

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA
"Parco Eolico San Pietro" DI POTENZA PARI A 60 MW

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI

PARCO EOLICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI:
Brindisi, San Pietro Vernotico, Cellino San Marco

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU VSSK6Y3

Tav.:

Titolo:

R31

Analisi di producibilità dell'impianto

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato:

N.A.

A4

VSSK6Y3_DocumentazioneSpecialistica_31

Progettazione:

Committente:

STCs S.r.l.

Via Nazario Sauro, 51 - 73100 Lecce
stcs@pec.it - fabio.calcarella@gmail.com

Dott. Ing. Fabio CALCARELLA



wpd MURO s.r.l.



Viale Aventino, 102 - 00153 Roma
C.F. e P.I. 15443431000
tel. +39 06 960 353-00

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Agosto 2020	Prima emissione	STCs S.r.l.	FC	wpd MURO s.r.l.

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.....	11
5. Risultati dei modelli matematici per le rappresentazioni dei flussi di vento	13
6. Stima della produzione energetica del parco eolico	14
7. Conclusioni	15

Premessa

La società wpd Muro srl ha predisposto uno studio sulle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità di un impianto eolico situato nei territori comunali di San Pietro Vernotico e Brindisi, 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, ma in via preliminare può essere indagata da modelli matematici estremamente sofisticati e innovativi che utilizzano dati meteorologici satellitari rappresentativi dell'area parco.

Si è quindi partiti dai dati simulati con modelli meteorologici idonei all'analisi del sito a disposizione della società, i quali sono stati verificati 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 territorio dei Comuni di San Pietro Vernotico (BR), e Brindisi come riportato in Figura 1.

L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una complessità orografica bassa. Topograficamente ha una altezza compresa tra 35 e 50 metri circa s.l.m., un'area pianeggiante non troppo distante dal mare. Si è considerata una temperatura media di 16.8 °C, derivante dalle rilevazioni presso le stazioni meteo vicine al sito, la densità media dell'aria nel sito all'altezza del mozzo è: $\rho=1,198 \text{ Kg/m}^3$.

Attualmente, l'area è completamente agricola con la presenza di sporadiche case. La copertura vegetazionale è medio - 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. Il posizionamento è stato deciso in base a diversi fattori l'esposizione sul lato Nord 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 sufficiente un'indagine meteorologica puntuale, ma è necessario aggiungere l'analisi 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.

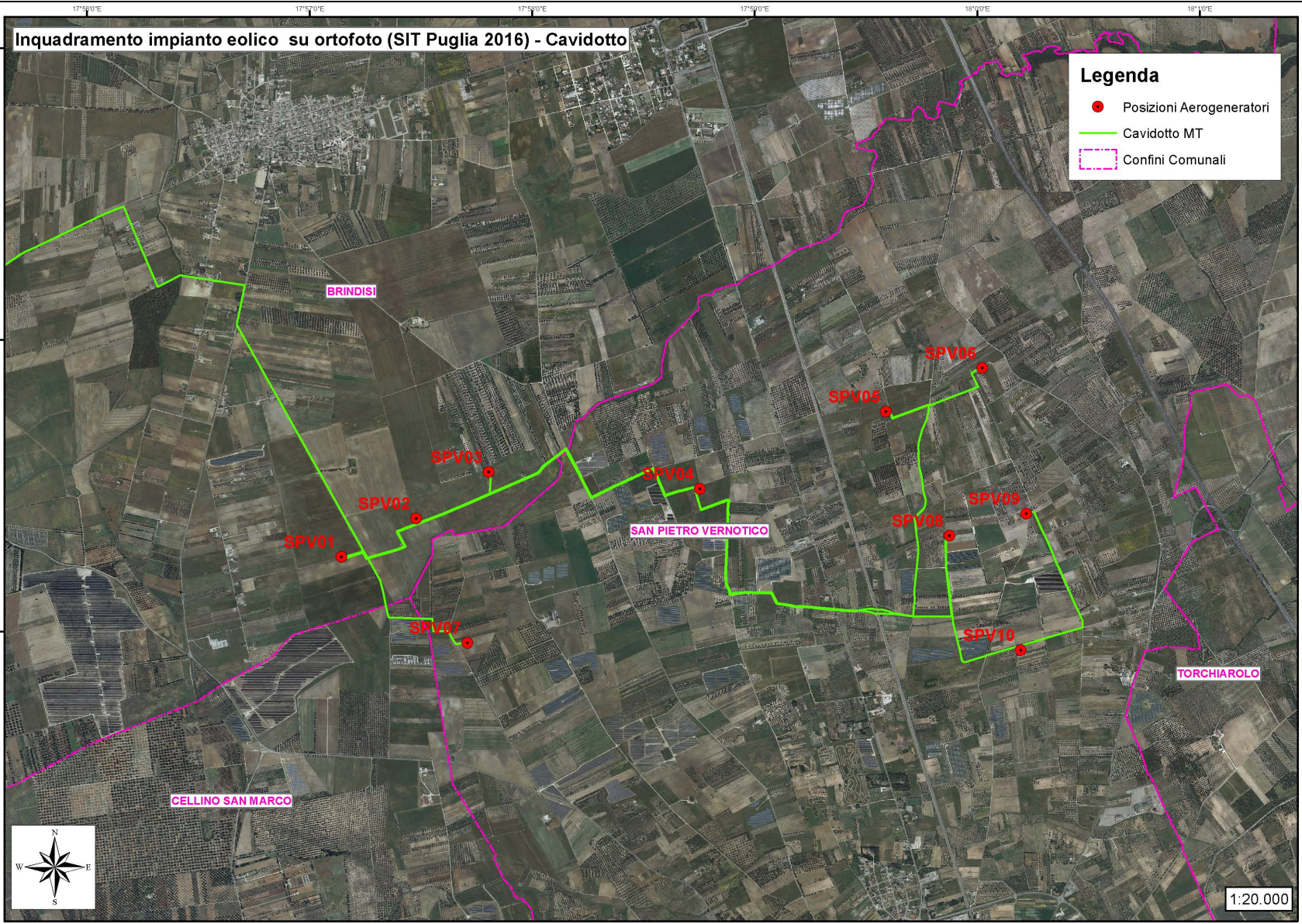


Figura 1: Inquadramento su ortofoto del parco eolico

3. Modellizzazione e Stima del Vento

La misurazione della ventosità a fini di produzione eolica si esegue con diverse metodologie, se non ci sono misure puntuali provenienti dai sistemi di misura quali gli anemometri è possibile utilizzare modelli sofisticati che analizzano dati meteorologici satellitari. Inoltre essendo come detto l'area di San Pietro Vernotico - Brindisi un'area orograficamente semplice, ci si aspetta che il dato dei modelli sia molto simile al dato reale e che come analisi preliminare sia sufficiente.

Metodologia generale

La metodologia utilizzata si chiama ConWx. Non è altro un modello matematico ad alta risoluzione, rappresentativo delle condizioni climatiche. Numerosi studi hanno dimostrato essere uno strumento estremamente efficace per la previsione al lungo termine della ventosità ed utilizzato ampiamente nell'ambito dell'industria eolica per la creazione di stime di producibilità.

La tecnologia dei modelli a mesoscala è utilizzata in ConWx per ottenere a livello globale valori della ventosità su diverse griglie di risoluzione. E' possibile prevedere, fornendo dati in ingresso al modello, una elevata quantità di informazioni a supporto di un progetto eolico in qualsiasi fase del suo sviluppo, dall'individuazione del sito, all'ottimizzazione del layout, in quanto i dati forniti sono rappresentativi delle condizioni reali.

Il modello a mesoscala WRF (Weather & Research Forecast Model) è il cuore del sistema ConWx ed è stato sviluppato da NCAR/NCEP.

E' stato predisposto periodo di misura pari a 10 anni inserendo nel modello dati topografici, uso del suolo e meteorologici basati su dati satellitari. Il modello a mesoscala ottenuto con WRF è stato poi scalato alla microscala fino al sito di San Pietro Vernotico - Brindisi. In Figura 2 è mostrato il flusso di informazioni ingresso del modello ConWx, fino ad arrivare a dati puntuali sito specifici.

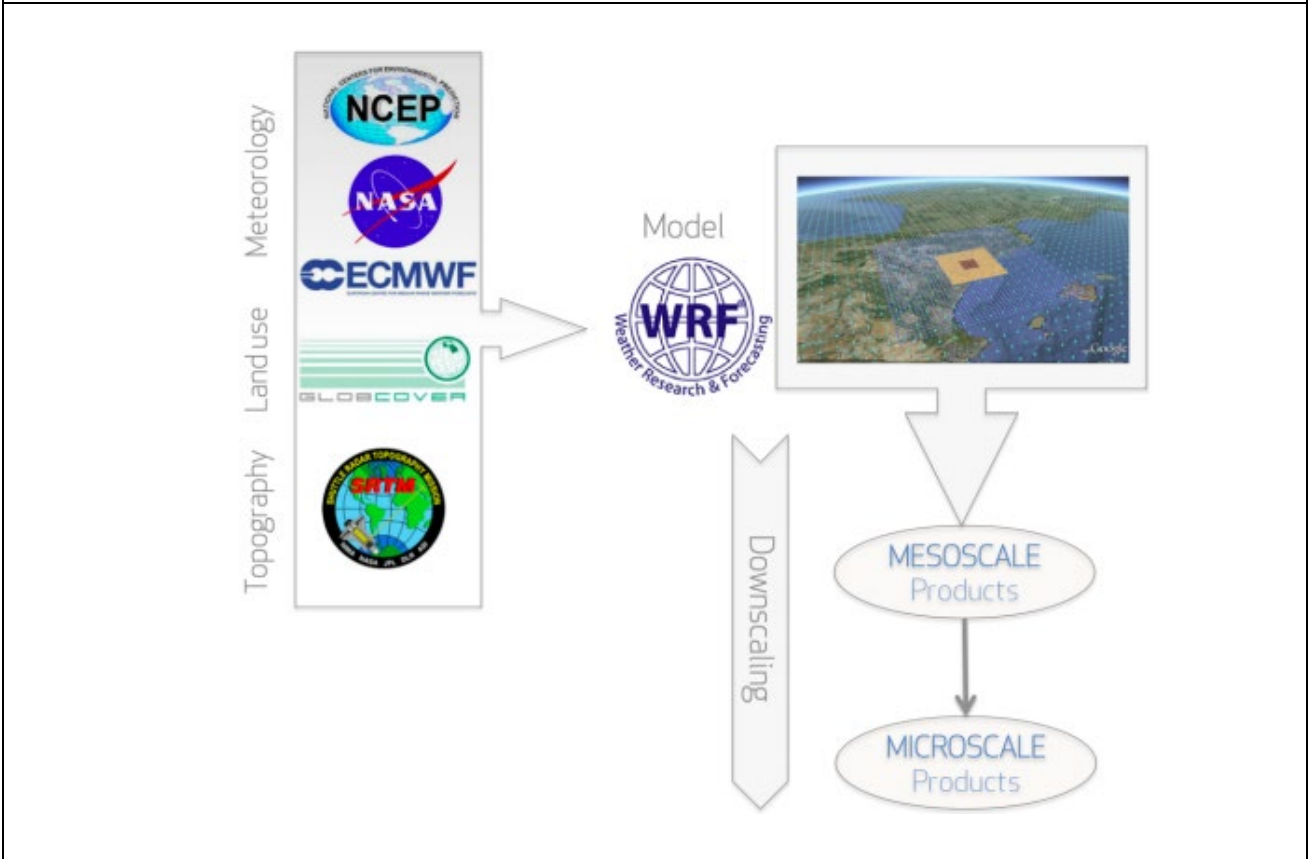
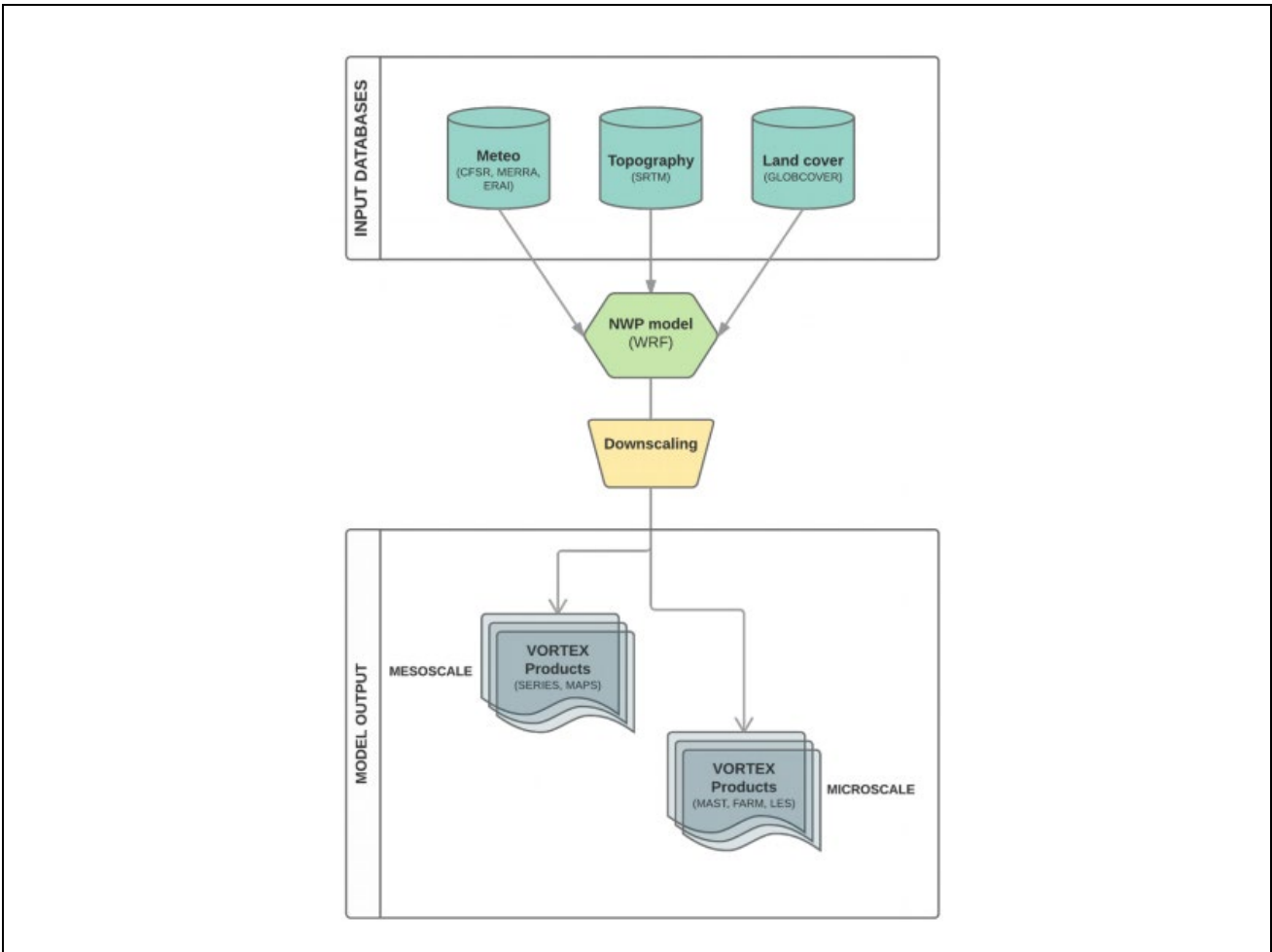


Figura c: Flusso del modello ConWx

Dai in ingresso del modello

I dati meteorologici di input sono i cfsr. Sono dati satellitari disponibili dal 1979 su una griglia di risoluzione 50km*50km, con 37 livelli di pressione.

Station name	PERIOD of site data	height	Time step	Position	
				Geographical, WGS84)	
				N	E
ConWx N40.490_E17.87	01.09.1999– 31.08.2019	Wind speed and wind direction 10 / 25 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200 m	60 minutes	40.490°	ConWx N40.490_E17.87

I dati topografici sono i dati ad alta risoluzione del SRTM data base.

I dati dell'uso del suolo provengono dal European Space Agency (ESA).

Dati in uscita del modello

I dati simulati riguardano dieci anni per il sito di San Pietro Vernotico - Brindisi. I dati contengono velocità e direzione del vento così come pressione, temperatura, umidità.

Correlazione a lungo termine

La società ha provveduto a correggere sul lungo termine i dati.

Il quale ha mostrato un valore di circa 7m/s per il sito di San Pietro Vernotico - Brindisi.

Il risultato finale è riportato nelle seguenti Figura 3, Figura 4, Figura 5.

La Figura 3 mostra quale è la direzione principale del vento e quale la sua intensità.

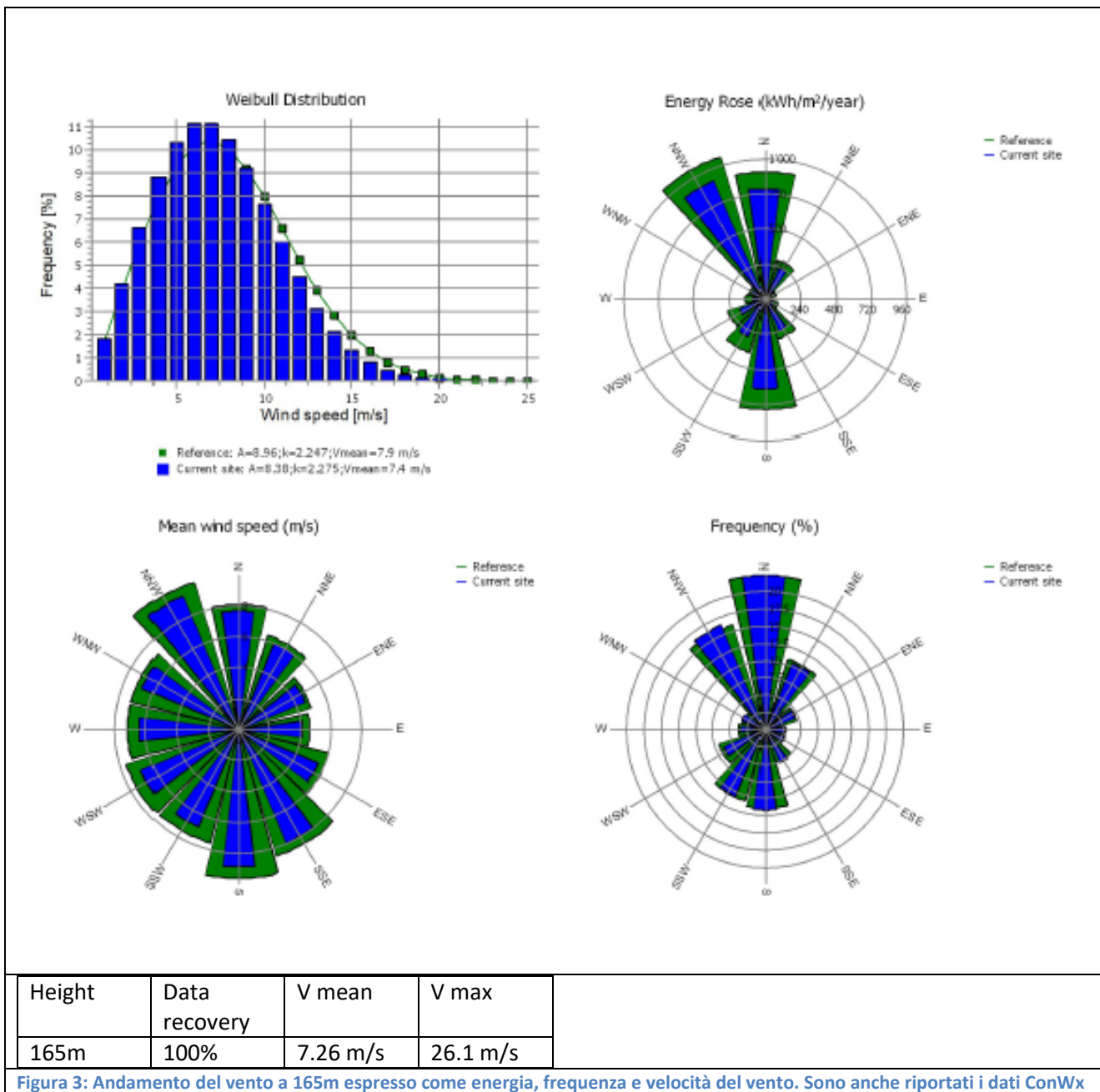


Figura 3: Andamento del vento a 165m espresso come energia, frequenza e velocità del vento. Sono anche riportati i dati ConWx

In Figura 4 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.

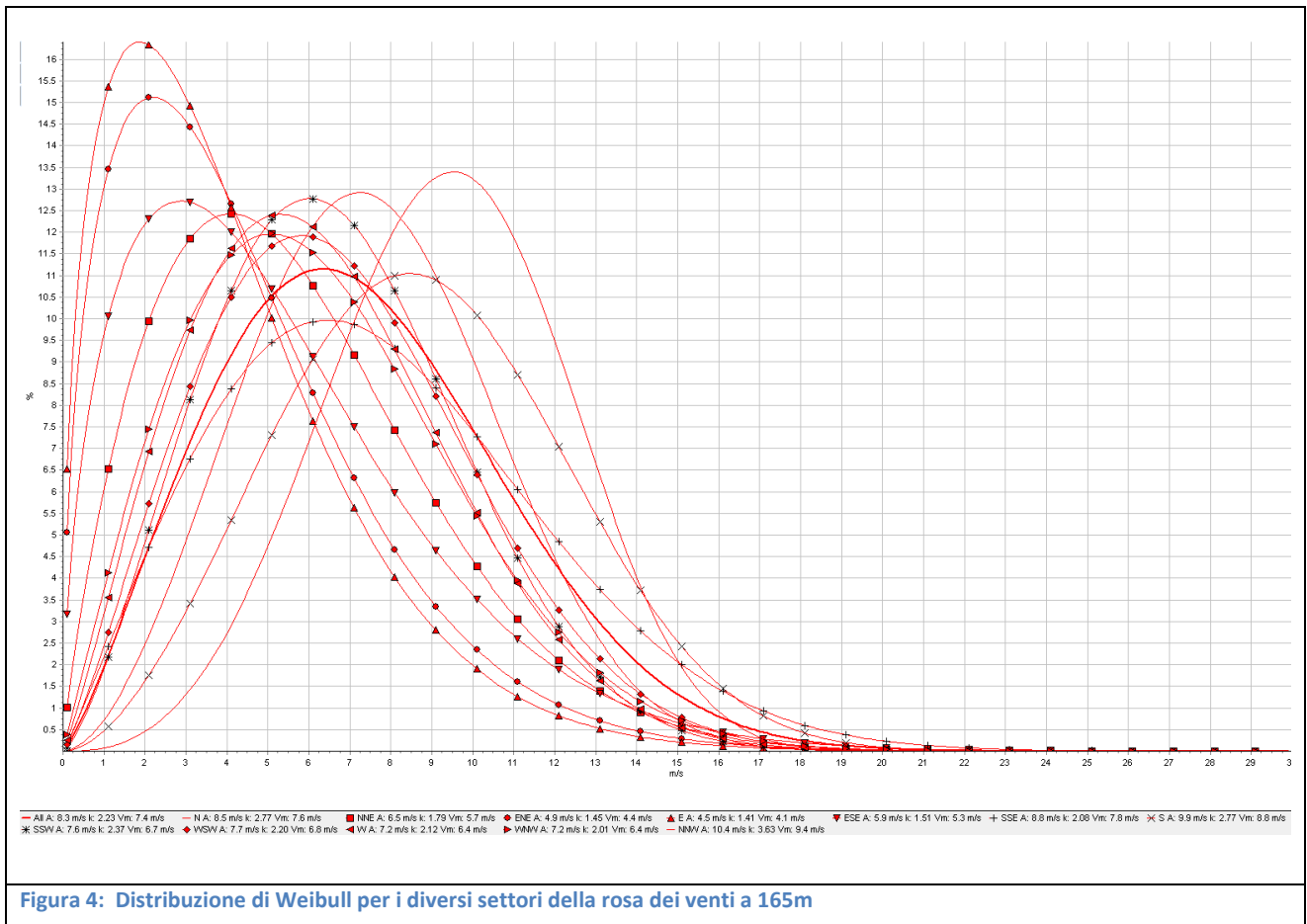


Figura 4: Distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti a 165m

In ultimo è riportato l'andamento giornaliero del dato meteorologico come direzione e intensità del vento corretto sul lungo termine (Figura 5).

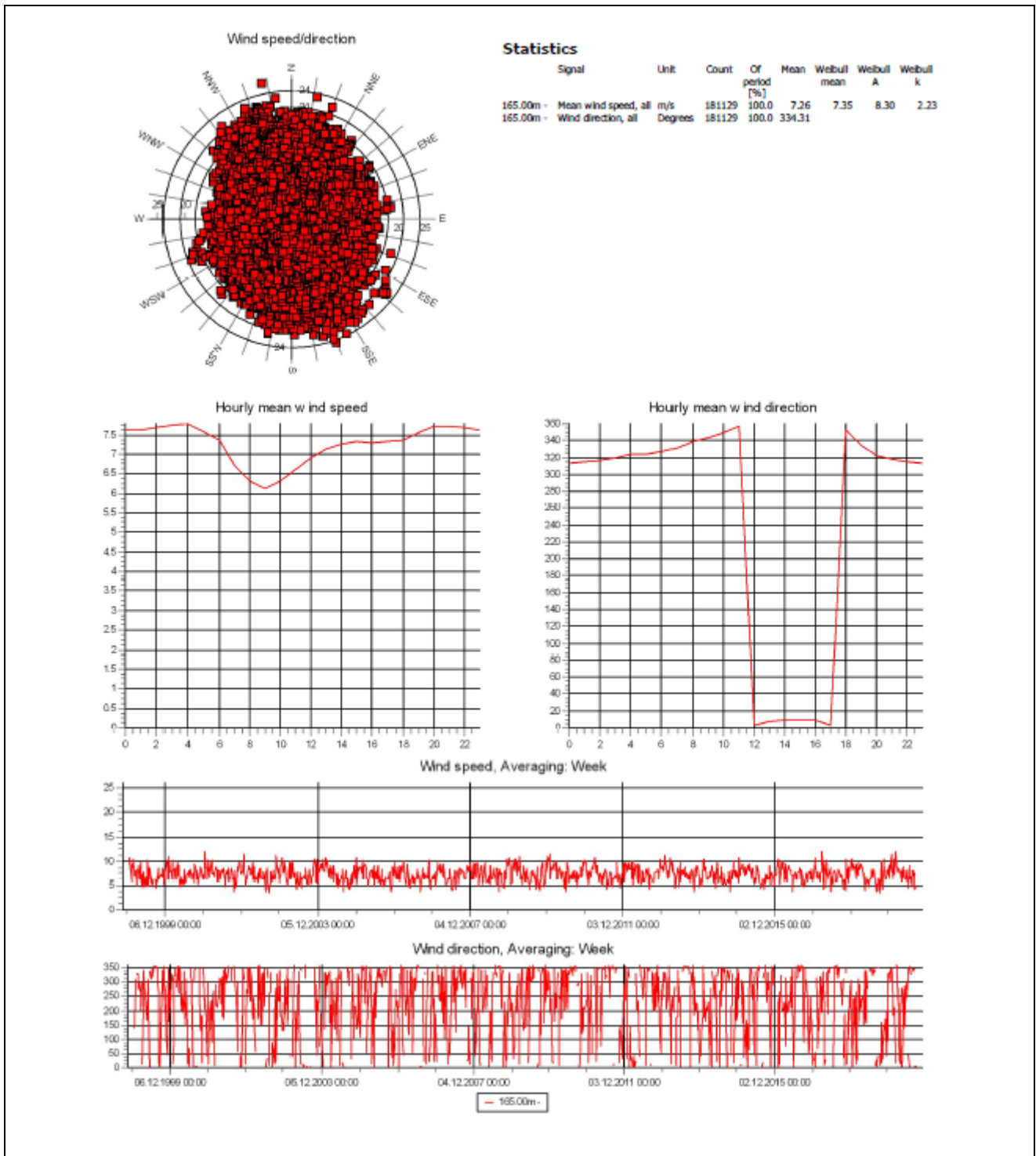


Figura 5: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità correzione a lungo termine

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://atlanteolico.rse->

[web.it/](#)) ed è curato dal GSE. E' 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 avente altezza all'hub pari a 165m, per cui **165m** sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. In Figura 6 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.

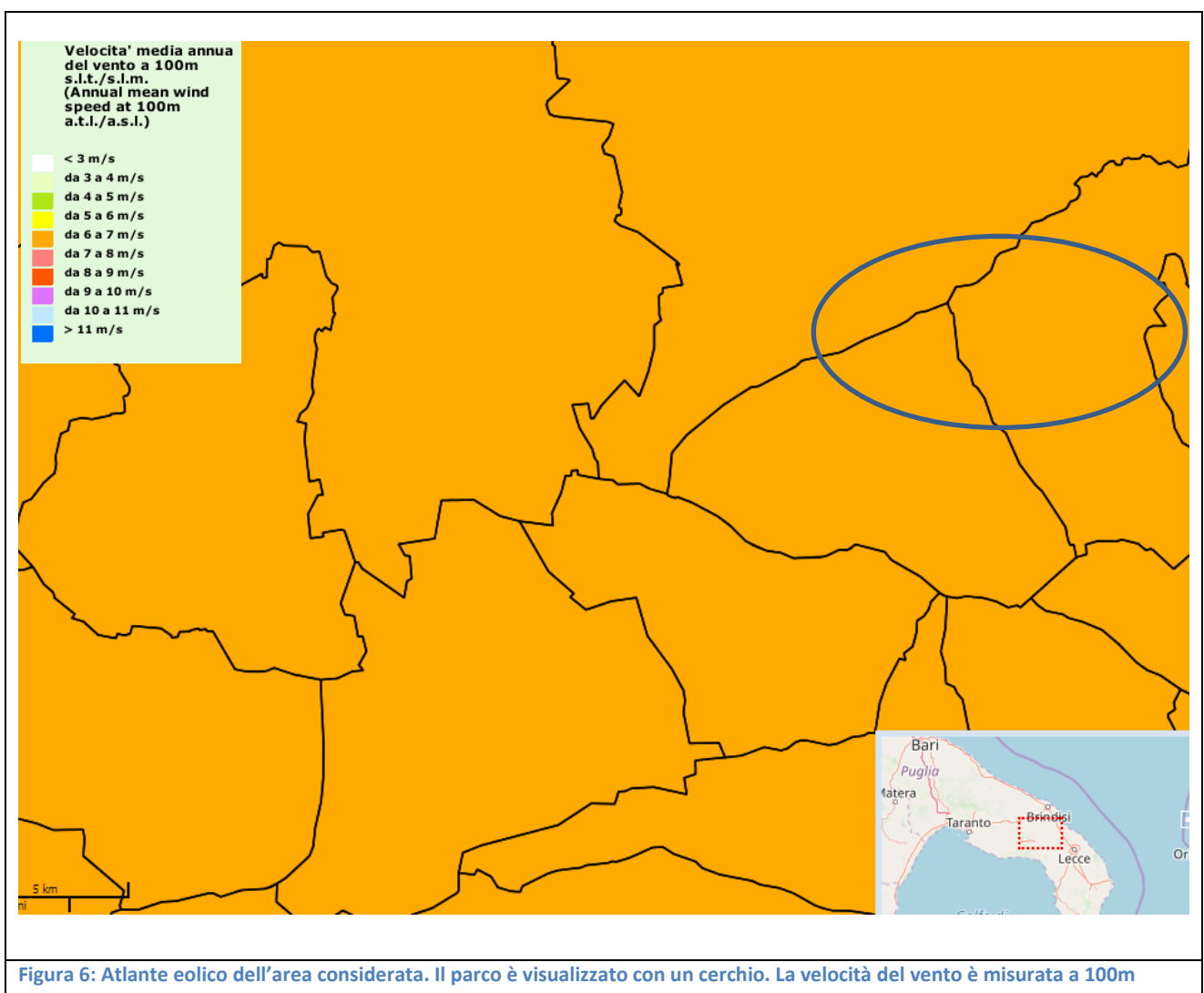


Figura 6: Atlante eolico dell'area considerata. Il parco è visualizzato con un cerchio. La velocità del vento è misurata a 100m

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	10.0%	
Long term scaling	3.0%	
Vertical extrapolation	0.8%	
Horizontal extrapolation	1.2%	
Total uncertainty wind related	10.5%	16.8%
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%	7.2%
availability		3.0%

Overall uncertainty 10 years	17.3%
-------------------------------------	--------------

Incertezza totale: 17.3 %

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.

Lo stesso software WindPro indica una produzione media degli aerogeneratori al netto delle perdite sopra considerate di circa 23.040 MWh/anno.

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 territorio dei Comuni di San Pietro Vernotico e Brindisi.

Il parco eolico proposto è costituito da 10 aerogeneratori Siemens Gamesa SG6.0-170 con una potenza nominale di 6,0 MW, ed una altezza al mozzo di 165m; 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.

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 ConWx per ottenere un serie temporale metereologica 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 Pietro Vernotico - Brindisi si ipotizza una produzione annuale intorno ai 230.400 MWh/anno, che equivale a circa 3.840 ore equivalenti con in lay -out sopra indicato.

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