



UNIONE EUROPEA



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SARDEGNA



OPERA:

PROGETTO DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE DENOMINATA "SARDEGNA 1" NEL CANALE DI SARDEGNA E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

Art. 21, D.Lgs. n. 152/2006 - DEFINIZIONE DEI CONTENUTI SIA (SCOPING)

COMMITTENTE:



Renexia

RENEXIA S.p.A.

Viale Abruzzo, 410 - 66100 Chieti
tel 0871 58745 - fax 0871 5874413
www.renexia.it - renexia@pec.totoholding.it

PROGETTISTA:



MPOWER S.r.l.

Dott. Ing. Edoardo Boscarino
(Project Manager)



PROJECT TEAM:

Dott. Arch. Attilio Massarelli (Staff di Coordinamento e Rendering)
Dott. Ing. Giovanni Battaglia (Staff di Coordinamento)
Dott. Arch. Erica Casamento (Fotosimulazioni e Rendering)
Dott. Alessandro Treffiletti (GIS)
Dott. Ing. Elio Occhino (Acustica Ambientale)
Dott. Geol. Salvatore Bannò (Geologia)
Dott. Geol. Stefania Serra (Aspetti Naturalistici ed Ambientali)
Dott. Rodolfo Brancato (Archeologia)

OGGETTO:

ELABORATI

RELAZIONE TECNICA ANALISI DELLA PRODUCIBILITA' DEL SITO

00	30-07-2021	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	PM	EB	RX								
REV.	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE								
SCALA:	-	CODICE DOCUMENTO:	CODICE ELABORATO:										
FORMATO:	A4	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>SCOP</td> <td>R.09</td> <td>00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>FASE</td> <td>TAVOLA</td> <td>REV.</td> </tr> </table>	COMMESSA	SCOP	R.09	00		FASE	TAVOLA	REV.	R.09.00		
COMMESSA	SCOP	R.09	00										
	FASE	TAVOLA	REV.										

Analisi Anemologica

Realizzazione di una centrale eolica
Off-shore Sardegna

Indice

1	Descrizione progetto	2
1.1	Premessa	2
1.2	Introduzione	3
1.3	Inquadramento geografico	3
2	Anemometria e misurazione della fonte primaria	4
2.1	Metodologia generale	4
2.2	Dati ingresso del modello	4
3	Valutazione della produzione di energia	8
3.1	Aerogeneratore	10
4	Calcolo della resa energetica	11
4.1	Calcolo della resa energetica ideale	11
4.2	Calcolo della resa energetica reale	11
5	Conclusioni	13

1 Descrizione progetto

1.1 Premessa

L'Energia, tanto il suo sistema di produzione quanto la modalità di consumo, è strettamente legata, e di certo ne costituisce una delle cause principali, al problema del progressivo inquinamento atmosferico e alle conseguenze che da ciò scaturiscono.

L'effetto serra e le piogge acide ne sono un esempio. Il primo trae la sua origine dall'emissione in atmosfera di gas derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili, mentre le piogge acide sono generate dai sistemi di produzione di energia che sfruttano combustibili fossili con rilevante presenza di zolfo.

Il problema si aggrava se si considera che appena un terzo della popolazione mondiale, ovvero quella dei paesi più industrializzati, ha un livello medio di consumo di energia tale da lasciar prevedere che la situazione diventerà fisiologicamente insostenibile non appena si accentuerà il processo di integrazione tra i paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo.

La preoccupazione crescente per il problema ambientale, così come per il preservarsi della biodiversità e della salute pubblica, ha contribuito ad una presa di coscienza del problema energetico da parte dei governi di numerosi paesi ed ha portato alla stipula di un concordato per affrontarne le conseguenze. Nel 2012 le Nazioni Unite hanno tenuto a Rio de Janeiro la Conferenza sullo sviluppo sostenibile ribadendo quanto già espresso nella terza conferenza mondiale sul tema tenutasi a Kyoto nel Dicembre del 1997, nella quale è stato posto un limite all'incremento dei gas serra.

Il raggiungimento di questo obiettivo assieme allo stabilizzarsi di una situazione ambientalmente sostenibile che consenta il miglioramento del livello attuale di benessere, esige una profonda modifica del modello attuale di produzione di energia, aspetto che non può che avvenire attraverso una progressiva sostituzione di tutte le fonti fossili con fonti pulite e rinnovabili.

I vari sistemi di sfruttamento delle diverse fonti rinnovabili hanno raggiunto attualmente un differente grado di maturazione tecnologica. Per alcune fonti lo sfruttamento non è al momento percorribile economicamente. Tuttavia in qualche caso si è raggiunto un livello di maturazione tecnologica tale da rendere possibile il realizzarsi di un grado di utilizzo compatibile con gli obiettivi fissati. E' il caso dell'energia eolica che per le sue caratteristiche tecniche, ambientale, sociali ed economiche, risponde alle esigenze di diversificazione energetica e di riduzione del livello di contaminazione atmosferica che la situazione attuale impone.

1.2 Introduzione

Negli ultimi anni la politica di produzione di energia eolica ha rivolto la sua attenzione alla realizzazione di parchi eolici off-shore, in quanto presentano una maggiore efficienza da un punto di vista dello sfruttamento del potenziale eolico e caratterizzati da impatti ambientali e visivi generalmente inferiori rispetto agli impianti installati a terra.

La collocazione degli impianti in mare ha il vantaggio di offrire una migliore risorsa eolica e quindi una migliore producibilità energetica, una minore turbolenza del vento e quindi di una maggiore durabilità delle parti meccaniche, ed una migliore reperibilità di siti, essendo i siti onland soggetti a saturazione, anche per la non facile accettazione da parte delle popolazioni coinvolte nelle aree di installazione.

La scelta del posizionamento di un parco eolico è strettamente dipendente dall'approfondita analisi sia dalle condizioni offshore del sito, sia delle direzioni prevalenti di vento disponibili. Condizioni di vento, distanza dalla terraferma, condizioni di moto ondoso e correnti, profondità e caratteristiche morfologiche del sito costituiscono tutte fondamentali tematiche che vanno affrontate nella ricerca del posizionamento ottimale.

Un altro fattore che gioca a favore della scelta in mare, è il basso impatto paesaggistico che le windfarms hanno nonostante occupino vaste superfici, questo grazie alla loro locazione a qualche chilometro dalla costa che permette anche di fare girare il rotore a velocità maggiori a dispetto di una maggiore rumorosità.

La presente relazione è stata redatta al fine di descrivere le principali caratteristiche tecniche e la producibilità dell'impianto eolico ubicato a sud-ovest della Sardegna.

Il progetto prevede l'installazione di 37 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 15 MW per una potenza complessiva pari a 555 MW.

1.3 Inquadramento geografico

L'area dove si intende effettuare la costruzione del parco si trova nel mar Tirreno, a sud del golfo di Cagliari, ad una distanza di oltre 30km dalla costa sarda.

Il sito risulta essere molto esteso ed esposto a venti predominanti ed il layout è stato ottimizzato per migliorarne l'efficienza energetica, l'impatto visivo e le connessioni elettriche.

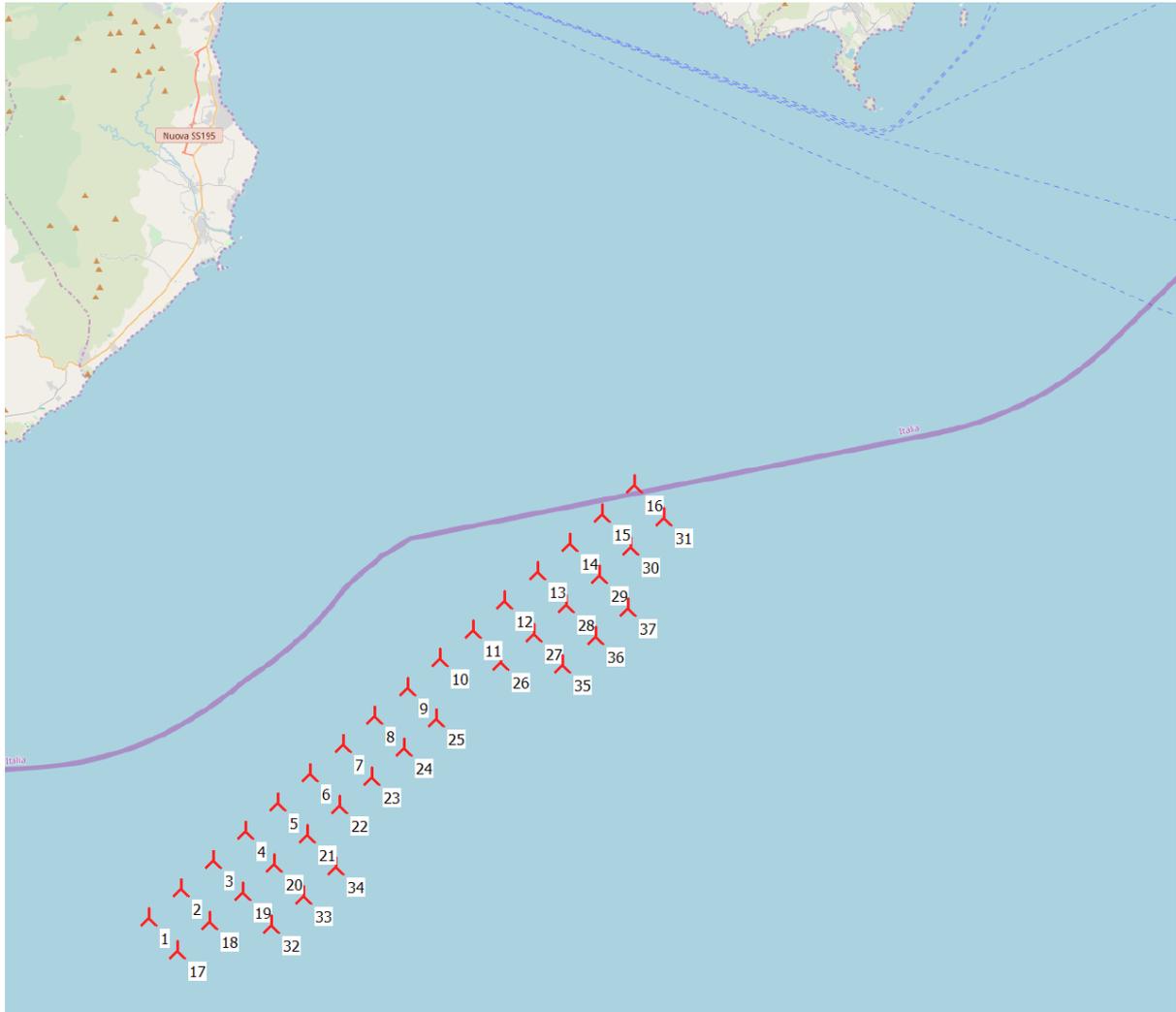


Figura 1. Inquadramento geografico



Figura 2. Esempio di impianto eolico off-shore

2 Anemometria e misurazione della fonte primaria

Un fattore cruciale per lo sviluppo, l'ubicazione e il funzionamento di un impianto eolico è la capacità di valutare e caratterizzare le risorse eoliche disponibili.

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, come in questo caso, è possibile utilizzare modelli sofisticati che analizzano dati metereologici satellitari.

2.1 Metodologia generale

La metodologia utilizzata si chiama EMD-WRF Europe+ (ERA5). Non è altro un modello matematico ad alta risoluzione, rappresentativo delle condizioni climatiche, basato sui dati di rianalisi ERA-5 di EMWF (<http://www.ecmwf.int>). 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 EMD-WRF Europe+ (ERA5) 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 mesoscala EMD-WRF Europe+ offre una risoluzione più elevata nello spazio, circa 3x3 km, e nel tempo e assimila più set di dati osservativi rispetto alle precedenti rianalisi, il che lo rende significativamente più accurato.

La convalida del modello EMD-EUR+ si basa su database interno di EMD di oltre 1000 stazioni di misura del vento condotte con torri di 50 m o superiori. Queste stazioni sono state installate per progetti energetici o per studi di ricerca ed hanno dati di misurazione di alta qualità.

Per la convalida del dominio EMD-EUR+ sono state selezionate 300 stazioni metereologiche in base a criteri oggettivi come altezza di misurazione, durata e qualità dei dati.

2.2 Dati ingresso del modello

I dati elaborati coprono un arco temporale di circa 20 anni tra il 2001 e il 2021, dati sufficienti per poter validare un periodo idoneo allo scopo della valutazione del potenziale eolico del sito preso in esame.

La climatologia della risorsa vento è rappresentata da una rosa dei venti, che rappresenta la distribuzione media della velocità divisa in intervalli di velocità (bin) e direzioni del vento (settori). La media annuale della velocità del vento calcolata a 150 m di altezza risulta pari a 7.8 m/s.

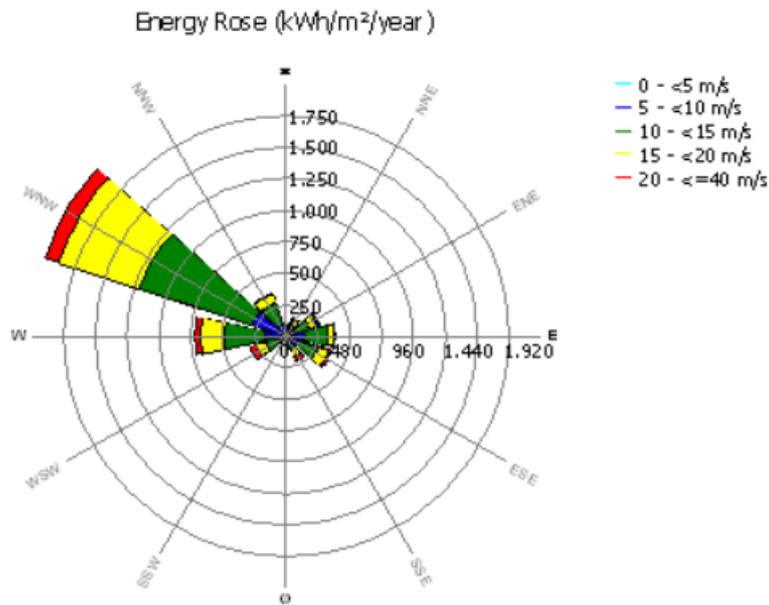


Figura 3. Rosa dei venti. Il colore di ogni bin dipende dalla velocità del vento come indicato nella legenda.

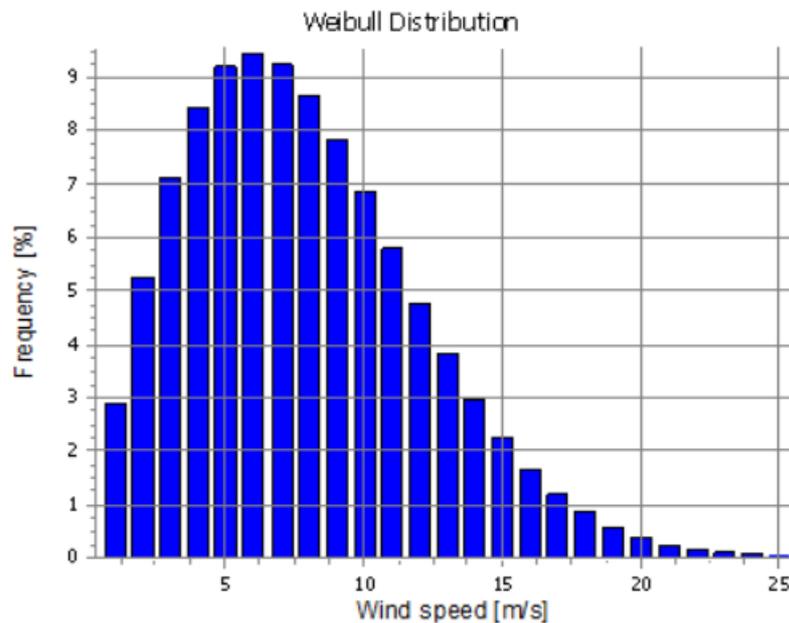


Figura 4. Distribuzione di Weibull

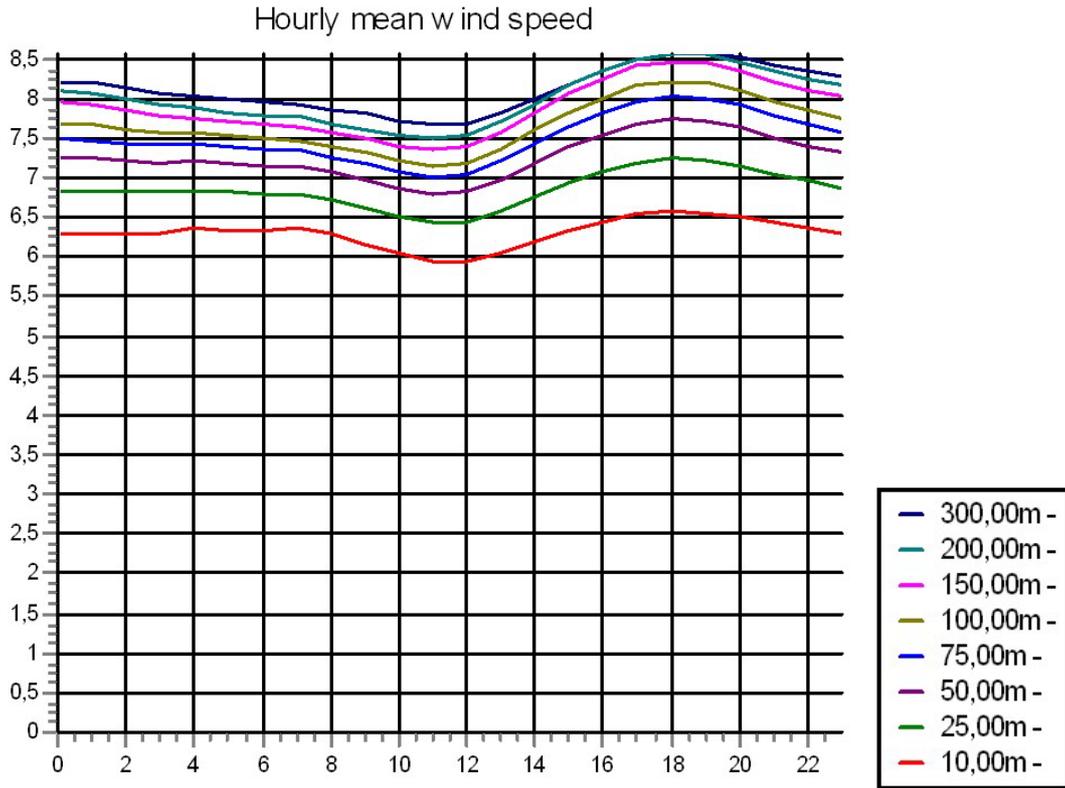


Figura 5. Variazione oraria della velocità del vento.

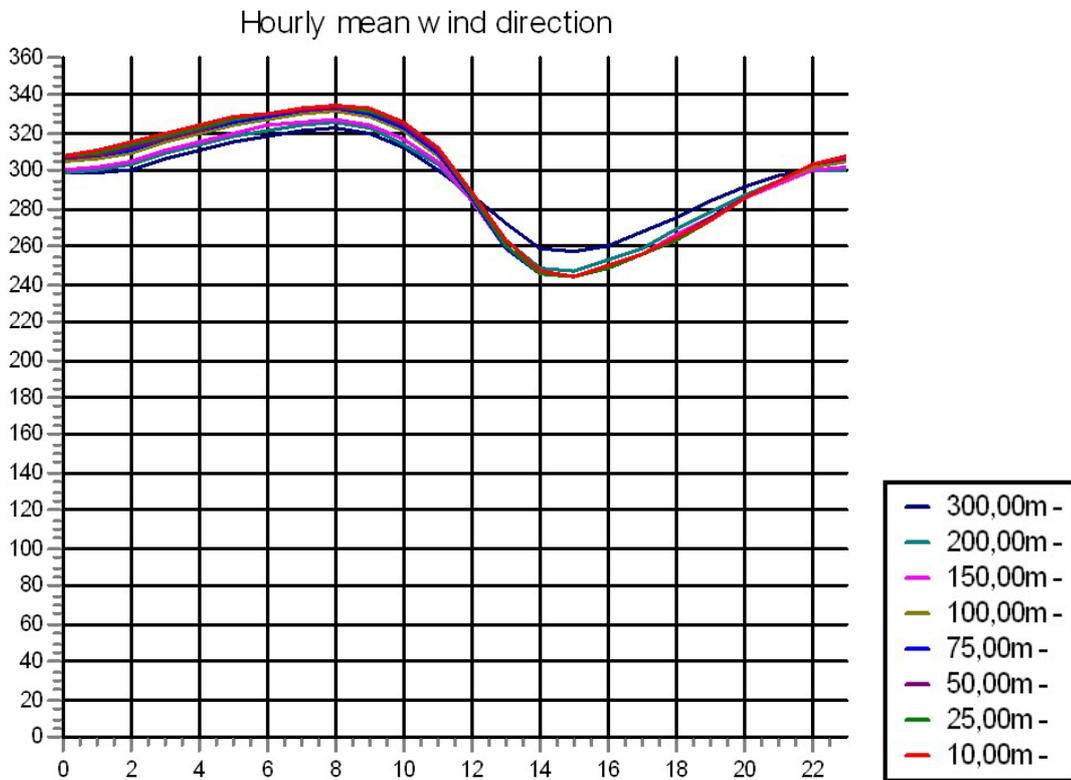


Figura 6. Variazione oraria della direzione del vento.

3 Valutazione della produzione di energia

La valutazione della produzione annua di energia mediante un aerogeneratore può essere effettuata molto semplicemente conoscendo la distribuzione di frequenza della velocità del vento, valutata all'altezza media del rotore, e la curva di potenza della macchina. Infatti, per ciascuna classe di velocità, il prodotto della potenza prodotta dalla turbina eolica per il corrispondente numero di ore/annue di persistenza di tale velocità del vento fornisce direttamente la produzione netta di energia. La somma delle produzioni energetiche relative a tutte le classi di velocità del vento è pari alla produzione energetica annua totale:

$$E_{E,N} = \sum_{i=1}^N n_i \cdot P_i$$

Un fattore molto rilevante per la valutazione della produzione di energia e della redditività dell'iniziativa è il cosiddetto "rendimento di schiera" del parco eolico. Infatti, per effetto del disturbo aerodinamico creato da ciascuna macchina sulle altre, la produzione di energia di una turbina inserita in un gruppo di macchine è minore della produzione energetica della stessa macchina installata in posizione isolata.

Per la determinazione della producibilità è stato utilizzato il modello WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) che è composto da un set di modelli matematici che hanno il compito di correggere le misure anemometriche al fine di ottenere una climatologia del vento della zona considerata. Inoltre, a partire dal database di dati del vento si ottiene una stima dell'energia eolica prodotta da una singola turbina oppure da una wind farm in un sito prestabilito. Le equazioni di base del modello sono la legge di similarità nello strato superficiale, che descrive il profilo verticale del vento nello Strato Limite Planetario, e la legge di resistenza geostrofica che collega il vento causato da attività "sinottiche" alla velocità di frizione superficiale.

La prima (Stull, 1988) è espressa dalla seguente formula:

$$u(z) = (u^*/k) \ln(z/z_0) \quad (1)$$

dove u^* è la velocità di frizione legata alla turbolenza, k è una costante adimensionale, nota come costante di Von Karman, il cui valore è di circa 0.35 e z_0 è la lunghezza di rugosità del terreno. La legge di resistenza geostrofica è data, in condizioni di neutralità atmosferica, da (Rossby & Montgomery, 1935):

$$G = (u^*/k) \{[\ln(u^*/fz_0) - A]^2 + B^2\}^{1/2} \quad (2)$$

dove G è il modulo del vento geostrofico, A e B costanti empiriche adimensionali, f il parametro di Coriolis. I sottomodelli sono il modello per la stabilità, il modello per il cambio di rugosità, il modello per gli ostacoli ed il modello per l'orografia; essi hanno il compito di modificare il profilo del vento al variare di alcune condizioni. Il modello per la stabilità si basa su alcune correzioni da apportare alla (1) al mutare delle condizioni di stabilità atmosferica e richiede come input le

medie climatologiche e gli scarti quadratici medi del flusso di calore superficiale. Il modello è derivato dalla (2) ed il profilo del vento è derivato da una espansione semplificata (Jensen et al., 1984) del primo ordine dell'espressione del flusso di calore sensibile per condizioni di neutralità atmosferica. Il modello per il cambio di rugosità ha il compito di modificare il profilo del vento quando il terreno non è omogeneo. In questo caso al terreno sono assegnate delle lunghezze di rugosità ed il flusso del vento, passando tra due superfici disomogenee, è calcolato da considerazioni sullo stato limite superficiale (Panofsky, 1973). Il modello per l'effetto – barriera entra in gioco considerando gli effetti di attrito causati dalla resistenza aerodinamica dovuta ad eventuali ostacoli con dimensioni variabili vicini all' anemometro o al sito eolico. Infatti è noto come in prossimità di un ostacolo, a distanze o quote comparabili con la sua altezza, il profilo del vento venga perturbato. Questo modello permette così di “pulire” il dato anemometrico eliminando questi effetti. Gli schemi usati sono derivati dalle espressioni date da Perera (1981). Il modello per l'orografia, come i due precedenti, viene utilizzato per correggere i dati del vento da effetti dovuti alle disomogeneità del terreno circostante; in questo caso vengono calcolati gli effetti indotti dalle variazioni altimetriche del terreno intorno alla stazione di misura (Troen et. al., 1981; Oberthettinger, 1973, Jensen et al., 1984).

Le relazioni grafiche – tabelle, diagrammi – sono state elaborate con WindPRO che esegue i calcoli di previsione della produzione del parco utilizzando il campo di ventosità calcolato con differenti metodologie.

3.3 Aerogeneratore

Per il progetto di cui trattasi, si è scelto di fare una stima della producibilità ipotizzando l'aerogeneratore che risponde al meglio al potenziale eolico del sito. Nella fattispecie l'aerogeneratore scelto ha un diametro di rotore pari a 236 m, un'altezza al mozzo di 150 m e una potenza unitaria di 15 MW.

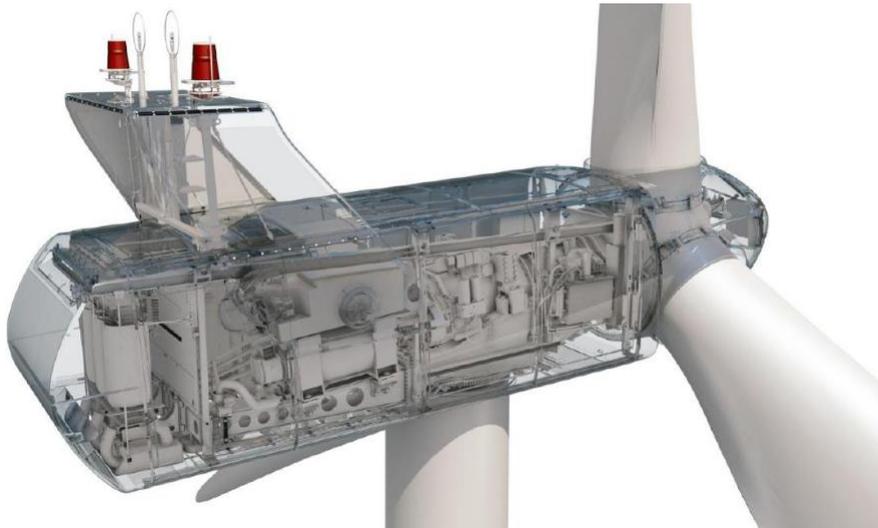


Figura 6. Vista interna della navicella in 3D

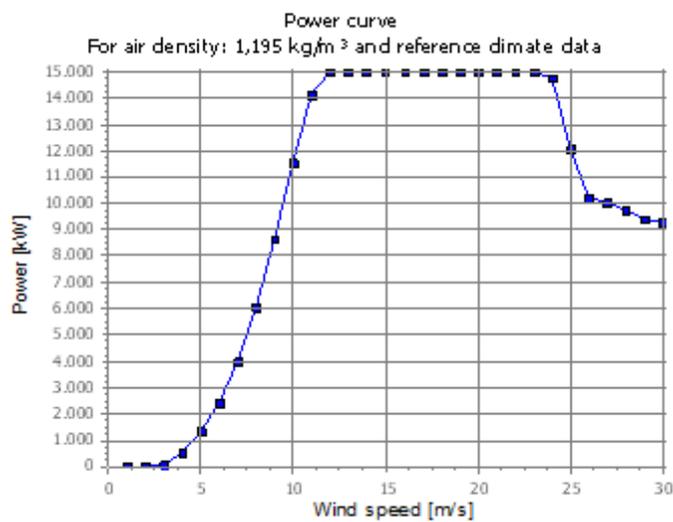


Figura 7. Curva di potenza alla densità dell'aria di 1,19 kg/m³

4 Calcolo della resa energetica

4.1 Calcolo della resa energetica ideale

La produzione di energia lorda è la produzione di energia del parco eolico calcolata, tenendo conto dell'orografia e della rugosità, della distribuzione della velocità del vento a flusso libero prevista all'altezza del mozzo di ogni posizione della turbina e della curva di potenza della turbina fornita dal produttore.

La distribuzione della velocità del vento a flusso libero è ottenuta dal modello di calcolo di WindPRO e dalle condizioni del vento in loco a lungo termine.

Le turbine eoliche, estraendo energia dal vento, fanno sì che la velocità della risorsa a valle dell'aerogeneratore si riduce. Man mano che il flusso procede, la scia si disperde e si recuperano le condizioni di flusso libero.

Il software inoltre calcola la densità dell'aria nella zona interessata, in modo da poter determinare le perdite energetiche dovute al cambio di densità dell'aria attraverso il rotore dell'aerogeneratore.

Nello specifico, il sito presenta una densità dell'aria di $1,195 \text{ kg/m}^3$ ad altezza del mozzo.

La produzione energetica, al netto delle perdite per scia, annua stimata è di circa 2.025,97 GWh corrispondenti a 3.650 ore equivalenti.

4.2 Calcolo della resa energetica reale

Ai fini del calcolo della producibilità reale di impianto, ovvero quella effettivamente messa in rete e dunque utile ai fini della vendita dell'energia, sono stati considerati i seguenti fattori:

Produzione energetica lorda	2.110,7 GWh/anno
Perdite per scia	- 4,00 %
Disponibilità aerogeneratori	- 3,00 %
Efficienza elettrica	- 3,00 %
Performance turbina	- 2,50 %
Altri fattori	- 1,40 %
Ambientali	- 1,60 %
Manutenzione sottostazione	- 1,00 %
Disponibilità rete	- 0,50 %
Produzione energetica annua netta stimata	1.776,6 GWh/anno
Fattore di capacità stimato	36,5 %

Sulla base delle suddette considerazioni, si può stimare che la producibilità reale media annua della centrale eolica di sia pari a **1776,6 GWh/anno**, corrispondenti a **3.201 ore equivalenti annue** a potenza nominale.

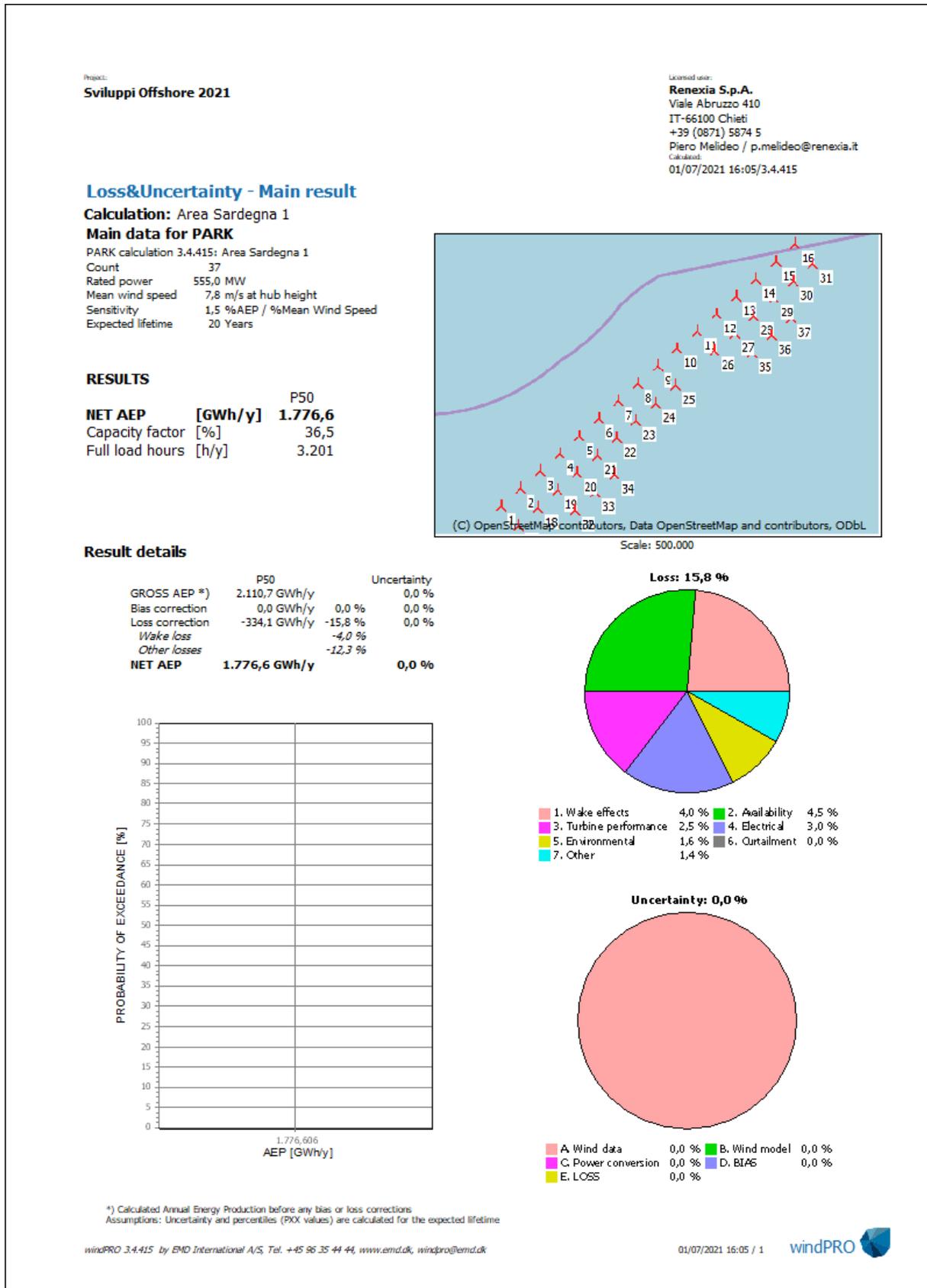


Figura 8. Schermata riepilogativa del software WindPRO

5 Conclusioni

Aerogeneratori (WTGs)	N.	37
Potenza nominale dell'impianto	MWp	3.201
Stima producibilità P₅₀	GWh/year	1.776,6
Ore equivalenti nette - NET P₅₀	h/y	3.201
Capacity Factor	%	36,5