

Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità sostenibili

Domanda di Autorizzazione Unica ex art. 12 D.lgs. 387/2003

Ministero della Transizione Ecologica

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.lgs.152/2006

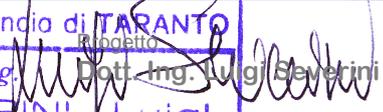
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN  
PARCO EOLICO OFFSHORE DI TIPO FLOATING  
NEL CANALE DI SICILIA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Allegato allo Studio di Impatto Ambientale



**Relazione tecnica  
Analisi della producibilità del sito**

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
della Provincia di TARANTO  
Ripartimento  
Dott. Ing.  Dott. Ing. Luigi Severini  
SEVERINI Luigi  
Elaborazioni  
N. 775  
ilStudio.

Engineering & Consulting Studio

Concept & Innovations:

**NiceTechnology®**

**BR07**

C0420.BR07.RELPRO.00.a

00	30/11/2021		L.Carrieri	L.Severini
REV	DATA	DESCRIZIONE	DESIGNER	PLANNER

Codice:

<b>C</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>R</b>	<b>E</b>	<b>L</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>O</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>b</b>
NUM.COMM.	ANNO	CODSET	NUM.ELAB.	DESCRIZIONE ELABORATO							REV.	R.I.						

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	<small>PROGETTO DEFINITIVO</small> <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>3</b> Di <b>26</b>

## INDICE DELLE VOCI

<b>AEP</b>	Annual Energy Production
<b>C2WPST</b>	C2Wind Park Siting Tool
<b>DNV</b>	Det Norske Veritas
<b>ERA5</b>	ECMWF Reanalysis 5th Generation
<b>FOS</b>	Floating Offshore Substation
<b>GIS</b>	Geographical Information System
<b>IAC</b>	Inter-Array Cable
<b>MERRA2</b>	Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications Version 2
<b>mMSL</b>	Meter Mean Sea Level
<b>NWP</b>	Numerical Weather Prediction
<b>O&amp;M</b>	Operation and Maintenance
<b>OWA</b>	Offshore Wind Accelerator
<b>SOT</b>	Stiesdal Offshore Technologies
<b>TJB</b>	Transition Joint Bay
<b>WTG</b>	Wind Turbine Generator

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	<small>PROGETTO DEFINITIVO</small> <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>4</b>   Di <b>26</b>

## SOMMARIO

<b>1. SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Descrizione sintetica degli elementi tecnici.....	6
2.1.1. Turbine eoliche .....	6
2.1.2. Fondazione galleggiante.....	6
2.1.3. Sottostazione elettrica offshore FOS .....	7
2.1.4. Sistemi di ormeggio e ancoraggio .....	7
2.1.5. Cavi inter-array ed elettrodotto di esportazione.....	7
2.1.6. Elettrodotto onshore.....	7
2.1.7. Stazione di consegna e misure.....	7
<b>3. VINCOLI DI LAYOUT .....</b>	<b>9</b>
3.1. Distanza minima dalle coste .....	10
3.2. Livelli batimetrici .....	10
3.3. Infrastrutture marine esistenti.....	10
3.4. Occupazione dell'area marina.....	11
3.5. Geometria dell'array e distanze tra le turbine .....	11
3.6. Consuntivo .....	11
<b>4. RISORSA ENERGETICA DEL VENTO .....</b>	<b>12</b>
4.1. Metodologia di discussione utilizzata nella stima del clima eolico.....	12
4.2. Note sui modelli a mesoscala .....	13
4.3. Note sui modelli hindcast .....	13
4.4. Dataset della ventosità.....	13
4.4.1. Stima della ventosità di lungo periodo .....	16
4.4.2. Stima della variabilità spaziale del vento .....	17
4.4.3. Analisi del profilo verticale di velocità .....	17
<b>5. DEFINIZIONE DEL LAYOUT .....</b>	<b>18</b>
5.1. Tipo e caratteristiche dell'aerogeneratore.....	18
5.2. Generazione delle alternative di layout.....	19
5.3. Valutazione e selezione del layout.....	19
5.4. Consuntivo dei risultati .....	23
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>24</b>

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data	<b>Novembre 2021</b>  Pagina <b>5</b> Di <b>26</b>

## 1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il progetto, proposto da 7SEASmed S.r.l., consiste nella realizzazione di un impianto offshore per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, collocato nel mare territoriale italiano denominato “Canale di Sicilia” con capacità elettrica nominale di 250 MW.

Il documento presenta la metodologia e le assunzioni impiegate per valutazione della producibilità energetica. Sono in particolare riassunti i risultati e le metodologie relative alla valutazione preliminare della risorsa energetica del sito e i criteri adottati per la progettazione concettuale del layout inclusa la minimizzazione delle perdite di scia.

In relazione alla macro area individuata per le installazioni offshore, la sezione 3 presenta i vincoli considerati per la definizione del layout e gli effetti sull’area risultante residua derivanti dalla loro applicazione.

La sezione 4 contiene dunque la valutazione preliminare della risorsa energetica, con una discussione sui dati meteomarini disponibili e quelli effettivamente impiegati per l’estrazione dei dataset di ventosità da implementare nel modello di calcolo della producibilità. La valutazione è stata eseguita da un consulente specializzato (C2WIND).

La sezione 5 descrive infine il processo di progettazione concettuale del layout, inclusa una breve discussione sulle caratteristiche dell’aerogeneratore di riferimento per la modellazione, i principi di progettazione del layout e le basi di confronto e valutazione delle prestazioni delle possibili soluzioni di layout compatibili con i vincoli.

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L’impianto di produzione, a realizzarsi nella fascia di mare rivolta ad ovest delle coste di Marsala e a sud delle Isole di Marettimo e Favignana nell’arcipelago delle Egadi, è composto da 21 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG) ed una sottostazione elettrica di trasformazione (FOS) sostenuti da innovative fondazioni galleggianti che ne consentono l’installazione in acque profonde e a grande distanza dalle coste.

La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all’interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

Ciascun aerogeneratore è costituito da un rotore tripala con diametro fino a 250 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare di 155 m. L’energia elettrica, prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV, viene elevata a 220kV mediante apposita sottostazione elettrica di trasformazione offshore galleggiante (FOS) ed esportata, con elettrodotto sottomarino, fino al punto di giunzione a terra (Transition Junction Bay - TJB).

Da qui, dopo la compensazione della potenza reattiva, l’energia è trasportata tramite elettrodotto in cavo interrato, che si snoda al di sotto della viabilità stradale esistente, presso la sottostazione di consegna e misure adiacente alla esistente stazione elettrica TERNA di Partanna.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>6</b>   Di <b>26</b>

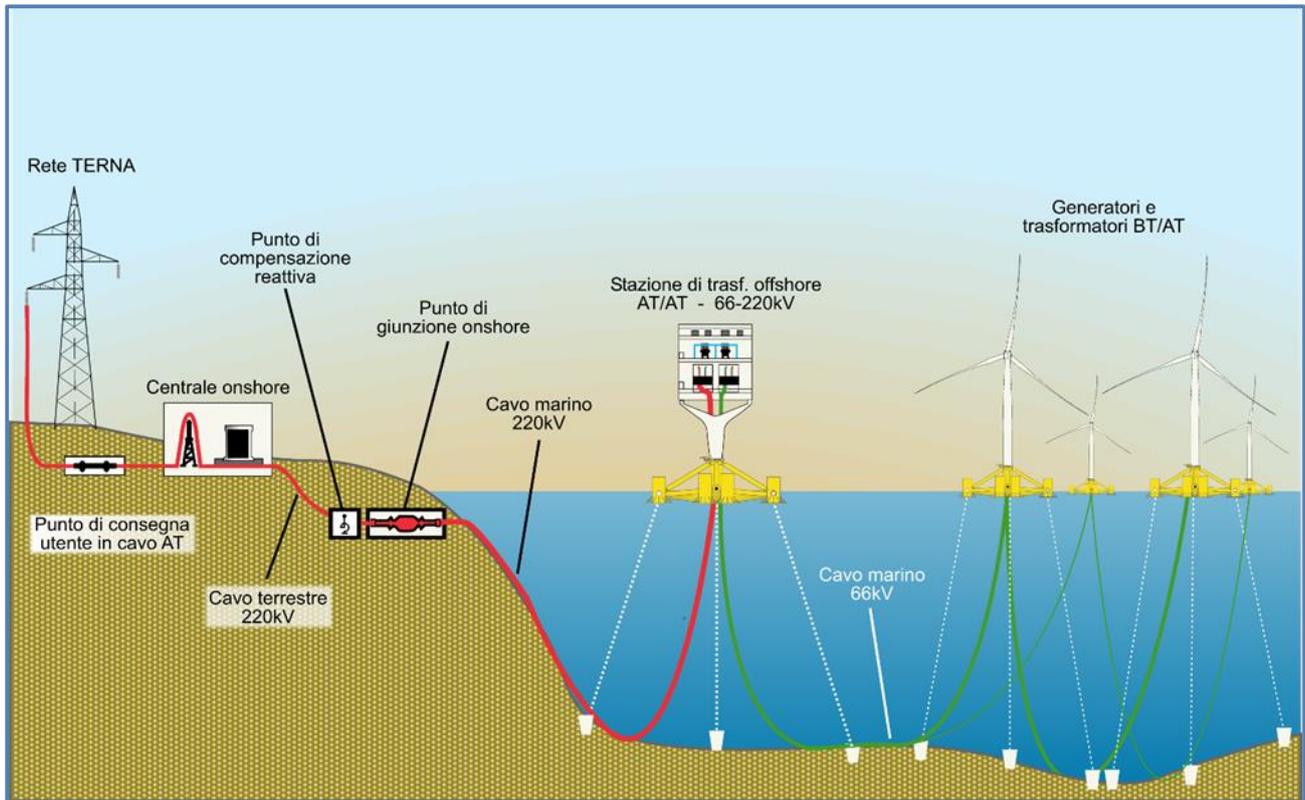


Figura 2.1- Schema qualitativo del progetto. Elaborazione iLStudio.

## 2.1. Descrizione sintetica degli elementi tecnici

### 2.1.1. Turbine eoliche

Le 21 turbine eoliche, con una capacità nominale di 12 MW e altezza massima di 280 m, saranno costituite da:

- una torre tubolare in più sezioni di spessore, peso e lunghezza differenti, con idonei sistemi di accoppiamento tra le parti;
- un rotore tripala;
- una navicella che ospita tutti i componenti meccanici, oleodinamici ed elettrici, compreso il generatore e il riduttore (se previsto).

### 2.1.2. Fondazione galleggiante

Ogni turbina sarà posizionata su una fondazione galleggiante. Il sistema di fondazione individuato per il progetto è il TetraSub progettato da Stiesdal Offshore Technologies (SOT).

Il modello si compone di strutture tubolari disposte secondo un tetraedro asimmetrico, corredate da casse di zavorra collocate nei vertici del triangolo di base.

Le linee di ormeggio, connesse a tali vertici, consentono il mantenimento in posizione durante la fase operativa.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	<small>PROGETTO DEFINITIVO</small> <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>7</b> Di <b>26</b>

La fondazione è progettata per essere assemblata in banchina e rimorchiata in mare fino al sito di installazione, ove è opportunamente ormeggiata fino al raggiungimento della condizione di galleggiamento di progetto.

### 2.1.3. Sottostazione elettrica offshore FOS

Il parco eolico sarà dotato di una sottostazione elettrica offshore galleggiante FOS (Floating Offshore Substation) posizionata anch'essa su fondazione TetraSub. La Sottostazione dovrà trasformare, regolare e compensare l'energia elettrica prodotta dal parco prima del trasporto verso la terraferma. La funzione primaria è quella di trasformare, in elevazione, la tensione da 66 kV (tensione di produzione) a 220 kV (tensione di trasporto e iniezione in rete). La sottostazione darà dotata dei componenti atti alla compensazione della potenza reattiva.

### 2.1.4. Sistemi di ormeggio e ancoraggio

Ogni fondazione galleggiante sarà ormeggiata mediante un sistema a cavi tesi (taut mooring) costituito da sei linee di ormeggio, due per vertice della fondazione galleggiante, a loro volta connesse a sei ancoraggi costituiti da pali metallici.

### 2.1.5. Cavi inter-array ed elettrodotto di esportazione

Per l'interconnessione tra le turbine eoliche e la sottostazione elettrica offshore è previsto un collegamento IAC (Inter-Array Cable) mediante cavi elettrici marini di tipo dinamico operanti a tensione elettrica 66 kV AC.

Ciascun cavo proveniente dagli aerogeneratori scenderà verso il fondale secondo una curva la cui configurazione finale sarà determinata durante le attività di ingegneria di dettaglio.

Il cavidotto marino ad alta tensione in AC da 220 kV partirà invece dalla sottostazione offshore fino al punto di giunzione con l'elettrodotto terrestre (Transition Joint Bay – TJB) collocato in prossimità della costa di Marsala.

### 2.1.6. Elettrodotto onshore

A partire dal TJB, l'elettrodotto terrestre si svilupperà in cavo interrato secondo strade esistenti per una lunghezza complessiva di circa 52 km fino alla stazione di consegna e misura adiacente alla esistente stazione TERNA di Partanna (TP). Il cavidotto sarà di tipo tripolare accompagnato da cavi di telecomunicazione in fibra ottica.

### 2.1.7. Stazione di consegna e misure

La stazione elettrica di consegna e misure a terra sarà realizzata in adiacenza alla stazione elettrica TERNA di Partanna ove sono alloggiare, tra le altre, le apparecchiature reattive di compensazione e gli eventuali filtri armonici per la successiva iniezione nella rete elettrica di trasmissione nazionale in coerenza con i requisiti del Codice di Rete TERNA.

Le opere civili comprendono la recinzione dell'area, le opere di fondazione della zona designata all'alloggiamento delle apparecchiature elettro-meccaniche e il cabinato dove saranno collocati i gruppi di misura.

	<p align="center"><b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b></p>	<p>Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b></p>	
<p><b>iLStudio.</b> Engineering &amp; Consulting <b>Studio</b></p>	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO</p>	<p>Data <b>Novembre 2021</b></p>	
	<p align="center"><b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b></p>	<p>Pagina <b>8</b></p>	<p>Di <b>26</b></p>

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
		Data <b>Novembre 2021</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO		Pagina <b>9</b> Di <b>26</b>
	<b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>		

### 3. VINCOLI DI LAYOUT

La progettazione e l'ottimizzazione del layout di un parco eolico è un processo complesso e iterativo che compendia un gran numero di input e vincoli, tra cui:

- *caratteristiche del sito di installazione*, ad esempio, la velocità e direzione del vento, batimetria dei fondali, i campi delle correnti marine, il regime ondometrico, geofisica e geotecnica dei fondali, i vincoli ambientali (antropogenici e naturali), infrastrutture sottomarine esistenti (elettrodotti, cavi telecomunicazione, gasdotti) e il traffico marittimo;
- *caratteristiche di natura progettuale* come la tipologia e le specifiche tecniche degli aerogeneratori, la progettazione dei sistemi di fondazione, ormeggio e ancoraggio, la progettazione elettrica, la compatibilità con i metodi di installazione e i requisiti O&M.

La progettazione si esplica generalmente in due fasi successive di macrolocalizzazione (macro-siting) e microlocalizzazione (micro-siting); l'output della prima fase è l'area di intervento ovvero la *collocazione* dell'impianto sul territorio, quello della fase di microlocalizzazione è invece il puntuale posizionamento delle infrastrutture di impianto all'interno dell'area di progetto. Le due fasi si concludono con il soddisfacimento degli obiettivi di progetto che, per il caso specifico, sono sintetizzabili in:

- massimizzazione della producibilità energetica (*energy yield*),
- eliminazione o minimizzazione degli impatti negativi prevedibili sull'ambiente naturale,
- eliminazione o minimizzazione degli impatti negativi prevedibili sull'ambiente antropico,
- mantenimento di elevati standard di sicurezza durante l'intero ciclo di vita dell'opera.



**PARCO EOLICO DEL CANALE DI SICILIA**  
 Definizione macro area per analisi di layout del parco eolico

**LEGENDA**  
 ----- Linea isodistanza dalla costa

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>10</b>   Di <b>26</b>

*Figura 3.1 – Macro area di indagine per le analisi di layout. Elaborazione iLStudio.*

Per l'analisi di definizione del layout si considera la macro area di indagine riportata in Figura 3.1 così come risultante dalle valutazioni iniziali di macro-siting descritte nel documento "Studio di Impatto Ambientale".

L'area si estende per circa 85 km<sup>2</sup> oltre la linea isodistanza 30 km dalle coste siciliane più prossime e ottimizza la compatibilità con vincoli di natura ambientale e/o antropica.

Nello specifico delle analisi che seguono, in questa sezione si descrivono i vincoli applicati a tale macro area di progetto per determinare l'area residua utile per il posizionamento degli aerogeneratori e la definizione del layout del parco sulla cui base valutarne la producibilità energetica.

I vincoli considerati sono consistenti con le migliori informazioni disponibili per il progetto al momento della redazione di questo documento.

### 3.1. Distanza minima dalle coste

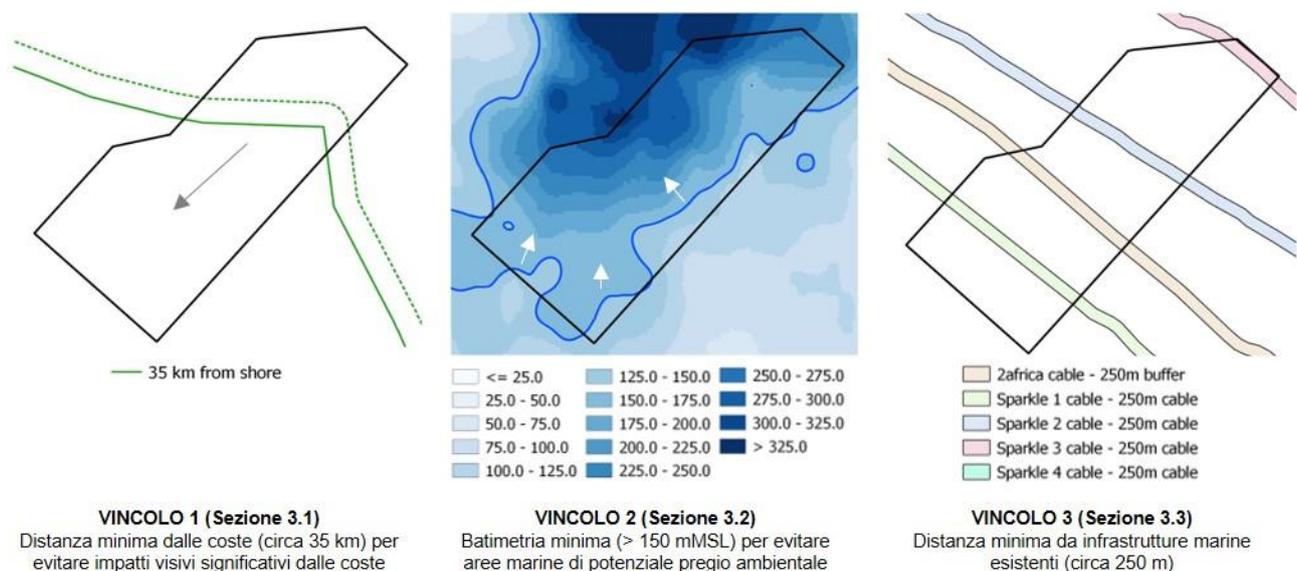
Al fine di limitare gli effetti visivi dalle coste, le strutture offshore del parco saranno collocate a circa 35 km dalle più vicine coste prospicienti l'area marina di progetto.

### 3.2. Livelli batimetrici

Al fine di minimizzare l'impatto su aree ambientalmente sensibili, gli aerogeneratori e le loro impronte di ormeggio saranno collocati in acque profonde (oltre i 150 m di profondità, linea blu in figura).

### 3.3. Infrastrutture marine esistenti

Gli aerogeneratori e le loro impronte di ormeggio saranno collocati ad una distanza minima di 250 m dai quattro cavi sottomarini che attraversano l'area di progetto quali il cavo di telecomunicazione sottomarino internazionale 2africa e i cavi Sparkle 1, Sparkle 2, Sparkle 3 e Sparkle 4.



*Figura 3.2 – Principali vincoli per le analisi di layout. Elaborazione iLStudio.*

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>11</b>   Di <b>26</b>

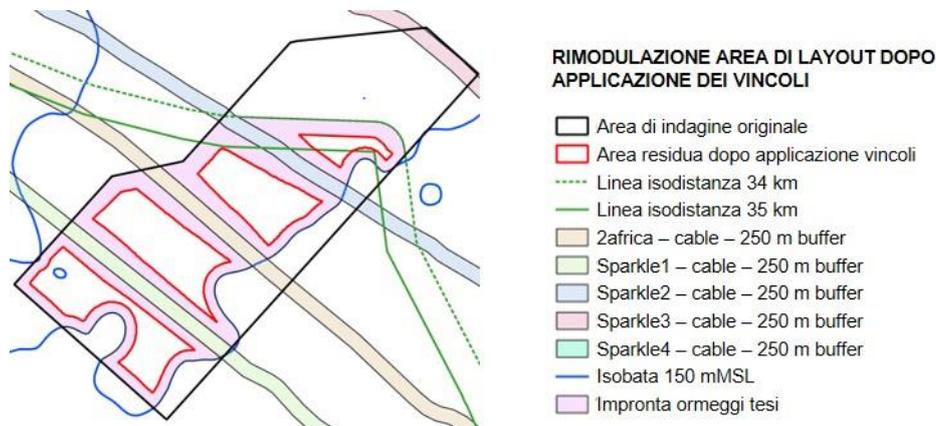


Figura 3.3 – Area residua dopo applicazione dei vincoli di cui alle sezioni 3.1, 3.2 e 3.3. Elaborazione iLStudio.

### 3.4. Occupazione dell'area marina

L'impronta totale occupata dal layout, ivi compresi gli aerogeneratori e le relative impronte del sistema di ormeggio, minimizzerà l'occupazione dell'area marina mantenendosi, per quanto possibile, prossima a 40 km<sup>2</sup>.

### 3.5. Geometria dell'array e distanze tra le turbine

Non esistono vincoli esterni sulle distanze minime o massime consentite fra gli aerogeneratori, né per quanto riguarda la simmetria dell'array. Nonostante ciò, sarà considerato un limite minimo omnidirezionale di 4 diametri di rotore al fine di ridurre la turbolenza indotta per effetto scia.

### 3.6. Consuntivo

L'applicazione dei vincoli finora descritti determina una rimodulazione dell'area massima disponibile per le pianificazioni di layout da circa 85 km<sup>2</sup> a circa 41 km<sup>2</sup>. Sottraendo inoltre gli ingombri relativi all'impronta di ormeggio l'area effettivamente disponibile per il posizionamento degli aerogeneratori si riduce ulteriormente a circa 21.6 km<sup>2</sup>.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>12</b>   Di <b>26</b>

## 4. RISORSA ENERGETICA DEL VENTO

Questa sezione presenta una discussione dei risultati della valutazione della ventosità e della relativa risorsa energetica disponibile nel sito di progetto oltre ad una descrizione dettagliata dei dati e della metodologia di calcolo utilizzati per la sua quantificazione.

### 4.1. Metodologia di discussione utilizzata nella stima del clima eolico

La valutazione della risorsa energetica del sito si realizza in più fasi successive:

- una prima valutazione durante gli studi di fattibilità preliminari;
- una valutazione più approfondita eseguita durante la preparazione del progetto definitivo.

La valutazione preliminare eseguita durante lo studio di fattibilità si è basata sui seguenti set di dati:

- osservazioni da anemometri o osservazioni visive effettuate da navi in transito tra il 1991-2005, a 10 mMSL ed estrapolate a 90 mMSL utilizzando una legge logaritmica in condizioni neutre e una lunghezza di rugosità costante di 0.0002 m;
- osservazioni bimestrali dello scatterometro QuickSCAT tra il 1999-2008, a 10 mMSL ed estrapolate a 90 mMSL utilizzando lo stesso metodo di cui sopra. La valutazione preliminare del rendimento energetico in si basa su questo set di dati;
- mappe delle risorse eoliche di alto livello dell'Atlante europeo del vento, del NOSTRUM e dell'Atlante eoliano d'Italia, a 100 m MSL.

La valutazione preliminare conserva, in relazione ai dataset di input, un'incertezza di risultato riconducibile a:

- *bias*, in relazione alla frequenza di osservazione (due misure ogni 24 ore per il set di dati QuickSCAT utilizzato come base di analisi);
- errori di estrapolazione del profilo di vento da 10 mMSL a 90 mMSL mediante l'uso di un profilo logaritmico.

I risultati della valutazione preliminare sono riassunti nella tabella.

*Tabella 4-1 - Velocità media del vento a lungo termine per il sito di progetto, studio di fattibilità preliminare.*

FONTE	VELOCITÀ MEDIA DEL VENTO
KNMI	7.1 m/s @ 10 m, 8.6 m/s @ 90 mMSL
QuickSCAT	7.0 m/s @ 10 m, 8.4 m/s @ 90 mMSL
Atlante europeo del vento	Tra 7.5 m/s e 8.5 m/s @ 100 mMSL
NOSTRUM	8.0 m/s @ 60 mMSL
Atlante Eolico d'Italia	Tra 8.0 m/s e 9.0 m/s @ 100 mMSL

In fase di progetto definitivo, al fine di ridurre le incertezze della valutazione eseguita durante lo studio preliminare di fattibilità è stato commissionato un ulteriore studio specialistico al consulente C2WIND. Le nuove analisi, i cui risultati sono presentati nel seguito, sono basate esclusivamente su set di dati da modelli atmosferici a mesoscala e hindcast ciò che determina un notevole miglioramento alla precisione della stima iniziale.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data <b>Novembre 2021</b>
<b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>		Pagina <b>13</b>	Di <b>26</b>

La valutazione sarà ulteriormente aggiornata durante la fase di stesura del progetto esecutivo e prenderà in esame dati sito specifici provenienti da apposita campagna di acquisizione/misurazione *in situ*.

#### 4.2. Note sui modelli a mesoscala

I modelli atmosferici possono essere classificati in tre categorie in relazione alla scala considerata per il movimento atmosferico; in particolare:

- *modelli in macroscala*: scale di lunghezza da 20 a 200 km;
- *modelli a mesoscala*: scale di lunghezza da 0.1 a 20 km;
- *modelli in microscala*: scale di lunghezza da 0.01 a 0.1 km.

I modelli in macroscala sono *modelli di rianalisi* rilevanti per la caratterizzazione della risorsa eolica a livello di macro area ma non catturano bene gli effetti meso e microscala che, invece, sono rilevanti alla scala “di parco eolico”, ad esempio, i gradienti verticali di velocità e direzione del vento (noti anche come *wind shear verticale* e *wind veer*) principalmente legati alla stabilità atmosferica.

Questi aspetti sono più efficacemente catturati da modelli a mesoscala che usano set di dati di rianalisi come input e calcolano, un modello NWP (Numerical Weather Prediction) dedicato, i parametri atmosferici a miglior risoluzione sia nello spazio (100-5000 m) sia nel tempo (~1-100 secondi). Al fine di mantenere lo sforzo computazionale limitato a una durata ragionevole (giorni per un progetto commerciale, settimane per un progetto di ricerca) i domini simulati non superano la scala regionale.

I modelli a mesoscala hanno dimostrato di ridurre l'incertezza associata sia alla correlazione a lungo termine che all'estrapolazione spaziale poiché, da un lato, forniscono una migliore correlazione fisica con le misurazioni a breve termine, dall'altro, catturano i modelli rilevanti che guidano le variazioni della velocità del vento su grandi distanze (10-100 km).

#### 4.3. Note sui modelli hindcast

I set di dati di rianalisi sono prodotti utilizzando dataset di *misurazione atmosferica* in modelli NWP globali che vengono eseguiti su griglie di calcolo medio-grossolane. I set di dati di rianalisi coprono ampi periodi di tempo, in genere più di 30 anni, e sono costituiti da serie temporali con periodi di media dei campioni che vanno da 1 ora a 1 mese. Poiché i dati di rianalisi sono quindi rappresentativi delle condizioni atmosferiche per una data area (scala regionale, tipicamente) e un dato periodo di media, essi non sono direttamente confrontabili con le misurazioni locali "puntuali"; tuttavia, a condizione che siano convalidati utilizzando misurazioni coerenti a lungo termine, offrono una solida base per valutare la variazione a lungo termine della velocità del vento in un certo luogo di misurazione.

#### 4.4. Dataset della ventosità

I set di dati utilizzati come input per lo studio di valutazione della risorsa energetica sono costituiti da:

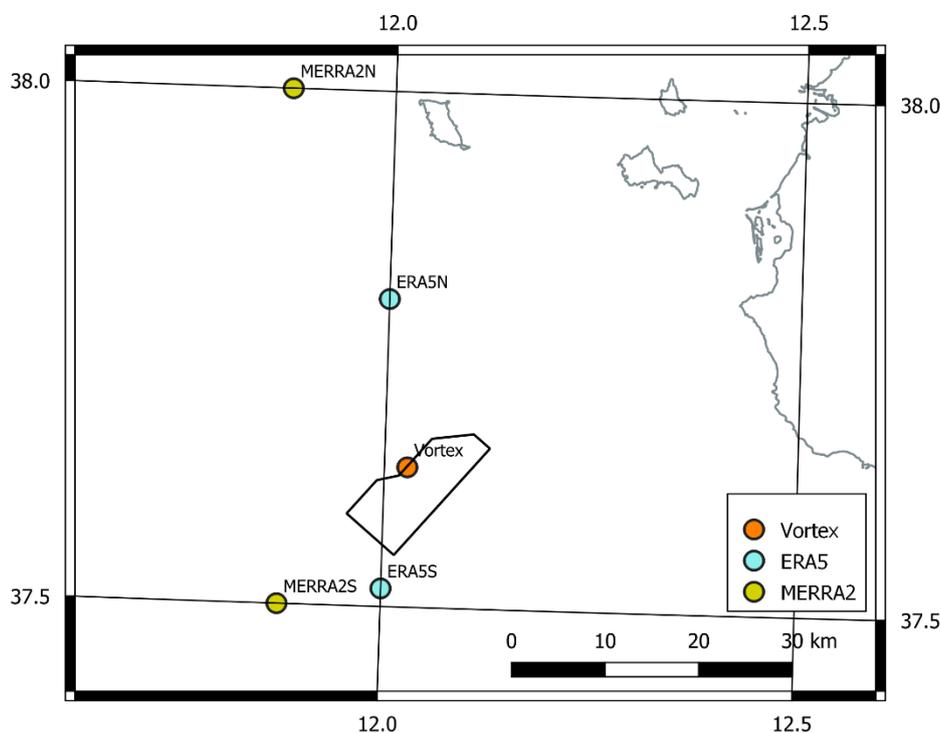
- *serie temporali a mesoscala* a lungo termine (20 anni) estratta dal database commerciale *Vortex*, calcolata in una posizione interna all'area di progetto. Il set di dati comprende valori

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>14</b>

della velocità e direzione del vento insieme ad altri parametri ambientali per diverse quote di riferimento da 50 a 180 m MSL con passo 10 m.

- serie temporali di rianalisi a lungo termine (30 anni) per i nodi dati prossimi alla posizione di progetto estratti dai dataset MERRA2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications Version 2) ed ERA5 (ECMWF Reanalysis 5th Generation). Tutte le serie di rianalisi sono state acquisite utilizzando il software WindPRO 3.3. La serie temporale di ERA5 comprende velocità e direzione del vento a 10 e 100 mMSL dal 1989-01-01 al 2019-07-01, mentre la serie MERRA2 comprende velocità del vento e direzione a 50 m MSL dal 1989-01-01 al 2019-08-01.

I punti di estrazione dati sono riportati in Figura 4.1.

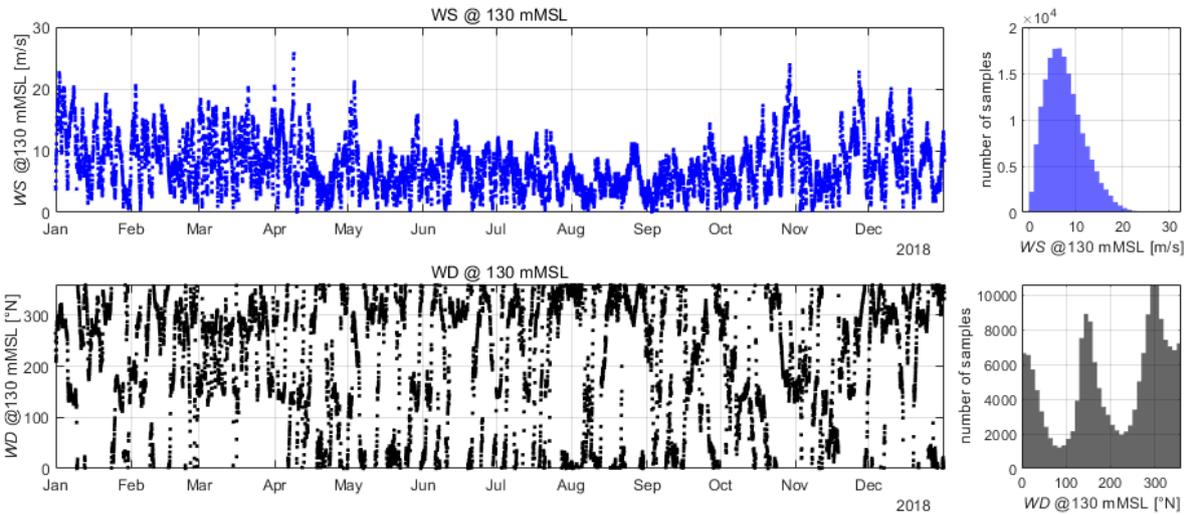


*Figura 4.1 – Punti di estrazione dati nella valutazione della risorsa energetica.*

I nodi MERRA2 ed ERA5 sono stati identificati come più rappresentativi delle condizioni del vento nella posizione del progetto. Inoltre, le condizioni di vento a lungo termine valutate alla quota hub si basa principalmente sulle serie temporali a mesoscala del servizio Vortex mentre le serie temporali di rianalisi sono state utilizzate come fonte di dati secondaria a supporto dei risultati della serie temporale a mesoscala.

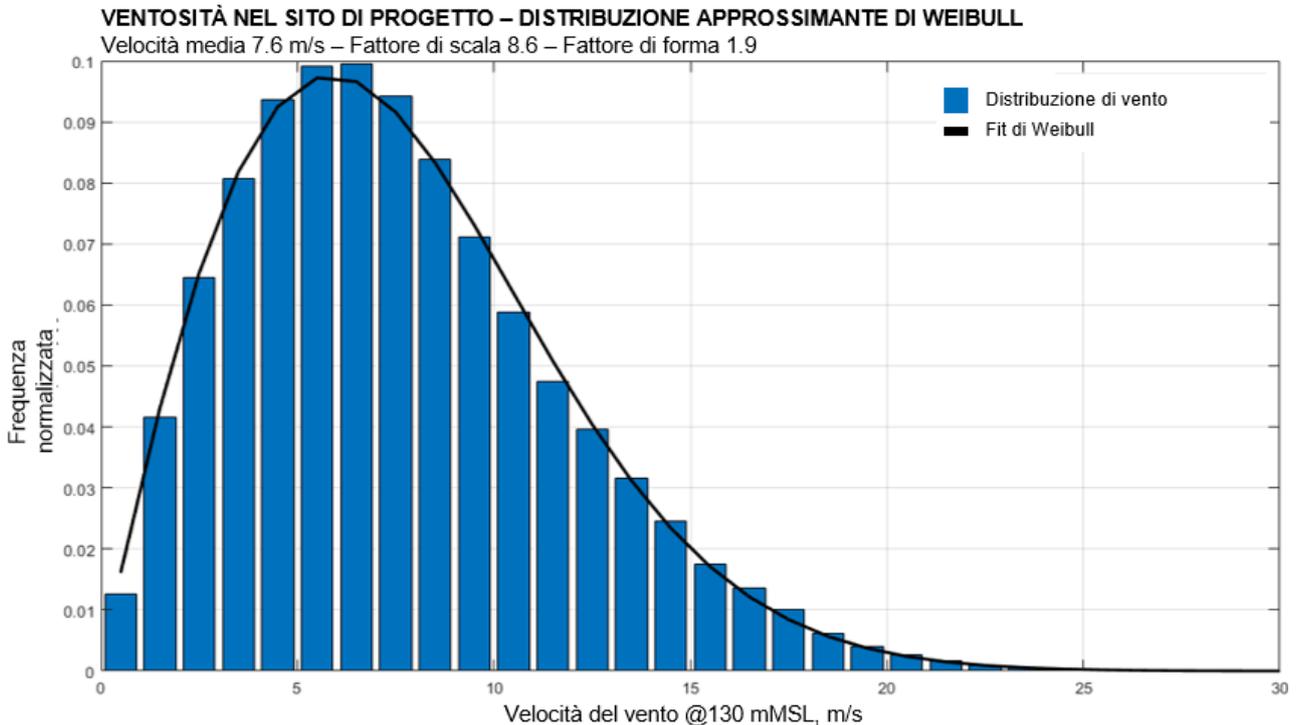
A scopo illustrativo, la Figura 4.3 riporta una serie temporale di velocità e direzione del vento a 130 mMSL estratta dal dataset Vortex per l'anno 2018.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>		Data <b>Novembre 2021</b>
			Pagina <b>15</b> Di <b>26</b>



**Figura 4.2 - Serie temporali della velocità del vento (in alto) e della direzione del vento (in basso) a 130 mMSL estratte dal dataset Vortex per l'anno 2018.**

La distribuzione della velocità del vento dal set di dati Vortex, per il periodo di 20 anni, è ben approssimata da una distribuzione Weibull del tipo in Figura 4.3.



**Figura 4.3 – Approssimazione di Weibull del dataset di vento Vortex.**

Le rose dei venti stagionali mostrano significativi contributi di frequenza ed energia nei settori 300 e 150 gradi nord. Le rose dei venti dei dataset ERA5 e MERRA2 convergono anch'essi a questa conclusione. La Figura 4.4 riporta le rose dei venti mensili alla quota di 130 mMSL.

**VENTOSITÀ NEL SITO DI PROGETTO – ROSE DEI VENTI**  
Velocità del vento a 130 mMSL

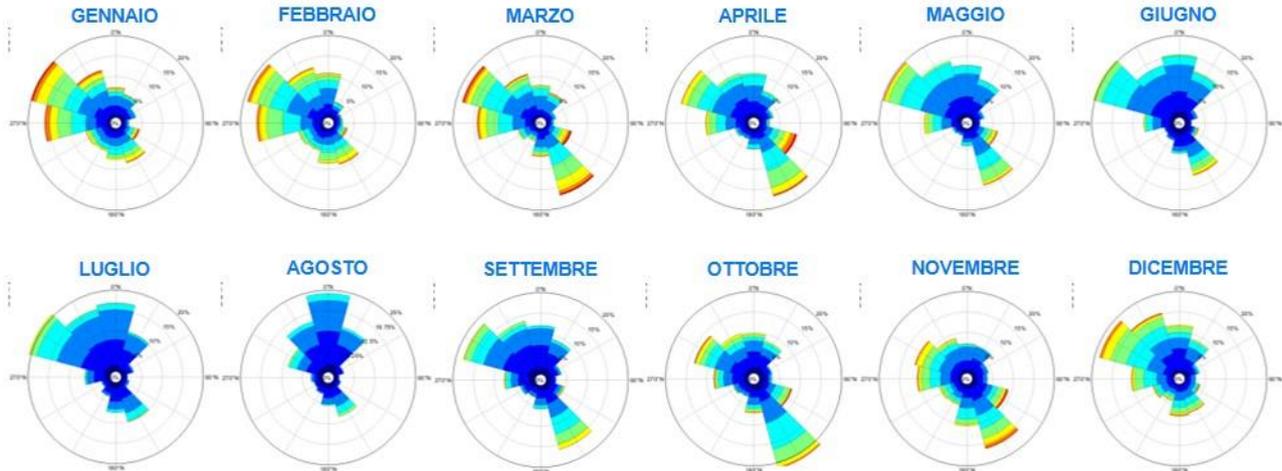
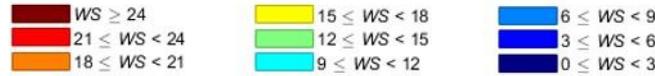


Figura 4.4 – Rose dei venti a 130 mMSL per la località di progetto. Media di lungo periodo (20 anni).

**4.4.1. Stima della ventosità di lungo periodo**

È stata effettuata una analisi della ventosità di lungo periodo la quale ha evidenziato che la velocità media del vento è solo leggermente sensibile alla scelta del periodo per le serie temporali Vortex, ERA5 e MERRA2; in particolare, dal confronto dei dataset, non si riscontrano incongruenze statisticamente significative anche se il test di coerenza statistica dei dati conferma una migliore corrispondenza all'aumentare del periodo di riferimento delle serie temporali. A valle di questa analisi, la descrizione delle condizioni di vento a lungo termine è ben definita a partire da una serie di 10 anni.

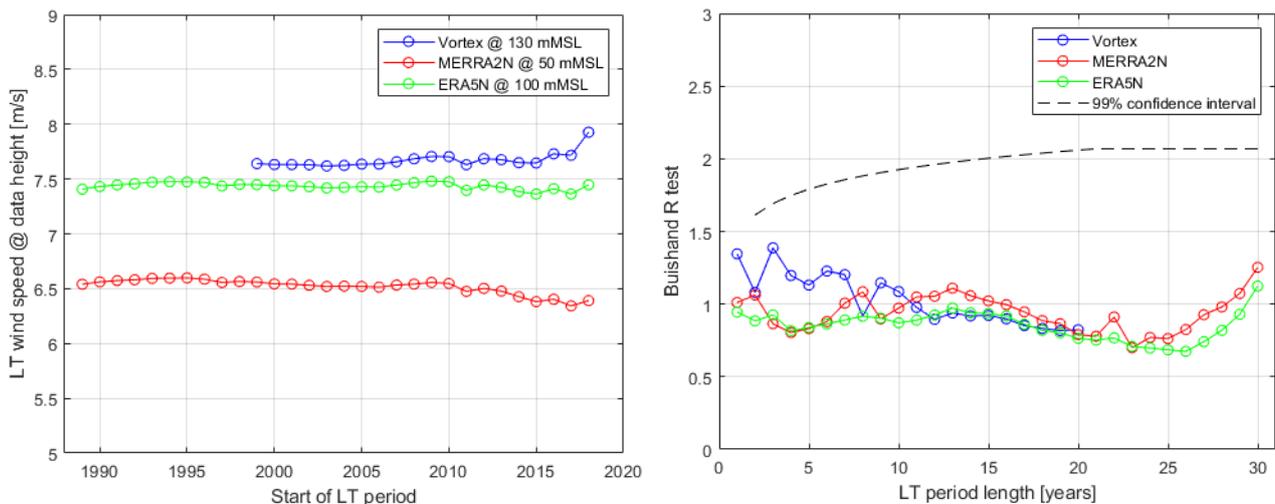


Figura 4.5 – (a sinistra) Velocità media del vento a lungo termine per diverse periodi di riferimento delle serie temporali Vortex, ERA5 e MERRA2 e (a destra) un test dell'intervallo Buishand per la coerenza delle serie temporali.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>17</b>   Di <b>26</b>

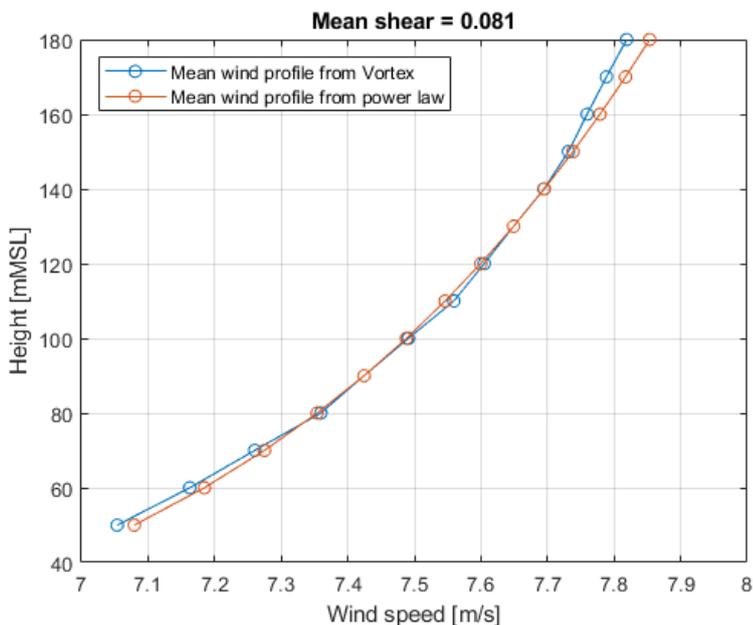
#### 4.4.2. Stima della variabilità spaziale del vento

Alla data del presente documento, non sono disponibili informazioni dettagliate sulla distribuzione spaziale della ventosità sull'intera area del sito di indagine. Pertanto, con buona approssimazione, le condizioni di vento sono modellate come uniformi in tutto il sito.

#### 4.4.3. Analisi del profilo verticale di velocità

Per il calcolo della producibilità energetica del sito, in relazione alle caratteristiche dimensionali degli aerogeneratori, si fa riferimento, con spirito di cautela, ad una configurazione di aerogeneratore assimilabile al tipo GE-12-220 con altezza hub 138 mMSL e diametro rotore 220 m. Un eventuale incremento della quota hub o del diametro di rotore in una fase successiva del progetto potrà eventualmente determinare un benefico incremento della producibilità del sito.

Le condizioni del vento di lungo periodo, in particolare il profilo verticale della velocità, sono quindi estrapolate utilizzando legge di potenza e *wind shear* ottenuto per il profilo medio di vento su base decennale come mostrato in figura. Si osserva in particolare che tra 50 e 180 mMSL il profilo di vento è ben modellato applicando un *wind shear* medio pari a 0.081 cui corrisponde una velocità di lungo periodo a 138 mMSL si circa 7.74 m/s.



*Figura 4.6 – Wind shear medio ottenuto per il dataset Vortex su un periodo di 10 anni; sovrapposizione con il profilo del vento ottenuto applicando la legge di potenza con wind shear medio pari a quello calcolato.*

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>18</b>   Di <b>26</b>

## 5. DEFINIZIONE DEL LAYOUT

Questa sezione descrive in dettaglio le assunzioni e la metodologia per la progettazione del layout del parco eolico. Nello specifico la sezione 5.1 presenta le caratteristiche e il tipo di aerogeneratore ipotizzato nelle analisi. La sezione 5.2 discute brevemente l'approccio utilizzato per la generazione delle alternative di layout mentre, la Sezione 5.3, descrive i metodi e le metriche di valutazione e selezione del layout finale le cui caratteristiche sono a consuntivo nella sezione finale 5.4.

### 5.1. Tipo e caratteristiche dell'aerogeneratore

Il progetto non prevede ancora l'adozione di uno specifico modello di aerogeneratore. La procedura di Valutazione di Impatto Ambientale infatti è condotta con approccio *design envelope* mediante cui sono ipotizzati scenari realistici di sviluppo su un orizzonte di tempo adeguato alla scala temporale autorizzativa del progetto. L'approccio considera quindi le peggiori condizioni realisticamente prevedibili per determinare valutazioni di impatto di tipo conservativo. Nell'ambito della presente analisi, la conservatività della valutazione si traduce in una sottostima della producibilità del sito la quale giustifica il ricorso, nella definizione del tipo di aerogeneratore, a soluzioni commerciali sicuramente soggette, nei prossimi anni ad evoluzione tecnica con incremento delle dimensioni e delle prestazioni. Con questo spirito, la valutazione che segue si basa su un aerogeneratore tipo GE-12-220 con un'altezza hub di 138mMSL e diametro rotore 220 m ben consapevoli che, un incremento della quota hub o della dimensione del rotore condurranno verosimilmente ad un incremento della producibilità energetica attesa. Il riferimento ad un aerogeneratore "reale" e commercialmente disponibile consente inoltre l'accesso a dati *robusti* per l'esecuzione dei calcoli.

I layout progettati con turbine da 12 MW inoltre richiederanno più posizioni per raggiungere la capacità elettrica obiettivo (250 MW) rendendo più problematica la disposizione delle unità per minimizzare le perdite di scia. Un layout progettato secondo questi principi ha quindi la flessibilità per essere adattato al funzionamento con turbine di potenza nominale maggiore e per le quali sarà richiesto un minor numero di macchine per la saturazione della capacità target del parco.

La figura mostra la curva di potenza della turbina GE-12-220 valutata considerando aria con densità 1.225 kg/m<sup>3</sup>.

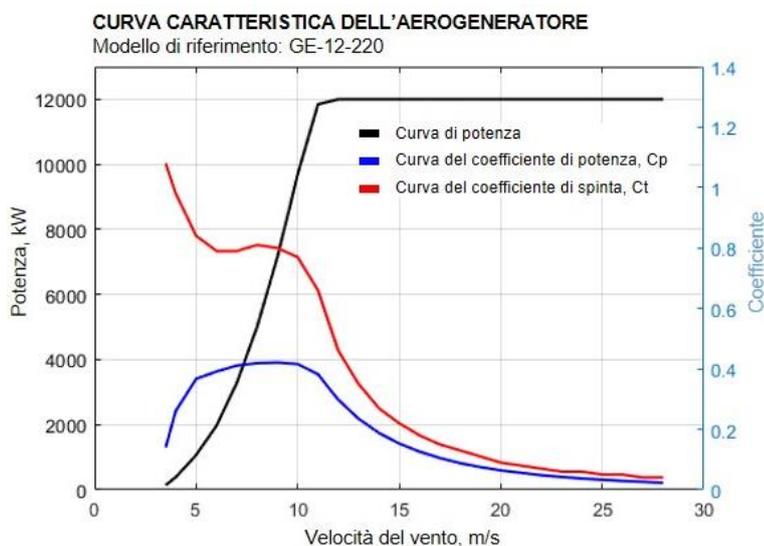


Figura 5.1 – Curva potenza, coefficienti di potenza e di spinta per il GE-12-220.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>19</b>

## 5.2. Generazione delle alternative di layout

Una serie di layout costituiti da 21 aerogeneratori del tipo GE-12-220 è stata generata in ambiente computazionale applicando i vincoli di cui alla sezione 3; le alternative sono state ottenute modificando il numero di filari e di allineamenti imponendo come target la minimizzazione delle perdite di scia. Il tool computazionale si interfaccia con i vincoli spaziali contenuti in shapefile GIS appositamente preparati, nonché con i risultati della valutazione della risorsa eolica e con il software di calcolo degli effetti di scia e dell'intensità di turbolenza. Il processo è iterativo. Due esempi delle alternative di layout elaborate sono mostrati in Figura 5.2.

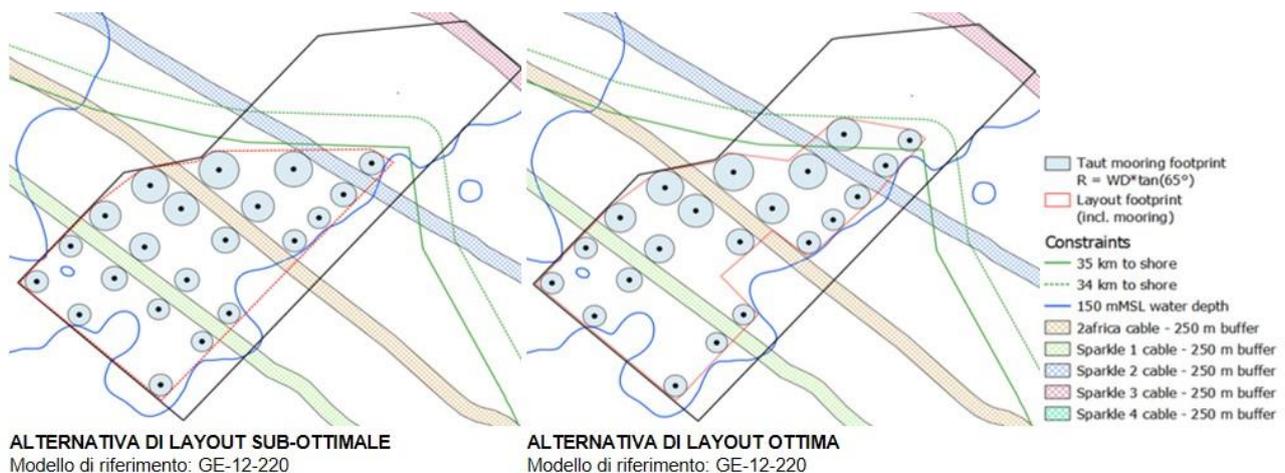


Figura 5.2 - Esempi di alternative di layout generate nell'ambito della fase di progetto.

## 5.3. Valutazione e selezione del layout

Tutti i layout creati sono stati valutati esaminando e confrontando:

- l'entità dell'effetto scia (*wake*),
- la producibilità annuale stimata di energia (*energy yield*)
- la turbolenza del parco affinché sia limitata a valori ragionevolmente bassi.

La valutazione è stata quindi effettuata utilizzando il *C2Wind Park Siting Tool* (C2WPST) che calcola i deficit di velocità del vento, la turbolenza indotta dalla scia e la produzione annuale di energia di tutti gli aerogeneratori in relazione al clima anemologico di lungo periodo così come descritto nella precedente sezione 4.

Nello specifico, il C2WPST è un software sviluppato da C2WIND (società specializzata che ha eseguito lo studio di producibilità) che, per un determinato layout, calcola i seguenti parametri impiegabili nei calcoli di carico e possono essere utilizzati per una valutazione complessiva dell'idoneità del sito per le turbine eoliche; tra questi parametri:

- combinazione di turbolenza ambientale e indotta dal parco;
- input per il calcolo delle ampiezze delle raffiche di vento (*wind gust*);
- distribuzioni di velocità media del vento per turbina corretta con le perdite di scia.

A garanzia di attendibilità dei risultati, il metodo di calcolo della turbolenza generata dal parco è stato convalidato rispetto alle misurazioni su diverse stazioni meteo e parchi eolici offshore ed ulteriormente confermato nell'ambito del programma OWA (Offshore Wind Accelerator, Carbon

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>20</b>   Di <b>26</b>

Trust) da Frazer-Nash Consultancy. Il C2WPST è stato inoltre certificato DNV; i suoi risultati sono quindi un'implementazione certificabile dei migliori modelli standard del settore per la valutazione degli effetti di scia e la modellazione della turbolenza. A scopo illustrativo, alcuni risultati ottenuti durante la valutazione di layout in C2WPST sono mostrati nelle successive Figura 5.3.

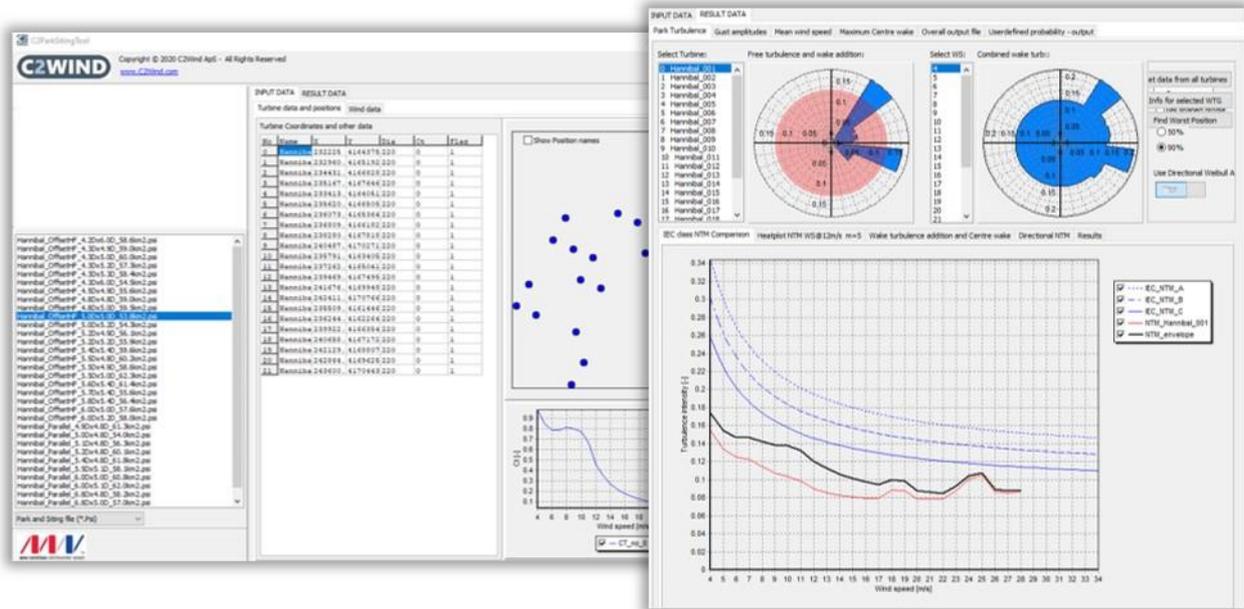


Figura 5.3 – Interfaccia del software impiegato per l'ottimizzazione del layout.

I layout sub-ottimali generati dal C2WPST, corrispondenti alle soluzioni con le perdite di scia più basse, sono stati successivamente implementati nel software commerciale WindPRO per valutare la produzione annuale di energia (AEP) lorda e al netto delle perdite di scia. Le figure seguenti riportano un estratto degli output software relativi alla producibilità e alle caratteristiche prestazionali degli aerogeneratori.

Project:  
**Hannibal\_v02**

Licensed user:  
**C2Wind ApS**  
Vesterballevej 5  
DK-7000 Fredericia

2021-07-22 22:37/3.4.388

**PARK - Main Result**

Calculation: #112|NewConstraints\_Manual06|N.O. Jensen  
Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation performed in UTM (north)-WGS84 Zone: 33  
At the site centre the difference between grid north and true north is: -1.8°

Power curve correction method  
New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>  
Air density calculation method  
Height dependent, temperature from climate station  
Station: TRAPANI/BIRGI V3 2014  
Base temperature: 17.7 °C at 14.0 m  
Base pressure: 1013.3 hPa at 0.0 m  
Air density for Site center in key hub height: 0.0 m + 138.0 m = 1.197 kg/m³ -> 97.7 % of Std  
Relative humidity: 0.0 %

Wake Model Parameters  
Terrain type Wake decay constant  
User defined 0.040

Wake calculation settings  
Angle [°] Wind speed [m/s]  
start end step start end step  
0.5 360.0 1.0 0.5 30.5 1.0



Scale 1:200,000

▲ New WTG    ▲ Meteorological Data

**Key results for height 138.0 m above ground level**

Terrain UTM (north)-WGS84 Zone: 33		Eastings	Northing	Name of wind distribution	Height [m]	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]
A	237,719	4,169,585	Vortex TS @ 140 mMSL	10y	140.0	MEASURE	4,930	7.7

**Calculated Annual Energy for Wind Farm**

WTG combination	Result [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Wake loss [%]	Specific results*)			Full load hours [Hours/year]	Mean wind speed @hub height [m/s]
				Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Mean WTG		
Wind farm	877,572.4	926,583.3	5.3	39.7	41,789.2	3,482	7.7	

\*) Based on wake reduced results and any curtailments.

**Calculated Annual Energy for each of 21 new WTGs with total 252.0 MW rated power**

Links	WTG type		Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy			Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.					Creator	Name	Result [MWh/y]	Wake loss [%]	Wake loss	
1	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	43,250.3	2.0	7.74
2	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,782.5	3.0	7.74
3	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,571.1	3.5	7.74
4	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,503.8	3.7	7.74
5	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,712.5	5.5	7.74
6	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,127.9	6.8	7.74
7	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,021.3	7.0	7.74
8	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,033.5	7.0	7.74
9	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,428.0	3.8	7.74
10	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,195.0	6.6	7.74
11	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	40,616.7	7.9	7.74
12	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	43,069.7	2.4	7.74
13	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,734.8	3.1	7.74
14	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	40,783.4	7.6	7.74
15	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,212.4	6.6	7.74
16	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,948.8	4.9	7.74
17	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,000.4	7.1	7.74
18	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,190.2	6.6	7.74
19	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,881.9	5.1	7.74
20	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	42,147.1	4.5	7.74
21	A	No	GE WIND ENERGY	GE-12-220-12,000	12,000	220.0	138.0	USER	Rev. 5	41,361.2	6.3	7.74

Annual Energy result includes shown losses. Additional losses and uncertainty must be considered for an investment decision.

Figura 5.4 – Esempio di output del software di calcolo della producibilità. Produzione energetica annuale (AEP) da WindPRO per il layout ottimo selezionato per il progetto. I valori AEP corrispondono all'AEP lordo meno le perdite di scia.

Project:  
**Hannibal\_v02**

Licensed user:  
**C2Wind ApS**  
 Vesterballevej 5  
 DK-7000 Fredericia

2021-07-22 22:37/3.4.388

### PARK - Power Curve Analysis

Calculation: #112|NewConstraints\_Manual06|N.O. JensenWTG: 1 - GE WIND ENERGY GE-12-220 12000 220.0 !-!, Hub height: 138.0 m

Name: Rev. 5

Source: 17\_054 = Gxxx & EWA101

Source/Date	Created by	Created	Edited	Stop wind speed [m/s]	Power control	CT curve type	Generator type	Specific power kW/m <sup>2</sup>
2019-05-18	USER	2019-05-18	2019-05-18	29.0	Pitch	User defined	Variable	0.32

From GE document 17\_054 = Gxxx & EWA101, received in April 2019, TI = 5%

HP curve comparison - Note: For standard air density

Vmean [m/s]	5	6	7	8	9	10
HP value Pitch, variable speed (2013) [MWh]	19,415	29,733	39,792	48,813	56,465	62,614
GE WIND ENERGY GE-12-220 12000 220.0 I-I Rev. 5 [MWh]	18,088	28,336	38,476	47,662	55,585	62,197
Check value [%]	7	5	3	2	2	1

The table shows comparison between annual energy production calculated on basis of simplified "HP-curves" which assume that all WTGs performs quite similar - only specific power loading (kW/m<sup>2</sup>) and single/dual speed or stall/pitch decides the calculated values. Productions are without wake losses.  
 For further details, ask at the Danish Energy Agency for project report 3.nr. 51171/00-0016 or see the windPRO manual.  
 The method is refined in EMD report "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", Jan 2003.  
 Use the table to evaluate if the given power curve is reasonable - if the check value are lower than -5%, the power curve probably is too optimistic due to uncertainty in power curve measurement.

### Power curve

Original data, Air density: 1.225 kg/m<sup>3</sup>

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp	Wind speed [m/s]	Ct curve
3.5	140.0	0.14	3.5	1.08
4.0	389.0	0.26	4.0	0.98
5.0	1,068.0	0.37	5.0	0.84
6.0	1,966.0	0.39	6.0	0.79
7.0	3,280.0	0.41	7.0	0.79
8.0	4,999.0	0.42	8.0	0.81
9.0	7,141.0	0.42	9.0	0.80
10.0	9,687.0	0.42	10.0	0.77
11.0	11,846.0	0.38	11.0	0.66
12.0	12,000.0	0.30	12.0	0.46
13.0	12,000.0	0.23	13.0	0.35
14.0	12,000.0	0.19	14.0	0.27
15.0	12,000.0	0.15	15.0	0.22
16.0	12,000.0	0.13	16.0	0.18
17.0	12,000.0	0.10	17.0	0.15
18.0	12,000.0	0.09	18.0	0.13
19.0	12,000.0	0.08	19.0	0.11
20.0	12,000.0	0.06	20.0	0.09
21.0	12,000.0	0.06	21.0	0.08
22.0	12,000.0	0.05	22.0	0.07
23.0	12,000.0	0.04	23.0	0.06
24.0	12,000.0	0.04	24.0	0.06
25.0	12,000.0	0.03	25.0	0.05
26.0	12,000.0	0.03	26.0	0.05
27.0	12,000.0	0.03	27.0	0.04
28.0	12,000.0	0.02	28.0	0.04

### Power, Efficiency and energy vs. wind speed

Data used in calculation, Air density: 1.197 kg/m<sup>3</sup> New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp	Interval [m/s]	Energy [MWh]	Acc.Energy [MWh]	Relative [%]
1.0	0.0	0.00	0.50-1.50	0.0	0.0	0.0
2.0	0.0	0.00	1.50-2.50	0.0	0.0	0.0
3.0	0.0	0.00	2.50-3.50	40.7	40.7	0.1
4.0	373.4	0.26	3.50-4.50	315.5	356.2	0.8
5.0	1,041.4	0.37	4.50-5.50	892.6	1,248.8	2.9
6.0	1,923.8	0.39	5.50-6.50	1,717.5	2,966.2	6.9
7.0	3,208.0	0.41	6.50-7.50	2,638.6	5,604.8	13.0
8.0	4,890.3	0.42	7.50-8.50	3,805.0	9,409.8	21.8
9.0	6,975.8	0.42	8.50-9.50	4,560.0	13,969.8	32.3
10.0	9,433.9	0.41	9.50-10.50	5,069.1	19,038.9	44.0
11.0	11,564.1	0.38	10.50-11.50	5,203.9	24,242.8	56.1
12.0	11,974.9	0.30	11.50-12.50	4,619.3	28,862.1	66.7
13.0	12,000.0	0.24	12.50-13.50	3,861.4	32,723.5	75.7
14.0	12,000.0	0.19	13.50-14.50	2,856.8	35,580.3	82.3
15.0	12,000.0	0.16	14.50-15.50	2,114.9	37,695.3	87.2
16.0	12,000.0	0.13	15.50-16.50	1,752.8	39,448.0	91.2
17.0	12,000.0	0.11	16.50-17.50	1,294.6	40,742.7	94.2
18.0	12,000.0	0.09	17.50-18.50	906.9	41,649.5	96.3
19.0	12,000.0	0.08	18.50-19.50	575.6	42,225.1	97.6
20.0	12,000.0	0.07	19.50-20.50	405.7	42,630.8	98.6
21.0	12,000.0	0.06	20.50-21.50	277.7	42,908.5	99.2
22.0	12,000.0	0.05	21.50-22.50	168.9	43,077.3	99.6
23.0	12,000.0	0.04	22.50-23.50	91.8	43,169.1	99.8
24.0	12,000.0	0.04	23.50-24.50	41.6	43,210.7	99.9
25.0	12,000.0	0.03	24.50-25.50	13.0	43,223.7	99.9
26.0	12,000.0	0.03	25.50-26.50	14.0	43,237.7	100.0
27.0	12,000.0	0.03	26.50-27.50	9.2	43,246.9	100.0
28.0	12,000.0	0.02	27.50-28.50	3.4	43,250.3	100.0
29.0	12,000.0	0.02	28.50-29.50	0.0	43,250.3	100.0

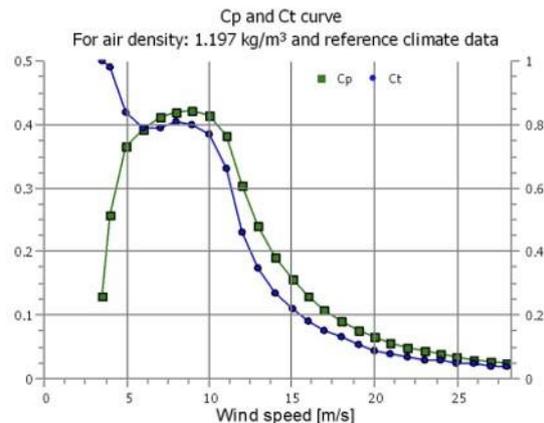
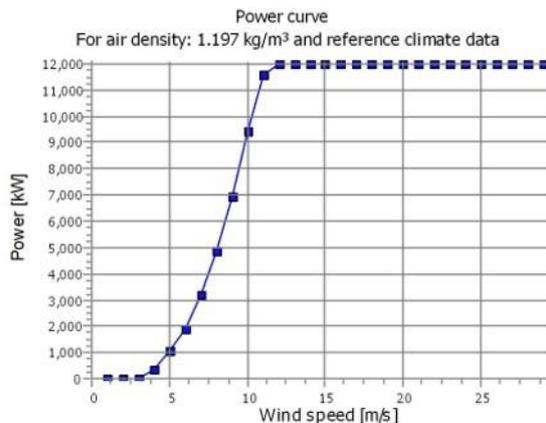


Figura 5.5 – Esempio di output del software di calcolo della producibilità.

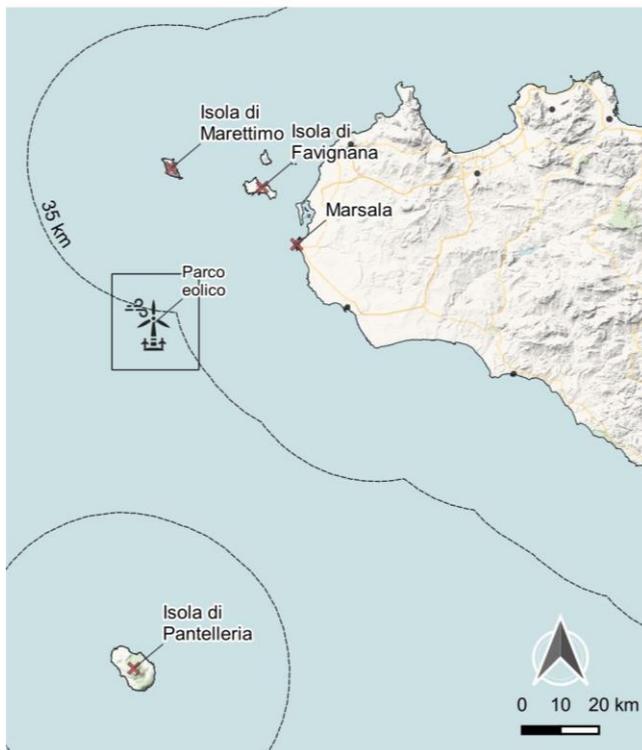
	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>23</b>   Di <b>26</b>

## 5.4. Consuntivo dei risultati

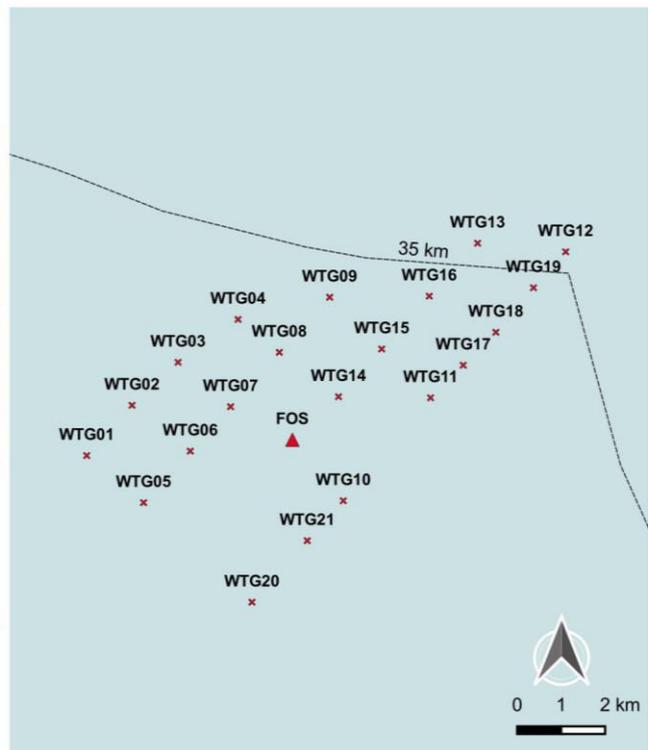
A valle del processo iterativo di ottimizzazione del layout, la soluzione compatibile con i vincoli e caratterizzata dalla miglior producibilità energetica è quella descritta nella successiva tabella ove sono indicate le coordinate dei diversi aerogeneratori e della sottostazione elettrica FOS.

*Tabella 5-1 – coordinate strutture offshore per la soluzione di layout proposta. Coordinate secondo EPSG32633 UTM 33N. Elaborazione iLStudio.*

ID struttura	Easting	Northing	ID struttura	Easting	Northing
WTG01	231816	4164638	WTG12	242723	4169311
WTG02	232847	4165790	WTG13	240717	4169507
WTG03	233896	4166777	WTG14	237550	4165987
WTG04	235262	4167760	WTG15	238533	4167081
WTG05	233111	4163557	WTG16	239616	4168294
WTG06	234174	4164739	WTG17	240390	4166709
WTG07	235092	4165758	WTG18	241134	4167465
WTG08	236202	4167005	WTG19	241990	4168486
WTG09	237349	4168268	WTG20	235579	4161274
WTG10	237659	4163601	WTG21	236838	4162685
WTG11	239646	4165962	FOS	236500	4165000



**PARCO EOLICO DEL CANALE DI SICILIA**  
Ubicazione e layout del parco eolico



**LEGENDA**  
----- Linea isodistanza dalla costa

*Figura 5.6 – Ubicazione del parco eolico e layout di impianto*

La soluzione ottimale di layout proposta minimizza le perdite di scia, massimizzando la produzione annuale (AEP) al netto del wake loss e in conformità con i vincoli di progetto. Il consuntivo delle caratteristiche e delle prestazioni conseguibili è riportato in

 	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data <b>Novembre 2021</b>	Pagina <b>24</b>

*Tabella 5-2 – Consuntivo caratteristiche e prestazioni dell'output di layout.*

<b>Concetto di ormeggio</b>	A linee tese in materiale sintetico
<b>Raggio di ormeggio</b>	~ $P \times \tan(65^\circ)$ (*)
<b>Buffer per infrastrutture cavi terze</b>	250 m per cavo, 4 cavi
<b>Superficie lorda (incluso ormeggio)</b>	~ 41.0 km <sup>2</sup>
<b>Superficie lorda (escluso ormeggio)</b>	~ 33.4 km <sup>2</sup>
<b>Area (incluso ormeggio) meno area rispetto cavi [km<sup>2</sup>]</b>	~ 21.6 km <sup>2</sup>
<b>Tipo turbina</b>	Assimilabile a GE-12-220
<b>AEP lordo [GWh/anno]</b>	926.6
<b>Perdita di scia [%]</b>	5.3%
<b>AEP al netto della scia [GWh/anno]</b>	877.5
<b>Perdita presunta non di scia [%]</b>	11.5%
<b>AEP al netto delle perdite [GWh/anno]</b>	776.6

(\*) P = profondità media locale

## 6. CONCLUSIONI

È stata effettuata l'analisi di dettaglio per la definizione del layout del parco propedeutica alla stima della producibilità elettrica annuale attesa. La fase di macro-siting, descritta nel documento "Studio di Impatto Ambientale" ha restituito un'area di indagine preliminare di circa 85 km<sup>2</sup> alla quale sono stati sovrapposti ulteriori vincoli relativi alla minimizzazione dell'impatto visivo sui ricettori costieri, l'evitamento di aree marine potenzialmente pregiate, l'applicazione di buffer di sicurezza rispetto a infrastrutture marine esistenti (cavi di telecomunicazione). Sono stati inoltre considerati gli ingombri relativi ai sistemi di ormeggio. L'area residua per il posizionamento degli aerogeneratori si è così ridotta dagli 85 km<sup>2</sup> iniziali a circa 21.6 km<sup>2</sup>.

Si è quindi passati a valutare la risorsa energetica disponibile nel sito attraverso l'analisi di dataset di vento basati su modelli atmosferici a mesoscala e serie storiche hindcast estraendo un idoneo profilo verticale di velocità del vento di lungo periodo. Il regime di vento determinato è caratterizzato da un cospicuo contenuto energetico nei settori di vento centrati sui 300 e 150 gradi nord.

Sono stati quindi valutati diversi concetti di layout secondo due descrittori prestazionali, le perdite di scia e il livello di turbolenza, per definire un layout ottimale compatibile con i vincoli e caratterizzato dalla maggiore producibilità energetica. La soluzione tecnica di riferimento per le analisi ha previsto, cautelativamente, 21 aerogeneratori assimilabili alla produzione GE-12-220 fermo restando che ogni eventuale modifica che implichi una maggiore altezza hub, un maggior diametro di rotore o un aumento della taglia nominale dell'aerogeneratore condurranno verosimilmente a risultati prestazionali migliori. La fase di calcolo si è conclusa positivamente individuando una soluzione di layout che, per una capacità installata di 250 MW determina un AEP lordo di 926.6 [GWh/anno] e minime perdite di scia del 5.3%. La producibilità netta, considerando anche altre perdite non fluidodinamiche, si attesta attorno a 776.6 GWh/anno.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO <b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Data	<b>Novembre 2021</b>
		Pagina	<b>25</b>
		Di	<b>26</b>

## RIFERIMENTI

ABB, 2019. *Quaderni di applicazione tecnica N. 13, Impianti eolici*. [Online]

Available at: <https://library.abb.com>

GE Renewable Energy, s.d. *Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems Haliade-X -50/60 Hz*, s.l.: s.n.

Manwell, J. F. & McGowan, J. G., 2009. *Wind energy explained, theory design and application*.

2nd a cura di s.l.:Wiley.

N., N., 2014. Wakes in very large wind farms and the effect of neighbouring wind farms.. *Journal of Physics: Conference Series 524 012162*.

NEWA, 2019. *New European Wind Atlas*. [Online]

Available at: <https://map.neweuropeanwindatlas.eu>

Renkema, D. J., 2007. *Validation of wind turbine wake models using wind farm data and wind tunnel measurements*, s.l.: Delft University of Technology.

RSE, 2019. *Atlante eolico interattivo*. [Online]

Available at: <http://atlanteeolico.rse-web.it>

Troen, I. & Lundtang Petersen, E., 1989. *European Wind Atlas*. s.l.:Risø National Laboratory.

VORTEX, s.d. *Vortex time series ID 236375 (Lat=37.63585 Lon=12.02774), reanalysis input: ERA5, time span: 1999-01-01 to 2019-05-25.*, s.l.: s.n.

	<b>PARCO EOLICO OFFSHORE NEL CANALE DI SICILIA</b>	Documento <b>C0420.BR07.RELPRO.00.a</b>	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data <b>Novembre 2021</b>	
	<b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO</b>	Pagina <b>26</b>	Di <b>26</b>

*Il presente documento, composto da n. 26 pagine è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del progettista.*

Taranto, Novembre 2021

Dott. Ing. Luigi Severini