



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB) E SANTA CROCE DI MAGLIANO (CB)

PROGETTO DEFINITIVO

prima emissione: luglio 2021

REV.	DATA	DESCRIZIONE:
02	Apr 2024	Revisionato a seguito delle osservazioni del MASE Prot.467 del 15.01.2024

PROGETTAZIONE



via Volga c/o Fiera del Levante Pad.129 - BARI (BA)
ing. Sebanino GIOTTA - ing. Fabio PACCAPELO
ing. Francesca SACCAROLA - geom. Raffaella TISTI



ARCHITETTURA E PAESAGGIO

VIRUSDESIGN®

arch. Vincenzo RUSSO
via Puglie n.8 - Cerignola (FG)



IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE



GEOLOGIA

geol. Pietro PEPE

ACUSTICA

ing. Francesco PAPEO

ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

DOMENICA CARRASSO
Via G. Marconi, 19
70017 PUTIGNANO (BA)
C. F. CRR DNC 89144 A748J
P. IVA 08138180724

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr.ssa Lucia PESOLA - dr. Rocco LABADESSA



ASPETTI FAUNISTICI

dott. nat. Fabio MASTROPASQUA



SIA.ES. STUDI SPECIALISTICI

ES.1 ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO



Cronologia dei documenti

Autore	Ben Simmonds, <i>Energy Analyst</i>	22/04/2024
Verifica	Graeme Watson, <i>Principal Energy Analyst</i>	22/04/2024
Approvazione	Graeme Watson, <i>Principal Energy Analyst</i>	22/04/2024

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	19/04/2024	Prima versione per il cliente
B	22/04/2024	Aggiornamento modello turbina in iEYA
C	29/04/2024	Traduzione Italiana

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.	Campagna di misurazione di telerilevamento	2
2.1.	Selezione dei dati di riferimento a lungo termine	2
2.2.	Aggiustamento a lungo termine	3
2.3.	Interpolazione all'altezza del mozzo	4
2.4.	Modellazione spaziale del vento	5
3.	Risultati	6
3.1.	Rosa dei venti	6
3.2.	Mappe delle velocità del vento.....	6
3.3.	Mappa dei vincoli eolici	9
4.	Valutazione indicativa della resa energetica	12
4.1.	Risultati	13
5.	Conclusioni e raccomandazioni	15

1. Riepilogo

Su richiesta di Fred. Olsen Renewables Italy S.R.L. (il Cliente), è stata effettuata una valutazione indicativa della risorsa eolica per valutare verosimilmente la risorsa eolica disponibile presso il proposto parco eolico di San Giuliano, situato nella regione Molise dell'Italia meridionale. La presente relazione include anche una valutazione indicativa del rendimento energetico (iEYA) effettuata al fine di stimare la resa energetica produttiva del sito. Nella valutazione sono stati utilizzati i dati ottenuti da un singolo lidar, nel seguito indicato come lidar 1029, situato in loco. I risultati di questa valutazione sono da considerarsi solo indicativi e dovranno essere aggiornati non appena siano disponibili ulteriori dati misurati in loco.

I dettagli sul sito sono stati forniti dal Cliente e successivamente esaminati da Natural Power al fine di valutarne la complessità del terreno. Il Cliente ha fornito inoltre una configurazione preliminare consistente di 11 turbine¹. Il sito di San Giuliano è ubicato in una regione a carattere collinare e montagnoso, ed è circondato da pendii ripidi e un territorio complesso. La copertura del suolo in loco è costituita principalmente da terreni agricoli, ma sono presenti anche alcune aree di vegetazione arbustiva mediterranea bassa e alcune limitate aree forestali. L'area più ampia è simile al sito stesso, ed è costituita da terreni agricoli e alcuni piccoli insediamenti. Nel suo insieme, il sito è da considerarsi complesso.

A causa della complessità del terreno del sito e dell'area circostante, è stato eseguito un modello spaziale utilizzando il software interno VENTOS® CFD (VENTOS), ancorato al lidar di San Giuliano. Per San Giuliano è stata completata una valutazione delle risorse eoliche di livello 2, come descritto nella Sezione 2.4. In corrispondenza del lidar 1029 di San Giuliano sono stati valutati fattori di conversione della dinamica², ottenendo un fattore di conversione ponderato per settore pari al 2,3%, che è stato applicato ai dati per convertire i dati volumetrici misurati dal lidar in una misura di velocità del vento equivalente a un punto anemometrico.

Natural Power ha accesso a tredici mesi di dati di misurazione lidar in loco dal lidar 1029 situato nel sito di San Giuliano. Per prevedere l'entità della risorsa eolica tramite applicazione del modello di simulazione VENTOS e i dati misurati dal lidar, è stata eseguita una valutazione della risorsa eolica di livello 2. La distanza media fra l'unità lidar e l'ubicazione delle turbine è di 1,5 km, con una distanza minima di 0,2 km e una massima di 3,9 km. Il lidar 1029 si trova in uno dei punti più alti del sito e, per questo motivo, si raccomanda la raccolta di ulteriori dati misurati in loco da una posizione più rappresentativa delle turbine a bassa quota dell'array. Tali misurazioni dovrebbero anche essere accompagnate da misurazioni simultanee nella posizione del lidar 1029 in modo da poter valutare le prestazioni del modello spaziale attraverso l'uso di previsioni incrociate.

I dati relativi al clima eolico sul lungo termine ottenuti con il lidar 1029 sono stati utilizzati insieme al modello di simulazione VENTOS per analizzare le velocità del vento e le relative varianze nel sito interessato dal progetto, allo scopo di valutare se la risorsa eolica in loco sia idonea alla produzione di energia eolica. La distribuzione della frequenza delle direzioni dei venti (rosa dei venti), secondo i risultati ottenuti con lidar 1029, è presentata nella Figura 3.1 e mostra una predominanza di venti provenienti da nord-ovest a nord e sud-ovest. Anche la risorsa di energia eolica indica una predominanza di energia proveniente dalle stesse direzioni.

Pur non essendo ancora state determinate le altezze finali dei mozzi nel sito di San Giuliano, sono state tuttavia prodotte, ai fini della presente analisi, mappe della velocità del vento a 100 m e 125 m sopra il livello del suolo (AGL) e mappe dei vincoli del flusso del vento a 100 m. Le mappe della velocità del vento sono mostrate nella **Figura 3.2** e nella **Figura 3.3**.

Le aree dei siti di progetto che non sono considerate idonee alla produzione di energia eolica a causa del gradiente elevato, della turbolenza, del cambio di direzione e dell'angolo di entrata sono state identificate sulle mappe accompagnatorie dei vincoli, come illustrato nella **Figura 3.4** e nella **Figura 3.5**. Tali aree sono state ricavate dai dati prodotti dal modello VENTOS, tenendo conto dei parametri descritti nella Sezione 3.3.

1. File: SGDP rev 3D5D rev01.kmz

2. D. Marmander, C. A. (2015). Uncertainty of CFD-adjusted LIDAR measurements.

2. Campagna di misurazione di telerilevamento

La campagna di misurazioni a San Giuliano ha incluso le misure dell'unità lidar 1029 (ZX Lidars, ZX300).

Un riepilogo della campagna di misurazioni lidar è riportata nella Tabella 2.1. I dettagli relativi al modo in cui i dispositivi di telerilevamento sono stati utilizzati per informare il gradiente sono inclusi nella Sezione 2.3.

Tabella 2.1: Riepilogo della campagna di misurazione di telerilevamento

Dispositivo di telerilevamento	Unità 1029
Posizione (est, nord (m))	501442, 4614708
Quota base dell'unità (m ASL)	406
Dati POR utilizzati nell'analisi	31/01/2022 – 24/02/2023
Durata del POR (mesi)	13
Altezza corrispondente all'altezza di misurazione primaria (m AGL)	100
Velocità media del vento all'altezza corrispondente (m/s)	6,4
Acquisizione dei dati relativi all'altezza corrispondente (post-QC) (%)	89,5
Esponente medio applicabile del gradiente del vento	0,08
Settore/i di vento prevalente (°)	195 – 255 e 315 – 345

Le coordinate sono indicate nella zona UTM 33N (WGS 84)

2.1. Selezione dei dati di riferimento a lungo termine

Per stimare la velocità media del vento nell'arco della vita del progetto, solitamente occorre correlare i dati misurati sul sito con quelli a più lungo termine misurati presso una stazione meteorologica (di riferimento) e/o un set di dati di rianalisi per un periodo coerente, considerato rappresentativo del lungo periodo. Questo metodo comporta la definizione di relazioni statistiche tra le serie di dati concomitanti del sito e le fonti di riferimento, e quindi la selezione di fonti di riferimento idonee in base alla forza di queste relazioni e all'incertezza associata. Queste relazioni vengono prima valutate mediante una serie di tecniche e successivamente, se giustificato, viene condotto il processo di "misura-correlazione-previsione" (MCP) per estendere il periodo di misurazione in loco perché sia rappresentativo del lungo periodo.

È importante che queste fonti di riferimento abbiano una climatologia simile a quella del sito e che non siano state soggette a cambiamenti dei quali non si è tenuto conto e che potrebbero aver influenzato la coerenza del periodo storico. Ciò include modifiche alla strumentazione, che costituirebbero un cambiamento nell'uniformità dei dati e nell'esposizione della stazione. Questo è valido sia per le stazioni a terra che per l'uniformità degli input e dei processi utilizzati per generare i set di dati di riferimento a mesoscala.

È stato condotto un esame delle fonti di riferimento a lungo termine per stabilire se fossero presenti incongruenze in questi set di dati e per escludere potenzialmente qualsiasi fonte di riferimento come non rappresentativa del clima eolico regionale. Per verificare la validità dei rispettivi set di dati in esame, sono state esaminate le tendenze annuali della velocità del vento, oltre alle correlazioni tra le fonti di riferimento a lungo termine. Occorre identificare fonti di dati meteorologici a lungo termine affidabili e coerenti, nonché valutare l'uniformità tra le stazioni per identificare eventuali valori erratici.

I trend annuali della velocità del vento, mostrano un accordo generale tra tutte le fonti di riferimento selezionate, anche se con un maggior grado di incoerenza tra i dataset di rianalisi e i dati grezzi di MERRA2 e ERA5. Le stazioni di superficie sono state escluse a causa delle scarse correlazioni con i dati misurati a 100 m dell'Unità 1029.

Tabella 2.2: Valutazione dei riferimenti a lungo termine disponibili correlati all'Unità 1029 a 100 m

Fonte di riferimento	Distanza dal sito (km)	Periodo di dati a lungo termine selezionato (incluso)	Coefficiente di determinazione mensile (R ²)
VORTEX-ERA5	0	2000-2023	0,95
VORTEX-MERRA-2	0	2000-2023	0,89
VORTEX-CFSR	0	2000-2023	0,92
MERRA-2	19	2000-2023	0,90
ERA-5	13	2000-2023	0,98

Dopo questo screening iniziale, tutti i set di dati della nuova analisi, disponibili con risoluzione oraria, sono stati valutati in maniera più dettagliata. Poiché sono state prese in considerazione solo due altezze, l'aggiustamento a lungo termine è stato effettuato per una altezza di misurazione, quella di 100 m. I coefficienti di determinazione della velocità del vento risultanti per l'Unità 1029 e le fonti di riferimento sono mostrati nella Tabella 2.3. Inoltre, sono state valutate le regressioni di potenza per confrontare la potenza potenziale risultante utilizzando la velocità del vento misurata rispetto alla potenza potenziale derivata dalle serie temporali del processo sintetiche MCP.

Tabella 2.3: Coefficienti di determinazione (R²) tra le fonti di riferimento e la velocità del vento dell'Unità 1029

100 m	A cadenza oraria	A cadenza giornaliera	A cadenza mensile
VORTEX-ERA5	0,73	0,89	0,95
VORTEX-MERRA2	0,59	0,79	0,89
VORTEX-CFSR	0,64	0,84	0,92
MERRA-2	0,58	0,76	0,90
ERA5	0,70	0,86	0,98

2.2. Aggiustamento a lungo termine

Dopo questa valutazione, le regressioni di York sono state applicate attraverso la procedura MCP, in cui le equazioni di regressione vengono applicate ai dati di riferimento a lungo termine per generare una serie temporale oraria sintetica a lungo termine. Questa serie temporale sintetica è stata quindi combinata con le misurazioni del sito per rappresentare al meglio la risorsa eolica in loco a lungo termine stabilita nel periodo dal 2 aprile 2000 al 2 aprile 2023 presso l'Unità 1029, che è stata utilizzata direttamente in questa analisi. Tabella 2.4 mostra i risultati di questa procedura per l'altezza di misurazione di 100 m usata in questa analisi.

Tabella 2.4: Risultati dell'aggiustamento a lungo termine

Fonte di riferimento	Tipo di regressione	R ²	Altezza di misurazione (m)	Velocità del vento misurata (m/s)	Velocità del vento a lungo termine (m/s)	Aggiustamento a lungo termine (%)
VORTEX-ERA5	Media oraria, binning direzionale	0,74	100	6,9	6,8	-1,5

2.3. Interpolazione all'altezza del mozzo

Ai fini della presente valutazione, sono state prese in considerazione le altezze di 100 e 125 m. Solitamente, Natural Power raccomanda che le misurazioni della velocità del vento sul sito siano raccolte ad un minimo di tre quarti dell'altezza del mozzo proposto. A San Giuliano, questa condizione è soddisfatta perché i dati misurati provengono da un dispositivo di telerilevamento che può raccogliere dati da un'ampia gamma di altezze che coprono tutta l'altezza del mozzo e gran parte della massima estensione in altezza del rotore.

Il livello di variazione verticale della velocità media del vento è stato definito utilizzando un profilo a legge di potenza, definito dal seguente rapporto:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right)}{\ln\left(\frac{h_1 - d}{h_2 - d}\right)}$$

dove α è l'esponente del gradiente del vento, e v_1 e v_2 sono rispettivamente le velocità del vento medie alle altezze di misurazione h_1 e h_2 . Nelle aree in cui è presente una vegetazione significativa vicino alla base del punto di misura, d è l'altezza di spostamento effettiva. A San Giuliano non è stata richiesta alcuna altezza di spostamento effettiva.

Sono state testate diverse combinazioni di altezze di misurazione per ricavare il profilo del gradiente al lidar. Sono state selezionate le altezze di misurazione di 100 m e 140 m, cioè quelle più vicine all'altezza di 125 m presa in considerazione. Lo scenario della turbina con mozzo a 100 m di altezza non ha richiesto alcuna interpolazione o estrapolazione, poiché l'Unità 1029 ha misurato a questa altezza.

Sono state testate diverse metodologie, tra cui un valore singolo, un binning direzionale, un binning dell'ora del giorno, un binning mensile e un binning dell'ora e del mese del giorno. Il binning viene utilizzato per acquisire in modo più accurato le distribuzioni di frequenza della velocità del vento all'altezza del mozzo e solitamente si seleziona in base all'influenza dell'atmosfera o del terreno sul gradiente.

È stato utilizzato un metodo di gradiente direzionale per rappresentare in modo ottimale la distribuzione di frequenza della velocità del vento all'altezza del mozzo. La strategia impiegata e le specifiche relative all'interpolazione verticale sono riassunte nella Tabella 2.5. L'esponente medio del gradiente nel punto di misurazione è 0,10.

Tabella 2.5: Risultati del gradiente nel luogo di misurazione dell'Unità 1029

Altezza mozzo (m)	Altezze sensori (m AGL)	Binning	Esponente del gradiente medio	Velocità del vento a lungo termine (m/s)
125	100, 140	Direzionale	0,10	6,9

2.4. Modellazione spaziale del vento

La scelta del modello più appropriato dipende dalla complessità topografica e meteorologica del sito. Il terreno del parco eolico di San Giuliano è complesso e comprende una vegetazione che potrebbe avere un effetto rilevante sulla risorsa eolica. Considerando il grado di complessità del sito e le condizioni di flusso previste, è stato ritenuto appropriato per il parco eolico di San Giuliano l'uso del modello di flusso CFD VENTOS. Su richiesta del Cliente, il modello di flusso CFD VENTOS è stato avviato utilizzando mappe dell'asperità, curve di livello e mappe forestali dell'area circostante. I dati sull'asperità sono stati ricavati dal database globale Corinne Land Cover 2006. I dati sulle curve del terreno sono stati ricavati dal database globale STRM 3.

Sulla base dei risultati della modellazione spaziale, sono state stimate velocità medie del vento alla turbina per il sito di San Giuliano come indicato nella Tabella 2.6. Natural Power raccomanda vivamente al Cliente di accertarsi dell'idoneità dei tipi di turbine selezionati con i produttori delle stesse.

Tabella 2.6: Velocità media del vento all'altezza del mozzo delle turbine del parco eolico di San Giuliano

Scenario	Altezza mozzo (m)	Velocità media del vento nel parco (m/s)
San Giuliano, Scenario 1	100	6,3
San Giuliano, Scenario 2	125	6,4

3. Risultati

3.1. Rosa dei venti

La Figura 3.1 presenta la rosa dei venti per il lidar 1029 di San Giuliano a 100 m dal suolo. Si noti che in tutto il sito ci possono essere variazioni nella distribuzione delle direzioni del vento, sia in verticale sia in orizzontale, oltre a un elemento di virata, a causa della complessità del terreno.

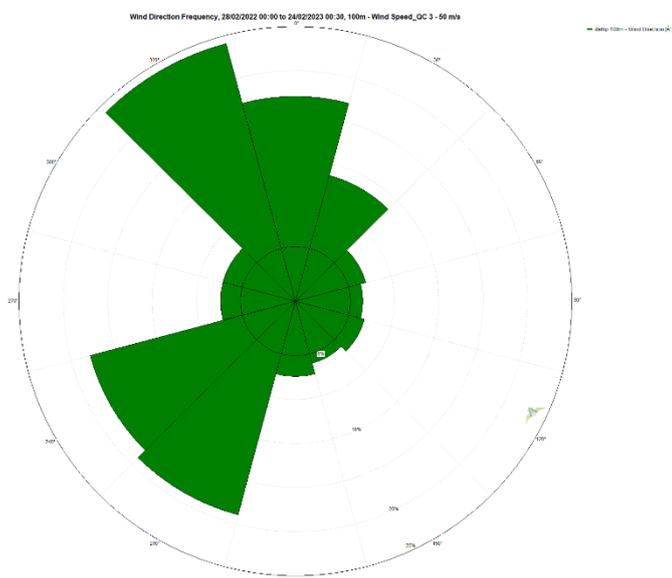


Figura 3.1: Rosa dei venti a lungo termine a un'AGL di 100 m misurata dal lidar 1029

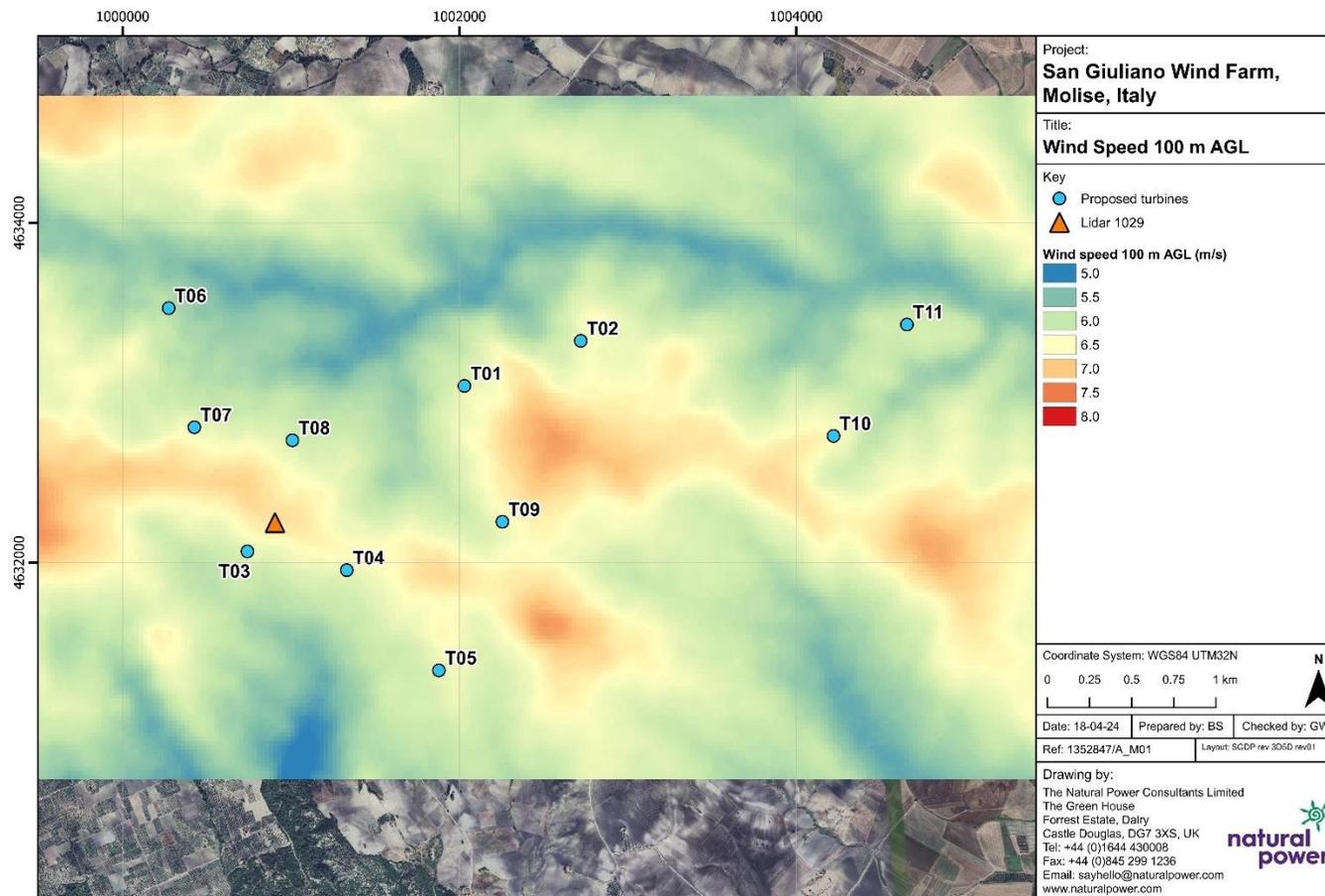
3.2. Mappe delle velocità del vento

La Figura 3.2 e la Figura 3.3 presentano le mappe delle velocità del vento in San Giuliano alle altezze rispettivamente di 100 m e 125 m dal suolo, calcolate sulla base della risorsa eolica VENTOS e dei dati del lidar 1029 di San Giuliano. Inoltre, le velocità del vento per turbina sono riportate nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Velocità del vento per turbina – Parco eolico di San Giuliano

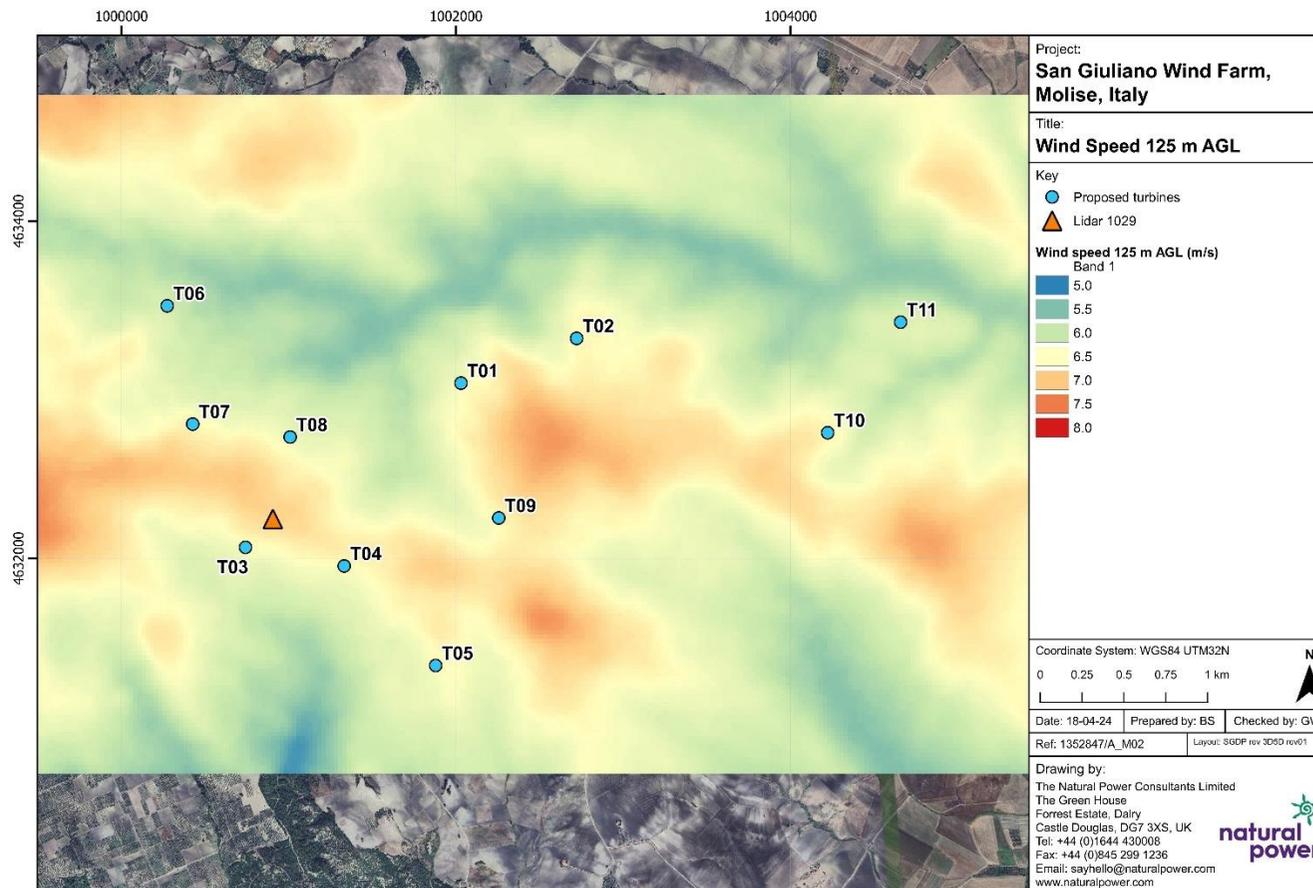
ID turbina	Long. E	Lat. N	Velocità del vento (m/s) a 100 m	Velocità del vento (m/s) a 125 m
T01	502617	4615430	6,3	6,4
T02	502786	4614619	6,4	6,5
T03	503323	4615646	6,3	6,5
T04	504777	4614985	6,3	6,5
T05	505256	4615607	6,3	6,4
T06	501268	4614551	5,9	6,1
T07	501005	4615300	6,4	6,6
T08	501847	4614400	6,2	6,4
T09	502350	4613775	6,4	6,5
T10	501579	4615183	6,5	6,6
T11	500902	4616008	6,1	6,2

Le coordinate sono nel sistema WGS 84/UTM Zona 33N.



Notes: a) Information on this plan is directly reproduced from digital and other material from different sources. Minor discrepancies may therefore occur. Where further clarification is considered necessary, this is noted through the use of text boxes on the plan itself. b) For the avoidance of doubt and unless otherwise stated: 1. this plan should be used for identification purposes only, unless otherwise stated in accompanying documentation. 2. The Natural Power Consultants Limited accepts no responsibility for the accuracy of data supplied by third parties. 3. The Natural Power Consultants Limited accepts no liability for any use which is made of this plan by a party other than its client. No third party who gains access to this plan shall have any claim against The Natural Power Consultants Limited in respect of its contents.

Figura 3.2: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 100 m



Notes: a) Information on this plan is directly reproduced from digital and other material from different sources. Minor discrepancies may therefore occur. Where further clarification is considered necessary, this is noted through the use of text boxes on the plan itself. b) For the avoidance of doubt and unless otherwise stated: 1. this plan should be used for identification purposes only, unless otherwise stated in accompanying documentation. 2. The Natural Power Consultants Limited accepts no responsibility for the accuracy of data supplied by third parties. 3. The Natural Power Consultants Limited accepts no liability for any use which is made of this plan by a party other than its client. No third party who gains access to this plan shall have any claim against The Natural Power Consultants Limited in respect of its contents.

Figura 3.3: Mappa delle velocità del vento a un'AGL di 125 m

3.3. 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:

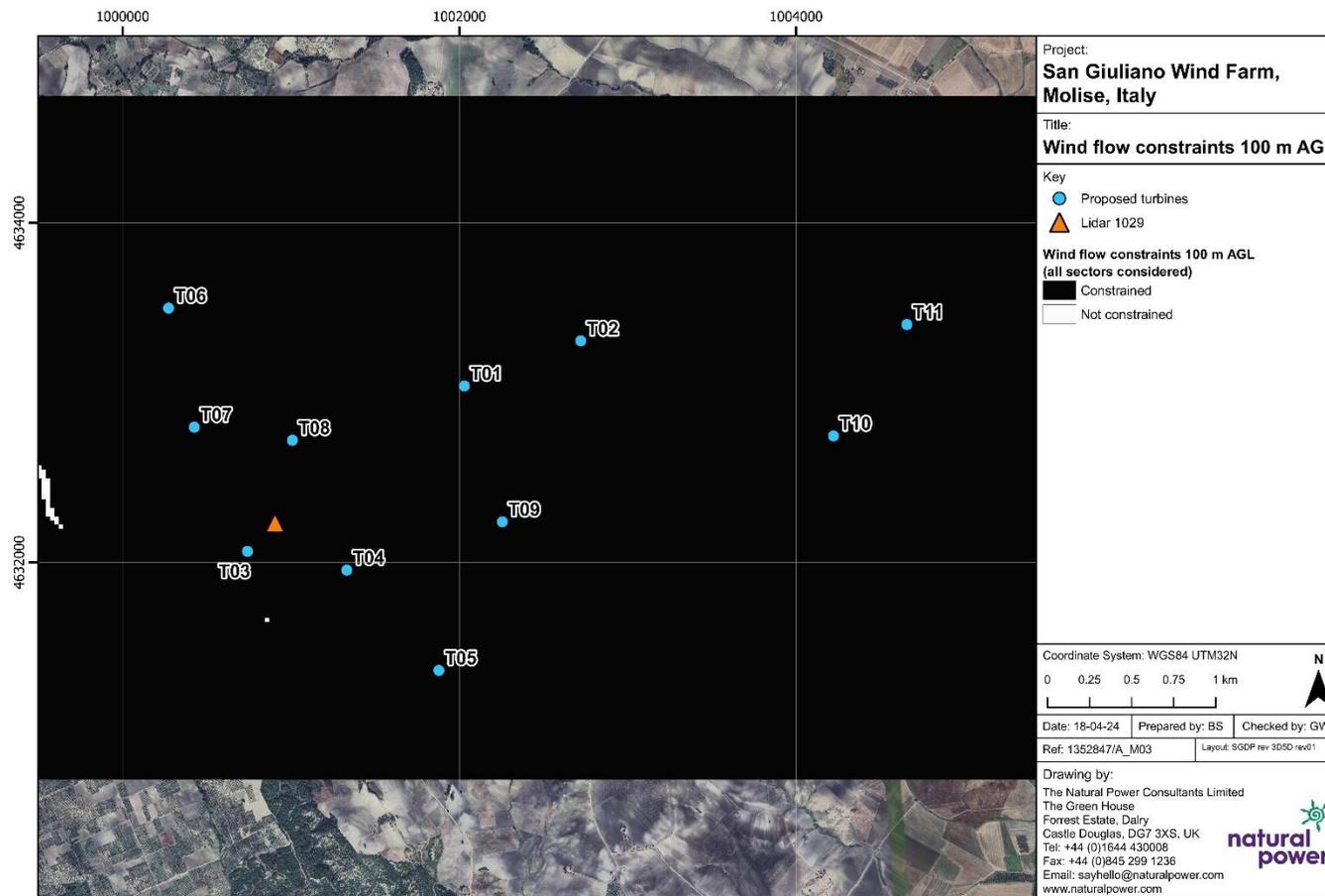
- Angolo di entrata massimo (verticale): +/- 8 gradi
- Turbolenza massima: 18%
- Limiti di gradiente: da 0 a 0,3
- Cambio di direzione: +/- 90 gradi

I vincoli limite sopra riportati sono stati impostati in quanto generalmente allineati con la gamma di condizioni di qualità del vento (afflusso, gradiente e turbolenza) per le quali i produttori di turbine garantiscono le prestazioni di potenza 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, anche se l'analisi dovrebbe essere ripetuta quando saranno disponibili dati forestali di alta qualità.

I vincoli di flusso Flow sono stati analizzati per due scenari in entrambi i siti: in primo luogo considerando tutti i settori direzionali (**Figura 3.4**) e, in secondo luogo, considerando solo i settori di vento prevalente (210, 240 e 330 gradi) (**Figura 3.5**). Le aree dei siti soggette a condizioni di flusso del vento esterne ai vincoli sopraccitati sono colorate in nero. In base all'analisi indicativa, si prevede che il sito di San Giuliano si trovi in un ambiente di flusso complesso, con quasi tutta l'area del sito interessata da flussi complessi in almeno un settore, come illustrato nella **Figura 3.4**. Queste aree/settori sono da ritenersi potenzialmente inadatte all'installazione di diversi modelli di turbine e devono essere quindi attentamente valutate durante qualsiasi progettazione della configurazione del sito, fino a quando non sarà possibile verificare le condizioni attraverso ulteriori misurazioni in loco. Come previsto, le condizioni di turbolenza e di gradiente dovrebbero essere più elevate lungo i pendii più ripidi e a valle/sottovento dei margini degli altopiani, dove il riparo del terreno porta a flussi complessi, accentuati dalla presenza di foreste sui terreni sopravvento di più alta quota. Si prevedono condizioni di flusso più favorevoli sulle cime degli altopiani e lontano dai margini.

Considerando solo i settori prevalenti, la maggior parte dell'estensione modellata è classificata come avente condizioni di flusso del vento accettabili, come mostrato in **Figura 3.5**. Nessuna delle turbine nel layout di San Giuliano fornito dal Cliente si trova all'interno, o ai margini, di aree soggette a vincoli. Si consiglia di confermare l'idoneità del layout per le condizioni in loco con i potenziali fornitori delle turbine. Si invita inoltre il Cliente a rivolgersi anticipatamente ai fornitori delle turbine per stabilire quali livelli di turbolenza siano ritenuti accettabili per un funzionamento accettabile e senza limitazioni delle loro turbine. Occorre notare che l'analisi si basa sulla turbolenza misurata con lidar, che probabilmente differisce dalla turbolenza misurata con strumenti a coppe, quindi occorre considerare i risultati come indicativi fino a quando non saranno disponibili misurazioni della turbolenza più concrete.

Come presentato nella **Figura 3.4**, a 100 m, considerati tutti i vincoli, non vi è alcuna posizione attualmente presa in considerazione che sia accettabile per il posizionamento delle turbine, indicando la possibile necessità di curtailment o contenimento di alcuni settori. Tuttavia, come mostrato in **Figura 3.5**, se si considerano solo i settori prevalenti, nessuna delle turbine si trova all'interno di aree soggette a vincoli.



Notes: a) Information on this plan is directly reproduced from digital and other material from different sources. Minor discrepancies may therefore occur. Where further clarification is considered necessary, this is noted through the use of text boxes on the plan itself. b) For the avoidance of doubt and unless otherwise stated: 1. this plan should be used for identification purposes only, unless otherwise stated in accompanying documentation. 2. The Natural Power Consultants Limited accepts no responsibility for the accuracy of data supplied by third parties. 3. The Natural Power Consultants Limited accepts no liability for any use which is made of this plan by a party other than its client. No third party who gains access to this plan shall have any claim against The Natural Power Consultants Limited in respect of its contents.

Figura 3.4: Mappa dei vincoli eolici del parco eolico di San Giuliano a un'altezza dal suolo di 100 m, considerando tutti i settori

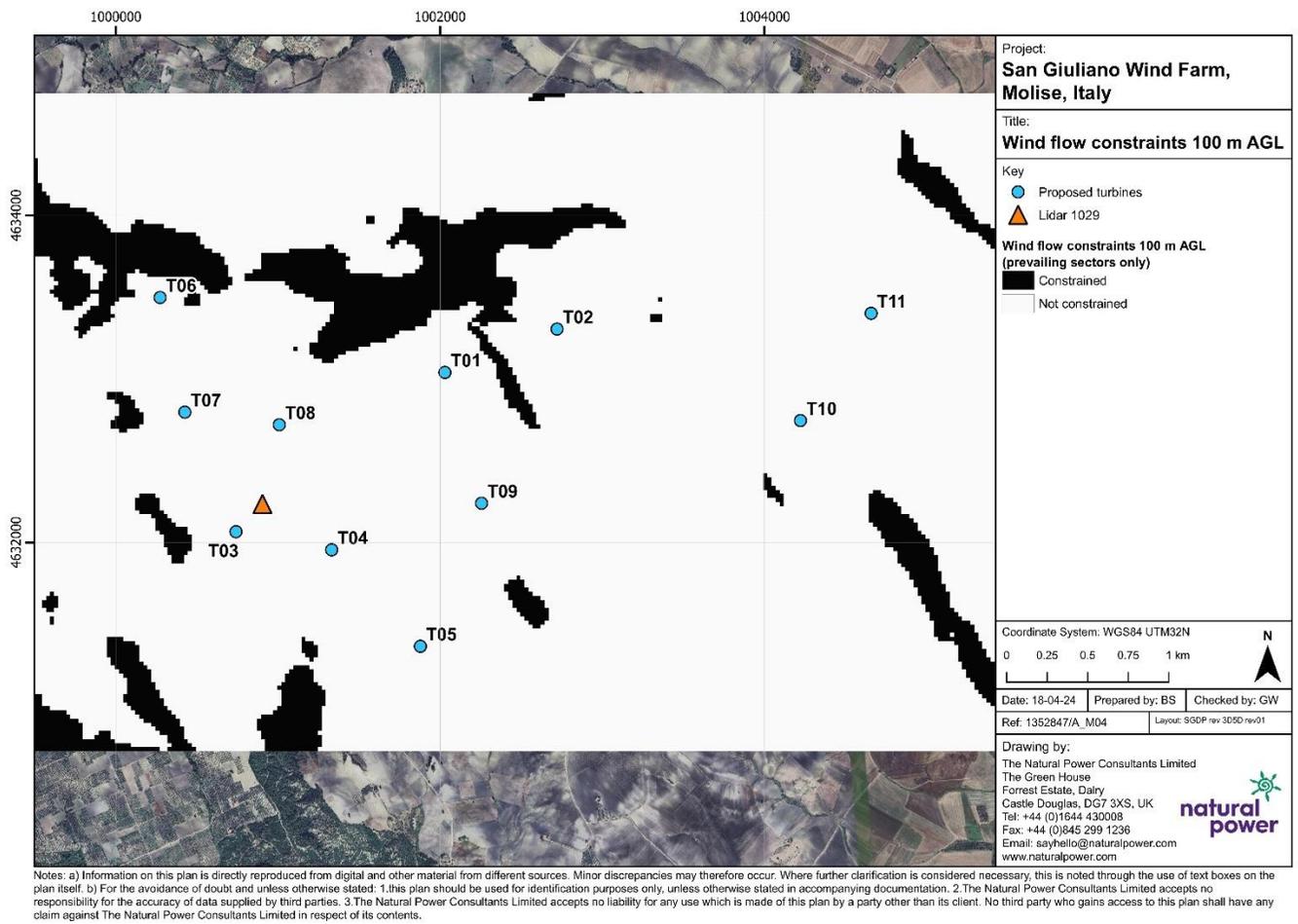


Figura 3.5: Mappa dei vincoli eolici del parco eolico di San Giuliano a un'altezza dal suolo di 100 m, considerando solo i settori prevalenti

4. Valutazione indicativa della resa energetica

Per il parco eolico di San Giuliano è stata effettuata una valutazione indicativa (iEYA) del rendimento energetico. È stato utilizzato un unico tipo di turbina, il modello Vestas V162 da 6,2 MW con un'altezza al mozzo di 125 metri.

I dettagli tecnici del modello di turbina valutato in questa analisi sono stati forniti dal Cliente³. Un riepilogo dei dati sulla turbina è disponibile nella Tabella 4.1.

Tabella 4.1: Riepilogo dei dati selezionati per il modello di turbina proposto

Turbina	Vestas V162 6,2 MW
Tipo di curva di potenza	Calcolata
Capacità nominale (MW)	6,2
Altezza mozzo (m)	125
Classe IEC	S
Densità della curva di potenza (kg/m ³)	1,175
Diametro rotore (m)	162
Gamma operative di velocità del vento (m/s)	3,0 – 24,0
Intensità valida della turbolenza (%)	6 – 12
Gradiente valido del vento	0,0 – 0,3

Per la valutazione è stata utilizzata la seguente metodologia:

- La risorsa eolica del sito è stata definita utilizzando l'altezza del mozzo a lungo termine dall'unità lidar 1029.
- Per estrapolare spazialmente la risorsa eolica del sito sulle posizioni delle turbine sono stati utilizzati i risultati del modello di flusso VENTOS/2.
- Nell'analisi sono state inserite le coordinate della turbina, la densità media dell'aria dell'altezza del mozzo nel sito, la turbolenza all'altezza del mozzo dal lidar 1029 nonché le curve di potenza e spinta della turbina specifiche per la densità dell'aria.
- Gli input di cui sopra sono stati utilizzati per calcolare il rendimento energetico lordo e di scia in ciascuna posizione della turbina con la viscosità turbolenta utilizzata come modello di scia.

Si osservi che il lidar 1029, che è stato utilizzato per definire la risorsa eolica del sito, si trova quasi alla quota più alta del sito e quindi non può essere considerato rappresentativo per le turbine di quota inferiore all'interno del layout. È quindi probabile che l'incertezza spaziale sia elevata e si raccomanda pertanto la raccolta di ulteriori dati eolici misurati all'interno del sito in una posizione di quota inferiore nelle vicinanze delle turbine T10 e T11 durante l'avanzamento del processo di sviluppo del sito.

È stata condotta una revisione di alto livello dei parchi eolici limitrofi all'area, utilizzando fonti pubblicamente disponibili. Non sono stati identificati parchi eolici operativi limitrofi che possano avere impatti di scia sulle turbine di San Giuliano. Sono stati tuttavia identificati diversi siti vicini potenziali in una fase iniziale di sviluppo. Dato l'aspetto preliminare dell'analisi, questi parchi eolici non sono stati inclusi nell'analisi stessa. Si raccomanda tuttavia di effettuare un riesame completo dell'attività di sviluppo nella regione durante l'avanzamento del processo di sviluppo del sito.

Data la natura puramente indicativa della presente valutazione, non sono stati presi in considerazione eventi come la crescita o il disboscamento forestale. Si invita a prendere in considerazione questo aspetto man mano che il progetto avanza nel processo di sviluppo.

3. Specifiche prestazionali Vestas, EnVentus V162-6,2 MW 50/60Hz, Numero documento: 0107-3707 V01, 2021-11-26

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. Per la configurazione di San Giuliano, la spaziatura minima nelle direzioni prevalenti è di 4,3 RD e la spaziatura minima nelle direzioni non prevalenti è di 3,6 RD, con una distanza media dalla turbina più vicina nell'array di 4,4 RD. Pertanto, il layout non soddisfa i requisiti di distanza minimi richiesti e, nonostante il fatto che le perdite di scia medie e per turbina non siano elevate, si raccomanda di confermare l'idoneità del layout con il fornitore 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 e correzione per parchi eolici di grandi dimensioni.
- Disponibilità (turbina, rete elettrica e bilancio dell'impianto) – in base all'esperienza di Natural Power sui siti in esercizio. La disponibilità della turbina è stata calcolata sulla base del numero di turbine presenti in sito, applicando una perdita del 3,3% a tutti gli scenari. Le disponibilità della rete elettrica e del bilancio dell'impianto (BoP) sono state entrambe ipotizzate allo 0,3%.
- Efficienza elettrica – ipotizzata al 2,0%. Si consiglia di eseguire una valutazione delle perdite elettriche specifica per il sito.
- Prestazioni turbine – sono state ipotizzate per il sito prestazioni sub-ottimali e perdite generiche di regolazione della curva di potenza pari a 0,5% ciascuna. È stata calcolata una perdita di regolazione della curva di potenza specifica per il sito utilizzando i dati di turbolenza misurati dal lidar 1029 con una perdita dell'1,5% applicata nell'analisi. Le perdite dovute a isteresi del vento forte sono state ipotizzate pari allo 0,1% in base alla risorsa eolica del sito.
- Condizioni ambientali – presunte in base alla posizione del sito e alle condizioni climatiche. Sono state ipotizzate perdite pari allo 0,5% a causa dell'accumulo di sporco sulle pale, allo 0,5% per il degrado delle pale e dello 0,0% per la formazione di ghiaccio, in base all'esperienza di Natural Power nell'area.
- Curtailment – si è ipotizzato che non siano applicabili interventi di curtailment in questo scenario. Nel sito è stato identificato un flusso complesso, come descritto nella sezione 3.3. Potrà quindi rendersi necessaria una gestione individuale dei vari settori di vento. Si raccomanda di discutere questa possibilità con i fornitori di turbine eoliche durante le fasi iniziali dei contatti e di includere eventuali necessità di curtailment nelle valutazioni del rendimento energetico futuro.

4.1. Risultati

La seguente Tabella 4.2 riassume i risultati dell'analisi del rendimento energetico e delle perdite associate.

Tabella 4.2: Riepilogo della valutazione del rendimento energetico

I	
Tipo turbina	Vestas V162 6,2 MW
Altezza mozzo (m) della turbina	125
Diametro rotore (m)	162
Potenza nominale della turbina (kW)	6200
Numero di turbine	11
Capacità installata del parco eolico (MW)	68,2
Riepilogo della valutazione della risorsa eolica	
Densità media dell'aria all'altezza del mozzo a lungo termine (kg/m ³)	1,165
Velocità media del vento all'altezza del mozzo nel parco eolico (m/s)	6,4
Riepilogo della valutazione del rendimento energetico	
Fattore energia lorda/capacità P₅₀ (GWh/anno/%)	203,6 / 34,0
Perdite per scie e interazione tra turbine (%)	6,0
Perdite per disponibilità (%)	3,9
Perdite per efficienza energetica (%)	2,0
Perdite per efficienza turbina (%)	2,6
Perdite ambientali (%)	1,0
Perdite per curtailment (%)	0,0
Perdite totali (%)	14,6
Fattore energia netta /capacità P₅₀ (GWh/yr / %)	173,9 / 29,1

5. Conclusioni e raccomandazioni

Allo scopo di ottenere una migliore comprensione delle condizioni di flusso del vento nel sito e del potenziale di rendimento di generazione di energia dato il layout e il tipo di turbina in esame, sono stati realizzati un iWRA Tier 2 e un iEYA. Per l'analisi, i dati lidar misurati dal lidar 1029 sono stati soggetti a controllo di qualità, correzione per il lungo termine e interpolazione per l'altezza del mozzo. Il clima eolico a lungo termine risultante è stato estrapolato alle posizioni delle turbine utilizzando il modello di flusso Ventos/2. Sono state inoltre generate mappe dei vincoli di flusso del vento utilizzando i risultati del modello di flusso Ventos/2 ancorato al gradiente e alla turbolenza misurati al lidar 1029. I risultati di questa valutazione sono da considerarsi solo indicativi e dovranno essere aggiornati non appena siano disponibili ulteriori dati misurati in loco.

Il sito è considerato complesso. Ciò è confermato dalla mappatura dei vincoli, la quale evidenzia che la maggior parte del sito presenta almeno un settore che si trova al di fuori delle soglie di prestazione accettabili della turbina descritte nella sezione 3.3. Tuttavia, se si considerano soltanto i settori prevalenti, nessuna delle turbine si trova all'interno o in prossimità di aree vincolate che superano le soglie. Si raccomanda di confermare l'idoneità del layout con il produttore delle turbine e di avviare inoltre discussioni sull'idoneità della turbolenza misurata dal lidar per quanto riguarda l'ubicazione delle turbine. Il sito potrebbe richiedere interventi di curtailment o contenimento tramite la gestione dei settori di vento. In tal caso, anche il valore di rendimento energetico prodotto indicato nella sezione 4.1 sarà inferiore. Si raccomanda di discutere questa possibilità con i fornitori di turbine eoliche durante le fasi iniziali dei contatti e di includere tali eventuali interventi di curtailment nelle valutazioni del rendimento energetico futuro.

Il layout fornito dal Cliente mostra una spaziatura minima nelle direzioni prevalenti di 4,3 RD e una spaziatura minima nelle direzioni non prevalenti di 3,6 RD, con una distanza media dalla turbina più vicina nell'array di 4,4 RD. Il layout, pertanto, non soddisfa i requisiti di distanza minimi tipici e, pur considerando il fatto che le perdite di scia per turbina e media non sono elevate, si raccomanda di confermare l'idoneità del layout con il fornitore delle turbine.

L'incertezza spaziale al sito può quindi essere potenzialmente elevata. Si raccomanda di raccogliere ulteriori misurazioni in loco nelle aree a quota più bassa del sito per garantire che la campagna di misurazione sia rappresentativa per tutte le turbine incluse nel layout. Si raccomanda inoltre che vengano valutati altri modelli spaziali del vento al fine di comprendere meglio le condizioni eoliche di tutto il sito e il potenziale di rendimento energetico risultante. Va altresì notato che il sito di San Giuliano sarà soggetto a forti variazioni diurne e stagionali della stabilità atmosferica, dando luogo a un regime eolico complesso sia in termini spaziali che temporali. Il cliente è fortemente invitato a effettuare ulteriori misurazioni multipunto simultanee e, sulla base delle prestazioni ottenute dal modello spaziale tramite previsioni incrociate, considerare i vantaggi dell'uso di un approccio multi-modello d'insieme per la modellazione spaziale in questa località.



Creating a better environment



[naturalpower.com](https://www.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 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.