali
- Pianificazione
- Aree tutelate
- Catasto
- Limiti amministrativi
- Beni culturali

Aree tematiche



Per facilitare il download, alcune categorie di dati geografici, raggruppati per aree tematiche, sono disponibili anche come pacchetti compressi.

Tra le tante cartografie di base disponibili è stato utilizzato il Database (DBGT) che è una carta topografica della regione Sardegna contenente informazioni geometriche e alfanumeriche su strade, edifici, idrografia, orografia, vegetazione e toponomastica. Questa carta ha più componenti ed elementi rispetto alla CTR classica. È stata utilizzata quando era necessario mostrare i dettagli sull'urbanizzazione e sulle strade, sulla vegetazione o sull'idrografia, ad esempio in tutte le carte dell'Inquadramento Catastale e delle Aree non Idonee. Durante la creazione delle mappe per la documentazione, è stata utilizzata per mostrare una rappresentazione rappresentativa della situazione reale, come ad esempio l'estensione dei lavori e il percorso dei cavi elettrici, o nella pianificazione urbana. In questi casi, non è importante modificare le proporzioni degli elementi, quindi oggetti come edifici e strade sono rappresentati con la forma reale del loro perimetro visto dall'alto, piuttosto che sostituirli con simboli convenzionali.

È stato utilizzato il formato “2022_DBGT_10K” perché è il database più aggiornato disponibile. La scala più comunemente utilizzata è stata 1:10.000, come raccomandato.



5.2 DATI SITOGRAFICI

5.2.1 Sovraregionale e regionale

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- **Regione Sardegna:** <https://www.regione.sardegna.it/>
- **ARPA Sardegna:** <http://sardegnaambiente.it/arpas/>
- <https://www.sardegnaambiente.it/>
- <https://sardegnaenergia.regione.sardegna.it/>

5.2.2 Provinciale

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- **Provincia di Sassari:** <https://www.provincia.sassari.it/index.php> (in teoria soppressa a seguito della L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)
- **Città Metropolitana di Sassari:** al momento non esistono riferimenti (in teoria istituita con L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)
- **Provincia della Sardegna Est:** al momento non esistono riferimenti (in teoria istituita con L.R. n° 24 del 15 aprile 2021)

5.2.3 Comunale

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- https://www.sardegnaegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=monitoraggio_strumenti_urbanistici
- http://webgis.regione.sardegna.it/puc_serviziconsultazione/ElencoComuni.ejb
- **Comune di Luogosanto:** <https://www.comuneluogosanto.ss.it/>
- **Comune di Aglientu:** <https://comune.aglientu.ot.it/index.php>

5.2.4 Altri riferimenti sitografici

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- **Gazzetta Ufficiale, Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto 10 settembre 2010, *Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. (10A11230)* (GU Serie Generale n.219 del 18-09-2010):**
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/09/18/10A11230/sg>
- **Regione Autonoma della Sardegna, Delibera del 27 novembre 2020, n. 59/90, *Individuazione delle aree non idonee all'installazione di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili:***
https://delibere.regione.sardegna.it/it/visualizza_delibera.page;jsessionid=CB94BE8C159752C700D098227D0963E4.app4?contentId=DBR53435
- <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64735.pdf>

6 DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Il presente lavoro ha lo scopo di verificare la bontà anemologica del sito scelto per il Parco Eolico Luogosanto e del layout di progetto, elaborato sulla base alle caratteristiche di ventosità dell'area di intervento. Tale layout, tuttavia, non è soltanto la risultanza della più performante disposizione geografica delle turbine nell'area, bensì il risultato del miglior compromesso risultante dall'analisi dei seguenti aspetti:

- Impatto sulla componente florofaunistica dell'area di impianto, in particolare ornitofauna e chiroterro fauna, per la quale si rimanda alle specifiche relazione di dettaglio **RTS01, RTS02, RTS03, RTS04, RTS05, RTS06**;
- Analisi vincolistica del sito oggetto della presente proposta, con particolare riguardo alla Deliberazione della Giunta Regionale n° 59/90 del 27/11/2020 relativamente alla definizione delle "Aree non idonee alla installazione di impianti eolici in Sardegna" di cui all'Allegato E);
- Disponibilità dei suoli;
- Accessibilità ai siti ed alle posizioni prescelte.

Preso atto delle indagini di cui sopra, gli aerogeneratori sono stati disposti in maniera tale da massimizzare la produzione energetica del parco e ridurre gli effetti aerodinamici tra gli stessi.

Turbina	Comune	Longitudine	Latitudine
L_01	Luogosanto	9,229964	41,096833
L_02	Luogosanto	9,236556	41,098745
L_03	Luogosanto	9,257157	41,084994
L_04	Luogosanto	9,259495	41,081389
L_05	Luogosanto	9,255799	41,078214
L_06	Luogosanto	9,266107	41,077392
L_07	Luogosanto	9,271806	41,081438
L_08	Luogosanto	9,282105	41,083568
L_09	Luogosanto	9,269699	41,087427
L_10	Luogosanto	9,274519	41,093055
L_11	Luogosanto	9,282713	41,100092
L_12	Luogosanto	9,279407	41,102335
L_13	Luogosanto	9,293551	41,102365
L_14	Luogosanto	9,281520	41,107078

Tabella 2. Coordinate aerogeneratori in UTM WGS84 – 32N

Il calcolo della produzione energetica di un impianto eolico è uno dei compiti più rilevanti nella fase di progettazione. La produzione annuale di energia di un aerogeneratore può variare di parecchi punti percentuali a seconda del suo posizionamento (micrositing). Poiché i costi di installazione e funzionamento sono in genere influenzati soltanto relativamente dalla locazione sito-specifica dell'impianto, è la produzione di energia – strettamente dipendente dal sito – il fattore cruciale per valutare la fattibilità tecnico-economica di un parco eolico.

Ancora, all'interno dell'area di progetto, la posizione del singolo aerogeneratore è sostanziale per la produzione annuale di energia elettrica (AEP), laddove l'orografia del terreno, il posizionamento in zone sopraelevate, la distanza reciproca fra le turbine ed il loro orientamento sono fattori considerevoli al fine di ridurre le possibili interferenze tra aerogeneratori e le perdite da effetto scia incrementando, conseguentemente, la AEP.

La stima della produzione energetica per il parco eolico è stata effettuata **sulla base dei dati vento a lungo termine su scala mesometrica**, da cui è stata calcolata una stima del rendimento previsto di energia eolica.

Secondo i dati vento analizzati, la direttrice predominante è in direzione Ovest (W). Il Parco Eolico Luogosanto non dispone ancora di una torre meteorologica già installata, con possibilità di disporre di dati misurati *in situ* che riflettano la stagionalità e la disponibilità giornaliera della risorsa eolica. Poiché non sono ancora disponibili dati certi di misura del vento al momento di stesura del presente elaborato, l'analisi qui condotta si basa sui dati di una simulazione atmosferica numerica. Il modello utilizzato a questo scopo è il **WRF** (*Weather Research and Forecast*), un modello mesoscala che permette di affinare i valori del modello di previsione globale. Al fine di effettuare queste complesse analisi, si è utilizzato il software **WindPro**, sviluppato dalla società danese **EDM International**.

WindPro è il software leader del settore per la progettazione e la pianificazione di parchi eolici, utilizzato sia da grandi industrie che da piccoli sviluppatori. Si tratta di un software che considera a 360° tutte le implicazioni derivanti dall'installazione di un impianto eolico, dall'analisi del vento, alla valutazione dell'idoneità del sito, al calcolo dei rendimenti energetici, alla quantificazione delle incertezze, alla valutazione dell'idoneità del sito, al calcolo e alla visualizzazione dell'impatto ambientale.

L'utilizzo di WindPro ha permesso la creazione di una mappa tridimensionale della risorsa eolica basata su dati **ERA5+ (premium data in formato mesoscala)** e, quindi, la migliore configurazione del layout di progetto, attualmente composto da 14 turbine eoliche aventi altezza al mozzo di 118m e un diametro del rotore di 163m.

La scelta di queste turbine, nello specifico del modello **Nordex N163 6.X**, aventi ciascuna un generatore di 6,8 MW stante la qualità dell'area di progetto in termini di disponibilità e di frequenza della risorsa vento, ha consentito la predisposizione di un layout formato da 14 aerogeneratori di ultima generazione, con un generatore di potenza nominale 6,8 MW, riducendo il numero delle torri inizialmente previsto in 18 aerogeneratori di potenza nominale 5,56 MW, andando conseguentemente a ridurre l'impatto generato dal Parco Eolico Luogosanto per via del minor numero di installazioni, pur mantenendo pressoché invariata la potenza nominale dell'impianto nel suo insieme, pari a 95,2 MW.

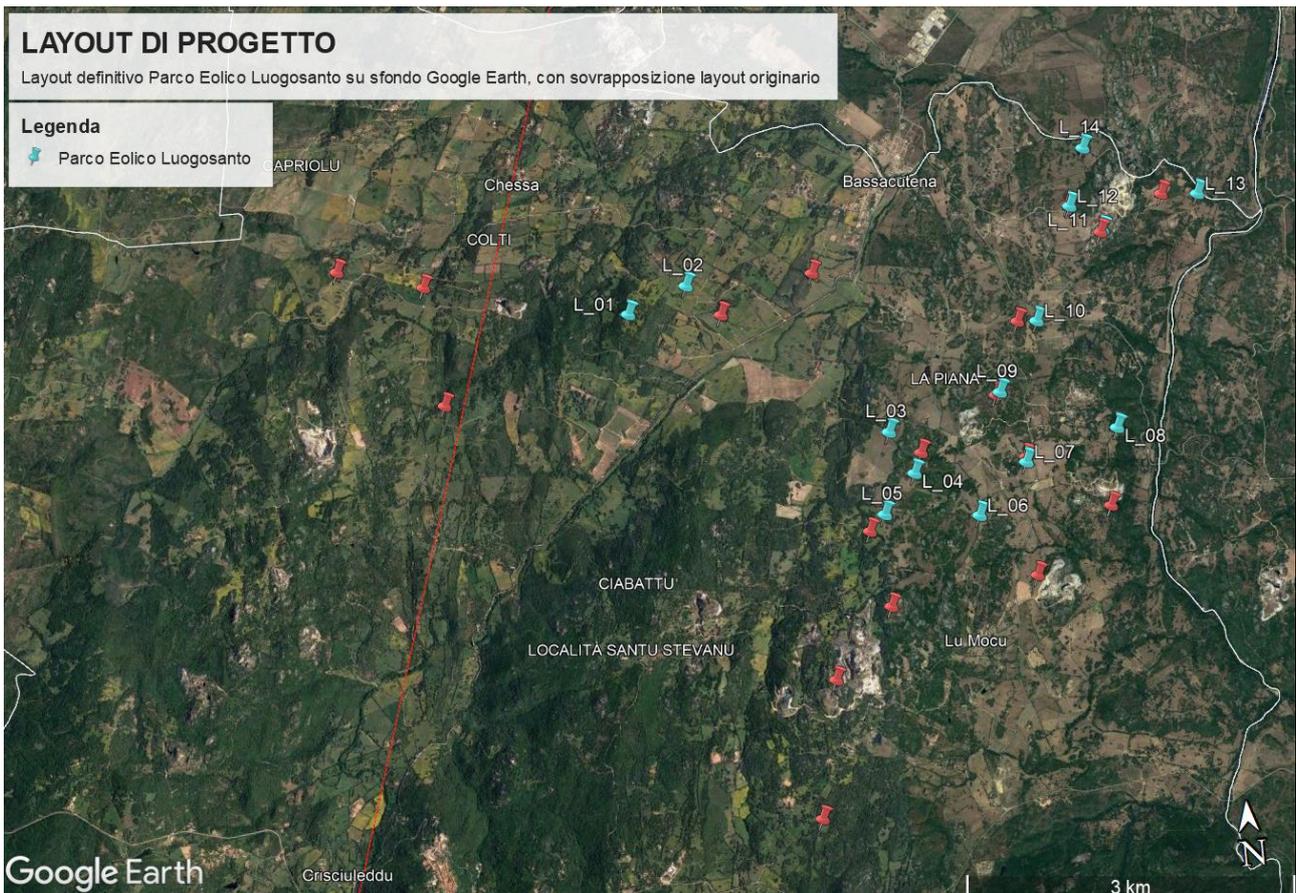


Figura 3. Layout definitivo Parco Eolico Luogosanto (azzurro) su sfondo Google Earth, rispetto all'idea originale di layout (poi accantonata) in rosso

Il Parco Eolico, secondo le ipotesi di cui al presente elaborato, permetterebbe una produzione di energia elettrica da fonte eolica di oltre 263,5 GWh annui, pari a 2.768 ore annue equivalenti (P50), tali da soddisfare il fabbisogno energetico annuale di circa 97.592 famiglie¹.

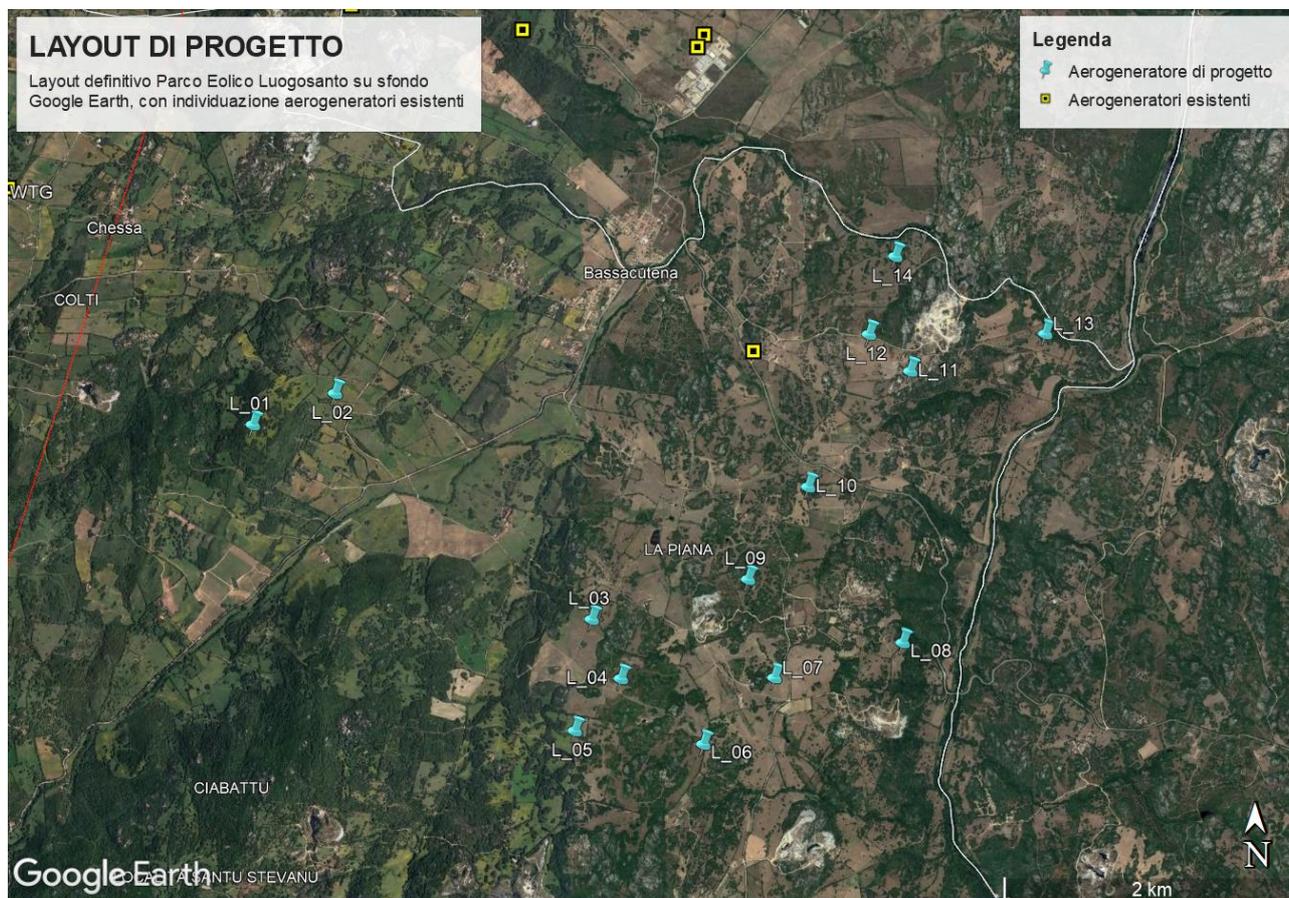


Figura 4. Parco Eolico Luogosanto su sfondo Google Earth, con individuazione aerogeneratori esistenti

Tale valore stimato è già stato debitamente ridotto tenendo conto delle potenziali perdite di energia derivanti da effetti scia causati dalla presenza sia di aerogeneratori esistenti (seppur di piccola taglia), sia della nuova disposizione degli aerogeneratori di progetto, delle perdite elettriche derivanti dal convogliamento dell'energia alla Rete di Trasmissione Nazionale, ed incertezze di vario genere.

Il presente lavoro ha tenuto conto dello stato attuale dell'area, indentificando puntualmente la presenza di aerogeneratori di piccola taglia (cosiddetto Mini-eolico) saltuariamente presenti sul territorio e apportando i necessari accorgimenti al fine di non impattare negativamente sulla situazione in essere al momento della stesura del presente. Nella fattispecie, si sono mantenute debite distanze da tali aerogeneratori al fine di non incidere sulla produzione energetica di questi, permettendo una situazione di profittevole convivenza.

¹ Dati ARERA: Una famiglia media, formata da ¾ componenti, con residenza nell'abitazione e con un contatore di 3kW di potenza consuma annualmente circa 2.700 kWh di energia all'anno.

<https://www.arera.it/it/dati/ees5.htm>

Nel territorio comunale di Luogosanto, la presenza di installazioni eoliche è limitata ad un paio di aerogeneratori di piccola taglia, certamente ordinabili alla categoria mini-eolico.

La turbina più prossima al Parco Eolico Luogosanto si trova in località Nibbareddu, ad una distanza in linea d'aria di circa 730m dall'aerogeneratore più vicino (**L_12**), tale da non compromettere il rispettivo funzionamento delle macchine. Inoltre, dai sopralluoghi eseguiti in loco, diversi soggetti hanno confermato il fatto che tale minieolico risulti essere fermo e improduttivo da anni, fatto che risulterebbe ancor più conservativo dell'impatto dello stesso sugli aerogeneratori di cui al presente progetto.



Figura 5. Vista panoramica dell'aerogeneratore esistente in Loc. Nibbareddu

Tale aerogeneratore, di proprietà diversa dalla scrivente, comporterebbe un impatto in termini di produzione energetica qualora non venisse rispettata una distanza tale da garantire un ripristino del flusso ventoso. Risulta per cui evidente come la predisposizione del nuovo parco in proposta sia stato studiato ai fini di minimizzare gli impatti delle poche turbine già presenti in agro di Luogosanto in termini di produzione energetica.

L'ottimo rapporto di producibilità di cui al capitolo **"10 - RISULTATI DELLO STUDIO ANEMOLOGICO E STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA"** cui si fa rimando sono perfetta rappresentazione di un'area fortemente vocata alla produzione eolica, sia in termini di produzione che in termini di redditività.

7 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI VENTO

7.1 SELEZIONE, CONFIGURAZIONE ED ANALISI

La progettazione di un parco eolico è un'operazione complessa, frutto di un insieme di considerazioni circa la risorsa eolica, la rugosità dei terreni e l'indagine di una serie di interferenze naturali ed antropiche che richiedono studi approfonditi e metodici.

Al fine di ottenere rappresentazioni quanto più realistiche e rappresentative della bontà dei siti potenziali di impianto, risulta essenziale l'utilizzo di modelli di dati satellitari del vento di elevata qualità, che siano estrapolazioni verticali e orizzontali, su larga scala, provenienti da stazioni meteo fisicamente esistenti (cosiddetti dati mesoscala).

Al fine di condurre il miglior studio preliminare per il progetto eolico denominato Parco Eolico Luogosanto, nel presente studio specialistico sono stati utilizzati i dati mesoscala ad alta risoluzione forniti dalla società danese **EMD**, che possiede la più ampia e variegata gamma di dati di vento a livello mondiale, essendo il principale attore nella progettazione e nello sviluppo di parchi eolici attraverso il software **WindPro**. In particolare, al fine di stimare la producibilità del parco eolico, **WindPro** possiede appositi tool dedicati per calcolare la produzione energetica. Si tratta dello strumento più flessibile nel suo genere per gestire e combinare differenti turbine e dati di vento in qualunque formato. Combinazioni di **WTG (Wind Turbine Generator)** esistenti e nuove, piuttosto che di diverso tipo ed altezza vengono trattate in modo flessibile ed intelligente dal software. Un grande sforzo è stato anche profuso nella possibilità di ottenere verifiche dei dati usati nei calcoli, per garantire i risultati più rappresentativi. I dati del vento processati diventano file di ingresso nei modelli matematici specifici per l'analisi della produttività di un parco eolico e, verificate varie configurazioni di layout e tipologie di macchine, si giunge alla definizione del massimo rendimento dal punto di vista di sfruttamento della risorsa eolica.

L'area scelta è diretta conseguenza della migliore disposizione spaziale delle turbine sulla base della puntuale distribuzione della risorsa eolica.

7.2 DATI MESOSCALA ERA5+ E WRF

Per ottenere il miglior risultato stimato preliminare, il **Proponente** ha utilizzato, per la redazione dei propri studi, dati mesoscala ad alta risoluzione identificati come “**premium**” presso la società fornitrice degli stessi, la danese **EMD International**. Tali dati **premium** possono essere accessibili soltanto a fronte di un abbonamento aggiuntivo il quale, tuttavia, permette di potersi avvalere di una qualità di dati enormemente superiore rispetto ai dati standard disponibili con l'abbonamento standard. Tali dati premium sono chiamati **EMD-WRF Europe+** (nel seguito **ERA5+**). Il set di dati copre la maggior parte dell'Europa, includendo dati atmosferici a diverse altitudini, informazioni sulle incertezze per tutte le variabili al diminuire della risoluzione spaziale e temporale.

I dati sono aggiornati mensilmente con un ritardo definito dalla disponibilità di **ERA5+**.

Il modello dati mesoscala viene eseguito direttamente dal software consentendo una risoluzione spaziale di 3x3 km con risoluzione temporale oraria. Il fornitore dei dati è il Centro Europeo di Previsioni Meteorologiche a medio raggio (**ECMWF**).

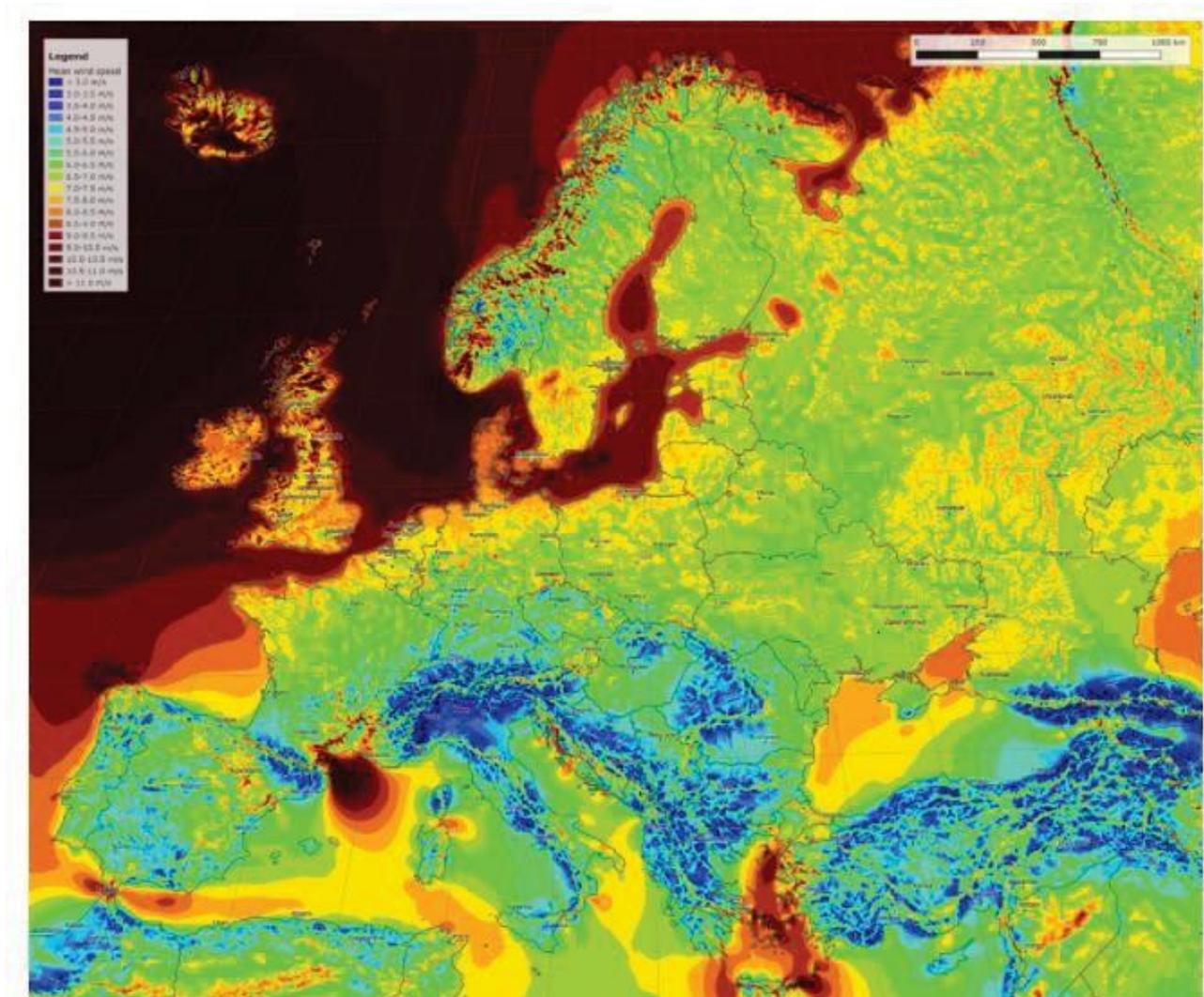


Figura 6. Modello dati mesoscala EMD WRF EUROPE (ERA5+).²

7.3 ANEMOMETRO SATELLITARE

Il vantaggio principale dell'utilizzo del set di dati **premium** è la possibilità di scegliere un punto di rilevazione dati molto più vicino al luogo di impianto individuato rispetto ai dati standard, i quali possono distare anche alcuni chilometri dall'area di progetto; in queste stazioni di rilevazione sono state calcolate ed estrapolate le condizioni e i fattori caratteristici del vento.

Una volta installata fisicamente una torre di rilevazione anemometrica sul sito e terminata la

² Fonte Sito EMD: <https://www.emd-international.com/data-services/mesoscale-time-series/pre-run-time-series/emd-wrf-europe-mesoscale-data-set/>

campagna di indagine anemologica, potendo disporre di tali dati premium di cui al rilevatore poco distante, si procederà con una interpolazione dei dati reali rispetto ai dati mesoscala **ERA5+**, ottenendo una correlazione precisa delle condizioni vento sito specifiche.

Al fine di ottenere i migliori dati, la società proponente è in corso di installazione di una torre di rilevazione anemometrica di altezza parti a 99m, assolutamente confrontabile con i dati **ERA5+** disponibili per un'altezza di 100m.

Vengono raffigurati nella seguente **“Figura 7. Individuazione dell’anemometro in corso di installazione rispetto alla stazione satellitare EMD WRF ERA5+ e al layout di progetto”** gli aerogeneratori, il punto di installazione della torre di rilevazione anemometrica in corso di montaggio e la stazione meteo dalla quale sono stati estrapolati i dati necessari alla redazione del presente studio.

La stazione meteo esistente è localizzata alle seguenti coordinate:

Est: 523 127

Nord: 4 548 568

La torre anemometrica in corso di installazione, la quale verrà collocata nei pressi dell’aerogeneratore di progetto **L_11** in Loc. Nibbareddu, risponde alle seguenti coordinate:

Est: 523 726

Nord: 4 550 002

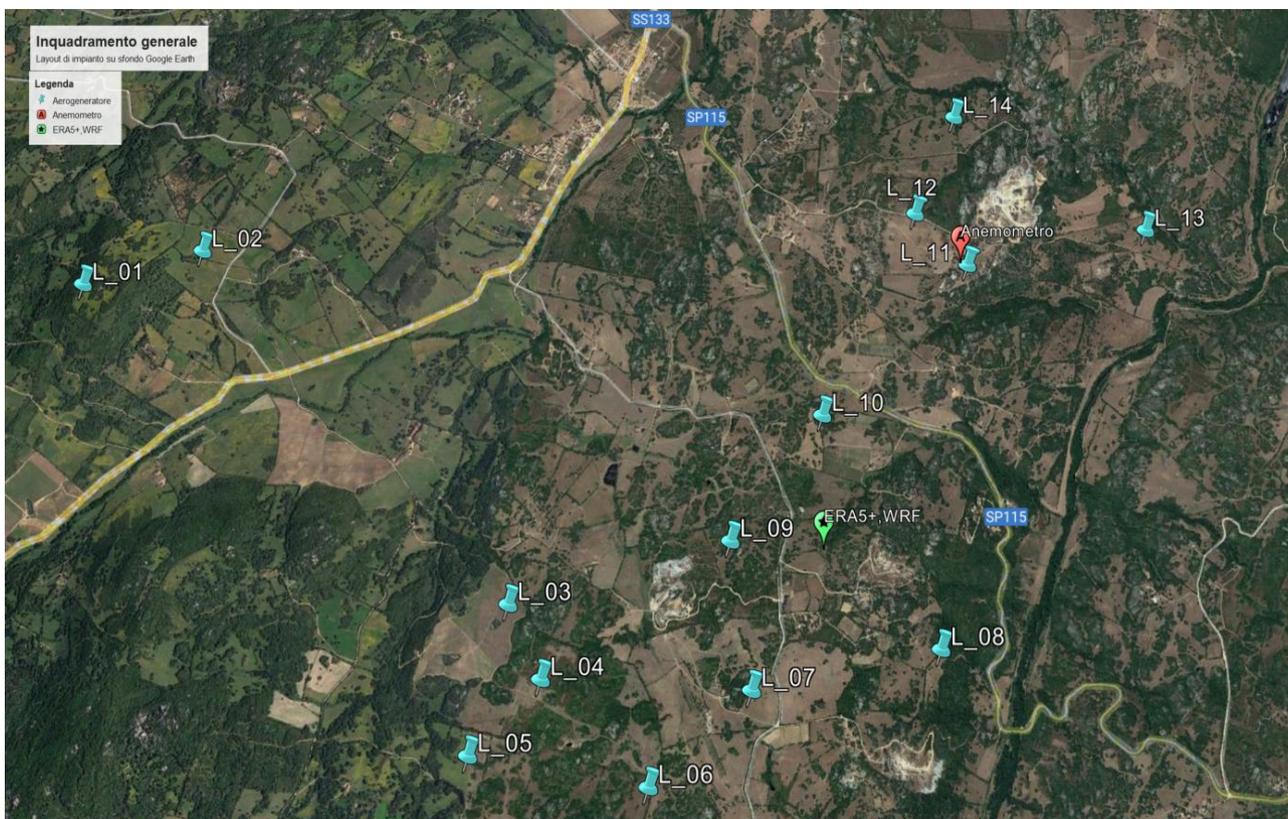


Figura 7. Individuazione dell’anemometro in corso di installazione rispetto alla stazione satellitare EMD WRF ERA5+ e al layout di progetto

7.4 ERA5+, WRF COME ANALISI DEI DATI A LUNGO TERMINE

Utilizzando il software di calcolo del vento **EMD WindPro 3.6** e potendo sfruttare i dati puntuali del punto dati satellitare così prossimo al sito di impianto, si è potuto disporre di preziosi dati meteo selezionati da un range temporale di ben 20 anni, (anni 2002-2022); dati puntuali che sono, tra l'altro, disponibili per diverse quote rispetto al piano campagna ed evidenti nella seguente Figura 8:

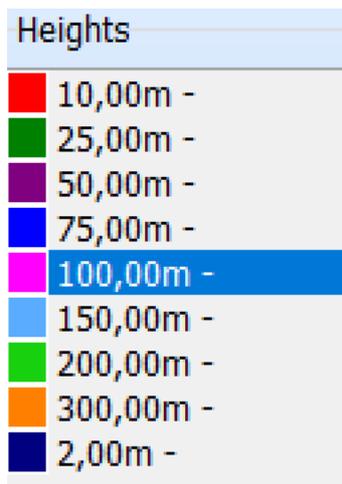


Figura 8. Dati vento ERA5+ disponibili per varie quote sul piano campagna

I dati del vento di cui alla successiva Tabella 3 **Tabella 3. Dati vento ERA5, WRF EMD Wind Database.** sono stati riferiti ad un'altezza di 100 m, che è praticamente la stessa altezza della torre anemometrica in corso di installazione.

Una volta raccolti i dati della stazione meteo, lo studio può vantare i migliori dati mesoscala per poter iniziare un'analisi Misura-Correlazione-Previsione (**MCP**) sui dati del vento.

Valori medi degli ultimi 20 anni, quota 100m	
Velocità del vento	6,96 m/s
Direzione del vento	280,5°
Intensità della turbolenza	0,0834
Densità dell'area ρ	1,189kg/m ³ .
Temperatura	16,1°C

Tabella 3. Dati vento ERA5, WRF EMD Wind Database.

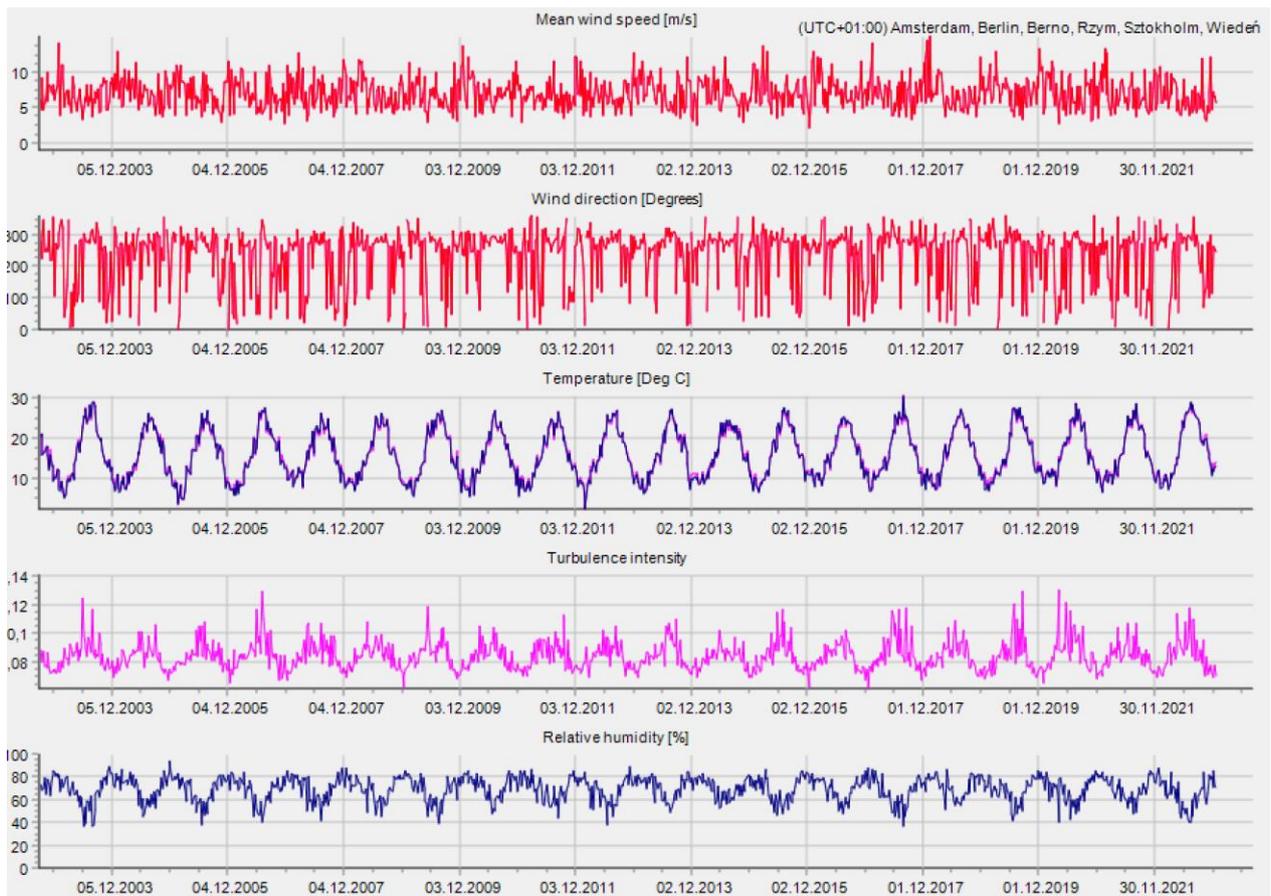


Figura 9. Rappresentazione grafica delle serie temporali per gli ultimi 20 anni per i principali dati meteo:
 a) velocità media del vento,
 b) direzione del vento,
 c) temperatura,
 d) intensità della turbolenza,
 e) umidità relativa

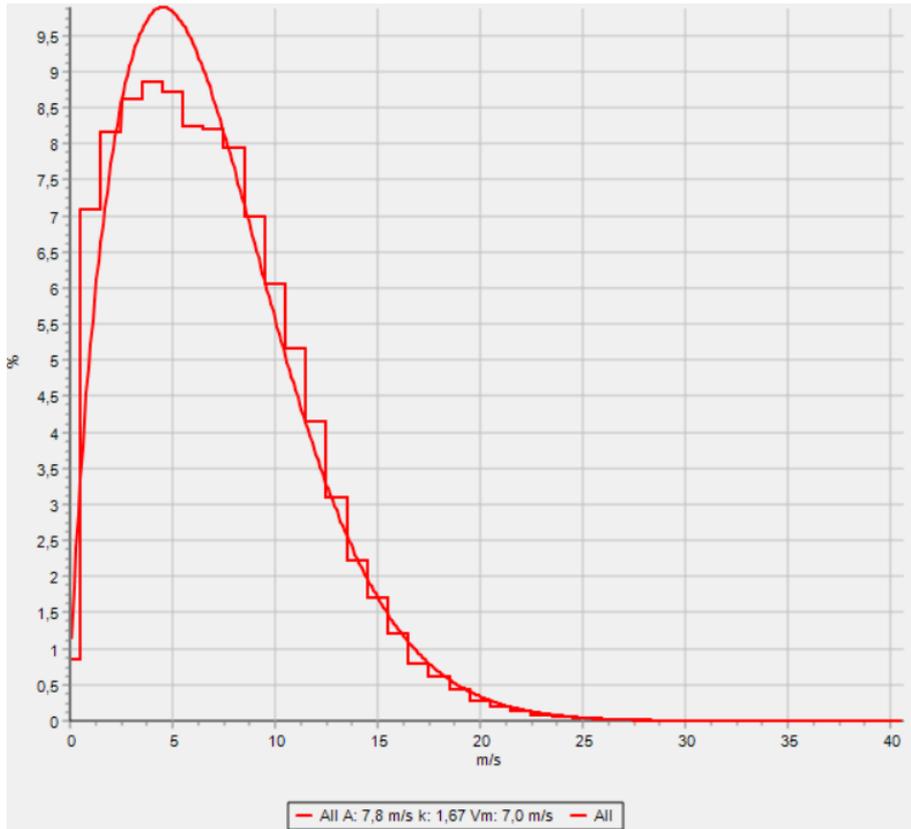


Figura 10. Distribuzione di Weibull della velocità del vento in tutti i settori alla quota selezionata di 100m

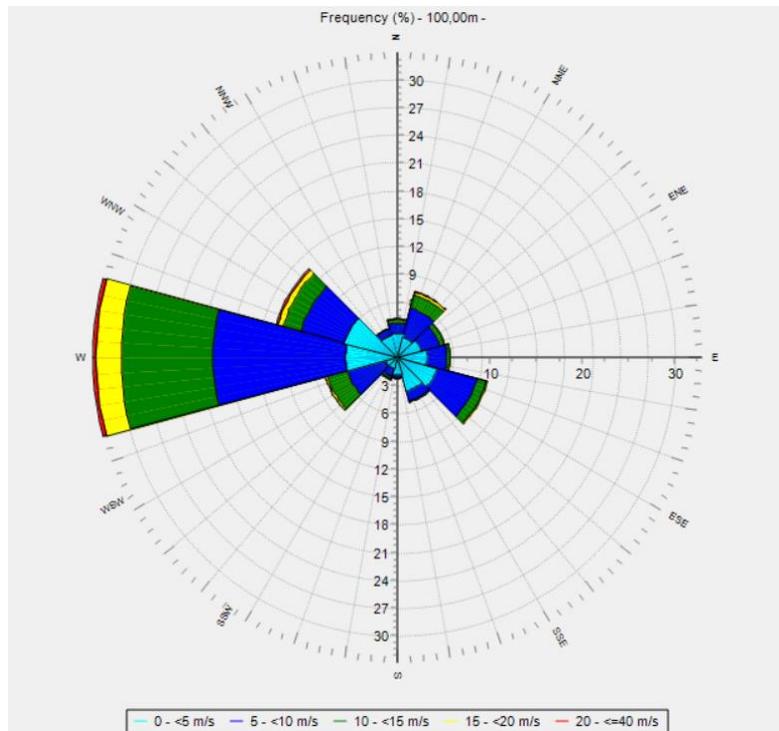


Figura 11. Mappa della frequenza, ripartita nei 12 settori direzione-vento e rappresentata per velocità del vento (m/s)

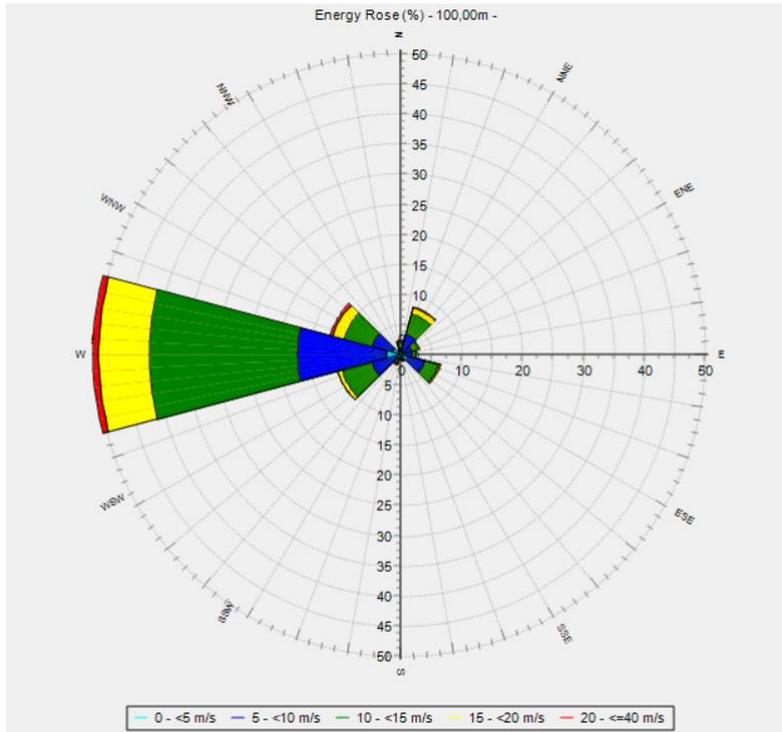


Figura 12. Mappa della produzione energetica in percentuale, ripartito nei 12 settori direzione-vento e rappresentata per velocità del vento (m/s)

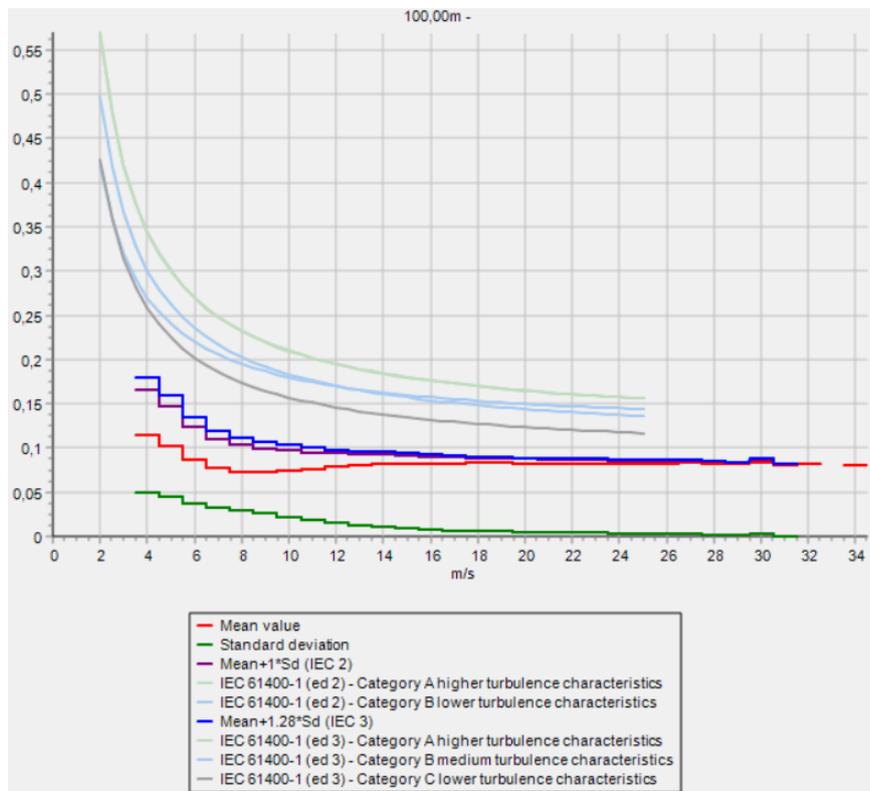


Figura 13. Intensità della turbolenza in tutti i settori rispetto alle norme IEC 61400-1

8 SPECIFICHE DELLA TURBINA DI PROGETTO E CURVA DI POTENZA

Gli aerogeneratori di progetto preventivati per il **Parco Eolico Luogosanto** sono a marchio **Nordex**, società tedesca di sviluppo, produzione e distribuzione di sistemi per la produzione di energia da fonte eolica, in particolare il **modello N163, 6.X della serie Delta4000**, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Potenza nominale: 6,8 MW (6.800 kW)
- Diametro rotore: 163 m
- Altezza navicella/ Altezza al mozzo: 118 m
- Altezza sommitale del puntale: 199,5 m



Figura 14. Turbina Nordex N163 6.X di progetto

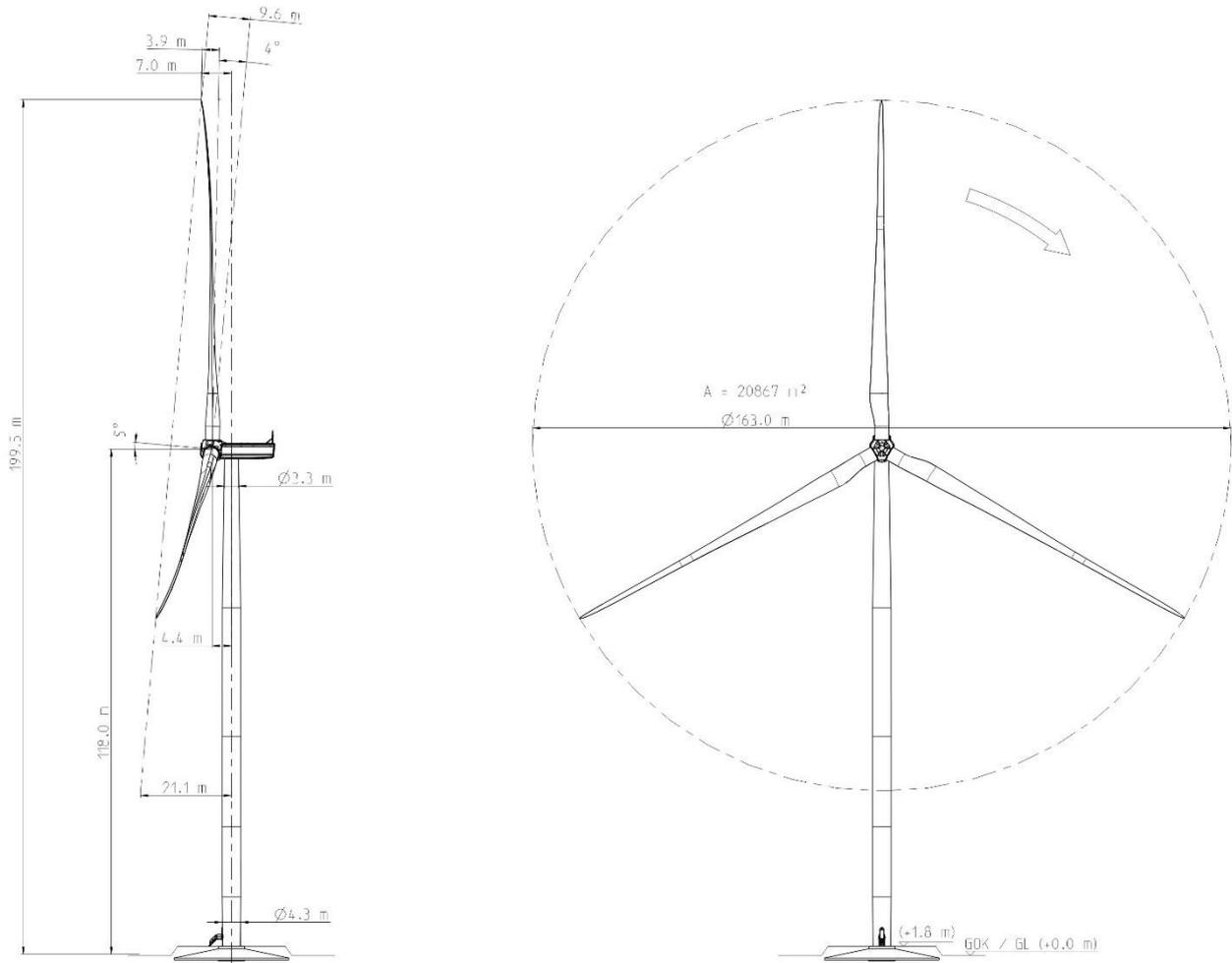


Figura 15. Dimensioni della turbina di Progetto Nordex N163 6.X.

Al fine di ridurre l'impatto acustico generato dall'aerogeneratore e per sfruttare al massimo da un lato le potenzialità offerte dal sito in sé, dall'altro le più recenti tecnologie costruttive delle turbine eoliche, si è deciso di prevedere l'utilizzo di particolari pale, denominate *Serrated Trailing Edge (STE)*, appositamente ideate e costruite per ridurre l'emissione di rumore e, al contempo, aumentare le prestazioni dell'aerogeneratore nella produzione di energia.



Figura 16. Dettaglio Pala Eolica Serrated Trailing Edge (STE)

La **successiva Figura 17** mostra la curva di potenza della macchina selezionata per il Parco Eolico Luogosanto avente una potenza nominale di generazione elettrica di 6,8 MW al picco; la curva di potenza dell'aerogeneratore mostra che la potenza nominale viene raggiunta per venti maggiori di 13 m/s e mantenuto tale fino a venti di forze molto elevate a 20 m/s, laddove l'azione di regolazione del pitch interviene al fine di mitigare e preservare la macchina da forze eccessivamente gravose.

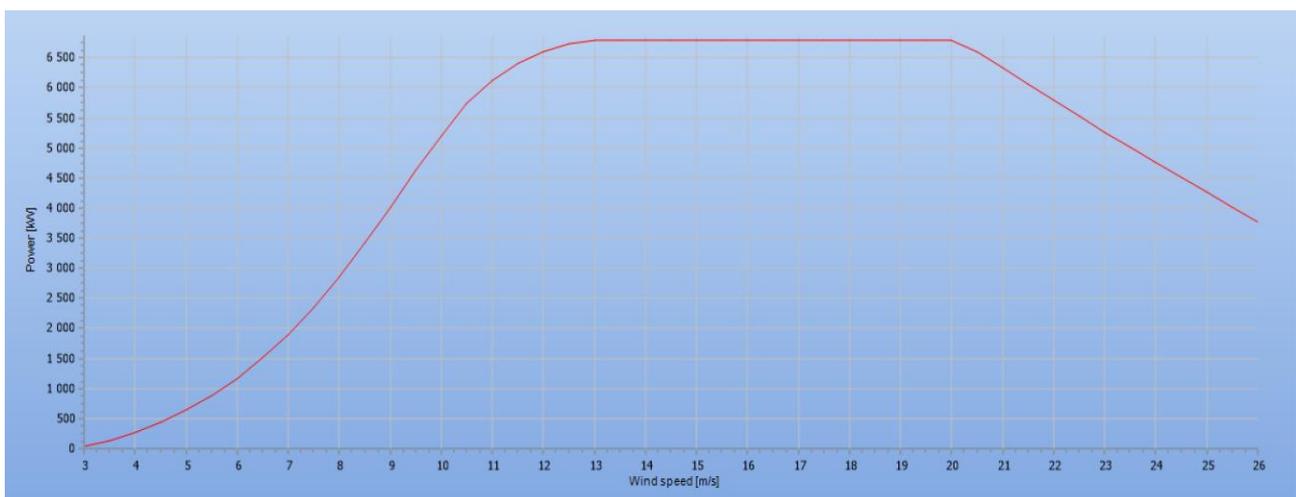


Figura 17. Curva di Potenza della turbina per densità dell'aria $\rho = 1,189 \text{ kg/m}^3$

9 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E MAPPA DELLA RUGOSITA'

Il sito di impianto del Parco Eolico Luogosanto si estende su un'area di circa 10 Km², adagiato su morbide colline a nord del centro abitato di Luogosanto, nel circondario della frazione Bassacutena. L'orografia dell'area oggetto di studio può essere classificata come “mediamente complessa”; nel calcolo delle condizioni vento, utilizzando il software **WindPro**, il modello digitale del terreno ottenuto presenta le seguenti caratteristiche:

- **Modello DTM:** Area di 25.000 m x 25.000 m, discretizzata in 6.255.001 celle di calcolo totali e con una risoluzione delle celle spaziali in X pari a 10 m e in Y pari a 10 m.
Il calcolo iterativo del flusso del vento al suolo ha portato a dati convergenti su tutti i 12 settori direzionali analizzati a dimostrazione della correttezza della soluzione aerodinamica ottenuta. Grazie ai risultati conseguiti attraverso tale calcolo, si riduce anche l'incertezza legata al calcolo finale della producibilità.
- **Rugosità del terreno:** nell'area di analisi, la rugosità è un aspetto influente sul profilo dei venti a bassa quota come quelli considerati nello studio anemologico proprio di un parco eolico. Per questo motivo, e per ottenere valori ancora più veritieri, a valle dei sopralluoghi effettuati in loco e dall'esame delle immagini in ortofoto dell'area, è stata creata una mappa di rugosità che varia da zona a zona. La seguente **Tabella 4** riassume le caratteristiche dei modelli di terreno utilizzati:

Area [m]	Numero di celle	Z ₀ [m]	Risoluzione spaziale [m]
25.000 x 25.000	6.255.001	variable between 0.0001 ÷ 1	X = 10

Tabella 4. Input per il calcolo della rugosità

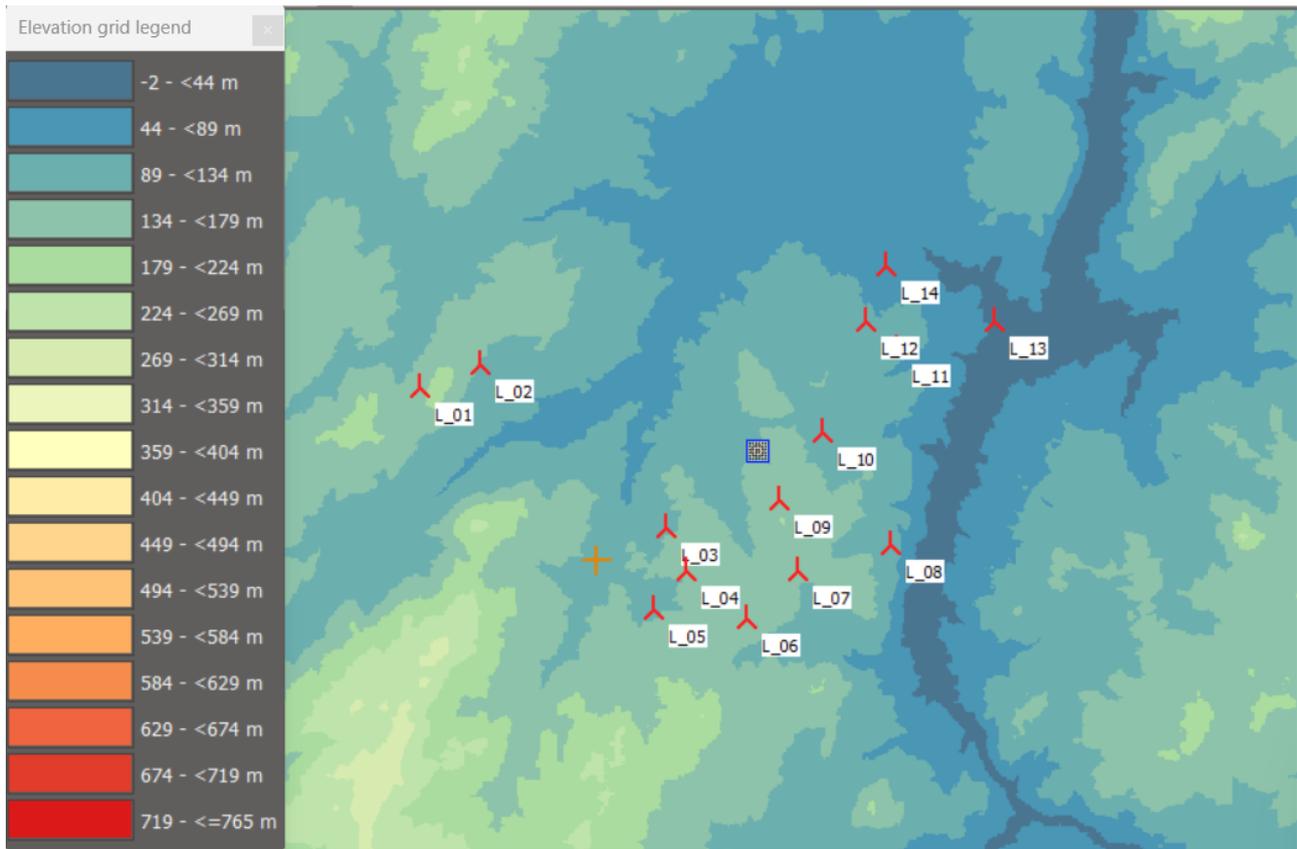


Figura 18. Rappresentazione grafica del layout definitivo di progetto su modellizzazione DTM.
Fonte: WindPro

Di seguito è riportata in “**Figura 19. Mappa della rugosità dell'area utilizzata come input per la realizzazione del modello digitale del terreno con sovrapposizione layout definitivo di progetto. Fonte: WindPro**” la mappa di rugosità del terreno, realizzata come input per il calcolo della produzione energetica, fondamentale per il flusso del vento. Essa, infatti, rappresenta graficamente gli ostacoli naturali al flusso del vento che spira sull'area, diversificati per tipo di ostacolo, assegnando ad ognuno di questi dei valori di rugosità che permettono di mappare quelle zone laddove il flusso potrebbe subire distorsioni per effetto di questi.

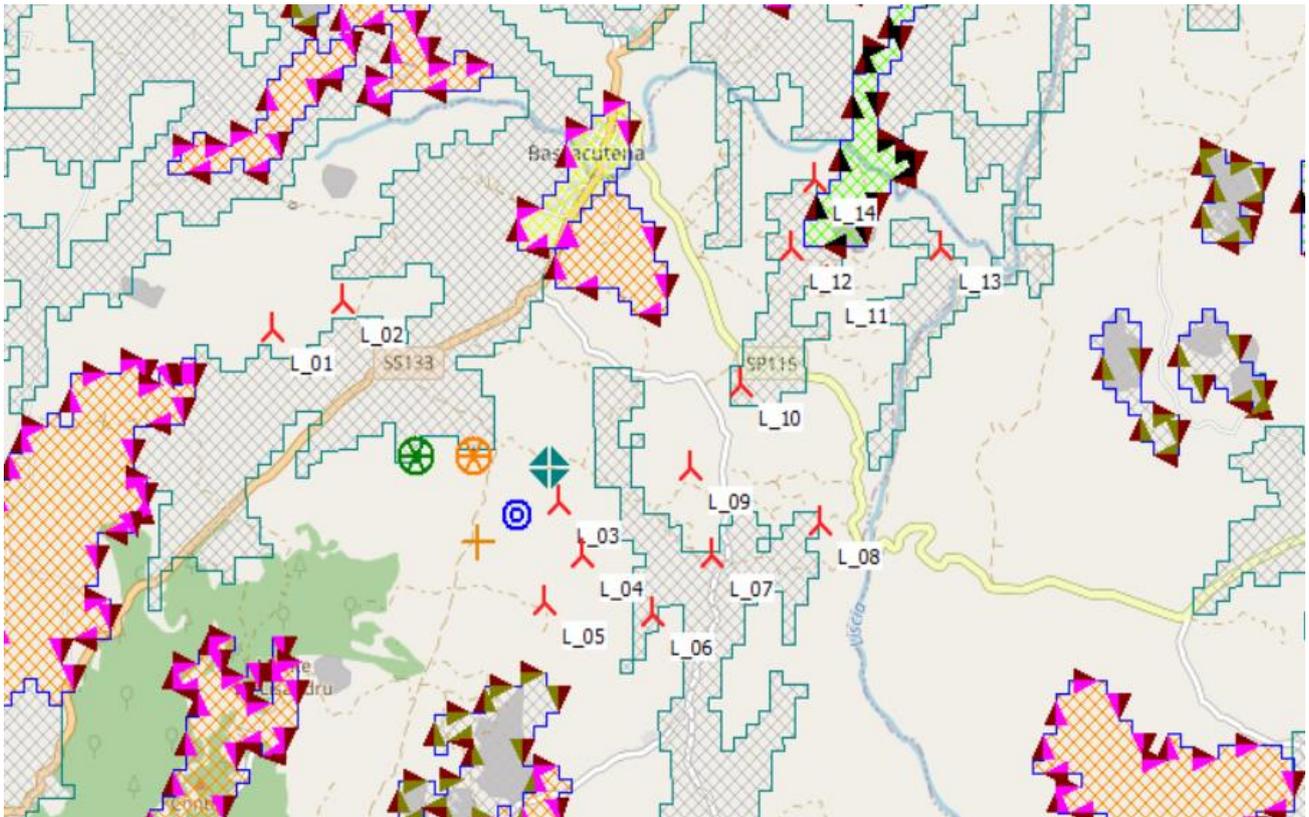


Figura 19. Mappa della rugosità dell'area utilizzata come input per la realizzazione del modello digitale del terreno con sovrapposizione layout definitivo di progetto. Fonte: WindPro

10 RISULTATI DELLO STUDIO ANEMOLOGICO E STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA

10.1 MAPPA DELLA RISORSA EOLICA

Per calcolare la mappa della risorsa eolica sull'intera ampiezza del sito di indagine, è necessario utilizzare dapprima modelli che permettano di estrapolare dai dati stimati del vento i valori nell'area di progetto, a diverse altezze sul piano campagna.

Lo studio richiede, quindi, una modellazione spaziale della risorsa vento.

Questa modellazione permette di estrapolare la diversa disponibilità del vento sull'area di intervento, sia a livello spaziale nell'area considerata, sia in direzione verticale fino all'altezza della navicella (Hub) posta sulla sommità della torre, al fine di posizionare le turbine eoliche nelle zone più ventose, sfruttando nella maniera più efficace ed efficiente l'intera area di studio. Per l'effettuazione di tali operazioni, WindPro si interfaccia con il software di calcolo WASP che, in applicazione combinata, permette la creazione di un modello di campo eolico con fattori rappresentativi del comportamento del vento, sulla base di:

- Dati vento ERA5+ WRF raccolti in un anno di campagna; in particolare, verranno utilizzati per il presente studio i dati raccolti dal 1° gennaio 2022 al 1° gennaio 2023.
- Modello digitale del terreno esportato in una mappa di curve di livello descritta nella successiva **“Figura 18. Mappa della risorsa eolica – modellizzazione tridimensionale”**
- Mappa di rugosità esportata in mappa di curve di livello descritta nella successiva **figura 18**.

10.2 STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA

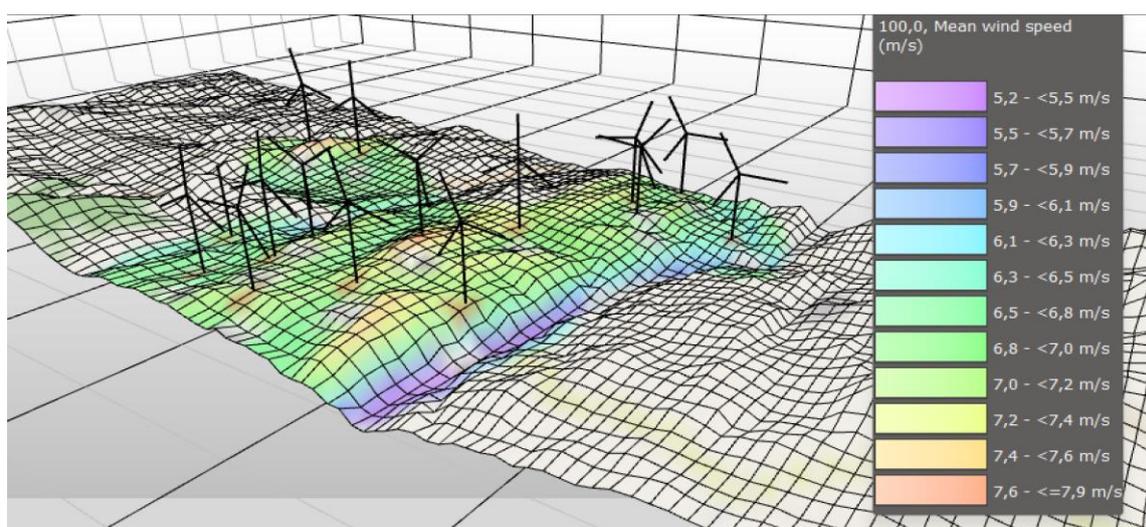


Figura 20. Mappa della risorsa eolica – modellizzazione tridimensionale

Partendo dall'immissione dei dati relativi al campo di vento calcolato per ogni settore e dalla modellazione dell'orografia e della rugosità, si può stabilire l'intensità del vento in ogni singolo punto del sito. Successivamente, per calcolare la produzione lorda (cioè alla massima potenza del generatore, senza considerare i tempi di inattività e le altre perdite) bisogna interpolare la curva di potenza della macchina per la densità specifica dell'aria, tendo in considerazione della turbolenza creata dalla eventuale presenza di altre turbine eoliche nella stessa area, le quali danno origine a variazioni del flusso dell'aria nell'intorno delle stesse.

Per quanto attiene alla valutazione delle turbolenze causate dalla presenza di aerogeneratori vicini, l'individuazione degli ostacoli presenti sul terreno, la morfologia dell'area (come la presenza di promontori e colline), sono considerazioni che confluiscono nell'analisi del cosiddetto "effetto scia". Il software **WindPro** determina, in base ad alcuni modelli matematici (N.O JENSEN, GH, Eddy, Park), la perdita percentuale di energia dovuta all'effetto scia. Questo calcolo non tiene conto delle riduzioni di produzione dovute ai tempi di fermo, alle perdite elettriche dovute dal trasporto dell'energia nei cavi di collegamento alla sottostazione e all'efficienza della sottostazione. Gli effetti della scia della turbina sono trattati come un valore di perdita. I calcoli che includono le perdite si basano sullo standard "N.O Jensen Park 2018".

Per calcolare la produzione annua stimata di energia (AEP [MWh]) è stato utilizzato il modulo **PARK**. Viene di seguito allegato il report completo prodotto grazie a **WindPro**.

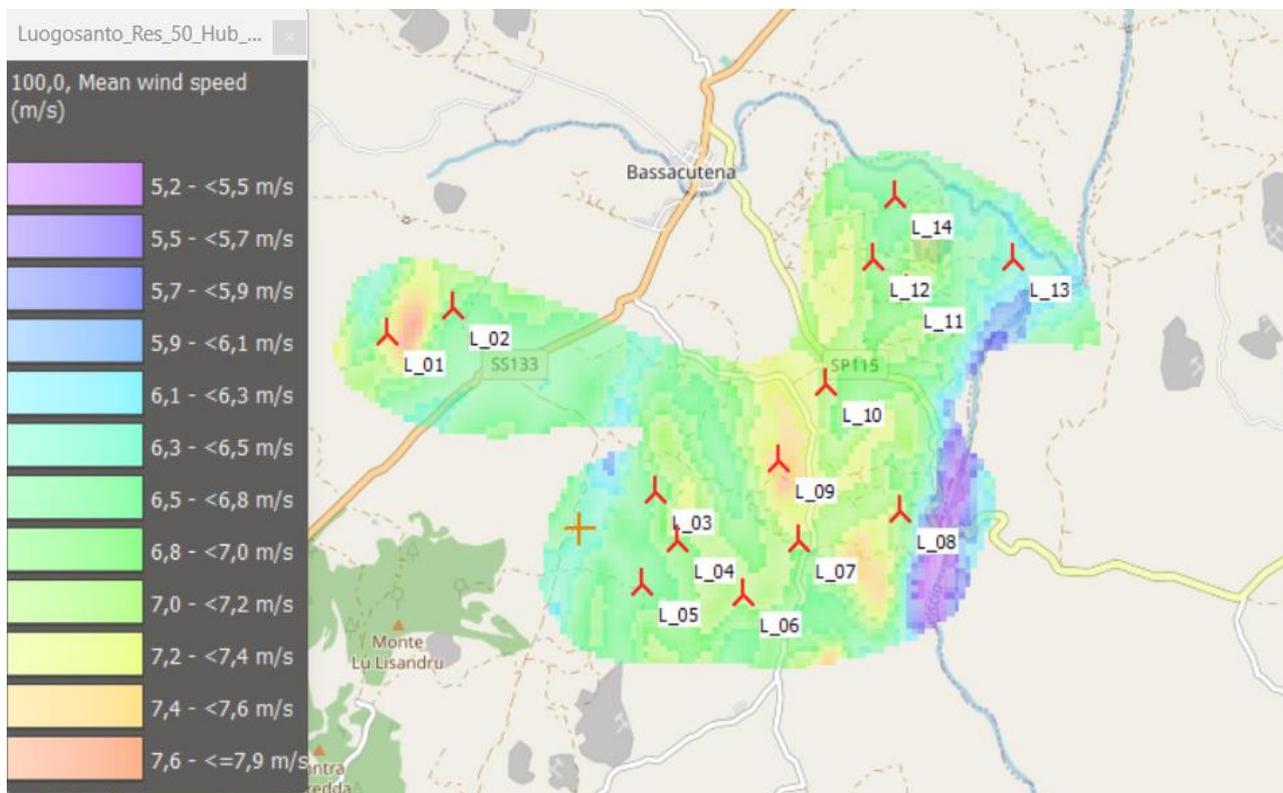


Figura 21. Mappa della risorsa eolica basata sui dati ERA5+ & WRF Wind, dimensioni delle celle: 50m x 50m

10.3 CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA ANNUA LORDA

Fatte tutte le premesse di cui ai capitoli precedenti, **WindPro** permette di calcolare la produzione energetica di ogni singola posizione scelta per l'area di impianto.

Una volta definito il layout di progetto sulla base della situazione vincolistica presente sull'area, è possibile calcolare i risultati della produzione energetica per ciascun aerogeneratore, i quali sono riportati nella successiva **Figura 22**:

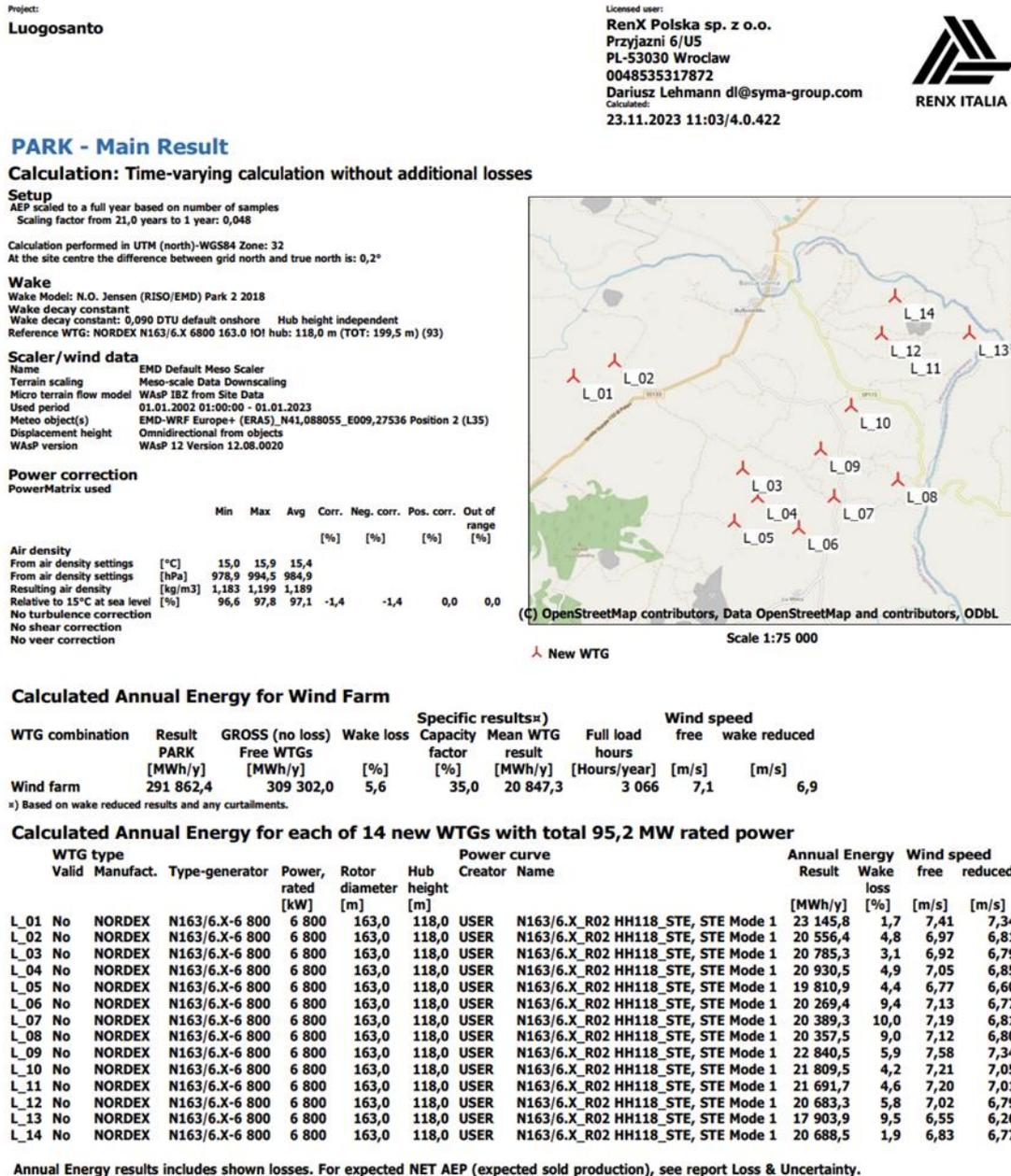


Figura 22. Report della produzione di energia suddivisa per ogni turbina, compresi i fattori cruciali: Fattore di capacità (%), ore a pieno carico (h) e velocità del vento annuale (m/s)

Nel campo “*Calculated Annual Energy for Wind Farm*” – calcolo della produzione energetica annua del parco eolico – si ha una chiara visione d’insieme della producibilità lorda del sito scelto per il Parco Eolico, al netto delle sole perdite dovute all’effetto scia.

Nella fattispecie, il Parco Eolico Luogosanto ha il potenziale eolico per produrre annualmente 291.862 kWh di energia pulita.

Un dato altrettanto importante è il fattore di capacità (*capacity factor*), ovvero la percentuale di ore annue in cui gli aerogeneratori operano a piena potenza, ovvero sfruttando al massimo la capacità del generatore elettrico a bordo macchina da 6,8 MW cui gli aerogeneratori del Parco Eolico Luogosanto, a marchio Nordex, verrebbero attrezzati.

Nella sezione “*Calculated Annual Energy for each of 14 new WTGs with total 95,2 MW rated power*” (produzione energetica annua calcolata per ciascuna dei 14 nuovi aerogeneratori con una potenza nominale totale di 95,2 MW) sono illustrate le produzioni dei singoli aerogeneratori e le velocità del vento stimate all’altezza del mozzo (118m).

Le singole produzioni consentono di stimare la produzione lorda dell’intero parco eolico, oltre a consentire ragionamenti ulteriori legati alla producibilità (MWh/y) e all’operatività della macchina (*capacity factor*).

Proveremo a percorrere tali supposizioni “a ritroso”, partendo dalla producibilità, ad esempio, per la turbina **L_01** di progetto, per la quale si calcolano 23.145,8 MWh/anno di produzione annua.

Dividendo tale valore per la potenza nominale della turbina si ottiene il totale delle ore durante le quali l’aerogeneratore ha prodotto energia alla massima potenza: $23.145,8 \text{ MW} \div 6,8 \text{ MW} \approx 3.403$ ore equivalenti.

In un anno si contano 8.766 ore, da cui $3.403 \div 8.766 = 38,8\%$, dato comparabile con il fattore di capacità medio del progetto, pari al 35,0%.

PARK - Production Analysis

Calculation: Time-varying calculation without additional losses WTG: All new WTGs, Air density varies with WTG position 1,183 kg/m3 - 1,199 kg/m3

Directional Analysis

Sector		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Model based energy	[MWh]	8 139,6	22 628,4	8 566,0	7 331,9	23 264,8	4 504,8	920,0	6 691,6	34 326,5	151 097,9	39 605,7	2 224,8	309 301,9
-Decrease due to wake losses	[MWh]	477,3	2 115,4	954,2	560,7	1 704,7	414,7	83,5	601,3	2 205,0	6 046,2	2 076,6	200,0	17 439,6
Resulting energy	[MWh]	7 662,2	20 513,0	7 611,8	6 771,2	21 560,1	4 090,1	836,4	6 090,3	32 121,5	145 051,8	37 529,1	2 024,8	291 862,4
Specific energy	[kWh/m2]													999
Specific energy	[kWh/kW]													3 066
Decrease due to wake losses	[%]	5,9	9,3	11,1	7,6	7,3	9,2	9,1	9,0	6,4	4,0	5,2	9,0	5,64
Full Load Equivalent	[Hours/year]	80	215	80	71	226	43	9	64	337	1 524	394	21	3 066

Figura 23. Analisi direzionale delle ore di pieno carico all’anno per i parchi eolici suddivisi in 12 settori

La precedente **“Figura 23. Analisi direzionale delle ore di pieno carico all'anno per i parchi eolici suddivisi in 12 settori”** rappresenta in formato tabellare la produzione energetica lorda del sito d’impianto per ognuno dei 12 settori delle direttrici del vento, dove i valori di risultanza evidenziano l’incidenza nella produzione energetica della direttrice W (Ovest); dato chiaramente evidente anche nella successiva **“Figura 24”**.

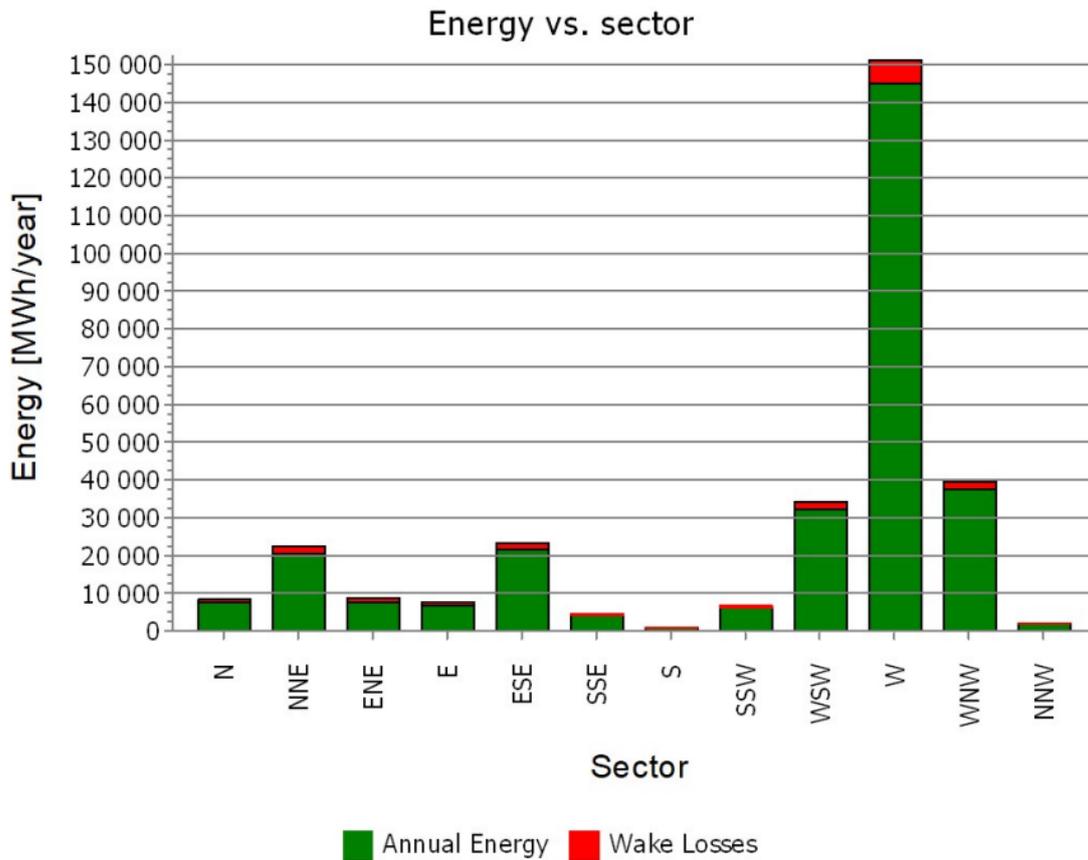


Figura 24. Istogramma della produzione energetica annua espressa in MWh, suddivisa per direzione del vento

PARK - Time varying AEP

Calculation: Time-varying calculation without additional losses

Windfarm: 95,2 MW based on 14 turbines of type NORDEX N163/6.X 6800 163.0 !0!.

Selection: All new WTGs

Calculated mean yield per month and hour [MWh]. The result includes wake losses and any curtailment losses.

Values are scaled to a full year, see correction factors at main result page.

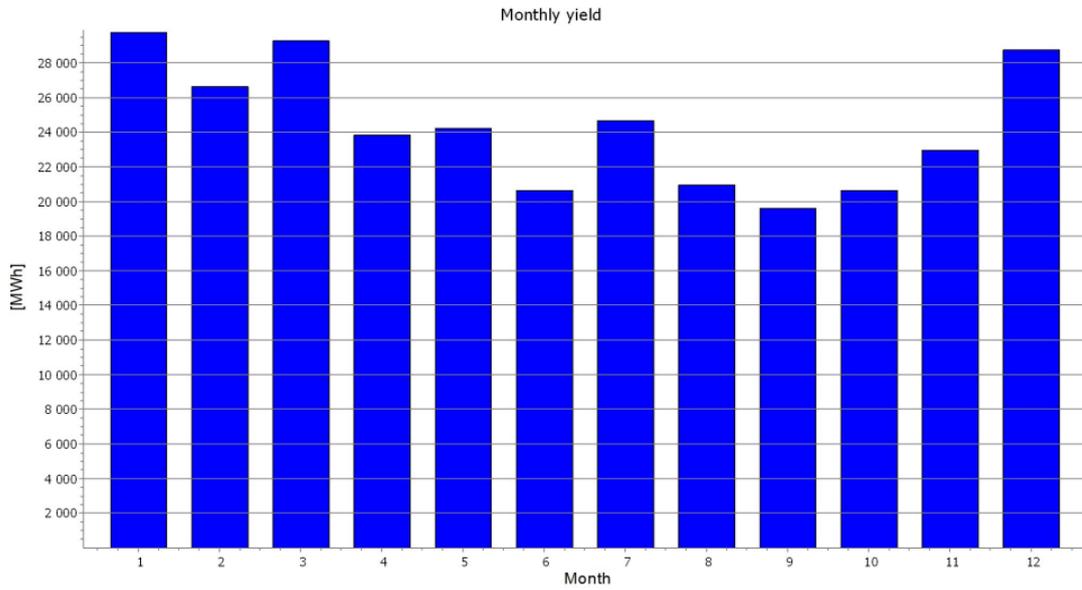


Figura 25. Diagramma di rendimento mensile (MWh) riferito al mese specifico

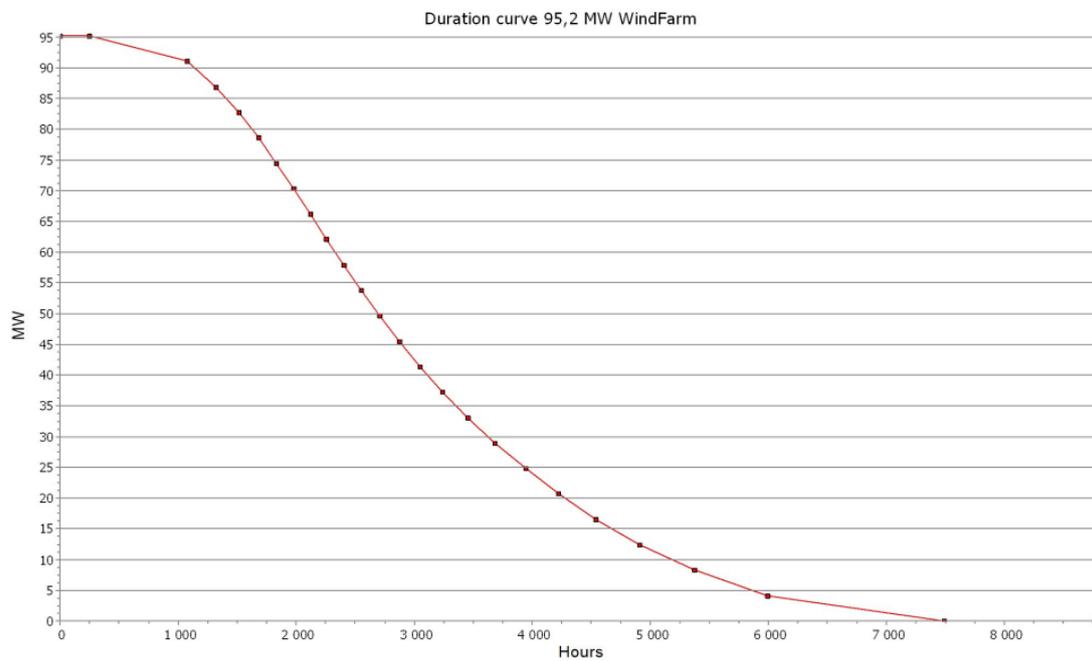


Figura 26. Diagramma della curva di durata del carico che rappresenta il carico (MW) e il tempo (h)

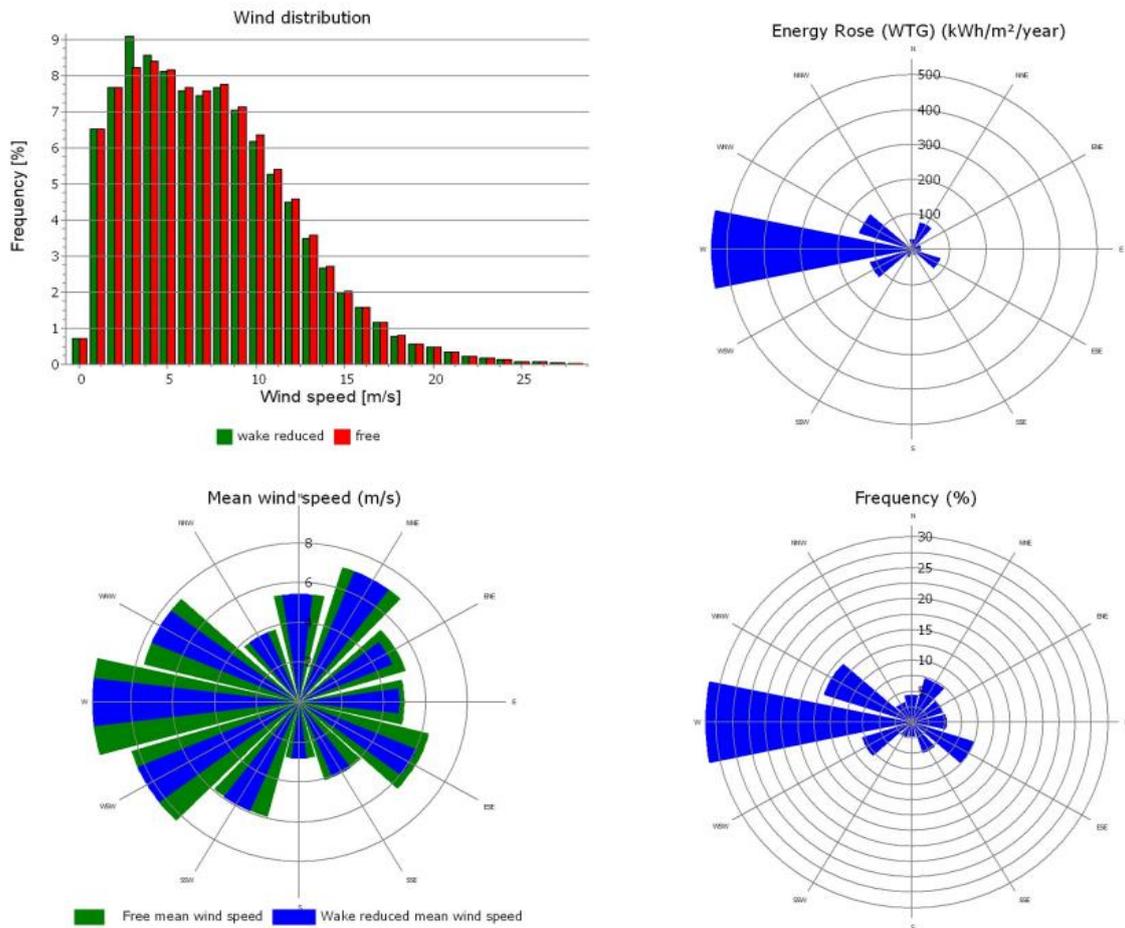


Figura 27. Diagrammi calcolati e presentati per la turbina L_01: Diagramma di distribuzione del vento con rosa dell'energia, rosa della velocità del vento e rosa della frequenza.

L'analisi dei diagrammi sopra riportati, con la distribuzione del vento e le rose dei venti, porta a ritenere che il parco eolico sarà orientato in direzione ovest. La certezza non viene dalla rosa della velocità media del vento, ma piuttosto dall'analisi della rosa dell'energia e della frequenza, che ci dice esattamente quali sono i settori con maggiore produzione.

Limitare l'analisi del vento alla sola osservazione della rosa della velocità media del vento è limitante, dato che essa mostra una situazione non del tutto veritiera in termini di produzione del parco eolico; la produzione differisce dalla direzione della velocità del vento: si evince chiaramente che la maggior produzione proviene da ovest, ma solo da lì.

Analizzando la rosa dei venti principali si può concludere che la produzione è significativamente elevata anche da **WSW** e **WNW**, ma ciò è approssimato correttamente in questa fase. Tali dati sono dovuti ad alcune velocità del vento estreme che si verificano di rado e che non danno una buona produzione se parliamo di scegliere la direzione del parco eolico.

Il diagramma di ripartizione del vento è cruciale per analizzare la durata, in percentuale, di un determinato valore di velocità del vento, per il quale si ha una diversa modalità di funzionamento a causa del fabbisogno notturno, che sarà riportato nel prossimo capitolo come "perdita di compensazione".

10.4 CALCOLO DELLA PRODUZIONE ANNUA DI ENERGIA COMPRENSIVA DELL'EFFETTO SCIA E DELLE PERDITE PER RIDUZIONE DI POTENZA

Poiché i progetti eolici implicano usualmente investimenti rilevanti, è importante che l'utente sia in grado di valutare la bontà dei risultati e di interpretare correttamente gli stessi. Le molteplici relazioni prodotte da **WindPro** sono un valido aiuto ad effettuare le opportune valutazioni di fattibilità di un impianto.

La valutazione dettagliata delle perdite e delle incertezze è diventata via via più importante negli ultimi anni, mentre il margine della fattibilità economica si è ridotto. Per questa ragione esiste ora in **WindPro** un modulo separato per eseguire questo studio. I calcoli presentati a causa delle limitazioni del rumore notturno e degli effetti della veglia sono illustrati nella successiva **figura 26**:

Project:
Luogosanto

Licensed user:
RenX Polska sp. z o.o.
Przyjazni 6/U5
PL-53030 Wrocław
0048535317872
Dariusz Lehmann dl@syma-group.com
Calculated:
23.11.2023 15:41/4.0.422



PARK - Main Result

Calculation: Time-varying calculation with curtailment losses

Setup

AEP scaled to a full year based on number of samples
Scaling factor from 21,0 years to 1 year: 0,048

Calculation performed in UTM (north)-WGS84 Zone: 32
At the site centre the difference between grid north and true north is: 0,2°

Wake

Wake Model: N.O. Jensen (RISO/EMD) Park 2 2018
Wake decay constant
Wake decay constant: 0,090 DTU default onshore Hub height independent
Reference WTG: NORDEX N163/6.X 6800 163,0 !0! hub: 118,0 m (TOT: 199,5 m) (93)

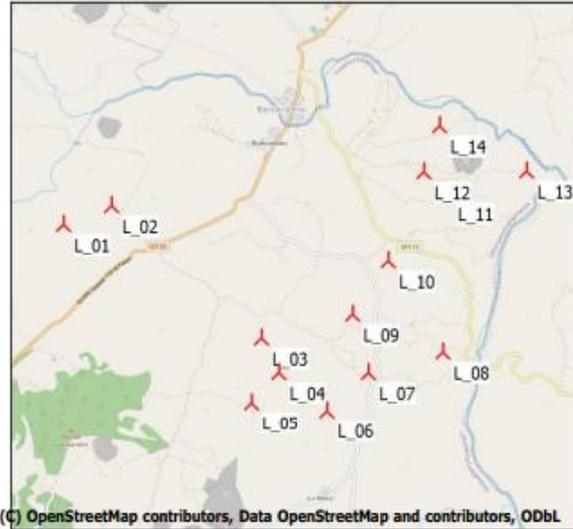
Scaler/wind data

Name: EMD Default Meso Scaler
Terrain scaling: Meso-scale Data Downscaling
Micro terrain flow model: WAsP IBZ from Site Data
Used period: 01.01.2002 01:00:00 - 01.01.2023
Meteo object(s): EMD-WRF Europe+ (ERAS) N41,088055_E009,27536 Position 2 (L35)
Displacement height: Omnidirectional from objects
WAsP version: WAsP 12 Version 12.08.0020

Power correction

PowerMatrix used

	Min	Max	Avg	Corr.	Neg. corr.	Pos. corr.	Out of range
				[%]	[%]	[%]	[%]
Air density							
From air density settings	[°C]	15,0	15,9	15,4			
From air density settings	[hPa]	978,9	994,5	984,9			
Resulting air density	[kg/m3]	1,183	1,199	1,189			
Relative to 15°C at sea level	[%]	96,6	97,8	97,1	-1,4	-1,4	0,0
No turbulence correction							
No shear correction							
No veer correction							



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

Scale 1:75 000

▲ New WTG

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Curtailment loss [%]	Wake loss [%]	Specific results=)		Full load hours [Hours/year]	Wind speed	
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]		free [m/s]	wake reduced [m/s]
Wind farm	270 228,8	309 302,0	7,3	5,3	32,4	19 302,1	2 839	7,1	6,9

Calculated Annual Energy for each of 14 new WTGs with total 95,2 MW rated power

WTG type	Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator	Name	Annual Energy		Wind speed		
									Result [MWh/y]	Curtailment loss [%]	Wake loss [%]	free [m/s]	reduced [m/s]
L_01	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	22 822,7	1,5	1,6	7,41	7,35
L_02	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	15 709,1	22,6	4,7	6,97	6,81
L_03	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	19 798,6	4,7	3,0	6,92	6,79
L_04	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	20 668,5	1,4	4,7	7,05	6,86
L_05	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	18 903,7	4,5	4,2	6,77	6,60
L_06	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	19 356,2	4,5	9,1	7,13	6,78
L_07	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	20 187,7	1,3	9,5	7,19	6,83
L_08	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	15 528,3	22,1	8,5	7,12	6,82
L_09	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	17 307,7	23,1	5,6	7,58	7,35
L_10	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	20 823,6	4,7	3,8	7,21	7,07
L_11	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	20 615,8	5,0	4,3	7,20	7,02
L_12	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE	19 735,0	4,6	5,5	7,02	6,80
L_13	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	18 055,0	0,0	8,7	6,55	6,28
L_14	No	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	USER	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	20 716,8	0,0	1,8	6,83	6,77

More power curves may be used due to curtailment. Please view Curtailment assumptions report.

Annual Energy results includes shown losses. For expected NET AEP (expected sold production), see report Loss & Uncertainty.

Figura 28. Rapporto del parco che mostra la produzione di energia riassunta e divisa per ogni turbina, compresi i fattori cruciali: Fattore di capacità (%), ore a pieno carico (h), velocità del vento annuale e ridotta (m/s)

Nella precedente **figura 26**, in cui sono conteggiati i risultati lordi di produzione, ai quali vengono applicate delle riduzioni in termini percentuali per riprodurre perdite e aleatorietà che possono verificarsi nello scenario operativo. Si noti altresì che le velocità del vento sono proposte sia al netto, sia al lordo dei tagli effettuati a causa delle varie interferenze.

L'efficienza di un parco eolico è un dato importantissimo, essendo diretta conseguenza delle produzioni delle singole turbine – tenendo conto delle perdite in scia – che, sommate, offrono la produzione lorda di energia auspicabile dall'installazione dell'impianto.

Nella fattispecie, il **Parco Eolico Luogosanto** annovera una **produzione energetica annua netta di 263,5 GWh** annui, già al netto delle interferenze dovute agli effetti scia e delle limitazioni imposte dagli studi specialistici correlati al presente lavoro, in particolare quello di interferenza acustica che, obbligando la riduzione della potenza operativa delle macchine in periodo notturno al fine di rispettare la normativa in materia, causa una consistente perdita di produzione del parco eolico stimabile in **22.600 MWh** annui, pari ad una riduzione dell'output di impianto del **7,3%**.

Il fattore di capacità (*capacity factor*) netto, che ricordiamo essere la percentuale di ore annue di operatività a piena potenza degli aerogeneratori, ovvero sfruttando al massimo la capacità del generatore elettrico a bordo macchina da 6,8 MW, nel caso in esame è pari al **32,4%**; dato certamente positivo e che rende l'area senza dubbio vocata alla installazione del parco eolico.

PARK - Production Analysis

Calculation: Time-varying calculation with curtailment losses WTG: All new WTGs, Air density varies with WTG position 1,183 kg/m3 - 1,199 kg/m3
Directional Analysis

Sector		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Total
Gross	[MWh]	8 139,6	22 628,4	8 566,0	7 331,9	23 264,8	4 504,8	920,0	6 691,6	34 326,5	151 097,9	39 605,7	2 224,8	309 301,9
-Decrease due to curtailments	[MWh]	611,7	1 490,7	446,1	300,0	943,8	293,0	64,3	595,4	3 896,4	11 791,0	1 979,6	153,4	22 565,4
Noise	[MWh]	611,7	1 490,7	446,1	300,0	943,8	293,0	64,3	595,4	3 896,4	11 791,0	1 979,6	153,4	22 565,4
Decrease due to temperature curve	[MWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-Decrease due to wake losses	[MWh]	449,9	2 050,2	891,0	533,0	1 651,3	397,2	78,5	545,3	2 050,4	5 670,4	2 001,4	189,3	16 507,8
Resulting energy	[MWh]	7 078,0	19 087,5	7 228,9	6 499,0	20 669,7	3 814,7	777,2	5 551,0	28 379,7	133 636,5	35 624,7	1 882,0	270 228,8
Specific energy	[kWh/m2]													925
Specific energy	[kWh/kW]													2 839
-Decrease due to curtailments	[%]	7,5	6,6	5,2	4,1	4,1	6,5	7,0	8,9	11,4	7,8	5,0	6,9	7,3
Noise	[%]	7,5	6,6	5,2	4,1	4,1	6,5	7,0	8,9	11,4	7,8	5,0	6,9	7,3
Decrease due to temperature curve	[%]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Decrease due to wake losses	[%]	5,5	9,1	10,4	7,3	7,1	8,8	8,5	8,1	6,0	3,8	5,1	8,5	5,34
Full Load Equivalent	[Hours/year]	74	200	76	68	217	40	8	58	298	1 404	374	20	2 839

Note:
 - A turbines' curtailment losses are calculated based on the wake-reduced wind speed.
 - The wake reduced wind speed includes curtailment of up-wind WTGs.

Figura 29. Analisi della direzione delle ore di pieno carico annue del parco eolico, suddivisa nelle 12 direttrici principali del vento.

Nella relazione “*Directional Analysis*” (Analisi della produzione) di cui alla precedente “**Figura 29. Analisi della direzione delle ore di pieno carico annue del parco eolico, suddivisa nelle 12 direttrici principali del vento.**” compaiono i risultati dei calcoli di energia per tutti gli aerogeneratori.

Qui appaiono i dati del calcolo direzionale. Saranno visibili gli impatti sulle turbine dovute ad orografia, ostacoli e perdite in scia, sia in valore assoluto che in percentuale. Questo può dare un’idea dell’importanza dei diversi elementi e suggerire nuove idee per l’ottimizzazione del layout.

L’analisi e i relativi risultati seguono il trend del capitolo **Calcolo della produzione energetica annua lorda**. Come si evince dalla seguente **figura 28**, ovest è sempre la direzione principale del vento, corrispondente alla produzione più elevata. Inoltre, nel diagramma vediamo la perdita percentuale dei requisiti di impostazione del rumore, la curva di temperatura e, come prima, le perdite di scia.

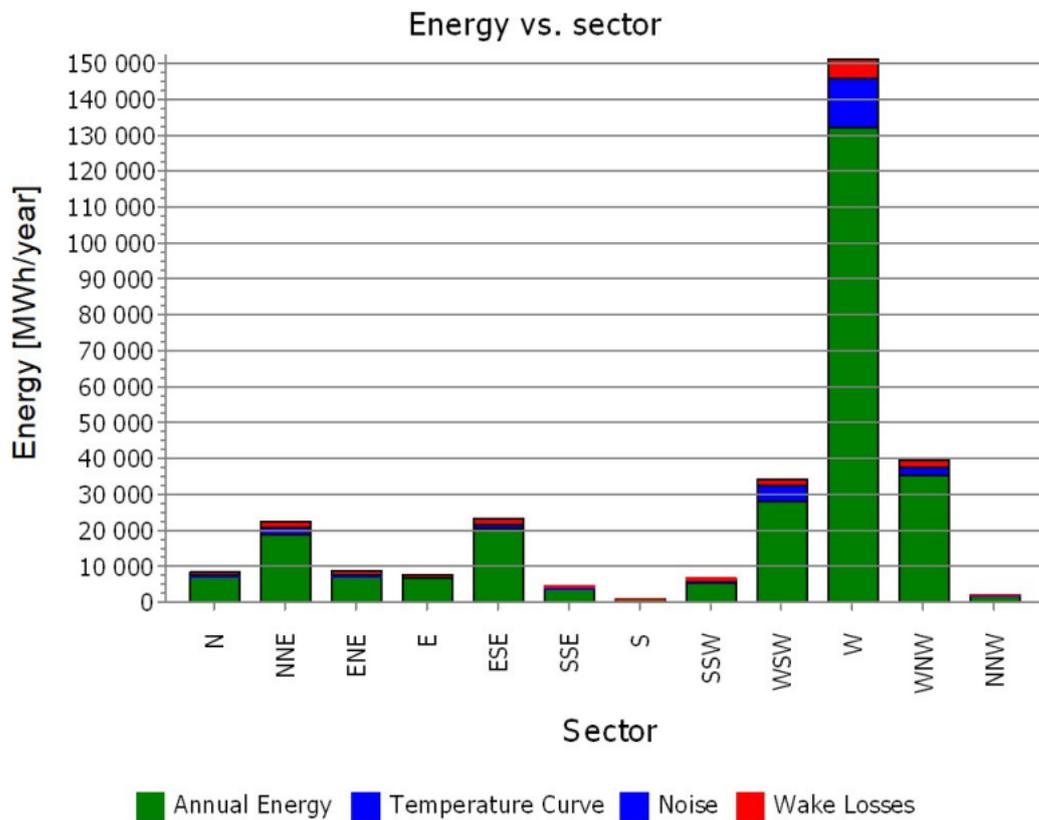


Figura 30. Produzione energetica annua (MWh) rispetto alle 12 direttrici del vento

PARK - Time varying AEP

Calculation: Time-varying calculation with curtailment losses

Windfarm: 95,2 MW based on 14 turbines with 6,8 MW (in average).

Selection: All new WTGs

Calculated mean yield per month and hour [MWh]. The result includes wake losses and any curtailment losses.

Values are scaled to a full year, see correction factors at main result page.

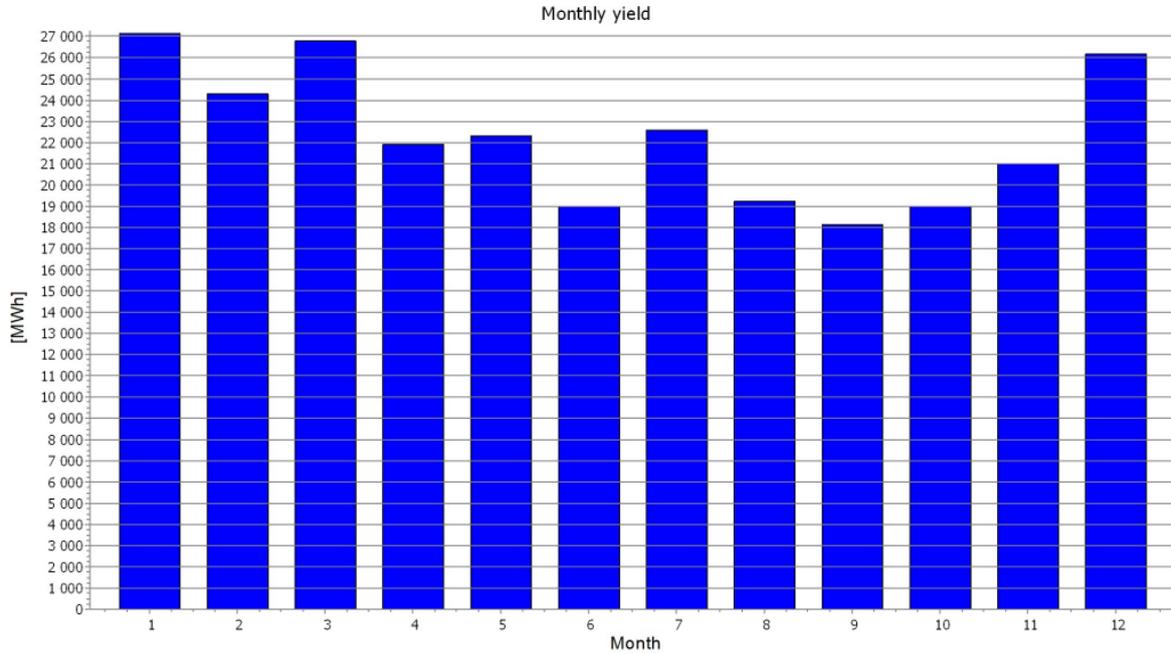


Figura 31. Diagramma di rendimento mensile (MWh) riferito al mese specifico

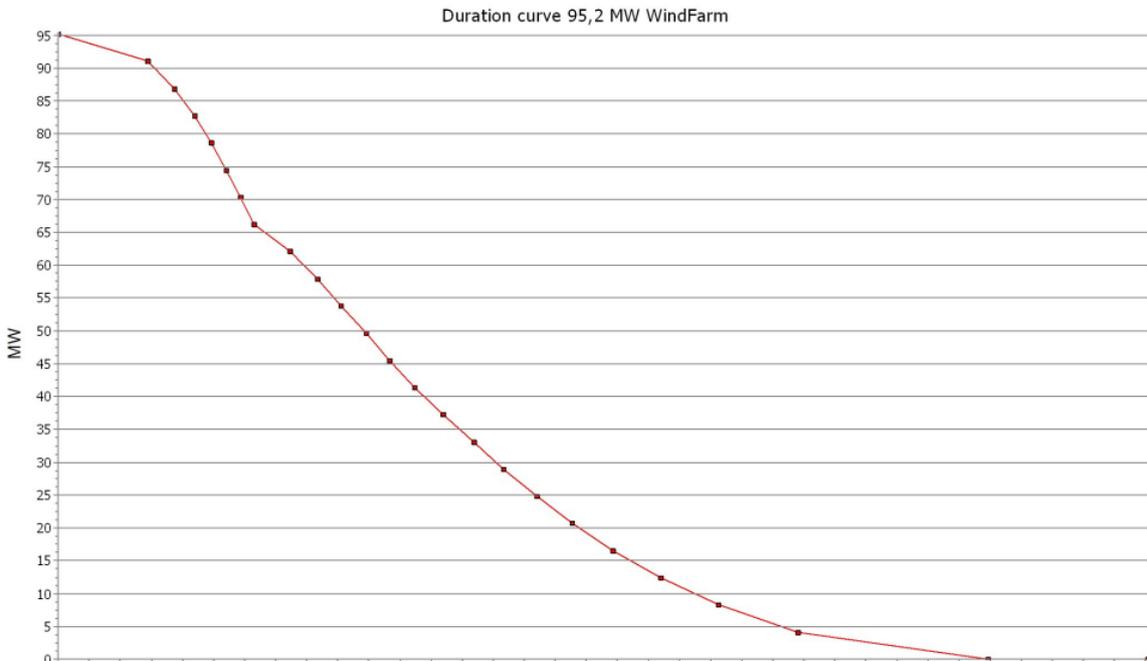


Figura 32. Diagramma della curva di durata del carico che rappresenta il carico (MW) e il tempo (h) in cui le ordinate rappresentano il carico

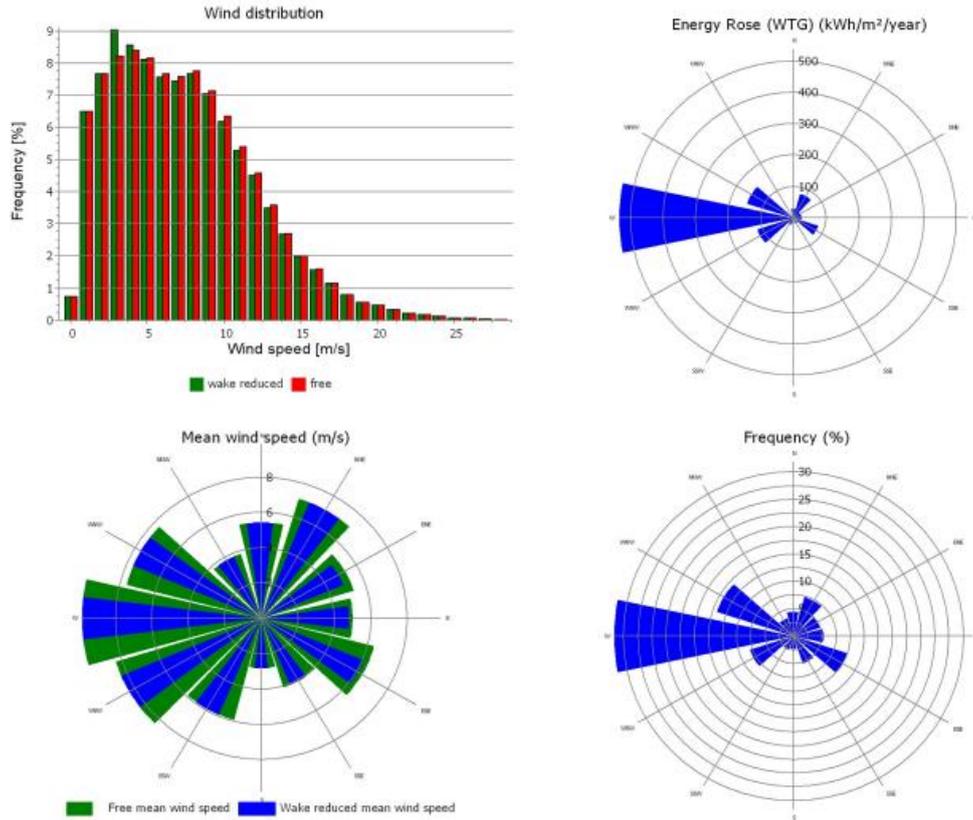


Figura 33. Diagrammi calcolati e presentati per la turbina L_01, compresa la perdita di curtailment: Diagramma di distribuzione del vento con rosa dell'energia, rosa della velocità del vento e rosa della frequenza.

Dopo aver ridotto la produzione del parco eolico Luogosanto per due dei fattori più cruciali previsti durante gli studi di fattibilità anemologica, ovvero le **perdite di curtailment** e le **perdite acustiche**, l'analisi dei diagrammi precedentemente riportati in **“Figura 28”** con la distribuzione del vento e delle rose dei venti ha portato alla conclusione che, nonostante le modifiche intercorse per rispettare leggi e normative in tema, tali diagrammi sono equiparabili a quelli individuati nella precedente **“Figura 22”** nonostante i cambiamenti intercorsi nello studio del real case di cui vengono brevemente presentate le stime nelle seguenti: **“Tabella 5”**, **“Figura 33”** e **“Figura 35. Configurazione notturna critica delle turbine, comprese le condizioni** quadro di funzionamento della turbina e i tempi di piena applicazione della condizione attuale.

Impostazione dei limiti dei requisiti acustici critici		
Turbina	Mode	Potenza (MW)
L_01	5	6,24
L_02	off	0
L_03	9	5,27
L_04	5	6,24
L_05	9	5,27
L_06	9	5,27
L_07	5	6,24
L_08	off	0
L_09	off	0
L_10	9	5,27
L_11	10	5,18
L_12	9	5,27
L_13	1	6,8
L_14	1	6,8

Tabella 5. Configurazione notturna critica delle turbine

operating mode	rated power [kW]	maximum sound power level over the complete operating range of the wind turbine	
		L _{WA} [dB(A)]	L _{WA} (STE) [dB(A)]
Mode 0	7000	108.6	106.6
Mode 1	6800	108.4	106.4
Mode 2	6690	108.0	106.0
Mode 3	6530	107.5	105.5
Mode 4	6370	107.0	105.0
Mode 5	6240	106.5	104.5
Mode 6	6080	106.0	104.0
Mode 7	5940	105.5	103.5
Mode 8	5820	105.0	103.0
Mode 9	5270	103.0	101.0
Mode 10	5180	102.5	100.5
Mode 11	4810	102.0	100.0
Mode 12	4520	101.5	99.5
Mode 13	4230	101.0	99.0
Mode 14	3870	100.5	98.5
Mode 15	3620	100.0	98.0
Mode 16	3380	99.5	97.5
Mode 17	3180	99.0	97.0

Figura 34. Scheda tecnica della modalità operativa della turbina

WTG Curtailments

WTG Name	Index	Priority	Type	Action	Conditions	Times fully applied	Time partially applied	Times skipped
L_01 Noise	2	2	Noise	STE Mode 5	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	15233	0	0
L_02 Noise	2	2	Noise	Shut down	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [0;75], Wdir [0;360]	36054	0	0
L_03 Noise	2	2	Noise	STE Mode 9	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	13723	0	0
L_04 Noise	1	1	Noise	STE Mode 5	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	13765	0	0
L_05 Noise	1	1	Noise	STE Mode 9	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	12809	0	0
L_06 Noise	2	2	Noise	STE Mode 9	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	13500	0	0
L_07 Noise	2	2	Noise	STE Mode 5	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	12990	0	0
L_08 Noise	2	2	Noise	Shut down	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [0;75], Wdir [0;360]	36311	0	0
L_09 Noise	2	2	Noise	Shut down	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [0;75], Wdir [0;360]	36829	0	0
L_10 Noise	2	2	Noise	STE Mode 9	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	14553	0	0
L_11 Noise	2	2	Noise	STE Mode 10	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	14515	0	0
L_12 Noise	1	1	Noise	STE Mode 9	Time [00:00;06:00], DoW [poniedzia ³ ek;niedziela], WS [8,8;75], Wdir [0;360]	13733	0	0

WTG curtailments using wind speeds interacts with the wake losses.

Figura 35. Configurazione notturna critica delle turbine, comprese le condizioni quadro di funzionamento della turbina e i tempi di piena applicazione della condizione attuale.

10.5 CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA NETTA ANNUA

L'incertezza in ogni stima della risorsa eolica dipende molto dal regime di vento locale, dalla topografia, dal sistema di raccolta dati, da eventuali dati di misura di lungo periodo, dalle limitazioni

	Incetezza della risorsa vento	Inceteeze nella produzione
Misurazioni del vento / Wind data	2.0%	2.9%
Correzioni di lungo periodo	2.8%	4.1%
Inceteeza delle misurazioni	2.5%	3.7%
Forecast delle condizioni climatiche future	2.0%	2.9%
Inceteeza della curva di potenza della turbina	0.0%	2.0%
Inceteeza di misurazione	0.0%	0.2%
Inceteeza delle perdite cumulative	0.0%	3.8%
Totale inceteeza (media ventennale)	2.4%	7.3%

del software utilizzato per la stima. Per quantificare la produzione finale annua di energia netta stimata, sono stati quindi adottati i seguenti coefficienti di inceteeza per le seguenti ragioni:

Tabella 5. Coefficienti di inceteeza

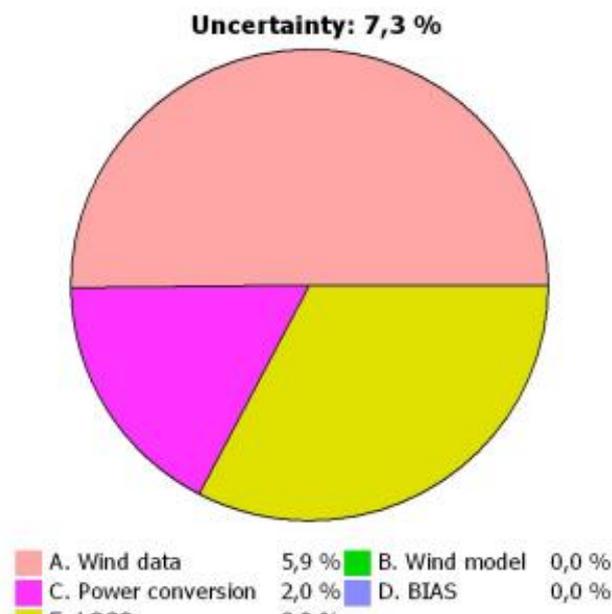


Figura 33. Inceteeze di produzione

Per calcolare i coefficienti stimati AEP [MWh] è stato utilizzato il modulo LOSS & UNCERTAINTLY.

L'incertezza totale su una stima di produzione energetica annua è normalmente compresa fra il 10 ed il 30 per cento, relativamente alla deviazione standard. Ai fini del presente studio, è stato considerato un valore di incertezza pari al 14,8 per cento della produzione energetica annua stimata, come evidenziato nella seguente **Tabella 6**.

	Perdita percentuale	Perdita di produzione
Wake effects	5.3%	16.5 GWh
Accensione turbina	0.3%	0.8 GWh
Bilanciamento della sottostazione	0.5%	1.5 GWh
Disponibilità della rete	0.3%	0.8 GWh
Curva di Potenza della turbina	0.8%	2.3 GWh
Isteresi del vento forte	0.3%	0.8 GWh
Flusso del vento	0.1%	0.3 GWh
Perdite elettriche	0.3%	0.8 GWh
Incidenza delle alte e basse temperature	0.2%	0.5 GWh
Decurtazione acustica	7.3%	22.6%
Totale perdite	14.8%	45.8 GWh

Tabella 6. Valori di incertezza

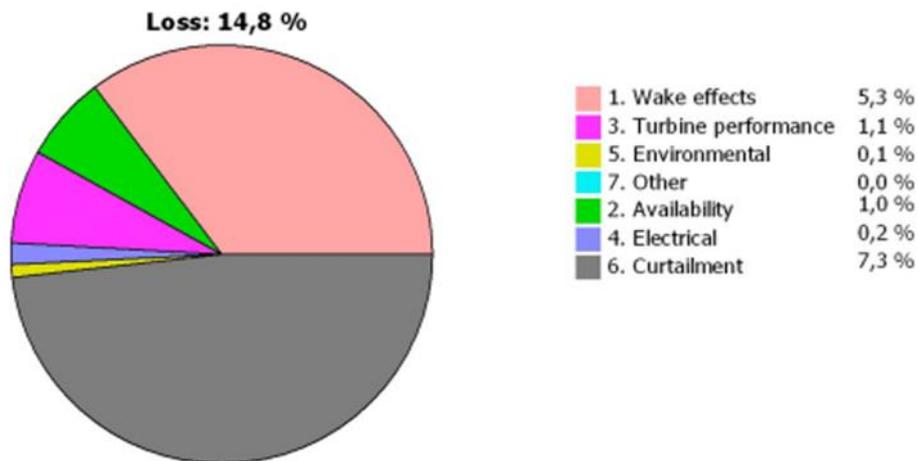


Figura 36. Produzione netta del parco eolico al netto delle perdite raccolte in ogni settore di investimento.

RESULTS

		P50
NET AEP	[GWh/y]	263,5
Capacity factor	[%]	31,6
Full load hours	[h/y]	2 768

Figura 37. Risultato netto di produzione - Parco Eolico Luogosanto

11 CONCLUSIONI

L'area del **Parco Eolico Luogosanto**, di cui al presente studio, garantisce una disponibilità e frequenza della risorsa eolica estremamente idonea, secondo l'estrapolazione dei dati vento.

Il parco eolico proposto prevede l'installazione di 14 aerogeneratori.

Secondo quanto evidenziato dalle indagini anemologiche appena illustrate, le condizioni vento stimate del sito permettono l'installazione di aerogeneratori decisamente performanti di ultima generazione; in particolare, la quota vento ottimale stimata, rapportata alle relazioni tecniche specialistiche di settore condotte parallelamente, si presenta ad un'altezza del mozzo di 118m.

La turbina eolica scelta è dell'azienda **Nordex**, modello **N163 6.X della serie Delta 4000**, con una potenza nominale di 6,8 MW, permettendo lo sviluppo di un parco eolico di capacità installata complessiva pari a 95,2 MW.

La progettazione del parco sul territorio è avvenuta tenendo conto della vincolistica gravante sull'area, degli aspetti morfologici del territorio e rispettando le distanze reciproche tra turbine che consentano di sfruttare al meglio il vento disponibile.

I dati **premium EMD ERA5+ WTF**, sono stati acquistati ed utilizzati dalla scrivente per disporre, durante la fase di progettazione del parco eolico, delle migliori stime previsionali del vento e delle condizioni anemologiche *in situ* disponibili sul mercato. Infatti, disponendo dei dati **EMD Premium**, si è potuto opzionare un punto di rilievo satellitare il più prossimo alla torre anemometrica fisica che sarà installata nei pressi dell'aerogeneratore **L_11**, raccogliendo dati fino ad un'altezza di 99m. Tale punto di rilievo permette di ridurre sensibilmente il rischio legato alla disponibilità della risorsa vento.

Successivamente, attraverso i software **WindPro** e **WASP**, è stata calcolata la produzione di energia del **Parco Eolico Luogosanto**, tenendo conto degli effetti scia endogeni ed esogeni, delle decurtazioni della potenza notturna per via delle limitazioni in tema acustico - per le quali si rinvia alla Relazione Tecnico Specialistica di dettaglio (**RTS11**) - della rugosità del terreno e dei rilievi topografici per l'ottimizzazione del layout.

L'analisi svolta nella presente relazione si è concentrata sull'analisi del vento e sulle perdite annuali di produzione di energia, che sono principalmente dovute ai limiti di rumore richiesti nelle ore serali e notturne. L'ingegneria si è preoccupata di ottimizzare la produzione energetica con gli strumenti e le procedure di calcolo più precisi disponibili sul mercato e corretti secondo la Commissione Elettrotecnica Internazionale (**IEC**).

I valori stimati della produzione energetica sono stati ridotti per tenere conto: di altre potenziali perdite di produzione quali l'accensione delle turbine eoliche al vento moderato, delle perdite elettriche lungo i cavidotti interni al Parco Eolico, della manutenzione e delle incertezze specifiche, delle possibili discrepanze rispetto ai modelli matematici.

In conclusione, la produzione energetica complessiva pari a 263,5 GWh/anno che equivale a circa 2.768 ore equivalenti a pieno carico, evidenzia come l'area di impianto sia perfettamente vocata allo sfruttamento della risorsa eolica, configurando la possibilità di installare turbine di ultima generazione efficaci ed efficienti capaci di ottenere il massimo rendimento dalle risorse dell'area.