REGIONE LIGURIA

Provincia di Savona

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DI SAVONA

PARCO EOLICO "BRIC DELL'EREMITA" (27MW)
nei Comuni di Cairo Montenotte e Pontinvrea

Firmato digitalmente
da: GIORGIO CURETTI
Data: 14/08/2024
08:39:51

Firmato digitalmente da: viara samuele
Ruolo: Ingegnere
Descrizione: Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo, Sezione: A, Settore: a-b-c, Numero di iscrizione: A1949, Data di iscrizione: 14/01/2009, Data di abilitazione: 2003 - Sessione n.2
Organizzazione: Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo
Data: 14/08/2024 08:45:09

DATA	EMISSIONE
Agosto 2024	*Valutazione di Impatto Ambientale - Verifica di assoggettabilità*

PROGETTISTI:

Ing. Samuele Viara

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CUNEO
A1949 Dott. Ing. Samuele Viara

Dott. For. Giorgio Curetti

SOCIETA' PROPONENTE:

Trynyty Wind S.r.l
Lungotevere dei Mellini 7
00193 Roma (RM)
C.F e P.IVA 17284761008

Studio anemologico e produzione energetica

ELABORATO

04W.R.15

INDICE

1. Introduzione 2
2. Obiettivi dello studio 3
Localizzazione del progetto 4
3. Descrizione dello studio 7
3.1. Metodologia di analisi 7
3.2. Banca dati vento disponibili 8
3.2.1. 5.2.1 Caratteristiche della stazione anemometrica da 30 m 8
3.3. Modello digitale del Terreno 10
3.4. Layout di progetto del Parco Eolico 13
4. Risultati dello studio 14
4.1. Risorsa eolica dell'area 14
4.2. Risultati di produzione 15
4.2.1. Modelli di aerogeneratori testati 17
4.2.2. Risultati delle simulazioni 18
4.3. Considerazioni finali 18

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

1. Introduzione

La **TRYNYTY WIND srl** (d'ora in avanti denominata "TRYNYTY WIND") è una Società nata per sviluppare il Parco Eolico oggetto del presente Studio Anemologico situato nei Comuni di CAIRO MONTENOTTE ed PONTINVREA (d'ora in avanti denominato l'"Impianto"), in provincia di SAVONA.

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

- Impatto sulla Fauna, in particolare, ornitofauna e chirottero fauna, per cui è stato condotto un monitoraggio ad hoc in sito secondo protocollo ANEV.
- Vincolistica
- Accessibilità provata dal fatto che il percorso è il medesimo utilizzato per il trasporto nelle vicinanze di molti aerogeneratori della medesima taglia tra il 2021 e il 2024
- 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 principalmente basato sulle seguenti informazioni e dati:

- dati di vento misurati non in sito ma nell'area, per un periodo di 12 mesi. Per maggiore sicurezza gli stessi sono stati confrontati con un FARM acquistato da VORTEX, relativo all'area del sito;
- mappe vettoriali digitali del terreno;
- cartografia dell'area;
- caratteristiche e tipologia degli aerogeneratori di progetto;
- dimensioni del parco eolico e vincoli relativi.

Diversi sopralluoghi sono stati effettuati in sito anche con l'ausilio di droni:

- Effettuare una valutazione del sito sia dal punto di vista dell'orografia sia da quello della rugosità;
- Valutare la posizione degli aerogeneratori in rapporto all'orografia del terreno, alla esposizione al vento, agli spazi disponibili ed alla vegetazione presente, al fine di minimizzare gli impatti.
- Rilievi topografici
- Misure geotecniche
- Monitoraggio avifauna
- Monitoraggi botanici
- Misurazioni fonometriche

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Tutti questi aspetti interpolati tra di loro, hanno dato vita al layout di cui qui si descrivono gli aspetti anemologici.

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 monitorati nell'area vasta di interesse, nel comune di Cairo Montenotte / Pontinvrea, e la stima di produzione del parco eolico. In particolare gli obiettivi dello studio sono:

- verifica dei dati anemologici disponibili (FARM e dati misurati nell'area vasta) e filtraggio degli stessi;
- modellazione del terreno;
- definizione della mappa di rugosità;
- studio di ventosità dell'area ed analisi della turbolenza;
- layout di progetto;
- stima di produzione del parco eolico con il layout di progetto;
- valutazione perdite di scia;
- valutazione tecnica finale del progetto.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Localizzazione del progetto

L'Impianto è localizzato in Liguria, in provincia di Savona, nei territori comunali di Cairo Montenotte e Pontinvrea al confine tra i due Comuni, in Località Bric Eremita.

Di seguito indicazione della zona di installazione inquadrata sulla mappa dell'Italia e uno stralcio della carta CTR in cui è ubicato il progetto, la cui area è anche identificata.

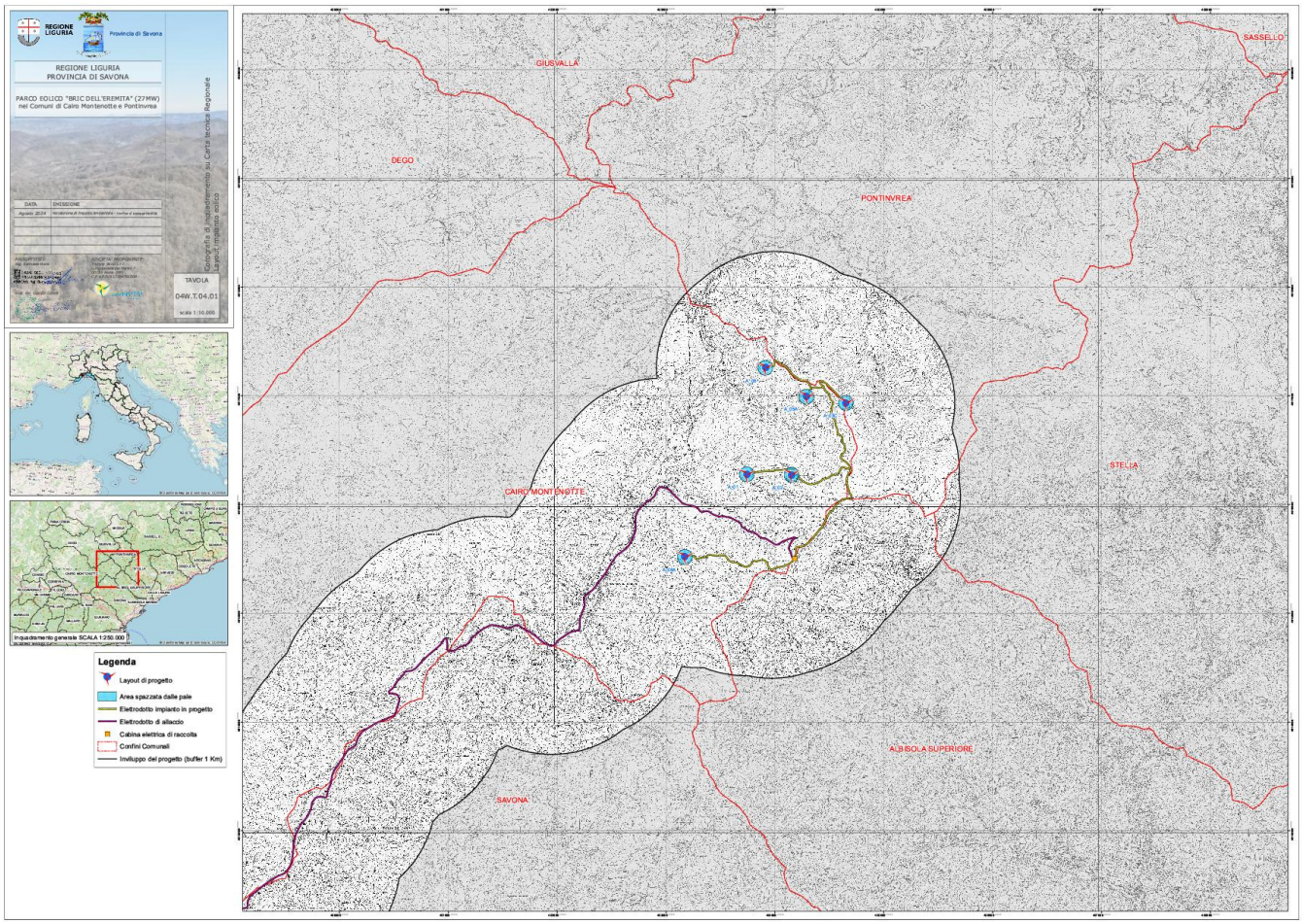


Figura 1 – Inquadramento territoriale dell'area individuata per l'istallazione del parco eolico

Nel seguito sono rappresentati su stradario, i percorsi per raggiungere l'area del sito con tutti i componenti degli aerogeneratori.

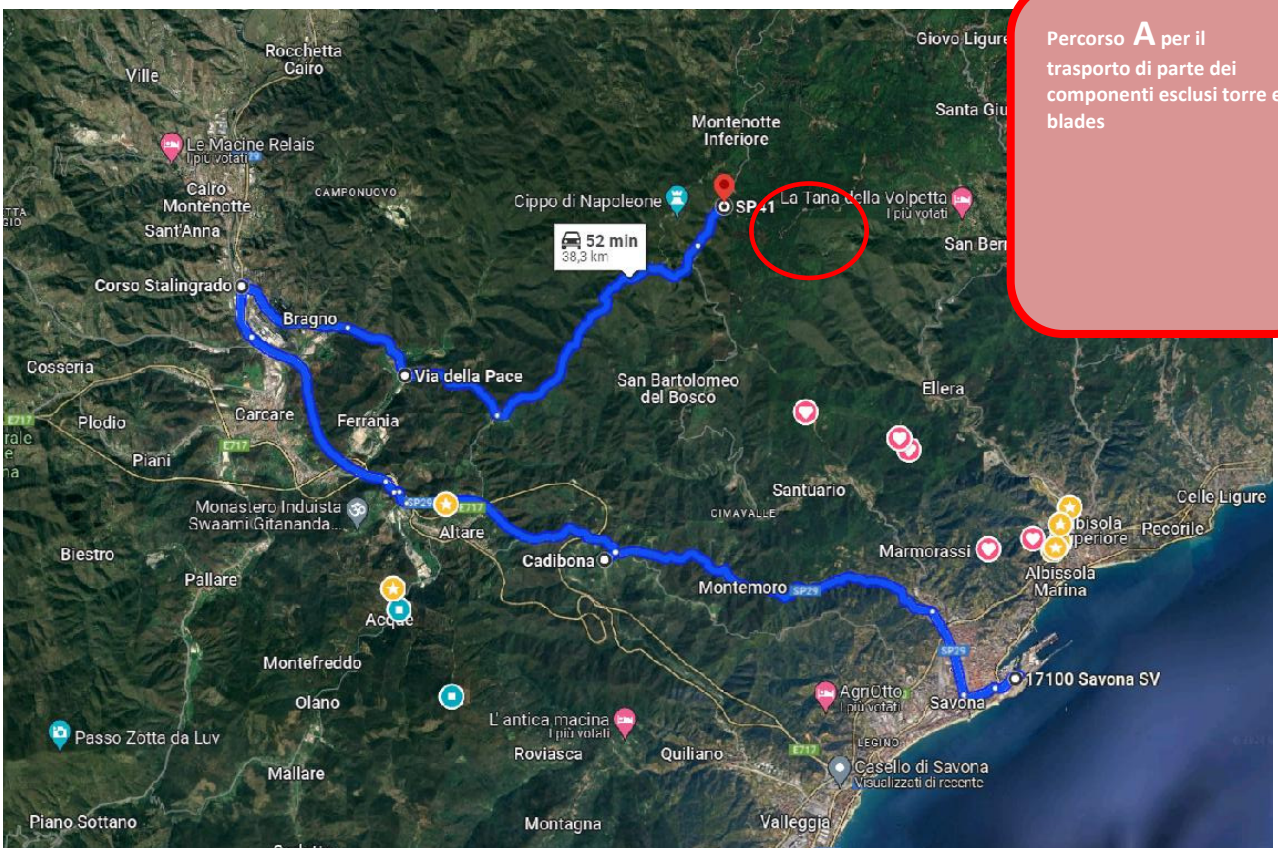
I dettagli della viabilità per raggiungere il sito sono argomentati nel dettaglio nel road survey, **04W.R19_Report Viabilità**, estratto da report analoghi utilizzati per i trasporti nell'area, che ha già eseguito i trasporti per molti aerogeneratori installati nell'area.

- **Percorso A**: generatore, navicella e altri componenti
- **Percorso B**: comprende un tratto di transito in autostrada (A6) con uscita al casello di Altare.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Percorso utilizzato esclusivamente per le Blades con l'ausilio di blade lifter e per tutti i componenti della torre.

I dettagli della viabilità per raggiungere il sito sono argomentati nel dettaglio nel road survey, **04W.R.19_Report Viabilità**, estratto da report redatti da trasportatori del settore, che hanno già eseguito i trasporti per molti aerogeneratori installati nell'area, ultimo tra questi, l'impianto eolico di Naso di Gatto – Monte Negino.



Percorso A per il trasporto di parte dei componenti esclusi torre e blades

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

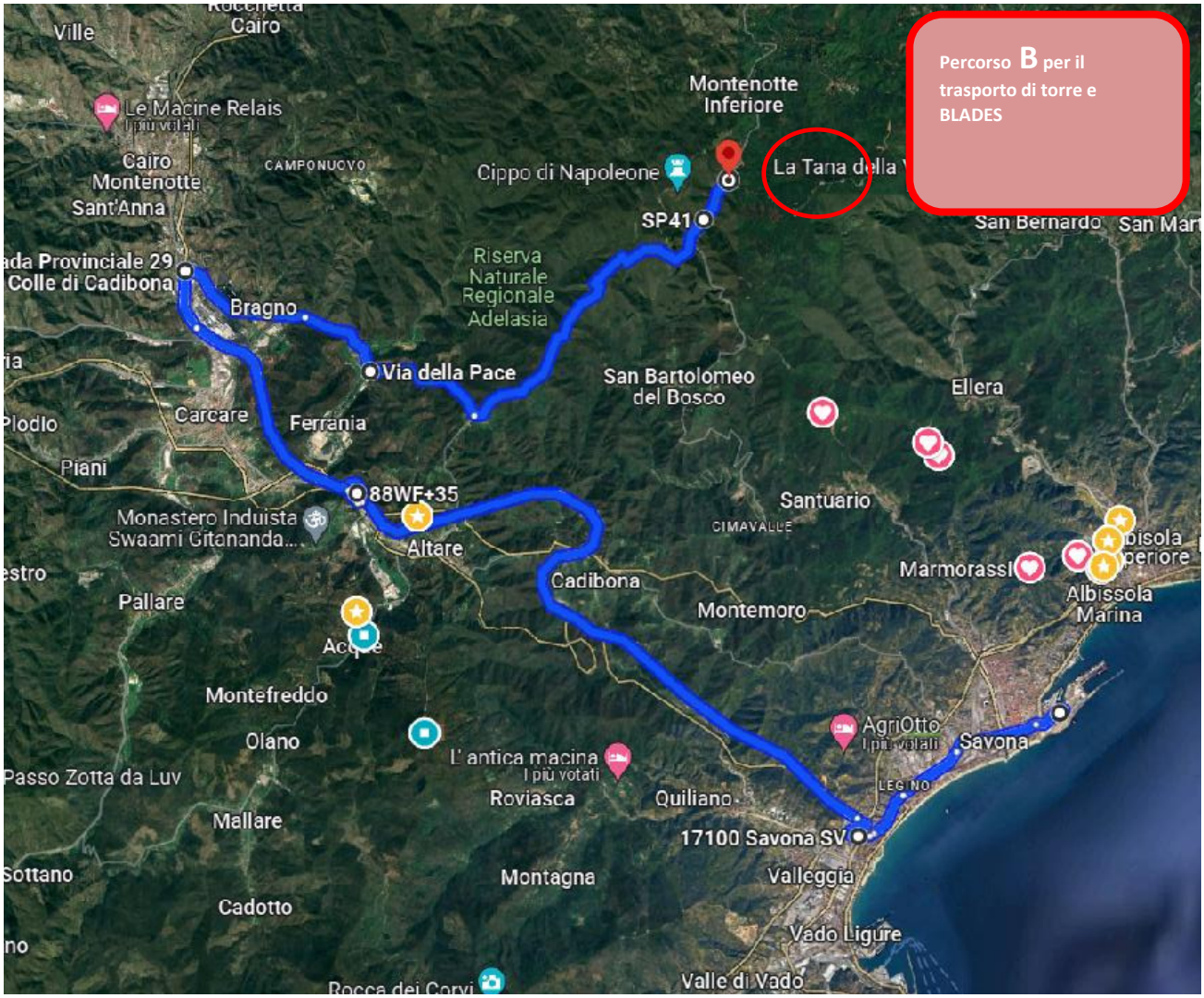


Figura 2 – Viabilità per raggiungere il sito. Percorso A e Percorso B. Cerchio rosso: Area SITO.

<u>Il carico di tutti i componenti al porto di Savona è, ad oggi, l'unica opzione realizzabile per i trasporti fino al luogo del progetto e comunque in tutta la Provincia di Savona.</u>

Si precisa inoltre che:

- in tutta la Liguria, contrariamente a quanto voglia far credere qualche "progettista" che sta cercando di occupare qualsiasi area del territorio regionale con ipotesi progettuali strampalate, **NON è POSSIBILE TRASPORTARE AEROGENERATORI DI DIMENSIONI SUPERIORI A QUELLE CONSIDERATE NEL REPORT DI VIABILITA' ALLEGATO (ENERCON E 138)**. Percui, anche se nel progetto presentato si è considerato, come modello di riferimento VESTAS V136, il Report che si utilizza, che è solo stato adattato al caso qui presentato, è quello redatto per il Progetto Eolico "Naso di Gatto – Monte Negino" attualmente in costruzione, di cui lo scrivente è peraltro il Direttore dei Lavori
- l'ingresso al sito dell'Impianto Eolico "Bric Eremita" è lo stesso che è stato utilizzato per la

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

realizzazione dell'Impianto eolico in Esercizio "Monte Greppino" costituito da 6 aerogeneratori Vestas V136, ovvero lo stesso modello considerato per il presente progetto.

La quota media del sito è pari a circa 750 [m] sul livello del mare, con un'ottima esposizione al vento nella direzione principale del vento per quest'area, ovvero NORD-OVEST.

Come si deduce dall'ortofoto, **04W.T05_Inquadramento su Ortofotocarta 2019**, i 6 aerogeneratori ricadono in area boscata; l'attuale destinazione del suolo e la trasformazione del bosco sono argomentati in dettaglio nelle relazioni **04W.R5_Relazione Forestale** e nella **04W.R14_Studio Preliminare Ambientale**.

L'area è scarsamente antropizzata: le poche abitazioni presenti, non saranno disturbate dalla presenza dell'impianto, come verificato e argomentato nella **04W.R16_Studio di Fattibilità acustica**.

3. 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.

3.1. 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:

- **NOMAD DESKTOP,** della SECOND WIND, per l'estrazione preliminare dal data logger dei dati vento misurati.
- **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, filtraggio dei dati, preparazione dei dati di input per i software di calcolo della ventosità;
- preparazione del modello digitale del terreno, da dare 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;

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

- preparazione del layout di progetto, posizionamento degli aerogeneratori e definizione delle loro caratteristiche tecniche;
- calcolo della producibilità dell'Impianto, con l'ausilio di WindSim;
- calcolo delle perdite di scia, con l'ausilio di WindSim;

3.2. Banca dati vento disponibili

I dati vento utilizzati e analizzati per lo studio e la definizione dell'impianto in oggetto sono quelli acquisiti da una stazione anemometrica installata in passato nell'area vasta.

- stazione anemometrica da 30 m. Per la stesura della presente relazione si è utilizzato un periodo di dodici mesi di dati rilevati ogni 10 minuti.
- In tabella sono riportate le principali caratteristiche della torre anemometrica da 30 m. La posizione della stazione anemometrica risponde ai criteri della normale prassi in tema di misurazioni anemologiche per lo sviluppo di parchi eolici.

Descrizione
Posizione anemometro – coordinate UTM WGS84: *Longitudine: E 447495* *Latitudine: N 4910908* *Quota: 497 [m] s.l.m.*
Caratteristiche tecniche *Struttura tubolare in acciaio Altezza 30 [m]*
Sensori e centralina *1 Data Logger Nomad Desktop della Second Wind* *2 Anemometro installato a 30 [m] s.l.s – Calibrato* *1 Anemometro installato a 20 [m] s.l.s – Calibrato* *1 Sensore di Direzione installato a 30 [m] s.l.s* *1 Sensore di Direzione installato a 20[m] s.l.s*
Periodo di misura utilizzato *dal 10 giugno 2015 al 10 giugno 2016*

Tabella 1 – Descrizione stazione anemometrica – Località Chiappe Comune di Cairo Montenotte (SV)

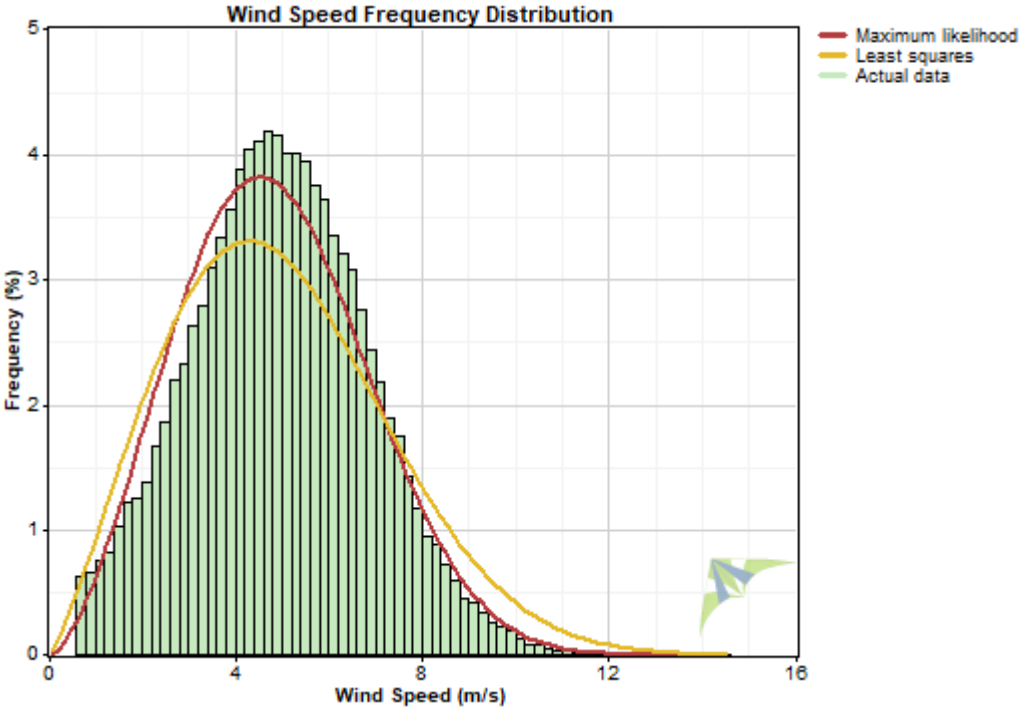
3.2.1. 5.2.1 Caratteristiche della stazione anemometrica da 30 m

I dati vento disponibili dalla stazione anemometrica descritta al paragrafo precedente, sono riferiti al periodo compreso tra il 10 giugno 2015 e il 10 giugno 2016, per un totale di 12 mesi, pertanto un'intera annualità.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Dall'esame dei dati elaborati in serie temporale, è stata verificata la validità delle misure per ognuno dei parametri che sono stati misurati, mediante un'operazione manuale di filtraggio.

Nelle immagini seguenti sono rappresentate le distribuzioni in frequenza delle misure di velocità rilevate sul sito, nel periodo in esame. Avendo verificato la coerenza dei dati di velocità tra 20 e 30 metri di altezza, analizziamo distribuzioni di frequenza e rose dei venti ad una sola quota.



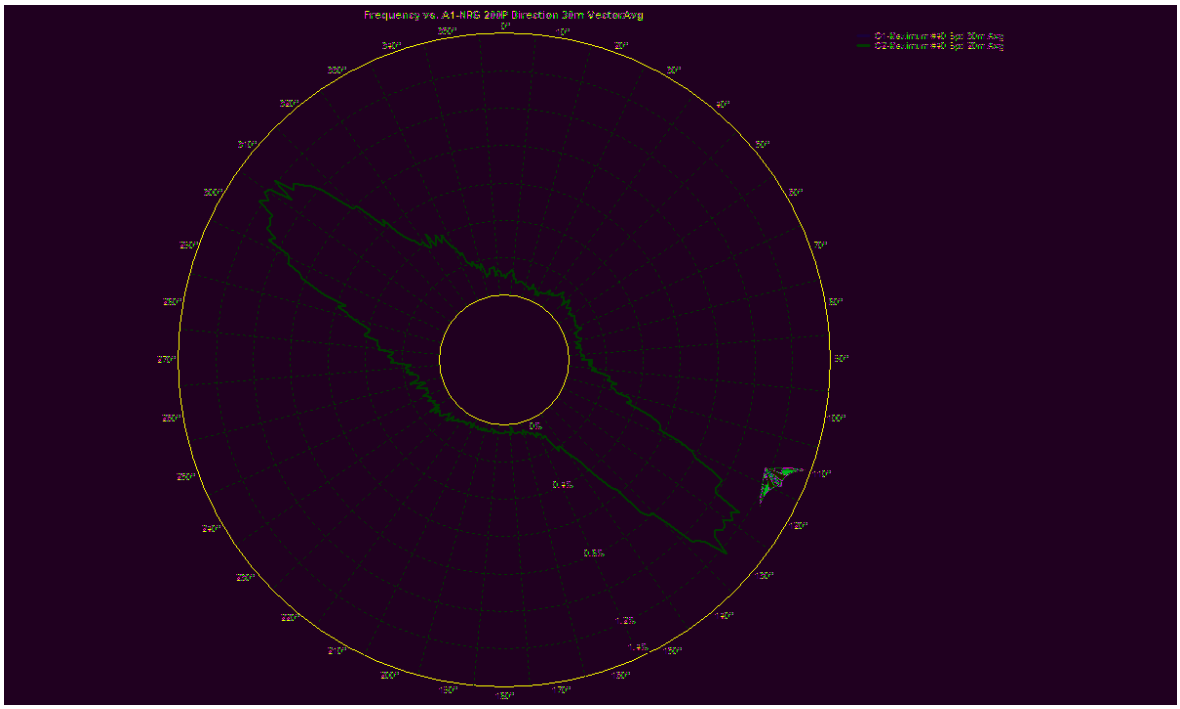


Figura 3 – Distribuzione di frequenza e Rosa del vento misurate a 30 metri di altezza

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Come si può notare dalla Figura 4 la distribuzione di frequenza relativa a tutti i settori di direzione presenta frequenze mediamente elevate tra i 4 e i 6 m/s. Le direzioni prevalenti sono tra i 300° e i 310° (NORD OVEST) e tra i 120° e i 130° (SUD EST).

Analizzando la distribuzione di frequenza in queste due direzioni che rappresentano le direzioni principali dal punto di vista energetico, come si vede dalla Figura 5, qui di seguito, la distribuzione di frequenza delle velocità presenta il valore di picco praticamente invariato, ma di modulo decisamente superiore.

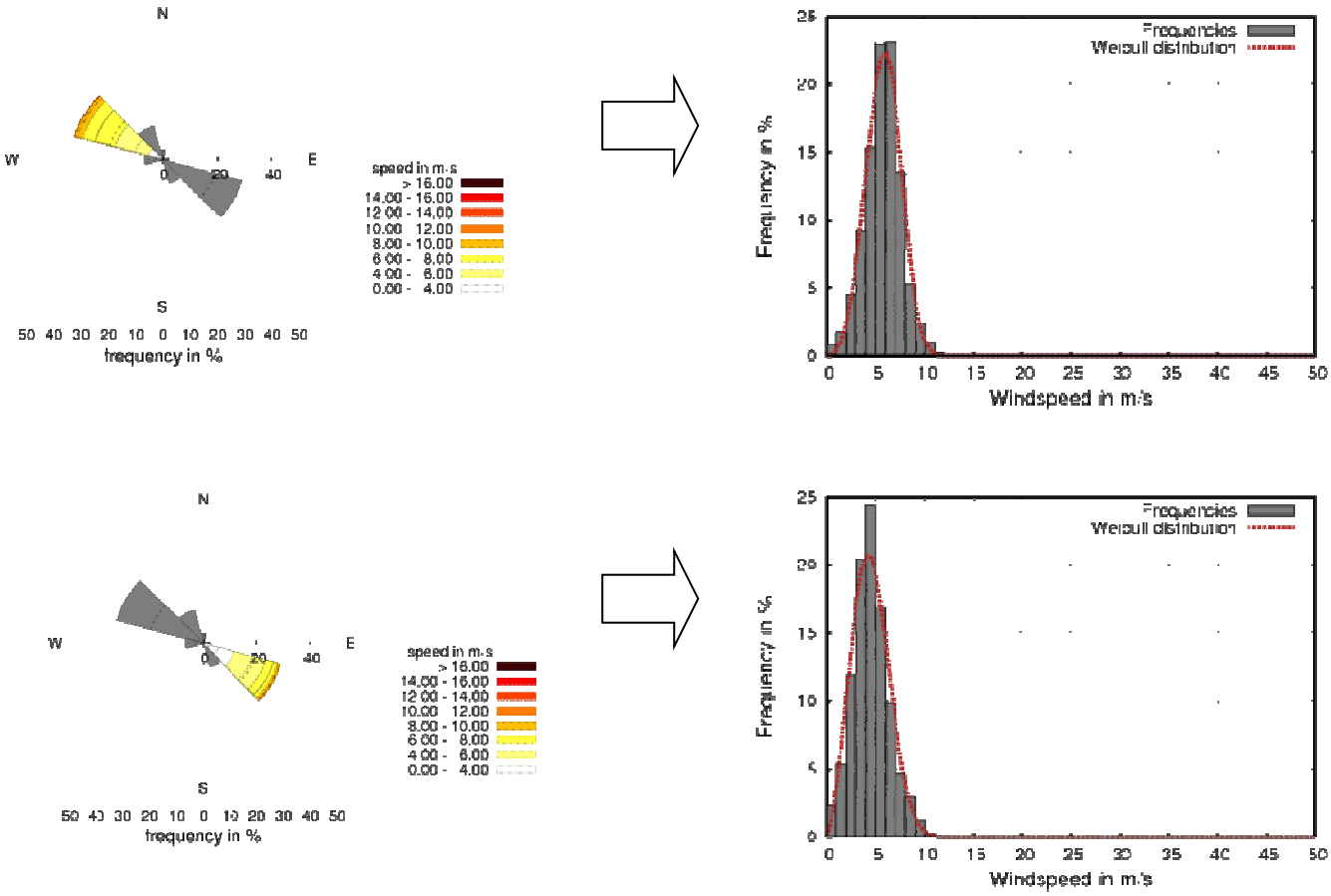


Figura 4 – Distribuzioni di frequenza a 30 metri di altezza nelle due direzioni principali

Le informazioni monitorate sono state verificate con l'ausilio di una serie di dati acquistati da VORTEX. Il prodotto acquistato è il FARM. Dal confronto, anche con l'ausilio del modello CFD realizzato, si è verificata la coerenza del FARM centrato sul sito di interesse.

3.3. Modello digitale del Terreno

Il sito eolico di Cairo Montenotte / Pontinvrea in Località *Bric Eremita* si estende su un'area di diametro 1,5 [Km], situato sull'Appennino Ligure in prossimità della linea costiera di ponente.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

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 25.099 x 26.050 [m], discretizzata con 9.042.000 celle complessive di calcolo e con una risoluzione spaziale in X di 38 [m] ed in Y di 38 [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. Nella seguente tabella sono riassunte le caratteristiche dei modelli del terreno utilizzati:

Estensione Area [Km]	Numero di celle	Z_0 [m]	Risoluzione spaziale [m]
25.099 x 26.050	9.042.000	variabile tra 0,0001 ÷ 2	X = 38

Tabella 4 – caratteristiche modello digitale del terreno realizzato con il software Windsim

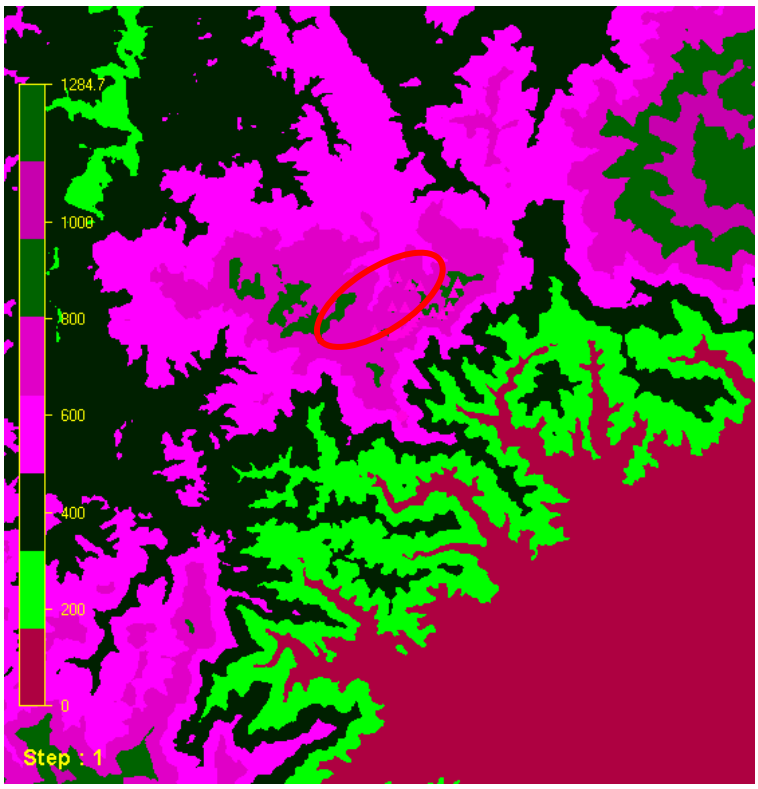


Figura 5 – Rappresentazione grafica del Layout definitivo inquadrato (area nel cerchio rosso) nel modello DTM realizzato. Sono rappresentati anche i due impianti eolici in esercizio più prossimi. Software Windsim

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Nella seguente immagine (Figura 6), è rappresentato il modello digitale del terreno, in visualizzazione 3D, insieme alla localizzazione del sito del progetto. In entrambe le immagini sono rappresentati anche gli impianti più vicino al layout in progetto. Questo è stato inserito nei calcoli proprio al fine di valutare eventuali interferenze.

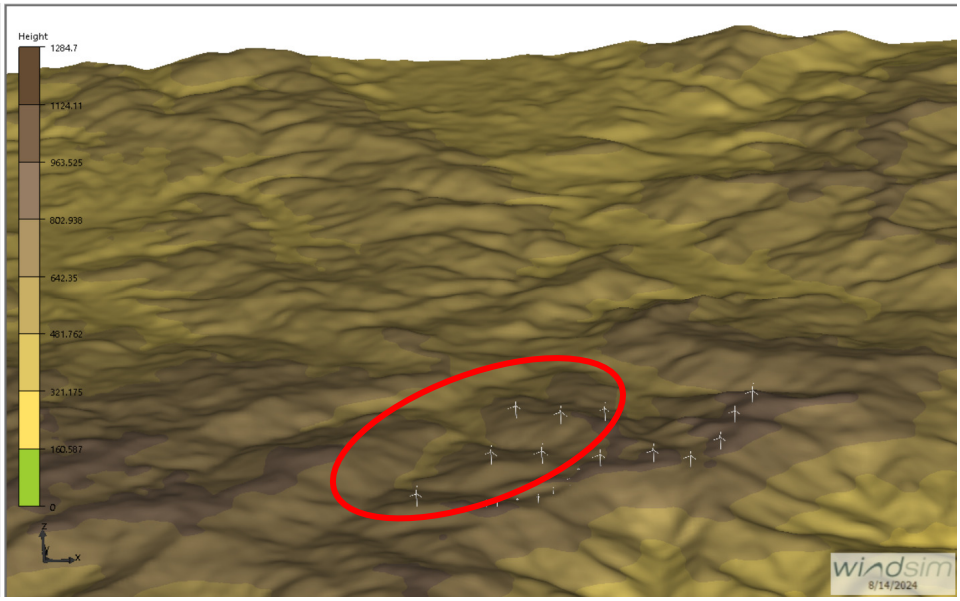


Figura 6 – Modello digitale del terreno. Realizzato con il software WindSim; visuale da Sud

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

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 0,0001 [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

3.4. Layout di progetto del Parco Eolico

Il sito di Cairo Montenotte / Pontinvrea, in Località Bric Eremita, prevede un layout definitivo di progetto formato da 6 aerogeneratori. Per realizzare il layout definitivo ottimizzato, si sono prospettate varie possibilità. Si descrive nel seguito solamente la configurazione finale:

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

- Potenza nominale, 4500 [KW]
- Altezza torre, 112 [m]
- Diametro rotore, 136 [m]

La scelta di queste caratteristiche deriva principalmente da diversi fattori:

- Trasportabilità (Viabilità di accesso)
- Massimizzazione della Produzione Specifica
- Minore Impatto

Il modello di aerogeneratore che presenta le caratteristiche su descritto, utilizzato per i calcoli di producibilità nel presente studio è **Vestas V136 4,5 MW**.

Il numero di aerogeneratori del layout di progetto e la loro posizione sono stati definiti in base alle seguenti considerazioni:

- Direzione dei venti prevalenti della zona
- Morfologia e vincoli geologici del territorio
- Disponibilità dei terreni
- Accessibilità
- Tipologia e dimensioni degli aerogeneratori da installare
- Risultati monitoraggi ambientali in loco

Le coordinate esatte degli aerogeneratori nel layout sono state individuate sulla cartografia di progetto.
I possibili Layout sono stati realizzati nel rispetto dei vincoli suddetti (come si può vedere dalle tavole di progetto **da 04W.T7 a 04W.T18)**. L'area dell'impianto è risultata essere in generale discretamente ventosa.
Lo studio effettuato sul territorio e le successive elaborazioni hanno portato alla definizione di diverse possibili configurazioni; i differenti layout sono stati verificati sia in modo da non creare interferenza con gli impianti esistenti, ma anche al fine di ottimizzare la produzione energetica del parco eolico, sia in termini di energia prodotta, che di ore equivalenti alla massima produzione, nel rispetto dei vincoli prima illustrati, ma anche delle perdite per scia.

4. Risultati dello studio

4.1. Risorsa eolica dell'area

La risorsa eolica disponibile nel sito di Cairo Montenotte / Pontinvrea, in località Bric Surite, è stata esplorata elaborando i seguenti dati:

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

- Dati vento del FARM di Vortex
- Caratteristiche del terreno, quota e mappa di rugosità dell'area, densità media dell'aria

L'analisi tiene conto dei dati del vento di un'annualità. Le seguenti figure illustrano le mappe di ventosità dell'area a 112 [m], quota di progetto degli aerogeneratori, nella versione definitiva e riportano anche la posizione degli aerogeneratori nel layout definitivo.

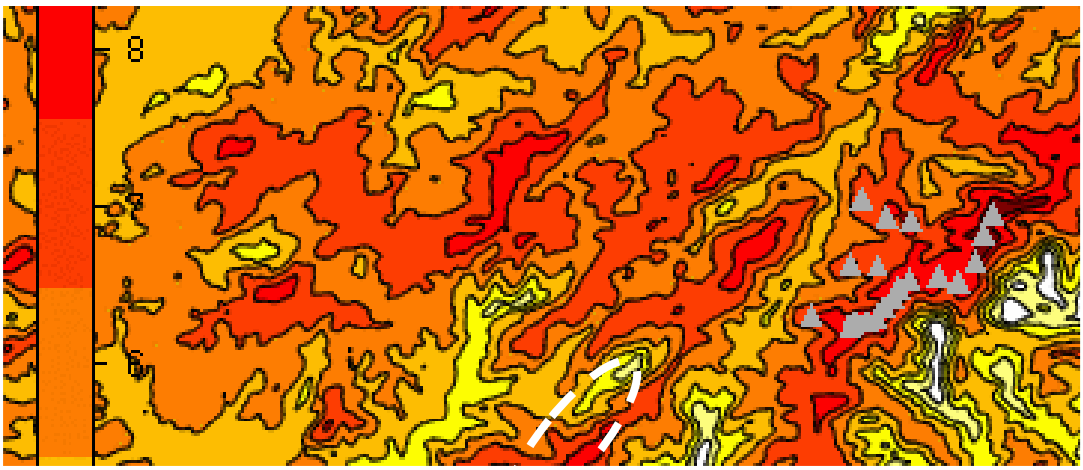


Figura 8– Mappe isovento a 112 [m] di altezza, software Windsim

Come si vede dalla figura, gli aerogeneratori sono posizionati in aree ventose, e tutti insistono su un'area in cui la velocità media bidimensionale del vento, a 112 [m] di quota, è superiore ai 6/7 [m/s].

4.2. Risultati di produzione

Di seguito, si riportano i risultati del calcolo della produzione del parco eolico, 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, individualmente per ogni aerogeneratore 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:

  d = [1.225 - (1.194 * 10-4) * 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 °K / 100m e la pressione è 1013,25 hPa a livello del mare.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

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 500 [m] s.l.m. e delle altezze degli aerogeneratori. Il calcolo ha determinato valori di densità dell'aria in sito, nel corso dell'anno di **1,123 e 1,124 [Kg/m^3].** In ogni caso con la teoria anzidetta è stato calcolato il valore di densità ad altezza mozzo per ogni aerogeneratore

- I dati di produzione sono integrati con le perdite di scia, calcolate con un modello analitico che fornisce la diminuzione di velocità al passaggio attraverso il rotore, normalizzata, ovvero in linea generale:

$$\delta V = (U-V) / U$$

Nel caso specifico, il modello utilizzato è definito Modello Jensen. Questo modello fornisce una semplice espansione lineare della scia, determinata da "k", il fattore di decadimento della scia. Il fattore di decadimento della scia "k" aumenta con il livello di turbolenza ambientale (tipicamente tra 0,04 e 0,075).

$$\delta V = (1 - SQRT(1 - CT)) / (1 + (2kx/D))2$$

dove: CT = coefficiente di spinta, k = A/ln(h/z0) → A = 0,5 ; h = altezza mozzo [m] ; z0 = rugosità del suolo [m]

Essendoci più aerogeneratori installati nella stessa area, ogni turbina subisce allo stesso tempo l'influenza di più scie; i decrementi di velocità calcolati dai modelli analitici di scia singola, vengono combinati per ottenere un deficit di scia equivalente. In questo caso si è utilizzato la radice quadrata della somma dei quadrati dei decrementi per fornire il valore di decremento di velocità finale:

$$\delta v = SQRT(\Sigma \delta v2i)$$

- Il modello digitale del terreno è quello di cui al paragrafo 3.3

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

→ **Perdita per disponibilità delle macchine:**

3% - (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.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

→ **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.

Si arriva così ad un totale del 6,2% di perdite generali oltre alle perdite per scia.

Considerando la dimensione dell'area disponibile, nel rispetto dei vincoli si è giunti alla definizione di un layout composto da 6 macchine; in tabella 5 sono riassunti i risultati di produzione dell'intero sito in funzione del modello di aerogeneratore testato nel layout definivo. Nei paragrafi successivi saranno riportate nel dettaglio le stime di producibilità dei 6 AEROGENERATORI.

Modello	Potenza [MW]	Rotore [m]	Hub [m]	AEP P50 [MWh/Anno]	Ore equivalenti P50 [h]
VESTAS V136 – 4,5 MW	**4,5**	**136**	**112**	**69633**	**2579**

Tabella 5 – Risultati di produzione. Layout definitivo

Aerogeneratore	E	N
WTG-A_01	453743	4916279
WTG-A_02	454153	4916273
WTG-A_03C	454652	4916934
WTG-A_05A	454289	4916992
WTG-A_06	453912	4917257
WTG-A_08A	453173	4915518

Tabella 6 – Posizioni delle turbine nel layout definivo in coordinate UTM WGS 84

4.2.1. Modelli di aerogeneratori testati

Modello testato con generatori **VESTAS V136 – 4,5 MW**, con le seguenti caratteristiche:

- Diametro del rotore di **136 [m]**
- Altezza di torre (hub) di **112 [m]**
- Potenza nominale di ciascun aerogeneratore **4500 [KW]**

Si ricava la tabella di produzione:

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

name	power	hub height (kW)	density (m)	wind speed (kg/m**3)	AEP P50 (MWh/y)	wake loss (%)	P50 load hours h eq
A_01	4500	112	1.123	6.28	12692.7	2.78	2603
A_02	4500	112	1.124	6.31	13249.2	7.63	2628
A_03C	4500	112	1.118	6.55	13300.7	4.64	2799
A_05A	4500	112	1.123	6.19	11951.5	3.72	2517
A_06	4500	112	1.128	5.9	12839.5	4.44	2281
A_08A	4500	112	1.122	6.36	11182.8	0.58	2647
	27000				**75216.2**	2.78	**2579**

Tabella 7 – Risultati di produzione con l'aerogeneratore VESTAS V136 - 4,5 [MW] - Hub 112[m]

4.2.2. Risultati delle simulazioni

Dai risultati ottenuti, il modello VESTAS V136 – 4,5 [MW] con potenza nominale di 4500 [KW] e altezza hub 112 [m], ha fornito un valore medio di producibilità pari a 2579 ore equivalenti (P50) con le assunzioni anzidette.

Le perdite per scia, in questo caso valutabili al 2,78 % circa tra gli aerogeneratori in progetto, sono piuttosto basse.

4.3. Considerazioni finali

Dati Vento

I dati vento disponibili sono sufficienti in questa fase per la redazione di uno studio anemologico. Inoltre la presenza dei parchi in esercizio limitrofi, non lascia dubbi sulla risorsa eolica.

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 velocità del vento comprese tra 3 e 25 [m/s], e queste sono particolarmente interessanti poiché questo intervallo corrisponde al range di funzionamento degli aerogeneratori commercializzati.

Layout del sito:

Il layout del parco eolico prevede dunque l'installazione di 6 aerogeneratori della potenza di 4,5 [MW] cadauno con rotore di diametro massimo di 136 [m] e altezza torre (hub) massima di 112 [m], per una potenza complessiva del Parco eolico di 27 [MW].

Nel processo di ottimizzazione del layout si sono considerati vari aspetti oltre quello prettamente anemologico, di seguito indicati.

Anemologia:

Si è ottimizzata la posizione degli aerogeneratori in modo opportuno, con l'obiettivo di minimizzare le perdite per effetto scia e di avere un adeguato valore di produzione netta.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

Inoltre con un monitoraggio puntuale in sito, per cui è già stata programmata l'installazione di una stazione anemometrica, il reperimento di nuovi dati storici relativi all'area considerata, la loro comparazione e / o correlazione, si potranno ulteriormente affinare i calcoli soprattutto per definire esattamente la Vref e Iref e quindi la classe di vento del sito.

Trasportabilità:

Dopo avere valutato la ventosità dell'area in generale, si è prima di qualsiasi altra attività, proceduto alla verifica delle dimensioni trasportabili, *conditio sine qua non* per definire il resto dei dati di progetto, a partire dalla tipologia di aerogeneratore, e quindi della potenza massima installabile e di conseguenza di tutte le opere necessarie alla progettazione dell'impianto. Anche in questo caso, la presenza di un parco eolico di recente costruzione, di cui si è considerato di utilizzarne la strada di accesso, fornisce chiare indicazioni sulle dimensioni degli aerogeneratori trasportabili nell'area.

Monitoraggi avifauna e chirottero fauna

Per l'area in questione si è fin dal principio dell'idea progettuale prestata la massima attenzione a questo aspetto, lavorando a stretto contatto con i professionisti addetti a questa attività.

Morfologia e geologia:

A valle di differenti sopralluoghi in sito, effettuati anche con l'ausilio di drone, si sono circoscritte delle aree di fattibilità per l'installazione delle turbine, la relativa realizzazione delle piazzole nella fase di cantiere e la successiva rimozione prima dell'entrata in esercizio. Studi geologici - geotecnici più approfonditi hanno a loro volta contribuito alla corretta definizione e al dimensionamento delle fondazioni da utilizzare e quindi alla scelta dell'aerogeneratore più indicato per il sito oggetto del presente studio. Per esempio, si è prestata molta attenzione al fatto che il plinto di fondazione ricada su una superficie che, nell'ambito dei movimenti terra necessari alla preparazione delle aree di cantiere, sia completamente in scavo, per ciascuna delle sei posizioni.

Indagine floro – vegetazionale:

Le aree prescelte sono quelle a minor impatto sull'ambiente circostante.

Produzione parco eolico:

La stima di produzione del parco eolico è stata ottenuta mediante utilizzo del software WindSim, che per le sue caratteristiche di non-linearità nel metodo di calcolo meglio si adatta ad un sito mediamente complesso come quello oggetto del presente studio.

Sono state considerate le perdite dovute alla scia e le perdite tecniche generali (disponibilità macchine, perdite elettriche ed altro).

Dal layout definitivo con una potenza installabile di 27 [MW] complessivi, si ha una produzione media netta complessiva (P50) piuttosto buona (69.633 MWh/anno) che porta a un soddisfacente numero di ore equivalenti (2579).

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.

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 soddisfacente.

Il presente documento è di proprietà esclusiva della TRYNYTY WIND srl, non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La TRYNYTY WIND srl si riserva il diritto di ogni modifica.
This paper is TRYNYTY WIND srl's exclusive property. No copies and/or duplications of any of its parts whatsoever are allowed. TRYNYTY WIND srl reserves the right to modify it at any time.