

WPD Salentina2 S.r.l.

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO IN AGRO DI LEVERANO (LE) E VEGLIE (VE), IN LOCALITÀ "MARCHIONI" E "VIGNALI" CON OPERE CONNESSE ALLA SE SITA IN NARDO' (LE)



Responsabile Commessa
ing. Danilo POMPONIO

Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361 - fax (+39) 0805619384

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
V11		Valutazione anemologica e della producibilità	22148	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC22148D-V11		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC221486D-V11.doc	26 + copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	01/04/23	Emissione	WPD Salentina2	WPD Salentina2	WPD Salentina2
01					
02					
03					
04					
05					
06					



wpd Salentina2 S.r.l.

Sommario

Premessa	2
1. Introduzione	2
2. Descrizione del Sito	3
3. Analisi dei dati utilizzati	5
4. I dati a lungo termine nell'area di Leverano.....	6
5. Risultato dei modelli per il calcolo dei parametri del vento sul lungo termine	8
6. I modelli matematici per la rappresentazione spaziale del vento	12
7. Stima della produzione energetica del parco eolico	13
8. Conclusioni	15

wpd Salentina2 S.r.l.

Premessa

La società wpd Salentina2 srl ha predisposto uno studio sulle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità di un impianto eolico situato nei territori dei comuni di Leverano e Veglie (LE) ai fini del procedimento autorizzativo.

La finalità di questo studio è quella di caratterizzare le condizioni anemologiche e determinare la stima del rendimento energetico dell'impianto, su base annuale.

Tale valutazione viene eseguita tramite l'uso di dati satellitari tipo EMD-WRF Europe+ (ERA5) che opportunamente inseriti nel modello di calcolo WINDPRO, sono in grado di analizzare in dettaglio l'area in cui ricade il parco.

1. Introduzione

Lo studio ha lo scopo di verificare la bontà della scelta del layout in base alle caratteristiche di ventosità del sito. L'analisi parte dallo studio delle informazioni fornite dall'atlante eolico, che mostra una stima di massima della risorsa eolica nell'area individuata. Questa, successivamente, viene analizzata con modelli complessi che permettono di analizzare la ventosità sulla micro-scala, quale è la posizione delle macchine.

L'obiettivo finale è di verificare la producibilità del sito con le turbine indicate dalla società. I dati del vento processati, diventano file di ingresso nei modelli matematici specifici per l'analisi della produttività di un parco eolico, sono verificate varie configurazioni di layout e tipologie di macchine, fino al raggiungimento del massimo rendimento dal punto di vista di sfruttamento della risorsa eolica.

La struttura della documentazione si divide in quattro sezioni principali.

- La prima (cap 2) descrive la zona oggetto dello studio attraverso le proprie specificità: l'orografia, la rugosità e la disposizione degli aerogeneratori sul territorio.
- La seconda (cap 3 e 4) descrive la tipologia dei dati anemometrici analizzati.
- Nella terza sezione (cap 5 e 6) si vede come i dati del vento si trasformano in curve di Weibull, dalle quali si ricavano i parametri necessari ai modelli di calcolo. La previsione si effettua con

wpd Salentina2 S.r.l.

software specifico WINDPRO del quale viene illustrata brevemente le metodologie di calcolo e le caratteristiche peculiari.

- L'ultima parte (cap 7 e 8) è dedicata alle conclusioni in cui la stima di ventosità si trasforma in una stima di produzione energetica, arrivando al risultato finale in cui vi è una eliminazione delle perdite e calcolo dell'incertezza.

2. Descrizione del Sito

Il sito oggetto dello studio è situato nei territori comunali di Leverano e Veglie (LE), come riportato in Figura 1. La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolico, costituito da n.6 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW per una potenza complessiva di 43,2 MW, da realizzarsi nei territori comunali di Leverano e Veglie nella Provincia di Lecce in cui ricadono gli aerogeneratori e l'elettrodotto di collegamento interno.

Il Parco eolico si può intendere suddiviso in due parti, quella ricadente nel comune di Leverano, costituita da 5 WTG, che si sviluppa tra i 37 m e i 44 m s.l.m e quella ricadente a nel comune di Veglie, costituito da 1 WTG, a circa 47 m s.l.m.

L'area scelta, si basa su una prima indicazione fornita dai modelli matematici, tra i più utilizzati ed accessibile a tutti è l'atlante eolico, disponibile sul sito <https://globalwindatlas.info/> gestito dalla World Bank Group per potenziare il settore delle energie rinnovabili.

È stato scelto come rappresentazione delle velocità media quella a livello 150m, ovvero il livello più rappresentativo del vento all'altezza del mozzo del rotore della turbina eolica scelta. La turbina selezionata in termini della miglior efficienza di macchina è una Vestas V172-7.2-7'200 avente altezza all'hub pari a 150m, per cui **150 m** sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. La massima altezza di studio è impostata a quota 300m, si può osservare una certa omogeneità dell'area che riporta una ventosità tra i 6 m/s - 7 m/s, per questo il sito è stato considerato idoneo per portare avanti un'analisi approfondita della risorsa eolica.

wpd Salentina2 S.r.l.

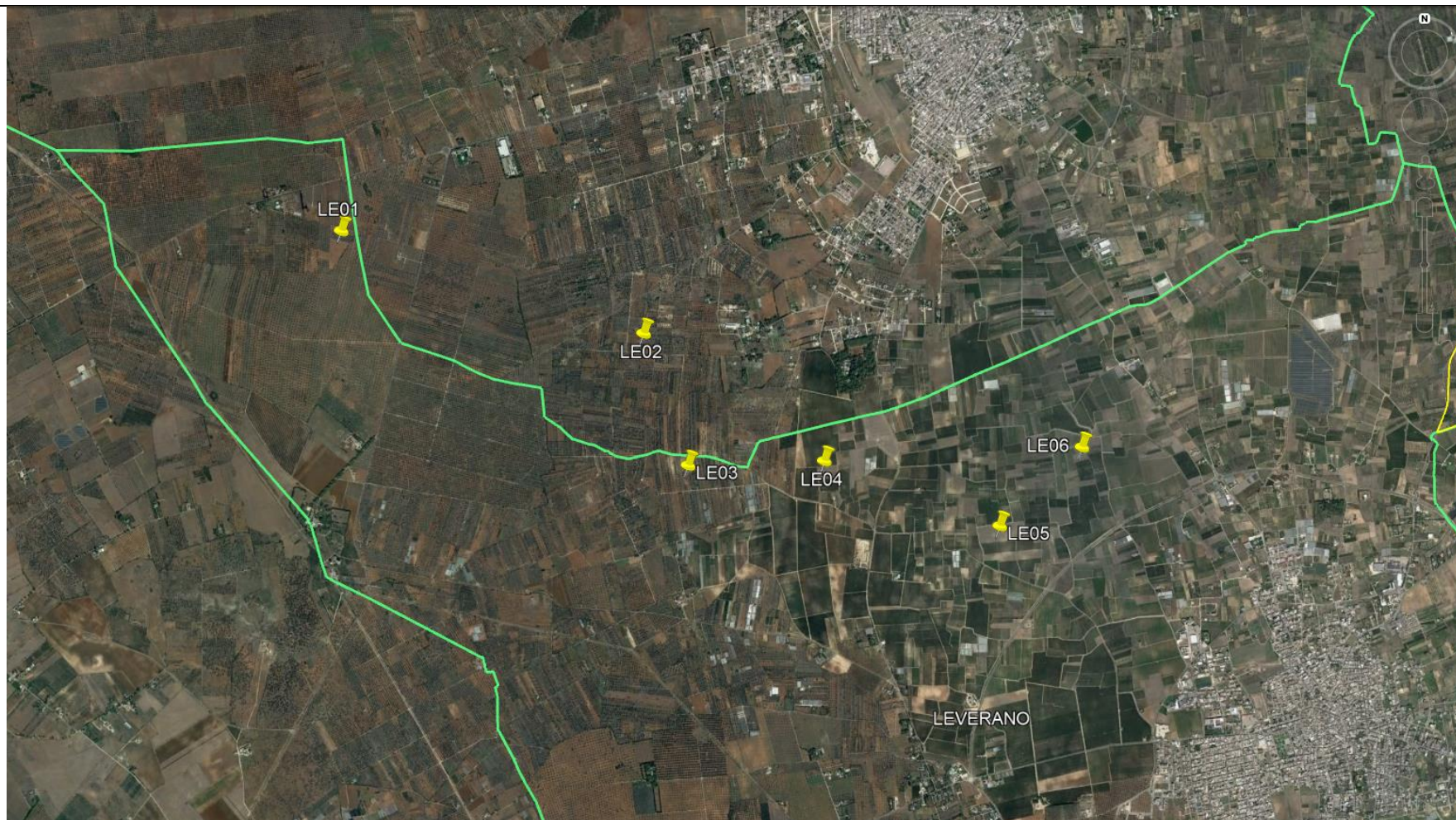


Figura 1: Inquadramento su ortofoto del parco eolico

wpd Salentina2 S.r.l.

L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una area orograficamente semplice senza particolari rilievi. Topograficamente ha una altezza compresa tra 37 e 47 metri. Si è considerata una densità media dell'aria all'altezza del mozzo pari a: $\rho=1,225 \text{ Kg/m}^3$.

Il suolo occupato dal Progetto in esame interessa principalmente "seminativi", "incolti", ed in minima parte "nuclei arborei"; l'uso principale del suolo in questa area è legato quindi all'agricoltura. Questo significa che la copertura vegetazionale è quasi del tutto assente e perciò l'area in studio si caratterizza per una rugosità medio-bassa.

Gli aerogeneratori sono localizzati in modo da sfruttare al massimo il vento che ha una direzione prevalente da Nord. Il posizionamento è stato deciso in base a diversi fattori: prima di tutto il miglior sfruttamento della risorsa eolica posizionando le macchine dove non vi siano coperture come rilievi vicini o vegetazione, la lontananza dai recettori sensibili, la mancanza di colture speciali e l'assenza di vincoli.

Nella Figura 1 è mostrato il layout che si sviluppa su una un'area di circa 100 ettari. L'area di progetto è ampia per consentire il distanziamento necessario con lo scopo di ottimizzare la producibilità del parco eolico stesso.

Un'indagine meteorologica puntuale è quindi sufficiente a descrivere l'area e per fare questo sono stati usati dei diversi strumenti di simulazione e previsione dell'andamento del vento, per avere una chiara e dettagliata informazione della produttività del parco e della sua configurazione ideale.

3. Analisi dei dati utilizzati

Il set di dati necessari al calcolo della producibilità del parco eolico, sono stati determinati dai dati satellitari tipo EMD-WRF Europe+ (ERA5).

I dati sono forniti dal European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) sono generati da un modello a mesoscala in grado di avere una risoluzione spaziale di 3km e una temporale di 1 h, il risultato sono i dati tipo EMD-WRF Europe+ (ERA5) forniti dalla società EMD.

I dati sono stati forniti nel punto indicato (ERA5_ N40.3024_E017.9341) e che è localizzato a circa 1,2 km dal **centro del parco, individuato in corrispondenza della WTG 3.**

wpd Salentina2 S.r.l.

Station name	PERIOD of site data	height	Time step	Position Geographical, WGS84)	
				N	E
EMD-WRF Europe+ (ERA5) N40.3024_E017.9341	01.01.1999– 01.01.2023	Wind speed and wind direction 10 / 25 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200 / 300 m	60 minutes	40.3024°	17.9341°

Dopo aver trovato la fonte più attendibile da cui prendere i dati del vento, vengono elaborate serie temporali di 24 anni, al fine di trovare parametri rappresentativi e consistenti del vento.

Successivamente il software di calcolo WINDpro è in grado di ridurre la scala spaziale su cui viene elaborato il dato satellitare, grazie ad uno sistema di infittimento dei dati su una scala dettagliata al metro, tipo SRTM (SRTM topographic data set). Il procedimento è chiamato “downscaling”

4. I dati a lungo termine nell’area di Leverano

Per poter verificare che i dati simulati di lungo termine fossero rappresentativi dell’area di Leverano, è stata fatta girare una rianalisi di una serie temporale di 24 anni provenienti da un modello commerciale tipo Atlas, chiamato UL Windnavigator, fornito dalla società UL (Figura 22).

wpd Salentina2 S.r.l.

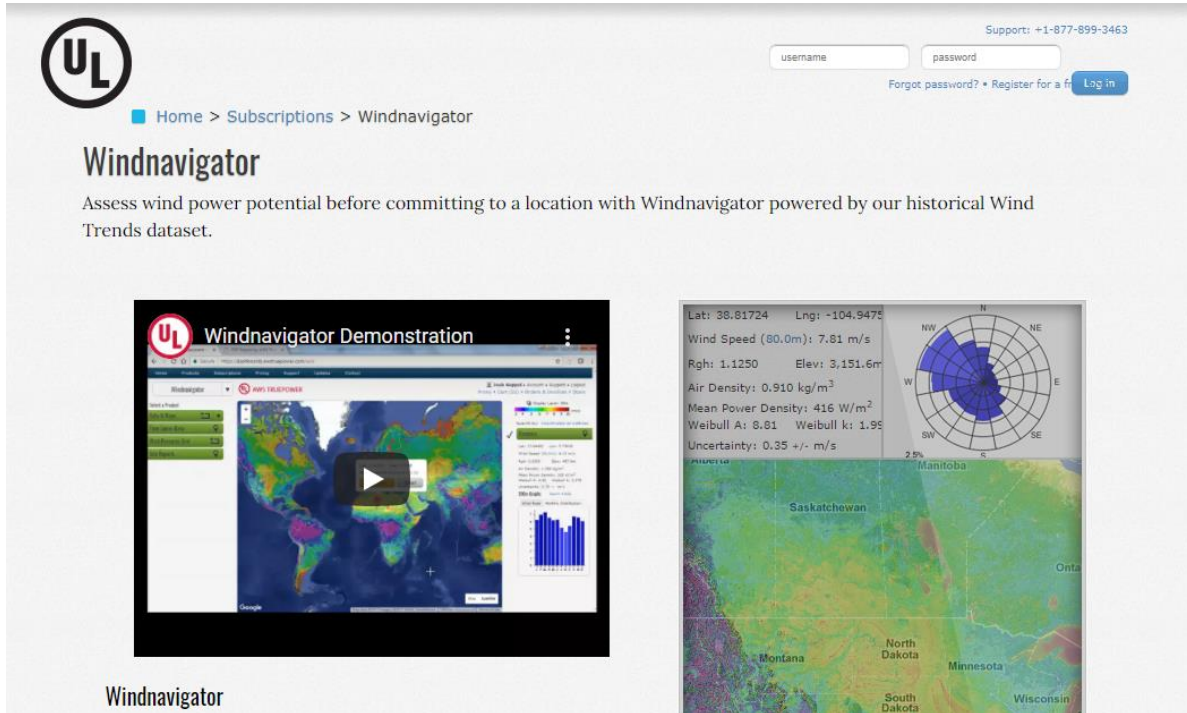


Figura 2: UL Windnavigator. Atlas per i dati a lungo termine.

I valori di velocità sono stati calcolati su diverse altezze da 10m fino a 300m. Grazie a questi valori a diverse quote è stato calcolato a un parametro da inserire nella legge logaritmica del vento, che lega la velocità con la quota, come mostrato in Figura 3.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha$$

Dove:

- v_0 è la velocità del vento misurata alla quota z_0 ;
- v è la velocità che vuole essere identificata alla quota z (ad esempio all'altezza del mozzo);
- α è un coefficiente che correla la differenza di quota alla differenza di velocità del vento.

Figura 3: Legge logaritmica del vento.

wpd Salentina2 S.r.l.

Una volta determinato a , anche noto come wind shear o gradiente verticale di velocità, è possibile stimare la velocità a diverse quote. Il calcolo della velocità all'altezza del mozzo della macchina eolica è stato quindi determinato a partire da una misura di velocità ad una quota conosciuta, grazie al valore del wind shear sull'area considerata.

5. Risultato dei modelli per il calcolo dei parametri del vento sul lungo termine

In questo paragrafo sono riportati i risultati dei dati meteo a lungo termine. Il risultato finale è riportato nelle seguenti Figura 4, Figura 5, Figura 6.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**4 mostra quale è la direzione principale del vento e quale la sua intensità.

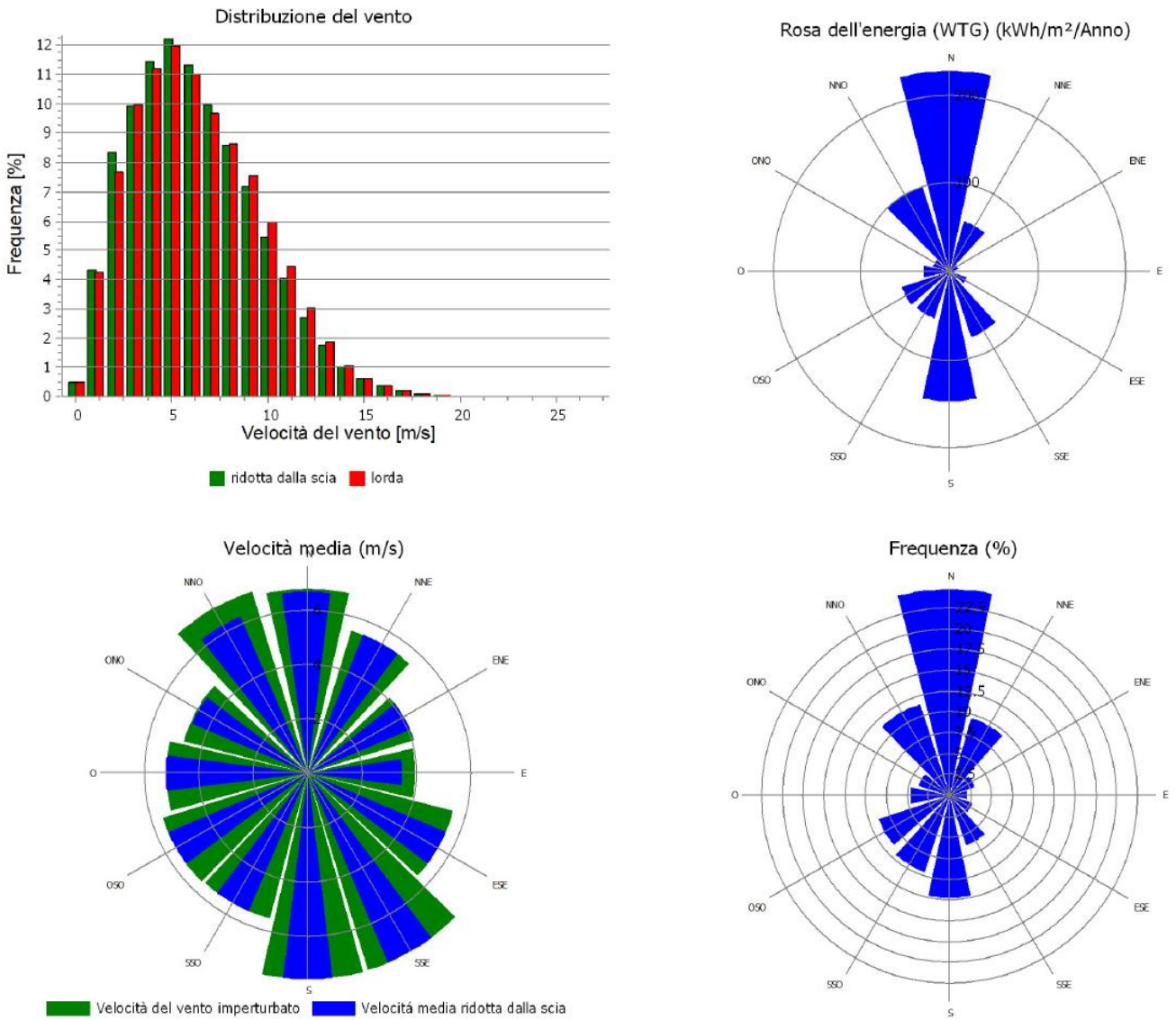


Figura 4: Andamento del vento a 150m espresso come energia, frequenza e velocità del vento in corrispondenza della WTG3

Height	Data recovery	V mean	V max	V min
150m	100%	6.3 m/s	25.2 m/s	0.0 m/s

wpd Salentina2 S.r.l.

In Figura 5 è riportata la distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti. La distribuzione di Weibull è la componente statistica della nostra analisi e grazie ad essa abbiamo una stima realistica della produttiva del parco.

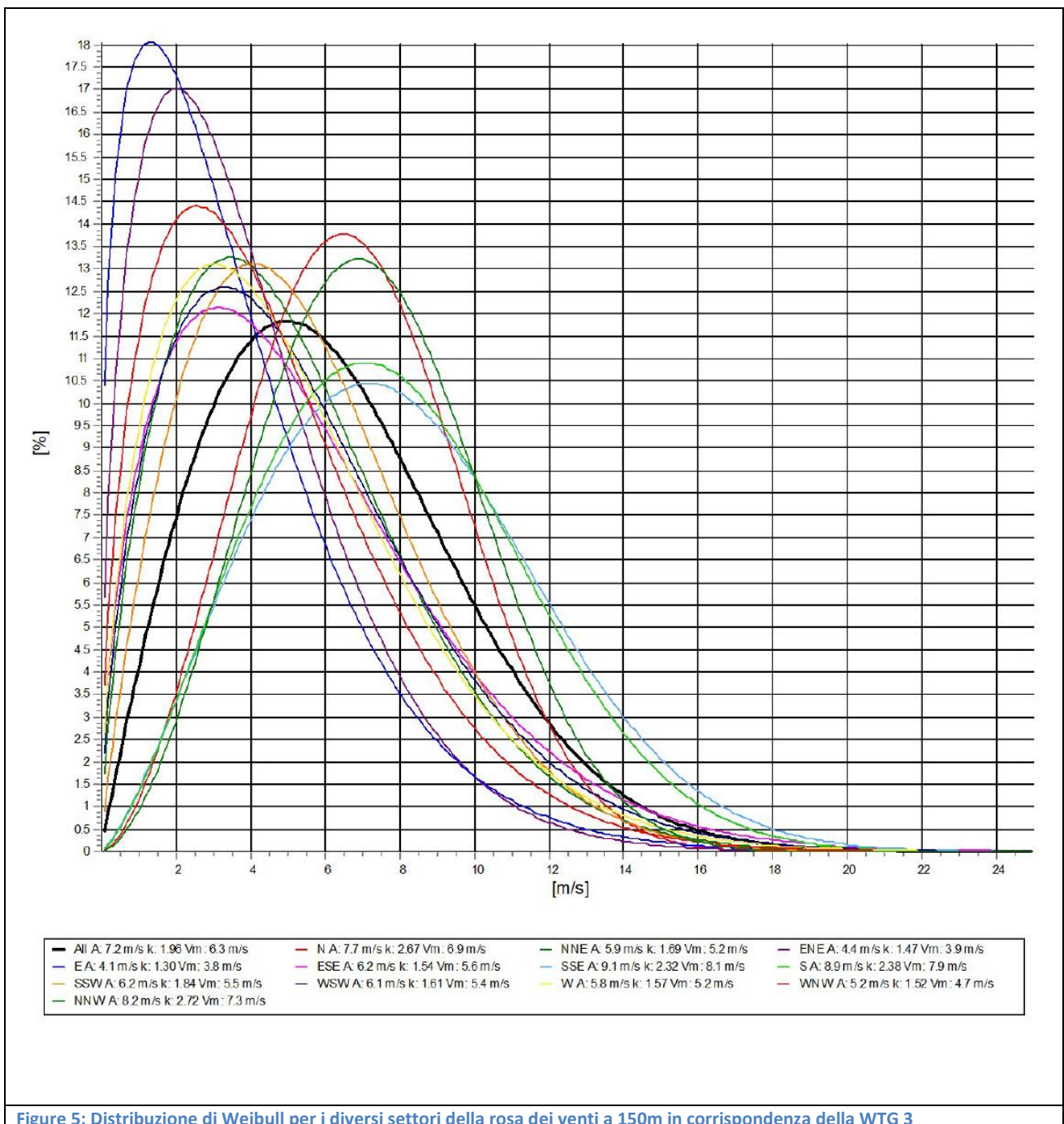


Figure 5: Distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti a 150m in corrispondenza della WTG 3

wprd Salentina2 S.r.l.

In ultimo è riportato l'andamento giornaliero del dato meteorologico come direzione e intensità del vento corretto sul lungo termine (Figura 6).

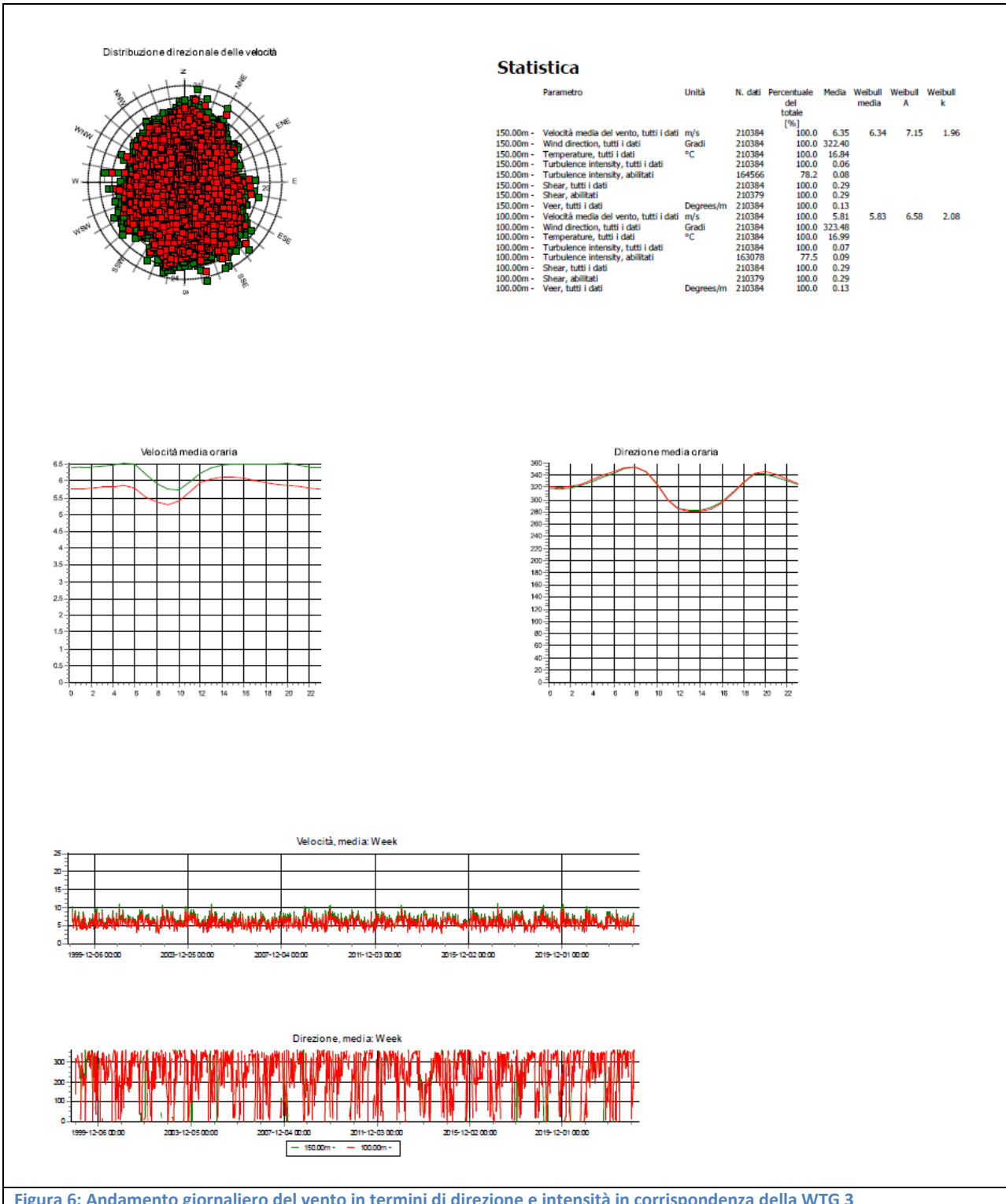


Figura 6: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità in corrispondenza della WTG 3

wpd Salentina2 S.r.l.

6. I modelli matematici per la rappresentazione spaziale del vento

Per calcolare la mappa del vento lungo tutta l'ampiezza del sito è necessario usare prima di tutto modelli che permettano di estrapolare dai dati di vento stimato, i valori nell'area del sito a differenti altezze. Lo studio richiede quindi una modellizzazione spaziale del campo di vento. Questa modellizzazione permette l'estrapolazione, sia spaziale dell'area considerata, sia verticale fino all'altezza della navicella del rotore, delle misure di vento disponibili, per il posizionamento più corretto degli aerogeneratori.

Oltre allo studio dei dati di vento e della orografia, risulta molto importante analizzare altri aspetti come la rugosità, che influenza la valorizzazione energetica del sito modificando il gradiente verticale di velocità (wind shear). La stima della rugosità ("roughness"), viene effettuata da un utente esperto sulla base dei sopralluoghi in cui si definisce il tipo di copertura superficiale del luogo. Nel nostro sito si è stimato un livello di rugosità media stabilendo una rugosità $z_0=0.9779$ m (Sistemi colturali e particellari complessi) per tutto il sito, e poi andando a dettagliare con classi diverse, particolari aree (aree agricole, boschi, area industriale etc) che risultavano avere una rugosità più o meno elevata rispetto a quella di riferimento.

Così, con l'obiettivo di valutare l'effetto che tutti questi fattori hanno sul comportamento del vento, si è prodotta una modellizzazione del vento utilizzando i software Wind Pro e WASP.

Il software Wind Pro, interfacciandosi con il modulo di calcolo del WASP, riesce a prevedere un campo di ventosità nell'area del parco, partendo dai seguenti dati di input:

- misura effettuata con ERA 5 in downscaling per un periodo di 24 anni, dal 1 Gennaio 1999 al 1 Gennaio 2023
- mappa di curve di livello (5 metri di risoluzione)
- mappa di rugosità del sito, proveniente da immagini satellitari

I dati meteo di ERA 5, sono stati poi correlati con il Global Wind Atlas, per la consistenza dei dati di lungo periodo calcolati tramite la re-analisi di dati meteo. La serie di dati correlata a lungo termine è stata poi utilizzata per il calcolo di produzione. Per calcolare la variazione della risorsa eolica lungo

wpd Salentina2 S.r.l.

tutta la ampiezza del sito è necessario usare modelli che permettano di estrapolare dai dati di vento misurato, i valori lungo tutto il sito e a differenti altezze.

7. Stima della produzione energetica del parco eolico

Dalla applicazione del campo di ventosità calcolato per ogni settore e dalla modellizzazione dell'orografia e della rugosità si può stabilire l'intensità del vento in ogni punto della zona. Per calcolare poi la produzione lorda (cioè ai morsetti del generatore, non considerando i fermi macchina e altre perdite) si deve applicare la curva di potenza della macchina per la specifica densità dell'aria e si deve calcolare la turbolenza che la presenza delle altre turbine potrebbe creare nella zona.

Per quanto riguarda la valutazione della turbolenza, detta anche effetto scia, il software Windpro determina secondo alcuni modelli matematici (GH, Eddy, Park) la percentuale di perdita di energia a causa della scia. Il calcolo suddetto non tiene conto delle riduzioni di produzione dovute a fermi macchina, perdite nei cavi di collegamento alla sottostazione, efficienza della sottostazione.

Per quantificare la produzione annuale netta stimata si sono adottati perciò i seguenti coefficienti di incertezza dovuti per i seguenti motivi:

Fattore di incertezza:

	Uncertainty (wind speed)	Uncertainty (energy production)
Wind measurement accuracy	6.0%	
Long term scaling	3.0%	
vertical extrapolation	0.0%	
horizontal extrapolation	3.0%	
Total uncertainty wind input and model	7.3%	
Sensitivity (transfer from wind to energy)	2.0	
Total uncertainty wind input and model		14.7%
Future wind frequency distribution		2.0%
wake losses		0.4%
electrical losses		0.9%
power curve		5.0%
other losses (availability, curtailments etc.)		1.5%
Total uncertainty (energy production and losses)		5.3%

wpd Salentina2 S.r.l.

Annual wind speed variability (1yr)	3.5%	7.0%
Wind speed variability (10yrs)		2.2%
Overall uncertainty 10 years		15.8%

L'incertezza totale, attualmente di 15,8% potrebbe ridursi introducendo dati provenienti da un eventuale anemometro, una volta installato.

Fattori di perdita:

Availability and maintenance losses	3.3%
Grid and interconnection station losses	1.8%
Rotor blade degeneration	0.5%
Icing	0.1%
Total losses (without wake)	5.6%

Questi valori sono quelli che si indicano come "coefficienti di perdita" della produzione attesa e che contribuiscono a ridurre il valore di produzione stimato dai modelli matematici.

Di seguito è quindi riportata una tabella con i valori di produzione dei singoli aerogeneratori per il sito eolico considerato.

Tipo di WTG		Valida	Produttore	Tipo generatore	Potenza nominale	Diametro rotore	Altezza mozzo	Curva di potenza		Risultato	Perdite di scia	Velocità del vento	
Valida	Nome							Creata da	Nome			lorda	ridotta
					[kW]	[m]	[m]			[MWh/anno]	[%]	[m/s]	[m/s]
LE01	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'885.8	0.2	6.31	6.31	
LE02	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'314.7	2.0	6.28	6.22	
LE03	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	18'899.9	4.5	6.30	6.17	
LE04	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'647.1	1.2	6.30	6.25	
LE05	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'458.6	1.1	6.27	6.22	
LE06	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'272.5	1.8	6.25	6.18	

Figura 7: stima della produzione per il parco eolico di Leverano

Di seguito una mappa (Figura 8) che stima la risorsa eolica in termini di produzione annua, calcolata tenendo conto della orografia e rugosità del terreno; da questa mappa si può vedere quindi la differente produzione annua sull'area, e quindi stimare in funzione della posizione delle turbine la loro relativa produzione.

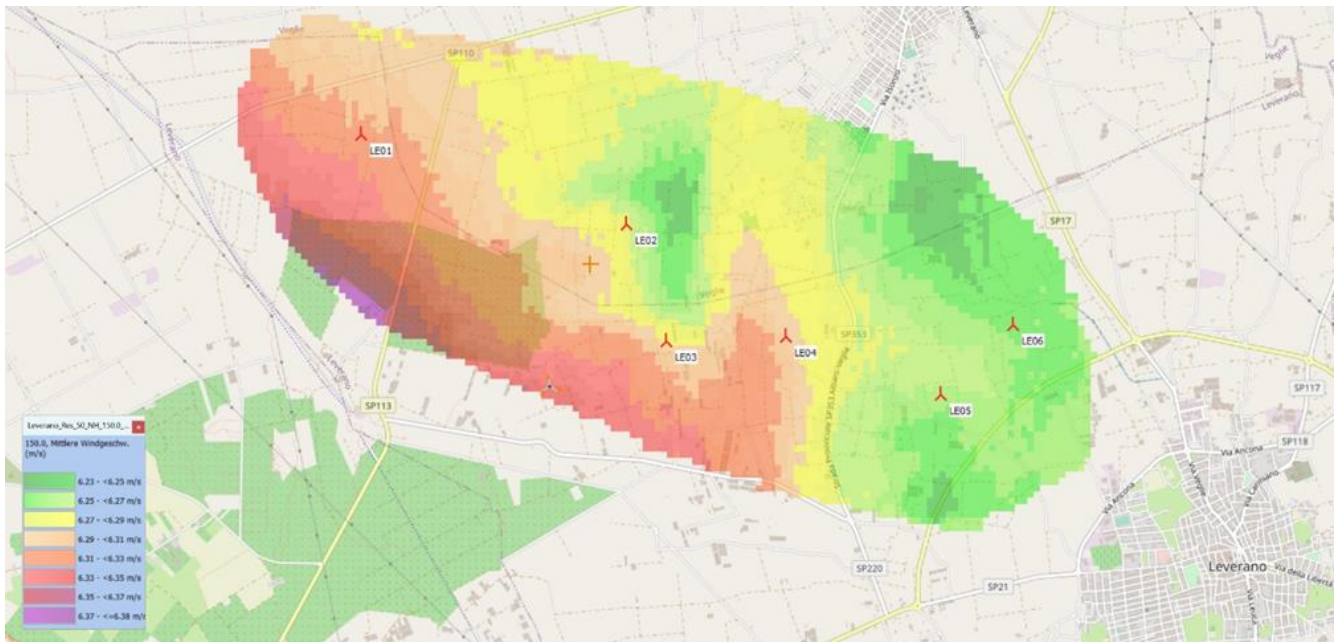


Figura 8: Mappe del vento elaborate con Windpro. Andamento a 150m su una risoluzione di 50m

8. Conclusioni

Il layout del futuro parco eolico analizzato in questo studio, presenta un livello di risorsa del vento, perfettamente vocata allo sfruttamento eolico. Il parco si trova localizzato nei comuni di Leverano e Veglie nella provincia di Lecce.

Il parco eolico proposto è costituito da 6 aerogeneratori Vestas V172-7.2-7'200 con una potenza nominale di 7,2 MW, ed una altezza al mozzo di 150m; la progettazione del parco sul territorio è avvenuta tenendo conto dei vincoli, degli aspetti morfologici del territorio e rispettando le distanze che permettano di sfruttare al massimo il vento disponibile.

Sono stati utilizzati i dati a lungo termine provenienti da modello ERA5 insieme al modello Atlas UL Windnavigator, per creare un dato meteorologico affidabile e consistente sul lungo termine.

wpd Salentina2 S.r.l.

Infine, mediante il programma Wind Pro e WASP si è calcolata la produzione di energia per aerogeneratore, questo ha tenuto conto dell'effetto scia degli aerogeneratori, della rugosità del terreno e dei rilievi topografici per l'ottimizzazione del layout.

Concludendo, i valori stimati della produzione di energia si sono ridotti per tener conto altre fonti potenziali di perdita di energia quali: disponibilità degli aerogeneratori, perdite elettriche, manutenzione, ed incertezze su misura, modelli, etc. Possiamo dire che il risultato, ottenuto grazie ai diversi modelli, per il sito di Leverano e Veglie, sia un buon risultato con una produzione di 116.478,5 MWh/anno, che equivale a circa 2.696 ore annuali equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato in figura 9.

L'area in oggetto è quindi perfettamente votata all'eolico che si configura come un impianto redditizio ed efficiente.

Allegati allo studio, i report con i risultati delle simulazioni

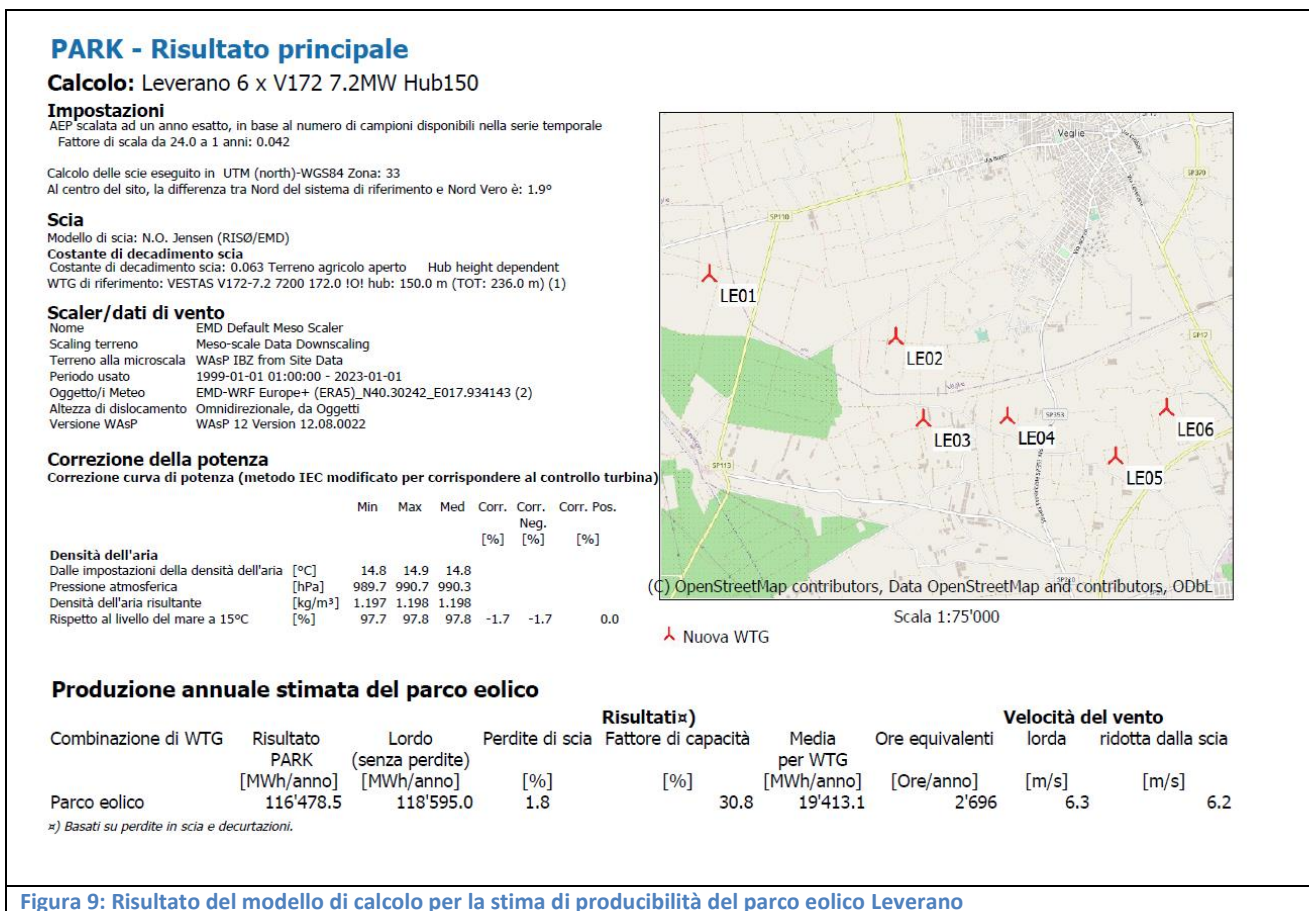


Figura 9: Risultato del modello di calcolo per la stima di producibilità del parco eolico Leverano

PARK - Risultato principale

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150

Impostazioni

AEP scalata ad un anno esatto, in base al numero di campioni disponibili nella serie temporale
Fattore di scala da 24.0 a 1 anni: 0.042

Calcolo delle scie eseguito in UTM (north)-WGS84 Zona: 33

Al centro del sito, la differenza tra Nord del sistema di riferimento e Nord Vero è: 1.9°

Scia

Modello di scia: N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Costante di decadimento scia

Costante di decadimento scia: 0.063 Terreno agricolo aperto Hub height dependent

WTG di riferimento: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (1)

Scaler/dati di vento

Nome EMD Default Meso Scaler

Scaling terreno Meso-scale Data Downscaling

Terreno alla microscala WASP IBZ from Site Data

Periodo usato 1999-01-01 01:00:00 - 2023-01-01

Oggetto/i Meteo EMD-WRF Europe+ (ERA5)_N40.30242_E017.934143 (2)

Altezza di dislocamento Omnidirezionale, da Oggetti

Versione WASP WASP 12 Version 12.08.0022

Correzione della potenza

Correzione curva di potenza (metodo IEC modificato per corrispondere al controllo turbina)

	Min	Max	Med	Corr.	Corr. Neg.	Corr. Pos.
				[%]	[%]	[%]
Densità dell'aria						
Dalle impostazioni della densità dell'aria [°C]	14.8	14.9	14.8			
Pressione atmosferica [hPa]	989.7	990.7	990.3			
Densità dell'aria risultante [kg/m³]	1.197	1.198	1.198			
Rispetto al livello del mare a 15°C [%]	97.7	97.8	97.8	-1.7	-1.7	0.0



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

Nuova WTG

Produzione annuale stimata del parco eolico

Combinazione di WTG	Risultato PARK [MWh/anno]	Lordo (senza perdite) [MWh/anno]	Perdite di scia [%]	Risultati ^{a)}		Velocità del vento		
				Fattore di capacità [%]	Media per WTG [MWh/anno]	Ore equivalenti [Ore/anno]	lorda [m/s]	ridotta dalla scia [m/s]
Parco eolico	116'478.5	118'595.0	1.8	30.8	19'413.1	2'696	6.3	6.2

^{a)} Basati su perdite in scia e decurtazioni.

Energia annuale calcolata per ciascuna delle 6 nuove WTG, per un totale di 43.2 MW nominali installati

Tipo di WTG	Valida	Produttore	Tipo generatore	Potenza nominale [kW]	Diametro rotore [m]	Altezza mozzo [m]	Curva di potenza Creata da	Nome	Produzione annuale		Velocità del vento	
									Risultato [MWh/anno]	Perdite di scia [%]	lorda [m/s]	ridotta [m/s]
LE01	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'885.8	0.2	6.31	6.31
LE02	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'314.7	2.0	6.28	6.22
LE03	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	18'899.9	4.5	6.30	6.17
LE04	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'647.1	1.2	6.30	6.25
LE05	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'458.6	1.1	6.27	6.22
LE06	Si	VESTAS	V172-7.2-7'200	7'200	172.0	150.0	EMD	Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	19'272.5	1.8	6.25	6.18

I risultati di produzione annuale includono le perdite indicate. In fase decisionale, andranno considerate ulteriori perdite e incertezze.

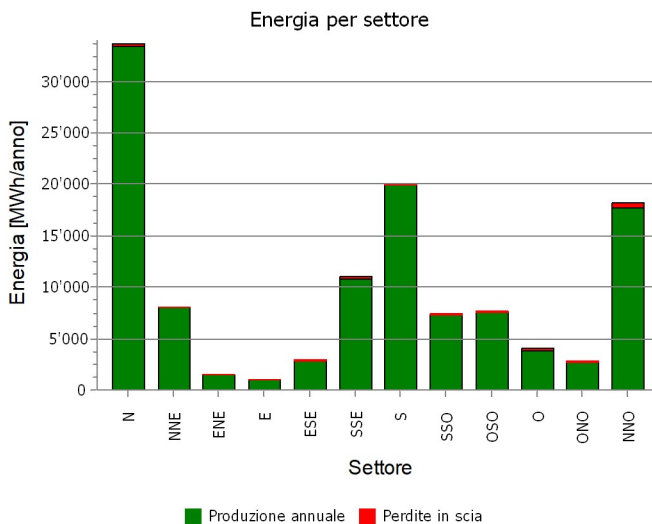
Posizione delle WTG

		UTM (north)-WGS84 Zona: 33				Z	Dati/Descrizione	Periodo calcolato	
		Easting	Northing					Inizio	Fine
LE01	Nuova	747'781	4'467'429	48.4	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (1)	1999-01-01	2023-01-01		
LE02	Nuova	749'948	4'466'776	48.6	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (2)	1999-01-01	2023-01-01		
LE03	Nuova	750'294	4'465'855	46.0	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (3)	1999-01-01	2023-01-01		
LE04	Nuova	751'258	4'465'918	40.0	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (4)	1999-01-01	2023-01-01		
LE05	Nuova	752'518	4'465'500	40.0	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (5)	1999-01-01	2023-01-01		
LE06	Nuova	753'083	4'466'077	40.0	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (6)	1999-01-01	2023-01-01		

PARK - Analisi della produzione

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150 WTG: Tutte le WTG nuove, Densità dell'aria 1.197 kg/m³
Analisi direzionale

Settore		0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSO	8 OSO	9 O	10 ONO	11 NNO	Totale
Model based energy	[MWh]	33'673.9	8'100.3	1'478.1	1'038.6	2'944.0	10'987.2	20'011.7	7'486.0	7'694.3	4'064.3	2'858.3	18'258.4	118'595.0
-Perdite dovute alle scie	[MWh]	226.4	84.9	44.6	75.2	105.3	242.8	70.2	130.5	127.1	262.8	138.9	607.9	2'116.5
Energia risultante	[MWh]	33'447.5	8'015.4	1'433.5	963.5	2'838.7	10'744.4	19'941.5	7'355.5	7'567.2	3'801.5	2'719.4	17'650.5	116'478.5
Energia specifica	[kWh/m ²]													836
Energia specifica	[kWh/kW]													2'696
Perdite dovute alle scie	[%]	0.7	1.0	3.0	7.2	3.6	2.2	0.4	1.7	1.7	6.5	4.9	3.3	1.78
Ore equivalenti	[Ore/anno]	774	186	33	22	66	249	462	170	175	88	63	409	2'696



PARK - Analisi della curva di potenza

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150 WTG: LE01 - VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O!, Altezza mozzo: 150.0 m
Nome: Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022
Fonte: Manufacturer

Data fonte	Creata da	Creato	Modificato	Soglia di blocco [m/s]	Controllo della potenza	Tipo di curva Ct	Tipo di generatore	Potenza specifica kW/m ²
2022-07-08	EMD	2022-02-25	2022-10-06	25.0	Pitch	Definito dall'utente	Variable	0.31

Based Vestas Document no.: 0127-1584 V01.

Confronto con curva HP - Nota: per densità dell'aria standard

V media	[m/s]	5	6	7	8	9	10
Valore HP Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	11'840	18'085	24'147	29'566	34'148	37'822
VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! Level 0 & OS - Calculated - PO7200 - 07-2022	[MWh]	11'639	17'897	23'956	29'281	33'613	36'862
Valore di controllo	[%]	2	1	1	1	2	3

La tabella mostra il confronto con la produzione annuale di energia calcolata sulla base delle semplici "curve HP", che assumono che tutte le WTG abbiano prestazioni simili - solo la potenza specifica (kW/m²), la velocità singola/duale o stallo/pitch influenzano i valori calcolati. La produzione è intesa senza le perdite di scia.

Per ulteriori dettagli, consultare la relazione di progetto n. 51171/00-0016 dell'Agenzia Danese per l'Energia, o il manuale di windPRO.

Il metodo è descritto nel rapporto EMD "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", gennaio 2003.

Usare la tabella per valutare se la curva di potenza data è ragionevole - se il valore di controllo è inferiore a -5%, la curva di potenza è probabilmente troppo ottimistica a causa dell'incertezza sulla sua misurazione.

Curva di potenza

Dati originali dal Catalogo WTG, Densità dell'aria: 1.225 kg/m³

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Cp	Velocità del vento [m/s]	Curva Ct
3.0	32.0	0.08	3.0	0.97
3.5	129.0	0.21	3.5	0.89
4.0	288.0	0.32	4.0	0.83
4.5	481.0	0.37	4.5	0.82
5.0	715.0	0.40	5.0	0.81
5.5	999.0	0.42	5.5	0.82
6.0	1340.0	0.44	6.0	0.81
6.5	1739.0	0.44	6.5	0.81
7.0	2203.0	0.45	7.0	0.81
7.5	2729.0	0.45	7.5	0.80
8.0	3324.0	0.46	8.0	0.79
8.5	3986.0	0.46	8.5	0.78
9.0	4685.0	0.45	9.0	0.75
9.5	5314.0	0.44	9.5	0.69
10.0	5904.0	0.41	10.0	0.63
10.5	6441.0	0.39	10.5	0.57
11.0	6854.0	0.36	11.0	0.51
11.5	7078.0	0.33	11.5	0.45
12.0	7160.0	0.29	12.0	0.39
12.5	7195.0	0.26	12.5	0.34
13.0	7200.0	0.23	13.0	0.30
13.5	7200.0	0.21	13.5	0.26
14.0	7200.0	0.18	14.0	0.24
14.5	7200.0	0.17	14.5	0.21
15.0	7200.0	0.15	15.0	0.19
15.5	7200.0	0.14	15.5	0.17
16.0	7200.0	0.12	16.0	0.16
16.5	7200.0	0.11	16.5	0.14
17.0	7200.0	0.10	17.0	0.13
17.5	7194.0	0.09	17.5	0.12
18.0	7124.0	0.09	18.0	0.11
18.5	6959.0	0.08	18.5	0.10
19.0	6789.0	0.07	19.0	0.09
19.5	6630.0	0.06	19.5	0.08
20.0	6472.0	0.06	20.0	0.07
20.5	6262.0	0.05	20.5	0.07
21.0	5946.0	0.05	21.0	0.06
21.5	5538.0	0.04	21.5	0.05
22.0	5069.0	0.03	22.0	0.05
22.5	4597.0	0.03	22.5	0.04
23.0	4121.0	0.02	23.0	0.03
23.5	3636.0	0.02	23.5	0.03
24.0	3169.0	0.02	24.0	0.02
24.5	2718.0	0.01	24.5	0.02
25.0	2328.0	0.01	25.0	0.02

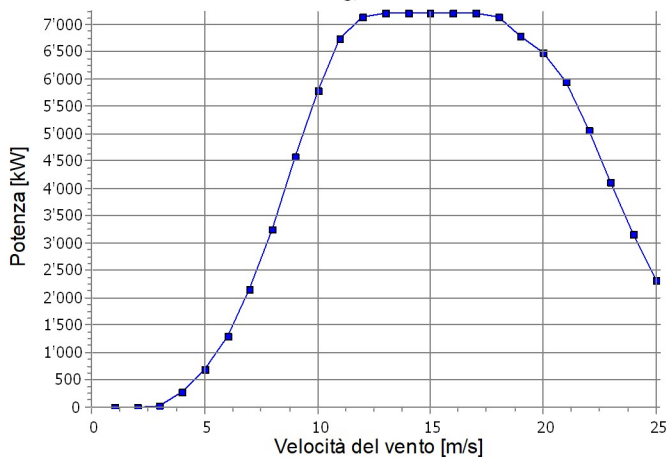
Potenza ed efficienza vs. velocità del vento

Dati usati nel calcolo, Densità media dell'aria: 1.197 kg/m³

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Cp
1.0	0.0	0.00
2.0	0.0	0.00
3.0	27.4	0.07
4.0	278.0	0.31
5.0	696.7	0.40
6.0	1'307.9	0.44
7.0	2'152.1	0.45
8.0	3'248.7	0.46
9.0	4'577.2	0.45
10.0	5'786.8	0.42
11.0	6'746.2	0.36
12.0	7'133.1	0.30
13.0	7'198.2	0.24
14.0	7'200.0	0.19
15.0	7'200.0	0.15
16.0	7'200.0	0.13
17.0	7'200.0	0.11
18.0	7'124.0	0.09
19.0	6'789.0	0.07
20.0	6'472.0	0.06
21.0	5'946.0	0.05
22.0	5'069.0	0.03
23.0	4'121.0	0.02
24.0	3'169.0	0.02
25.0	2'328.0	0.01

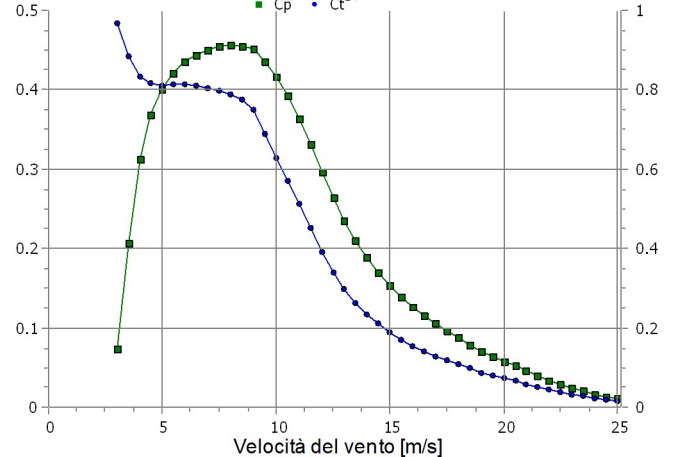
Curva di potenza

Per una densità dell'aria: 1.197 kg/m³ e dati climatici di riferimento



Curve Cp e Ct

Per una densità dell'aria: 1.197 kg/m³ e dati climatici di riferimento



PARK - Analisi dei Dati di vento

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150 Dati di vento: LE03 - VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (3); Altezza mozzo: 150.0

Coordinate del sito

UTM (north)-WGS84 Zone: 33

Est: 750'294 Nord: 4'465'855

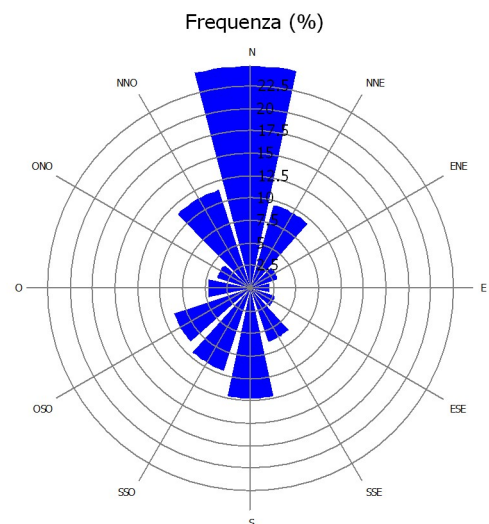
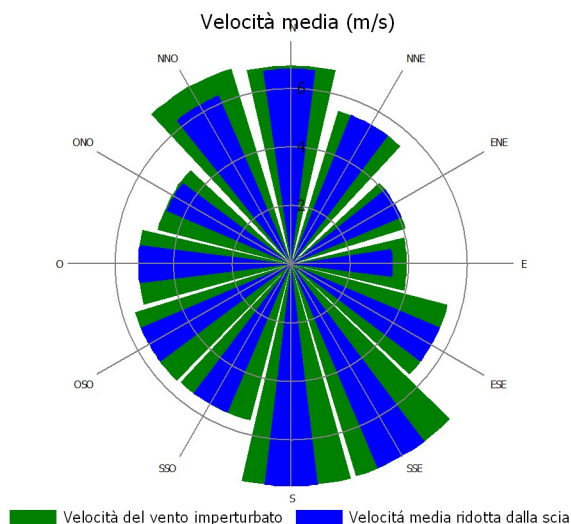
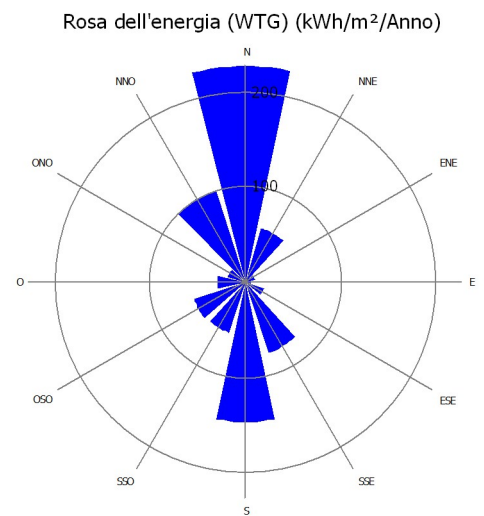
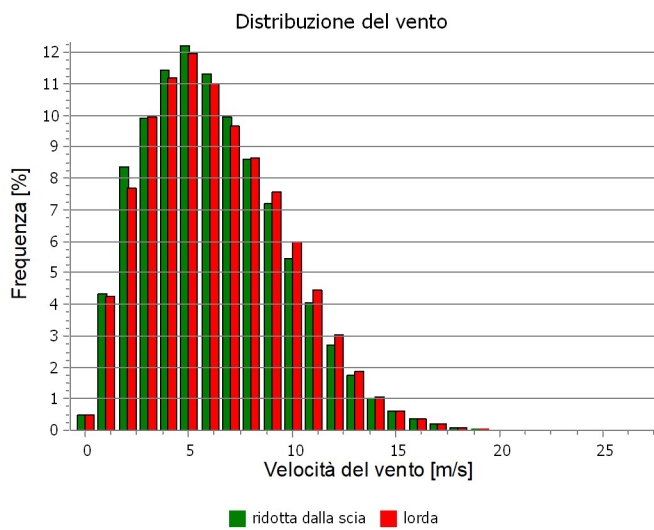
LE03 - VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO! hub: 150.0 m (TOT: 236.0 m) (3)

Masts usati

Take nearest

Dati di vento per il sito

Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]	
0 N	6.8	6.8	6.7	24.8
1 NNE	5.5	5.5	5.5	9.6
2 ENE	4.1	4.1	4.1	3.2
3 E	4.0	4.0	3.5	2.1
4 ESE	5.6	5.6	5.5	2.9
5 SSE	7.6	7.6	7.6	6.3
6 S	7.6	7.6	7.6	12.3
7 SSO	5.6	5.6	5.6	9.6
8 OSO	5.6	5.6	5.6	8.9
9 O	5.2	5.2	5.2	4.7
10 ONO	4.7	4.7	4.6	3.9
11 NNO	7.0	7.0	6.3	11.6
Tutti	6.3	6.3	6.2	100.0

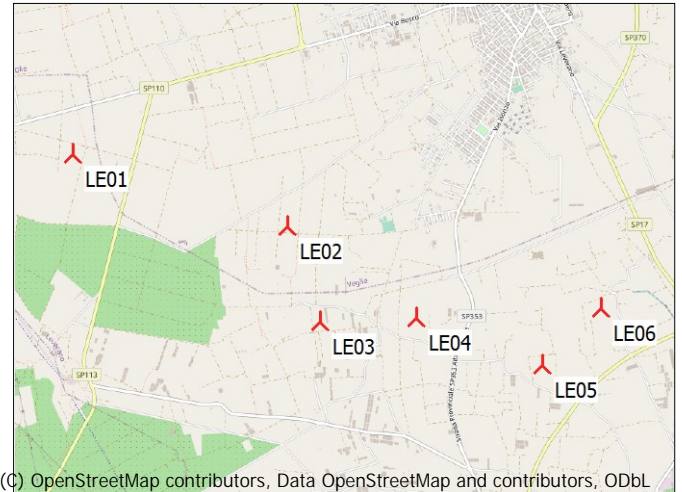


PARK - Distanze tra le WTG

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150

Distanze tra le WTG

Z	WTG più vicina	Z	Distanza orizzontale	Distanza in Diametri Rotore	
[m]		[m]	[m]		
LE01	48.4	LE02	48.6	2'263	13.2
LE02	48.6	LE03	46.0	984	5.7
LE03	46.0	LE04	40.0	966	5.6
LE04	40.0	LE03	46.0	966	5.6
LE05	40.0	LE06	40.0	808	4.7
LE06	40.0	LE05	40.0	808	4.7
Min	40.0		40.0	808	4.7
Max	48.6		48.6	2'263	13.2



Scala 1:75'000

▲ Nuova WTG

PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150

Parco eolico: 43.2 MW, 6 turbine di tipo VESTAS V172-7.2 7200 172.0 IO!

Selezione: Tutte le WTG nuove

Produzione media calcolata, per mese e per ora [MWh]. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

I valori sono stati scalati ad un anno completo, v. fattori di correzione nella pagina Risultato Principale.

Mese / Ora [MWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Totale
0	524	513	533	452	387	321	357	345	325	370	474	531	5'131
1	531	523	529	448	374	324	358	337	321	372	469	544	5'130
2	552	528	526	444	375	333	359	342	326	380	465	537	5'168
3	562	530	532	446	377	343	360	359	341	383	480	544	5'258
4	559	529	530	434	388	356	371	372	338	387	481	548	5'293
5	561	525	536	449	396	370	399	398	343	396	483	550	5'406
6	552	508	531	445	374	348	382	408	353	400	482	541	5'324
7	552	513	525	374	254	239	261	299	321	391	476	535	4'739
8	549	502	427	297	253	249	262	238	236	327	462	524	4'328
9	487	412	374	311	262	253	265	233	241	276	390	479	3'983
10	400	393	375	336	281	259	274	234	242	281	368	423	3'866
11	402	410	392	364	311	286	299	247	260	289	396	426	4'082
12	418	419	431	395	338	320	341	282	282	300	401	434	4'362
13	422	431	452	415	355	342	358	302	305	310	398	434	4'523
14	443	450	464	422	368	348	373	319	312	322	413	436	4'669
15	443	450	469	428	378	359	395	341	306	320	421	444	4'754
16	465	455	471	409	375	356	387	343	303	325	429	464	4'782
17	504	475	477	401	364	343	377	328	295	342	464	495	4'865
18	526	502	497	402	358	321	354	310	304	373	481	509	4'937
19	513	519	546	436	368	322	349	322	317	387	485	525	5'088
20	513	521	556	453	406	348	382	346	322	391	477	525	5'240
21	517	520	552	459	399	342	388	350	321	389	477	519	5'234
22	521	516	546	454	393	330	387	351	317	390	460	524	5'190
23	525	511	528	445	384	325	373	346	323	385	462	522	5'129
Totale	12'040	11'656	11'803	9'919	8'519	7'735	8'412	7'750	7'353	8'487	10'796	12'009	116'478

Mese / Ora [MW]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Totale
0	16.9	18.3	17.2	15.1	12.5	10.7	11.5	11.1	10.8	11.9	15.8	17.1	14.1
1	17.1	18.7	17.1	14.9	12.1	10.8	11.6	10.9	10.7	12.0	15.6	17.5	14.1
2	17.8	18.9	17.0	14.8	12.1	11.1	11.6	11.0	10.9	12.3	15.5	17.3	14.2
3	18.1	18.9	17.2	14.9	12.2	11.4	11.6	11.6	11.4	12.4	16.0	17.5	14.4
4	18.0	18.9	17.1	14.5	12.5	11.9	12.0	12.0	11.3	12.5	16.0	17.7	14.5
5	18.1	18.7	17.3	15.0	12.8	12.3	12.9	12.8	11.4	12.8	16.1	17.7	14.8
6	17.8	18.1	17.1	14.8	12.1	11.6	12.3	13.2	11.8	12.9	16.1	17.5	14.6
7	17.8	18.3	16.9	12.5	8.2	8.0	8.4	9.6	10.7	12.6	15.9	17.2	13.0
8	17.7	17.9	13.8	9.9	8.2	8.3	8.5	7.7	7.9	10.6	15.4	16.9	11.9
9	15.7	14.7	12.1	10.4	8.4	8.4	8.6	7.5	8.0	8.9	13.0	15.4	10.9
10	12.9	14.0	12.1	11.2	9.1	8.6	8.8	7.5	8.1	9.1	12.3	13.6	10.6
11	13.0	14.6	12.6	12.1	10.0	9.5	9.7	8.0	8.7	9.3	13.2	13.7	11.2
12	13.5	15.0	13.9	13.2	10.9	10.7	11.0	9.1	9.4	9.7	13.4	14.0	11.9
13	13.6	15.4	14.6	13.8	11.4	11.4	11.5	9.7	10.2	10.0	13.3	14.0	12.4
14	14.3	16.1	15.0	14.1	11.9	11.6	12.0	10.3	10.4	10.4	13.8	14.1	12.8
15	14.3	16.1	15.1	14.3	12.2	12.0	12.7	11.0	10.2	10.3	14.0	14.3	13.0
16	15.0	16.3	15.2	13.6	12.1	11.9	12.5	11.1	10.1	10.5	14.3	15.0	13.1
17	16.3	17.0	15.4	13.4	11.7	11.4	12.2	10.6	9.8	11.0	15.5	16.0	13.3
18	17.0	17.9	16.0	13.4	11.6	10.7	11.4	10.0	10.1	12.0	16.0	16.4	13.5
19	16.5	18.5	17.6	14.5	11.9	10.7	11.3	10.4	10.6	12.5	16.2	16.9	13.9
20	16.5	18.6	17.9	15.1	13.1	11.6	12.3	11.2	10.7	12.6	15.9	16.9	14.4
21	16.7	18.6	17.8	15.3	12.9	11.4	12.5	11.3	10.7	12.5	15.9	16.7	14.3
22	16.8	18.4	17.6	15.1	12.7	11.0	12.5	11.3	10.6	12.6	15.3	16.9	14.2
23	16.9	18.3	17.0	14.8	12.4	10.8	12.0	11.2	10.8	12.4	15.4	16.8	14.1
Totale	16.2	17.3	15.9	13.8	11.4	10.7	11.3	10.4	10.2	11.4	15.0	16.1	13.3

PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

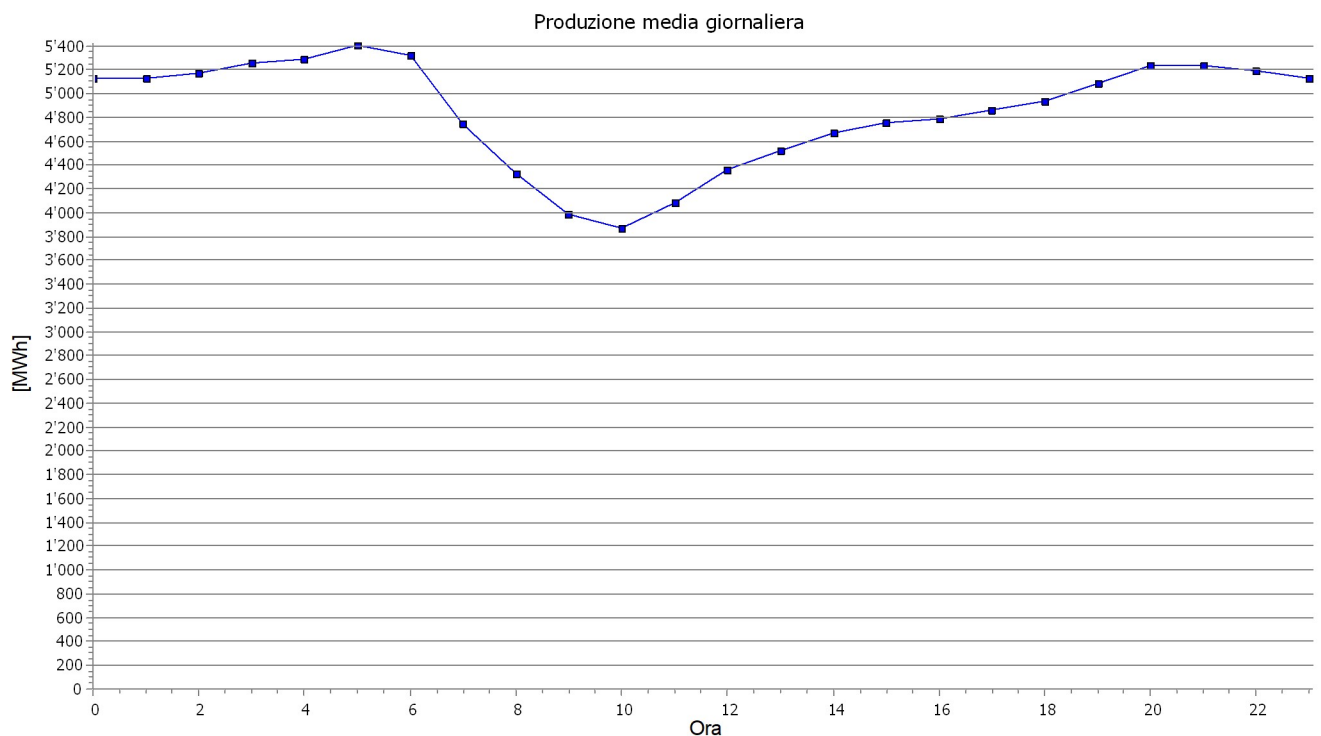
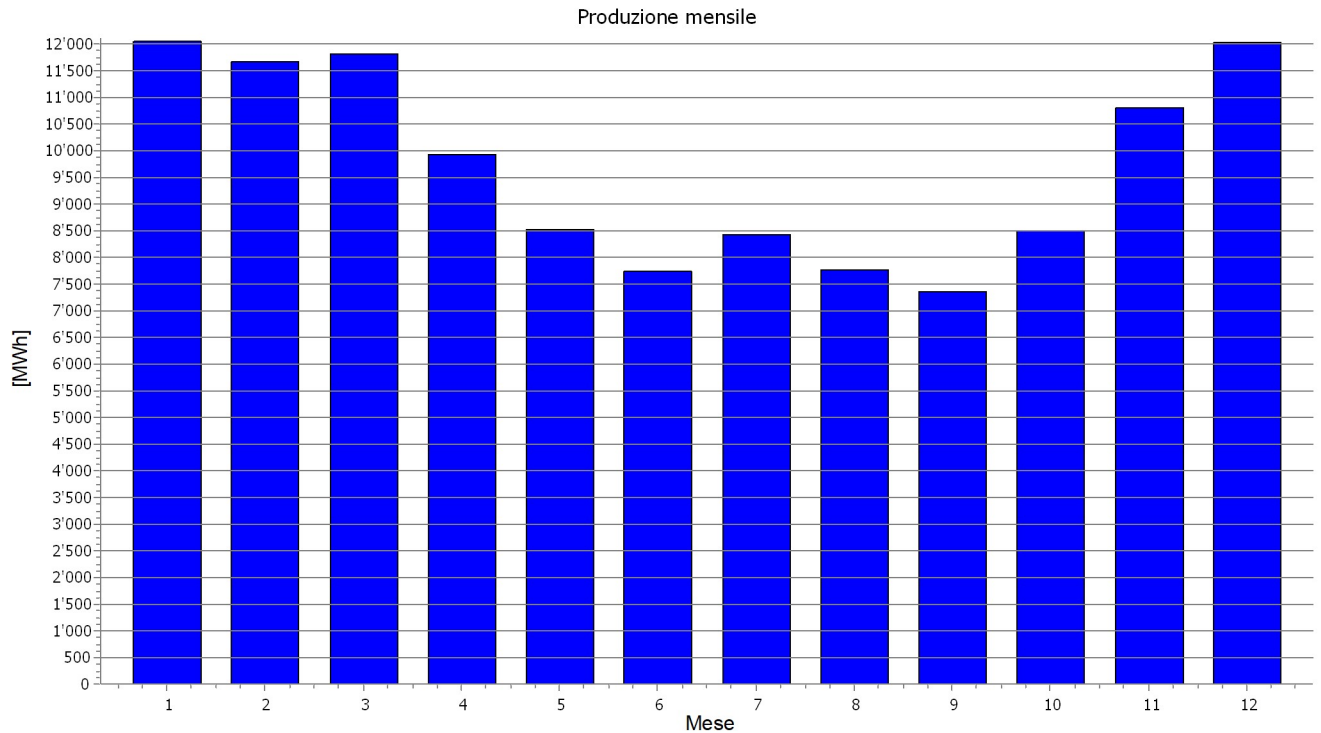
Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150

Parco eolico: 43.2 MW, 6 turbine di tipo VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O!.

Selezione: Tutte le WTG nuove

Produzione media calcolata, per mese e per ora [MWh]. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

I valori sono stati scalati ad un anno completo, v. fattori di correzione nella pagina Risultato Principale.



PARK - Produzione annuale in funzione del tempo

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150

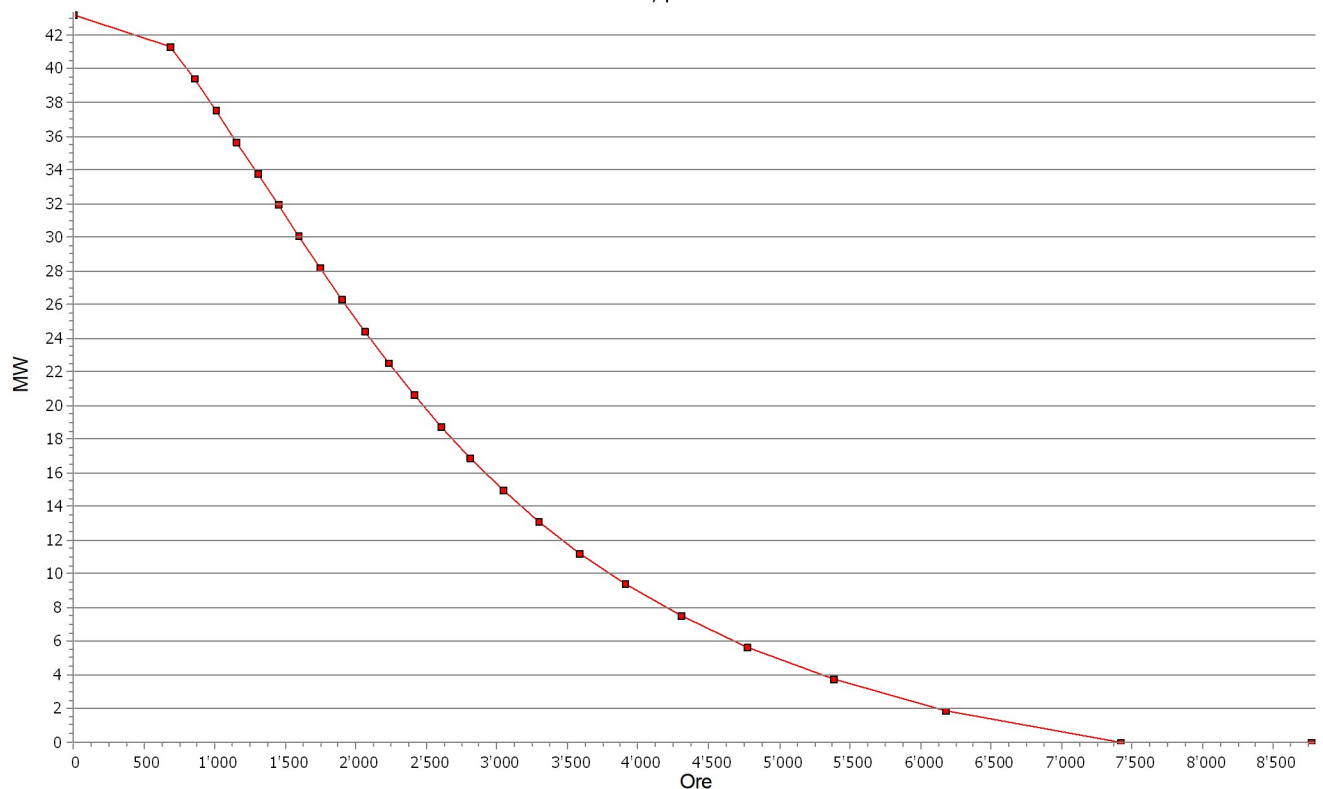
Parco eolico: 43.2 MW, 6 turbine di tipo VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O!.

Selezione: Tutte le WTG nuove

Produzione media calcolata, per mese e per ora [MWh]. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

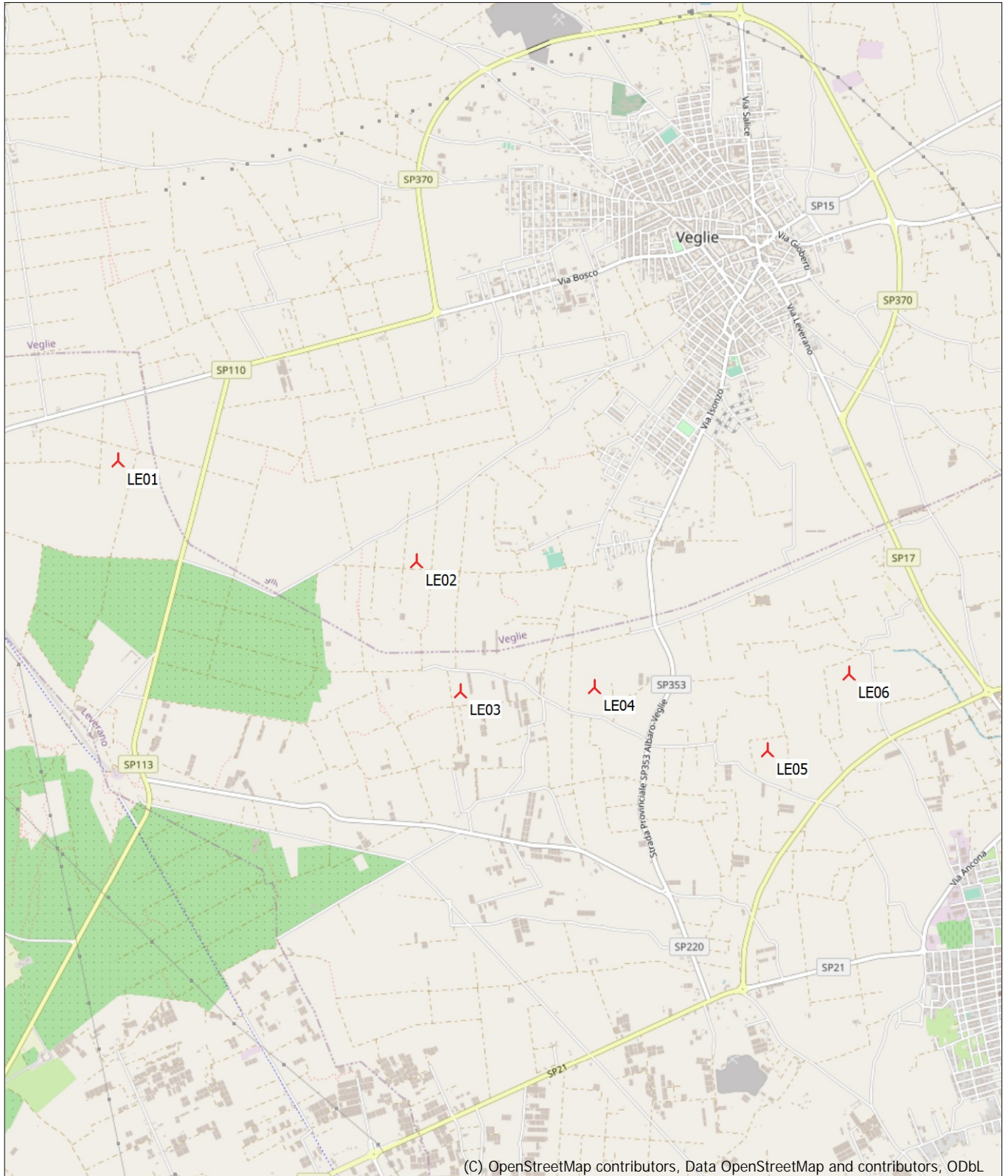
Ore	Ore [%]	Ore cumulate	Potenza [MW]	Potenza (MW/WTG)
0	0.0	0	43.2	7.2
685	7.8	685	41.3 - 43.2	6.9 - 7.2
174	2.0	859	39.4 - 41.3	6.6 - 6.9
152	1.7	1011	37.6 - 39.4	6.3 - 6.6
145	1.7	1156	35.7 - 37.6	5.9 - 6.3
146	1.7	1301	33.8 - 35.7	5.6 - 5.9
144	1.6	1445	31.9 - 33.8	5.3 - 5.6
150	1.7	1595	30.1 - 31.9	5.0 - 5.3
153	1.7	1748	28.2 - 30.1	4.7 - 5.0
151	1.7	1899	26.3 - 28.2	4.4 - 4.7
163	1.9	2062	24.4 - 26.3	4.1 - 4.4
168	1.9	2231	22.5 - 24.4	3.8 - 4.1
184	2.1	2415	20.7 - 22.5	3.4 - 3.8
188	2.1	2603	18.8 - 20.7	3.1 - 3.4
208	2.4	2811	16.9 - 18.8	2.8 - 3.1
230	2.6	3040	15.0 - 16.9	2.5 - 2.8
249	2.8	3290	13.1 - 15.0	2.2 - 2.5
289	3.3	3578	11.3 - 13.1	1.9 - 2.2
328	3.7	3907	9.4 - 11.3	1.6 - 1.9
393	4.5	4300	7.5 - 9.4	1.3 - 1.6
473	5.4	4773	5.6 - 7.5	0.9 - 1.3
612	7.0	5385	3.8 - 5.6	0.6 - 0.9
787	9.0	6172	1.9 - 3.8	0.3 - 0.6
1241	14.2	7413	0.0 - 1.9	0.0 - 0.3
1353	15.4	8766	0.0	0.0

Curva di durata, parco da 43.2 MW



PARK - Mappa

Calcolo: Leverano 6 x V172 7.2MW Hub150



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

0 500 1000 1500 2000 m

Mappa: EMD OpenStreetMap , Scala di stampa 1:40'000, Centro mappa UTM (north)-WGS84 Zone: 33 Est: 750'432 Nord: 4'466'465

🚧 Nuova WTG