



REGIONE  
SARDEGNA



PROVINCIA  
DI NUORO



COMUNE DI  
ORUNE



COMUNE DI  
NUORO

## PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DA 46,8 MW NEL COMUNE DI ORUNE (NU) CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI NUORO (NU)



Proponente



**LOTO RINNOVABILI S.R.L.**

Largo Augusto n.3  
20122 Milano  
pec:lotorinnovabili@legalmail.it

Progettazione



Viale Michelangelo, 71  
80129 Napoli  
TEL.081 579 7998  
mail: tecnico@inesrl.it



Collaboratori:  
Dott. Geol. L. Sanciu  
Dott. F. Mascia  
Dott. Archeol. M. Tatti  
Dott. M. Medda  
Arch. C. Gaudiero  
Ing. F. Quarto  
Ing. M. Ciano  
Studio Rinnovabili Srl  
Ing. R. D'Onofrio

Amm. Francesco Di Maso  
Ing. Nicola Galdiero  
Ing. Pasquale Esposito

Elaborato

Nome Elaborato:

**ANALISI DI PRODUCIBILITA'**

00	Giugno 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	Loto Rinnovabili s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	-:-				
Formato:	<b>A4</b>	Codice Pratica	<b>S289</b>	Codice Elaborato	<b>AS289-SI16-R</b>

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DI ANALISI</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>DATI DI INPUT</b> .....	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>MODELLO DIGITALE OROGRAFICO</b> .....	<b>10</b>
<b>4.2</b>	<b>MODELLO DI RUGOSITÀ SUPERFICIALE</b> .....	<b>10</b>
<b>4.3</b>	<b>MODELLO DI CAMPO E FLUSSO VENTOSO</b> .....	<b>11</b>
<b>4.4</b>	<b>DENSITÀ DELL'ARIA</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI DATI E ANEMOLOGIA LOCALE</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI ANEMOLOGICA E CORRELAZIONE DI LUNGO TERMINE</b> .....	<b>16</b>
<b>6.1</b>	<b>STABILIZZAZIONE DELLA RISORSA EOLICA E REGIME DI LUNGO TERMINE</b> .....	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA</b> .....	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>LAYOUT DI IMPIANTO E STIMA DI PRODUCIBILITÀ</b> .....	<b>19</b>
<b>7.2</b>	<b>ANALISI DELLE PERDITE TECNICHE E STIMA DELLA PRODUZIONE NETTA</b> .....	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b> .....	<b>25</b>

 <b>Loto Rinnovabili Srl</b> Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:lotorinnovabili@legalmail.it	<b>ANALISI DI PRODUCIBILITA'</b>		Cod. AS289-SI16-R
	Data Giugno 2023	Rev. 00	

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica sito in agro di Orune (NU).

In particolare, il progetto è relativo ad un impianto eolico avente potenza nominale pari a 46.8 MW e costituito da:

- N° 9 aerogeneratori di marca Nordex, modello N163, ciascuno avente potenza nominale pari a 5.2 MW;
- Una Stazione Elettrica (SE) di condivisione e trasformazione 150/30 kV Utente;
- Una linea elettrica in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione degli aerogeneratori alla SE Utente, di cui al punto precedente;
- Una sezione di impianto elettrico comune con un altro parco eolico in sviluppo (altro operatore), necessaria per la condivisione dello Stallo AT a 150 kV, assegnato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) all'interno della futura SE della RTN di Nuoro (NU) denominata Prato Sardo. Tale sezione è localizzata in una zona adiacente alla SE Utente e contiene tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie per la condivisione della connessione;
- Tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT di competenza dell'Utente da installare all'interno della futura SE Terna di Nuoro, in corrispondenza dello stallo assegnato;
- Una linea elettrica in AT a 150 kV in cavo interrato di interconnessione tra la sezione di impianto comune e la futura SE RTN di Nuoro (NU)

Titolare dell'iniziativa proposta è la società Loto Rinnovabili Srl

## 2 INTRODUZIONE

Scopo del presente elaborato è la valutazione della risorsa eolica e relativa stima di produzione energetica attesa da un impianto eolico di potenza 46.8 MW previsto in agro del comune di Orune (NU).

L'iniziativa è mirata all'installazione di un impianto costituito da 9 turbine modello Nordex N163 di potenza nominale 5200 kW e altezza al mozzo 118m s.l.t.

Tale elaborato è mirato alla definizione e caratterizzazione delle condizioni anemologiche di sito ed alla stima del rendimento energetico atteso delle turbine (di seguito WTG) su base annuale, a partire dai dati di misura disponibili di stazioni anemometriche poste in aree rappresentative per la valutazione in oggetto.

Le attività svolte per i fini del presente studio anemologico sono le seguenti:

1. analisi e validazione dei dati di stazione anemometrica di sito;
2. analisi statistica della velocità del vento in sito;
3. analisi e stima previsionale dell'energia annuale attesa dalla produzione della wind farm e/o delle singole turbine;
4. analisi e stima previsionale dell'energia annuale prodotta dalla wind farm al netto di tutte le perdite rilevanti;
5. analisi dell'incertezza e calcolo dei livelli percentili della produzione energetica attesa dall'impianto.

### 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di indagine è localizzata in agro del Comune di Orune (NU).

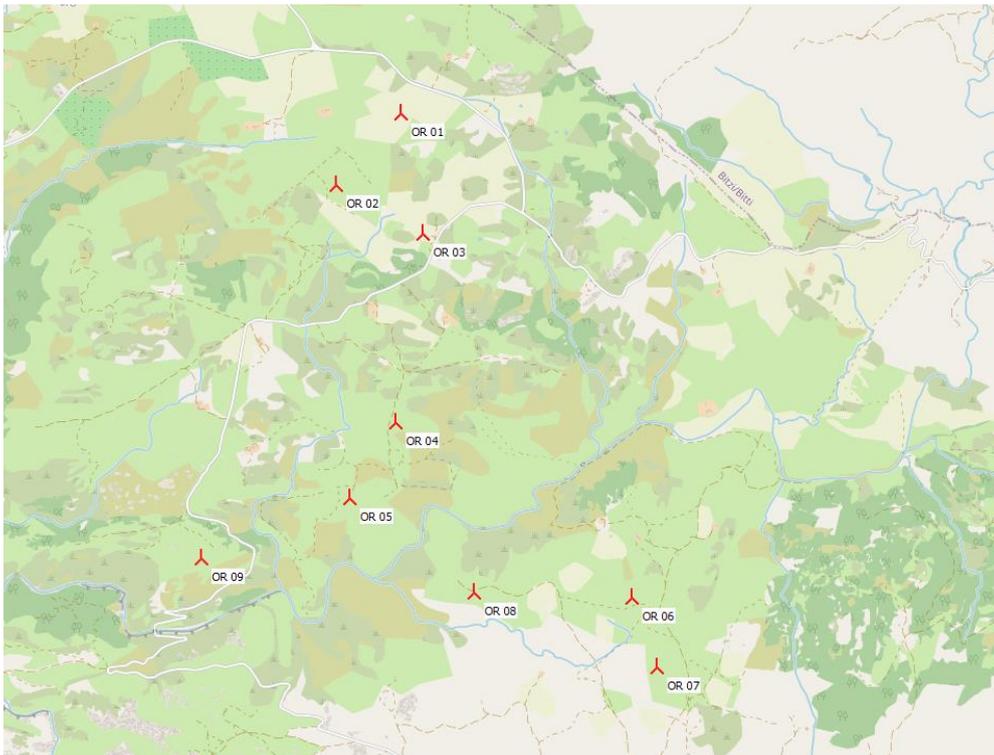
L'area oggetto della proposta progettuale è individuabile a circa 7,2 km in direzione Est-Sud\_Est dal centro abitato di Nule, a circa 9,5 km in direzione Sud-Ovest dal centro abitato di Bitti e a circa 7,7 km in direzione Ovest-Nord-Ovest dal centro abitato al comune di Orune. L'orografia della zona di sviluppo è tipicamente collinare e possiede una variabilità altimetrica piuttosto moderata (variabile tra i 660 ed i 780 m s.l.t.).

In prossimità o adiacenza dell'area di sviluppo progettuale non sono presenti altre installazioni di tipo eolico.



**Figura 1: Area di ipotesi progettuale su stralcio di ortofoto satellitare estratta da Google Earth**

L'immagine a seguire individua il layout di progetto (icone in rosso [OR.01, ... OR.09]) su stralcio cartografico Open Topo Map.



**Figura 2: Layout turbine di progetto (in rosso)**

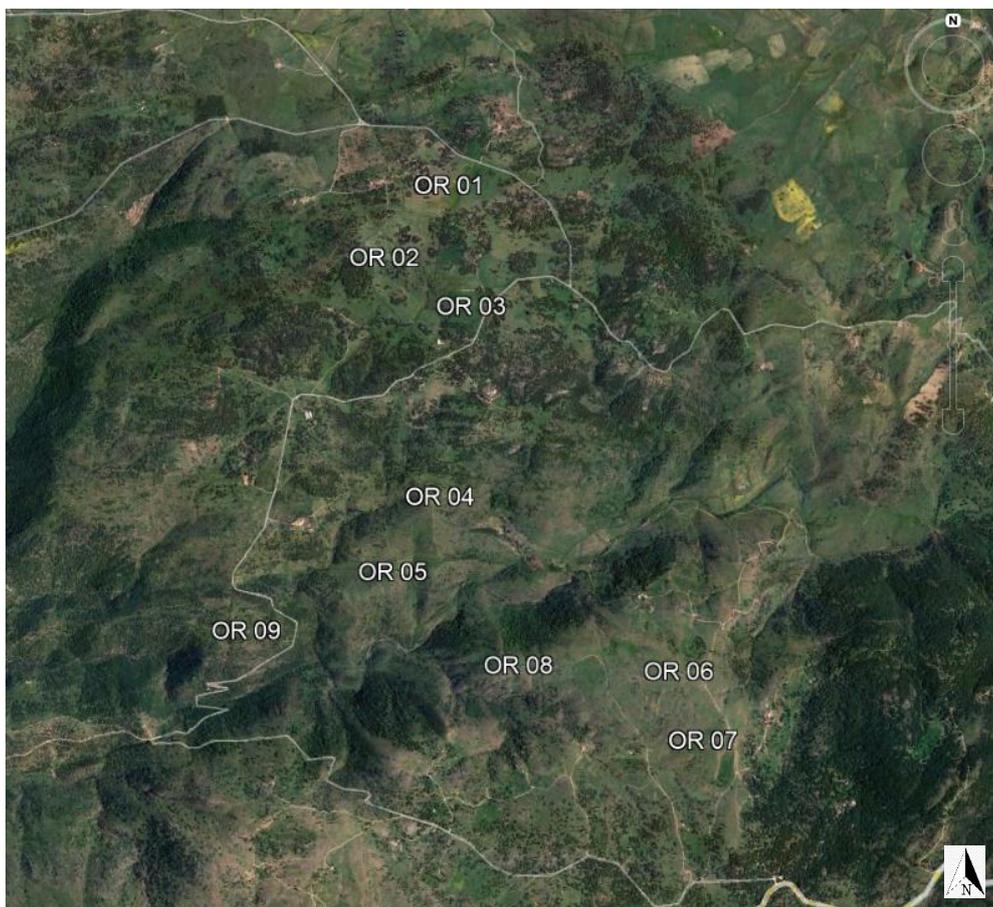
Le posizioni delle turbine di progetto sono individuabili geograficamente attraverso le coordinate proposte nella tabella a seguire nel sistema di riferimento UTM WGS 84 f32.

**Tabella 1: Aerogeneratori di progetto**

ID WTG	UTM WGS 84 E [m]	UTM WGS 84 N [m]	ELEVATION [m s.l.m.]	WTG TYPE	POWER [kW]	HUB HEIGHT [m s.l.t.]
OR 01	524053	4478761	778,5	NORDEX N163	5200	118
OR 02	523604	4478256	776,4	NORDEX N163	5200	118
OR 03	524212	4477921	770,0	NORDEX N163	5200	118
OR 04	524022	4476597	700,5	NORDEX N163	5200	118
OR 05	523707	4476068	660,0	NORDEX N163	5200	118
OR 06	525675	4475376	750,0	NORDEX N163	5200	118
OR 07	525847	4474893	748,0	NORDEX N163	5200	118
OR 08	524573	4475413	710,0	NORDEX N163	5200	118
OR 09	522673	4475649	676,8	NORDEX N163	5200	118

L'area in oggetto risulta attualmente priva di altre installazioni di tipo eolico ad eccezione di una turbina di piccola taglia (60 kW) posta a circa 1,4 Km in linea d'aria in direzione Nord rispetto al layout di progetto. Tale installazione, in ragione delle ridotte dimensioni strutturali e della sua distanza dal layout di progetto risulta dunque del tutto ininfluenza per quanto attiene alla stima di produzione energetica attesa dall'impianto.

A seguire le immagini satellitari estratte da Google Earth con evidenza del Layout di progetto proposte nei prospetti 2D e 3D.



**Figura 3: Layout di progetto nel prospetto 2D su stralcio di ortofoto estratto da Google Earth**



**Figura 4: Layout di progetto nel prospetto 3D su stralcio di ortofoto estratto da Google Earth**

### 3 METODOLOGIA DI ANALISI

L'analisi delle stazioni e dei dati anemometrici disponibili, così come il modello di elaborazione e simulazione predisposto per la stima di produzione energetica attesa dall'impianto, è stato elaborato attraverso l'utilizzo dello specifico software di settore WIND PRO (con impiego di motore e metodologia WASP), considerati tra i software più apprezzati ed affermati per le elaborazioni di stima della resa energetica degli impianti eolici attraverso le analisi dei flussi ventosi.

I dati di input del software prevedono l'iniziale costruzione di:

- un modello digitale del terreno (DTM) attraverso l'utilizzo di grid satellitari implementabili con eventuali CTR e/o rilievi puntuali;
- la definizione della rugosità superficiale;
- i dati di velocità e direzione del vento eventualmente disponibili per diverse altezze e/o differenti posizioni;
- l'inserimento di eventuali ostacoli naturali o infrastrutturali che possono esercitare un sensibile effetto nei confronti del regime anemologico locale.

A valle dell'analisi dei dati anemometrici volta all'epurazione di eventuali anomalie di registrazione e/o di elementi valori non attendibili o non ammissibili, il successivo utilizzo del codice di simulazione anemologica WASP(1) prevede l'applicazione di un particolare algoritmo di estrapolazione dei dati sperimentali raccolti sulla singola o più posizioni di stazioni anemometriche, che permette di calcolare la distribuzione, e quindi la mappatura a varie altezze rispetto al suolo, dei principali parametri anemologici caratterizzanti l'area circostante il punto di misura.

I valori di tali parametri, calcolati su ciascuna delle posizioni previste per l'installazione delle turbine, ed associati alle curve di potenza del modello di aerogeneratore selezionato, permettono di operare una stima del valore di produzione di energia media annua attesa dall'impianto, al netto delle eventuali

---

(1) WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program), codice di simulazione anemologica sviluppato in Danimarca presso il RISØ National Laboratory, Centro di prova e certificazione per turbine eoliche.

 <b>Loto Rinnovabili Srl</b> Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:lotorinnovabili@legalmail.it	<b>ANALISI DI PRODUCIBILITA'</b>		Cod. AS289-SI16-R
	Data Giugno 2023	Rev. 00	

perdite per scia aerodinamica indotte dalle mutue interferenze tra le turbine o relative alla potenziale presenza di altri impianti.

L'arricchimento dell'utilizzo del motore WAsP all'interno del software WINDPRO permette inoltre di ottimizzare il calcolo e la valutazione della resa energetica attesa dalle turbine in funzione della variazione della curva di potenza degli aerogeneratori in virtù della densità atmosferica dell'area in esame. Tale procedura è resa possibile attraverso l'accesso a database di stazioni meteorologiche che permettono di estrapolare, e quindi ricalcolare, la densità specifica di sito in funzione della quota altimetrica di riferimento e dell'altezza del mozzo degli aerogeneratori considerati.

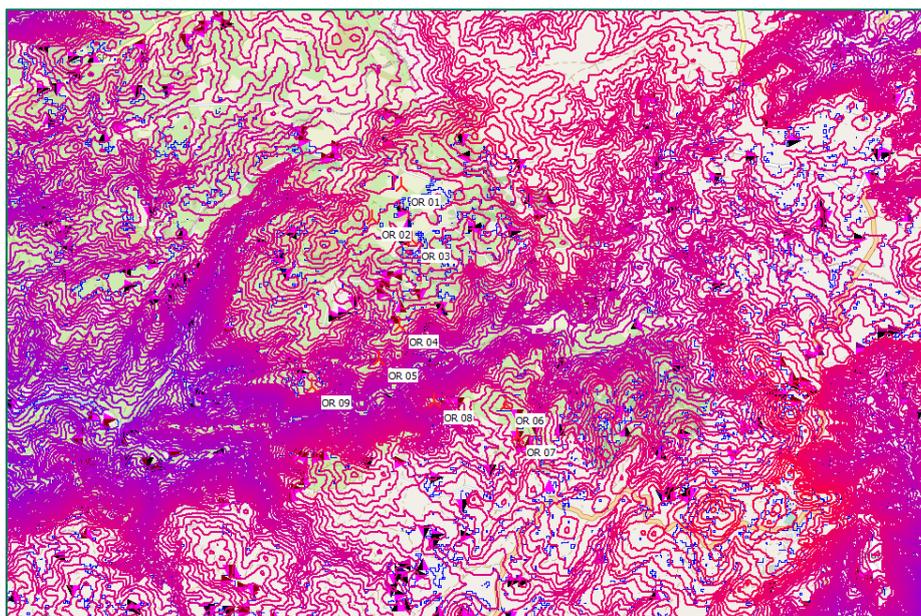
## 4 DATI DI INPUT

### 4.1 MODELLO DIGITALE OROGRAFICO

Per le specifiche valutazioni di dettaglio è stato realizzato un modello orografico digitale che, sulla base del grid estrapolato in download dal satellite, georeferenziato e verificato da sovrapposizione con le curve di livello della cartografia IGM 1:25000, descrive in modo del tutto fedele ed attendibile l'andamento altimetrico dell'area geografica di interesse. Il DEM è stato elaborato con uno step di 10m e copre un'area territoriale complessiva di 40x40 Km.

### 4.2 MODELLO DI RUGOSITÀ SUPERFICIALE

È stato predisposto un modello digitale che descrive la rugosità superficiale mediante le informazioni reperite dal progetto "Corinne Land Cover 2018" che, con l'ausilio di satelliti, ed integrato al modello "Global Forestry Canopy Height – GLAD 2019 " e che rende disponibili per l'elaborazione digitale, le informazioni specifiche per gran parte della superficie terrestre. Tali informazioni sono di fondamentale importanza per le analisi in oggetto poiché la rugosità superficiale terrestre, ovvero la tipologia di suolo e la differente distribuzione ed altezza della copertura vegetazionale, gioca un ruolo fondamentale per la frizione, la distorsione e la variabilità della velocità del vento. L'immagine a seguire mostra la sovrapposizione dei preposti specifici modelli di Rugosità e DTM utilizzati nel modello di simulazione utilizzato. Nel suo complesso la mappa digitale di rugosità utilizzata copre un'estensione territoriale di 60x60 km dal centro della wind farm di progetto.

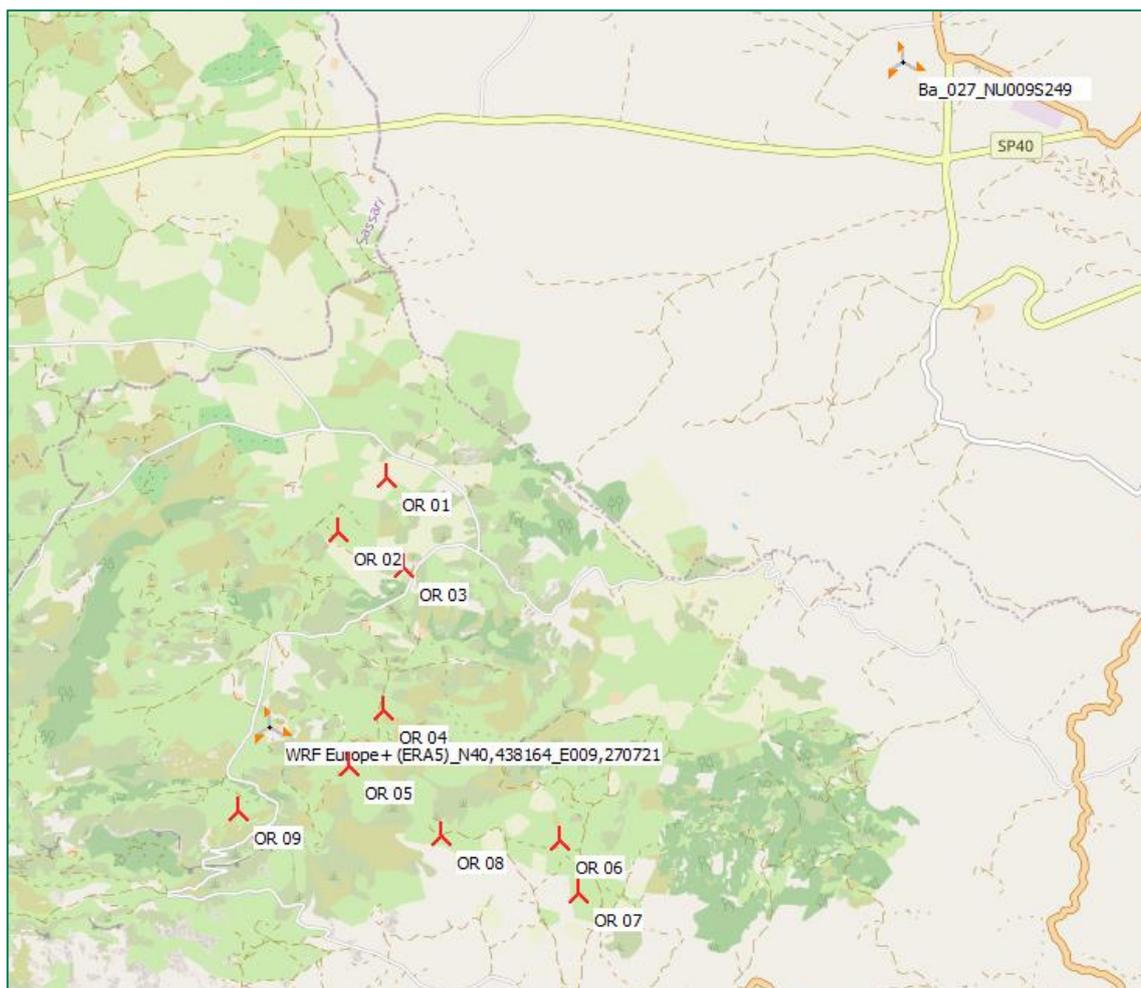


**Figura 5: Sovrapposizione dei modelli digitali di Orografia e Rugosità superficiale utilizzati per la simulazione.**

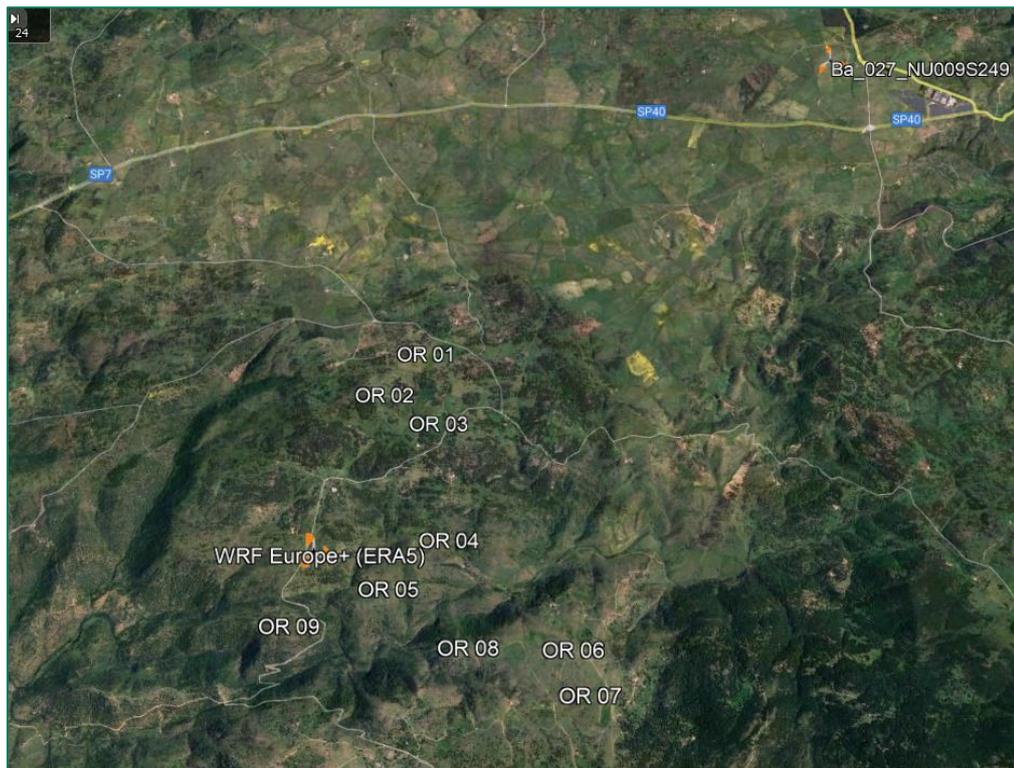
### 4.3 MODELLO DI CAMPO E FLUSSO VENTOSO

Per la caratterizzazione anemologica dell'area in esame e la valutazione dell'andamento del flusso e del campo di vento, sono stati considerati i dati anemologici riferiti a:

- stazione anemometrica cod. NU009S249\_BITTI RU di proprietà di ARPA Sardegna, (individuata a seguire come Ba\_027) posta a quota 770 m s.l.m.
- set di dati del nodo satellitare denominato WRF+ (WRF Europe+ (ERA5)\_N40,438164\_E009,270721) con disponibilità dati di oltre 24 anni, impiegato le correlazioni statistiche di lungo termine per la caratterizzazione del modello di simulazione che hanno fornito un elevato grado di affidabilità. L'immagine a seguire mostra la posizione della stazione di misura ARPAS e del nodo satellitare WRF+ (centrale all'impianto) utilizzato per le correlazioni statistiche e la stabilizzazione del flusso ventoso atteso nell'area progettuale.



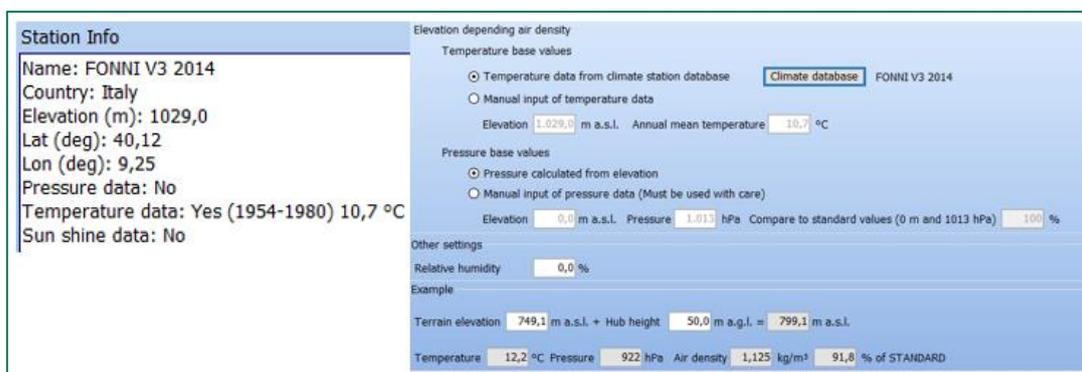
**Figura 6: Individuazione della stazione anemometrica Ba\_027\_ NU009S249\_ e del nodo satellitare WRF+ centrale all'impianto proposta su cartografia open topo map**



**Figura 7: Individuazione della stazione anemometrica Ba\_027\_NU009S249\_ e del nodo satellitare WRF+ centrale all'impianto proposta su cartografia satellitare estratta da Google Earth**

#### 4.4 DENSITÀ DELL'ARIA

Il calcolo della densità dell'aria di sito è stato condotto sulla base di dati climatologici (disponibili nel database di windPRO) relativi alla stazione meteorologica più vicina all'area di progetto, riportata nella figura seguente. La densità media dell'aria ad altezza mozzo delle turbine è stata dunque ricavata in funzione della loro posizione geografica ed utilizzata per la successiva stima del rendimento energetico del parco eolico, adattando il valore in funzione dell'orografia, dell'altitudine e dell'altezza mozzo. Il valore risultante di densità dell'aria è risultato pari a  $1,125 \text{ kg/m}^3$ .



 <p><b>Loto Rinnovabili Srl</b>  Largo Augusto n.3  20122 Milano  pec:lotorinnovabili@legalmail.it</p>	<p><b>ANALISI DI  PRODUCIBILITA'</b></p>	Cod. AS289-SI16-R	
		Data Giugno 2023	Rev. 00

**Figura 8: Caratteristiche della stazione di riferimento per il calcolo della densità media dell'aria.**

## 5 ANALISI DATI E ANEMOLOGIA LOCALE

Le informazioni anemologiche del sito in oggetto sono state esaminate attraverso l'analisi di una dati nella disponibilità della scrivente relativi ad una stazione fisica di proprietà dell'Arpa Sardegna (ARPAS Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna - Dipartimento Meteorologico) di altezza 10 m contrassegnata dal codice NU009S249\_BITTI RU (individuata a seguire come Ba\_027) della quale sono stati resi disponibili un set di due anni consecutivi (periodo 01/01/2020 – 01/01/2022) aventi percentuale di validità pari al 99%. La stazione in oggetto è individuabile nel sistema di riferimento ITM WGS84 fuso 32 alle seguenti coordinate: Est 528853; Nord 4482668. Per i dati relativi alla direzione monitorata è stata necessaria una ricalibrazione con un offset applicato di -30°

A seguire il report relativo all'analisi dati della stazione Ba\_027\_ NU009S249.

Project:  
**Orune**

Licensed User:  
**BayWa r.e. AG**  
 Arabellastrasse 4  
 DE-81925 München  
 +49 (0) 89 / 38 39 32 - 147

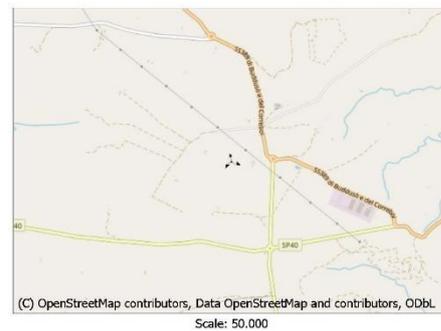
### Meteo data report - Main results

**Mast:** Ba\_027\_NU009S249  
 Mast position: UTM (north)-WGS84 Zone: 32 East: 528.853 North: 4.482.668

Measurement heights and wind speeds (in this report)  
 Disabled data not included in overview table below

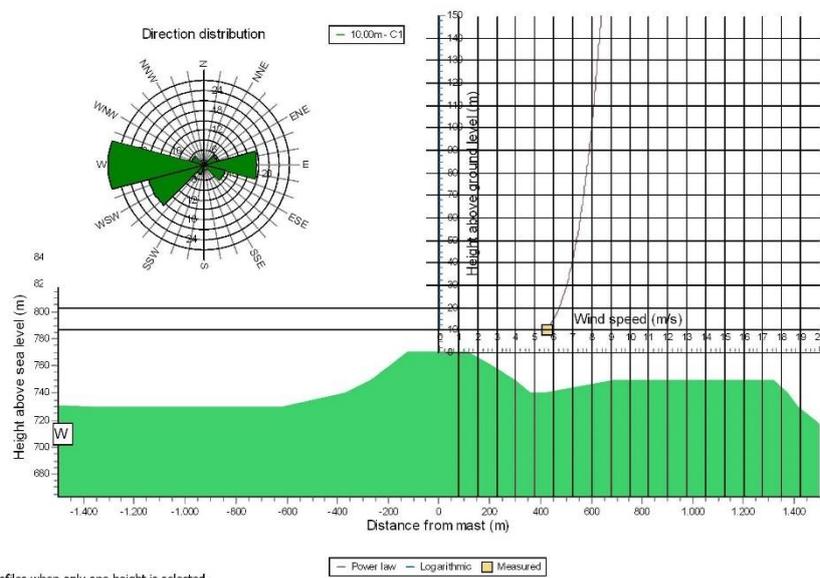
ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U_max [m/s]	U_mean *) [m/s]
10,00m - C1#	10,00	99,0	104383	31,4	5,6

**Period:** Full period: 01/01/2020 - 01/01/2022 (24,0 months)



\*) U\_mean is simple arithmetic average  
 #) Chosen as fixed height in profile graph

Mean wind profile for all concurrent data and terrain profile for the most frequent sector of height: 10,00m - C1: W (left side)



No profiles when only one height is selected.

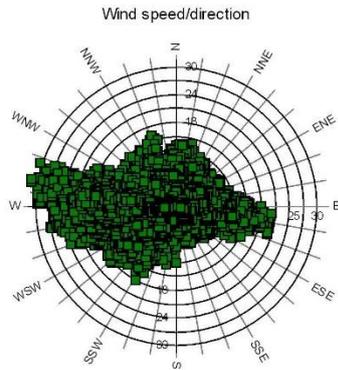
Project:  
**Orune**

Licensed user:  
**BayWa r.e. AG**  
 Arabellastrasse 4  
 DE-81925 München  
 +49 (0) 89 / 38 39 32 - 147

### Meteo data report - Main results

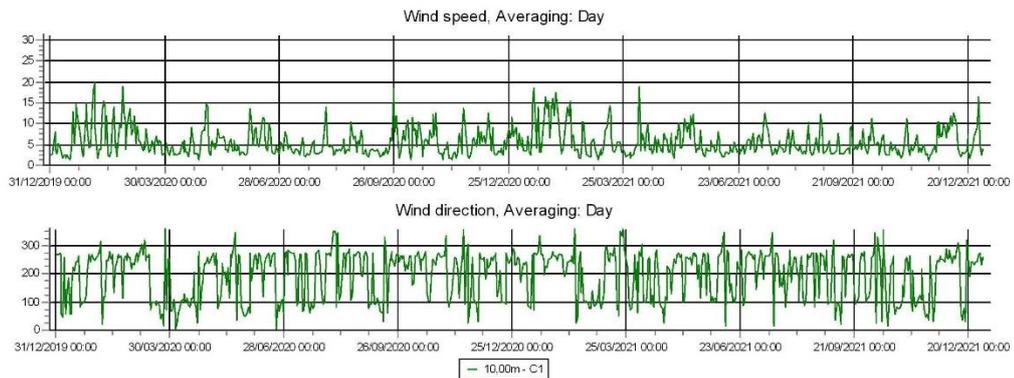
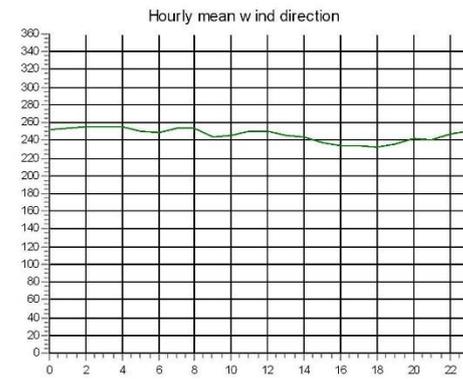
**Mast:** Ba\_027\_NU009S249; Ba\_027

**Period:** Full period: 01/01/2020 - 01/01/2022 (24,0 months)



#### Statistics

Signal	Unit	Count	Of period [%]	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull k
10,00m - C1 Mean wind speed, all	m/s	104383	100,0	5,62	5,66	6,24	1,45
10,00m - C1 Wind direction, all	Degrees	104383	100,0	248,34			



**Figura 9: Sintesi delle caratteristiche della stazione Ba\_027\_NU009S249**

## 6 ANALISI ANEMOLOGICA E CORRELAZIONE DI LUNGO TERMINE

### 6.1 STABILIZZAZIONE DELLA RISORSA EOLICA E REGIME DI LUNGO TERMINE

Allo scopo di validare la misura in sito e renderla stabile nel lungo periodo ad indicare quindi l'anemologia locale che possa essere considerata come rappresentativa della risorsa eolica nel lungo periodo, sono state effettuate correlazioni statistiche con dati di stazioni di lungo termine. È questa una buona prassi procedurale allo scopo di ampliare la conoscenza dell'anemologia caratteristica di sito e stabilizzare il campo di vento nel lungo periodo ai fini della modellazione software e della successiva stima di produzione energetica. Tale procedura è inoltre fortemente raccomandata nell'ottica di limitare le incertezze cui il fenomeno ventoso, per sua natura e definizione, è intrinsecamente affetto. A tale scopo sono state effettuate correlazioni statistiche con dati di un nodo satellitare di lungo termine appartenente al progetto (ERA5) WRF+ (WRF Europe+\_N40,438164\_E009,270721) con disponibilità dati di oltre 24 anni (24 anni e 5 mesi), posto in area centrale rispetto al layout di impianto. La maggiore quota disponibile ed utilizzata a tal fine è di 100 m s.l.t.

L'analisi ed il confronto dei parametri anemologici con i dati di tale stazione hanno evidenziato un elevato coefficiente di correlazione pari ad 85% sia per la componente energia, sia per la componente velocità del vento. La correlazione tra i dati è sintetizzata nell'immagine seguente.



Figura 10: Correlazione dati stazione Ba\_027\_ NU009S249 con dati satellitari WRF Europe+\_N40,438164\_E009,270721

La validità della correlazione statistica evidenziata da elevati coefficienti, ha permesso di rielaborare il set di dati sul lungo periodo a partire dai quali è stata elaborata la stima di produzione energetica attesa dall'impianto di progetto.

Il dato rielaborato a seguito della correlazione statistica eseguita, unitamente alla procedura di "downscaling" che tiene in conto le caratteristiche orografiche, di rugosità superficiale e della copertura vegetazionale della zona, ha permesso di costruire un VDM (Virtual Data Mast) al centro dell'area di impianto di altezza 118 m s.l.t. (pari all'altezza mozzo delle turbine di progetto) che presenta le caratteristiche anemologiche di lungo termine proposte nelle immagini a seguire.

Project:  
**Bitti-Orune**

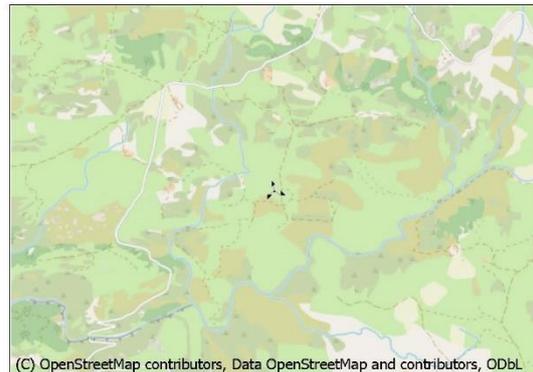
Licensed user:  
**BayWa r.e. AG**  
 Arabellastrasse 4  
 DE-81925 München  
 +49 (0) 89 / 38 39 32 - 147

### Meteo data report - Main results

**Mast:** WRF+ Orune BayWa; WRF+ Orune BayWa; VDM Orune **Period:** Full period: 01/01/2000 - 01/01/2022 (264,0 months)  
 Mast position: UTM (north)-WGS84 Zone: 32 East: 523.926 North: 4.476.387

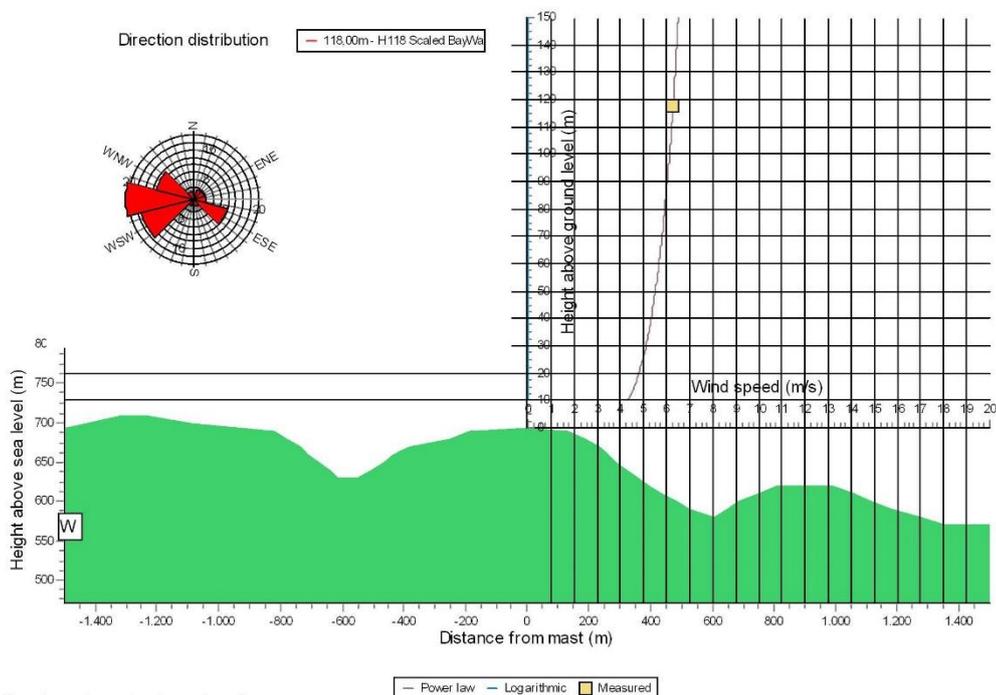
Measurement heights and wind speeds (in this report)  
 Disabled data not included in overview table below

ID	Height [m]	Data recovery [%]	Records	U_max [m/s]	U_mean* [m/s]
118,00m - H118 Scaled BayWa#)	118,00	100,0	192864	29,2	6,4



\*) U\_mean is simple arithmetic average  
 #) Chosen as fixed height in profile arah

Mean wind profile for all concurrent data and terrain profile for the most frequent sector of height: 118,00m - H118 Scaled BayWa: W (left side)



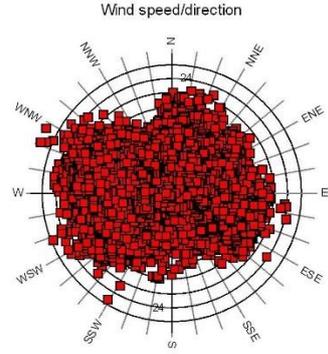
No profiles when only one height is selected.

Project:  
**Bitti-Orune**

Licensed user:  
**BayWa r.e. AG**  
 Arabellastrasse 4  
 DE-81925 München  
 +49 (0) 89 / 38 39 32 - 147

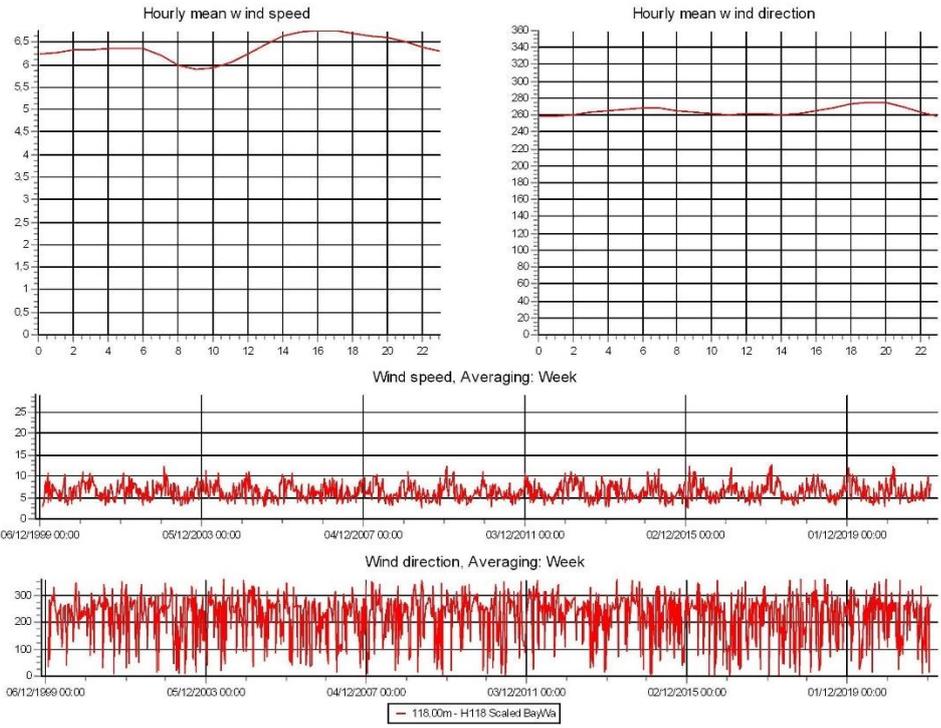
**Meteo data report - Main results**

**Mast:** WRF+ Orune BayWa; WRF+ Orune BayWa; VDM Orune **Period:** Full period: 01/01/2000 - 01/01/2022 (264,0 months)



**Statistics**

Signal	Unit	Count	Of period (%)	Mean	Weibull mean	Weibull A	Weibull K
118,00m - H118 Scaled BayWa Mean wind speed, all	m/s	192864	100,0	6,37	6,28	7,05	1,73
118,00m - H118 Scaled BayWa Wind direction, all	Degrees	192864	100,0	264,20			
118,00m - H118 Scaled BayWa Temperature, all	Deg C	192864	100,0	12,08			
118,00m - H118 Scaled BayWa Turbulence intensity, all		192864	100,0	0,06			
118,00m - H118 Scaled BayWa Turbulence intensity, enabled		149533	77,5	0,06			



windPRO 3.5.587 by EMD International A/S, Tel. +45 69 16 48 50, www.emd-international.com, windpro@emd.dk

26/06/2023 11:50 / 2 

**Figura 11: Sintesi delle caratteristiche anemologiche di lungo termine del VDM centrale all'impianto risultante dalle correlazioni statistiche**

## 7 STIMA DI PRODUZIONE ENERGETICA

### 7.1 LAYOUT DI IMPIANTO E STIMA DI PRODUCIBILITÀ

La produzione attesa dalle turbine di progetto previste in agro del comune di Orune è stata elaborata impiegando lo specifico software di settore WIND PRO 3.6 che implementa il motore WAsP. Entrambi sono considerati tra i software più affermati per l'analisi dei flussi ventosi e le relative stime di resa energetica afferente impianti eolici.

La stima di producibilità è stata ottenuta impiegando la serie di dati anemologici della stazione identificata dal cod. NU009S249 di proprietà dell'Arpa Sardegna (ARPAS Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna - Dipartimento Meteorologico) di altezza 10 m con database disponibile di 24 mesi che, attraverso correlazioni statistiche con nodi satellitari aventi database di oltre 24 anni disponibili, ha permesso la costruzione di un VDM (Virtual Data Mast) di lungo termine al centro dell'area di impianto.

La stima di producibilità proposta a seguire è stata elaborata per il modello di aerogeneratore Nordex N163 di potenza nominale 5200 kW ed altezza al mozzo 118 m s.l.t.

La produzione energetica stimata tiene in conto anche delle eventuali perdite dovute all'effetto scia indotte da potenziali mutue interferenze, nonché delle perdite dovute alla densità dell'aria specifica del sito in esame.

La curva di potenza delle turbine utilizzata per le elaborazioni è quella riferita al valore medio di densità dell'aria del sito di progetto pari a  $(1,125 \text{ kg/m}^3)$  resa disponibile nei datasheet tecnici forniti dal supplier (power curve riferite a differenti densità dell'aria) unitamente alle interpolazioni che il software direttamente elabora per la densità dell'aria relativa ad ogni punto di installazione.

Nell'immagine a seguire sono invece descritte in forma grafica e tabellare le caratteristiche di ventosità previste in sito all'altezza mozzo (a titolo esemplificativo) della turbina OR04 nell'ipotesi progettuale di aerogeneratori N163 con altezza hub di 118,0 m s.l.t..



**PARK - Wind Data Analysis**

Calculation: Layout\_r09\_N163\_9WT\_5.2\_M4\_ro\_1.125\_ORAWind data: OR 04 - OR 04; Hub height: 118,0

Site coordinates  
 UTM (north)-WGS84 Zone: 32  
 East: 524.022 North: 4.476.597  
 OR 04 - OR 04

Masts used  
 Take nearest

**Winddata for site**

Sector	Free mean wind speed [m/s]	Wake reduced mean wind speed [m/s]	Frequency [%]
0 N	6,4		5,8
1 NNE	6,8		5,3
2 ENE	5,7		5,1
3 E	5,1		4,9
4 ESE	6,4		11,4
5 SSE	4,6		5,6
6 S	3,2		3,2
7 SSW	4,9		5,4
8 WSW	6,7		16,4
9 W	7,6		18,2
10 WNW	7,5		13,5
11 NNW	5,1		6,0
All	6,4		100,0

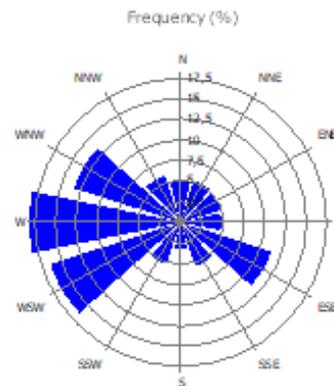
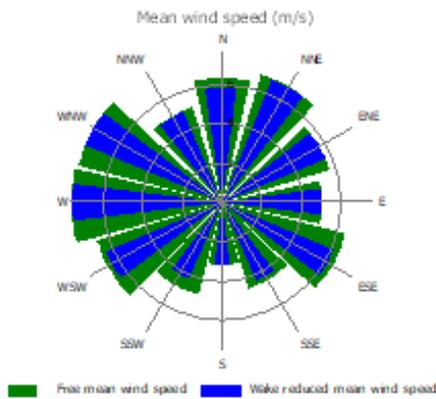
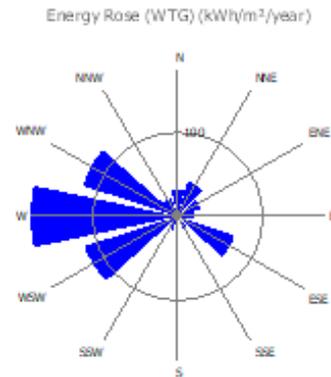
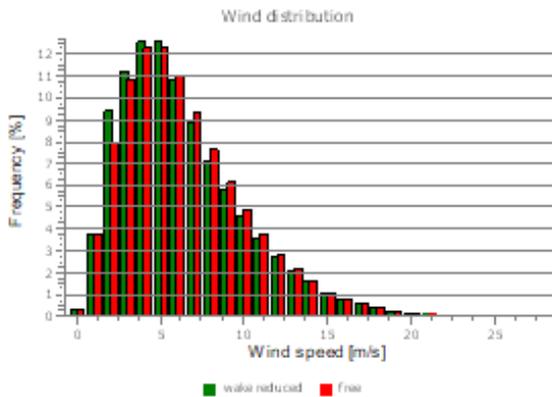


Figura 12: Caratteristiche di ventosità previste nella posizione della turbina OR04 con altezza al mozzo pari a 118 m s.l.t.

Per ognuna delle turbine di progetto, sono riportate a seguire informazioni relative a:

- ❖  $V_{AVG}$  [m/s]: velocità media del vento stimata ad altezza mozzo (118,0 m s.l.t.);
- ❖ WAKE LOSS [%]: perdita percentuale di produzione causata dall'effetto scia;
- ❖ GROSS AEP [MWh]: produzione lorda attesa al netto delle perdite per effetto scia;
- ❖ AIR DENSITY [kg/m<sup>3</sup>]: calcolata in funzione della quota altimetrica del punto di installazione delle turbine di progetto e all'altezza mozzo;

**Tabella 2: Produzione lorda attesa dalle turbine di progetto.**

ID WTG	$V_{avg}$ [m/s]	WAKE LOSS [%]	GROSS AEP [MWh]	AIR DENSITY [kg/m <sup>3</sup> ]
OR 01	6,20	2,45	13.275	1,115
OR 02	6,30	4,59	13.563	1,115
OR 03	6,28	3,96	13.664	1,115
OR 04	6,38	4,41	14.207	1,123
OR 05	6,15	7,34	12.917	1,127
OR 06	6,54	4,77	14.561	1,118
OR 07	6,28	3,64	13.618	1,118
OR 08	6,25	4,09	13.473	1,122
OR 09	6,66	1,77	15.682	1,126
<b>AVERAGE</b>	<b>6,34</b>	<b>4,11</b>		<b>1,120</b>
<b>TOTAL</b>			<b>122.566</b>	

## 7.2 ANALISI DELLE PERDITE TECNICHE E STIMA DELLA PRODUZIONE NETTA

Al fine di produrre una stima attendibile della produzione energetica di un impianto è indispensabile considerare alcuni fattori che contribuiscono ad aumentare le perdite energetiche cui gli aerogeneratori sono soggetti, e dunque influenzano l'effettiva quantità di energia cedibile dall'impianto alla rete elettrica nazionale. Tali fattori possono variare in funzione delle specifiche condizioni al contorno del caso in esame, ma producono degli effetti noti. Per l'impianto in esame, ad ognuno dei fattori considerati sono stati associati dei valori "standard" di perdite percentuali, di tipo empirico o relativi all'esperienza diretta, come riportato nella tabella che segue.

**Tabella 3: Tabella riassuntiva delle perdite tecniche dell'impianto.**

ENERGY LOSS FACTOR	TL [%]
wind generator availability	3,0%
balance of plant (BOP)	1,0%
wind generator availability (extra contractual)	1,0%
electrical availability	3,5%
electrical losses or dispersions	0,6%
environmental conditions / extreme temperatures	0,4%
hysteresis for high intensity winds	0,5%
exercise limitations	0,0%
other	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>10,0%</b>

La stima di produzione energetica annuale attesa dalle turbine di progetto, al netto delle perdite tecniche stimate pari al 10,0%, assume i valori riportati nella tabella seguente, che rappresenta la quantità di energia “effettivamente cedibile alla rete”. Tali valori costituiscono il cosiddetto “P50” (definito anche stima del valore centrale), ossia quel valore di produzione energetica che, in regime di vento medio, sarà superato con una probabilità del 50% (50° percentile).

In particolare, per ognuna delle turbine di progetto, sono riportate a seguire tutte le informazioni relative a:

- ❖  $V_{AVG}$  [m/s]: velocità media del vento stimata ad altezza mozzo (118,0 m s.l.t.);
- ❖ WAKE LOSS [%]: perdita percentuale di produzione causata dall'effetto scia;
- ❖ GROSS AEP [MWh]: produzione lorda attesa al netto delle perdite per effetto scia;
- ❖ NET AEP [MWh]: produzione attesa al netto delle perdite di scia e delle perdite tecniche;
- ❖ FLEOH [Full Load Equivalent Hours] / ore equivalenti: produzione attesa al netto delle perdite di scia espresse in ore/anno [MWh/MW].

**Tabella 4: Produzione lorda e netta annuale attesa dalle turbine di progetto.**

ID WTG	WTG TYPE	POWER [kW]	HUB HEIGHT [m s.l.t.]	$v_{avg}$ [m/s]	WAKE LOSS [%]	GROSS AEP [MWh]	NET AEP [MWh]	FLEOH [MWh/MW]
OR 01	NORDEX N163	5200	118	6,20	2,45	13.275	11.947	2267
OR 02	NORDEX N163	5200	118	6,30	4,59	13.563	12.207	2316
OR 03	NORDEX N163	5200	118	6,28	3,96	13.664	12.298	2334
OR 04	NORDEX N163	5200	118	6,38	4,41	14.207	12.786	2426
OR 05	NORDEX N163	5200	118	6,15	7,34	12.917	11.626	2206
OR 06	NORDEX N163	5200	118	6,54	4,77	14.561	13.105	2487
OR 07	NORDEX N163	5200	118	6,28	3,64	13.618	12.256	2326
OR 08	NORDEX N163	5200	118	6,25	4,09	13.473	12.125	2301
OR 09	NORDEX N163	5200	118	6,66	1,77	15.682	14.114	2678
<b>AVERAGE</b>				<b>6,34</b>	<b>4,11</b>			<b>2357</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>46.800</b>				<b>122.566</b>	<b>110.309</b>	

 <b>Loto Rinnovabili Srl</b> <i>Largo Augusto n.3</i> <i>20122 Milano</i> <i>pec:lotorinnovabili@legalmail.it</i>	<b>ANALISI DI PRODUCIBILITA'</b>	Cod. AS289-SI16-R	
		Data Giugno 2023	Rev. 00

Le stime di produzione i cui risultati di sintesi sono stati presentati in tabella precedente sono stati elaborati attraverso l'ausilio del software Wind Pro V3.6.

Si riporta a seguire il "Main Result" del Report restituito dal software afferente la stima di produzione del Layout di progetto con evidenza

Project: **Orune**  
Description:

Licensed user:  
**BayWa r.e. AG**  
Arabellastrasse 4  
DE-81925 München  
+49 (0) 89 / 38 39 32 - 147

### PARK - Main Result

**Calculation:** Layout\_r09\_N163\_9WT\_5.2\_M4\_ro\_1.125\_ORA

#### Setup

ASP scaled to a full year based on number of samples  
Scaling factor from 22,0 years to 1 year: 0,045

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: 0,070 HH:100m Mixed farmland

#### Blockage

Blockage Model: Self similar model (Forsting: 2017)

Gamma (?) Alpha (α) Beta (β) Lambda (?) Eta (?)  
1,100 0,889 1,114 0,587 1,320

**Note:** When wake reductions are mentioned in this report, it also includes reduction from blockage.

Reference WTG: OR 01

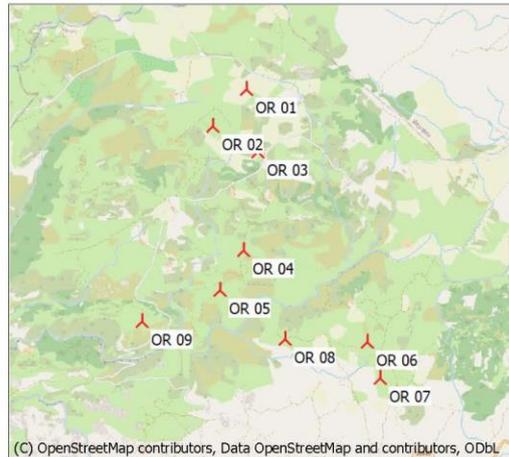
#### Scaler/wind data

Name: EMD Default Measurement Mast Scaler  
Terrain scaling: Measured Data Scaling (WASP Stability / A-Parameter)  
Micro terrain flow model: WASP IISZ from Site Data  
Used period: 01/01/2000 01:00:00 - 01/01/2022  
Meteo object(s): WRF+ Orune BayWa, 118,00m - H118 Scaled BayWa  
Displacement height: Sector-wise from calculator Default 15m forest based on roughness data  
WASP version: WASP 12 Version 12.07.0068

#### Power correction (All new WTGs)

Power curve correction (adjusted IEC method, improved to match turbine control)

	Min	Max	Avg	Corr.	Neg. corr.	Pos. corr.
				[%]	[%]	[%]
<b>Air density</b>						
From air density settings	[°C]	11,6	12,3	11,9		
From air density settings	[hPa]	910,9	923,9	916,2		
Resulting air density	[kg/m³]	1,115	1,127	1,120		
Relative to 15°C at sea level	[%]	91,0	92,0	91,4	-5,7	-5,7
						0,0



▲ New WTG

### Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,0% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Wake loss [%]	Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Wind speed	
								free	wake reduced
Wind farm	122.565,6	110.309,0	127.784,6	4,1	26,9	12.256,6	2.357	6,3	6,2

\*) Based on Result-10,0%

### Calculated Annual Energy for each of 9 new WTGs with total 46,8 MW rated power

WTG type	Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Displacement height [m]	Power curve Creator Name	Annual Energy			Wind speed	
									Result [MWh/y]	Result-10,0% [MWh/y]	Wake loss [%]	free [m/s]	reduced [m/s]
OR 01	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.246,0	11.921	2,4	6,20	6,10	
OR 02	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.372,3	12.035	4,6	6,30	6,15	
OR 03	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.395,2	12.056	4,0	6,28	6,14	
OR 04	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.766,7	12.390	4,4	6,38	6,23	
OR 05	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 12.534,0	11.281	7,3	6,15	5,93	
OR 06	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 14.257,4	12.832	4,8	6,54	6,36	
OR 07	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.461,9	12.116	3,6	6,28	6,15	
OR 08	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 13.301,2	11.971	4,1	6,25	6,11	
OR 09	Yes	NORDEX	N163_5.2 ro_1.125-5.200	5.200	163,0	118,0	Sector wise	USER Nordex N163/5.X - Power curves - Mode 4_17_Cut5.2 ro_1.125 15.230,8	13.708	1,8	6,66	6,60	

### WTG siting

	UTM (north)-WGS84 Zone: 32	Easting			Z	Row data/Description	Calculation period	
							Start	End
OR 01	New	524.053	4.478.761	778,5	OR 01	01/01/2000	01/01/2022	
OR 02	New	523.604	4.478.256	776,4	OR 02	01/01/2000	01/01/2022	
OR 03	New	524.212	4.477.921	770,0	OR 03	01/01/2000	01/01/2022	
OR 04	New	524.022	4.476.597	700,5	OR 04	01/01/2000	01/01/2022	
OR 05	New	523.707	4.476.068	660,0	OR 05	01/01/2000	01/01/2022	
OR 06	New	525.675	4.475.376	750,0	OR 06	01/01/2000	01/01/2022	
OR 07	New	525.847	4.474.893	748,0	OR 07	01/01/2000	01/01/2022	
OR 08	New	524.573	4.475.413	710,0	OR 08	01/01/2000	01/01/2022	
OR 09	New	522.673	4.475.649	676,8	OR 09	01/01/2000	01/01/2022	

\*) Included in wake losses is influence from 2 WTG(s) in the neighborhood, which has status as "Reference WTGs", see separate report to identify these.

windPRO 3.5.587 by EMD International A/S, Tel. +45 69 16 48 50, www.emd-international.com, windpro@emd.dk

23/06/2023 15:21 / 1



**Figura 13: Elaborazione software – Main Result – Report di stima del rendimento energetico atteso dall'impianto di progetto**

## 8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

La stima di producibilità attesa dall'impianto eolico in progetto sito in agro del Comune Orune (NU) è stata elaborata mediante l'utilizzo dello specifico software di settore windPRO 3.6, con impiego del motore di calcolo WASP.

La valutazione della risorsa eolica attesa al mozzo dalle turbine di progetto, 9 aerogeneratori modello Nordex N163 di potenza nominale 5200 kW, è stata condotta partendo dalla serie di dati anemometrici relativi alla stazione fisica di proprietà dell'Arpa Sardegna (ARPAS Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna - Dipartimento Meteorologico) contrassegnata dal codice NU009S249 per la quale la scrivente dispone di un set che copre un lasso temporale di 2 anni consecutivi (01/01/2020 – 01/01/2022) con una percentuale di validità pari al 99%.

I dati in oggetto sono stati correlati ad un nodo satellitare di lungo termine appartenente al progetto ERA5 facente parti della serie WRF+ (con disponibilità dati di oltre 24 anni) posto in zona centrale rispetto al layout di impianto, ottenendo elevati fattori di correlazione pari ad 85%.

La correlazione statistica, unitamente alla procedura di downscaling locale, ha permesso di costruire un VDM (Virtual Data Mast) al centro dell'area di impianto di lungo termine di altezza 118 m s.l.t. (pari all'altezza mozzo delle turbine di progetto).

La procedura adottata ha consentito di rendere rappresentativa la variabilità del flusso ventoso sul lungo periodo impiegato come dato di input per l'elaborazione e la stima della resa energetica delle turbine di progetto.

La produzione media [ $P_{50}$ ] risultante dall'analisi e dalla calibrazione del modello fisico di simulazione per le turbine risulta certamente soddisfacente attestandosi su valori di 110309 MWh/annui (corrispondenti a 2357 ore equivalenti/anno) pur considerando un deficit produttivo legato alle perdite tecniche stimate in un valore pari al 10%.