

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA
"Masseria Muro" DI POTENZA PARI A 90 MW**

**REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI**

**PARCO EOLICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI:
Mesagne, Brindisi, San Donaci, San Pancrazio, Cellino San Marco**

**PROGETTO DEFINITIVO
Id AU ORE7Q71**

Tav.:

Titolo:

31

**Analisi di producibilità dell'impianto (con dati del
vento almeno di un anno)**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato:

n.a.

A4

ORE7Q71_DocumentazioneSpecialistica_31

Progettazione:

Committente:

STC S.r.l.

Via V. M. STAMPACCHIA, 48 - 73100 Lecce
Tel. +39 0832 1798355
fablo.calcarella@gmail.com - fablo.calcarella@ingpec.eu

Direttore Tecnico: 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:
Marzo 2020	Prima emissione	STC S.r.l.	FC	wpd MURO s.r.l.

PROGETTO DEL PARCO EOLICO “MASSERIA MURO”

NEI COMUNI DI MESAGNE, BRINDISI, SAN DONACI E SAN PANCRAZIO SALENTINO

RELAZIONE ANEMOLOGICA

1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha lo scopo di valutare la risorsa eolica in riferimento al progetto di parco eolico nei comuni di Mesagne, Brindisi, San Donaci e San Pancrazio Salentino (tutti nella provincia di Brindisi). In particolare, verrà riportata la descrizione della campagna anemometrica effettuata in sito e la producibilità espressa in ore equivalenti di funzionamento a pieno carico in un anno solare.

2. DESCRIZIONE DEL SITO

Il parco eolico proposto si sviluppa all'interno dei territori comunali di Mesagne, Brindisi, San Donaci e San Pancrazio Salentino.

L'area di posizionamento degli aerogeneratori è caratterizzata da una complessità orografica bassa. Topograficamente ha una altezza compresa tra 50 e 80 metri, 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.

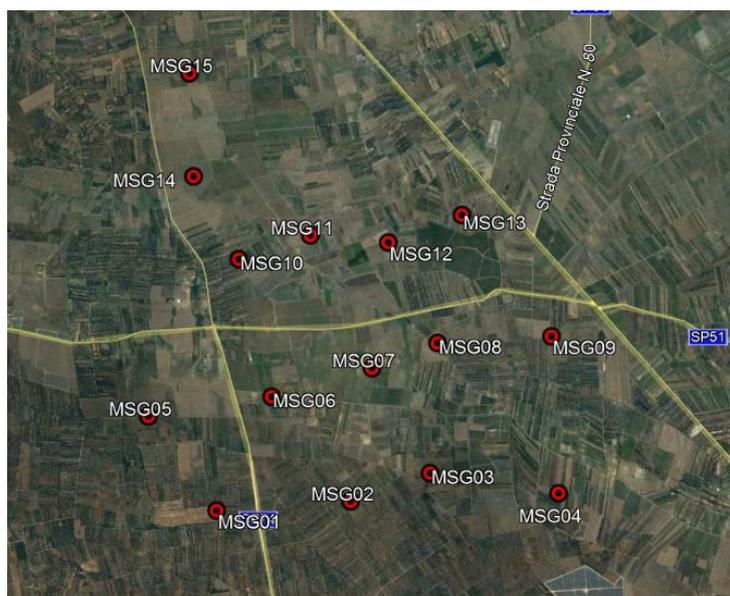


Fig. 1 - Layout del parco eolico su ortofoto

3. LAYOUT DEL PARCO

Il parco eolico è costituito da 15 aerogeneratori di ultima generazione con caratteristiche dimensionali e prestazionali riassunte qui sotto:

- Diametro massimo rotore: 170 m
- Altezza massima torre: 165 m
- Altezza massima tip pala: 250 m
- Potenza nominale massima: 6 MW

Le turbine sono state disposte in modo da massimizzare la produzione elettrica del parco e ridurre gli effetti aerodinamici.

wpdMuro - mesagne			
Coordinate UTM WGS 84 Fuso 33			
WTG	X	Y	Z
MSG 1	740196	4483484	57,373
MSG 2	741695	4483547	51,798
MSG 3	742591	4483840	50,858
MSG 4	744021	4483576	48,555
MSG 5	739462	4484560	58,145
MSG 6	740851	4484740	59,312
MSG 7	741973	4485035	68,376
MSG 8	742714	4485298	70,891
MSG 9	743986	4485339	68,228
MSG 10	740522	4486294	77,037
MSG 11	741327	4486541	76,737
MSG 12	742194	4486438	75,728
MSG 13	743023	4486724	75,368
MSG 14	740042	4487235	79,097
MSG 15	740028	4488390	80,134

Tab. 1 - Coordinate aerogeneratori in UTM WGS84

4. 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 Mesagne 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

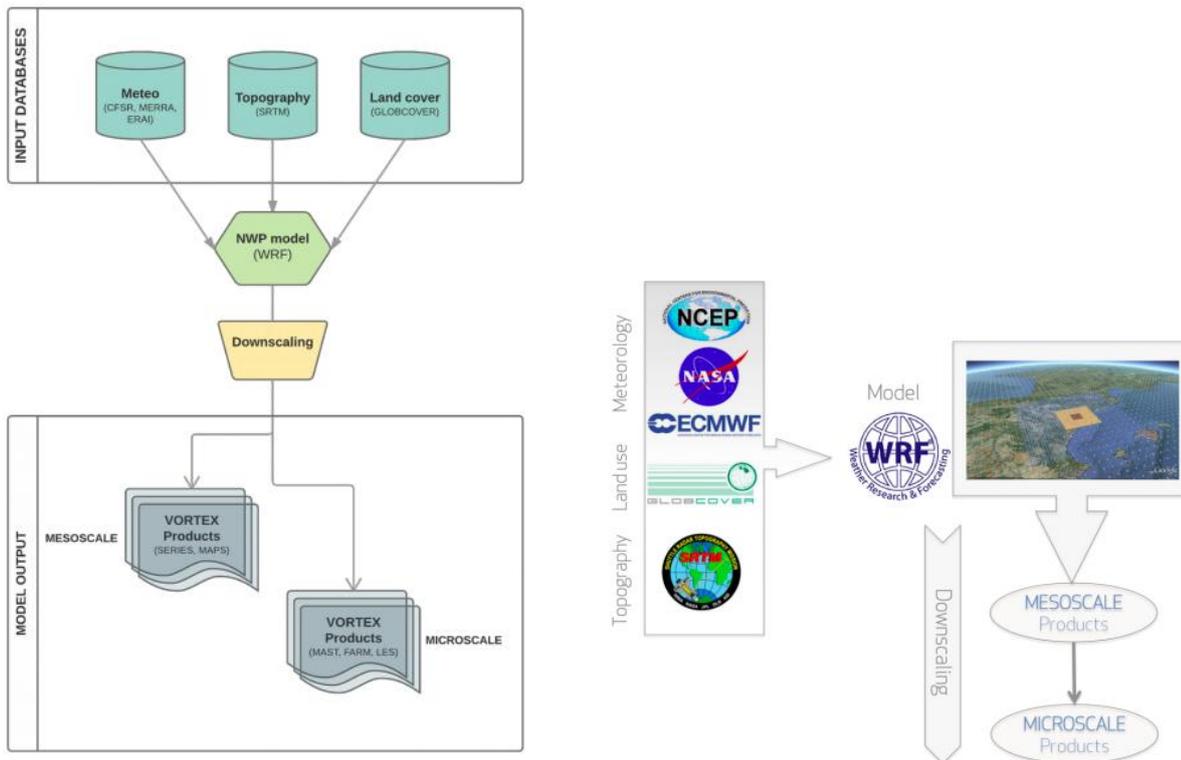
La metodologia utilizzata si chiama ConWx. Non è altro CHE un modello matematico ad alta risoluzione, rappresentativo delle condizioni climatiche. Numerosi studi hanno dimostrato essere uno strumento estremamente efficace per la previsione al lungo termine della ventosità ed utilizzato ampiamente nell'ambito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

È stato predisposto un periodo di misura pari a 10 anni, inserendo nel modello dati topografici, dati sull'uso del suolo e dati meteorologici basati su dati satellitari. Il modello a mesoscala ottenuto con WRF è stato poi scalato alla microscala fino al sito di Mesagne. Nella Figura seguente è mostrato il flusso di informazioni in ingresso del modello ConWx, fino ad arrivare ai dati puntuali del sito specifico.



Dati in ingresso del modello

I dati meteorologici di input sono i cfsr. Sono dati satellitari disponibili dal 1979 su una griglia di rivoluzione 50 km x 50 km, 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 tipografici sono i dati ad alta risoluzione del SRTM data base.

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

Dati in uscita del modello

I dati simulati riguardano dieci anni per il sito di Mesagne. I dati contengono velocità e direzione del vento così come pressione, temperatura e umidità.

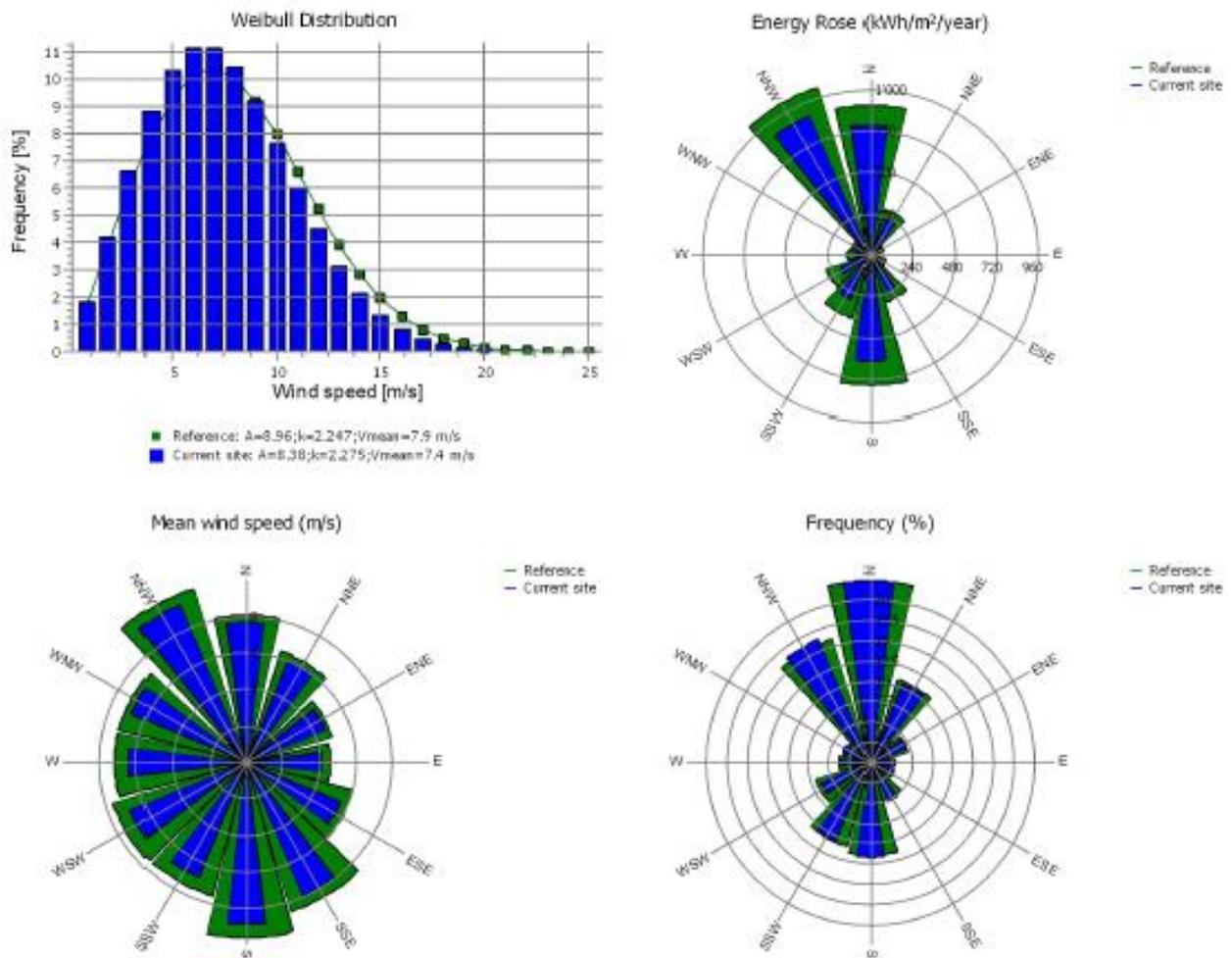
Correlazione a lungo termine

I dati sono stati corretti sul lungo termine, ottenendo un valore di circa 7m/s per il sito di Mesagne.

Il risultato finale è riportato nelle seguenti figure.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**3 mostra quale è la direzione principale del vento e quale la sua intensità.

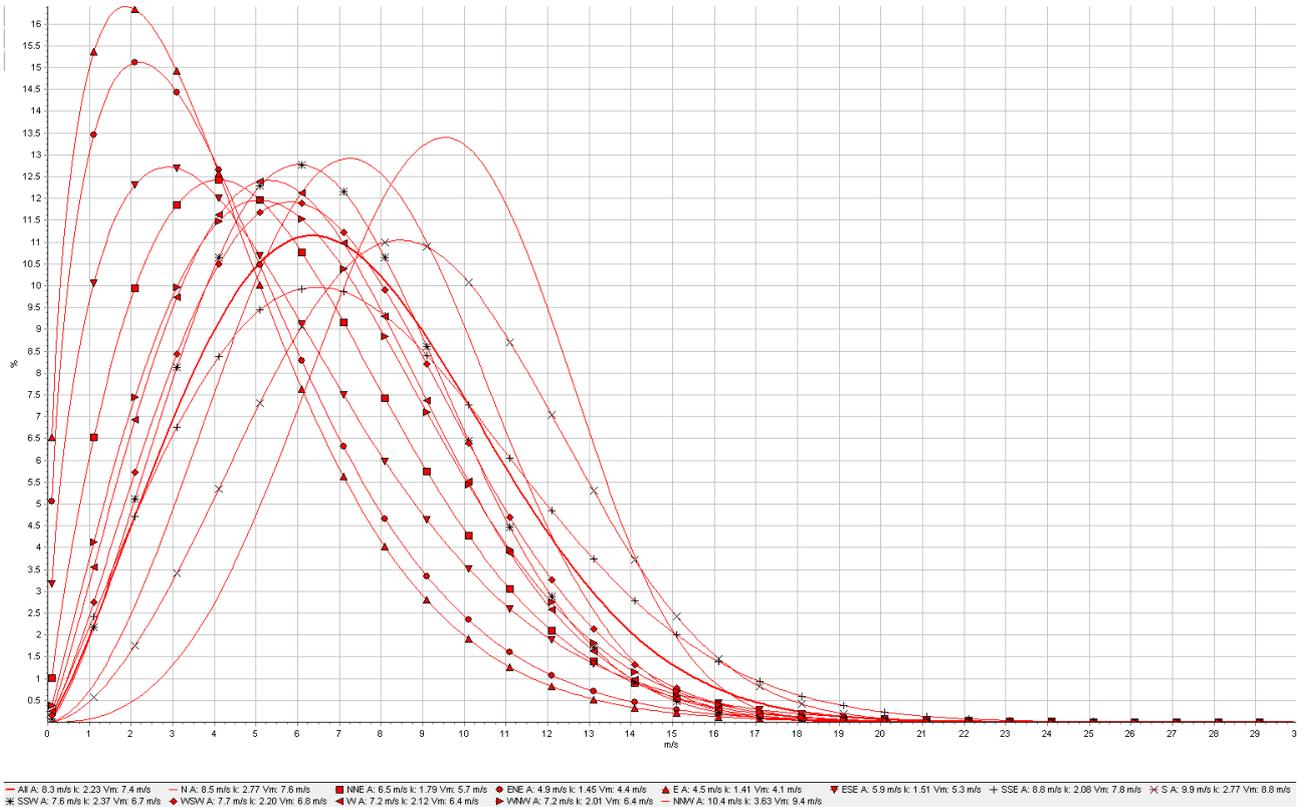
Andamento del vento a 165 m espresso come energia, frequenza e velocità del vento. Sono anche riportati i dati ConWx



Height	Data recovery	V mean	V max
165 m	100%	7.26 m/s	26.1 m/s

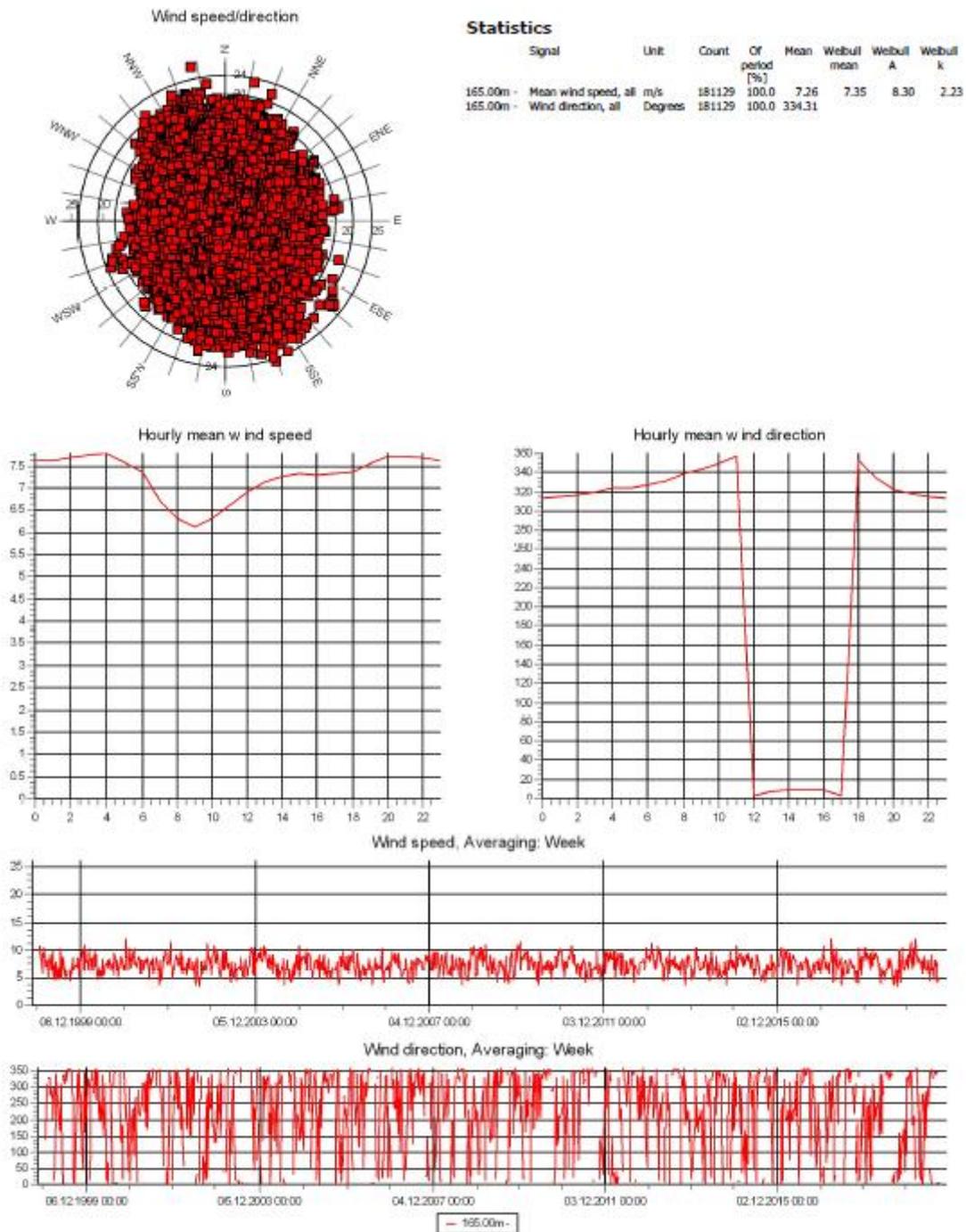
Nella figura seguente è riportata la distribuzione di Weibull per i diversi settori della rosa dei venti. La distribuzione di Weibull è la componente statistica della nostra analisi e grazie ad essa si ha una stima realistica della produttiva del parco.

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



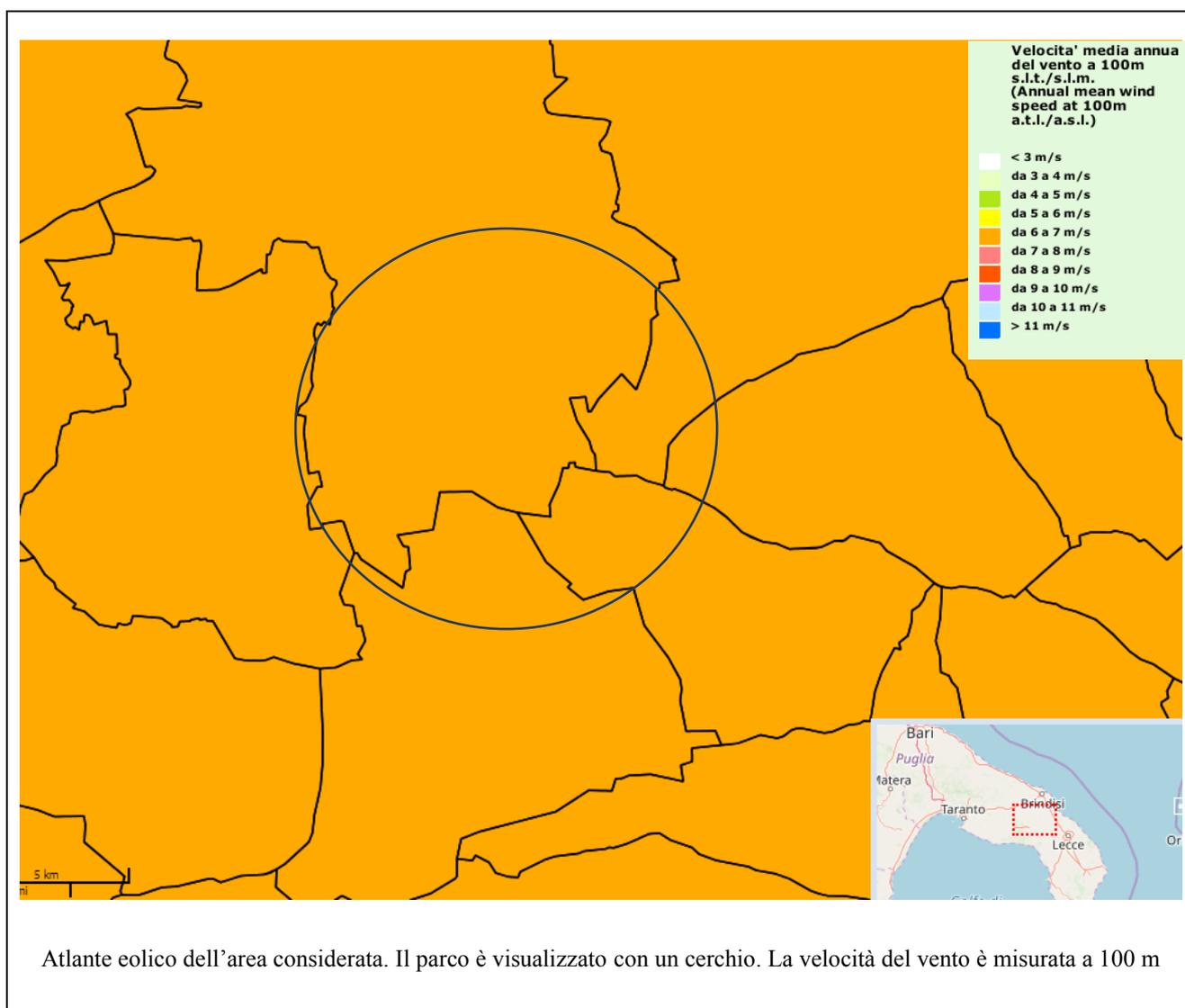
In figura seguente è riportato l'andamento giornaliero del dato meteorologico come direzione e intensità del vento corretto sul lungo termine.

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



5. ANALISI DEI DATI METEREologici COMPARATIVI: ATLANTE EOLICO

In un'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. È stato scelto come rappresentazione della velocità media quella a livello 100 m, 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 165 m sul livello del suolo è l'altezza di riferimento dei nostri studi. In figura seguente la massima altezza di studio è impostata a un massimo di 100 m, 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.



6. RISULTATI DEI MODELLI MATEMATICI PER LE RAPPRESENTAZIONI DEI FLUSSI DI VENTO

Per calcolare la variazione della risorsa eolica lungo tutta l'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 misurati 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.

7. STIMA DELLA PRODUZIONE ENERGETICA DEL PARCO EOLICO

Dall'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 Wind Pro 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%

Incerteza totale: 17.3 %

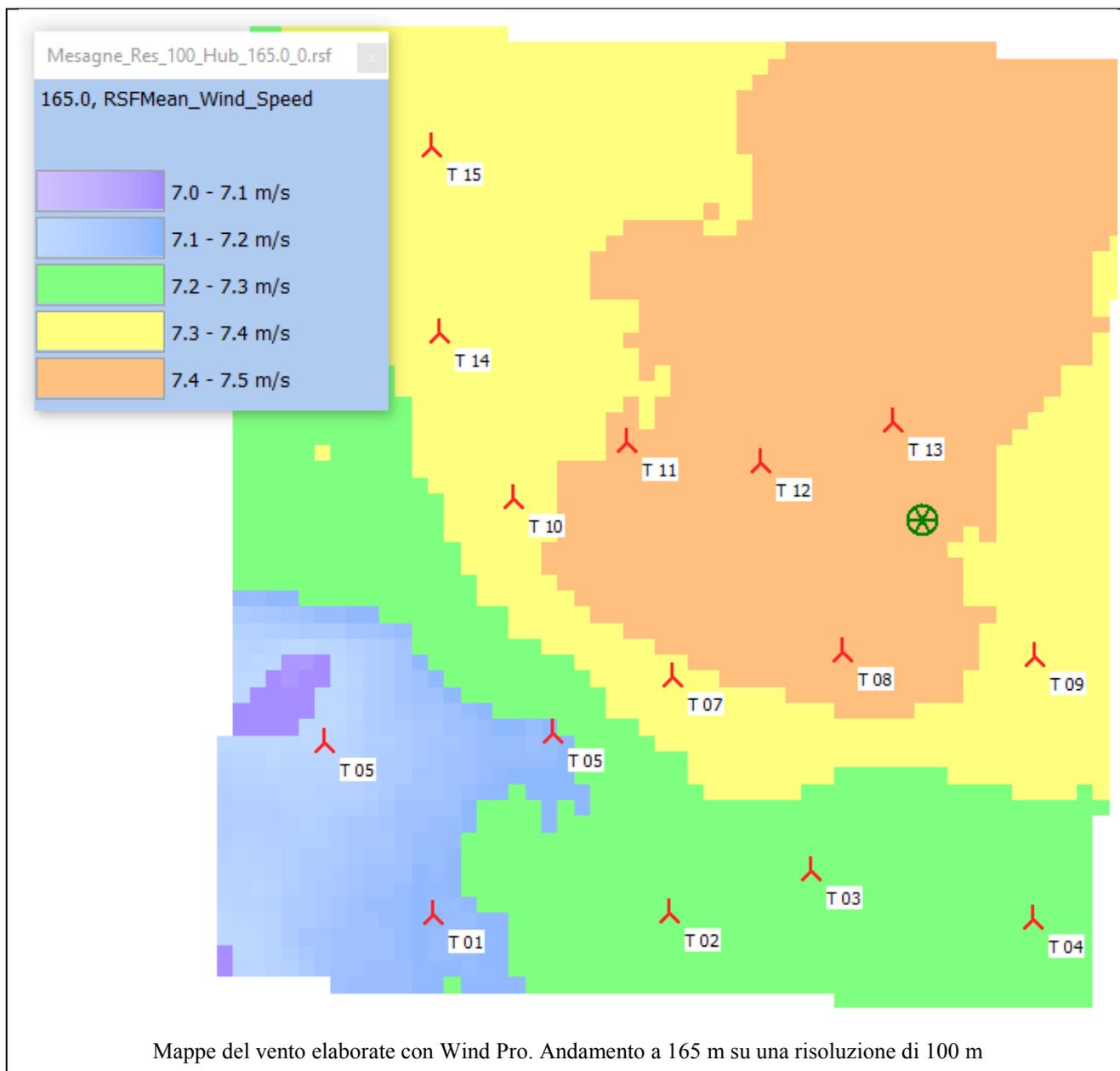
Questi valori sono quelli che si indicano come “coefficienti di perdita” della produzione attesa e che contribuiscono a ridurre il valore di produzione stimato dai modelli matematici.

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

WTG type		Power curve					Annual Energy				
Links	Valid	Manufact.	Type-generator	Power, rated	Rotor diameter	Hub height	Creator	Name	Result	Wake loss	Free mean wind speed
				[kW]	[m]	[m]			[MWh/y]	[%]	[m/s]
1 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'424.8	4.5	7.19
2 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'290.0	6.2	7.23
3 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'306.2	6.5	7.25
4 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'927.5	3.7	7.25
5 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'562.8	2.1	7.11
6 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'187.1	5.8	7.19
7 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	22'811.7	6.9	7.38
8 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'197.7	6.2	7.43
9 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'732.1	3.0	7.38
10 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'164.5	5.1	7.37
11 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'553.9	4.3	7.40
12 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'769.8	3.8	7.42
13 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'892.8	3.3	7.43
14 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'309.6	4.1	7.35
15 A	Yes	Siemens Gamesa	SG6.0-170-6'000	6'000	170.0	165.0	USER	Confidential - SG 6.0-170	23'816.6	2.0	7.35

Stima della produzione per il parco eolico di Mesagne.

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



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 territorio dei Comuni di Mesagne (BR), San Donaci (BR), Brindisi e San Pancrazio Salentino (BR).

Il parco eolico proposto è costituito da 15 aerogeneratori Siemens Gamesa SG6.0-170 con una potenza nominale di 6,0 MW, ed un'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.

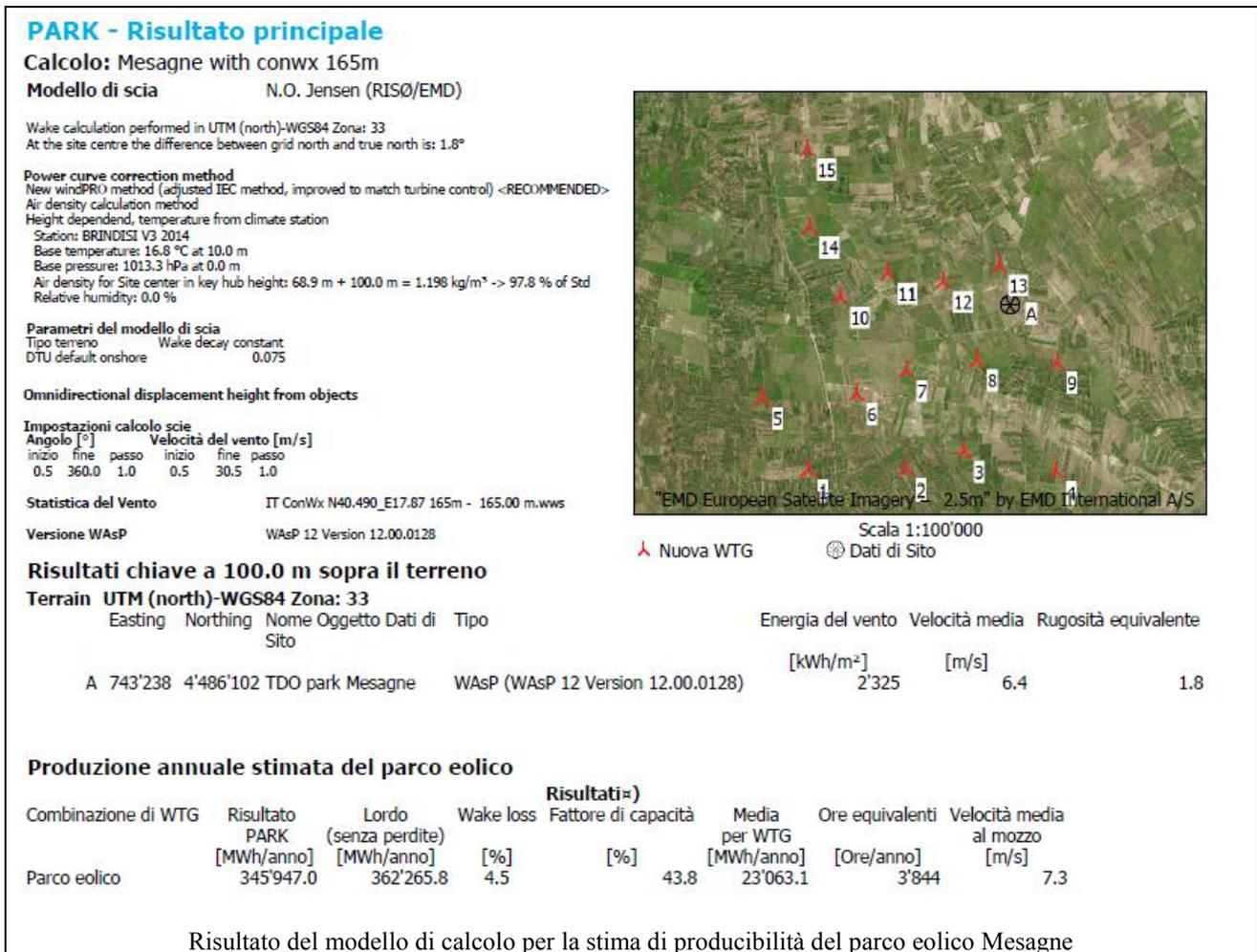
Sono stati utilizzati i dati di un modello matematico complesso ConWx per ottenere un serie temporale meteorologica rappresentativa dell'area; il dato è stato poi paragonato con l'atlante eolico.

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 di 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, si può concludere, che per il complesso del sito di Mesagne si ipotizza una produzione annuale intorno ai 345.947 MWh/anno, che equivale a circa 3.844 ore equivalenti per l'impianto di aerogeneratori considerato, così come riportato nella seguente figura.



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