

OUR VISION

**To create a
world powered
by renewable
energy**



Parco eolico Energia Monte Petralta

Valutazione indicativa della risorsa eolica e valutazione preliminare del
rendimento energetico

10 novembre 2023

1334076/A

Materiale commerciale riservato
**Fred. Olsen Renewables Italy
S.R.L.**

Cronologia dei documenti

Autore	Christopher McLean, Energy Analyst	25/10/2023
Verifica	Graeme Watson, Principal Energy Analyst	25/10/2023
Approvazione	Graeme Watson, Principal Energy Analyst	25/10/2023

Dettagli sul Cliente

Referente	Corrado Bacco
Nome del Cliente	Fred. Olsen Renewables Italy S.R.L.
Indirizzo	Viale Castro Pretorio 122 Roma Italia

Edizione	Data	Dettagli revisione
A	18/10/2023	Prima versione
B	10/11/2023	Incorporati commenti del Cliente

Ufficio locale:

Second Floor, 120 Bath Street
Glasgow
G2 2EN
SCOTLAND
UK
Tel: +44 (0) 1786 542 300

Sede legale:

The Natural Power Consultants Limited
The Green House
Forrest Estate, Dalry
Castle Douglas, Kirkcudbrightshire
DG7 3XS

Reg No: SC177881

VAT No: GB 243 6926 48

Indice

1.	Riepilogo	1
2.	Risultati della valutazione indicativa della risorsa eolica	2
2.1.	Rosa dei venti	2
2.2.	Mappa delle velocità del vento	3
2.3.	Mappa dei vincoli eolici	5
3.	Valutazione preliminare del rendimento energetico	8
3.1.	Risultati	9
	Appendici.....	10
A.	Layout del parco eolico	10

1. Riepilogo

Su richiesta di Fred. Olsen Renewables Italy S.R.L. (FORI, il Cliente), sono state condotte una valutazione indicativa della risorsa eolica e una valutazione preliminare del rendimento energetico, con l'obiettivo di valutare verosimilmente la risorsa eolica disponibile e il rendimento energetico del progetto proposto denominato "Parco eolico Sestino", ubicato a nord-est della provincia di Arezzo, in Italia.

La presente valutazione costituisce una stima della risorsa eolica e del rendimento energetico condotta prima della conclusione della campagna di monitoraggio in loco dei dati. La campagna di monitoraggio in loco dei dati è iniziata il 5 aprile 2023 con l'installazione di un albero meteorologico (Met Mast M1) da 45 m e di un Lidar (ZX1639) co-localizzato con l'albero il 30 maggio 2023. Il Cliente ha fornito dettagli sul sito di installazione e sui relativi confini, successivamente esaminati da Natural Power al fine di valutare la complessità del sito, fornendo altresì il layout costituito da sei turbine. Il sito di Sestino è considerato di elevata complessità in termini di terreno e copertura del suolo. È ubicato in una regione a carattere collinare e montagnoso, circondata da pendii e rilievi ripidi. L'area interessata dal progetto segue all'incirca un crinale con andamento da nord-ovest a sud-est. Il terreno è parzialmente coperto sia da macchia mediterranea, costituita da copertura vegetale arbustiva bassa, sia da alcune fitte aree boschive. L'area interessata dal progetto è circondata da diversi comuni e aree con superfici agricole.

I dati relativi al clima eolico del sito sono stati ottenuti con il prodotto VORTEX MAST e utilizzati insieme al modello di simulazione VENTOS/2® CFD (VENTOS) per analizzare le velocità del vento e la relativa varianza nel sito di progetto, allo scopo di valutare se la risorsa eolica in loco fosse idonea alla produzione di energia eolica. Data l'elevata complessità del terreno sia all'interno del sito sia nell'area circostante, è stata eseguita una valutazione della risorsa eolica di "livello 2". I dati ottenuti con il prodotto VORTEX MAST sono stati estratti da un punto ubicato lungo crinali all'interno del layout delle turbine. Per valutare le velocità del vento sul sito è stato utilizzato il modello VENTOS di valutazione dell'asperità del terreno.

Natural Power è stata attualmente incaricata dal Cliente dell'esecuzione del monitoraggio continuativo dei dati forniti dall'albero meteorologico e dal lidar co-localizzato. Natural Power ha accesso a 4,2 mesi di dati ottenuti dal ZX1639 e 6 mesi di dati ottenuti dal Mast M1. Tali set di dati sono stati esaminati nell'ambito di quest'analisi per ottenere un riferimento rispetto ai dati ottenuti dal VORTEX MAST. Sono state identificate ampie discrepanze tra i dati ottenuti in loco e quelli del VORTEX MAST. Per tenere conto di tali discrepanze, è stata applicata una correzione al ribasso del 15% alle velocità del vento ottenute dal VORTEX MAST.

La presenza di aree boschive su sito destinato a un parco eolico modifica il modo in cui il vento interagisce con il suolo. Nello specifico, le aree boschive costituiscono un ostacolo al flusso in prossimità del livello del terreno e aumentano l'asperità del terreno, il che influenza il gradiente del vento incrementando la turbolenza. In casi estremi, la presenza di aree boschive può causare condizioni estremamente complesse in cui il flusso può separarsi dal terreno a formare una ricircolazione di flusso. Natural Power tiene conto dell'impatto delle aree boschive sui parchi eolici applicando un'altezza efficace di spostamento ("altezza di spostamento zero" o ZPD) a un albero meteorologico, RSD e/o a una turbina. Data la natura puramente indicativa della presente valutazione, non sono stati presi in considerazione eventi come la crescita o il disboscamento forestale. Ai fini della modellazione, si è ipotizzata un'altezza di 10 m di tutte le aree boschive. Dopo un sopralluogo in loco, il Cliente ha confermato che l'altezza degli alberi è pari a circa 3 m. 10 m è quindi un'ipotesi conservativa. È consigliabile portare a termine una valutazione approfondita delle aree boschive per aggiornare il modello di flusso spaziale per scopi di analisi successive.

La distribuzione della frequenza delle direzioni dei venti (rosa dei venti) prevista, secondo i risultati ottenuti con VORTEX MAST, è presentata in Figura 2.1 e mostra una predominanza di venti provenienti da nord-est e sud-ovest.

Le mappe di velocità del vento sono state prodotte alle altezze di 100 e 125 m sopra il livello del suolo (AGL). Tali mappe sono mostrate in Figura 2.2 e in Figura 2.3 ed evidenziano la variazione nella velocità del vento nel sito.

La aree del sito di progetto che non sono considerate idonee alla produzione di energia eolica a causa del gradiente elevato, della turbolenza e dell'angolo di entrata sono mostrate sulle mappe accompagnatorie dei vincoli (Figura 2.4 e Figura 2.5). Tali aree sono state ricavate dai dati prodotti dal modello VENTOS Canopy, tenendo conto dei parametri descritti nella Sezione 2.3.

2. Risultati della valutazione indicativa della risorsa eolica

2.1. Rosa dei venti

La Figura 2.1 presenta la rosa dei venti per il sito di Sestino a un'AGL di 100 m, prevista dal modello con VORTEX MAST. Si noti che in tutto il sito ci possono essere variazioni nella distribuzione delle direzioni del vento, sia in verticale sia in orizzontale, data la complessità del terreno.

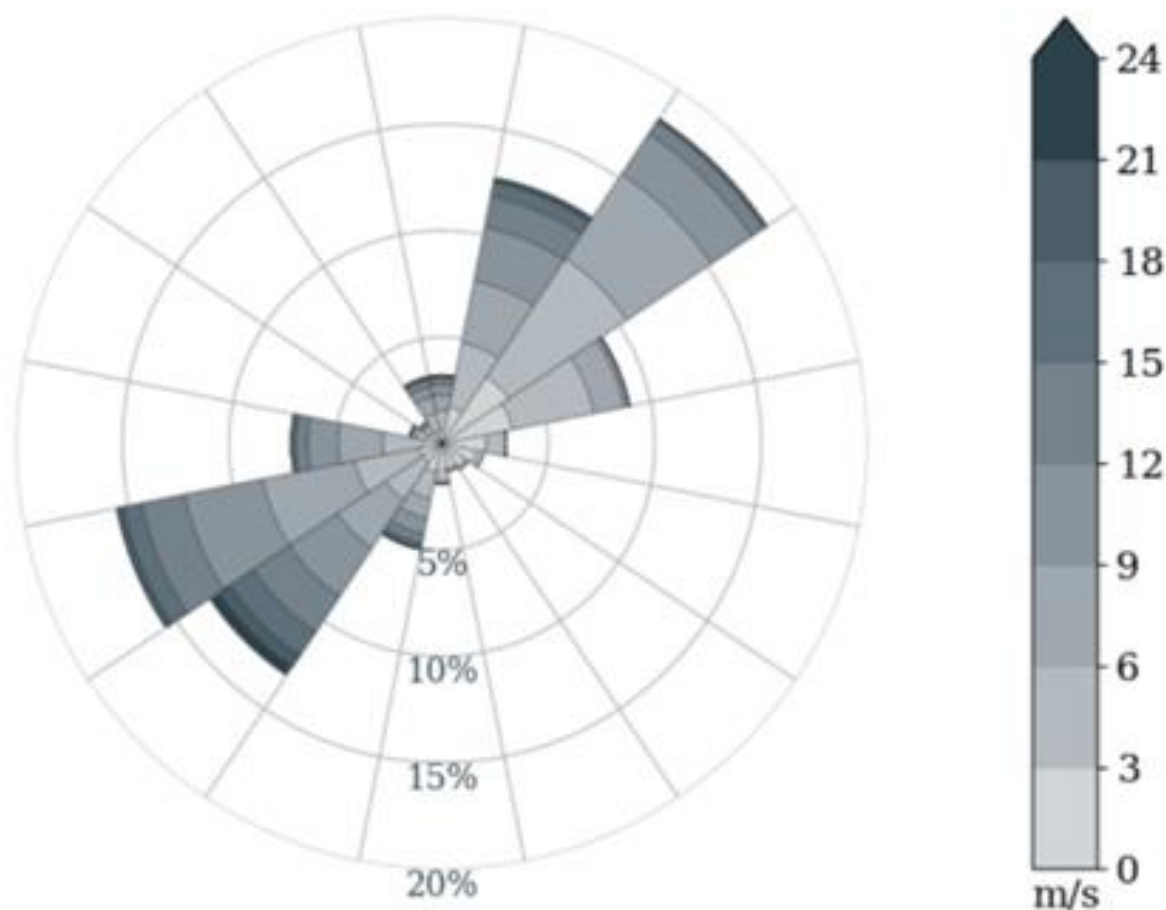


Figura 2.1: Rosa dei venti a lungo termine a un'AGL di 100 m, prevista tramite VORTEX MAST

2.2. Mappa delle velocità del vento

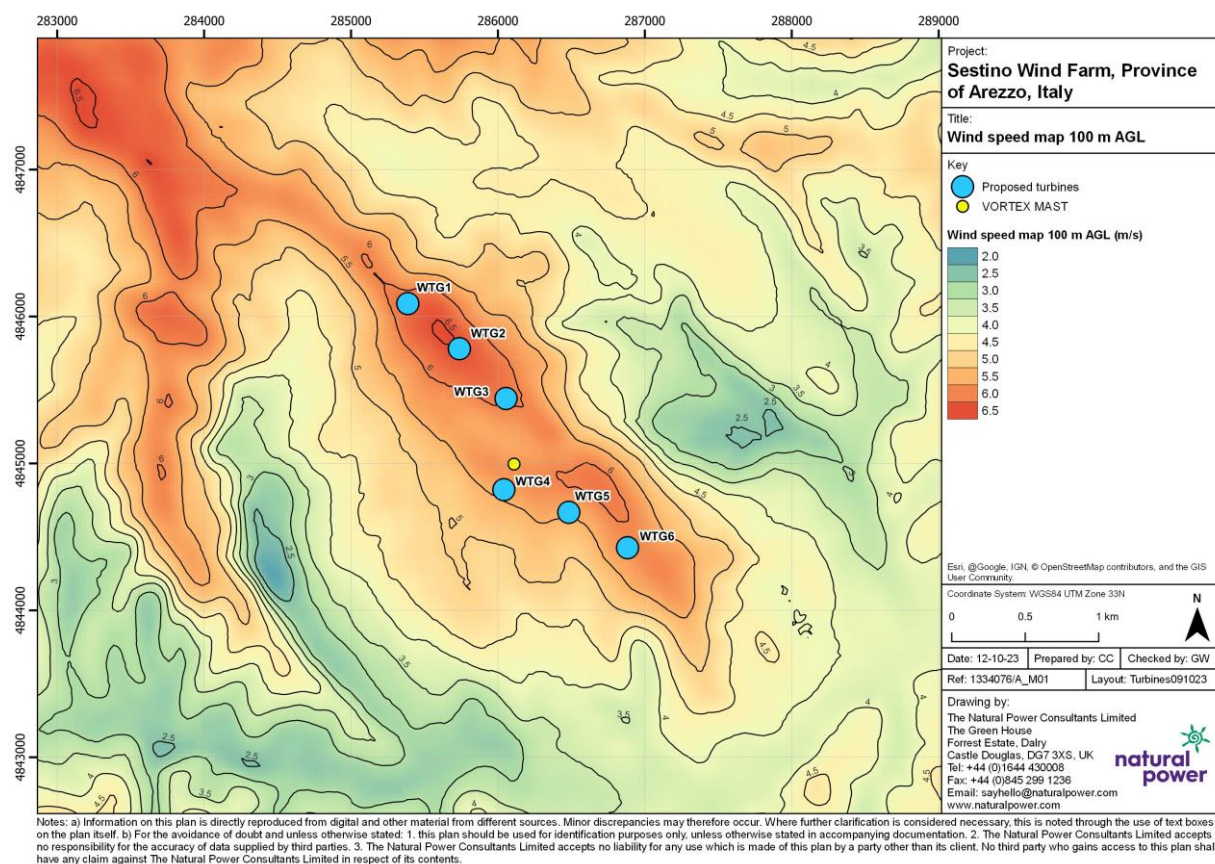


Figura 2.2: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 100 m

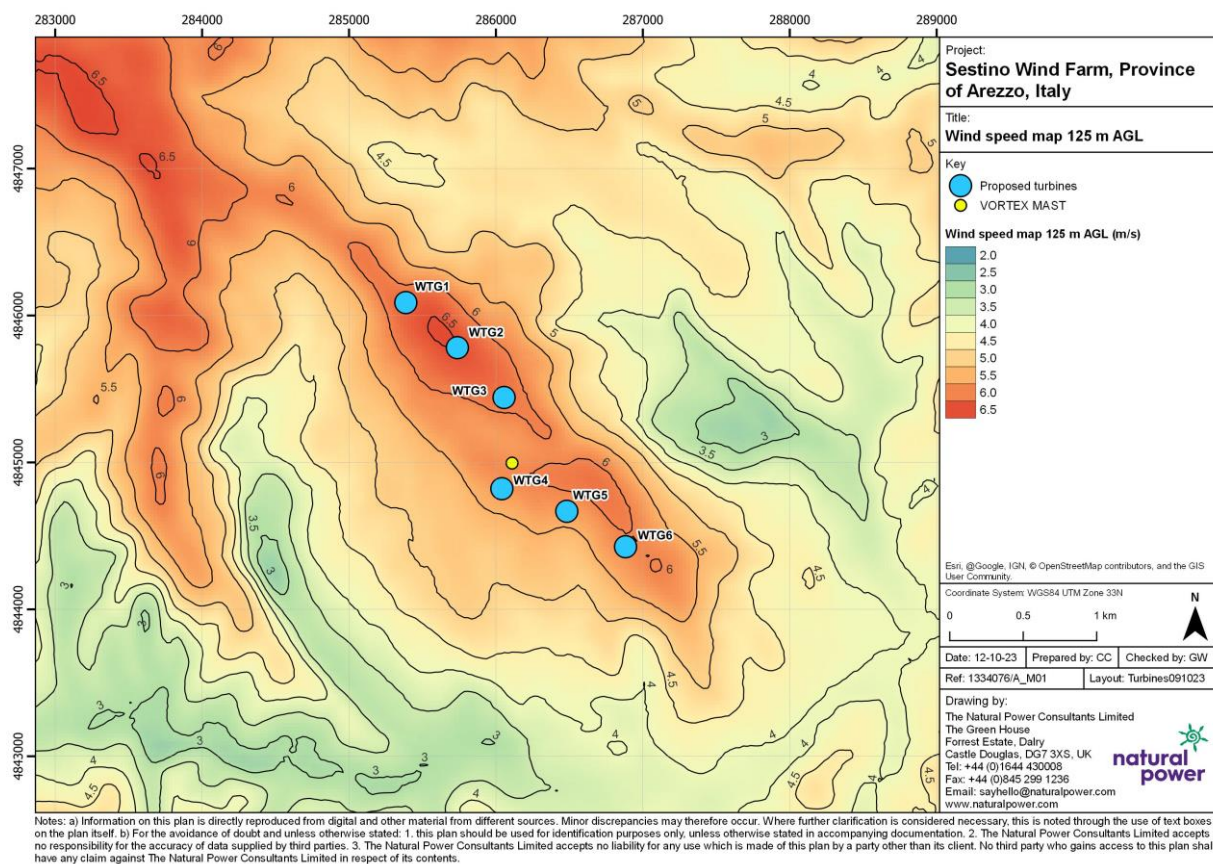


Figura 2.3: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 125 m

Oltre alla mappa delle velocità del vento fornita, le velocità medie del vento libero per turbina sono dettagliate nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1: ubicazione proposta delle turbine con velocità media del vento libero a 100 m e 125 m

ID turbina	Long.E (m)	Lat.N (m)	ZPD (m)	Velocità del vento (m/s) a 100 m	Velocità del vento (m/s) a 125 m
T1	285387	4846088	0	6,2	6,3
T2	285738	4845781	1	6,5	6,5
T3	286056	4845442	8	6,1	6,1
T4	286041	4844821	3	5,6	5,8
T5	286483	4844667	4	5,6	5,7
T6	286883	4844426	8	5,9	5,9

Le coordinate sono nel sistema WGS84 UTM Zona 33N

2.3. Mappa dei vincoli eolici

La seguente mappa dei vincoli eolici è stata prodotta applicando ai risultati del modello VENTOS Canopy i seguenti vincoli a un'AGL di 100 m:

- Angolo di entrata massimo (verticale): 8 gradi
- Turbolenza media 18%
- Limite di gradiente: 0,3
- Cambio di direzione: +/- 90 gradi

Si noti che l'altezza del mozzo è 125 m AGL e i vincoli sono valutati a 100 m AGL. Si prevede che il gradiente, l'intensità di turbolenza, l'angolo di entrata e il cambio di direzione per le condizioni di flusso del vento siano meno onerose a 125 m AGL.

I vincoli limite sopra riportati sono stati impostati in quanto generalmente allineati con i limiti operativi di gran parte delle turbine eoliche nell'ordine di grandezza dei megawatt disponibili sul mercato. Ci si aspetta che l'altezza di mozzo più bassa, tra le due prese in considerazione, permetta di stimare la situazione peggiore, poiché solitamente la complessità del flusso del vento è maggiore al diminuire della distanza da terra. Inoltre, l'utilizzo del modello VENTOS Canopy assicura che l'area boschiva presente in sito venga considerata come parte dei vincoli di flusso eolico.

I vincoli di flusso Flow sono stati analizzati per due scenari; in primo luogo considerando tutti i settori direzionali (Figura 2.4) e, in secondo luogo, considerando solo i settori di vento prevalente (22.5, 45, 67.5, 225, 247.5, 270 gradi) (Figura 2.5). Le aree del sito di progetto soggette a condizioni di flusso del vento esterne ai vincoli sopracitati sono mostrate nelle mappe dei vincoli presenti in Figura 2.4 e Figura 2.5. In base all'analisi indicativa, queste aree sono da ritenersi potenzialmente inadatte all'installazione di diversi modelli di turbine e devono essere quindi attentamente tenute in considerazione durante la progettazione della configurazione del sito. Come previsto, le condizioni di turbolenza e gradiente saranno maggiori lungo i pendii più ripidi e ai margini degli altopiani. Si prevede che le condizioni di flusso sugli altopiani e lontano dai margini saranno più clementi. Se si considerano solo i settori di vento prevalente, la parte di sito classificabile come avente condizioni di flusso del vento utilizzabili risulta maggiore.

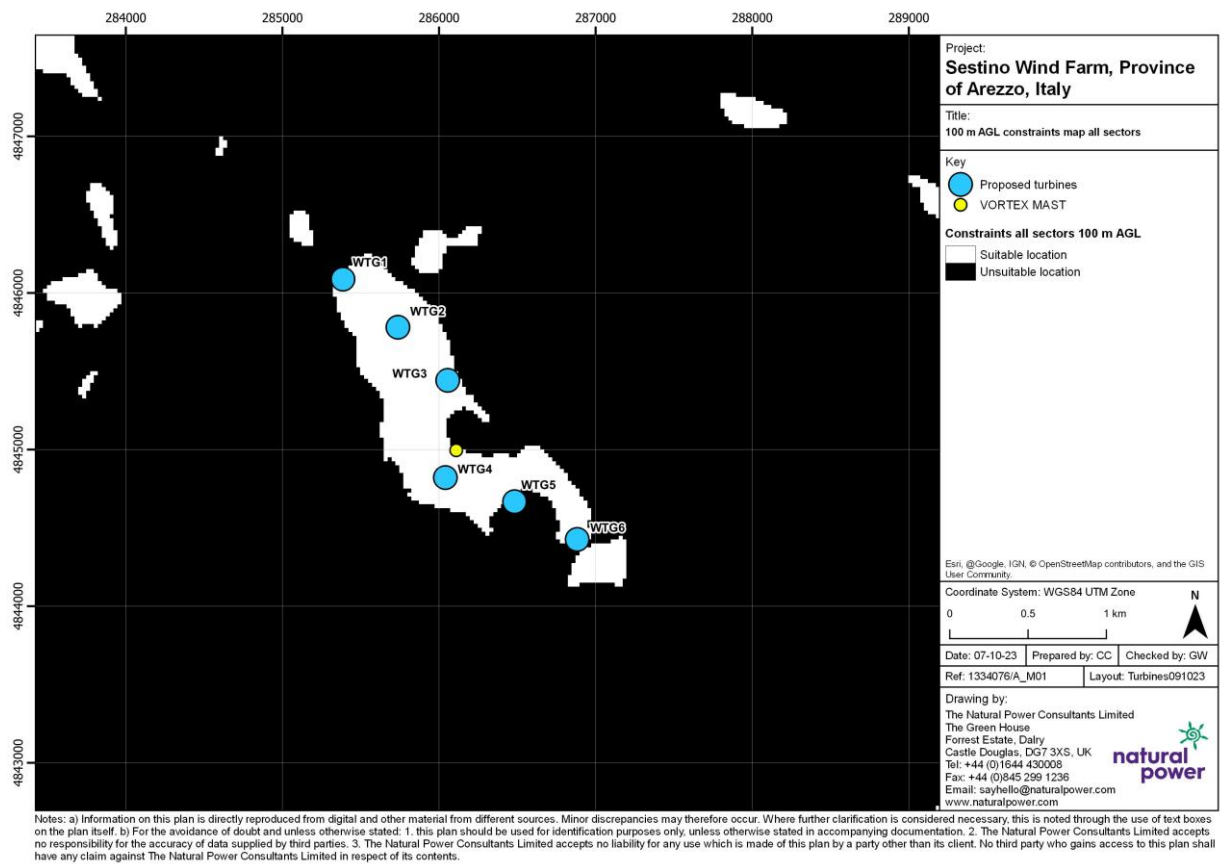


Figura 2.4: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 100 m, considerando tutti i settori

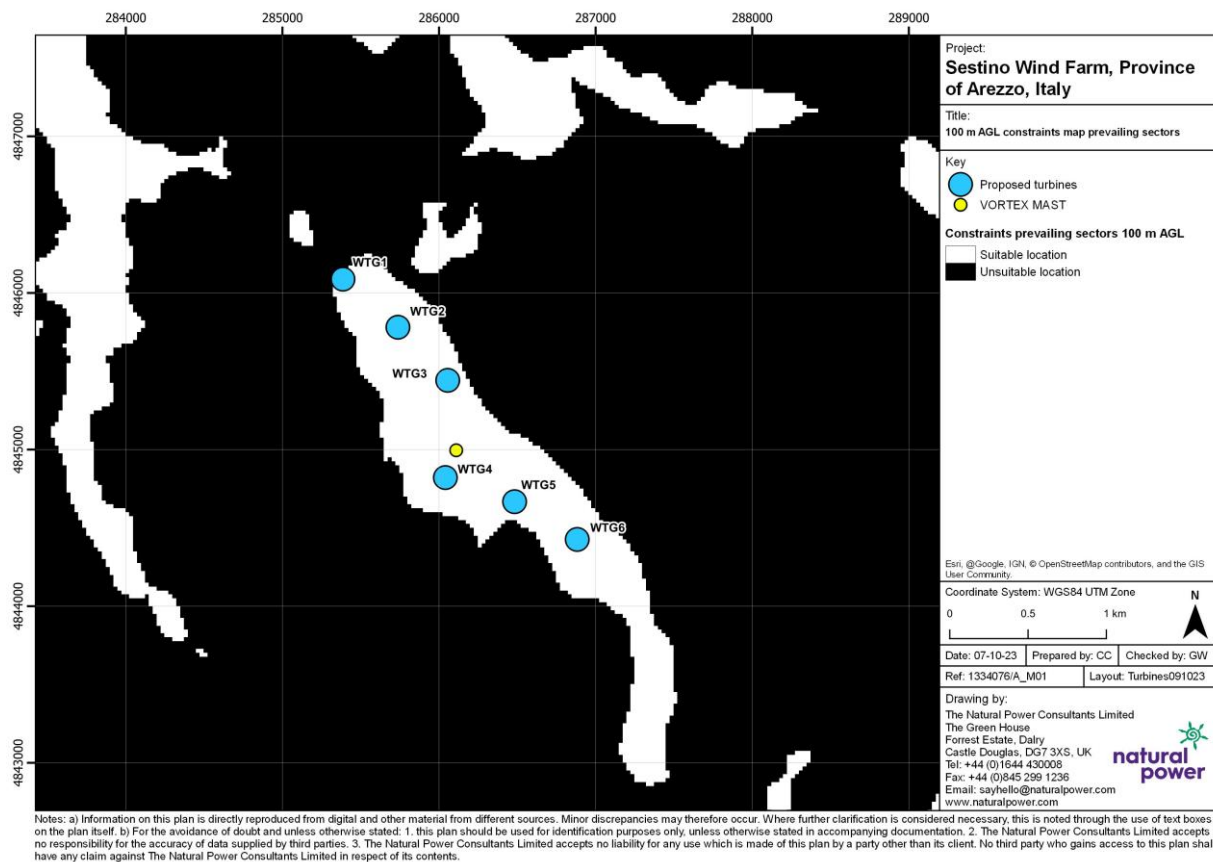


Figura 2.5: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 100 m, considerando i settori di vento prevalente

3. Valutazione preliminare del rendimento energetico

Per ottenere un'indicazione preliminare del fattore di capacità e del rendimento energetico netto per il progetto del parco eolico di Sestino, è stata utilizzata una configurazione con singola turbina Vestas V150-5,0 MW.

I dettagli tecnici del modello di turbina valutato in questa analisi sono stati forniti dal Cliente¹. Un riepilogo dei dati sulla turbina è disponibile nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Riepilogo dei dati selezionati per il modello di turbina proposto

Turbina	Vestas V150-5,0 MW
Tipo di curva di potenza	Calcolata
Capacità nominale (MW)	5,0
Altezza mozzo (m)	125
Classe IEC	S
Densità della curva di potenza (kg/m ³)	1,125
Diametro rotore (m)	150
Gamma operative di velocità del vento (m/s)	3,0 – 25,0
Intensità valida della turbolenza (%)	6 – 12
Gradiente valido del vento	0,0 – 0,3

In base ai risultati della valutazione della risorsa eolica e della modellazione spaziale del vento, è stata condotta una valutazione preliminare del rendimento energetico (eEYA) per il parco eolico di Sestino. La risorsa eolica è stata valutata con il modello VENTOS/2® (VENTOS) CFD in congiunzione con il prodotto VORTEX MAST, come detto nella sezione 1.

Data la natura puramente indicativa della presente valutazione, non sono stati presi in considerazione eventi come la crescita o il disboscamento forestale. Ai fine della modellazione, si è ipotizzata un'altezza di 10 m per tutte le aree boschive. Dopo un sopralluogo in loco, il Cliente ha confermato che l'altezza degli alberi è pari a circa 3 m. 10 m è quindi un'ipotesi conservativa.

La modellazione del rendimento energetico lordo e della scia per il proposto parco eolico di Sestino sono stati eseguiti in base ai dati indicativi sulla risorsa eolica, alla densità dell'aria prevista dal VORTEX MAST, alle posizioni proposte per le turbine e ai dati delle turbine (curve di potenza e spinta).

È stata portata a termine una verifica ad alto livello della spaziatura nella configurazione delle turbine. Natural Power raccomanda in genere una spaziatura minima tra turbine pari a 3,0 diametri rotore (RD) nei settori di direzione non prevalente, e pari a 5,0 RD nei settori di direzioni prevalenti. L'utilizzo di una spaziatura ellittica su un orientamento di 45° soddisfa condizioni di spaziatura minima delle turbine.

Sono stati applicati fattori di perdita fissi in base all'esperienza di Natural Power nella regione. I fattori di perdita applicati sono indicativi e soggetti a modifiche in seguito alla revisione di ulteriori dati di misurazione in loco. Le perdite sono calcolate o presunte, e categorizzate come segue:

- Scie e interazione tra turbine (perdite interne ed esterne, perdita per blocco) - calcolate utilizzando il modello di scia con viscosità turbolenta.
- Disponibilità (turbina, rete elettrica e bilancio dell'impianto) - in base all'esperienza di Natural Power sui siti in funzione. La disponibilità della turbina è stata calcolata sulla base del numero di turbine presenti in sito,

¹ Specifiche prestazionali Vestas, EnVentus 5 MW V150-5,0 MW 50/60Hz, Numero documento: 0081-5085 V02, 06/05/2018

applicando una perdita del 3,3% a tutti gli scenari. La disponibilità della rete elettrica e del bilancio dell'impianto (BoP) sono stati entrambi ipotizzato allo 0,3%.

- Efficienza elettrica - ipotizzata al 2,0%. Si consiglia di eseguire una valutazione delle perdite elettriche specifica per il sito.
- Prestazioni delle turbine - calcolate in base alle condizioni del sito previste per la regione. Per il sito sono state ipotizzate prestazioni sub-ottimali e perdite generiche di regolazione della curva di potenza dello 0,5% ciascuna. È stato applicato un aggiustamento sulla curva di potenza specifico per il sito pari allo 1,0% in base alle condizioni di flusso eolico previste per il sito e ai criteri operativi per i modelli di turbina presi in considerazione. Non sono previste perdite elevate dovute all'isteresi del vento, data la velocità del vento di cut-out pari a 25 m/s del modello di turbina proposto e la distribuzione del vento prevista sul sito.
- Condizioni ambientali - presunte in base alla posizione del sito e alle condizioni climatiche. È stata presunta una perdita pari allo 0,1% a causa di sporcizia sulle pale, dello 0,5% per la degradazione delle pale e nessuna perdita dovuta a ghiaccio, in base all'esperienza di Natural Power nella regione.
- Riduzione - si è ipotizzato che non vi siano riduzioni applicabili in questo scenario. Si consiglia di tenere conto di qualsiasi regime di riduzione applicabile nell'ambito di una valutazione aggiornata.

3.1. Risultati

La seguente Tabella 3.2 riassume i risultati dell'analisi del rendimento energetico e delle perdite associate.

Tabella 3.2: Riepilogo della valutazione del rendimento energetico

Riepilogo progetto	
Tipo turbina	Vestas V150-5,0 MW
Altezza mozzo (m) della turbina	125
Diametro rotore (m)	150
Potenza nominale della turbina (kW)	5000
Numero di turbine	6
Capacità installata del parco eolico (MW)	30,0
Riepilogo della valutazione della risorsa eolica	
Densità media dell'aria all'altezza del mozzo a lungo termine (kg/m ³)	1,122
Velocità media del vento all'altezza del mozzo nel parco eolico (m/s)	6,1
Riepilogo della valutazione del rendimento energetico	
Fattore energia lorda /capacità P₅₀ (GWh/yr / %)	82,1 / 31,2
Perdite per scie e interazione tra turbine (%)	0,8
Perdite per disponibilità (%)	3,9
Perdite per efficienza energetica (%)	2,0
Perdite per efficienza turbina (%)	2,0
Perdite ambientali (%)	0,6
Perdite per riduzione (%)	0,0
Perdite totali (%)	9,0
Fattore energia netta /capacità P₅₀ (GWh/yr / %)	74,8 / 28,4
Ore a pieno carico (ore)	2493

Appendici

A. Layout del parco eolico

Tabella A.1: Posizioni delle turbine e delle misure in Sestino

ID turbina / misura	Tipo turbina	Long.E (m)	Lat.N (m)	ZPD (m AGL)	Elevazione (m ASL)
WTG1	Vestas V150-5,0 MW	285387	4846088	0	828
WTG2	Vestas V150-5,0 MW	285738	4845781	1	834
WTG3	Vestas V150-5,0 MW	286056	4845442	8	785
WTG4	Vestas V150-5,0 MW	286041	4844821	3	717
WTG5	Vestas V150-5,0 MW	286483	4844667	4	687
WTG6	Vestas V150-5,0 MW	286883	4844426	8	677

Sistema di coordinate WGS84 UTM Zone 33N



Creating a better environment



naturalpower.com
sayhello@naturalpower.com



For full details on our ISO and other certifications, please visit our website.

NATURAL POWER CONSULTANTS LIMITED, THE NATURAL POWER CONSULTANTS LIMITED, NATURAL POWER SARL, NATURAL POWER CONSULTANTS (IRELAND) LIMITED, NATURAL POWER LLC, NATURAL POWER S.A, NATURAL POWER SERVICES LIMITED AND NATURAL POWER OPERATIONS LIMITED (collectively referred to as "NATURAL POWER") accept no responsibility or liability for any use which is made of this document other than by the Client for the purpose for which it was originally commissioned and prepared. The Client shall treat all information in the document as confidential. No representation is made regarding the completeness, methodology or current status of any material referred to in this document. All facts and figures are correct at time of print. All rights reserved. VENTOS® is a registered trademark of NATURAL POWER. Melogale™, WindCentre™, ControlCentre™, ForeSite™, vuWind™, WindManager™ and OceanPod™ are trademarks of NATURAL POWER.

No part of this document or translations of it may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical including photocopying, recording or any other information storage and retrieval system, without prior permission in writing from Natural Power. All facts and figures correct at time of print. All rights reserved. © Copyright 2020.