



think energy

WPD TRIOLO S.r.l.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI SAN SEVERO (FG)

PROGETTO DEFINITIVO

prima emissione: febbraio 2020

REV.	DATA	DESCRIZIONE:

PROGETTAZIONE



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



via Beatrice Acquaviva D'Aragona n.5 - CAVALLINO (LE)
ing. Daniele CALO'

ARCHITETTURA E PAESAGGIO



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



GEOLOGIA

geol. Giuseppe CALO'

ACUSTICA

ing. Sabrina SCARAMUZZI

ARCHEOLOGIA

Nostòi S.r.l.

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr. agr. Pierangelo RUSSO

ASPETTI NATURALISTICI, FAUNISTICI E PEDOLOGIA

dott. Rocco LABADESSA

COMUNICAZIONE

Flame Soc. Coop. a.r.l.



Nostoi S.R.L.
Via San Marco, 1511
30015 CHIOGGIA (VE)
C.F.P. e Iscra. n. 03 653 560 276
REA VE 327005



SIA.ES. STUDI SPECIALISTICI
ES.1 ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO



Sommario

Premessa	2
1. Introduzione	2
2. Descrizione del Sito	3
3. Modellizzazione e Stima del Vento	6
4. Analisi dei dati metereologici comparativi: Atlante eolico.....	10
5. Risultati dei modelli matematici per le rappresentazioni dei flussi di vento	11
6. Stima della produzione energetica del parco eolico	12
7. Conclusioni	14

Premessa

La società wpd Triolo srl ha predisposto uno studio sulle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità di un impianto eolico situato a San Severo (FG) ai fini del procedimento autorizzativo.

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

Tale valutazione viene eseguita tenendo in conto che si tratta di un'area piuttosto semplice e pianeggiante, senza differenze orografiche degne di nota e che non necessita di analisi complesse infatti, in via preliminare, può essere indagata utilizzando i dati registrati da un anemometro non necessariamente installato all'interno dell'area di impianto.

Si è quindi partiti dai dati registrati da un anemometro di proprietà del Gruppo Industriale di cui fa parte wpd Triolo, installato nel limitrofo comune di San Paolo di Civitate (FG), i quali sono stati rapportati con le misure fornite dall'Atlante Eolico.

1. Introduzione

Lo studio ha lo scopo di creare una serie temporale di dati rappresentativi del sito. Per aumentare la veridicità dello studio i dati vengono poi sovrapposti alle informazioni disponibili sull'atlante eolico che forniscono un quadro d'insieme sulle aree di interesse.

L'obiettivo finale è di verificare la producibilità del sito con le turbine indicate dalla società. Sono a questo scopo generati, dai dati del vento misurati e processati, 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 dell'ottimo dal punto di vista di sfruttamento della risorsa eolica.

La struttura della documentazione si divide in quattro sezioni principali. La prima (cap2) descrive la zona oggetto dello studio attraverso le proprie specificità: l'orografia, la rugosità e la disposizione degli aerogeneratori sul territorio. La

seconda (cap3) descrive i modelli utilizzati per la previsione della ventosità dell'area e la descrizione del modello e della metodologia. Nella terza sezione (cap 4,5,6) si vede come i dati così ottenuti si trasformano in curve di Weibull, dalle quali si ricavano i parametri necessari ai modelli di calcolo. La previsione si effettua con software specifico del quale viene illustrata brevemente le metodologie di calcolo e le caratteristiche peculiari. L'ultima parte (cap 7) 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 nel comune di San Severo (FG), come riportato in Figura 1.

L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una complessità orografica bassa. Topograficamente ha una altezza compresa tra 40 e 70 metri, un'area pianeggiante. Si è considerata una temperatura media di 16,4 °C, derivante dalle rilevazioni presso le stazioni meteo vicine al sito, la densità media dell'aria nel sito all'altezza del mozzo è: $\rho=1,190 \text{ Kg/m}^3$.

Attualmente, l'area è completamente agricola con la presenza di sporadiche case. La copertura vegetazionale è bassa, e l'area in studio si caratterizza per una rugosità medio-bassa.

Gli aerogeneratori sono localizzati in modo omogeneo, cercando di sfruttare al massimo il vento che ha una direzione prevalente Nord-Nord Ovest e Sud- Sud Est. Il posizionamento è stato deciso in base a diversi fattori l'esposizione sul lato Nord-Nord Ovest e Sud- Sud Est la direzione principale da cui arriva il vento, il rispetto di tutti i vincoli presenti, quali a distanza dalle case, colture pregiate in atto, la presenza di canali e del vincolo idrogeologico, ecc.

Nella Figura 1 è mostrato il layout proposto. L'area di progetto proprio per l'ottimizzazione della produttività è assai vasta, in modo anche da rispettare tutti i vincoli e le prescrizioni della regione presenti nel PPTR. Non è quindi necessaria

un'indagine metereologica puntuale e sito-specifica, ma è sufficiente l'analisi dei dati registrati da un anemometro sito nelle vicinanze dell'area di progetto, per avere una chiara e dettagliata informazione della produttività del parco e della sua configurazione ideale.

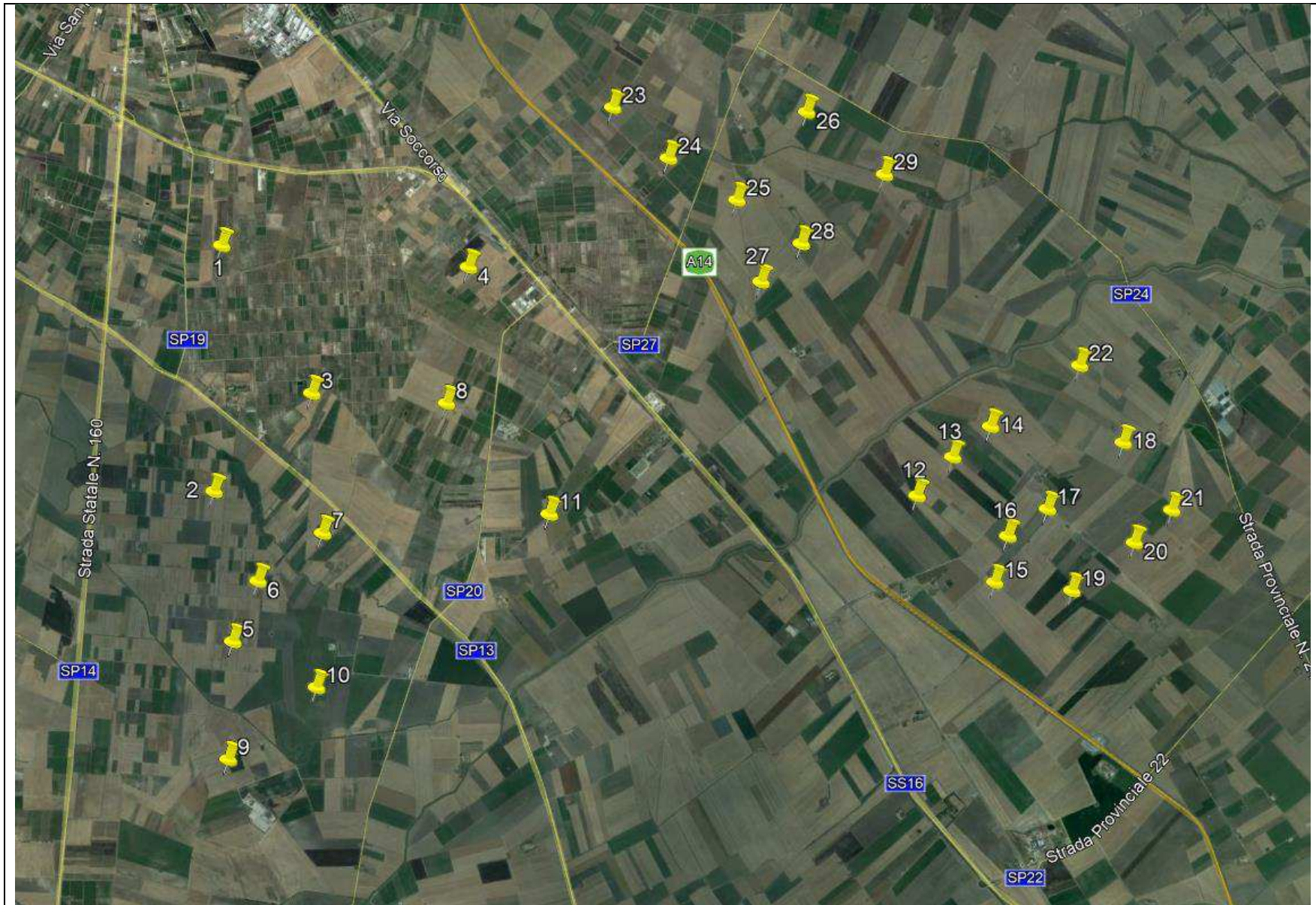


Figura 1: Inquadramento su ortofoto del parco eolico

3. Modellizzazione e Stima del Vento

Strumenti utilizzati

I dati rilevati dalla strumentazione necessaria all'individuazione delle potenzialità anemologiche di un sito, possono ritenersi rappresentativi di tutta l'area interessata alla realizzazione dell'impianto, se tale strumentazione è a considerevole distanza da ostacoli o irregolarità territoriali che modificano il flusso indisturbato della vena fluida.

Relativamente al parco eolico in oggetto è stata condotta una campagna anemologica attraverso una torre anemometrica posizionata in area limitrofa al sito nel Comune di San Paolo di Civitate (FG) a Nord/Nord-Ovest rispetto all'area del layout. La ventosità rilevata nel punto di installazione della stazione di misura risulta, quindi, essere perfettamente rappresentativa dell'area di interesse, data la perfetta analogia in termini di orografia, rugosità ed esposizione ai venti predominanti.

Le coordinate metriche UTM WGS84 Fuso 33, la quota e il periodo di rilevazione della postazione anemometrica sono:

Station name	PERIOD of site data	height	Time step	Position (UTM WGS84), zone 33	
				X	Y
San Paolo	03.07.2009–31.07.2012	Anemometers: 80 / 78 / 60 / 40 / 20 m Wind vanes: 78 / 58 m	10 minutes	0523906	4628104

La stazione è costituita da un sostegno tubolare di altezza 80m, ancorato al suolo mediante stralli ed è dotata di sensori per la misura delle velocità del vento posizionati su mensole poste a 80m, 78m, 60m, 40m e 20m dal suolo e di sensori per la misura della direzione a 78m e 58m.

La torre è inoltre corredata di un sensore di temperatura.

I sensori di velocità e direzione sono calibrati e rispettivamente di tipo NRG #40C e NRG #200P. Il certificato di calibrazione è accluso alla documentazione che certifica l'installazione della stazione. Il sensore di temperatura è invece del tipo NRG 110S. Il sistema di acquisizione dati utilizzato, alloggiato alla base torre, è costituito da data - logger NRG SYMPHONIE: esso campiona i valori di velocità e direzione ogni 2 secondi e registra su memoria statica i valori medi di velocità e direzione ogni 10 minuti. Per tale intervallo registra anche il valore massimo ed il valore minimo di velocità e la deviazione standard di velocità e direzione.

Correlazione a lungo termine

La società WPD ha provveduto a correggere sul lungo termine i dati. Il risultato finale è riportato nelle seguenti Figura 2, Figura 3, Figura 4. La Figura 2 mostra quale è la direzione principale del vento e quale la sua intensità.

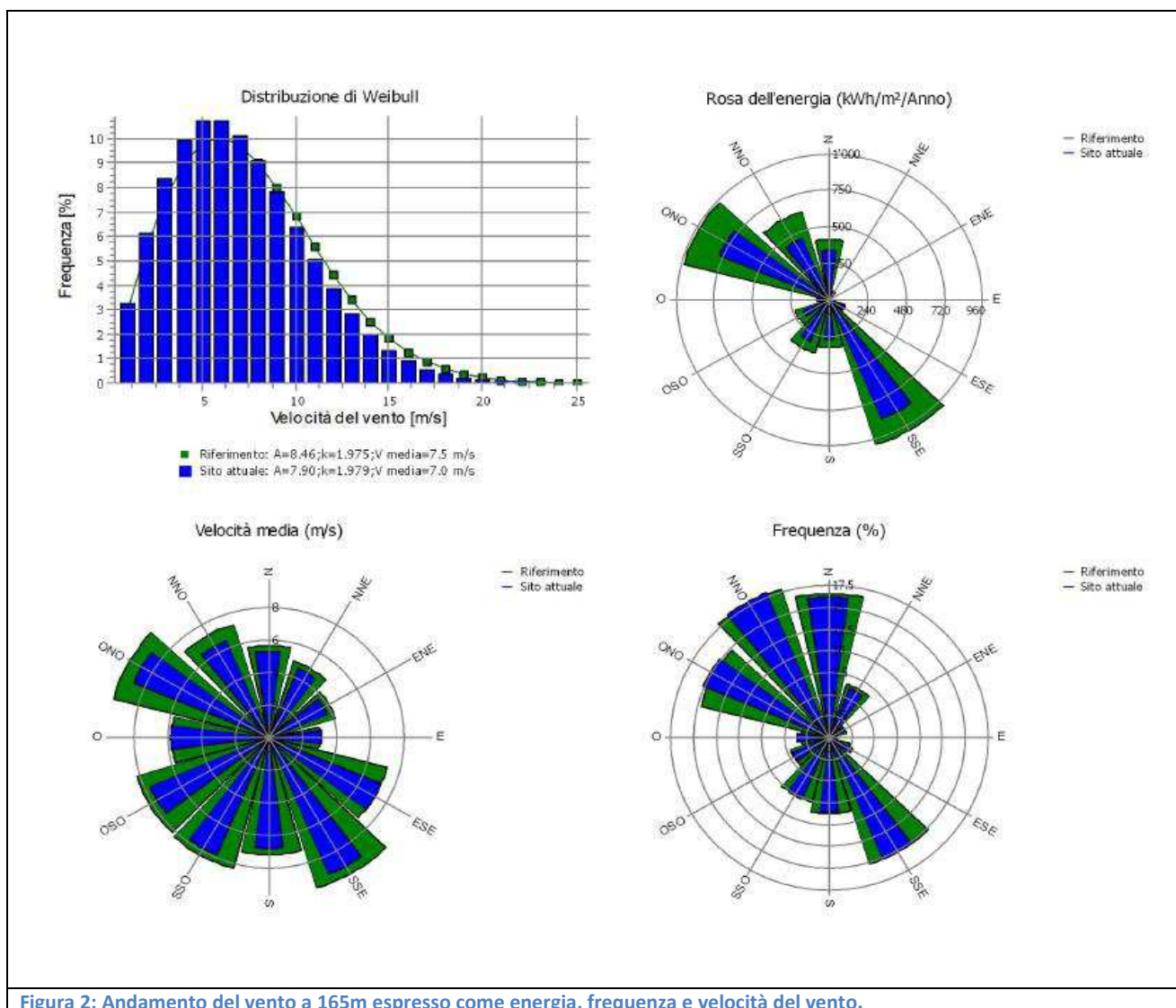


Figura 2: Andamento del vento a 165m espresso come energia, frequenza e velocità del vento.

Le medie del vento sui diversi sensori sono:

Height	Data recovery	V mean	V max	V min
165m	97.7%	7.54 m/s	30.6 m/s	0.0 m/s

In Figura 3 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.

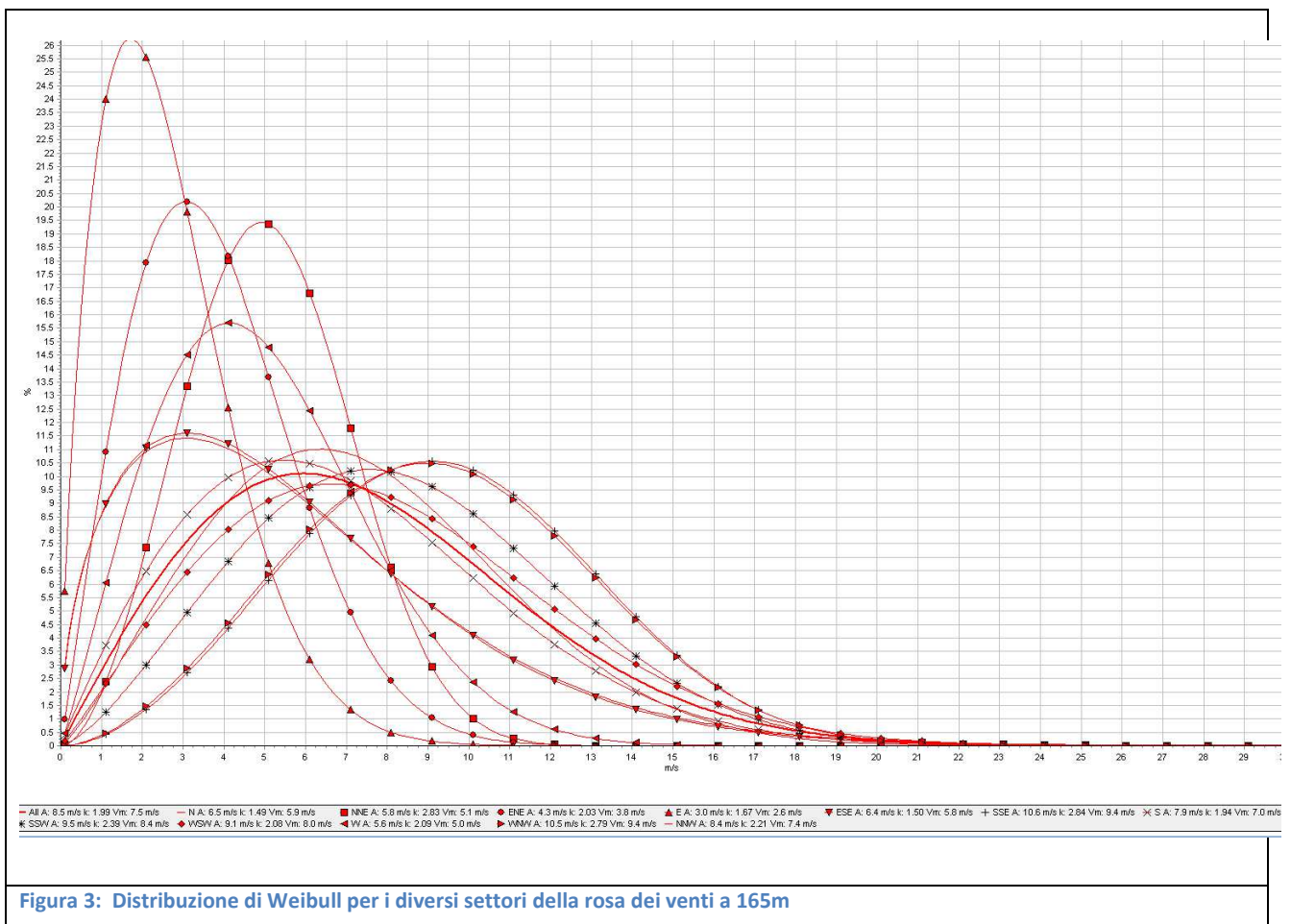


Figura 3: Distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti a 165m

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

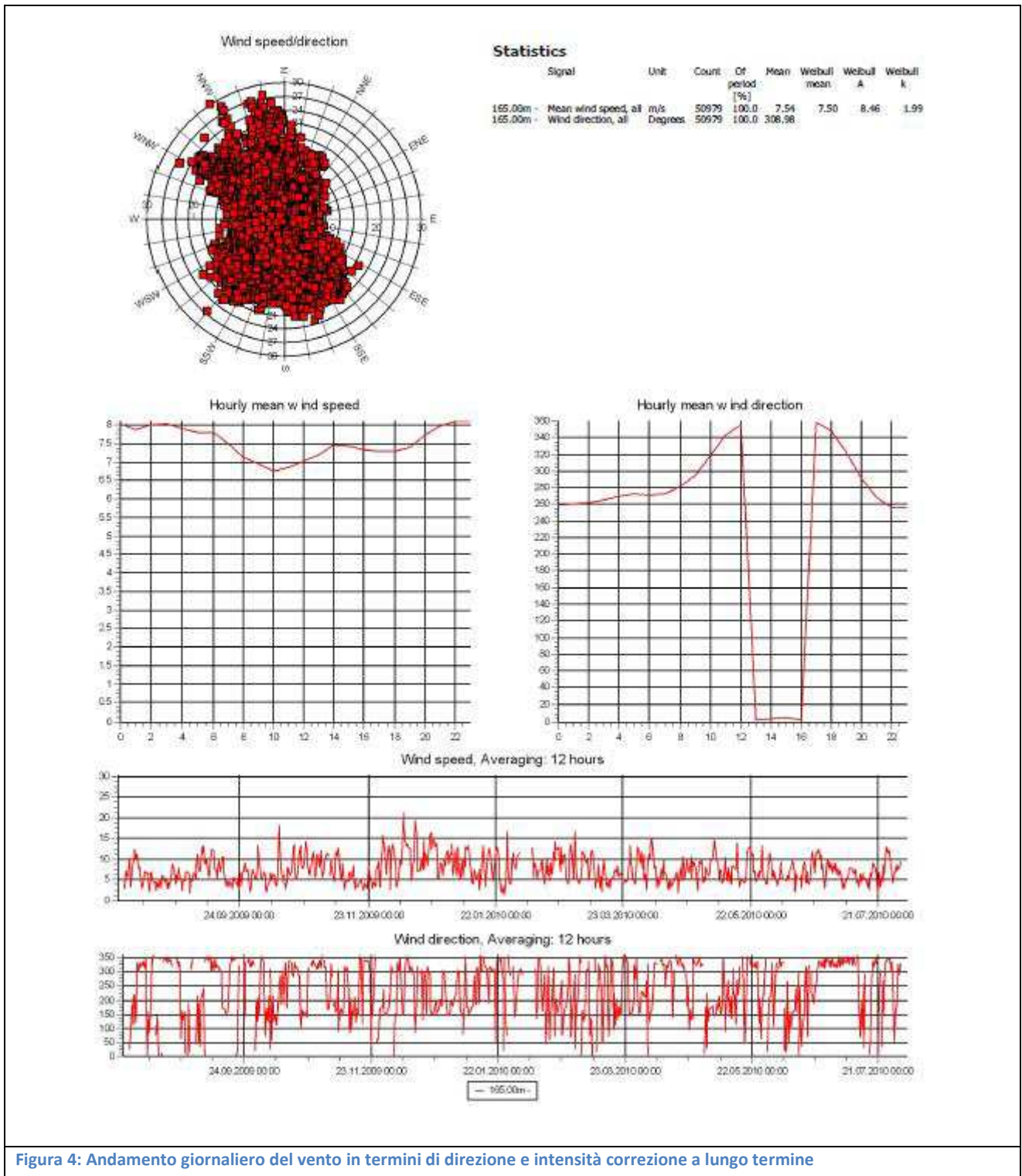
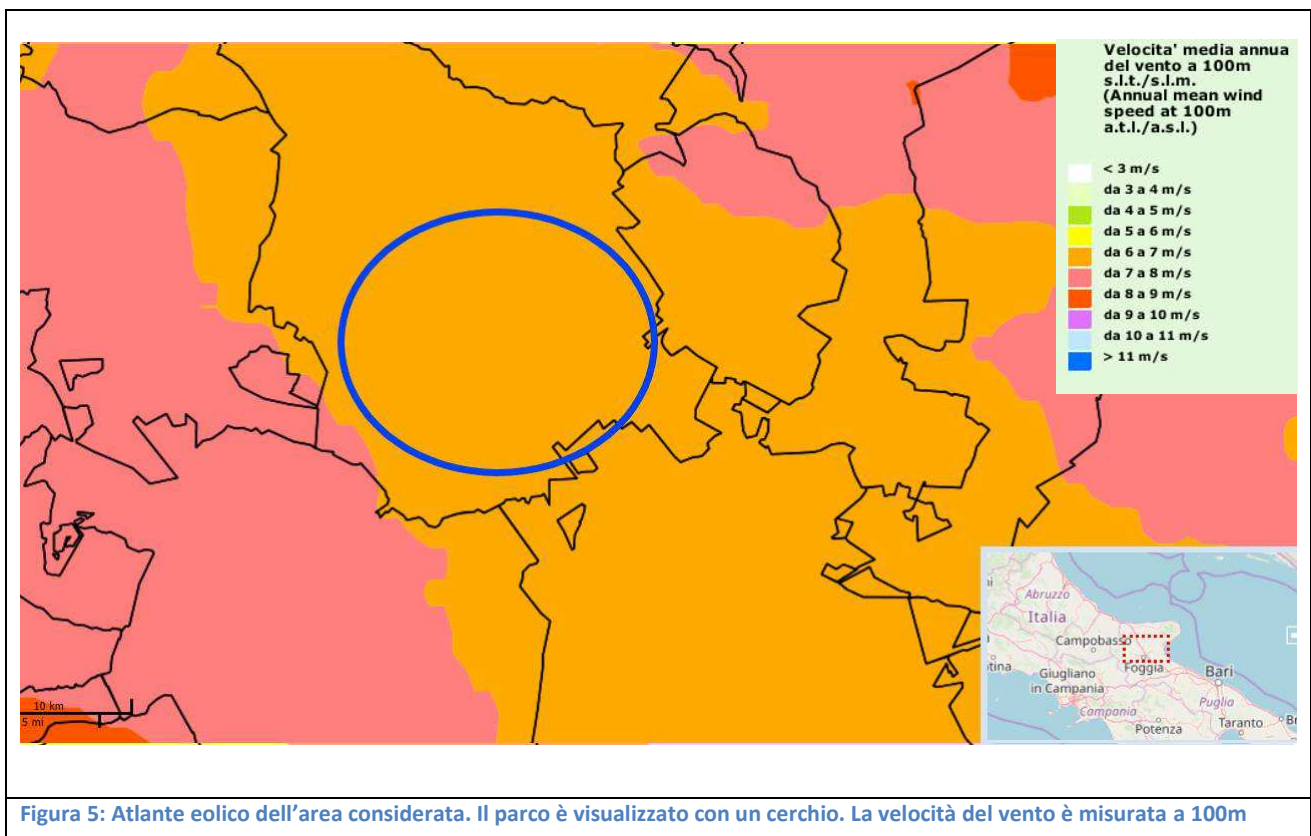


Figura 4: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità correzione a lungo termine

4. Analisi dei dati meteorologici comparativi: Atlante eolico

In una accurata analisi meteorologica è necessario correlare i dati puntuali misurati in campo con dati spaziali simulati dai modelli matematici, tra i più conosciuti ed utilizzati è l'atlante eolico disponibile sul sito (<http://atlanteeolico.rse-web.it/>) ed è curato dal GSE. È stato scelto come rappresentazione delle velocità media quella a livello 100m, ovvero il livello più rappresentativo del vento all'altezza del mozzo del rotore della turbina eolica usata. La turbina scelta in termini della miglior efficienza di macchina è la Siemens Gamesa SG6.0-170 con altezza all'hub pari a 165 m, per cui **165m** sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. In 5 la massima altezza di studio è impostata a un massimo di 100m, si può osservare una certa omogeneità della carta che riporta una ventosità pari tra 6 e 7m/s, in linea con la ventosità stimata dal modello.



5. Risultati dei modelli matematici per le rappresentazioni dei flussi di vento

Per calcolare la variazione della risorsa eolica lungo 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.

A causa del fatto che nel sito si dispone di una misura puntuale del vento, la stima della risorsa eolica disponibile nella zona di studio richiede una modellizzazione spaziale del campo di vento. Questa modellizzazione permette la estrapolazione orizzontale lungo l'area considerata e 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 impatta la valorizzazione energetica del sito influenzando sul gradiente verticale di velocità. La stima della rugosità, 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-bassa stabilendo una rugosità $z_0=0,03$ m (classe 1) per tutto il sito.

Così dunque, 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 motore di calcolo del WASP, riesce a prevedere un campo di ventosità nell'area del parco, partendo dai seguenti dati di input:

- misura effettuata localmente tramite l'anemometro installato
- mappa di curve di livello (5 metri di risoluzione)
- mappa di roughness del sito, creata utilizzando foto satellitari e foto fatte sul sito

I dati meteo misurata in sito, sono stati poi correlati con i dati NCAR, che sono dati di lungo periodo calcolati tramite la re-analisi di dati meteo, e la serie di dati correlata a lungo termine è stata poi utilizzata per il calcolo di produzione.

6. 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: Riduzione %

	Uncertainty in wind	Uncertainty in production
Wind measurement accuracy	5.4%	
Long term scaling	3.0%	
Vertical extrapolation	4.3%	
Horizontal extrapolation	12.0%	
Total uncertainty wind related	14.2%	22.0%
Wake losses		0.3%
Electrical losses		0.9%
Turbine performance		3.3%
other		0.1%
Total uncertainty energy related		3.4%
Future wind frequency distribution		2.0%
Wind speed variability	4.5%	12.6%
availability		3.0%

Overall uncertainty 10 years	22.4%
-------------------------------------	--------------

Incertezza totale: 22.4 %

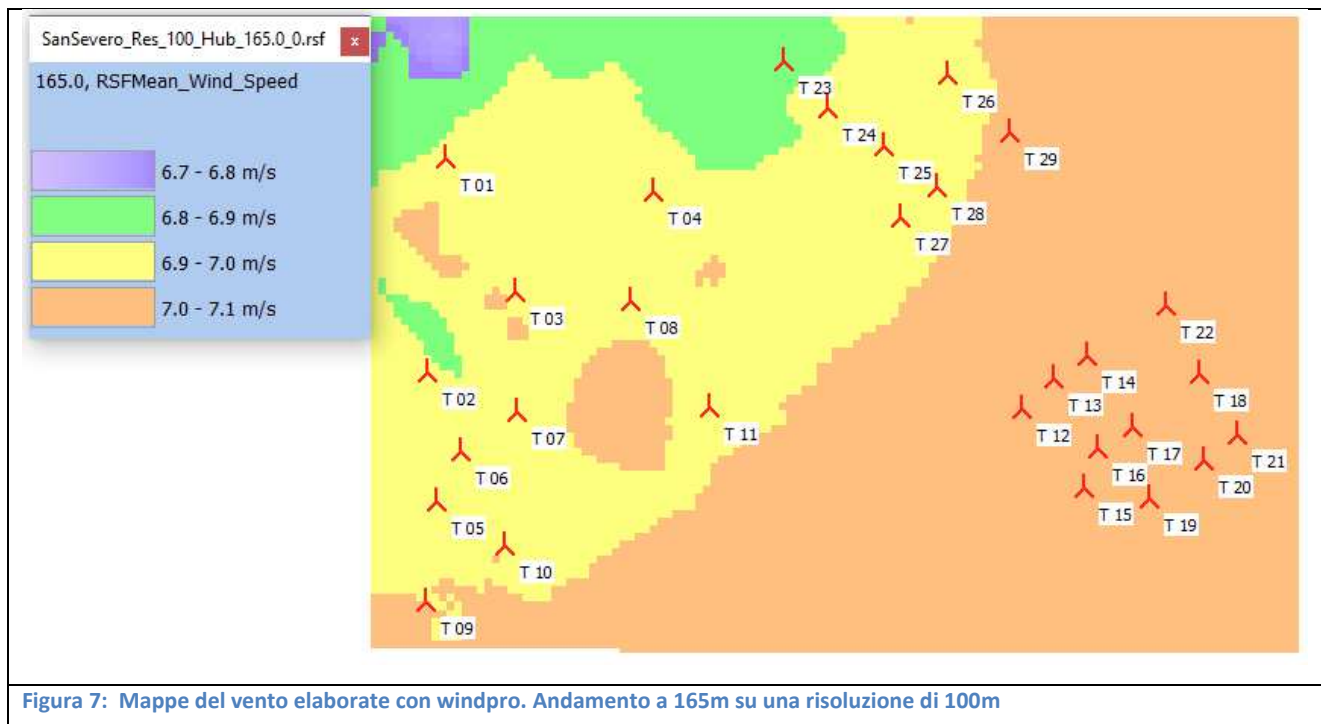
Questi valori sono quelli che si indicano come "coefficienti di perdita" della produzione attesa e che contribuiscono a ridurre il valore di produzione stimato dai modelli matematici.

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

Statistica	Valida	Prod.	Tipo generatore	Potenza nominale	Diametro rotore	Altezza mozzo	Creata da	Nome	Risultato	Wake loss	Free mean wind speed
				[kW]	[m]	[m]			[MWh/anno]	[%]	[m/s]
1 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'407.5	1.6	6.95
2 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'880.7	3.5	6.92
3 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'388.7	2.5	6.99
4 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'282.3	1.8	6.93
5 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'331.8	2.8	6.98
6 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'576.7	5.9	6.96
7 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'830.8	4.5	6.95
8 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'057.8	3.1	6.94
9 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'696.1	1.6	7.00
10 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'787.7	5.4	6.98
11 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'349.8	2.8	6.98
12 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'335.9	4.3	7.05
13 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'646.6	7.4	7.05
14 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'615.6	7.6	7.05
15 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'990.2	6.3	7.07
16 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'189.4	9.9	7.07
17 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'357.1	9.2	7.07
18 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'565.5	8.4	7.08
19 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'723.5	7.7	7.08
20 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'937.8	6.8	7.08
21 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'941.2	6.8	7.08
22 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'948.8	6.2	7.05
23 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'754.0	2.9	6.87
24 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'479.8	5.4	6.92
25 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'327.9	7.0	6.96
26 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'109.0	3.9	6.98
27 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'690.7	5.5	6.97
28 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	20'239.4	7.8	6.97
29 A	Sì	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	21'054.7	4.8	7.01

Figura 6 : stima della produzione per il parco eolico di San Severo.

Di seguito una mappa (Figura 7) 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.



7. Conclusioni

Il parco eolico indagato presenta un livello di risorsa eolica e caratteristiche del terreno adeguate per lo sfruttamento eolico. Il parco eolico si trova localizzato nel comune di San Severo (FG)

Il parco eolico proposto è costituito da 29 aerogeneratori Siemens Gamesa SG6.0-170 con altezza all'hub pari a 165 m e con una potenza nominale di 6,0 MW; la progettazione del parco sul territorio è stata effettuata tenendo conto dei vincoli, degli aspetti morfologici del territorio e rispettando le distanze che permettano di sfruttare al massimo il vento disponibile.

L'area di indagine piuttosto semplice (orografia semplice e rugosità del suolo bassa) e i modelli matematici ben si adattano a queste condizioni.

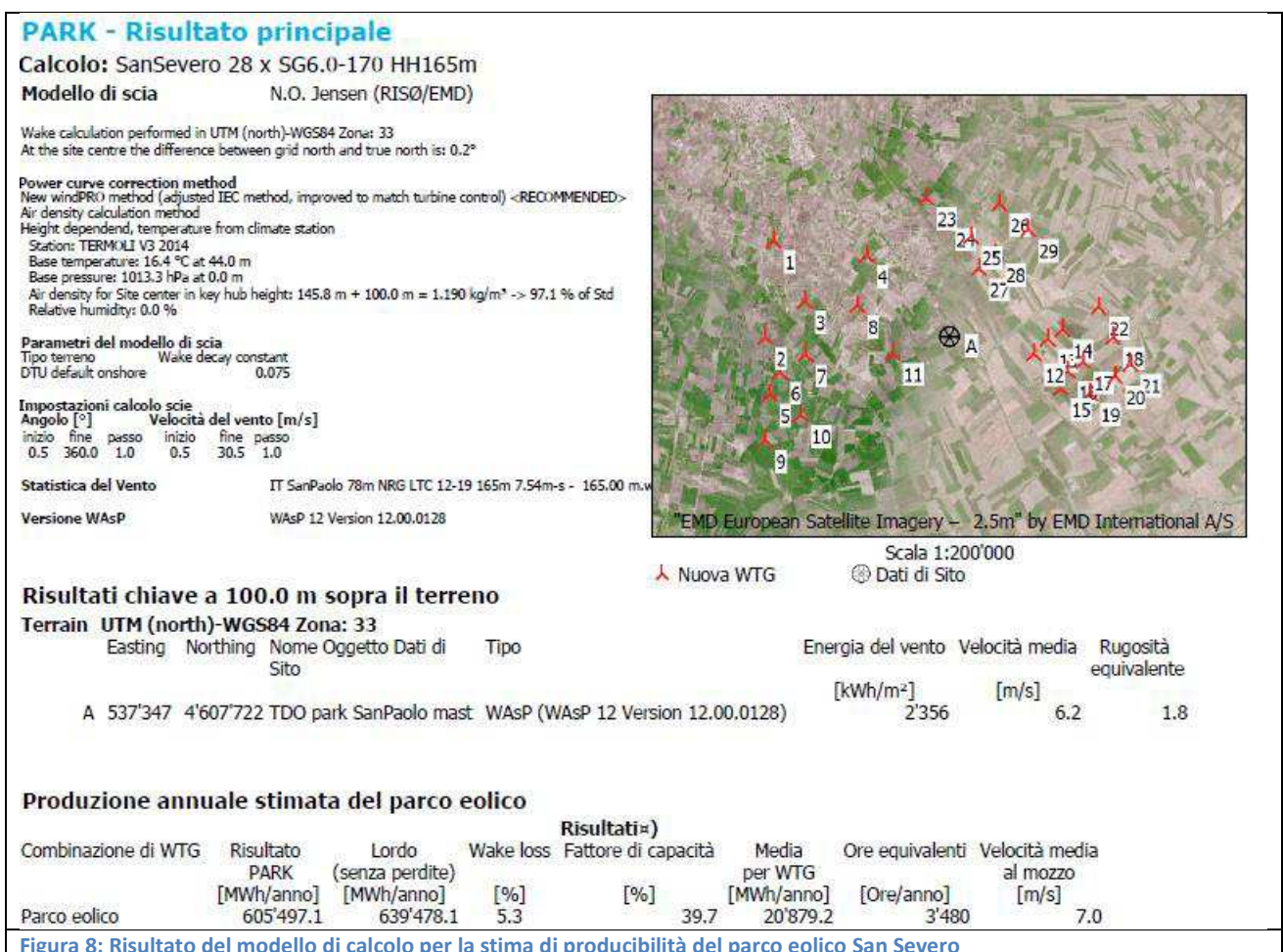
Sono stati utilizzati i dati di un modello matematico complesso Vortex per ottenere un serie temporale meteorologica rappresentativa dell'area; il dato è stato poi paragonato con l'atlante eolico.

In finale, mediante il programma Wind Pro e WASP si è calcolata la produzione di energia per aerogeneratore. In ugual modo si è effettuata una modellizzazione dell'effetto scia degli aerogeneratori.

In questo calcolo si è già tenuto conto degli effetti topografici e delle perdite per effetto scia dovute agli aerogeneratori.

Concludendo i valori stimati della produzione di energia si sono ridotti per tener conto altre fonti potenziali di perdita di energia; disponibilità degli aerogeneratori, perdite elettriche, manutenzione, ed incertezze su misura, modelli, etc.

Così dunque, prendendo il risultato principale ottenuto dai diversi modelli, possiamo concludere, che per il complesso del sito di San Severo si ipotizza una produzione annuale intorno ai 605.497,1 MWh/anno, che equivale a circa 3.480 ore equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato in Figura 8.



I dati ottenuti dal modello indicano quindi un area vocata alla costruzione di un impianto all'eolico.