

				
COMUNE DI NULVI	REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA	PROVINCIA DI SASSARI		
<p align="center"><b>PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA SINGOLA TURBINA EOLICA DELLA POTENZA PARI A 999 kWp</b></p> <p align="center">Sito in Comune di Nulvi (SS)</p>				
PROGETTO DEFINITIVO		<b>PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' ALLA V.I.A. Regionale</b> Allegato B1 – DGR 11/75 del 24.3.2021		
PROPONENTE:				
		<b>BH WIND S.R.L.</b> <b>VIA ZARA ,5</b> <b>23100 SONDRIO</b> <b>P.IVA 01055440141</b>		
OGGETTO:		CODICE ELABORATO:		
<p align="center"><b>RELAZIONE ANEMOLOGICA</b></p>		<p align="center"><b>REL.07</b></p>		
SCALA / FORMATO	DATA EMISSIONE:			
<b>Relazione (f.to) A4</b>	<b>Luglio 2023</b>			
PROGETTAZIONE:		Made S.r.l.s. Piazza Castello 11 07100 Sassari Piva 02631830904		
				
Coordinatore progettista <i>Ing. Dennis Carta</i>	Responsabile Tecnico Elaborato	REVISIONI		
		N°	DATA	DESCRIZIONE
		01	27 luglio 2023	EMISSIONE
		02		



## INDICE

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Obiettivi dello studio .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Localizzazione del progetto .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Descrizione dello studio .....</b>	<b>5</b>
4.1. Metodologia di analisi.....	5
4.2. Banca dati vento disponibili.....	5
4.3. Modello digitale del Terreno.....	8
4.4. Layout di progetto del Parco Eolico .....	9
<b>5. Risultati dello studio .....</b>	<b>10</b>
5.1. Risorsa eolica dell'area.....	10
5.2. Risultati di produzione.....	11
5.3. Considerazioni finali .....	13



## 1. Introduzione

La **SOCIETA' BH WIND srl** (d'ora in avanti denominata "**BH WIND**") è una Società nata per sviluppare impianti eolici, e nel caso specifico, l'impianto oggetto del presente Studio Anemologico situato nel comune di Nulvi (d'ora in avanti denominato l'"Impianto"), in provincia di Sassari.

Lo Studio Anemologico, descritto nel seguito, è relativo ad un Layout di Impianto composto da un singolo aerogeneratore che è il risultato del miglior compromesso tra i seguenti aspetti, oltre quello del potenziale eolico:

- Vincolistica
- Accessibilità
- Disponibilità dei suoli

Al di là di questi aspetti che hanno guidato la definizione del Layout di Impianto, il presente documento rappresenta il report dell'attività di analisi e di elaborazione dei dati anemometrici del progetto.

Il lavoro è basato sulle seguenti informazioni e dati:

- dati vento
- mappe vettoriali digitali del terreno;
- cartografia dell'area;
- caratteristiche e tipologia degli aerogeneratori di progetto.

Diversi sopralluoghi sono stati effettuati in sito per:

- effettuare una valutazione del sito sia dal punto di vista dell'orografia sia da quello della rugosità;
- valutare la posizione dell'aerogeneratore in rapporto all'orografia del terreno, alla esposizione al vento, allo spazio disponibile ed alla vegetazione presente, al fine di minimizzare l'impatto.



## 2. Obiettivi dello studio

Le attività principali del lavoro eseguito e descritto in questo documento sono lo studio anemologico del progetto, basato sui dati di vento VORTEX nell'area di interesse, nel comune di NULVI, e la stima di produzione del parco eolico.

In particolare gli obiettivi dello studio sono:

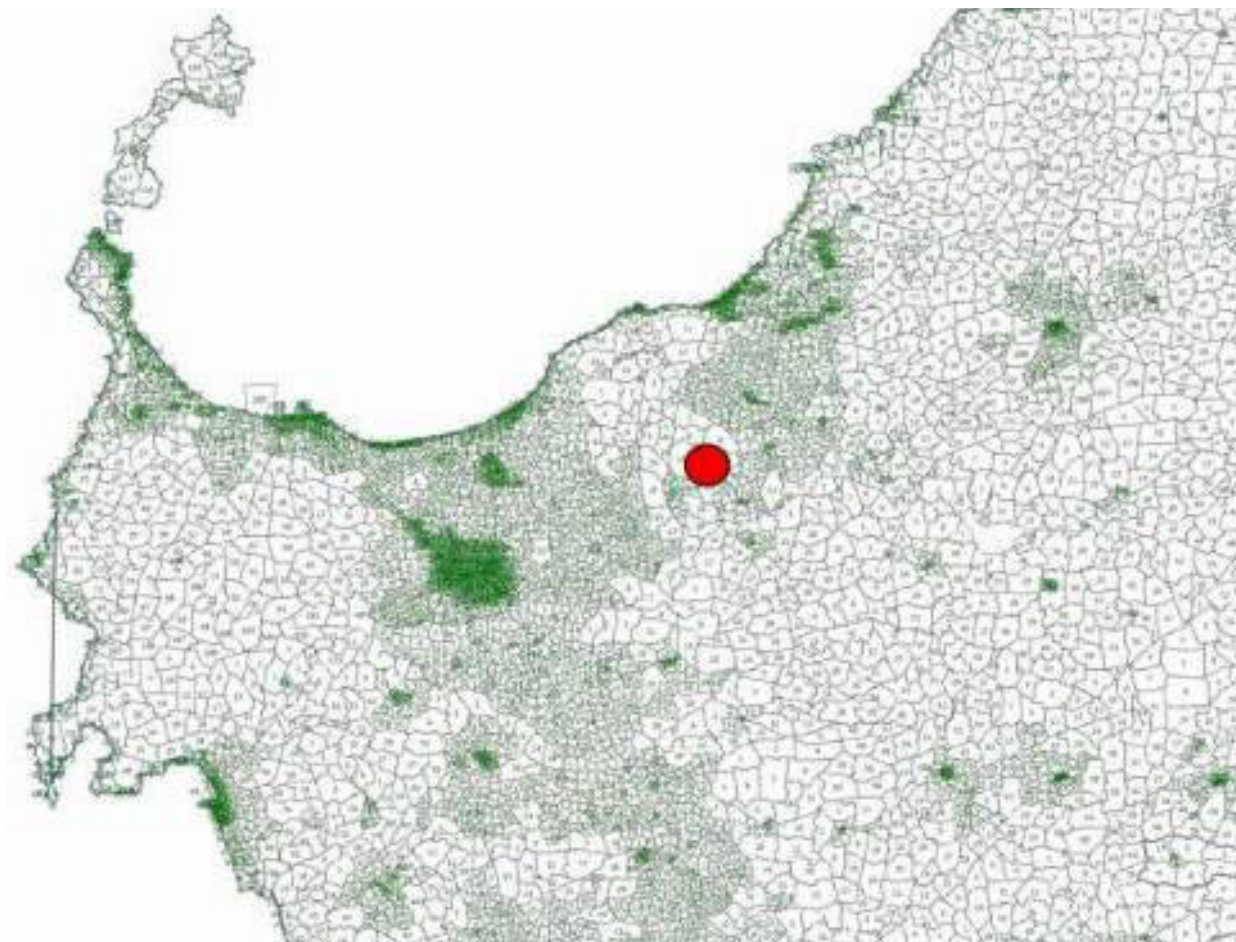
- modellazione del terreno;
- definizione della mappa di rugosità;
- studio di ventosità dell'area ed analisi della turbolenza;
- stima di produzione dell'impianto con il layout di progetto.

Le altre considerazioni sono riportate in dettaglio nella Relazione Tecnica del progetto.

### 3. Localizzazione del progetto

L’impianto è localizzato in Sardegna, in provincia di Sassari, nel territorio comunale di Nulvi.

L’impianto è localizzato in un’area completamente al di fuori del centro dell’abitato di Nulvi, 2,7 Km a Nord Est dello stesso.



**Figura 1 – Inquadramento territoriale dell’area individuata per l’installazione dell’impianto**

La quota del sito è pari a circa 455 [m] sul livello del mare, con un’ottima esposizione al vento lungo tutte le direzioni. Come si deduce dall’ortofoto (Riferimento: **E02-Inquadramento su Ortofotocarta**), praticamente tutta l’area del sito è destinata a pascolo; l’attuale utilizzo del terreno non sarà pregiudicato dalla costruzione dell’impianto, poiché la superficie effettivamente occupata dall’aerogeneratore è di poche centinaia di metri quadrati al termine dei lavori. Il sito è caratterizzato da ampi spazi aperti, privo di vegetazione. Vi sono alcune abitazioni sporadiche nelle vicinanze, ma comunque oltre i 500 metri dall’impianto che non vengono disturbate in alcun modo dalla presenza dell’impianto.

## 4. Descrizione dello studio

Nel seguito del presente documento saranno sviluppati in dettaglio la metodologia di studio, i dati di input e ciascuno dei punti menzionati nel Capitolo 2.

### 4.1. Metodologia di analisi

Lo studio anemologico è stato condotto elaborando i dati raccolti con l'ausilio delle tecniche di analisi e di calcolo più innovative attualmente presenti sul mercato, nel settore dell'energia eolica; in particolare sono stati utilizzati i seguenti software:

- **Windographer**, per il filtraggio dei dati vento, l'analisi statistica dei dati e la simulazione di brevi periodi di dati mancanti.
- **WindSim**, della Vector, per l'analisi e l'elaborazione delle condizioni di vento e per la stima di producibilità degli aerogeneratori. Questo prodotto è particolarmente indicato per terreni dall'orografia complessa come il sito in oggetto, in quanto il metodo di calcolo che applica è del tipo non-lineare e permette di simulare fenomeni aerodinamici del secondo ordine.
- **Excel**, per l'elaborazione finale dei risultati.

La procedura di analisi è stata condotta secondo le seguenti fasi successive:

- analisi preliminare dei dati vento, preparazione dei dati di input per i software di calcolo della ventosità;
- preparazione del modello digitale del terreno, in input, nel formato e nelle dimensioni opportune, al software di calcolo della ventosità;
- elaborazione del calcolo fluidodinamico, con l'uso di WindSim, analisi delle condizioni di vento presenti nel sito;
- preparazione del layout di progetto, posizionamento dell'aerogeneratore e definizione delle sue caratteristiche tecniche;
- calcolo della producibilità dell'impianto, con l'uso di WindSim;

Non è necessario in questo caso il calcolo delle perdite di scia, poiché si tratta di un solo aerogeneratore e non sono presenti altri nelle vicinanze.

### 4.2. Banca dati vento disponibili

I dati vento utilizzati e analizzati per lo studio e la definizione dell'impianto in oggetto, sono stati acquistati da Vortex. Si tratta di due serie di dati, una nel punto di installazione dell'aerogeneratore ed un'altra nelle vicinanze, al fine di poter valutare al meglio il potenziale eolico. I risultati più conservativi, e saranno questi quelli considerati per lo studio, sono i dati relativi al punto di installazione dell'impianto. Pertanto nel seguito si farà riferimento esclusivamente a questi.

Di seguito sono rappresentati graficamente rispettivamente nel punto dell'impianto:

- Profilo verticale delle velocità
- Distribuzione di frequenza delle velocità

- Rosa dei venti

Il periodo esaminato, per redigere il presente studio, va dal 01/01/2017 al 31/12/2017 poiché questo risulta, negli ultimi 10 anni, essere quello prossimo al valore medio. I grafici rappresentati qui di seguito sono tutti relativi alle condizioni ambientali a 80 metri di altezza nel punto dell'impianto.

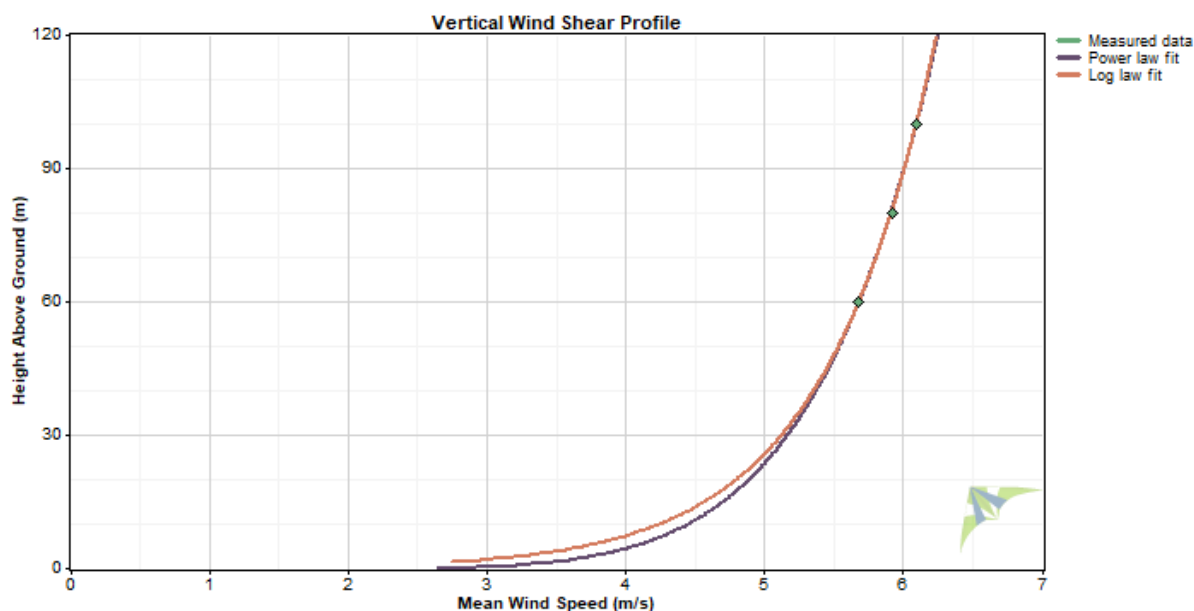


Figura 2 – Profilo verticale della velocità nel punto di installazione dell'impianto

Il profilo verticale di velocità non manifesta alcuna anomalia, ovvero, al crescere della quota la velocità aumenta. In particolare il valore medio di velocità all'altezza prevista per l'aerogeneratore in progetto, 80 metri, è prossima ai 6 m/s.

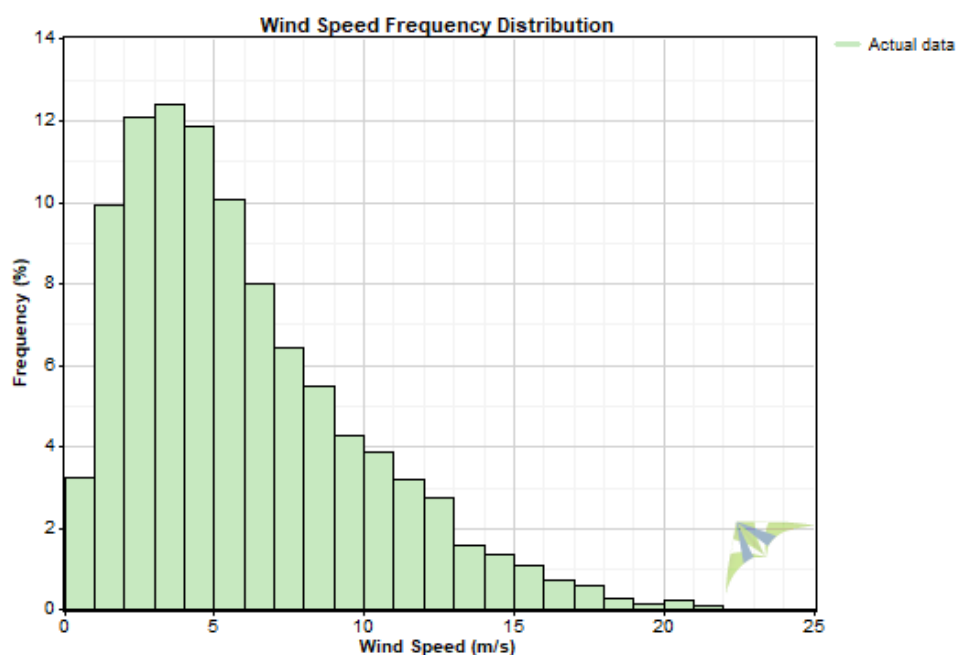
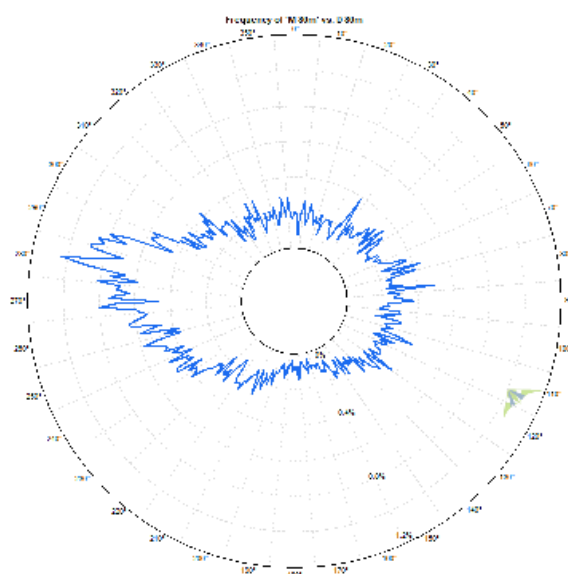


Figura 3 – Distribuzione di frequenza della velocità nel punto di installazione dell'impianto relativa ad una annualità

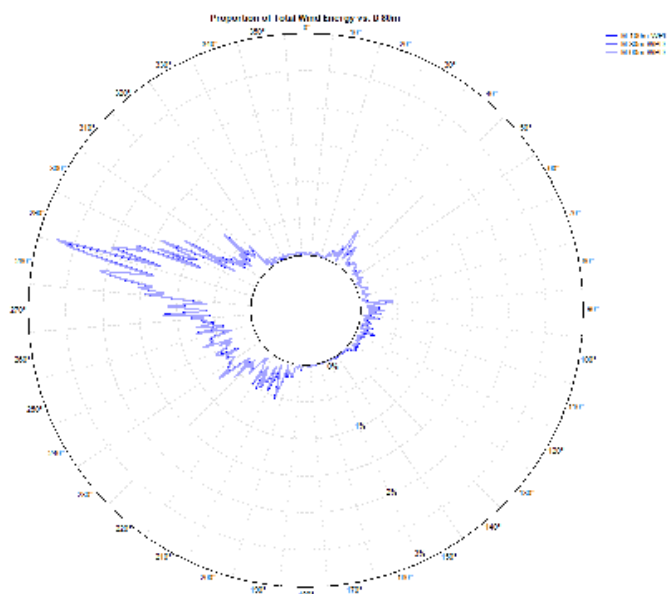
Così come si presenta, la distribuzione di frequenza appare regolare, con un picco di frequenza intorno ai 5 [m/s].

Nonostante la velocità media non sia molto elevata si ha una buona frequenza di venti di intensità superiore ai 5 [m/s], questo fa presumere la possibilità di impiegare tipologie di aerogeneratori aventi diametro di pale molto grande rispetto alla potenza installata, in modo tale da sfruttare al massimo il potenziale eolico presente nel sito. Oltretutto si evidenzia che non esistono picchi di velocità superiori al campo di funzionamento dei classici aerogeneratori presenti ad oggi sul mercato.



**Figura 4 – Rosa dei venti nel punto di installazione dell’Impianto relativa ad una annualità**

La direzione prevalente, caratteristica di quest’area, così come si vede in figura 4, è Ovest – Nord Ovest e come si osserva dalla Figura 5, lo stesso vale anche in termini di energia utile.



**Figura 5 – Rosa dei venti nel punto di installazione dell’Impianto relativa ad una annualità relativa all’energia utile**



Come già sottolineato precedentemente, nel portare avanti il presente studio si è scelto di utilizzare il periodo di 1 anni di dati di tutto il 2017, considerato prossimo al valore medio in termini di velocità media degli ultimi 10 anni.

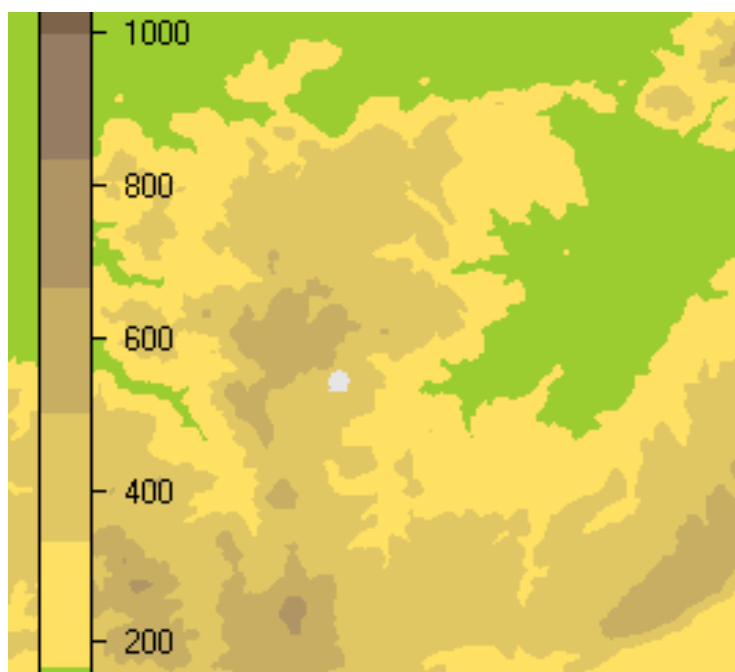
### 4.3. Modello digitale del Terreno

Il sito eolico di Nulvi è costituito da un singolo aerogeneratore ed è situato a Nord-Est del centro abitato del comune. L'orografia dell'area oggetto di studio è mediamente complessa; nel calcolo della ventosità, con il software Windsim, il modello del terreno ottenuto presenta le seguenti caratteristiche:

- Modello DTM: Area di 57460 x 47769 [m], discretizzata con 4.223.520 celle complessive di calcolo e con una risoluzione spaziale di 114 [m].

Il calcolo iterativo delle equazioni di Navier – Stokes, per il calcolo del flusso del vento sul terreno, ha portato a soluzioni convergenti su tutti e 12 i settori di direzione con valori residui al di sotto del limite di convergenza fissato, a riprova della correttezza della soluzione aerodinamica ottenuta. Ciò diminuisce, dunque, anche l'incertezza legata al calcolo finale della producibilità.

La rugosità del terreno, nell'area presa in considerazione, è un aspetto importante ed influente sul profilo dei venti di bassa quota quali quelli considerati nello studio anemologico di un impianto eolico. Proprio per tale motivo e per ottenere valori ancor più realistici, a valle dei sopralluoghi effettuati in loco, e dall'esame delle immagini in ortofoto dell'area, si è realizzata una mappa di rugosità variabile da zona a zona.



**Figura 6 – Rappresentazione grafica del layout inquadrato in un estratto del modello DTM realizzato. Software Windsim**

Di seguito si riporta la mappa di rugosità realizzata come input per il calcolo del flusso del vento. Sono stati considerati valori di rugosità per  $z_0$  da 0,001 [m], per l'area del sito ed i terreni limitrofi, fino a 2 [m], per i centri abitati, con tutti i valori intermedi necessari.

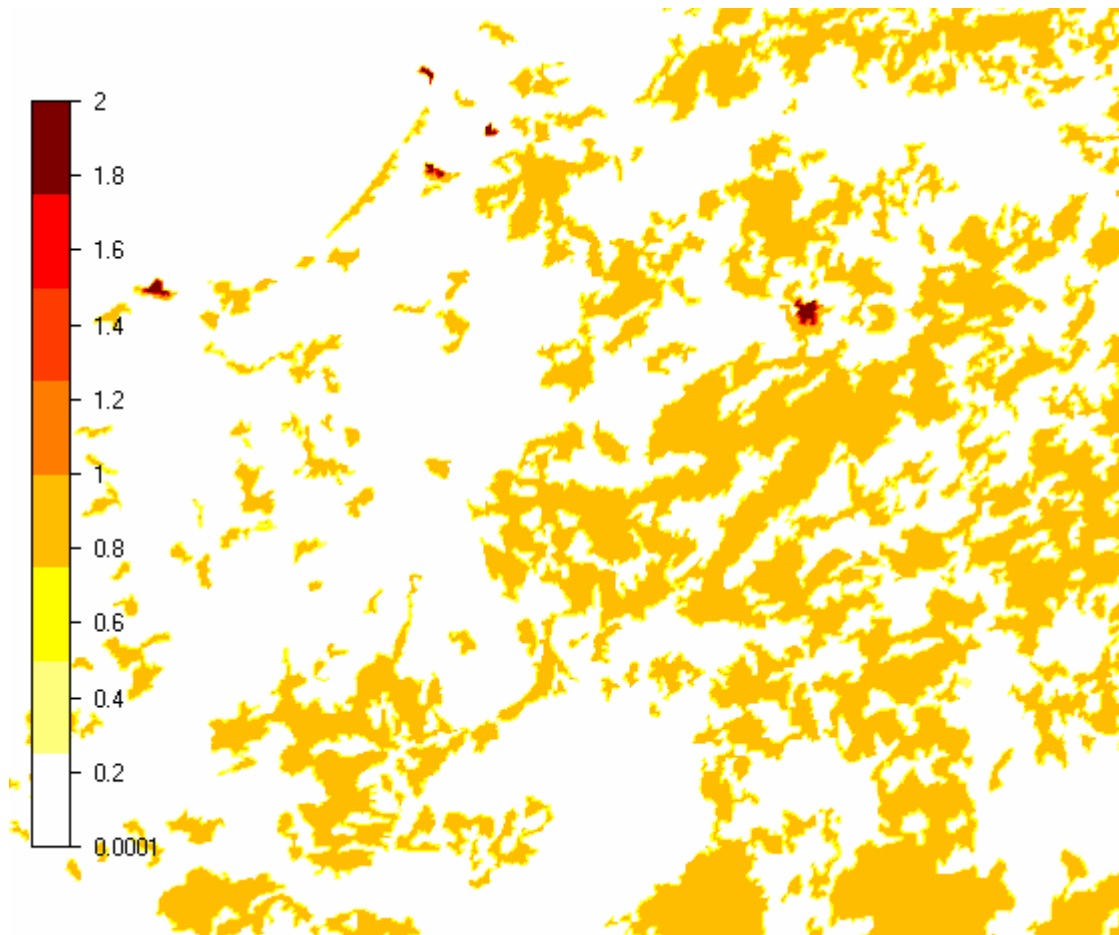


Figura 7– Mappa di rugosità dell'area utilizzata in input per la realizzazione del modello digitale del terreno con Windsim

#### 4.4. Layout di progetto del Parco Eolico

Il sito di Nulvi, prevede un layout definitivo di progetto formato da 1 aerogeneratore. Di seguito le caratteristiche dimensionali:

- Potenza nominale, 1000 [KW]
- Altezza torre, 80 [m]
- Diametro rotore, 90 [m]

La scelta di queste caratteristiche deriva principalmente da diversi fattori:

- Facilità di trasporto (Viabilità di accesso)
- Massimizzazione della Produzione Specifica

Il modello di aerogeneratore che presenta le caratteristiche su descritto, utilizzato per i calcoli di producibilità nel presente studio è **Leitwind LTW 90 – 1 MW**

Le coordinate esatte dell'aerogeneratore nel layout sono state individuate sulla cartografia di progetto.

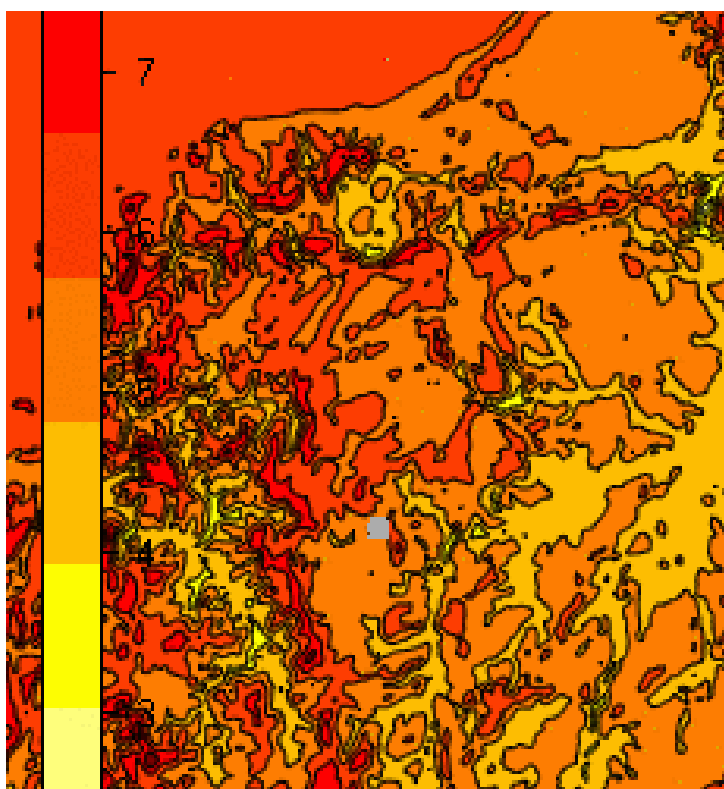
L'area dell'impianto è risultata essere in generale discretamente ventosa, e il modello scelto all'uopo, massimizza la produzione di energia considerando che l'impatto dell'impianto è minimo anche considerando l'esiguità delle opere da realizzare ed allacciare lo stesso alla RTN, in MT prossima all'impianto.

## 5. Risultati dello studio

### 5.1. Risorsa eolica dell'area

La risorsa eolica disponibile nel sito di Nulvi, è stata esplorata elaborando i dati di cui al Paragrafo 4.2.

L'analisi tiene conto dei dati del vento relativi ad una annualità. Le seguenti figure illustrano le mappe di ventosità dell'area a 80 [m], quota di progetto dell'aerogeneratore, nella versione definitiva e riportano anche la posizione dello stesso.



**Figura 8– Mappa isovento a 80 [m] di altezza, software Windsim**

Come si vede dalla figura, l'aerogeneratore è posizionato in un'area ventosa, in cui la velocità media bidimensionale del vento, a 80 [m] di quota, è di circa 6 [m/s].

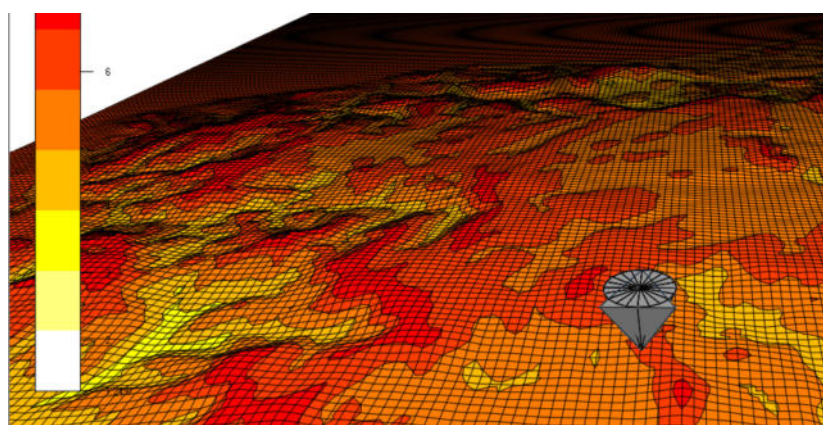


Figura 8 – Mappe isovento a 80 metri di altezza. Visualizzazione 3D del Layout definitivo. software Windsim

## 5.2. Risultati di produzione

Di seguito, si riportano i risultati del calcolo della produzione dell'impianto, secondo il layout definitivo.

Sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per il calcolo della produzione, si sono prese in considerazione le curve di potenza, certificate dal produttore
- La densità dell'aria è stata calcolata con due metodologie differenti all'altezza del mozzo:
  - a) La densità viene calcolata in ciascun punto dell'atmosfera standard prendendo in considerazione il cambio di quota secondo la formula:

$$\rho = [1.225 - (1.194 \cdot 10^{-4}) \cdot z]$$

dove  $z$  è la quota sul il livello del mare. Ciò fornisce un buon valore medio a lungo termine della densità dell'aria in aree moderatamente complesse;

- b) La densità viene calcolata in ogni punto dell'atmosfera standard con una decrescita della temperatura di  $0,65 \text{ }^{\circ}\text{K} / 100\text{m}$  e la pressione è  $1013,25 \text{ hPa}$  a livello del mare.

Dalle prove eseguite per il calcolo della producibilità si è constatato che il metodo b) è più conservativo, pertanto per il calcolo della densità quello descritto al punto b) è quello che è stato adottato.

Tenuto conto dell'altezza media del sito a  $455 \text{ [m]}$  s.l.m. e dell'altezza dell'aerogeneratore il calcolo ha determinato un valore di densità dell'aria in sito, nel corso dell'anno di  **$1,163 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$** .

Le perdite tecniche generali, considerate in aggiunta alle perdite per scia, sono state così calcolate:

→ **Perdita per disponibilità delle macchine:**

**5%** - (secondo la macchina) dato coerente con le prestazioni delle moderne Wind Farm già operative. È un dato legato alla garanzia rilasciata dal singolo fornitore per siti non eccessivamente complessi e/o particolarmente isolati

→ **Perdite elettriche:**

**2%** - valore di massima, una definizione più precisa sarà fatta, in fase esecutiva, quando potranno essere definiti esattamente tutti i sistemi elettrici dell’Impianto

→ **Degrado delle pale:**

**1%** - la produzione delle turbine può essere influenzata da diversi fattori (es.: usura e/o variazione profilo delle pale, stratificazione di insetti, sporco sulle pale, sfogliamento delle pale dovuto al loro naturale degrado etc.). Questi fenomeni, col tempo, vanno a variare il profilo aerodinamico delle pale e, conseguentemente, le loro prestazioni e la produttività della turbina.

→ **Manutenzione della Sottostazione:**

**0,2%** - La produzione netta di un impianto eolico può essere ridotta a causa dell’impossibilità di consegnare l’energia prodotta in rete per fuori servizio della sottostazione. Usualmente si considera equivalente ad un giorno di manutenzione ordinaria all’anno.

→ **Interruzione della Rete:**

La produzione dell’Impianto potrebbe altresì essere influenzata dall’impossibilità di immettere in rete l’energia prodotta per cause esterne all’impianto. Questa perdita non è stata considerata in questa analisi.

Oltre ciò, considerata la tipologia di dati utilizzata per il calcolo, si preferisce a titolo conservativo, anche nel calcolo del P50, attribuire un’errore del 5% anche alla serie di dati, come perdita sull’energia prodotta.

**Si arriva così ad un totale del 13,2% di perdite generali.**

Nella tabella 1 sono riportati i risultati di produzione del sito in funzione del modello di aerogeneratore scelto nel layout definitivo.

<b>Modello</b>	<b>Potenza [MW]</b>	<b>Rotore [m]</b>	<b>Hub [m]</b>	<b>AEP P50 [MWh/Anno]</b>	<b>Ore equivalenti P50 [h]</b>
LTW 90 – 1 MW	1	90	80	2994	2994

**Tabella 1 – Risultati di produzione. Layout definitivo**

<b>Aerogeneratore</b>	<b>E</b>	<b>N</b>
WTG-1	480904,76	4516355.63

**Tabella 2 – Posizione della turbina nel layout definitivo in coordinate UTM WGS 84**

Dai risultati ottenuti, il modello testato con potenza nominale di 1000 [KW] e altezza hub 80 [m], ha fornito un valore medio di producibilità pari a **2994 ore equivalenti (P50)** con le assunzioni anzidette.

### 5.3. Considerazioni finali

Nell'approccio descritto i dati di vento sono stati elaborati mediante WindSim, in particolare per il calcolo della ventosità del sito e della produzione degli aerogeneratori e dell'analisi delle grandezze aerodinamiche coinvolte.

**I valori di ventosità medi rilevati sono ritenuti buoni.** Infatti vi è una buona frequenza di rilevazioni di velocità del vento comprese tra 3 e 25 [m/s], e queste sono particolarmente interessanti poiché corrisponde al range di funzionamento degli aerogeneratori commercializzati.

Si consiglia, ai fini della verifica della correttezza dei risultati ottenuti, e soprattutto per la caratterizzazione corretta del sito e quindi per la scelta del modello di aerogeneratore più adatto al sito, nel rispetto della IEC 61400-12 3rd Ed., l'installazione di una stazione anemometrica di altezza almeno pari a 60 metri nell'intorno dell'area considerata per l'installazione dell'aerogeneratore.

Sulla base di queste considerazioni, e dello studio effettuato, si ritiene che, considerando gli spazi disponibili, i limiti e i vincoli presenti, il sito in oggetto abbia un potenziale eolico più che soddisfacente.