



Wpd Monte Cigliano s.r.l.

Viale Aventino n. 102 - 00153 ROMA

REGIONE PUGLIA

COMUNI DI TROIA – LUCERA - BICCARI (FG)

**PROGETTO DEFINITIVO
PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI TERRITORI
DEI COMUNI DI TROIA - LUCERA E BICCARI (FG)
IN LOCALITA' "MONTARATRO"**

PROGETTISTI:

M&M ENGINEERING S.r.l.

Sede Operativa:
Via I Maggio, n.4
71045 Orta Nova (FG) - Italy
tel./fax (+39) 0885791912 -
ing.marianomarseglia@gmail.com

Progettisti:

ing. Mariano Marseglia
ing. Giuseppe Federico Zingarelli

Collaborazioni:

ing. Giovanna Scuderi
ing. Dionisio Staffieri
geom. Francesco Mangino
geom. Claudio A. Zingarelli

PROPONENTE:

Wpd Monte Cigliano s.r.l.

Viale Aventino n. 102
00153 ROMA

ELABORATO

TITOLO

COMMESSA

SIA 17

**VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E
ANALISI DI PRODUCIBILITA'**

04EOL-2018

CODICE ELABORATO

EOL-SIA-17

REVISIONE

00

Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio M&M Engineering S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. (art. 2575 c.c.)

NOME FILE

PAGINE

EOL-SIA-17.doc

18 + copertina

REV

DATA

MODIFICA

Elaborato

Controllato

Approvato

00

15/04/2019

Prima Emissione

G.F. Zingarelli

Marseglia

Longo

01

02

03

04

05

06

Sommario

PREMESSA	2
1. INTRODUZIONE	3
2. DESCRIZIONE DEL SITO	4
3. MODELLIZZAZIONE E STIMA DEL VENTO	7
4. ANALISI DEI DATI METEREologici COMPARATIVI: ATLANTE EOLICO	13
5. RISULTATI DEI MODELLI MATEMATICI PER LE RAPPRESENTAZIONI DEI FLUSSI DI VENTO	14
6. STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA DEL PARCO EOLICO	14
7. CONCLUSIONI	17

Premessa

L'impianto eolico oggetto della presente stima di producibilità sarà costituito 23 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,3 MW per una potenza complessiva di 121,90 MW.

Gli aerogeneratori saranno ubicati in località "Montaratro" nell'area nord-ovest dell'abitato di Troia, a sud-ovest dell'abitato di Lucera e ad est dell'abitato di Biccari e ad una distanza dai centri abitati rispettivamente di circa 1,3 km, 8,8 km e 2,8 km, secondo una distribuzione che ha tenuto conto dei seguenti fattori:

- condizioni geomorfologiche del sito
- direzione principale del vento
- vincoli ambientali e paesaggistici
- distanze di sicurezza da infrastrutture e fabbricati
- pianificazione territoriale ed urbanistica in vigore

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa, in cui sono indicate per ciascun aerogeneratore le relative coordinate (UTM fuso 33) e le particelle catastali, con riferimento al catasto dei terreni dei Comune di Troia-Lucera e Biccari.

Tabella dati geografici e catastali degli Aerogeneratori:

COORDINATE UTM 33 WGS84			DATI CATASTALI		
WTG	E	N	Comune	foglio n.	part. n.
1	525939	4584536	Lucera	149	278
2	526747	4584791	Lucera	149	142
3	527884	4585009	Lucera	148	136
4	523083	4583723	Lucera	151	27
5	524220	4583881	Lucera	150	140
6	525616	4583859	Lucera	150	131
7	527629	4584301	Lucera	148	122
8	520805	4581616	Biccari	40	279
9	523368	4582663	Troia	2	284
10	524764	4583123	Troia	2	342
11	526665	4583397	Troia	1	96
12	527736	4583574	Troia	10	105
13	528646	4583291	Troia	10	117
14	529648	4583802	Troia	10	126
15	524381	4582452	Troia	2	342
16	525989	4582563	Troia	1	92
17	527669	4582341	Troia	13	157
18	528772	4582372	Troia	13	125
19	529636	4582041	Troia	14	225
20	523617	4581769	Troia	2	300
21	523087	4581211	Troia	3	131
22	522508	4580664	Troia	3	19
23	528470	4581557	Troia	13	73

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 dal punto di vista orografico, e che non necessita di analisi complesse, ma in via preliminare può essere indagata da modelli matematici estremamente sofisticati e innovativi che utilizzano dati metereologici satellitari rappresentativi dell'area parco.

Si è quindi partiti dai dati simulati con modelli metereologici 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 nei Comuni di Troia, Lucera e Biccari (FG), come riportato in Figura 1; per semplicità nel prosieguo si farà riferimento al solo comune di Troia.

L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una complessità orografica relativamente bassa. Topograficamente ha una altezza compresa tra 198 e 330 metri.

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: $\rho=1,177 \text{ Kg/m}^3$.

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 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.

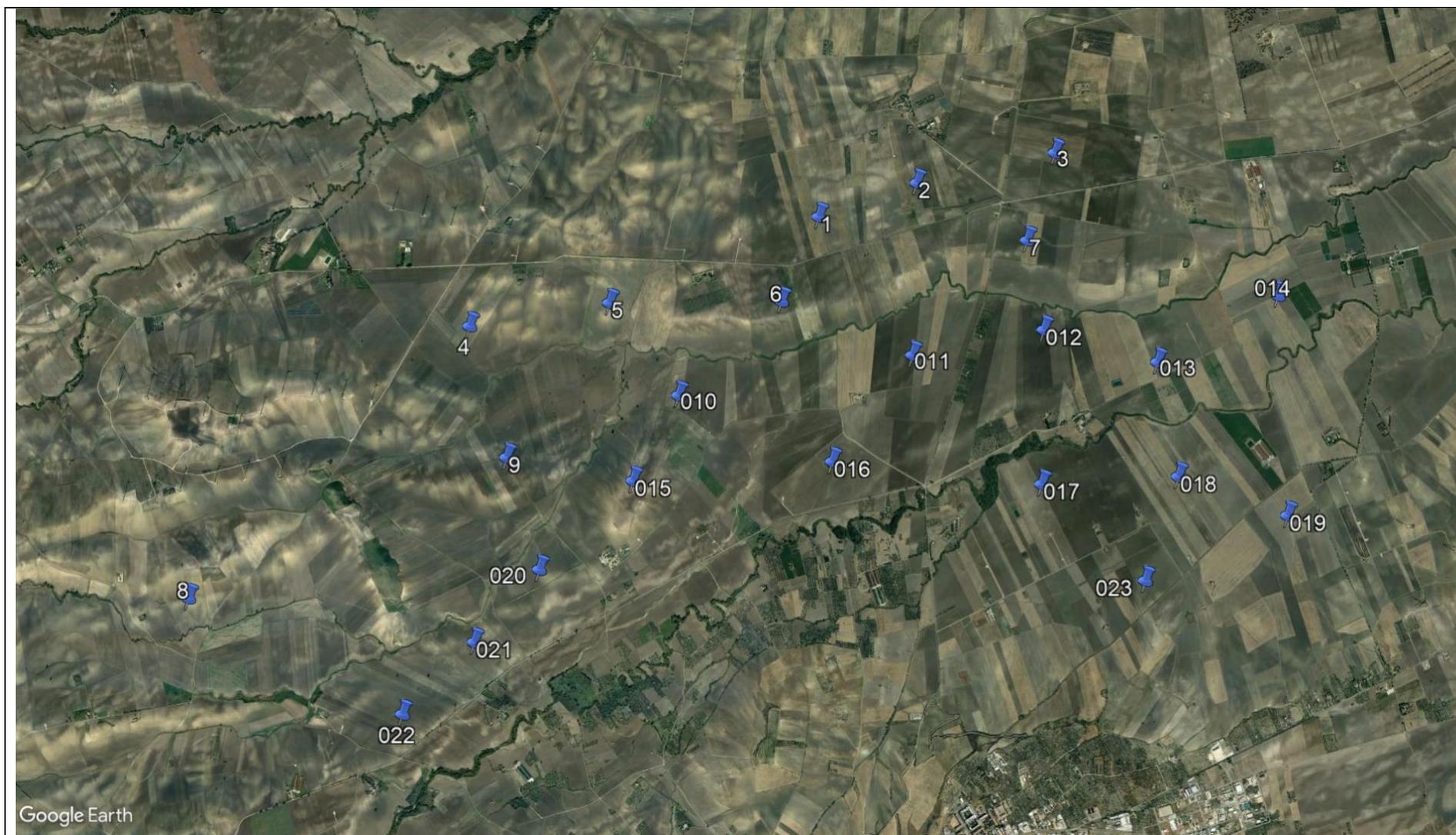


Figura 1: Inquadramento su ortofoto del parco eolico

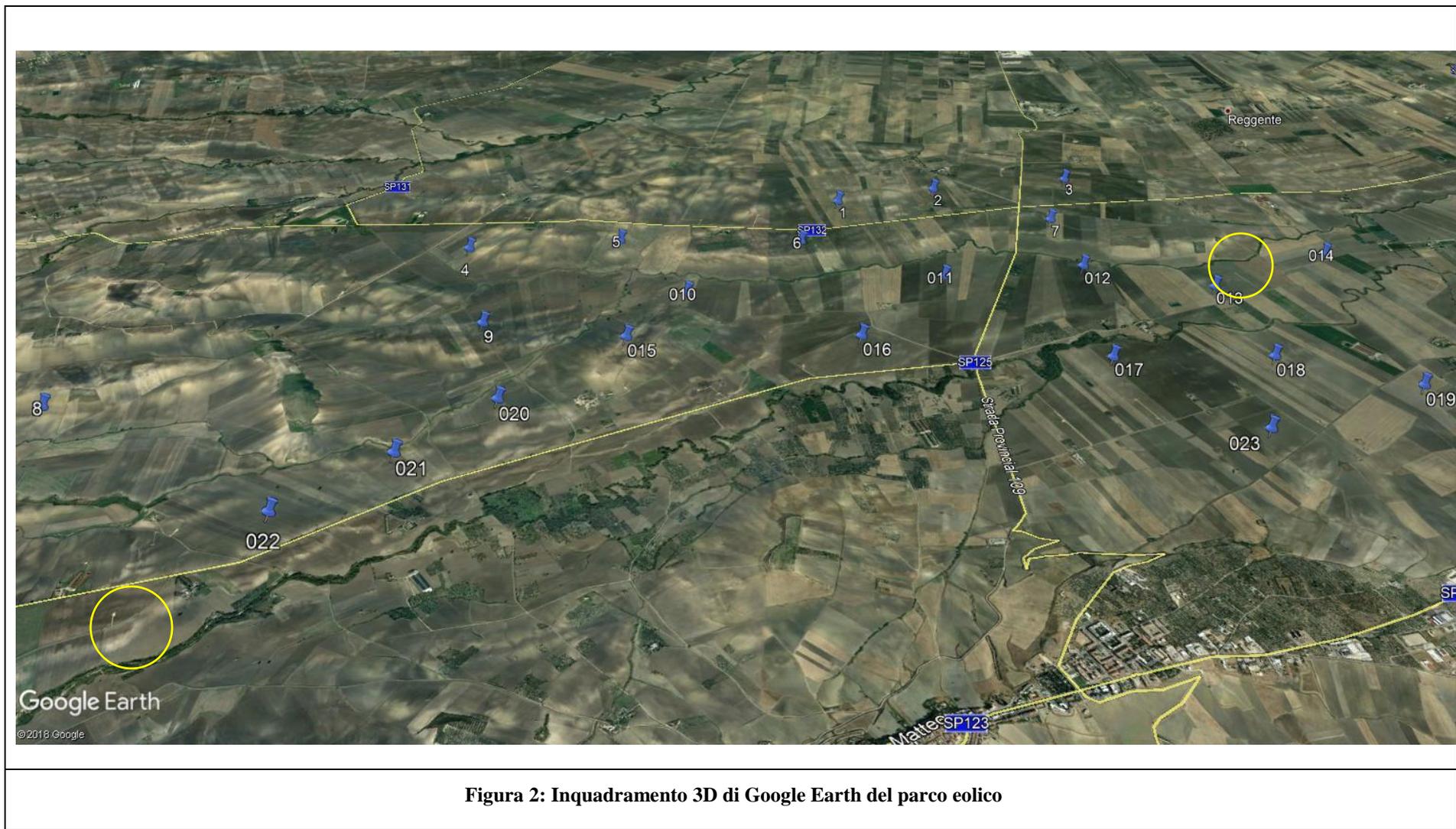


Figura 2: Inquadramento 3D di Google Earth del parco eolico

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 Troia un'area orograficamente abbastanza 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 Troia, 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 Troia. In Figura 3 è mostrato il flusso di informazioni ingresso del modello Vortex, fino ad arrivare a dati puntuali sito specifici.

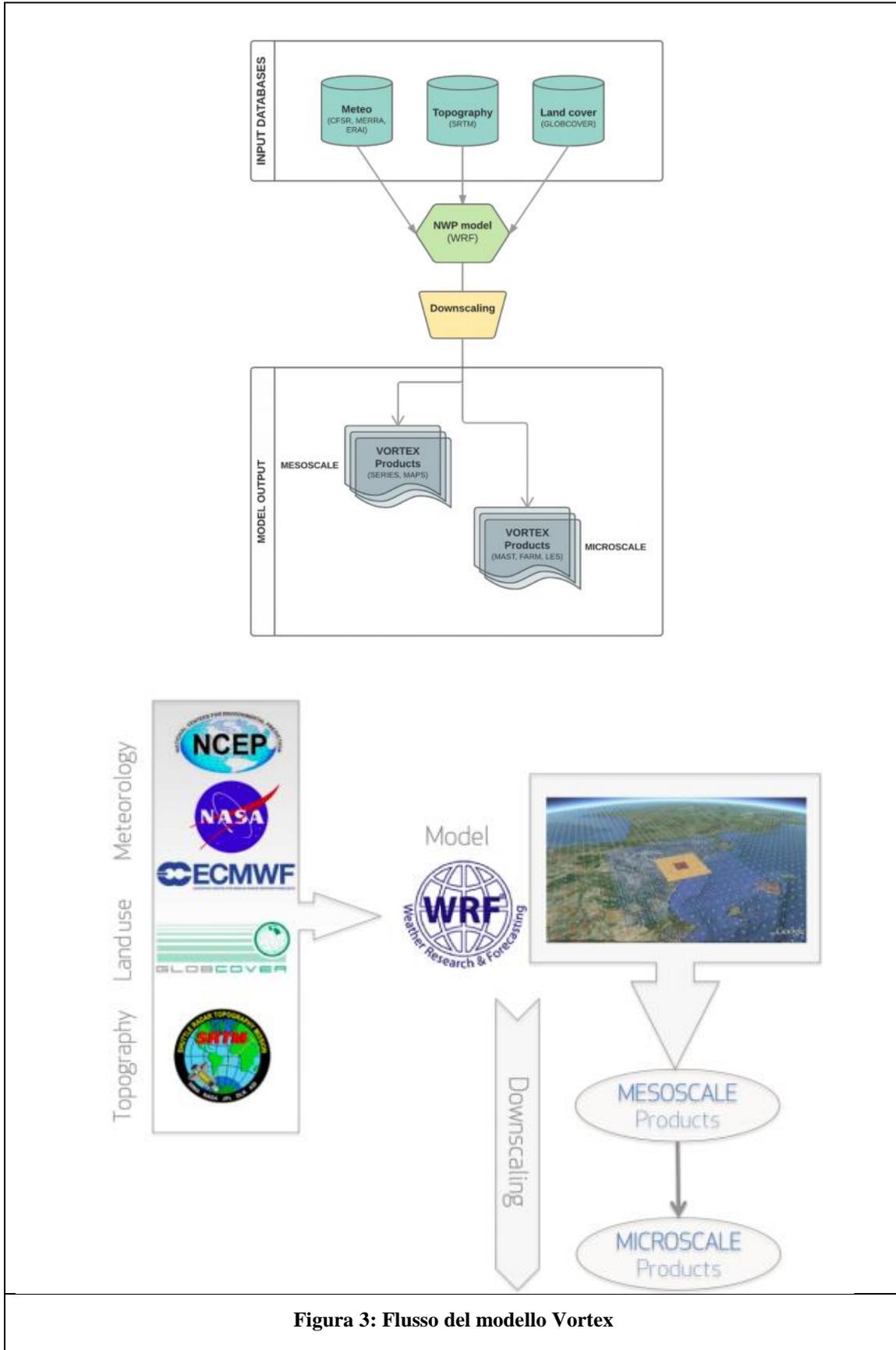


Figura 3: Flusso del modello Vortex

Dai in ingresso del modello

Per Troia 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, zone 33)	
				X	
Troia	01.01.2018-31.12.2018	150 m	1 hour	526437	Troia

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 Troia. I dati contengono velocità e direzione del vento così come pressione, temperatura, umidità.

WPD ha acquistato un anno di dati dalla Vortex society.

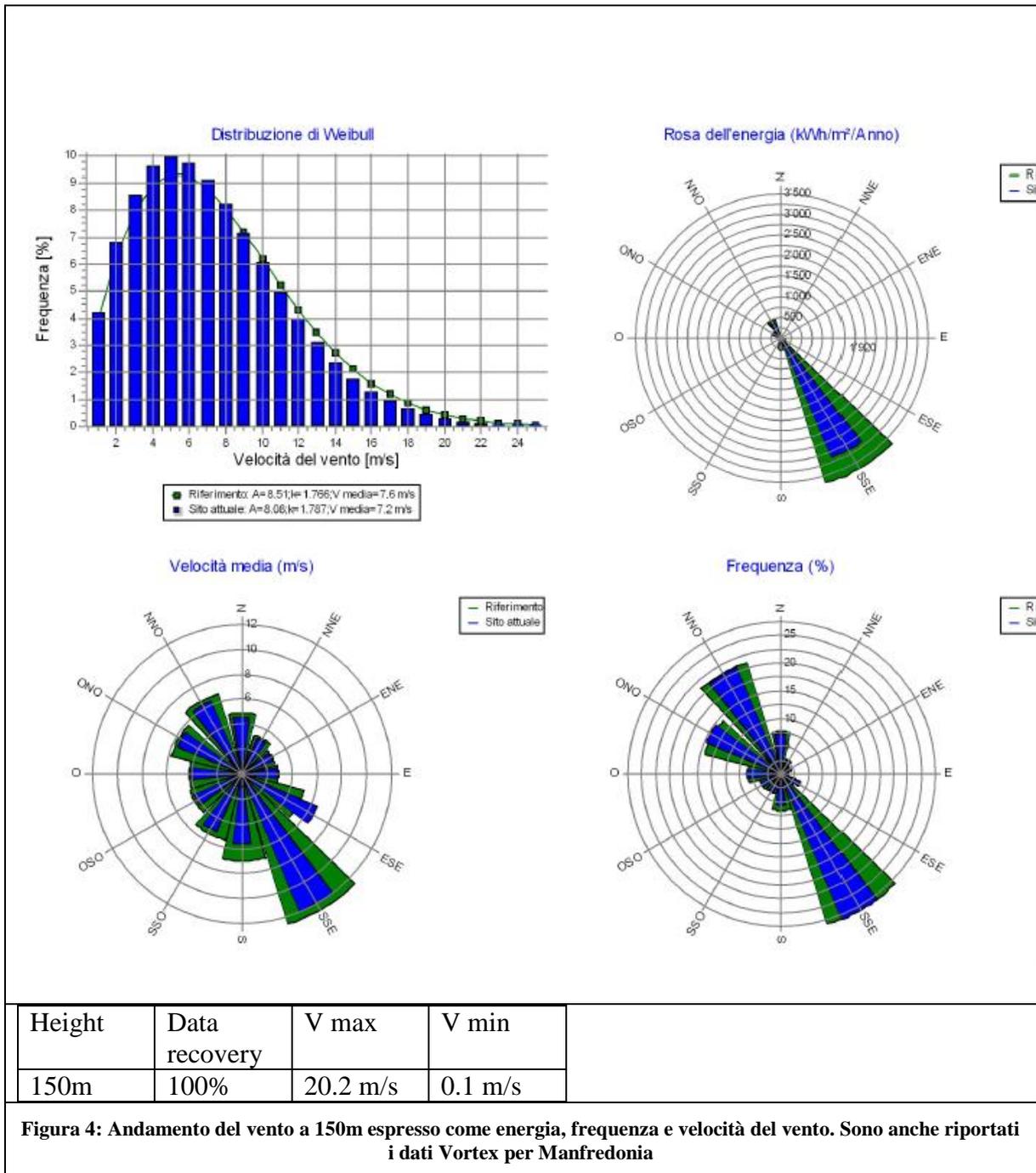
Correlazione a lungo termine

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

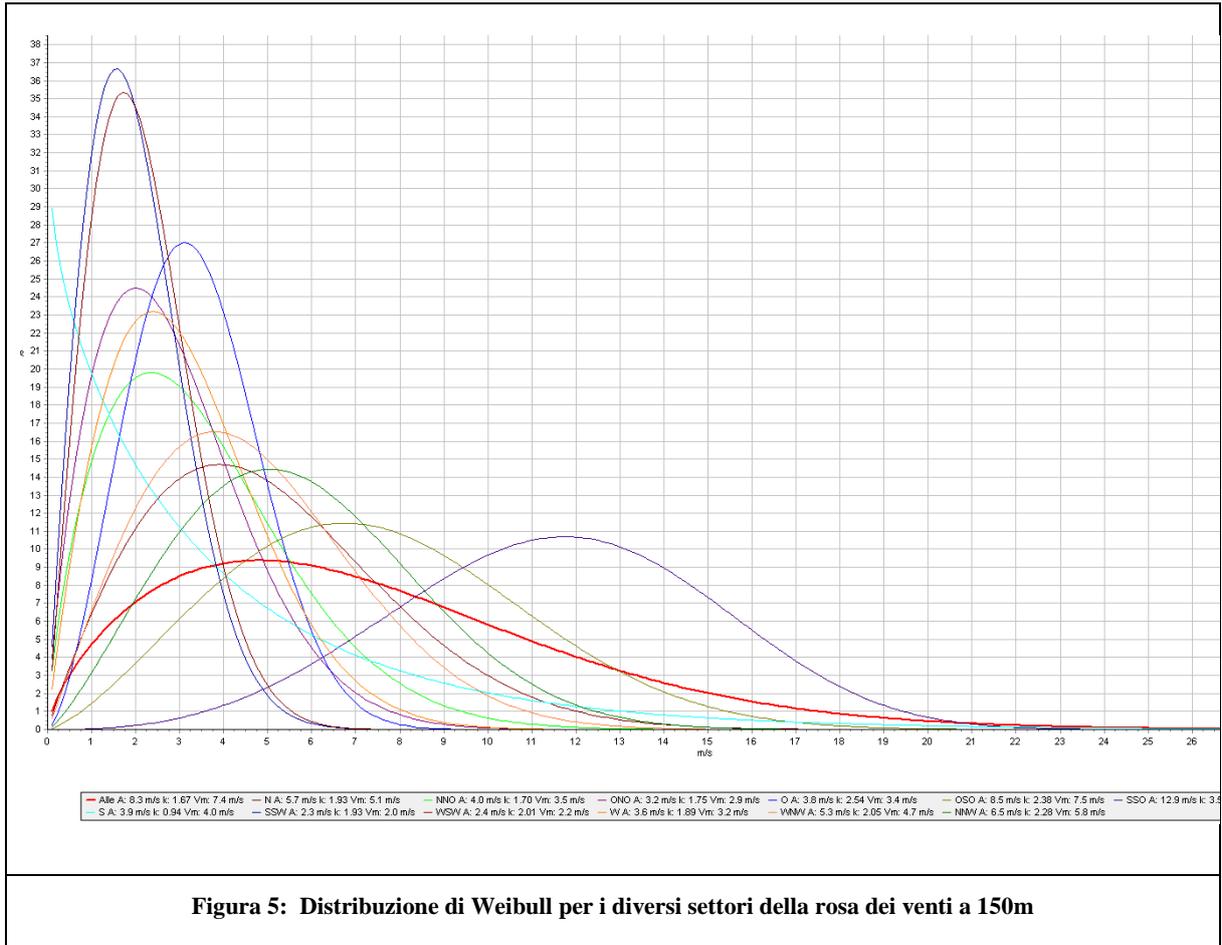
Il quale ha mostrato un valore di 7m/s per il sito di Troia.

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.



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.



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

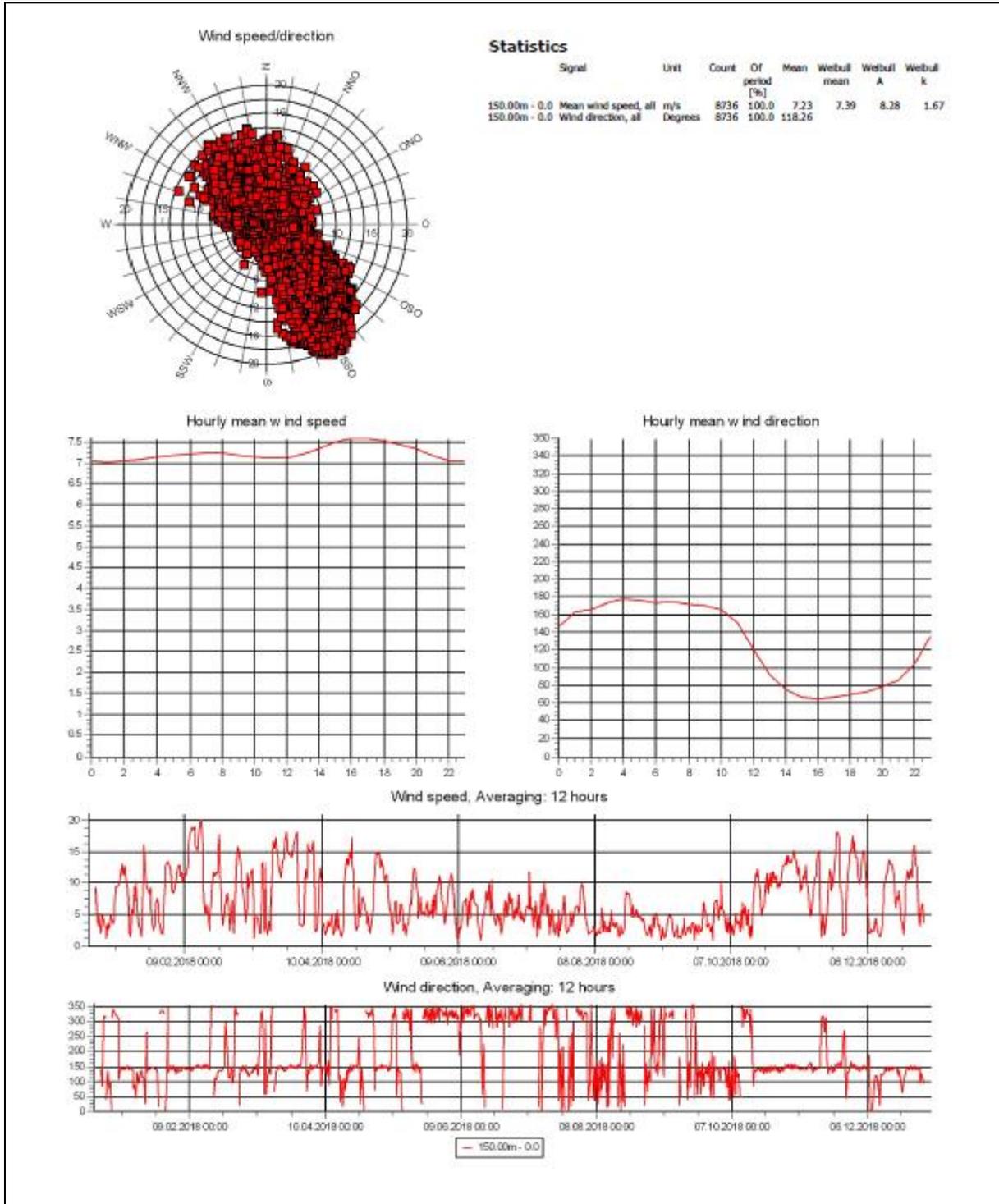
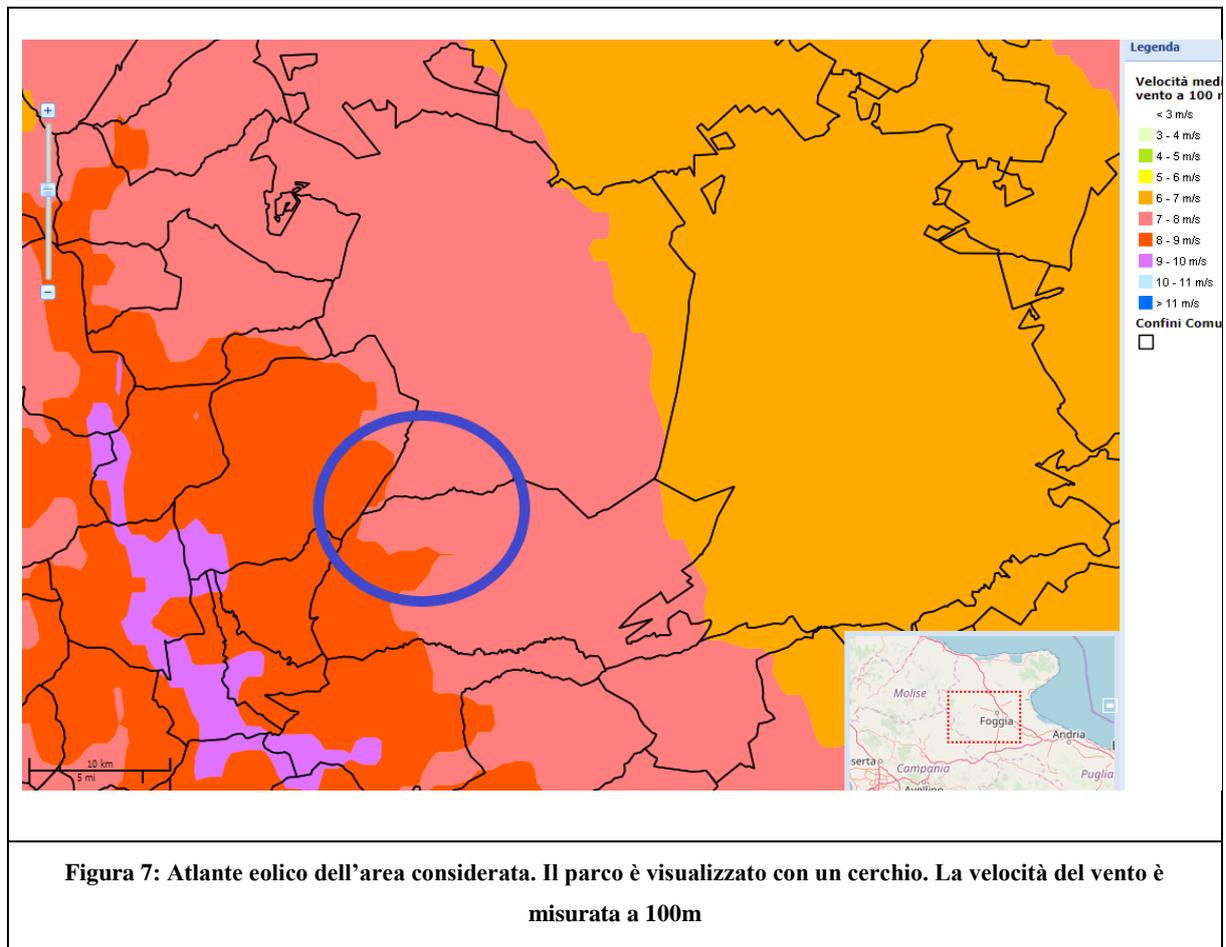


Figura 6: Andamento giornaliero del vento in termini di direzione e intensità correzione a lungo termine

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 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.



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	3.1%	
Vertical extrapolation	2.04%	
Horizontal extrapolation	1.6%	
Total uncertainty wind related	5.0%	9.6%
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%	8.6%
availability		3.0%
Overall uncertainty 10 years		10.6%

Incerteza totale: 10.6 %

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.

Statistica	Tipo di WTG		Tipo generatore	Potenza nominale	Diametro rotore	Altezza mozzo	Altezza di dislocamento	Curva di potenza		Produzione annua	
	Valida	Prod.						Creata da	Nome	Risultato	Wak los
				[kW]	[m]	[m]	[m]			[MWh/anno]	[%]
01 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'763.2	3
02 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'631.8	4
03 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'992.7	2
04 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'893.8	3
05 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'894.6	4
06 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'889.9	3
07 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'874.6	5
08 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'911.2	0
09 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'363.6	3
10 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'022.0	3
11 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'616.1	4
12 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'695.8	6
13 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'684.0	4
14 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'424.9	0
15 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	20'171.6	1
16 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'005.9	2
17 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'429.1	4
18 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'825.6	4
19 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'932.9	2
20 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'335.3	1
21 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	18'003.8	1
22 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'885.3	0
23 A	Si	GE WIND ENERGY	5.3-158 Thrust 665-5'300	5'300	158.0	120.9	Sector wise	EMD	5.3-158 NO Med TI	17'667.2	2

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.

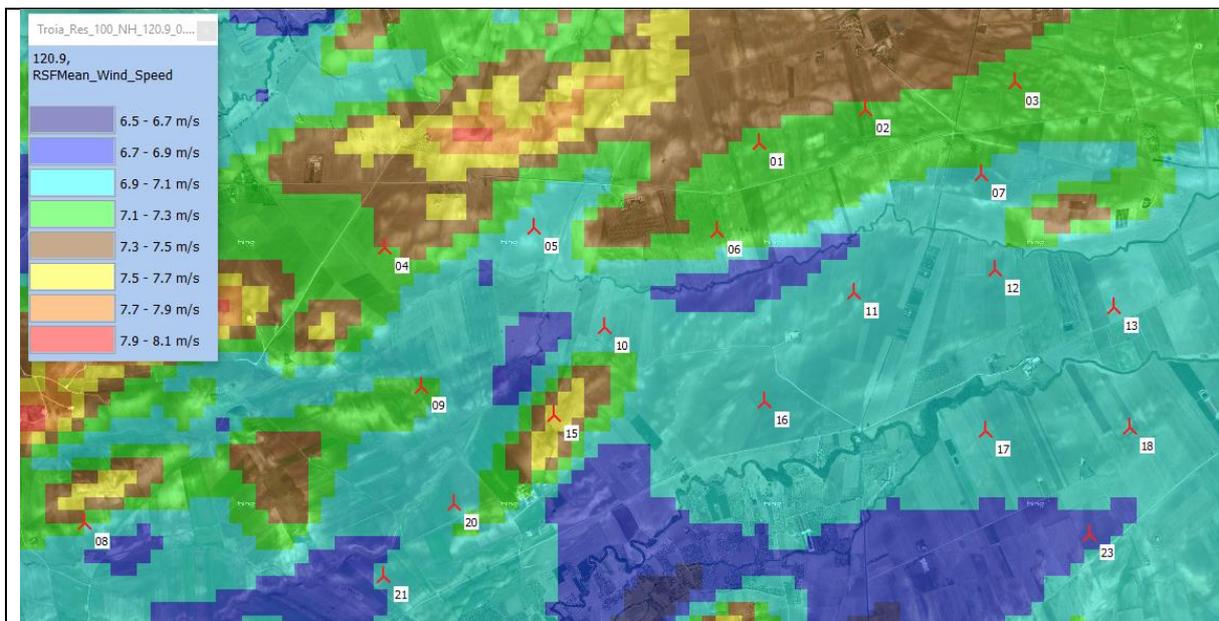


Figura 9: Mappe del vento elaborate con windpro. Andamento a 150m su una risoluzione di 100m

7. 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 in un'area dei territori dei Comuni di Troia, Lucera e Biccari (FG)

Il parco eolico proposto è costituito da 23 aerogeneratori GE158 con una potenza nominale di 5,3 MW, ad una altezza di 121 m, 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.

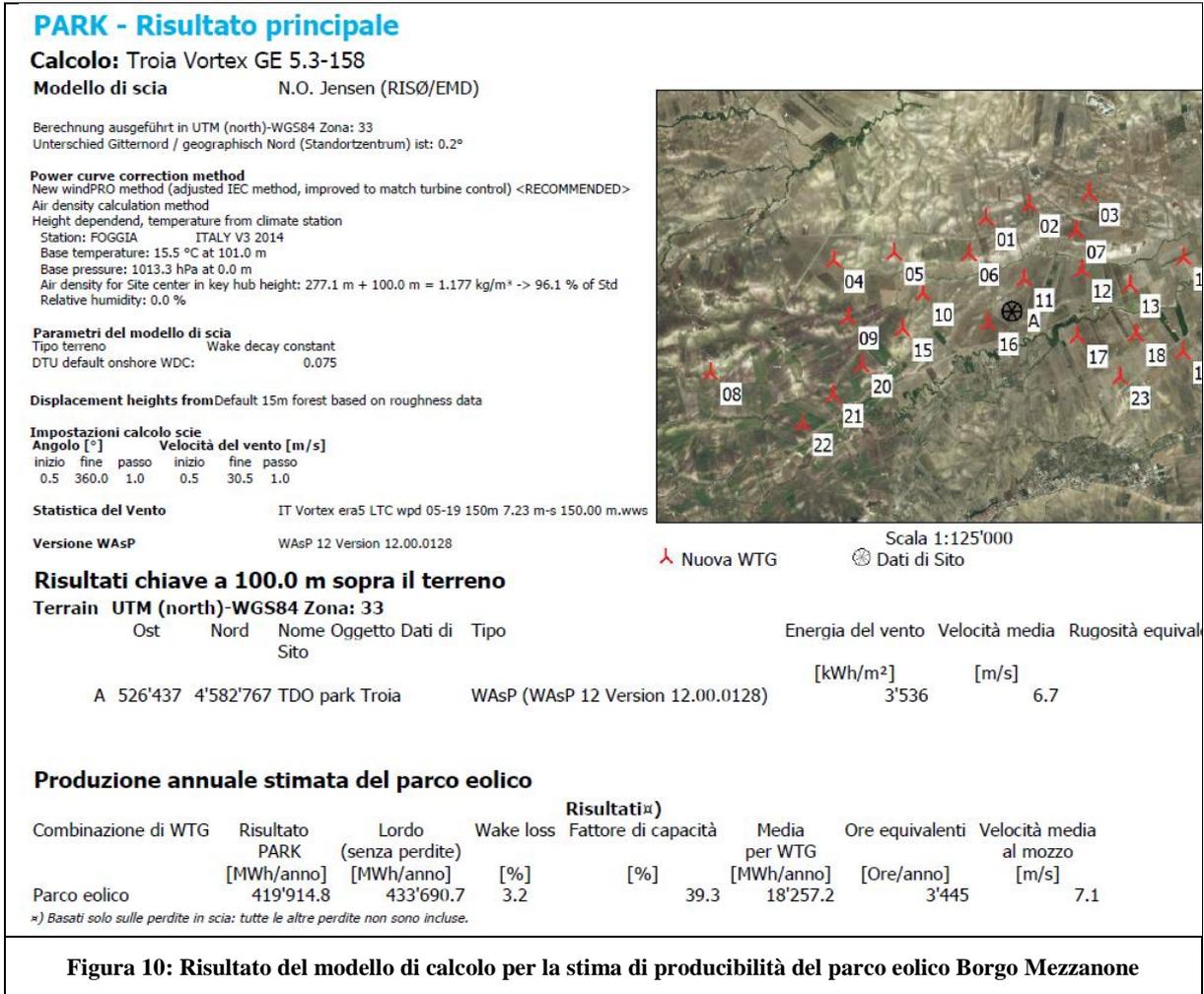
Sono stati utilizzati i dati di un modello matematico complesso Vortex per ottenere un serie temporale meteorologica rappresentativa dell'area; il dato è stato poi paragonato con l'atlante eolico.

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 Troia si ipotizza una produzione annuale intorno ai 433.690,7 MWh/anno, che equivale a circa 3.445 ore equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato in Figura 10Figura 8.



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