



think energy

## PARCO EOLICO BORGIO MEZZANONE S.r.l.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI FOGGIA E MANFREDONIA

### PROGETTO DEFINITIVO 2019

#### PROGETTAZIONE



via Volga c/o Fiera del Levante Pad.129 - BARI (BA)

ing. Sebanino GIOTTA  
ing. Fabio PACCAPELO  
ing. Francesca SACCAROLA



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

ing. Daniele CALO' - ing. Paolo MELETI

#### ARCHITETTURA E PAESAGGIO

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

**GEOLOGIA**  
geol. Giuseppe CALO'

**ACUSTICA**  
ing. Sabrina SCARAMUZZI

#### ARCHEOLOGIA

Nostòi S.r.l.

#### ASPETTI NATURALISTICI, FAUNISTICI E PEDOLOGIA

dott. Giuseppe MARZANO - dott. Leonardo BECCARISI - dott.ssa Chiara VACCA

#### COMUNICAZIONE

Flame Soc. Coop. a.r.l.



Nostoi S.R.L.  
Via San Marco, 1511  
30015 CHILOGGIA (VE)  
C.F.P. e Iscra. R. 03 653 560 270  
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 .....	7
4. Analisi dei dati metereologici comparativi: Atlante eolico.....	12
5. Risultati dei modelli matematici per le rappresentazioni dei flussi di vento .....	13
6. Stima della produzione energetica del parco eolico .....	14
7. Predisposizione sistema di accumulo - Benefici .....	17
8. Conclusioni .....	19

## **Premessa**

La società parco Eolico di Mezzanone srl ha predisposto uno studio sulle caratteristiche anemologiche e stima di producibilità di un impianto eolico situato a Manfredonia (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, 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 comune di Manfredonia (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 20 e 40 metri, un area pianeggiante vicino al mare. Si è considerata una temperatura media di 16 °C, derivante dalle rilevazioni presso le stazioni meteo vicine al sito, la densità media dell'aria nel sito all'altezza del mozzo è:  $\rho=1,207 \text{ Kg/m}^3$ .

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-Ovest e Sud-Est. Il posizionamento è stato deciso in base a diversi fattori l'esposizione sul lato Nord-Ovest / 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 e Figura 2 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

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

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.



ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO



Figura 1: Inquadramento su ortofoto del parco eolico



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

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

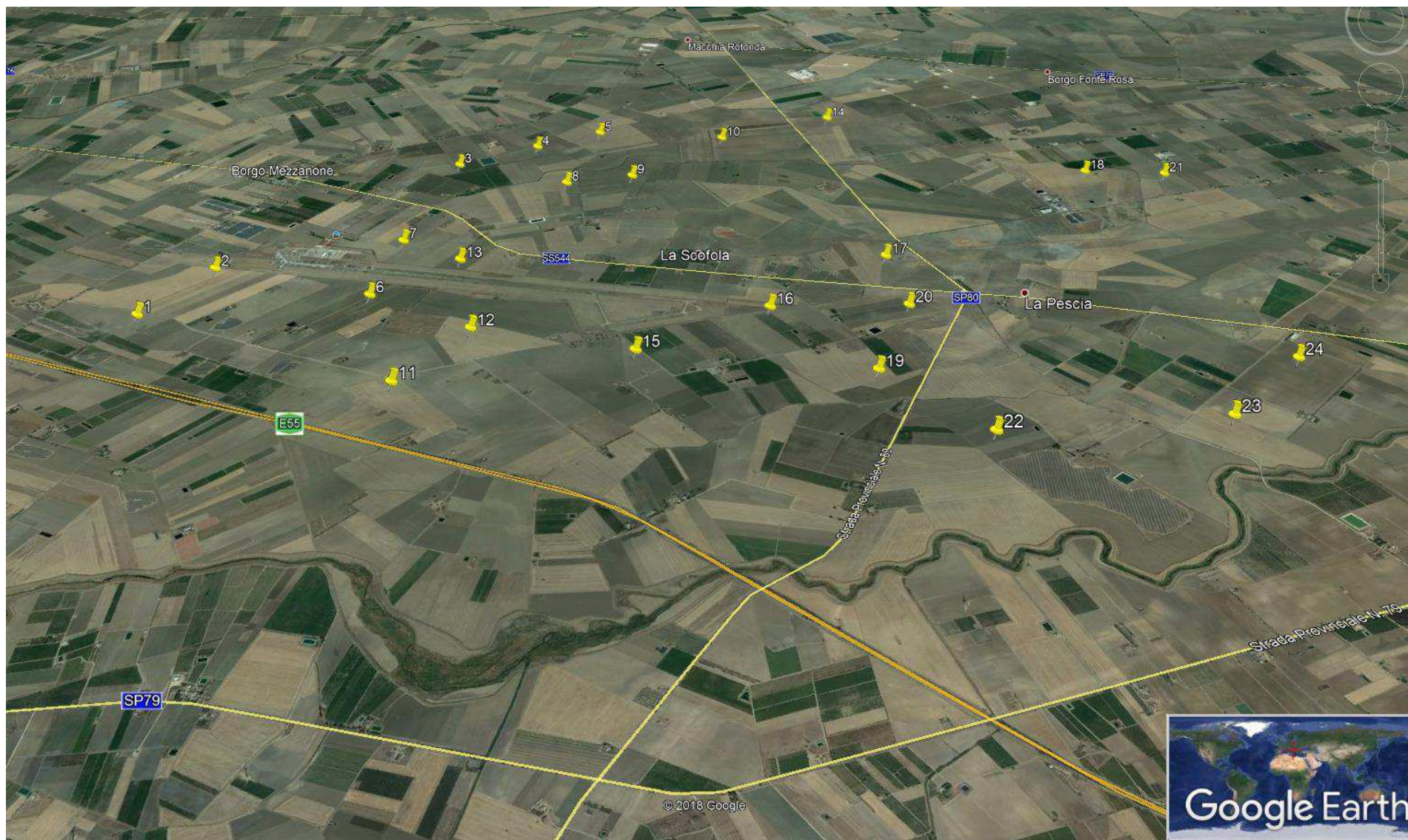


Figura 2: Inquadramento 3D di Google Earth del parco eolico

### **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 Manfredonia 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 Vortex. 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.

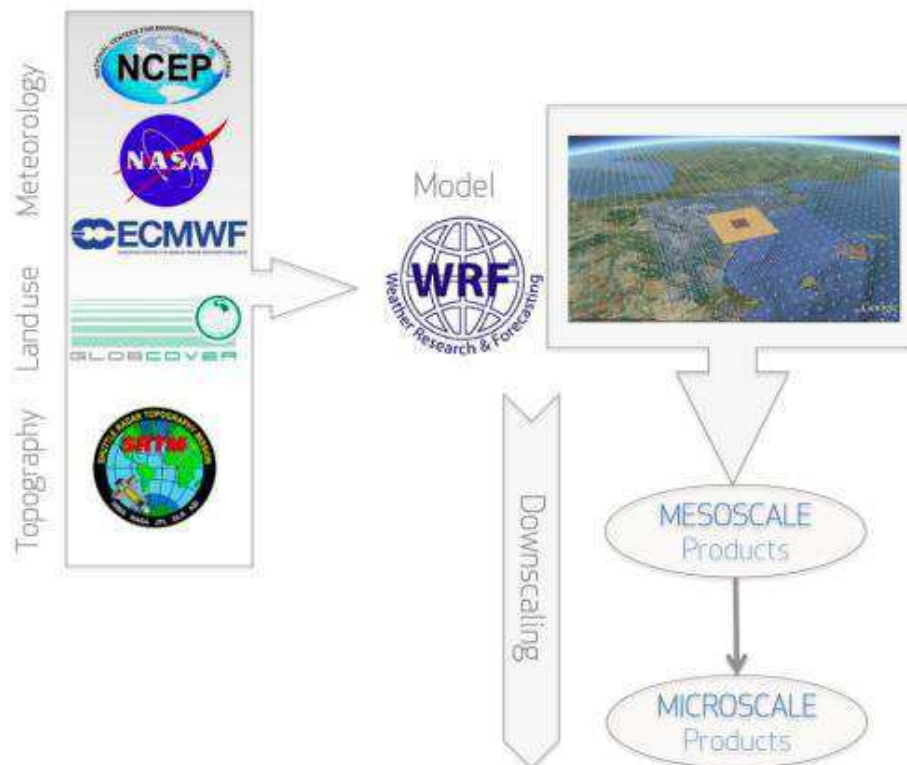
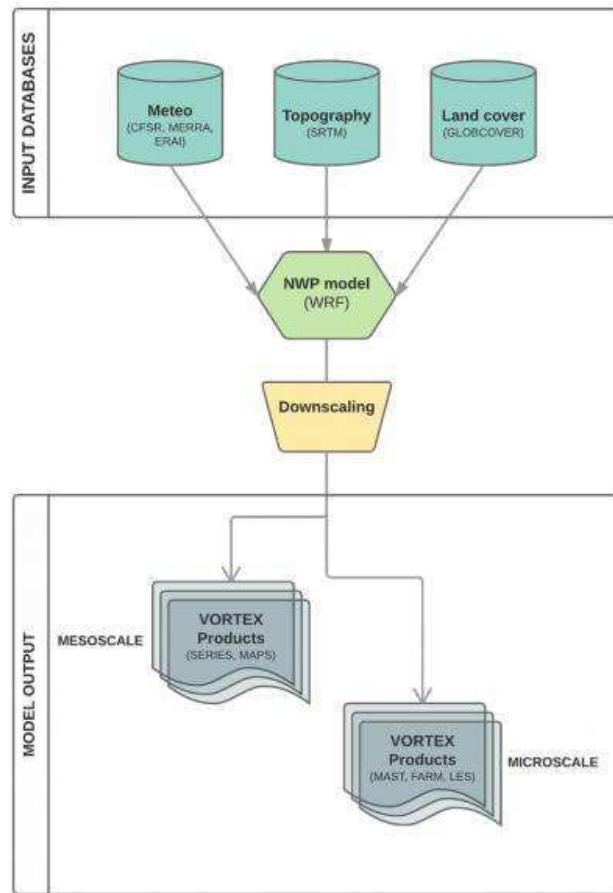
La tecnologia dei modelli a mesoscala è utilizzata in Vortex per ottenere a livello globale valori della ventosità su diverse griglie di risoluzione. E' possibile prevedere, fornendo dati in ingresso al modello, una elevata quantità di informazioni a supporto di un progetto eolico in qualsiasi fase del 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 Vortex ed è stato sviluppato da NCAR/NCEP.

E' stato predisposto un anno di misure per Manfredonia 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 Manfredonia. In Figura 3 è mostrato il flusso di informazioni ingresso del modello Vortex, fino ad arrivare a dati puntuali sito specifici.



ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO



**Figura 3: Flusso del modello Vortex**

Dai in ingresso del modello

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

Station name	PERIOD of site data	height	Time step	Position (UTM WGS84)	
				X	Y
Manfredonia	01.03.2012-29.02.2013	150 m	1 hour	563748	4584551

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

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

Dati in uscita del modello

I dati simulati riguardano un anno per il sito di Manfredonia. I dati contengono velocità e direzione del vento così come pressione, temperatura, umidità.

WPD ha acquistato un anno di dati dalla Vortex society.

Correlazione a lungo termine

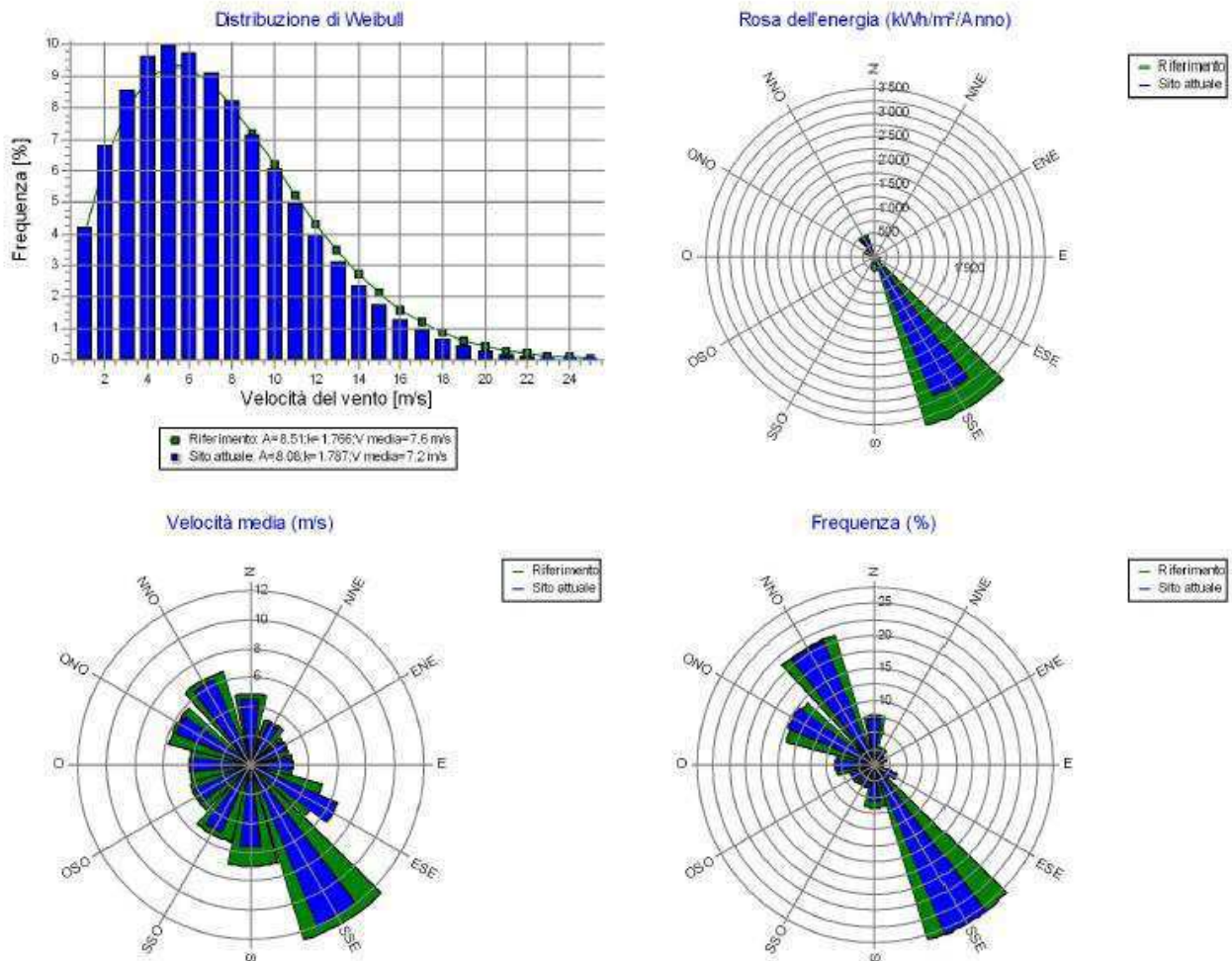
La società WPD ha provveduto a correggere sul lungo termine i dati.

Il quale ha mostrato un valore di 7m/s per il sito di Manfredonia.

Il risultato finale è riportato nelle seguenti Figura 4, Figura 5, Figura 6.

La Figura 4 mostra quale è la direzione principale del vento e quale la sua intensità.

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO



Height	Data recovery	V max	V min
150m	100%	20.2 m/s	0.1 m/s

Figura 4: Andamento del vento a 150m espresso come energia, frequenza e velocità del vento. Sono anche riportati i dati Vortex per Manfredonia

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.



ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

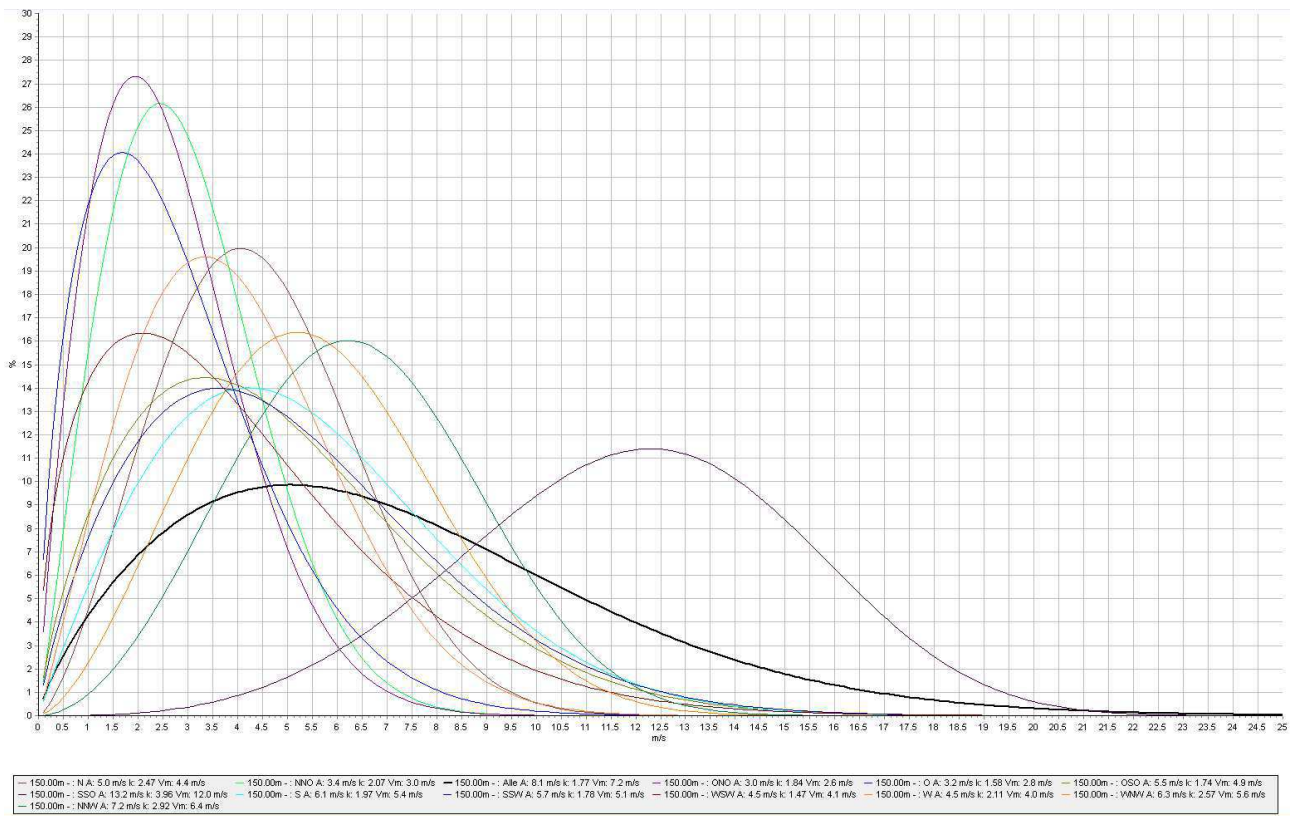


Figura 5: Distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti a 150m

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

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

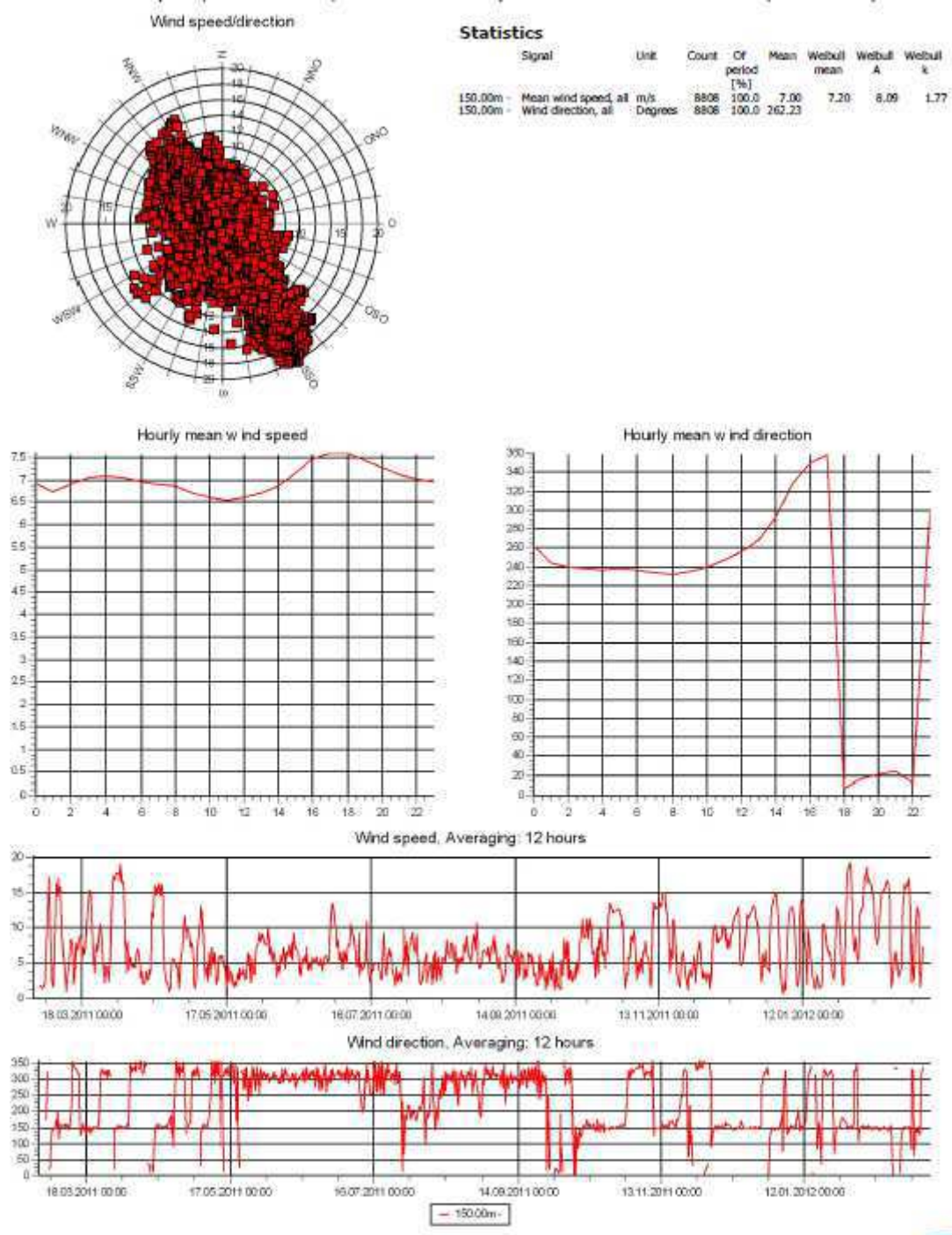


Figura 6: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità correzione a lungo termine

#### 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. 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 un GE158 da 150m, per cui **150m** sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. In Figura 7 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.

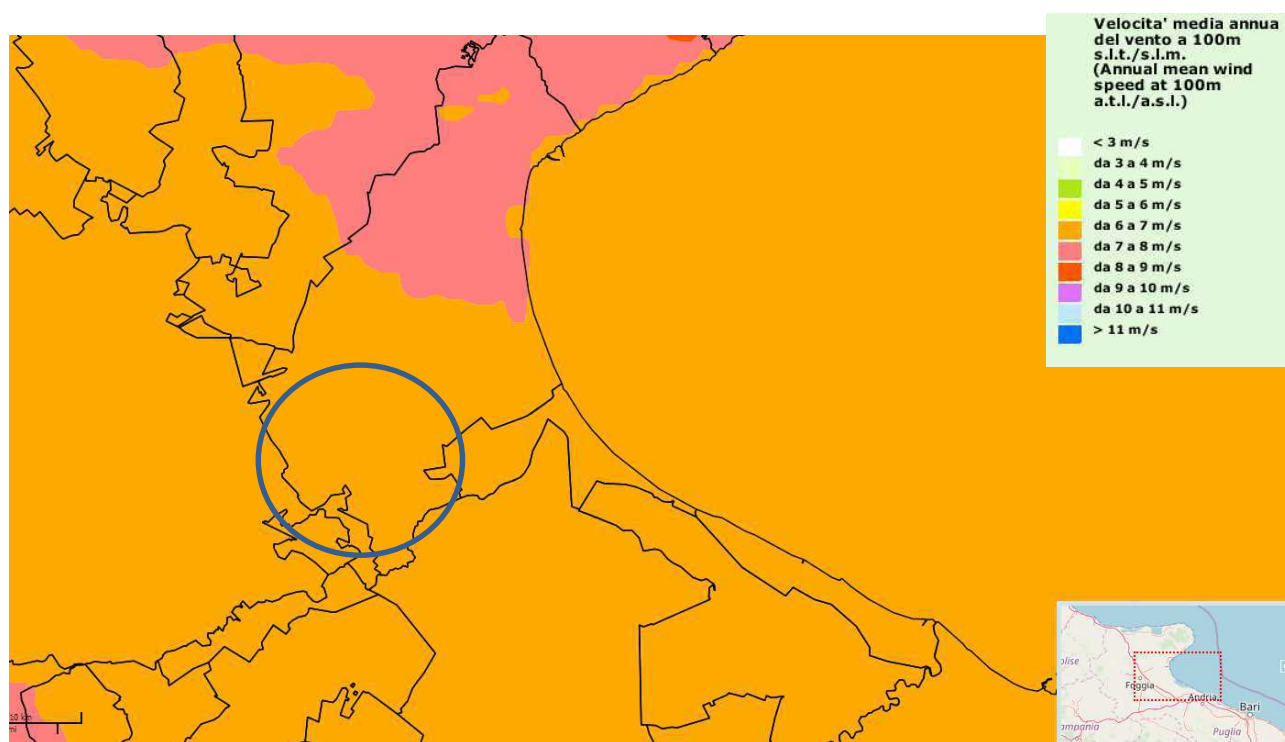


Figura 7: Atlante eolico dell'area considerata. Il parco è visualizzato con un cerchio. La velocità del vento è misurata a 100m

## 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 accuracy (Vortex time series)	3.0%	
Long term scaling	3.2%	
Vertical extrapolation	0.0%	
Horizontal extrapolation	3.2%	
<b>Total uncertainty wind related</b>	<b>5.4%</b>	<b>10.3%</b>
Wake losses		0.3%
Electrical losses		0.9%
Turbine performance		3.3%
other		0.1%
<b>Total uncertainty energy related</b>		<b>3.4%</b>
Future wind frequency distribution		2.0%
Wind speed variability	4.5%	8.6%
availability		3.0%
<b>Overall uncertainty 10 years</b>		<b>11.3%</b>

### **Incetezza totale: 11.3 %**

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.

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

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

Links	Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated	Rotor diameter	Hub height	Displacement height	Creator	Name	Result	Wake loss	Free mean wind speed
				[kW]	[m]	[m]	[m]			[MWh/y]	[%]	[m/s]
01 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	19'018.8	0.5	7.10
02 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'911.4	1.1	7.10
03 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'761.4	2.4	7.14
04 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'186.3	5.4	7.16
05 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'412.6	5.0	7.20
06 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'221.9	4.4	7.10
07 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'311.8	4.3	7.12
08 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'750.1	7.8	7.15
09 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'841.6	7.4	7.16
10 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'824.7	3.1	7.21
11 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'318.4	4.2	7.11
12 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'806.2	7.0	7.11
13 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'738.9	7.7	7.14
14 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	19'065.3	2.0	7.21
15 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'199.1	3.9	7.08
16 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'048.3	5.5	7.13
17 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'988.2	7.0	7.19
18 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'989.2	1.8	7.17
19 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'889.3	6.4	7.13
20 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	17'983.4	7.1	7.18
21 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	19'014.9	1.8	7.17
22 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'096.0	5.9	7.14
23 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'783.5	2.6	7.16
24 A	No	GE WIND ENERGY	GE 5.425-158-5'425	5'425	158.0	150.0	Sector wise	USER	GE 5.425-158	18'887.5	2.3	7.17

Figura 8 : stima della produzione per il parco eolico di Manfredonia.

Di seguito una mappa (Figura 9) 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.



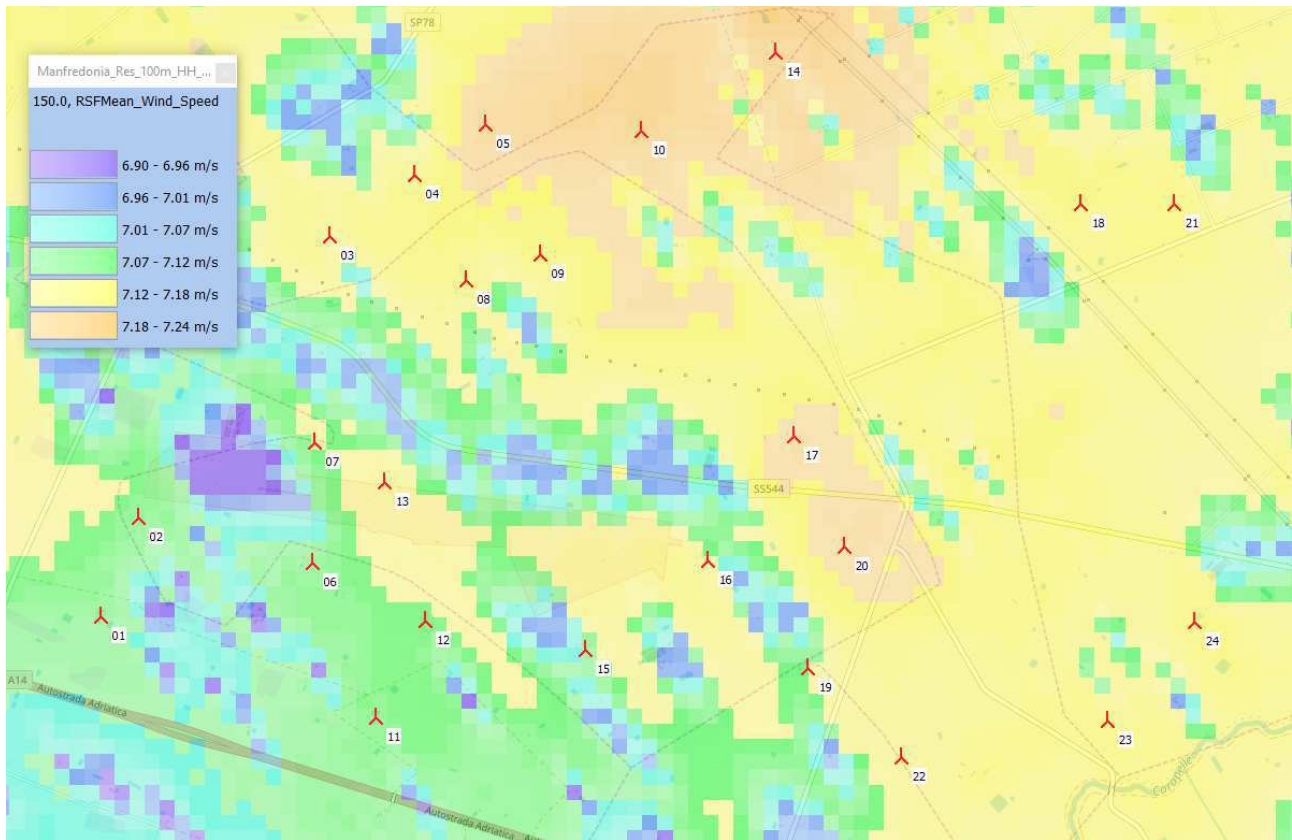


Figura 9: Mappe del vento elaborate con windpro. Andamento a 150m su una risoluzione di 100m

## 7. Predisposizione sistema di accumulo - Benefici

Lo sviluppo, vorticoso ma necessario, degli impianti di generazione da fonti rinnovabili porterà ad un ripensamento dell'intero sistema energetico: dalle infrastrutture per la trasmissione e dispacciamento ad una maggiore razionalizzazione per il governo dei flussi di energia in entrata nelle reti elettriche. Uno dei grandi limiti dell'elettricità è la difficoltà di accumularla, infatti, a differenza di altre risorse o prodotti, non è possibile produrre elettricità e conservarla, ma in ogni istante deve esserci equilibrio tra consumo e produzione di energia, pertanto l'obiettivo principale del prossimo decennio, oltre a quello del risparmio energetico, deve essere da un lato quello di costruire nuove ed adeguate infrastrutture in grado di garantire trasmissioni più efficienti, dall'altro quello di riuscire a razionalizzare e governare efficacemente i flussi intermittenti di energia derivanti dalla messa in rete degli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

La capacità di immagazzinare l'energia prodotta si sta dimostrando, pertanto, uno dei fronti più significativi nell'evoluzione della tecnologia degli impianti di produzione da fonti rinnovabili giacché il loro limite, in effetti, riguarda la discontinuità ed aleatorietà di produzione che si traduce in una bassa prevedibilità e governabilità dei flussi di energia elettrica di immissione in rete: può infatti capitare, per esempio, che gli impianti eolici raggiungano il massimo di produzione di notte o nei giorni festivi, quando la domanda è più scarsa oppure che vi siano forti intermittenze nella generazione (vento a folate) tali da complicare il lavoro di bilanciamento fra consumo e generazione. Per assorbire l'energia elettrica generata da questa tipologia di impianti consentendone l'ulteriore sviluppo e soprattutto per valorizzarla appieno, è quindi necessario prevedere anche un'adeguata capacità di immagazzinamento e realizzare i cosiddetti impianti "ibridi".

Il sistema di accumulo dell'energia elettrica, come quello pensato ad essere ospitato nel Parco Eolico Borgo Mezzanone, in definitiva, consente di convertire l'energia elettrica prodotta in una forma accumulabile, conservarla sotto questa forma e poi riconvertirla risolvendo il problema dello stoccaggio. Esso è composto da un insieme di apparecchiature (batterie, inverter, logiche di gestione e controllo, etc..) funzionale ad assorbire e rilasciare energia elettrica, previsto per funzionare in maniera continuativa in parallelo con la rete di trasmissione nazionale.

La realizzazione di un sistema ibrido, comporta molteplici vantaggi e benefici tra cui:

- contribuisce alla stabilità di rete e a garantire la sicurezza dell'intero sistema energetico nazionale infatti, come più volte detto, i sistemi di accumulo in esso presenti immagazzinano energia per rilasciarla in maniera stabile, costante e sicura;
- maggiore producibilità dell'impianto in termini di GWh prodotti e di ore equivalenti di funzionamento con conseguente sensibile riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>;
- una migliore prevedibilità della generazione elettrica al pari delle inquinanti centrali termoelettriche che, inevitabilmente verranno dismesse;

- meno perdite e dispersioni di rete (dovute al trasporto dell'energia su lunghe percorrenze);
- migliori efficienze sulla rete di distribuzione;
- riduzione delle interruzioni di rete.

Lo sviluppo degli impianti ibridi, come quello che sarà il Parco Eolico Borgo Mezzanone, riveste quindi un'importanza cruciale nell'ottica della sostenibilità energetica e ancor più lo rivestirà in futuro: dall'efficacia dei sistemi di immagazzinamento in essi implementati dipende infatti la capacità di aumentare la flessibilità del sistema elettrico. Inoltre, lo stoccaggio dell'energia può giocare un ruolo essenziale anche per ridurre costosi interventi di altro tipo sulle reti, necessari per adeguare il sistema ai livelli necessariamente crescenti della produzione rinnovabile. Per tale motivo è necessario implementare sistemi di storage (stoccaggio) sempre più efficienti, in grado di immagazzinare l'energia elettrica prodotta quando è più conveniente o quando c'è abbondanza di fonti rinnovabili per usarla quando serve.

## **8. 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 Manfredonia (FG)

Il parco eolico proposto è costituito da 24 aerogeneratori GE158 con una potenza nominale di 5,425 MW, ad una altezza di 155m, 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 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 Manfredonia si ipotizza una produzione annuale intorno ai 461.511,5 MWh/anno, che equivale a circa 3.387 ore equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato in Figura 10.

### PARK - Risultato principale

Calcolo: Manfredonia Vortex GE 5.425-158

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

Berechnung ausgeführt in UTM (north)-WGS84 Zona: 33  
Unterschied Gitternord / geographisch Nord (Standortzentrum) ist: 0.5°

Power curve correction method  
New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>  
Air density calculation method  
Height dependend, temperature from climate station  
Station: AMENDOLA V3 2014  
Base temperature: 15.4 °C at 60.0 m  
Base pressure: 1013.3 hPa at 0.0 m  
Air density for Site center in key hub height: 23.9 m + 100.0 m = 1.207 kg/m³ -> 96.5 % of Std  
Relative humidity: 0.0 %

Parametri del modello di scia  
Tipo terreno Wake decay constant  
DTU default onshore WDC: 0.075

Displacement heights from Default: 15m forest based on roughness data

Impostazioni calcolo scie  
Angolo [°] Velocità del vento [m/s]  
inizio fine passo inizio fine passo  
0.5 360.0 1.0 0.5 30.5 1.0

Statistica del Vento IT Vortex cfr: LTC wpd 04-19 150m 7.0 m/s - 150.00 m.wws

Versione WASP WASP 12 Version 12.00.0128

### Risultati chiave a 100.0 m sopra il terreno

Terrain UTM (north)-WGS84 Zona: 33

Ost Nord Nome Oggetto Dati di Sito Tipo

A 563'748 4'584'551 TDO park Manfredonia Vortex WASP (WASP 12 Version 12.00.0128)

Energia del vento Velocità media Rugosità  
equivalente

[kWh/m²] [m/s] 1.7

3'317 6.6

### Produzione annuale stimata del parco eolico

Combinazione di WTG	Risultato PARK [MWh/anno]	Lordo (senza perdite) [MWh/anno]	Wake loss [%]	Risultati		Ore equivalenti [Ore/anno]	Velocità media al mozzo [m/s]
				Fattore di capacità [%]	Media per WTG [MWh/anno]		
Parco eolico	441'048.7	461'511.5	4.4	38.6	18'377.0	3'387	7.1

\*) Basati solo sulle perdite in scia: tutte le altre perdite non sono incluse.



Figura 10: Risultato del modello di calcolo per la stima di producibilità del parco eolico Borgo Mezzanone



ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO

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