



**COMUNE DI
TEMPIO PAUSANIA**



**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 BASSACUTENA",
DELLA POTENZA DI 61,2 MW, LOCALIZZATO
NEL COMUNE DI TEMPIO PAUSANIA
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	4
2	RIFERIMENTO NORMATIVO PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO	6
3	ULTERIORI RIFERIMENTI NORMATIVI INERENTI AL PRESENTE DOCUMENTO E AI RELATIVI ALLEGATI	7
4	BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI	8
4.1	DATI CARTOGRAFICI	8
4.1.1	Nazionale.....	8
4.1.2	Sovraregionale: Autorità di Bacino (https://autoritadibacino.regione.sardegna.it/).....	8
4.1.3	Regionale: GeoPortale Sardegna - https://www.sardegnegeoportale.it/	9
4.2	DATI SITOGRAFICI	11
4.2.1	Sovraregionale e regionale	11
4.2.2	Provinciale	11
4.2.3	Comunale	11
4.2.4	Altri riferimenti sitografici	11
5	DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO	13
6	ANALISI PRELIMINARE DEI DATI VENTO	17
6.1	SELEZIONE, CONFIGURAZIONE ED ANALISI	17
6.2	DATI MESOSCALA ERA5+ E WRF	17
6.3	ANEMOMETRO SATELLITARE	18
6.4	ERA5+, WRF COME ANALISI DEI DATI A LUNGO TERMINE	20
7	SPECIFICHE DELLA TURBINA DI PROGETTO E CURVA DI POTENZA	25
8	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E MAPPA DELLA RUGOSITA'	28
9	RISULTATI DELLO STUDIOANEMOLOGICO E STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA.....	31
9.1	MAPPA DELLA RISORSA EOLICA.....	31
9.2	STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA.....	31
9.2.1	Calcolo della produzione energetica annua lorda	33
9.2.2	CALCOLO DELLA PRODUZIONE ANNUA DI ENERGIA COMPRESIVA DELL'EFFETTO SCIA E DELLE PERDITE PER RIDUZIONE DI POTENZA	37
9.2.3	CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA NETTA ANNUA	42
10	CONCLUSIONI	44

1 PREMESSA

La società **Myt Eolo 1 S.r.l.**, d'ora in avanti indicato sinteticamente come il **“Proponente”**, ha elaborato il presente progetto per la produzione di energia rinnovabile da fonte eolica ubicato nel comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena, le cui opere ed infrastrutture connesse per il collegamento alla Rete di trasmissione Nazionale (di seguito RTN) ricadono nei comuni di Tempio Pausania 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 Bassacutena”, della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania 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”**.

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. Contando più di quaranta tra collaboratori e partners che quotidianamente operano con professionalità e riconosciute 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, abbinate 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. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6,8 MW per una potenza complessiva di impianto pari a 61,2 MW nel Comune di Tempio Pausania, Località Bassacutena, in provincia del Nord-Est Sardegna (di seguito "Parco eolico Bassacutena").

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 202201156, Terna S.p.A. prevede che il Parco Eolico Bassacutena venga collegato in antenna 36 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 150 kV "Aglientu – S. Teresa", previa realizzazione dei seguenti interventi previsti dal Piano di Sviluppo Terna:

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

Internamente al parco eolico, i singoli aerogeneratori saranno collegati mediante cavidotto interrato a 30kV alla Sottostazione Elettrica di condivisione e trasformazione 30/36 kV di proprietà dell'utenza (SSEU) previo collegamento precedente ad una cabina di smistamento e sezionamento (localizzata in prossimità del parco). Dalla SSEU 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 36 kV con la nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV/36kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "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 alla richiesta di realizzazione di un **“Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato “Parco Eolico Bassacutena”, della potenza di 61,2 MW, localizzato nel Comune di Tempio Pausania 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 "Aglentu-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).

Per le relazioni tecniche specialistiche, inoltre, i contenuti del d.Lgs. n° 36/2023 sono stati verificati ed eventualmente integrati con l'art. 26 del d.P.R. n° 207/2010 e ss. mm. e ii.

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 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: il Parco Eolico Bassacutena ha il potenziale anemologico per garantire una produzione energetica stimata pari a 2938 MWh/MW ad un’altezza di 118m s.l.m., rispettando appieno i requisiti della Delibera 59/90.

4 BASE DEI DATI CARTOGRAFICI, BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

4.1 DATI CARTOGRAFICI

4.1.1 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 – 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>)

4.1.2 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

4.1.3 Regionale: GeoPortale Sardegna - <https://www.sardegnameoportale.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



REGIONE AUTONOMA
DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

NAVIGATORI

ACCESSO AI DATI

AREE TEMATICHE

STRUMENTI

DOCUMENTAZIONE

AGENDA

CONTATTI

Cerca nel sito

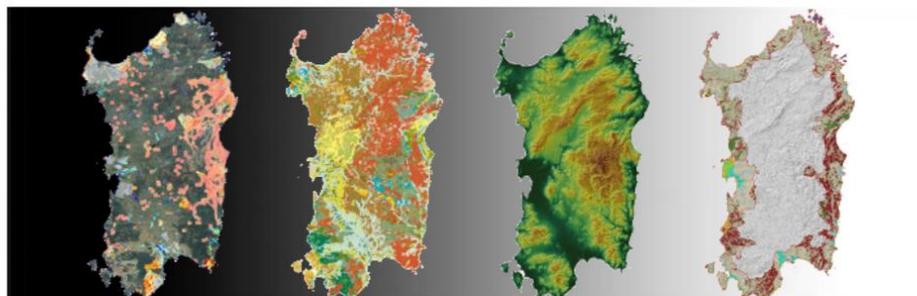


sardegna geoportale / aree tematiche

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.



4.2 DATI SITOGRAFICI

4.2.1 Sovraregionale e regionale

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

4.2.2 Provinciale

- 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)

4.2.3 Comunale

I riferimenti consultabili sono i seguenti:

- https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=monitoraggio_strumenti_urbanistici
- http://webgis.regione.sardegna.it/puc_serviziconsultazione/ElencoComuni.ejb
- Comune di Tempio Pausania: <https://comuneditempiopausania.it/>
- Comune di Aglientu: <https://comune.aglientu.ot.it/index.php>

4.2.4 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/sq>

- 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>

5 DESCRIZIONE SINTETICA DEI CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Il presente lavoro ha lo scopo di verificare la bontà anemologica del sito scelto per il Parco Eolico Bassacutena 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 chiroterofauna, per la quale si rimanda alle specifiche relazioni 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	Latitudine	Longitudine
B_1	Tempio Pausania	522321	4553711
B_2	Tempio Pausania	522812	4553580
B_3	Tempio Pausania	523068	4553880
B_4	Tempio Pausania	522358	4553338
B_5	Tempio Pausania	523838	523838
B_6	Tempio Pausania	524187	4553501
B_7	Tempio Pausania	522137	4552781
B_8	Tempio Pausania	522085	4552491
B_9	Tempio Pausania	524002	4555204

Tabella 1. 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 Bassacutena 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 9 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 9 aerogeneratori di

ultima generazione, con un generatore di potenza nominale 6.8 MW, riducendo il numero delle torri inizialmente previsto in 11 aerogeneratori da 5.56 MW, andando conseguentemente a ridurre l'impatto generato dal Parco Eolico Bassacutena per via del minor numero di installazioni, pur mantenendo pressoché invariata la potenza nominale dell'impianto nel suo insieme, pari a 61,2 MW.

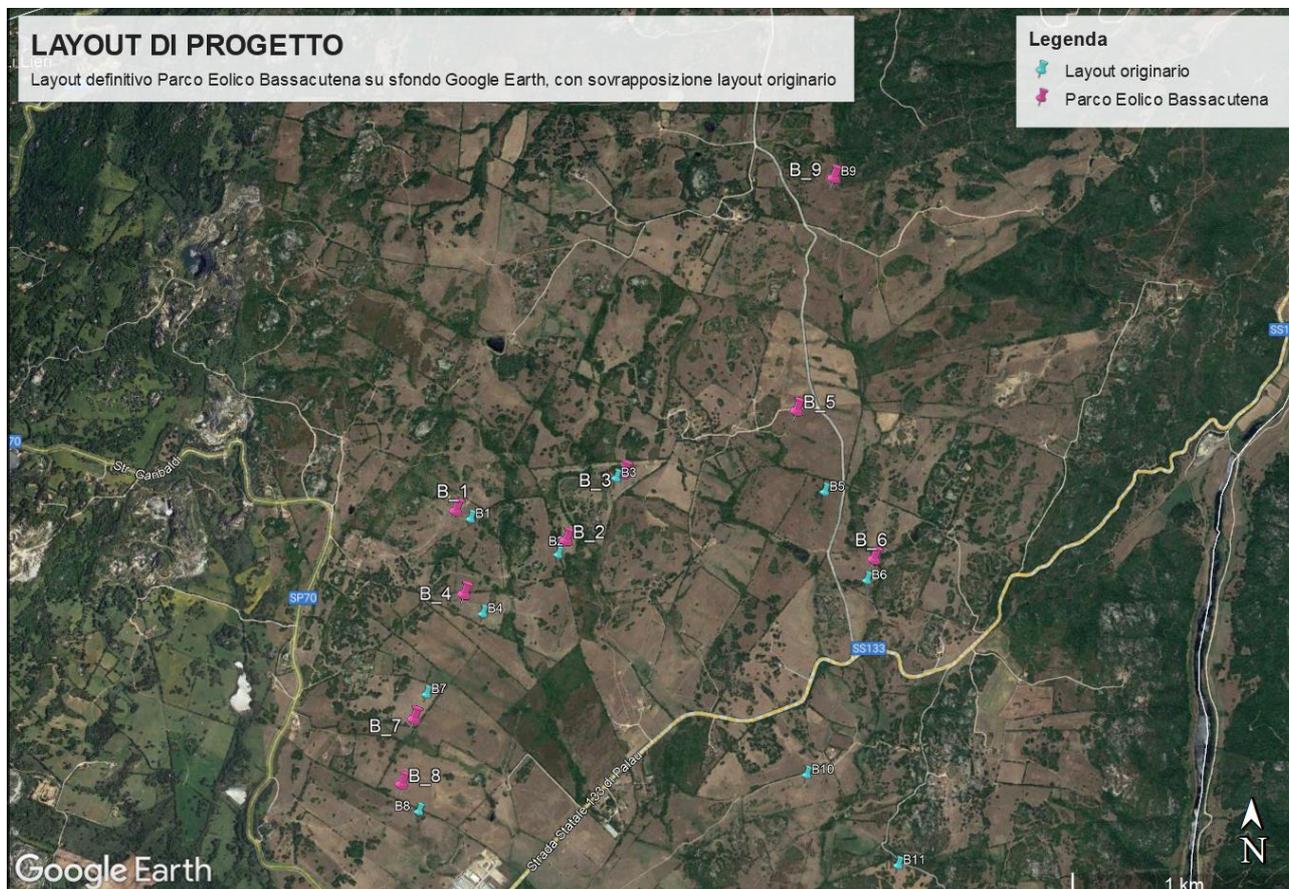


Figura 1. Layout definitivo Parco Eolico Bassacutena su sfondo Google Earth, rispetto all'idea originale di layout (poi accantonata)

Il Parco Eolico, secondo le ipotesi di cui al presente elaborato, permetterebbe una produzione di energia elettrica da fonte eolica di oltre 179.809 MWh annui, pari a 2.938 ore annue equivalenti, tali da soddisfare il fabbisogno energetico annuale di circa 66.500 famiglie¹.

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.

¹ Dati ARERA: Una famiglia media, formata da ¼ 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>

Il presente lavoro ha tenuto conto dello stato attuale dell'area, indentificando puntualmente la presenza di aerogeneratori di piccola taglia (cosiddetto Mini-eolico) dislocati 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.

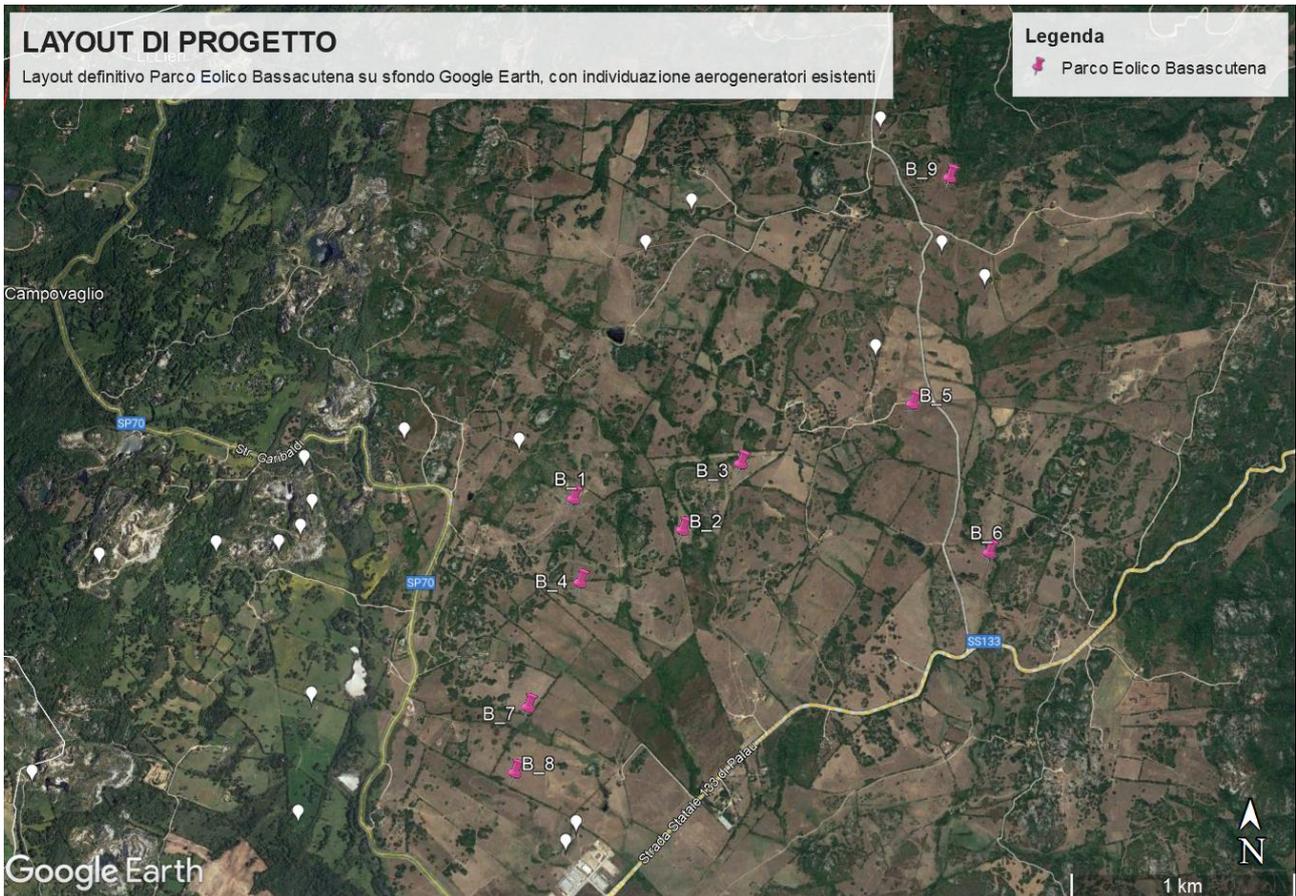


Figura 2. Parco Eolico Bassacutena su sfondo Google Earth, con individuazione aerogeneratori esistenti

L'ottimo rapporto di producibilità di cui al capitolo 9 *RISULTATI DELLO STUDIOANEMOLOGICO 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.

6 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI VENTO

6.1 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 Bassacutena, 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 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.

6.2 DATI MESOSCALA ERA5+ E WRF

Per ottenere il miglior risultato stimato preliminare, Renx Italia S.r.l. (il Progettista) 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).

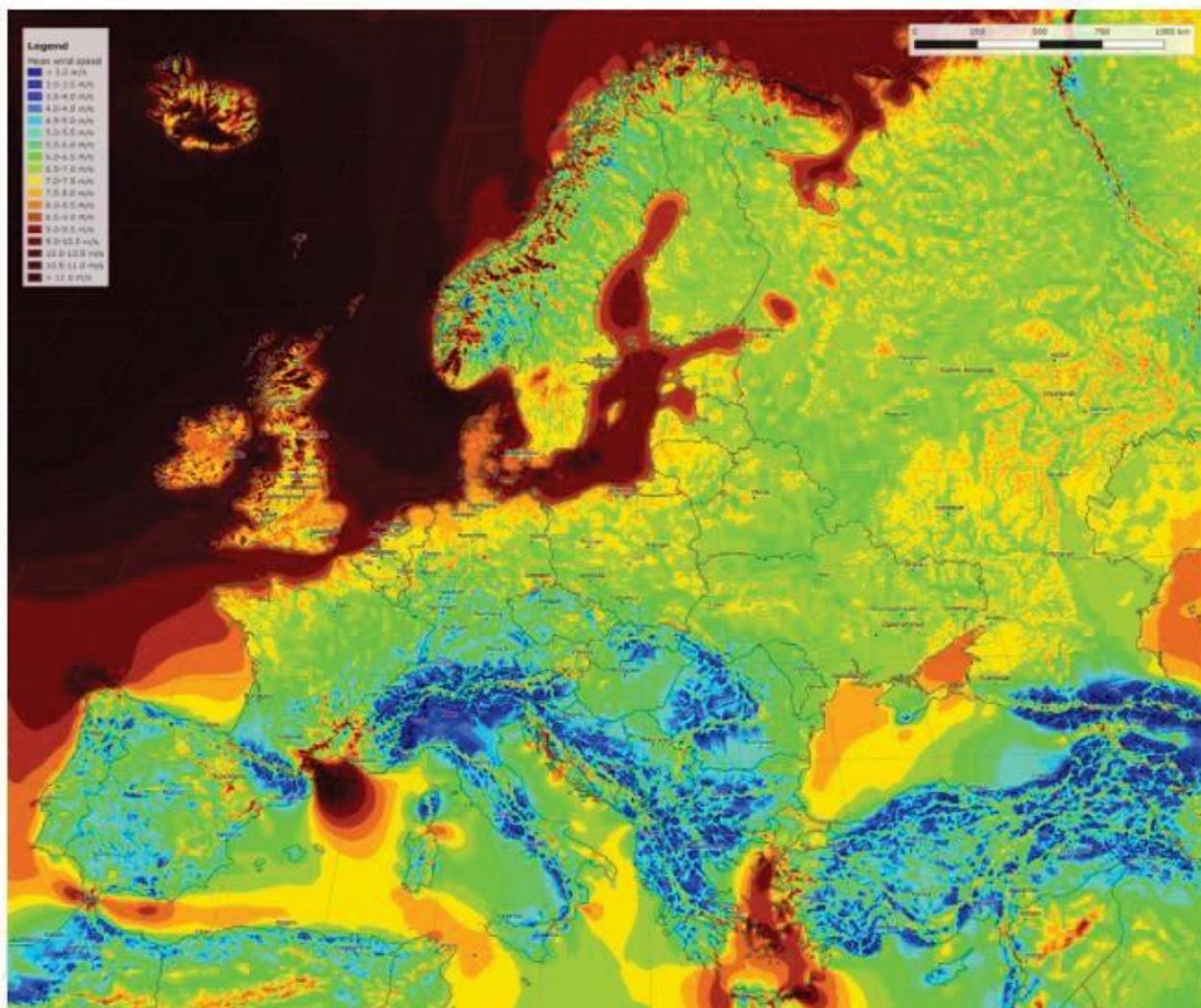


Figura 3. Modello dati mesoscala EMD WRF EUROPE (ERA5+).²

6.3 ANEMOMETRO SATELLITARE

Il vantaggio principale dell'utilizzo del set di dati premium è la possibilità di scegliere un punto di dati molto più vicino al luogo di ipotetico impianto, in cui sono state calcolate ed estrapolate tutte le condizioni e i fattori del vento. E che distano 900m dal preventivato Parco Eolico Bassacutena. Una volta installata fisicamente una torre di rilevazione anemometrica sul sito e terminata la

² Fonte Sito EDM: <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 Figura 4 di inquadramento dell'area 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: 522 483

Nord: 4 554 683

La torre anemometrica in corso di installazione, la quale verrà collocata nei pressi dell'aerogeneratore di progetto B_3, risponde alle seguenti coordinate:

Est: 523 055

Nord: 4 553 855

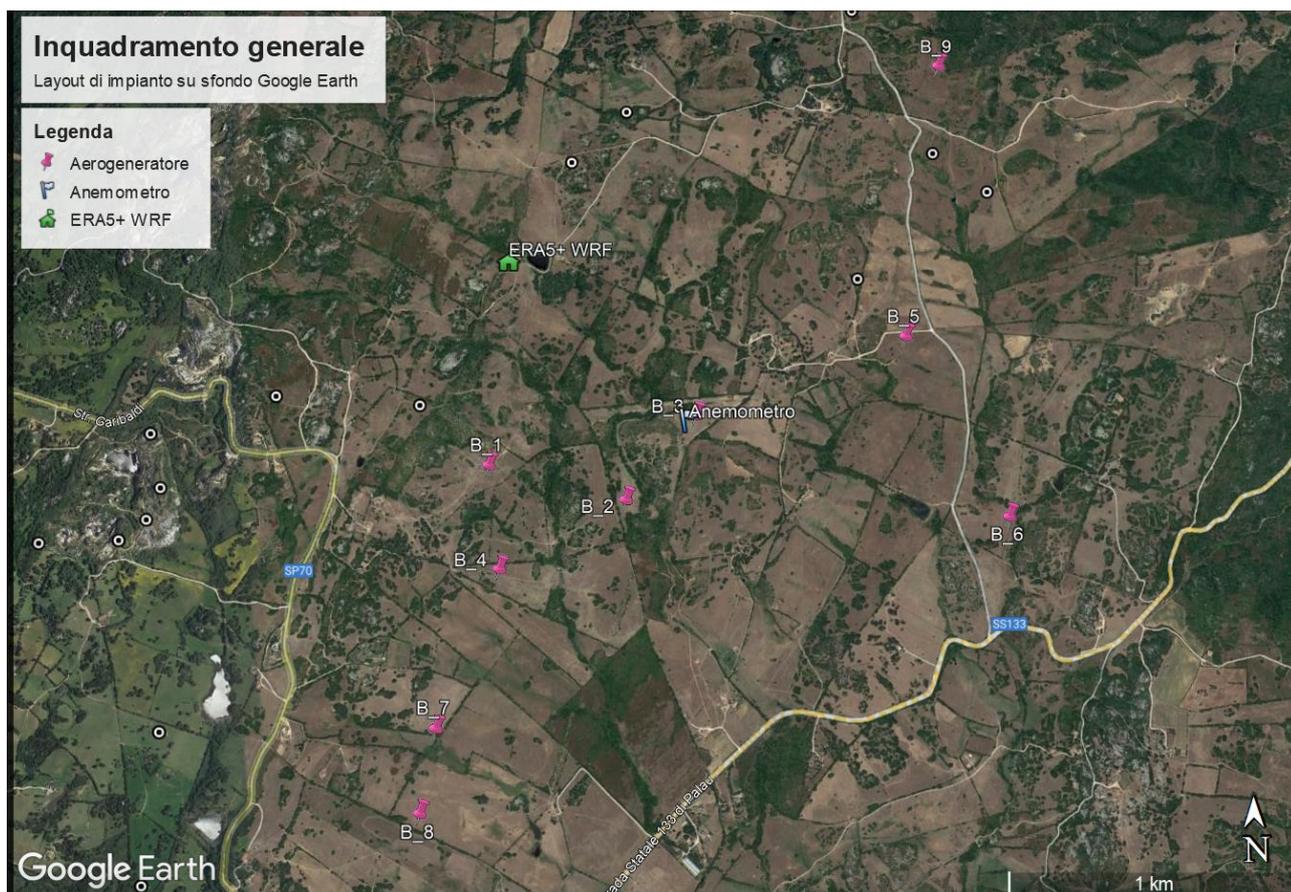


Figura 4. Immagine da Google Earth che mostra la posizione del Met Mast, dell'anemometro satellitare EMD WRF ERA5+ e il layout del progetto.

6.4 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 5:

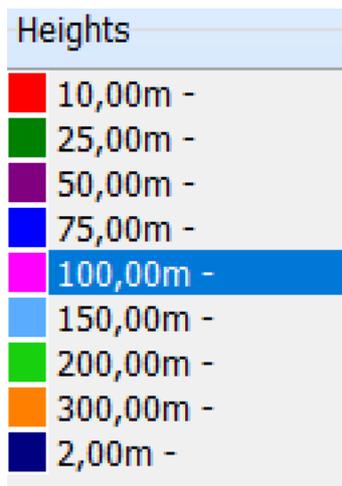


Figura 5. Dati vento ERA5+ disponibili per varie quote sul piano campagna

I dati del vento di cui alla Tabella 2 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	7,91 m/s
Direzione del vento	281,8°
Intensità della turbolenza	0,0793
Densità dell'area ρ	1,189kg/m3.
Temperatura	16°C

Tabella 2. Dati vento Stazione Meteorologica Olbia-Costa Smeralda

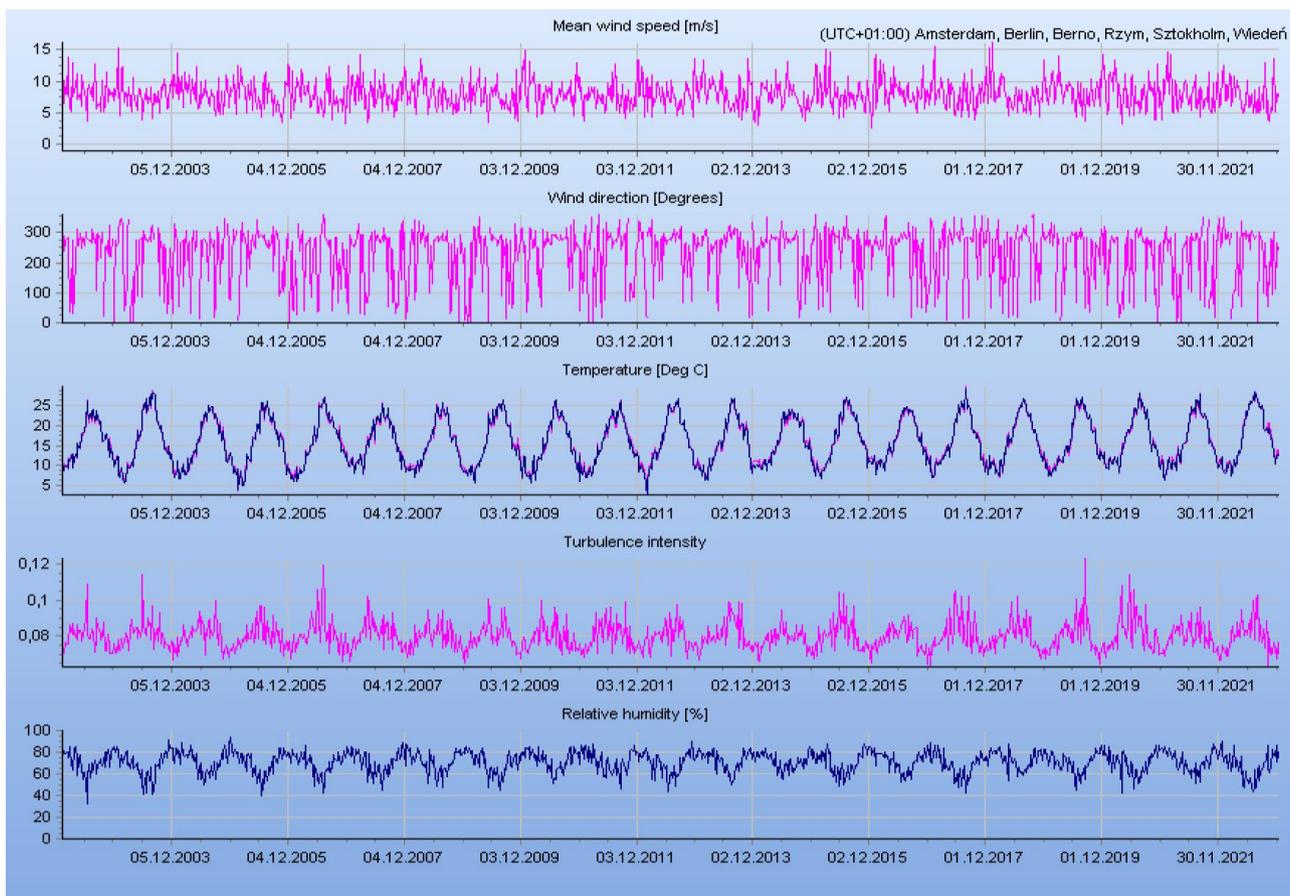


Figura 6. Rappresentazione grafica delle serie temporali per gli ultimi 20 anni per i principali dati meteo:
 a) velocità media del vento,
 b) direzione del vento,
 c) temperatura,
 d) intensità della turbolenza,
 e) umidità relativa

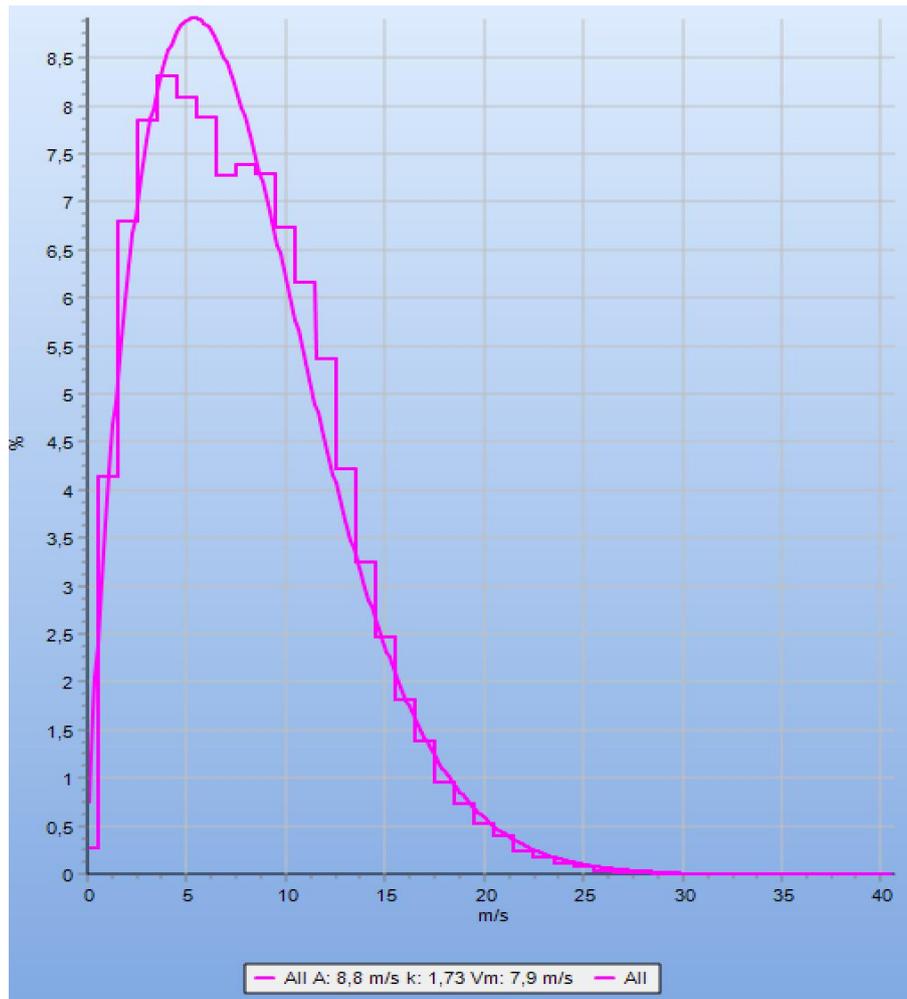


Figura 7. Distribuzione di Weibull della velocità del vento in tutti i settori alla quota selezionata di 100m

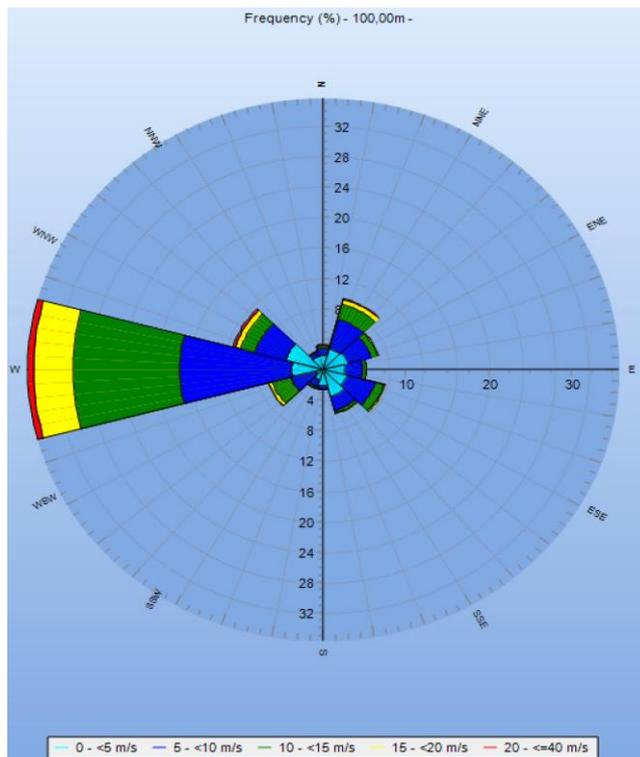


Figura 8. Mappa della frequenza, ripartita nei 12 settori direzione-vento e rappresentata per velocità del vento (m/s)

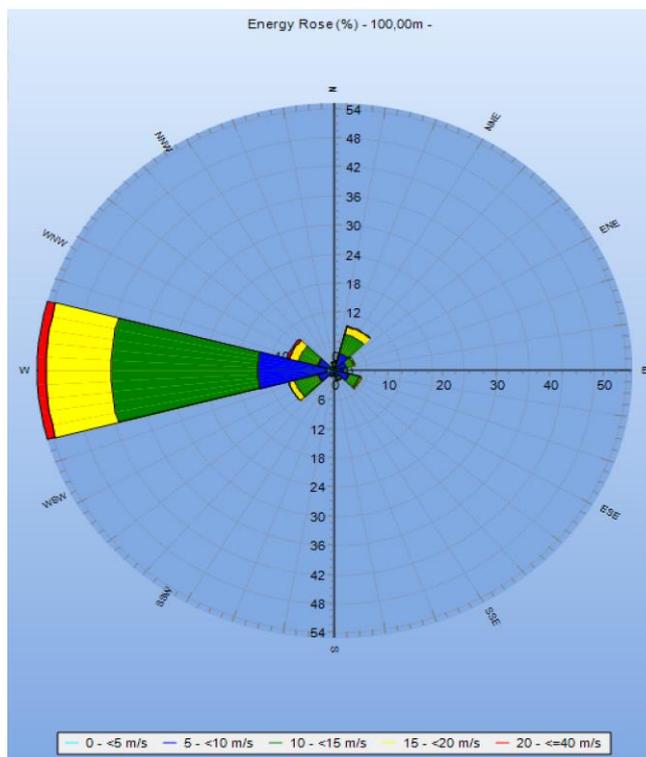


Figura 9. Mappa della produzione energetica in percentuale, ripartito nei 12 settori direzione-vento e rappresentata per velocità del vento (m/s)

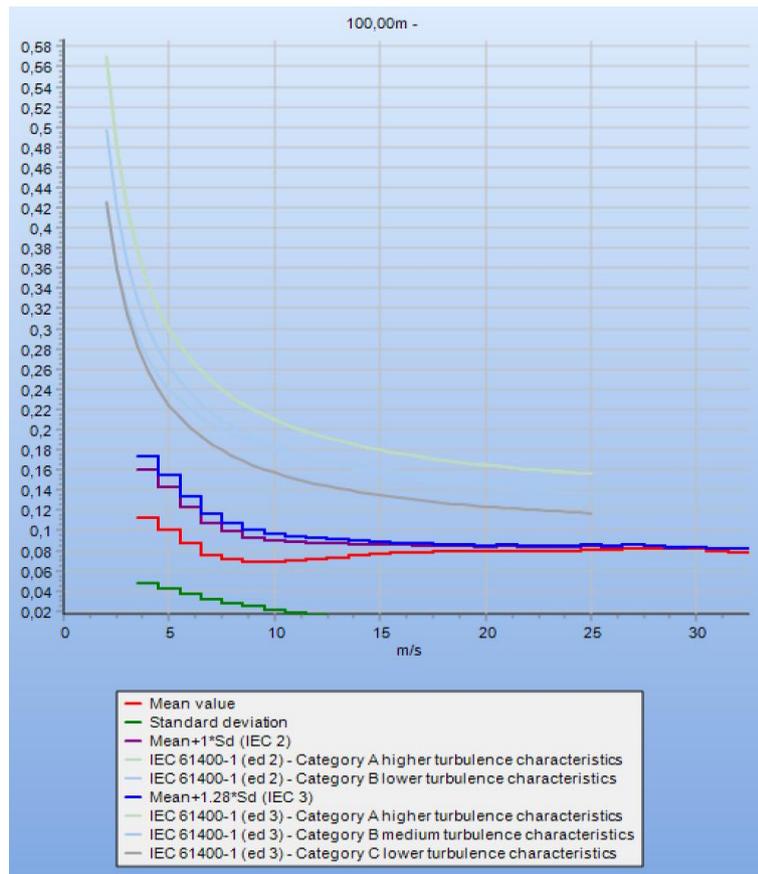


Figura 10. Intensità della turbolenza in tutti i settori rispetto alle norme IEC 61400-1

7 SPECIFICHE DELLA TURBINA DI PROGETTO E CURVA DI POTENZA

Gli aerogeneratori di progetti preventivati per il Parco Eolico Bassacutena 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 (6800 kW)
- Diametro rotore: 163m,
- Altezza navicella/ Altezza al mozzo: 118m,
- Altezza sommitale del puntale: 199,5m



Figura 11. Turbina Nordex N163 6.X di progetto

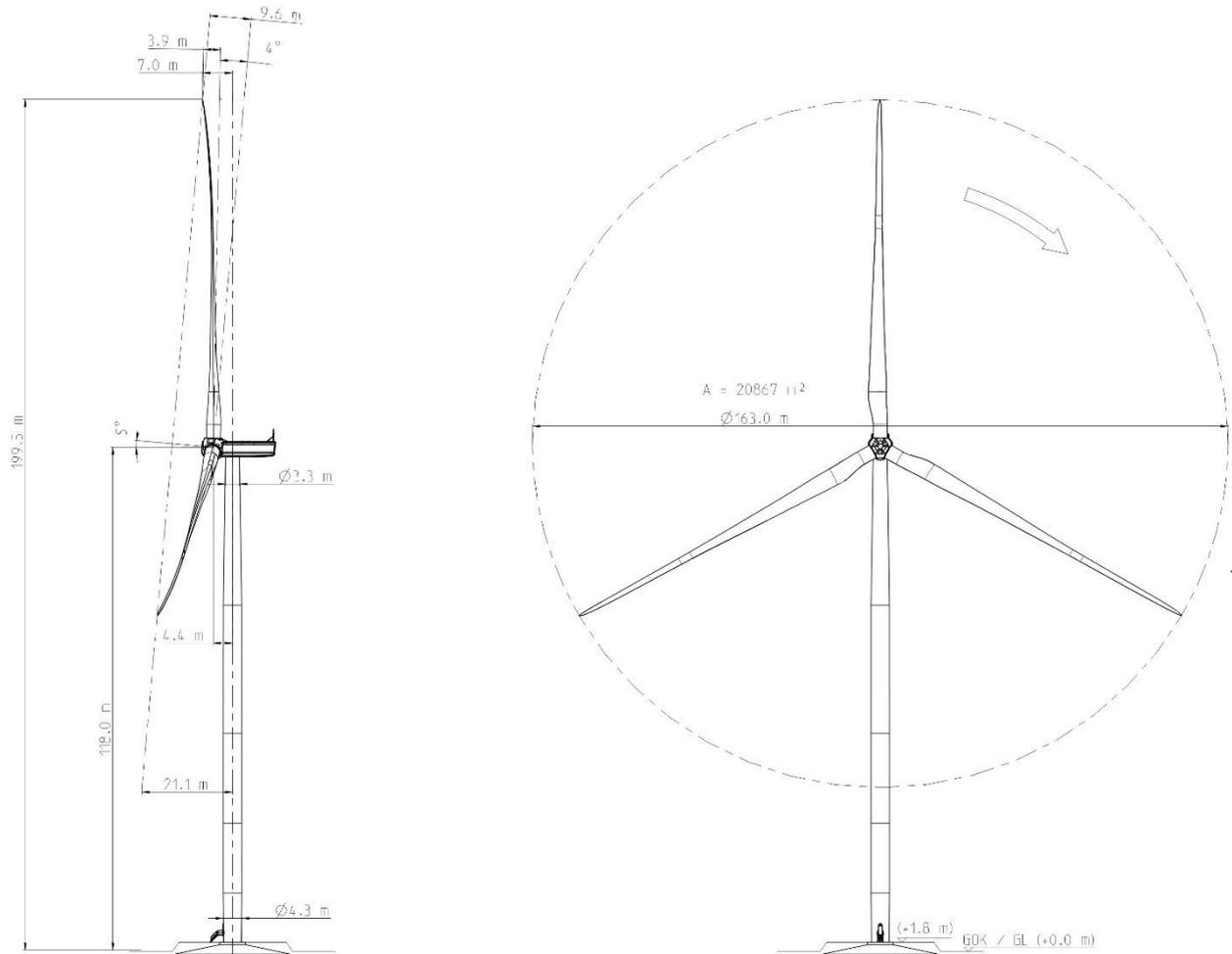


Figura 12. Dimensioni della turbina di Progetto NORDEX N163 6.X.

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 13. Dettaglio Pala Eolica Serrated Trailing Edge (STE)

La Figura 14 mostra la curva di potenza della macchina selezionata per il Parco Eolico Bassacutena 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.

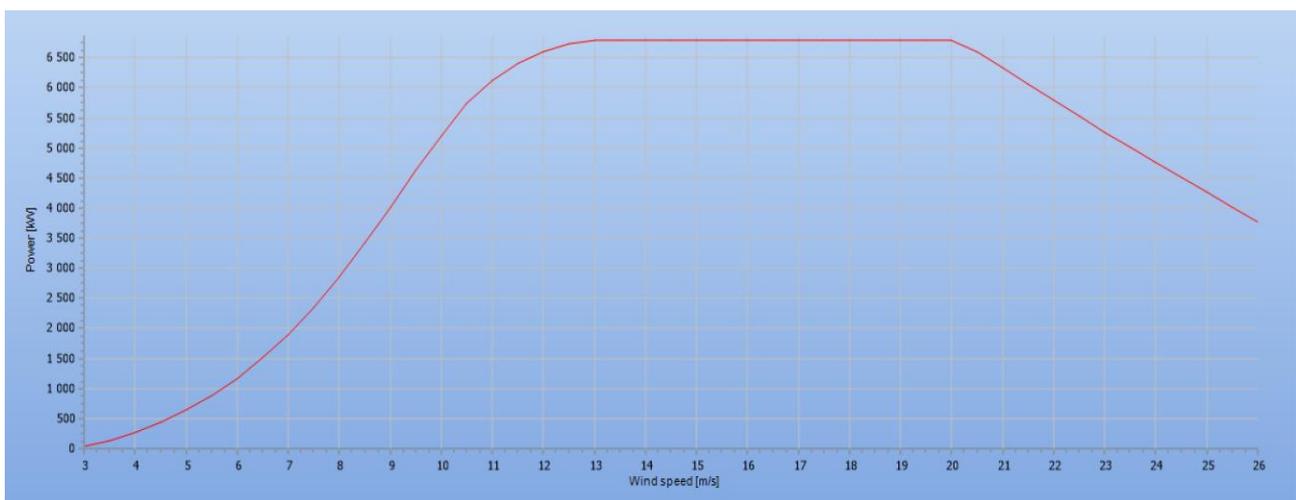


Figura 14. Curva di Potenza della turbina per densità dell'aria $\rho = 1,189 \text{ kg/m}^3$

8 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E MAPPA DELLA RUGOSITA'

Il sito di impianto del Parco Eolico Bassacutena si estende su un'area di circa 2.89 Km², adagiato su morbide colline che scendono a nord del centro abitato di 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 20.100 m x 20.100 m, discretizzata in 4.004.001 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 3 riassume le caratteristiche dei modelli di terreno utilizzati:

Area [m]	Numero di celle	Z ₀ [m]	Risoluzione spaziale [m]
20.100 x 20.100	4.004.001	variable between 0.001 ÷ 1,5	X = 10

Tabella 3. Input per il calcolo della rugosità

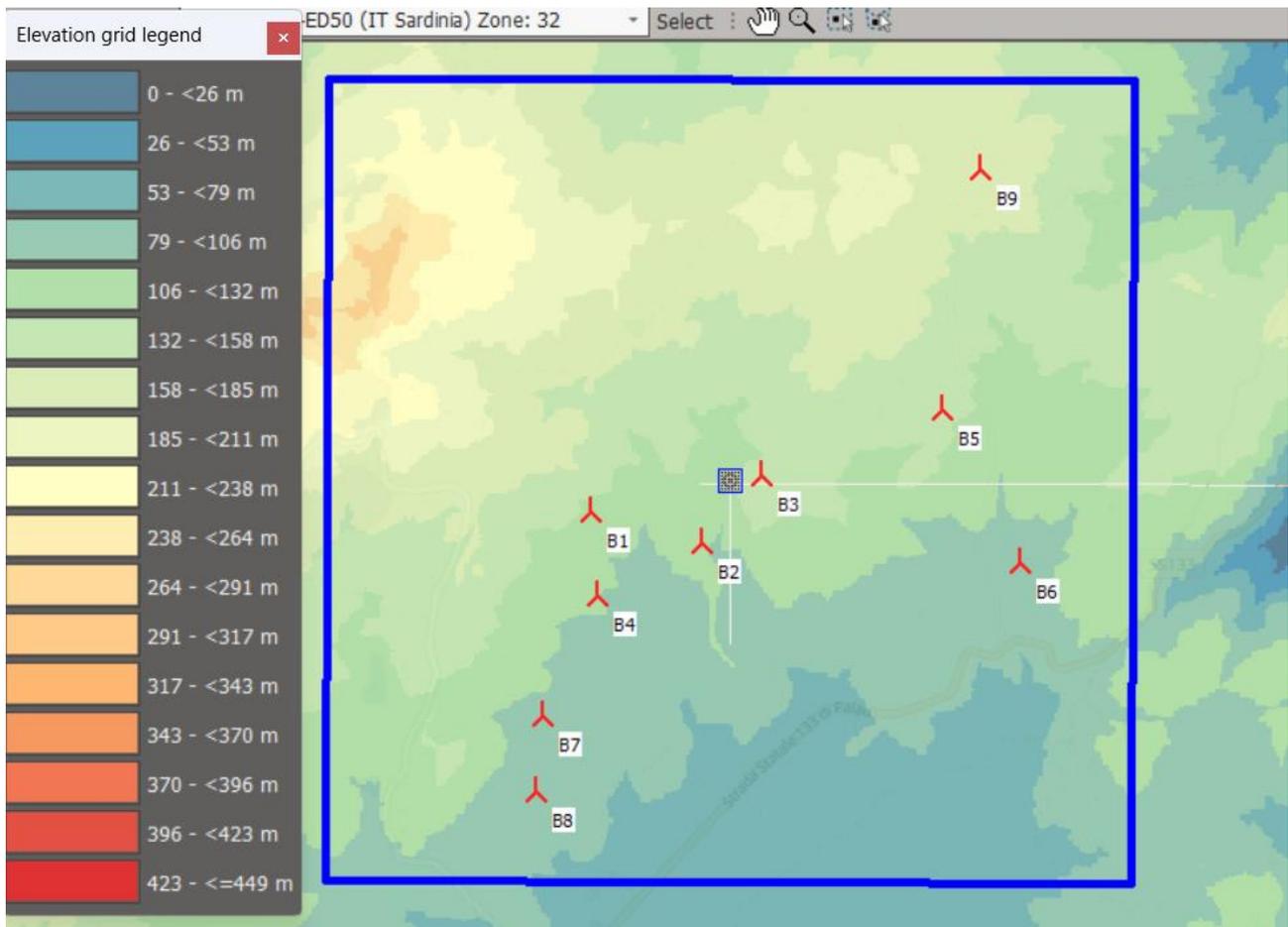


Figura 15. Rappresentazione grafica del layout definitivo di progetto su modellazione DTM.
 Fonte: WindPro

Di seguito è riportata in Figura 16 la mappa di rugosità realizzata come input per il calcolo della produzione di energia, fondamentale per il flusso del vento. Essa, infatti, rappresenta graficamente gli ostacoli naturali al flusso del vento che spira sull'area, diversificati sulla base del tipo di ostacolo, ed assegna ad ognuno di questi dei valori di rugosità che permettono di mappare quelle zone laddove il flusso potrebbe subire distorsioni per effetto di questi.

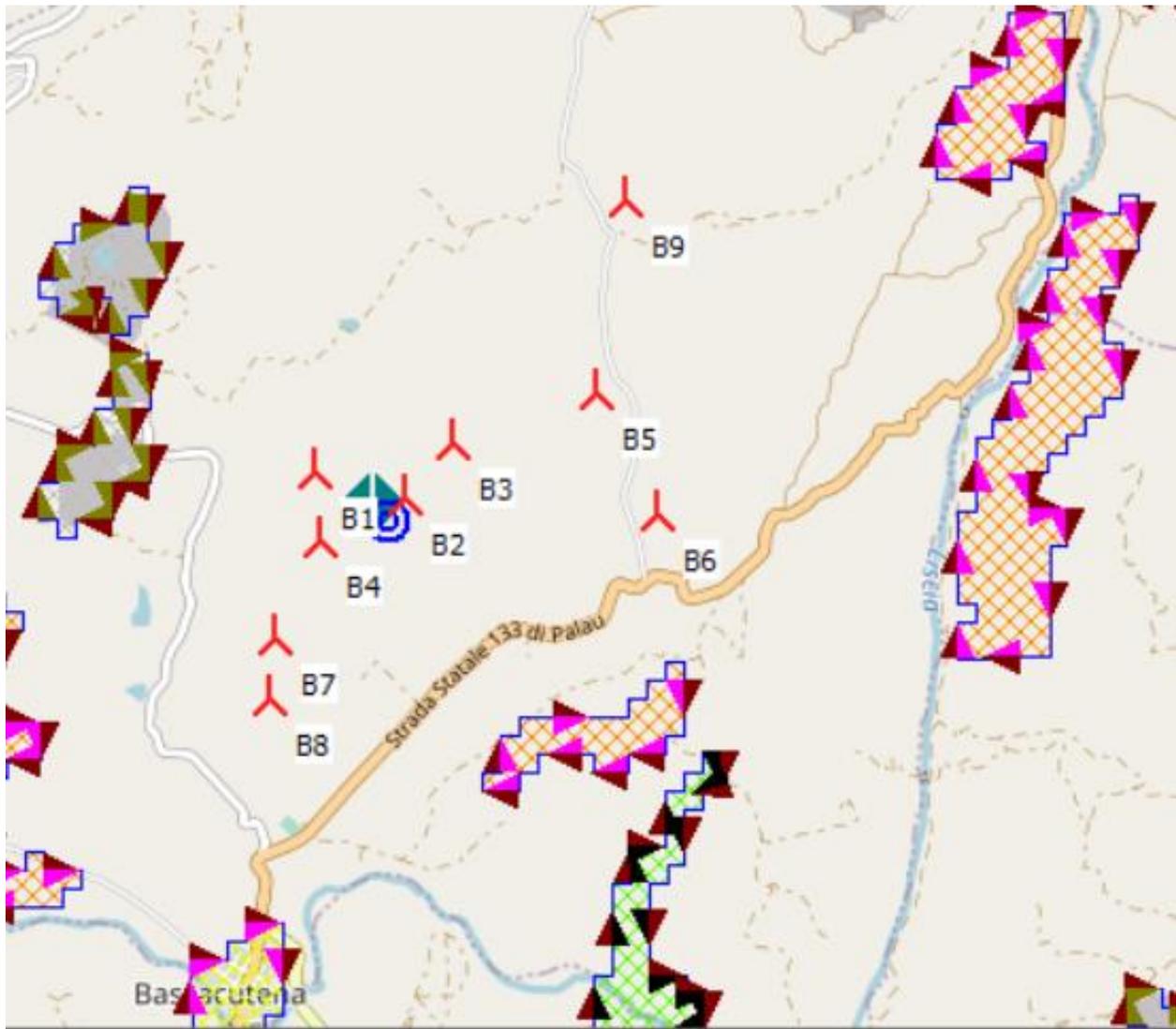


Figura 16. Mappa della rugosità dell'area utilizzata come input per la realizzazione del modello digitale del terreno con sovrapposizione layout definitivo di progetto. Fonte: WindPro

9 RISULTATI DELLO STUDIO ANEMOLOGICO E STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA

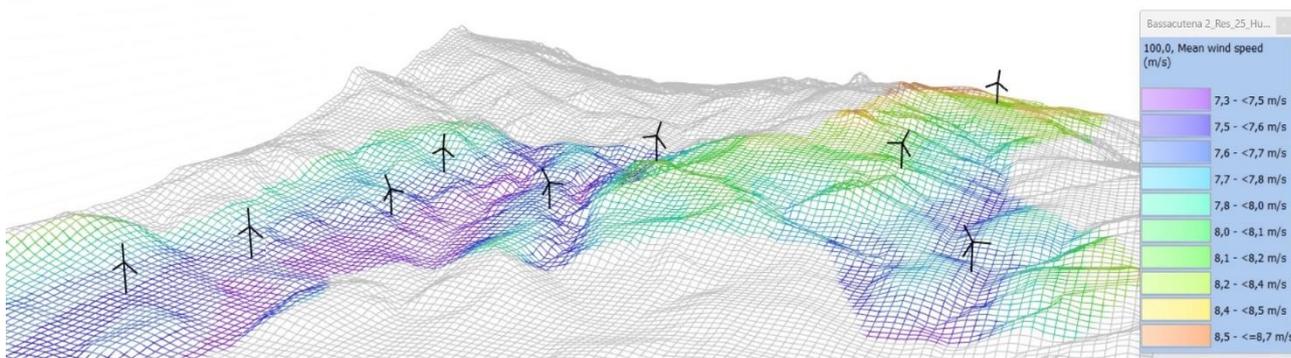
9.1 MAPPA DELLA RISORSA EOLICA

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, sia a livello spaziale dell'area considerata, sia in direzione verticale fino all'altezza della navicella del rotore, delle misure di vento disponibili, per il posizionamento più corretto delle turbine eoliche.

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 sul 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 delle curve di livello descritta Figura 17.
- Mappa di rugosità esportata in mappa di curve di livello descritta Figura 16.

9.2 STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA



Partendo dall'immissione dei dati relativi al campo di vento calcolato per ogni settore e dalla

Figura 17. Mappa della risorsa eolica – modellizzazione tridimensionale

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) si deve applicare la curva di potenza della macchina per la densità specifica dell'aria e calcolare la turbolenza creata dalla

eventuale presenza di altre turbine eoliche nell'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 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 su "N.O Jensen Park 2 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.

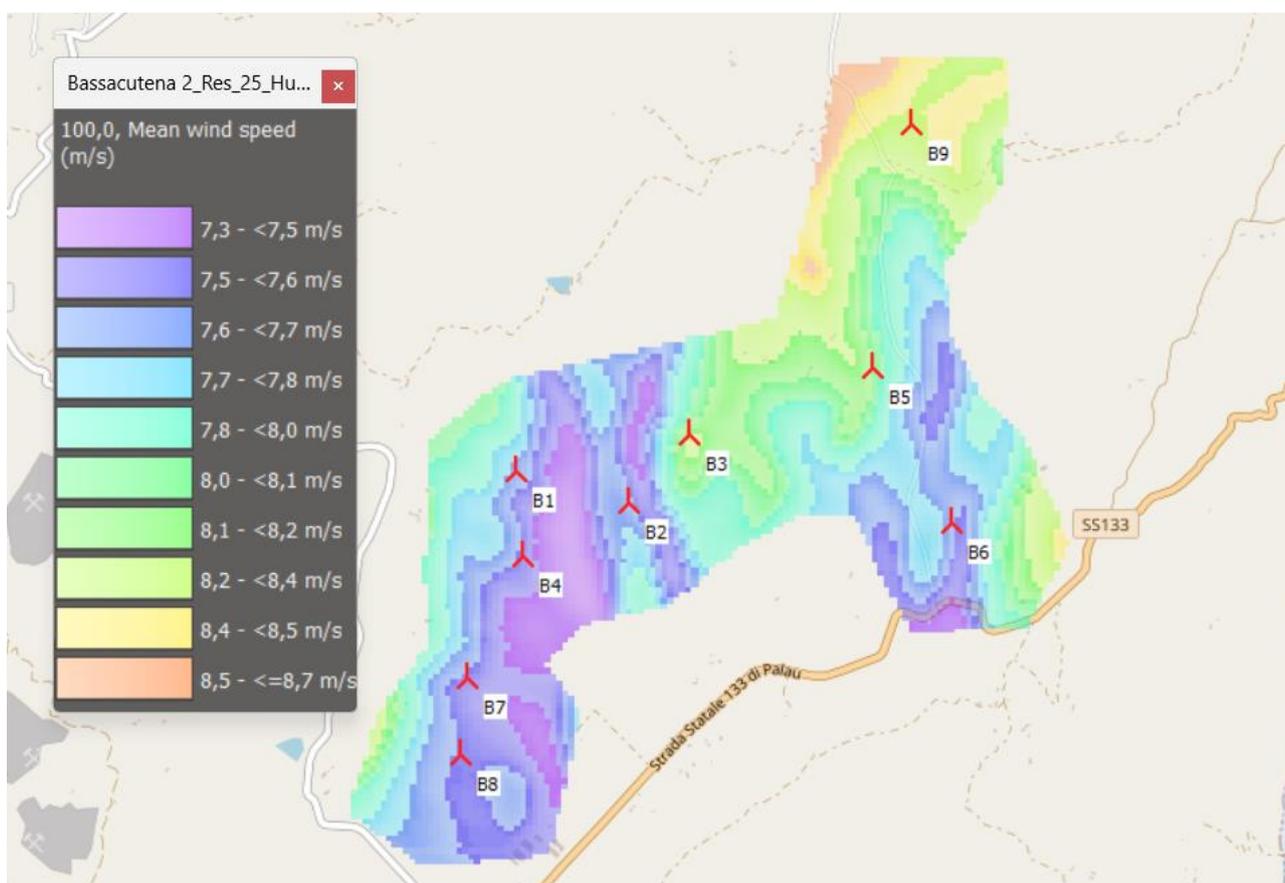


Figura 18. Mappa della risorsa eolica basata sui dati ERA5+ & WRF Wind, dimensioni delle celle: 25m x 25m

9.2.1 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 sul sito di interesse. Perciò, 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 Figura 19 di seguito rappresentata:

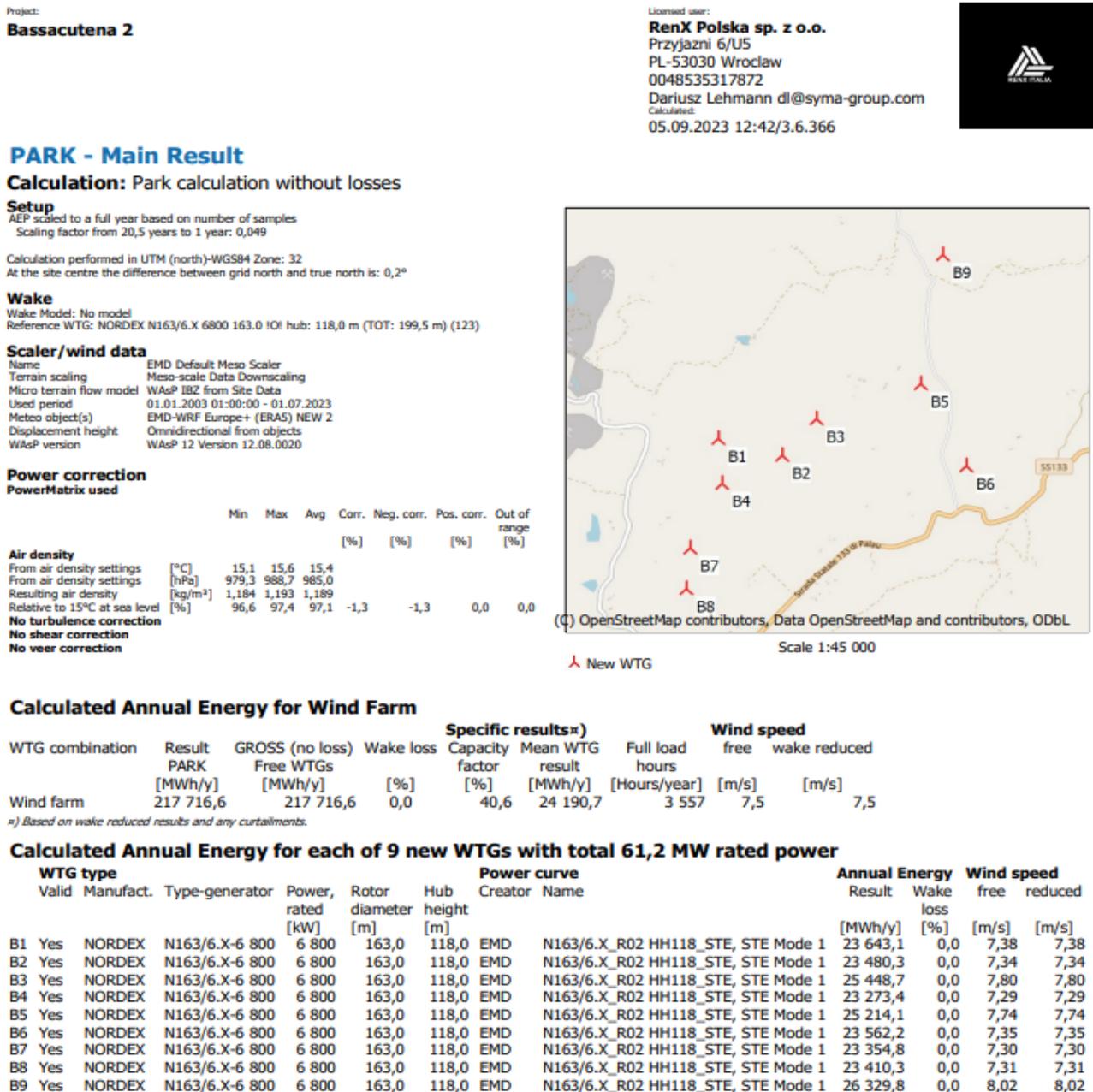


Figura 19. Rapporto del parco che mostra la produzione di energia riassunta e suddivisa per ogni turbina, compresi i fattori cruciali: Fattore di capacità (%), ore a pieno carico (h) e velocità del vento annuale (m/s)

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. Nella fattispecie, il Parco Eolico Bassacutena ha il potenziale eolico per produrre annualmente 217.716.600 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 di cui gli aerogeneratori di progetto a marchio Nordex sarebbero attrezzati.

Nella sezione “Calculated Annual Energy for each of 9 new WTGs with total 61.2 MW rated power” (produzione energetica annua calcolata per ciascuna delle 9 nuove WTG con una potenza nominale totale di 61,2 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*).

Ad esempio, per la turbina B_1 di progetto, si calcolano 23.643,1 MWh/anno di produzione annua.

Dividendo tale valore per la potenza nominale della turbina: $23.643,1 \text{ MW} \div 6.8 \text{ MW} \approx 3477 \text{ ore}$.

In un anno si contano 8760 ore, da cui $3477 \div 8760 = 39.7\%$, dato comparabile con il fattore di capacità medio del progetto che è pari al 40,6%.

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]	3 922,3	21 117,9	8 621,4	4 935,8	11 724,5	5 563,6	655,8	3 726,4	20 792,3	117 754,9	17 850,0	1 051,7	217 716,6	
Resulting energy [MWh]	3 922,3	21 117,9	8 621,4	4 935,8	11 724,5	5 563,6	655,8	3 726,4	20 792,3	117 754,9	17 850,0	1 051,7	217 716,6	
Specific energy [kWh/m ²]													1 159	
Specific energy [kWh/kW]													3 557	
Full Load Equivalent [Hours/year]		64	345	141	81	192	91	11	61	340	1 924	292	17	3 557

Figura 20. Analisi direzionale delle ore di pieno carico all'anno per i parchi eolici suddivisi in 12 settori

La precedente Figura 20 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 21.

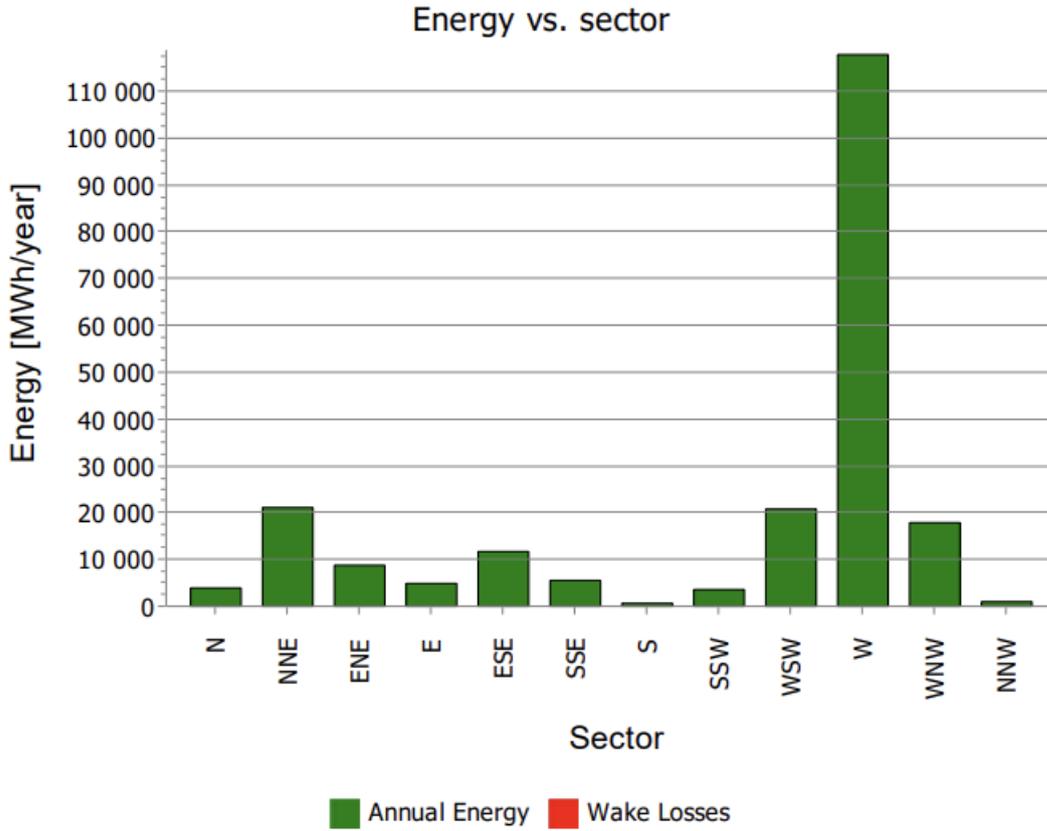


Figura 21. Istogramma della produzione energetica annua espressa in MWh, suddivisa per direzione del vento

La successiva Figura 22 raffigura mediante istogramma la produzione energetica lorda stimata del Parco Eolico Bassacutena suddivisa per mese di operatività. Ne risulta che i mesi di maggiore produzione sono Gennaio e Marzo, mentre il mese relativamente meno produttivo sembra essere Settembre.

Windfarm: 61,2 MW based on 9 turbines of type NORDEX N163/6.X 6800 163.0 !O!
 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.

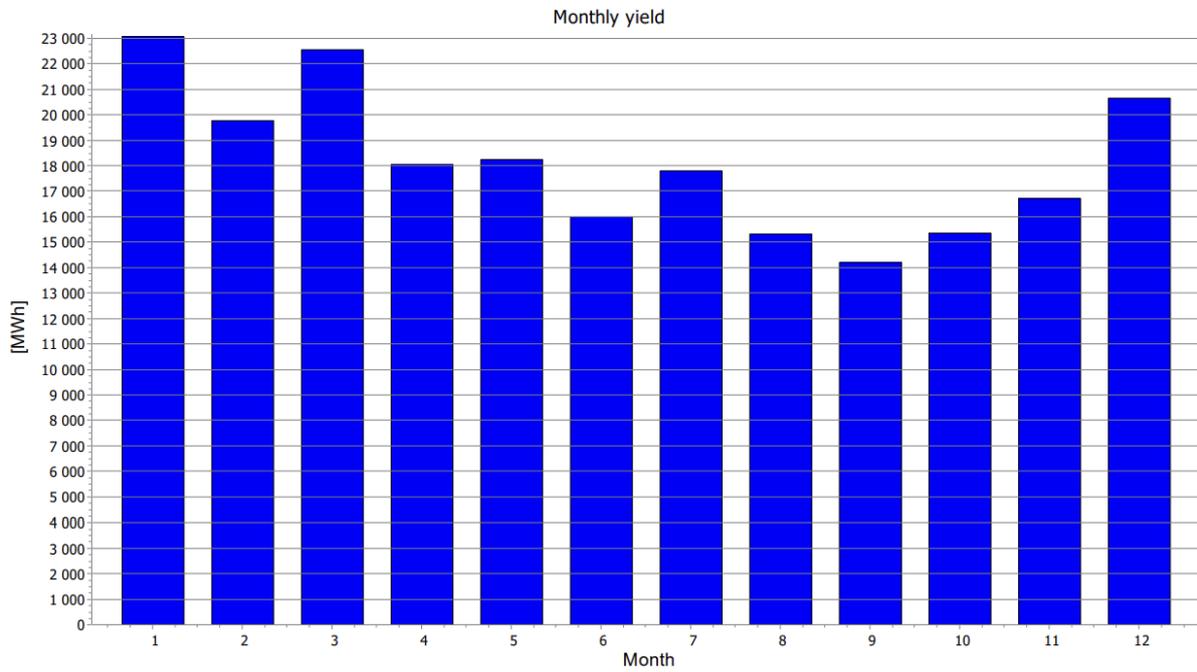


Figura 23. Diagramma di rendimento mensile (MWh) riferito al mese specifico

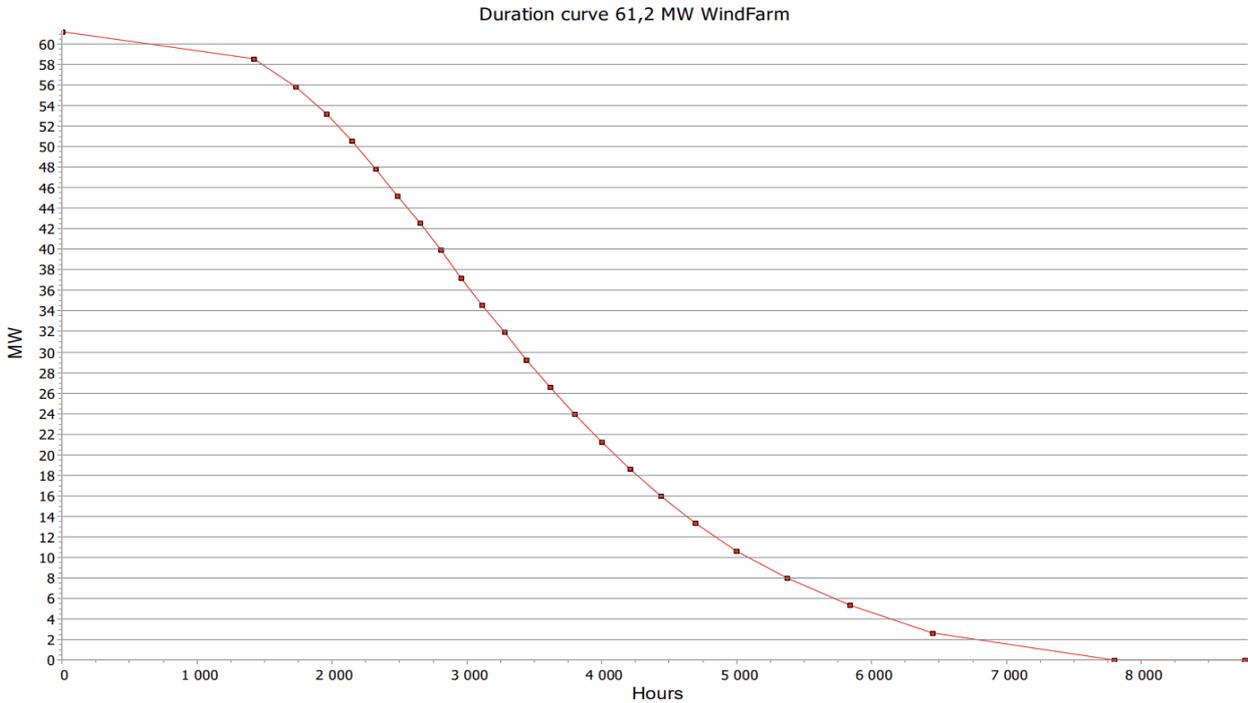


Figura 22. Diagramma della curva di durata del carico che rappresenta il carico (MW) e il tempo (h)

9.2.2 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 anche in grado di valutare se i risultati sono realistici o meno. Le tante relazioni dettagliate 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 di seguito:

Project:
Bassacutena 2

Licensed user:
RenX Polska sp. z o.o.
Przyjazni 6/U5
PL-53030 Wrocław
0048535317872
Dariusz.Lehmann.dl@syma-group.com
Calculated:
05.09.2023 11:18/3.6.366



PARK - Main Result

Calculation: DAY+NIGHT REDUCED

Setup

AEP scaled to a full year based on number of samples
Scaling factor from 20,5 years to 1 year: 0,049

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 (RISØ/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 10! hub: 118,0 m (TOT: 199,5 m) (123)

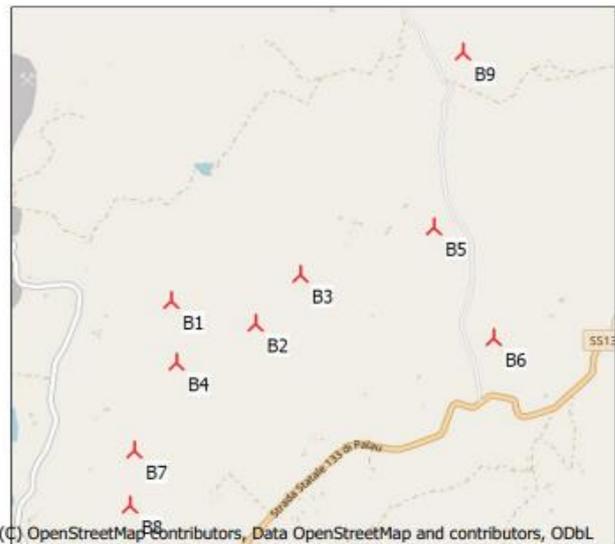
Scaler/wind data

Name: EMD Default Meso Scaler
Terrain scaling: Meso-scale Data Downscaling
Micro terrain flow model: WASP 1BZ from Site Data
Used period: 01.01.2003 01:00:00 - 01.07.2023
Meteo object(s): EMD-WRF Europe+ (ERAS) NEW 2
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]	15,1	15,6	15,4			
From air density settings	[hPa]	979,3	988,7	985,0			
Resulting air density	[kg/m³]	1,184	1,193	1,189			
Relative to 15°C at sea level	[%]	96,6	97,4	97,1	-1,3	-1,3	0,0
No turbulence correction							
No shear correction							
No veer correction							



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

New WTG

Scale 1:40 000

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		Wind speed		
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	free [m/s]	wake reduced [m/s]
Wind farm	179 809,7	217 716,6	12,7	4,7	33,5	19 978,9	2 938	7,5	7,3

⇒ Based on wake reduced results and any curtailments.

Calculated Annual Energy for each of 9 new WTGs with total 61,2 MW rated power

WTG type		Power curve					Annual Energy			Wind speed			
Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Creator	Name	Result	Curtailment loss [%]	Wake loss [%]	free [m/s]	reduced [m/s]	
B1	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	17 106,3	24,9	2,7	7,38	7,24
B2	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	18 648,3	7,8	12,8	7,34	6,81
B3	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	22 003,8	8,2	5,3	7,80	7,56
B4	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	20 666,4	8,1	3,1	7,29	7,14
B5	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	18 134,7	24,5	3,5	7,74	7,58
B6	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	21 224,3	1,6	8,4	7,35	7,03
B7	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	16 645,0	24,8	3,9	7,30	7,13
B8	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	21 374,0	5,5	3,2	7,31	7,18
B9	Yes	NORDEX	N163/6.X-6 800	6 800	163,0	118,0	EMD	N163/6.X_R02 HH118_STE, STE Mode 1	24 007,0	8,4	0,4	8,02	8,01

Figura 24. 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 Figura 24 di cui sopra vengono 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 Bassacutena annovera una produzione energetica annua netta di **179.809,7 MWh** annui, già al netto delle interferenze dovute agli effetti scia e delle limitazioni imposte dagli studi specialistici, 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 37.906,9 MWh annui, pari ad una riduzione dell'output di impianto del 17,4%. Tale prospettiva, seppur coercitiva sia in termini di minor produzione energetica rinnovabile, che proprio in virtù dell'installazione va cercata di ottimizzare al fine di ottenere il massimo risultato produttivo con i minori impatti, sia in termini di minore redditività del parco eolico stesso – ad una minor produzione energetica ne conseguono direttamente minori introiti derivanti dalla vendita dell'energia -, sia in termini di periodo temporale di produzione energetica (ricordiamo che, tra le fonti ad energia rinnovabile, la componente eolica permette la produzione di energia anche durante la notte, al contrario di quella fotovoltaica che produce soltanto in periodo diurno), non grava in maniera tale da inficiare la fattibilità tecnico-economica dell'impianto il quale, sfruttando un sito di impianto particolarmente ventoso, permette di ottenere una produzione annua netta di 179.809,7 MWh annui, tali da soddisfare il fabbisogno energetico annuo di circa 66.500 famiglie³.

³ Dati ARERA: Una famiglia media, formata da ¼ componenti, con residenza nell'abitazione e con un contatore di 3kW di potenza consuma annualmente circa 2700 kWh di energia all'anno.

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

Il fattore di capacità (*capacity faktor*) netto, che ricordiamo essere la percentuale di ore annue di operatività degli aerogeneratori, ovvero sfruttando al massimo la capacità del generatore elettrico a bordo macchina da 6.8 MW, nel caso in esame. Ad esempio, per la turbina B_4 di progetto vengono calcolati 20.666,4 MWh/anno.

Dividendo per la potenza nominale della WTG: $20.666,4 \text{ MW} / 6.8 \text{ MW} \approx 3039 \text{ ore}$.

In un anno si contano 8760 ore, da cui $3039 / 8760 = 34.6\%$, dato comparabile con il fattore di capacità medio del progetto che è pari al 33,4%.

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]	3 922,3	21 117,9	8 621,4	4 935,8	11 724,5	5 563,6	655,8	3 726,4	20 792,3	117 754,9	17 850,0	1 051,7	217 716,6
-Decrease due to curtailments	[MWh]	513,6	2 463,4	793,3	374,4	848,7	631,8	64,4	506,5	3 788,5	15 417,1	2 030,4	139,8	27 571,9
Other curtailment	[MWh]	513,6	2 463,4	793,3	374,4	848,7	631,8	64,4	506,5	3 788,5	15 417,1	2 030,4	139,8	27 571,9
-Decrease due to wake losses	[MWh]	337,2	1 940,3	1 111,6	386,4	286,4	171,1	100,3	377,0	1 281,8	3 781,2	535,0	26,8	10 335,0
Resulting energy	[MWh]	3 071,5	16 714,3	6 716,5	4 174,9	10 589,4	4 760,7	491,2	2 842,9	15 722,0	98 556,6	15 284,6	885,1	179 809,7
Specific energy	[kWh/m ²]													957
Specific energy	[kWh/kW]													2 938
-Decrease due to curtailments	[%]	13,1	11,7	9,2	7,6	7,2	11,4	9,8	13,6	18,2	13,1	11,4	13,3	12,7
Other curtailment	[%]	13,1	11,7	9,2	7,6	7,2	11,4	9,8	13,6	18,2	13,1	11,4	13,3	12,7
Decrease due to wake losses	[%]	8,6	9,2	12,9	7,8	2,4	3,1	15,3	10,1	6,2	3,2	3,0	2,5	4,75
Full Load Equivalent	[Hours/year]	50	273	110	68	173	78	8	46	257	1 610	250	14	2 938

Figura 25. Analisi della direzione delle ore di pieno carico annue del parco eolico, suddivisa nelle 12 direzioni principali del vento.

Nella relazione “Directional Analysis” (Analisi della produzione) di cui alla Figura 27 “Analisi della produzione” compaiono i risultati dei calcoli di energia per ciascuna o tutte le WTG (nuove o esistenti). Qui appariranno i dati del calcolo direzionale. Saranno visibili le modificazioni 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.

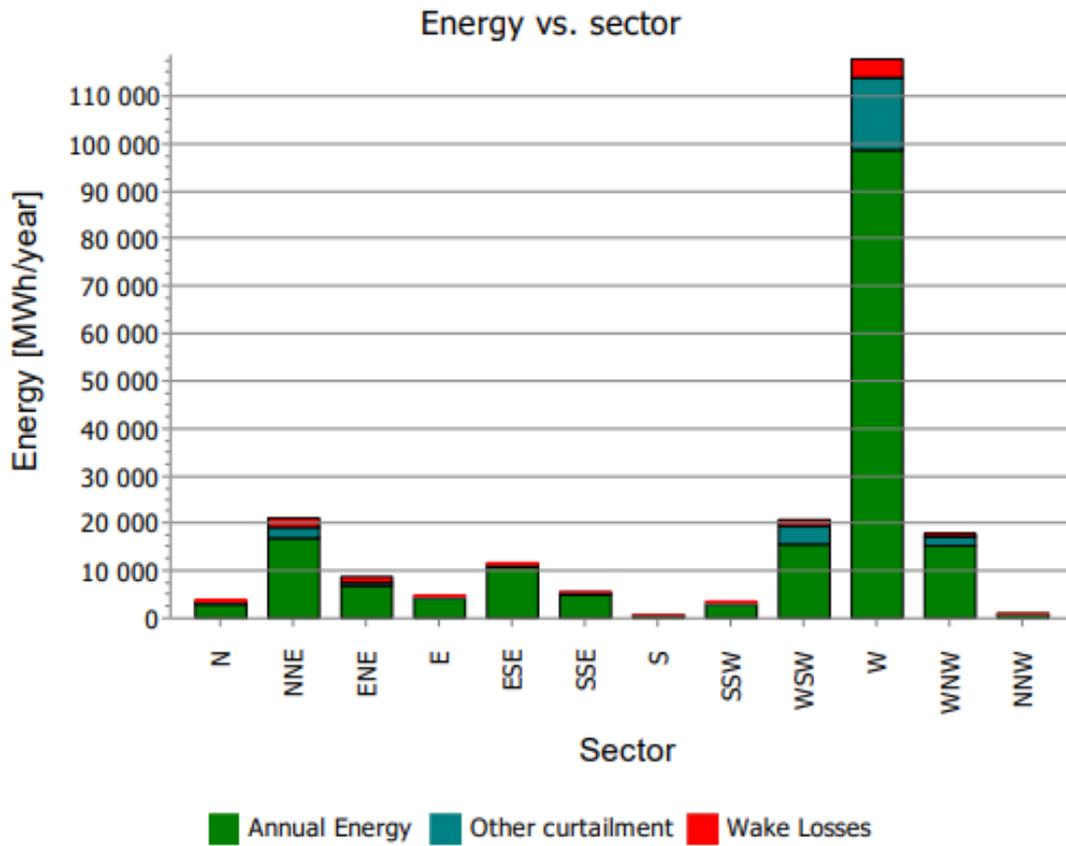


Figura 26. Produzione energetica annua (MWh) rispetto alle 12 direzioni del vento

Windfarm: 61,2 MW based on 9 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.

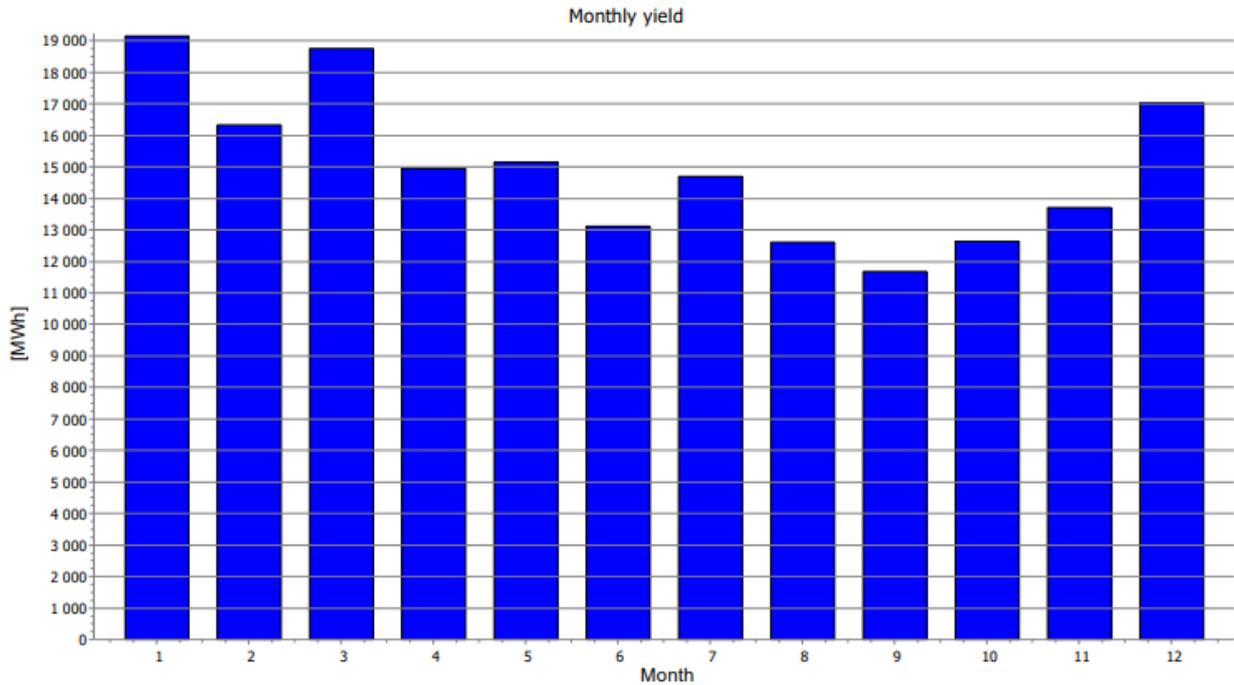


Figura 28. Diagramma di rendimento mensile (MWh) riferito al mese specifico

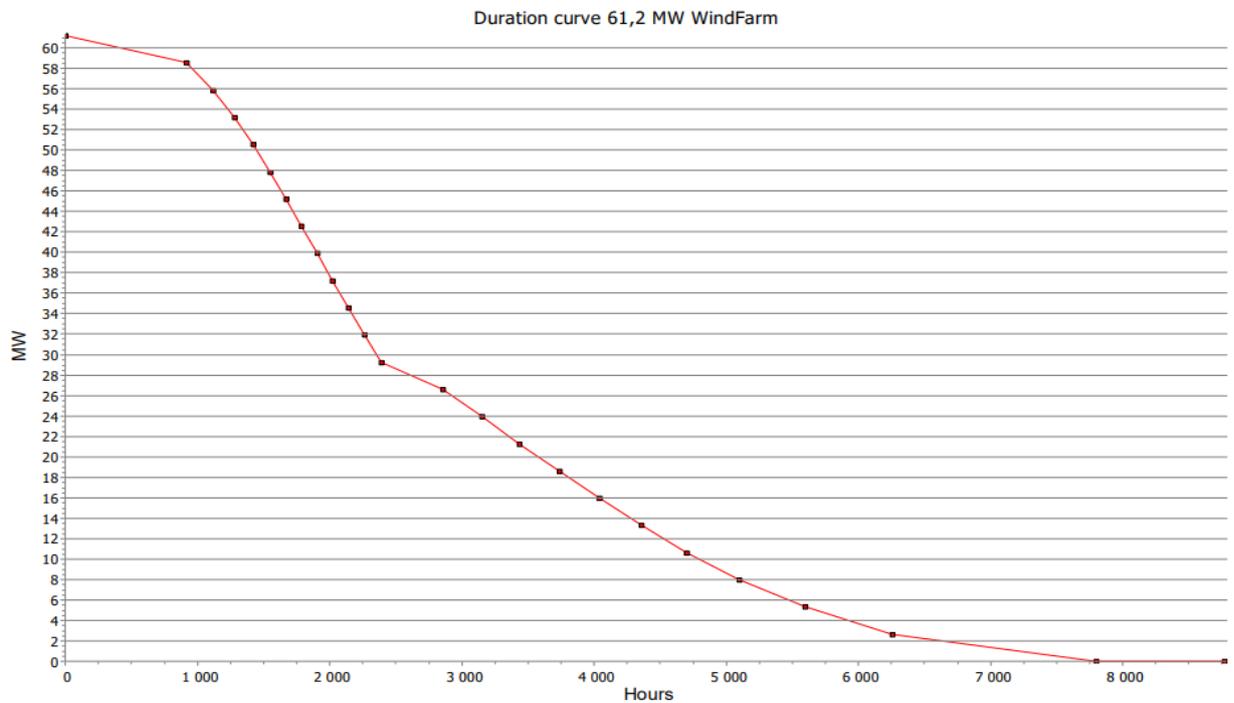


Figura 27. Diagramma della curva di durata del carico che rappresenta il carico (MW) e il tempo (h) in cui le ordinate rappresentano il carico

9.2.3 CALCOLO DELLA PRODUZIONE ENERGETICA NETTA ANNUA

L'incertezza in ogni stima di una 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 del software utilizzato per la stima. Per quantificare la produzione finale annua di energia netta stimata, sono stati quindi adottati i seguenti coefficienti di incertezza per le seguenti ragioni:

	Incerteza della risorsa vento	Incertezze nella produzione
Precisione della misurazione del vento	2.0%	2.8%
Correzione di lungo periodo		3.0%
Variabilità da un anno all'altro	2.8%	3.9%
Variabilità delle condizioni meteo future	2.0%	2,8%
Incerteza totale legata al vento	6.8%	12,5%
Incerteza della curva di potenza	2%	2.0%
Incerteza di misurazione	0.2%	0.2%
Incerteza totale relativa alla conversione di potenza	2,2%	2.2%
Incerteza totale	9%	8,5%

Tabella 4. Coefficienti di incertezza

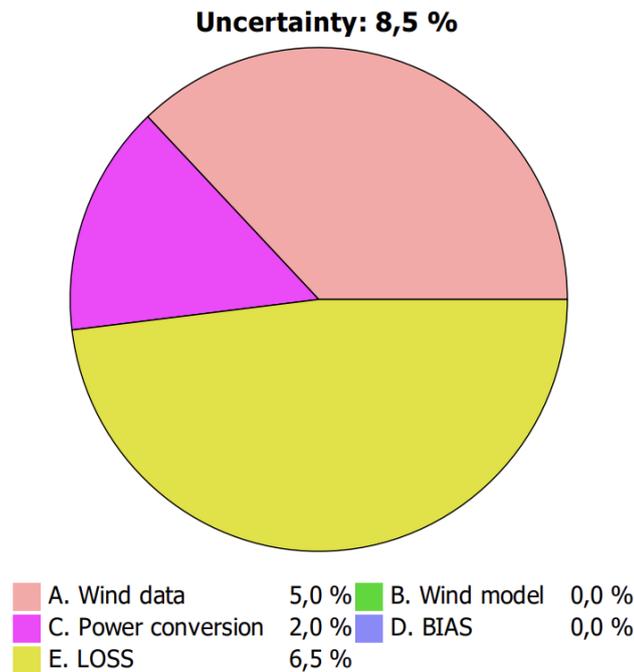


Figura 29. Incertezze di produzione

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 21,5 per cento della produzione energetica annua stimata, come evidenziato nella seguente Figura 30:

	Perdita percentuale	Perdita di produzione
Effetto scia	4.7%	10.3 GWh
Disponibilità della rete	2.0%	4.4 GWh
Curva di potenza delle prestazioni della turbina	2.0%	4.4GWh
Perdite elettriche	1.0%	2.2GWh
Riduzione della potenza	12.7%	27.6GWh
Totale perdite	21.5%	46.8GWh

Tabella 5. Valori di incertezza

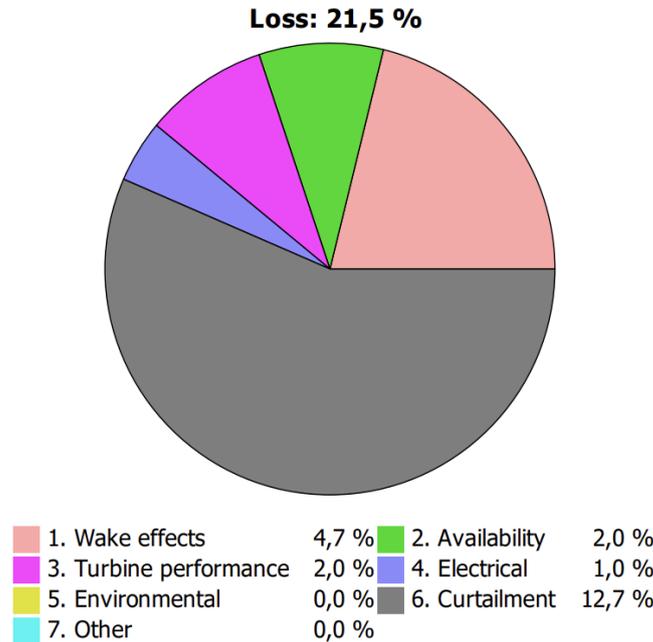


Figura 30. Perdite di produzione in percentuale

10 CONCLUSIONI

L'area di impianto del Parco Eolico Bassacutena di cui alla presente relazione di analisi presenta una situazione di disponibilità e frequenza della risorsa eolica estremamente idonea ad ospitare un parco eolico come quello proposto, secondo l'estrapolazione dei dati vento.

Il parco eolico proposto prevede l'installazione di 9 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 61,2 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.

Si sono mantenute le necessarie distanze di salvaguardia dalle turbine eoliche esistenti, che puntualmente appartengono alla tipologia del mini-eolico; la presenza di una certa quantità di turbine nell'area di progetto è ulteriore argomento circa la disponibilità della risorsa vento sul sito, a maggior ragione in corrispondenza di altezze al mozzo maggiori rispetto a quelle caratterizzanti gli aerogeneratori esistenti in loco (118m per gli aerogeneratori di progetto, circa 60m per gli aerogeneratori di piccola taglia già esistenti), dato che i dati mesoscala indicano una disponibilità di vento crescente all'aumentare dell'altezza.

I dati della sottoscrizione speciale EMD ERA5+ WTF mesoscala, sono stati utilizzati per avere, durante la fase di progettazione di un parco eolico, la migliore stima previsionale del vento e delle condizioni anemologiche sul sito. Inoltre, 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 B_3, raccogliendo dati fino ad un'altezza di 99m.

Successivamente, attraverso i software WindPro e WASP, è stata calcolata la produzione di energia del Parco Eolico Bassacutena, 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.

Infine, 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, le perdite elettriche

lungo i tracciati dell'impianto, la manutenzione e le incertezze specifiche, possibili discrepanze rispetto ai modelli matematici, ecc.

Possiamo affermare che il risultato ottenuto per il sito di Bassacutena, consultando diversi modelli, è senza dubbio un ottimo risultato in termini di produzione energetica, pari a 179.809 MWh/anno che equivale a circa 2.938 ore equivalenti a pieno carico per l'impianto eolico considerato, come mostrato nella precedente Tabella 5 riassuntiva.

In conclusione, l'area di impianto è perfettamente vocata allo sfruttamento della risorsa eolica, configurando la possibilità di installare turbine di ultima generazione efficaci ed efficienti capaci di sfruttare al massimo le risorse dell'area.