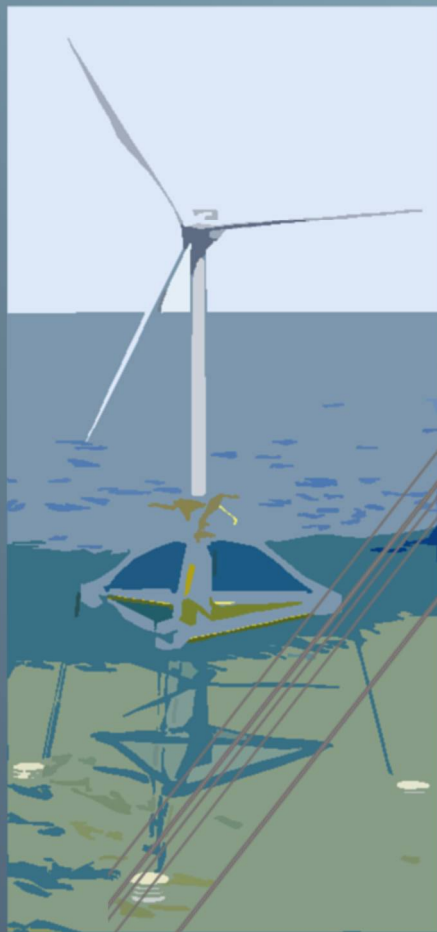




Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

**PARCO EOLICO FLOTTANTE
NEL MARE DI SARDEGNA
SUD OCCIDENTALE**



BR09

C0421BR09RELPRO00b

**Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica**

Ministero della Cultura

**Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti**

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

*Domanda di Autorizzazione Unica
ex D.lgs. 387/ 2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima
ex R.D. 327/1942*

Relazione tecnica
ANALISI DELLA PRODUCIBILITÀ DEL SITO

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Ord. Ing. Prov. TA n. 776

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**



00	Marzo 2023	Emesso per approvazione		
REV	DATA	DESCRIZIONE	DESIGNER	PLANNER

Codice:

C	0	4	2	1	B	R	0	0	9	R	E	L	P	R	O	0	0	b
NUM.COMM.			ANNO		COD.SET	NUM.ELAB.				DESCRIZIONE ELABORATO						REV.		R.I.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
I di IV

SOMMARIO

1.	SCOPO DEL DOCUMENTO	1
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	2
3.	VINCOLI DI LAYOUT	4
3.1.	Distanza minima dalle coste	4
3.2.	Livelli batimetrici.....	4
3.3.	Infrastrutture marine esistenti.....	5
3.4.	Resti antropici sul fondale.....	5
3.5.	Sicurezza della navigazione.....	5
3.6.	Ventosità	5
3.7.	Occupazione dell'area marina.....	13
3.8.	Geometria dell'array e distanze tra le turbine.....	13
3.9.	Ingombro dei sistemi di ormeggio.....	13
3.10.	Consuntivo	13
4.	RISORSA ENERGETICA DEL VENTO	14
4.1.	Analisi del clima anemologico della località	14
4.2.	Note sui modelli a mesoscala	14
4.3.	Note sui modelli hindcast.....	15
4.4.	Dataset della ventosità	15
4.4.1.	Stima della ventosità di lungo periodo	18
4.4.2.	Stima della variabilità spaziale del vento.....	18
4.4.3.	Analisi del profilo verticale di velocità	18
5.	DEFINIZIONE DEL LAYOUT.....	21
5.1.	Tipo e caratteristiche dell'aerogeneratore.....	21
5.2.	Generazione delle alternative di layout.....	22
5.3.	Valutazione e selezione del layout	22
6.	CONSUNTIVO DEI RISULTATI	24
7.	CONCLUSIONI.....	26



Ichonusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
II di IV

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.....	2
Figura 3.1 – Macro area preliminare di indagine per le analisi di layout.....	6
Figura 3.2 – Criteri localizzativi, livelli batimetrici.....	7
Figura 3.3 – Criteri localizzativi, livelli batimetrici e pendenza dei fondali.....	8
Figura 3.4 – Criteri localizzativi, infrastrutture antropiche.....	9
Figura 3.5 – Criteri localizzativi, resti antropici sul fondale.	10
Figura 3.6 – Criteri localizzativi, traffico navale e navigazione marittima.	11
Figura 3.7 – Criteri localizzativi, risorsa eolica e velocità del vento.....	12
Figura 3.8 – Area disponibile per la valutazioni di layout al netto dei vincoli di localizzazione.....	13
Figura 4.1 – Punti di estrazione dati per la valutazione della risorsa energetica.....	15
Figura 4.2 – Serie temporali per la valutazione della risorsa eolica.	16
Figura 4.3 – Approssimazione di Weibull del dataset di vento Vortex.	17
Figura 4.4 – Rose dei venti a 140 mMSL per la località di progetto. Media di lungo periodo (20 anni).....	17
Figura 4.5 – Velocità media del vento di lungo periodo.....	18
Figura 4.6 – Previsione di crescita delle dimensioni degli aerogeneratori in termini di altezza hub, diametro rotore e potenza elettrica nominale. Soluzioni standard commerciali.....	19
Figura 4.7 – Profilo verticale di velocità del vento.....	20
Figura 5.1 – Curva di potenza, coefficienti di potenza e di spinta per i modelli di aerogeneratore impiegati per le analisi.....	21
Figura 5.2 – Esempi di alternative di layout generate nell'ambito della fase di progetto.	22
Figura 5.3 – Interfaccia del software impiegato per l'ottimizzazione del layout.....	23
Figura 5.4 – Esempio di output del software di calcolo della producibilità.	23
Figura 6.1 – Ubicazione del parco eolico e layout di impianto.	24



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
III di IV

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 - Velocità media del vento a lungo termine per il sito di progetto, studio preliminare.....	14
Tabella 4.2 – Configurazioni di aerogeneratore ipotizzate per il calcolo della producibilità energetica.	19
Tabella 4.3 – Wind shear utilizzato per l'estrapolazione verticale della velocità del vento.....	20
Tabella 6.1 – Coordinate strutture offshore per la soluzione di layout proposta.	24
Tabella 6.2 – Consuntivo caratteristiche e prestazioni dell'output di layout.	25



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
IV di IV

INDICE DELLE VOCI

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



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
1 di 28

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il progetto, proposto da Ichnusa Wind Power Srl, consiste nella realizzazione di un impianto offshore per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, per complessivi 504 MW, collocato nelle acque del bacino Mediterraneo occidentale note come Mare di Sardegna sud-occidentale nel settore geografico ovest-nord-ovest delle coste di Portoscuso e dell'isola di San Pietro.

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 eolica 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.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELP000b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

2 di 28

2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel mare di Sardegna sud-occidentale nel settore geografico ovest-nord-ovest delle coste di Portoscuso e dell'isola di San Pietro, a oltre 35 km dalle più vicine coste sarde garantirà una potenza nominale massima pari a 504MW attraverso l'utilizzo di 42 aerogeneratori e 2 sottostazioni elettriche di trasformazione sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle 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.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.

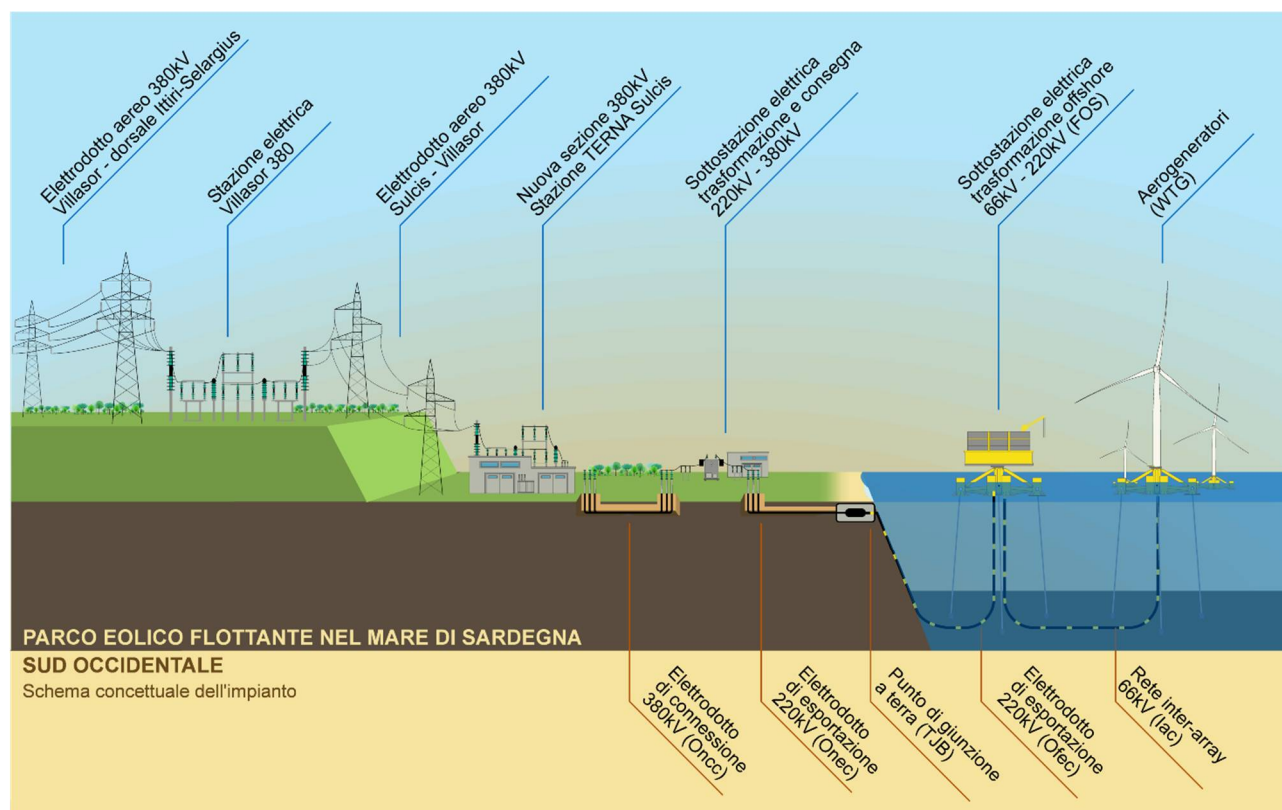


Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iLStudio.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 155 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - lac*) e convogliata verso due sottostazioni elettriche offshore galleggianti (*Floating Offshore Substation - FOS*) per l'elevazione di tensione al livello 220 kV. Il trasporto dell'energia verso la terraferma avverrà con un elettrodotto di esportazione sottomarino (*Offshore export cable - Ofec*) fino ad un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). L'energia sarà quindi trasportata, mediante elettrodotto di esportazione interrato (*Onshore export cable - Onec*), presso una sottostazione elettrica di trasformazione e consegna in



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELP000b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

3 di 28

località Portovesme, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 220kV a 380kV. Da qui, un breve elettrodotto interrato di connessione (*Onshore connection cable* - Oncc), permetterà il collegamento alla nuova sezione a 380kV all'interno della esistente stazione TERNA Sulcis.

Il progetto prevede la sostituzione dell'esistente elettrodotto aereo a 220 kV "Sulcis-Villasor" attraverso la costruzione di un nuovo elettrodotto a 380 kV che, seguendo il tracciato della linea esistente, unirà le stazioni di "Sulcis" e la nuova stazione elettrica Villasor 380 e raccorderà questa alla dorsale regionale 380 kV Ittiri-Selargius. Gli interventi di riqualificazione e ammodernamento della linea, oltre a consentire l'immissione in rete dell'energia prodotta dal parco, costituiranno anche una opportunità per ulteriori iniziative di produzione di energia da fonte rinnovabile, nonché il miglioramento dei servizi elettrici al territorio del Sulcis aumentandone l'efficienza e la fruibilità.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
4 di 28

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 ondamentico, la geofisica e la geotecnica dei fondali, i vincoli ambientali (antropogenici e naturali), le 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.

Per l'analisi di definizione del layout si considera la macro area di indagine riportata in Figura 3.1 così come risultante dalle valutazioni preliminari di macro-siting descritte nel documento "Studio di Impatto Ambientale". In particolare, la scelta dell'area marina in figura, caratterizzata da fondali con profondità comprese tra 300 e i 700 metri circa, rende trascurabili gli impatti ambientali e visivi ed esclude l'interferenza con aree protette, aree di pregio naturalistico ed ecosistemi ricchi di biodiversità. Inoltre la collocazione dell'area, 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 tutelando con carattere di preminenza aspetti ambientali legati, ad esempio, alla tutela dell'avifauna e delle specie di mammiferi marini. L'area preliminare di indagine si estende per circa 144 km² oltre la linea isodistanza 35 km dalle coste sarde più prossime e ottimizza, appunto, la compatibilità con vincoli di natura ambientale e/o antropica. Nello specifico degli obiettivi di studio, in questa sezione si descrivono i vincoli applicati a tale macro area per la preliminare determinazione della porzione residua utile al posizionamento degli aerogeneratori e la definizione del layout del parco sulla cui base procedere alla valutazione della producibilità energetica.

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

3.1. Distanza minima dalle coste

Al fine di limitare gli effetti visivi dalle coste, le strutture offshore del parco saranno collocate a oltre 35 km dalle più vicine coste prospicienti l'area marina di progetto (rif. Figura 3.1).

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, Figura 3.2). Per semplificare le operazioni di posa di cavi e sistemi di ancoraggio saranno inoltre preferite aree marine caratterizzate da



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

5 di 28

morfologie del fondale a ridotta pendenza, inferiore a 10 deg, per minimizzare i rischi inerenti alla posa dei sistemi cavo, ormeggio e ancoraggio. L'area in esame (rif. Figura 3.3) presenta livelli batimetrici ovunque superiori a 300 m con pendenze del fondale generalmente inferiori a 6 deg.

3.3. Infrastrutture marine esistenti

Gli aerogeneratori e le loro impronte di ormeggio saranno collocati ad una distanza minima di 250 m da eventuali infrastrutture sottomarine (cavi di potenza e telecomunicazione) presenti nell'area di progetto. L'area in esame (rif. Figura 3.4), sulla base delle migliori informazioni disponibili alla data di stesura del presente documento, non interseca infrastrutture cavo sottomarine attive; le eventuali intersezioni saranno comunque gestite di concerto con i relativi proprietari e portatori di interesse e secondo i più recenti standard normativi.

3.4. Resti antropici sul fondale

Gli aerogeneratori e le loro impronte di ormeggio saranno collocate in posizione di sicurezza rispetto a resti antropici sottomarini quali, ad esempio, relitti marini. I rinvenimenti noti alla data del presente documento sono mostrati in Figura 3.5.

3.5. Sicurezza della navigazione

Al fine di minimizzare le interferenze con i principali flussi della navigazione marittima esistenti nell'area, le strutture offshore del parco saranno collocate in aree a minima densità di navigazione (rif. Figura 3.6).

3.6. Ventosità

Al fine di massimizzare la producibilità energetica dell'impianto saranno preferite aree marine ad elevata ventosità (rif. Figura 3.7).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

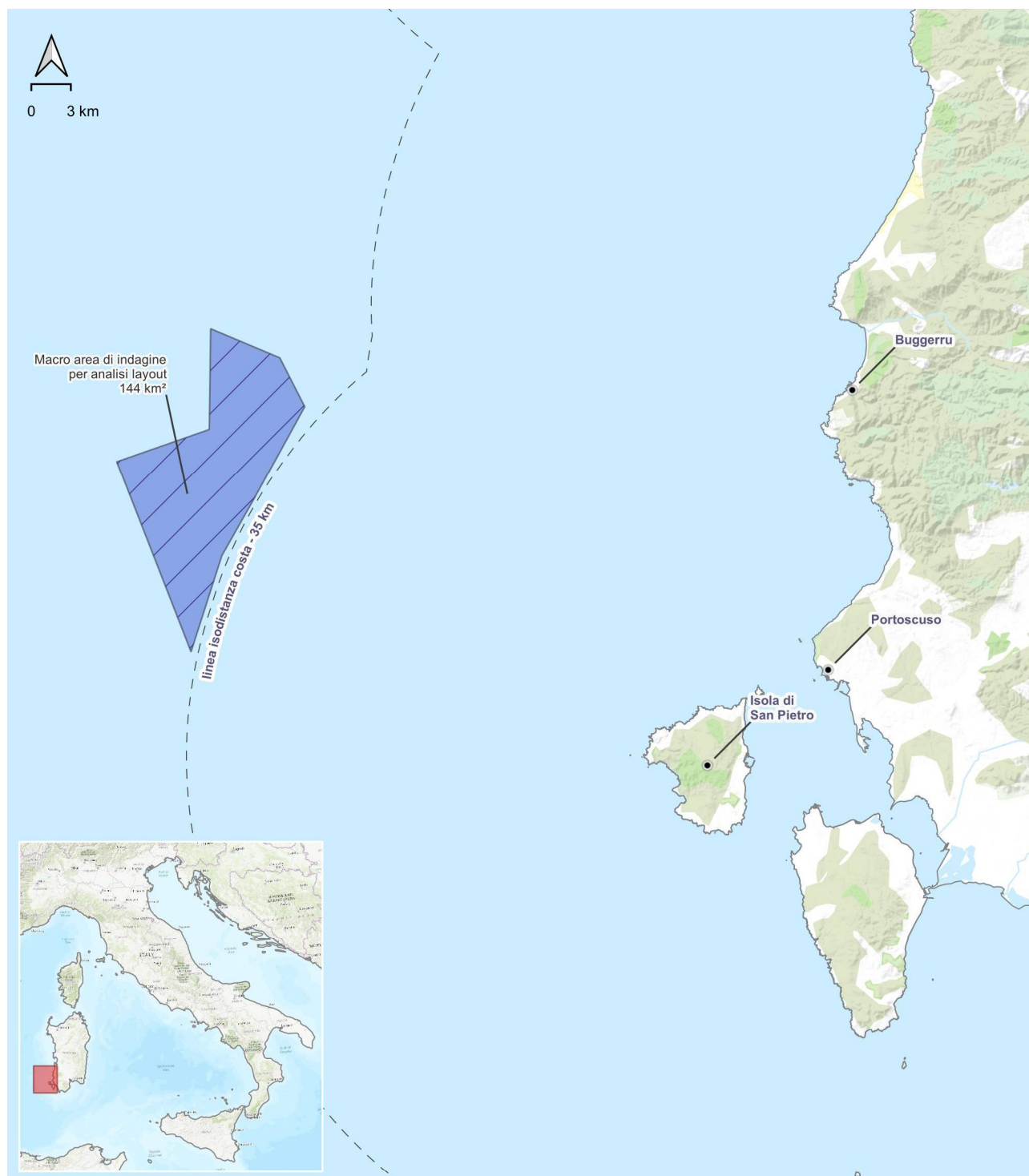
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
6 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

-- Linea isodistanza dalla costa

● Punti di riferimento

■ Macro area di indagine

Figura 3.1 – Macro area preliminare di indagine per le analisi di layout.

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

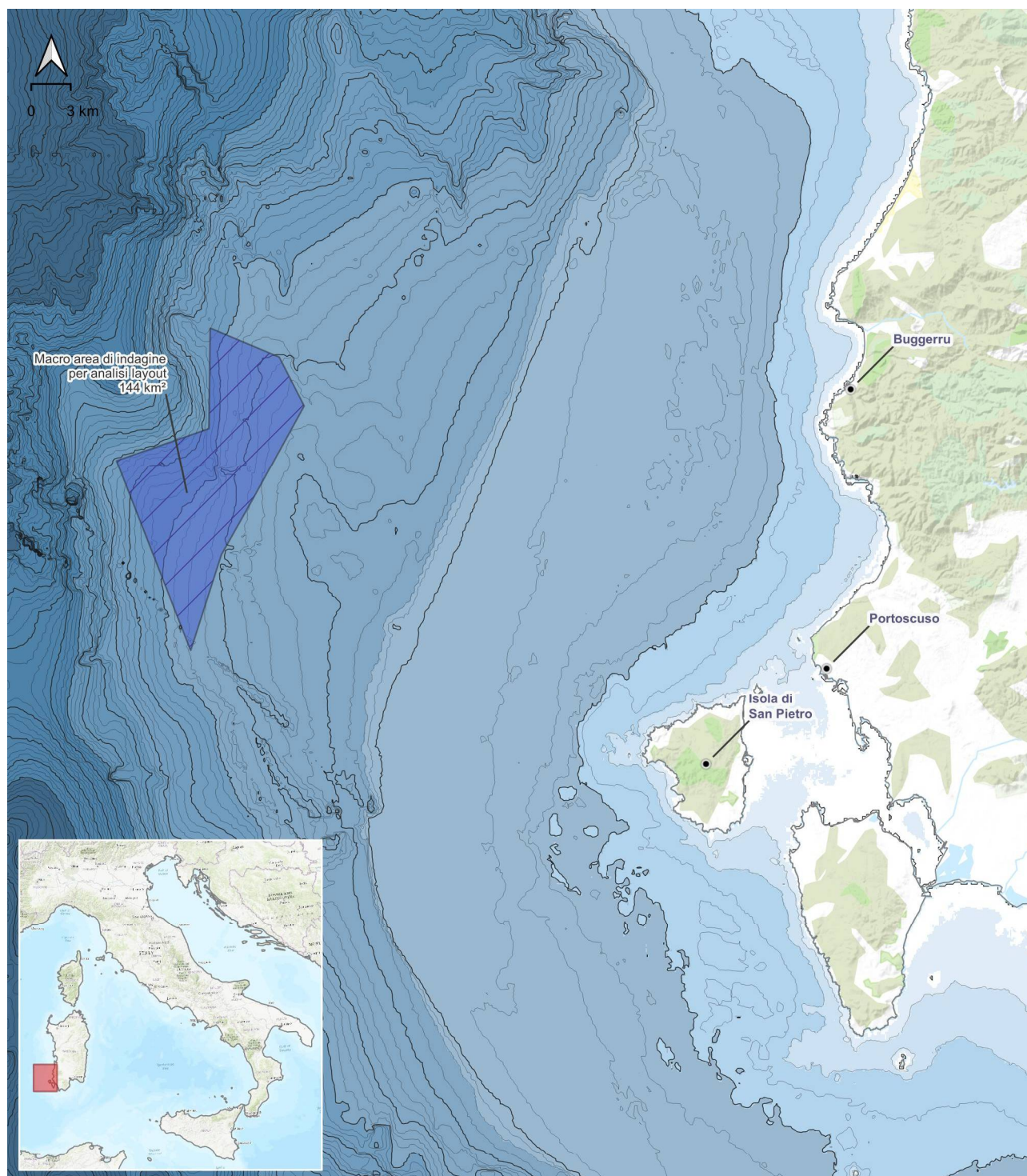
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
7 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Livelli batimetrici

Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

● Punti di riferimento

Macro area di indagine

Livello batimetrico, mMSL

● ≤ -3000

● -3000 - -1500

● -1500 - -1000

● -1000 - -750

● -750 - -500

● -500 - -250

● -250 - -100

● -100 - -50

● -50 - -25

● -25 - -10

Figura 3.2 – Criteri localizzativi, livelli batimetrici.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021)



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

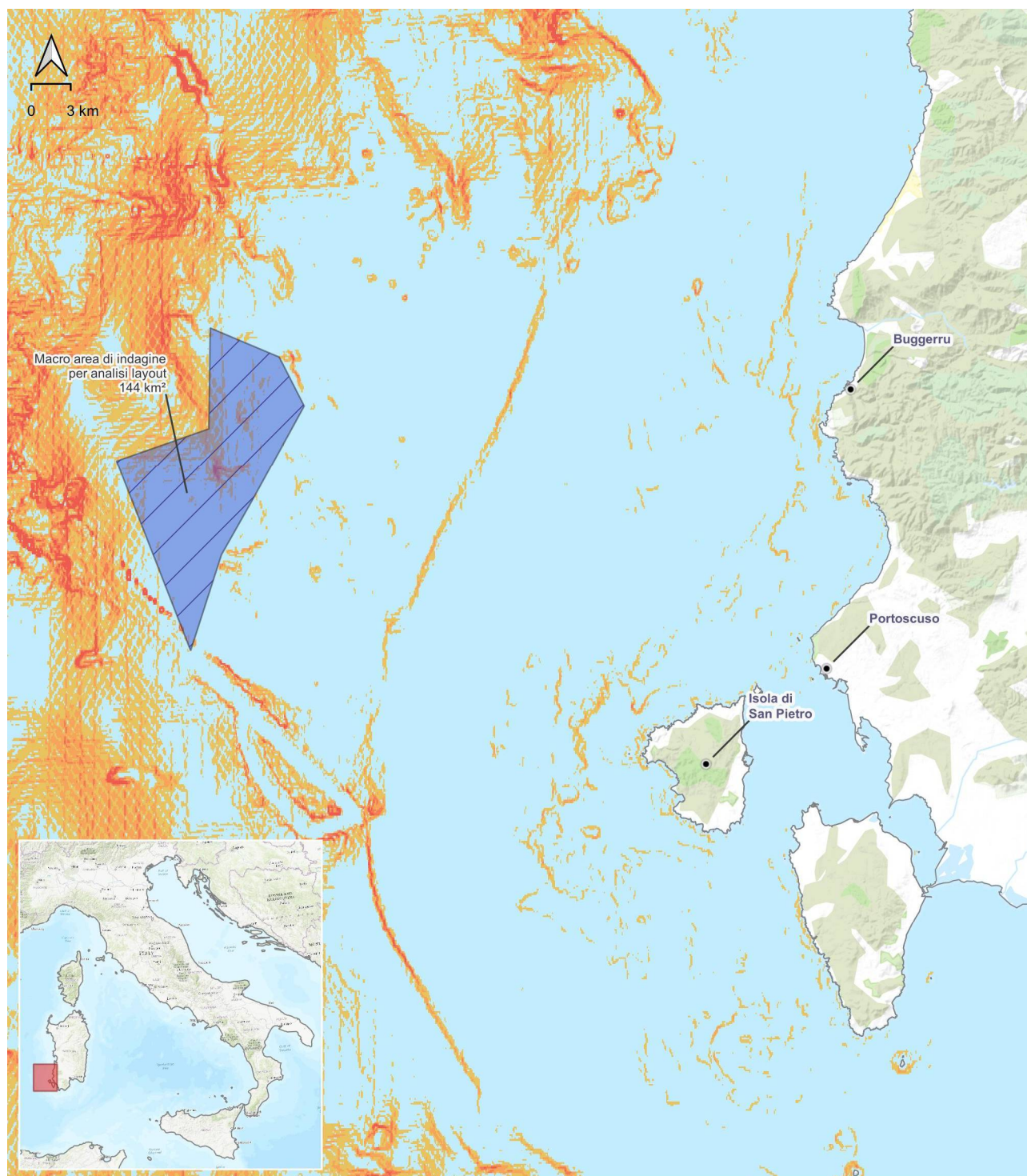
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
8 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Morfologia del fondale
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

- Punti di riferimento
- Macro area di indagine

Pendenza del fondale, deg

- ≤ 3
- 3 - 6
- 6 - 10
- 10 - 15
- > 15

Figura 3.3 – Criteri localizzativi, livelli batimetrici e pendenza dei fondali.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

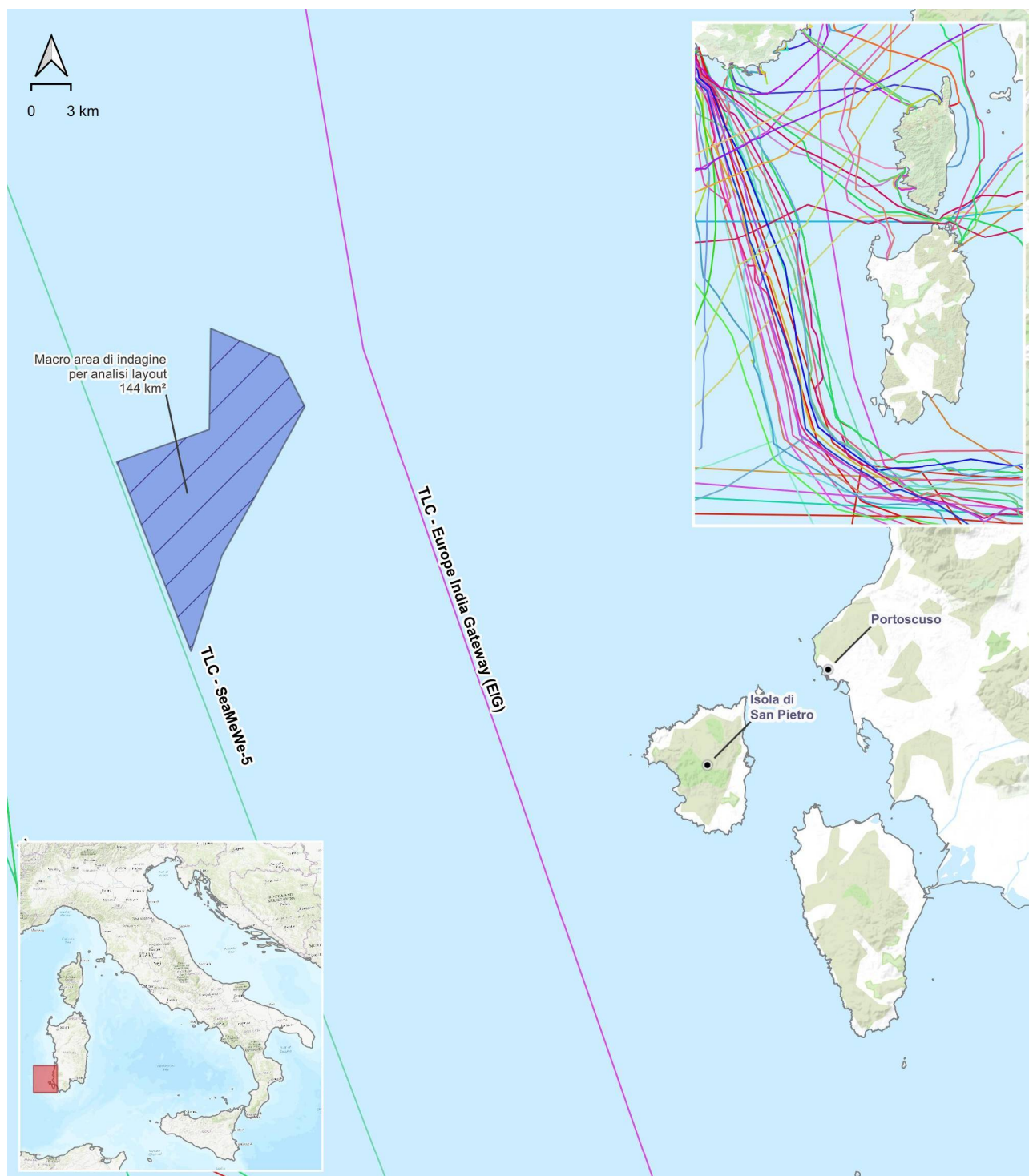
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
9 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Infrastrutture sottomarine, sistemi cavo
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

- Punti di riferimento
- Macro area di indagine

Figura 3.4 – Criteri localizzativi, infrastrutture antropiche.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
10 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Relitti e ritrovamenti sottomarini
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

Macro area di indagine

Shipwrecks

Ritrovamento

Figura 3.5 – Criteri localizzativi, resti antropici sul fondale.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

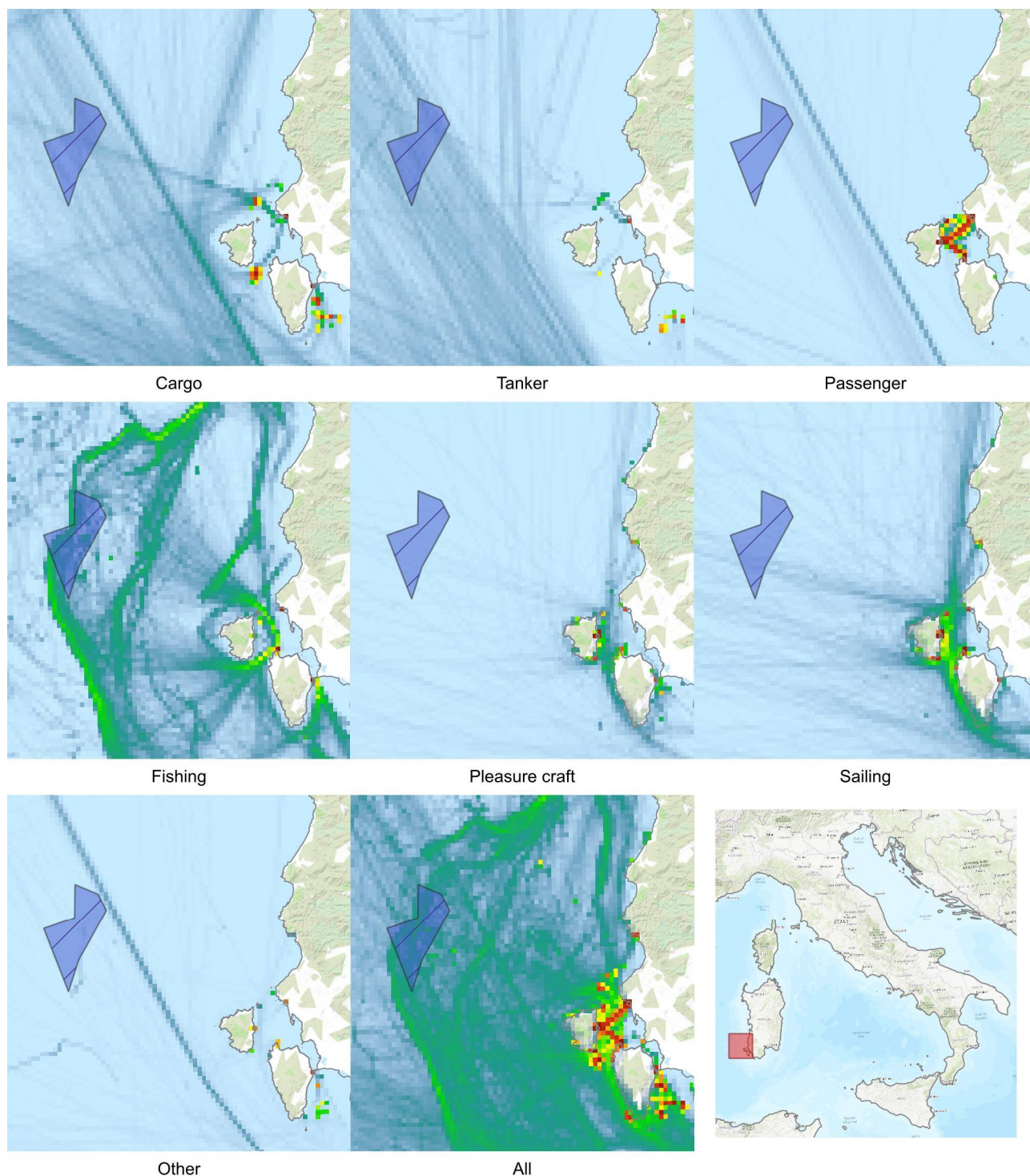
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
11 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Navigazione marittima
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

Macro area di indagine

Densità di navigazione, ore/km² al mese



Figura 3.6 – Criteri localizzativi, traffico navale e navigazione marittima.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

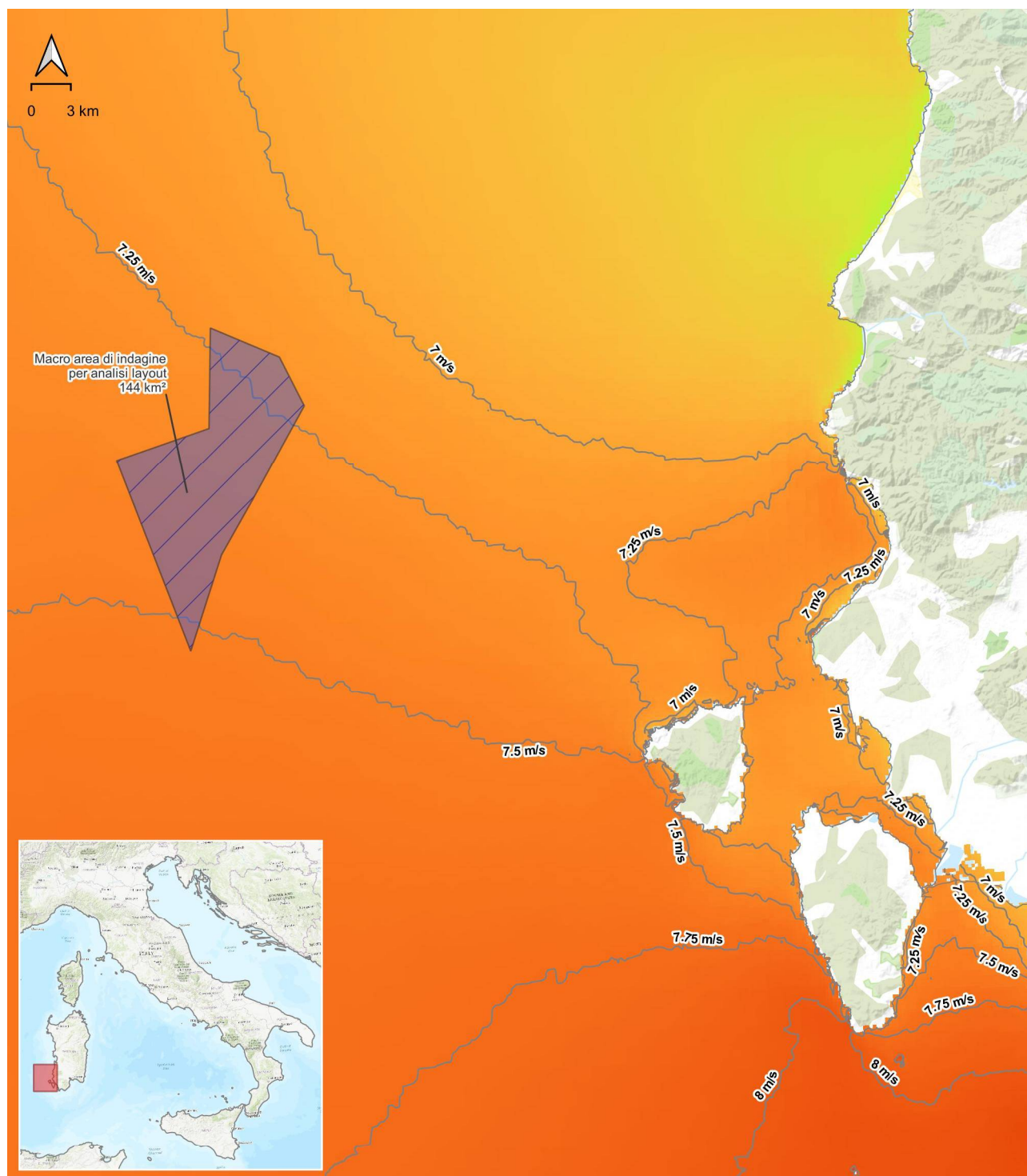
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
12 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Definizione macro area per analisi di definizione del layout del parco eolico - Velocità del vento
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Perimetrazioni

Macro area di indagine

Velocità del vento @150 mMSL, m/s

0

10

Figura 3.7 – Criteri localizzativi, risorsa eolica e velocità del vento.

Elaborazione iLStudio su dati (Technical University of Denmark (DTU), 2021).



Ichtnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELP000b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

13 di 28

3.7. Occupazione dell'area marina

L'impronta totale interessata dal layout, ivi compresi gli aerogeneratori e i sistemi di ormeggio e ancoraggio, minimizzerà l'occupazione dell'area marina entro i livelli strettamente necessari.

3.8. Geometria dell'array e distanze tra le turbine

Non sussistono particolari vincoli sulle distanze minime o massime consentite fra gli aerogeneratori, né per quanto riguarda condizioni di 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.

3.9. Ingombro dei sistemi di ormeggio

La massima impronta a terra del sistema di ormeggio degli aerogeneratori e delle sottostazioni, intesa come estensione dell'area circolare centrata sull'asse verticale delle strutture galleggianti, dipende (per sistemi tesi) sia dal livello batimetrico locale sia dalle caratteristiche costruttive delle linee, in primis il materiale.

Ipotizzando realizzazioni in materiale sintetico (poliestere) le valutazioni di micro layout analizzate implementano un raggio di ormeggio variabile con la profondità locale e pari al massimo tra i raggi ottenuti per la configurazione nylon e la configurazione poliestere. Si assume inoltre che, cautelativamente, le impronte di ormeggio non si sovrappongano sebbene tale vincolo potrà essere rilassato in una successiva ingegnerizzazione di dettaglio determinando una riduzione dell'impegno areico del parco.

L'area disponibile alla localizzazione delle strutture galleggianti compatibile con i requisiti di installazione di ormeggi tesi all'interno dell'area di progetto è rappresentata in linea rossa in Figura 3.8.

3.10. Consuntivo

L'applicazione dei vincoli finora descritti determina una rimodulazione dell'area massima disponibile per le pianificazioni di layout da circa 144 km² a circa 117 km².

ANALISI DI LAYOUT DEL PARCO EOLICO

area disponibile per la microlocalizzazione dopo l'applicazione dei vincoli

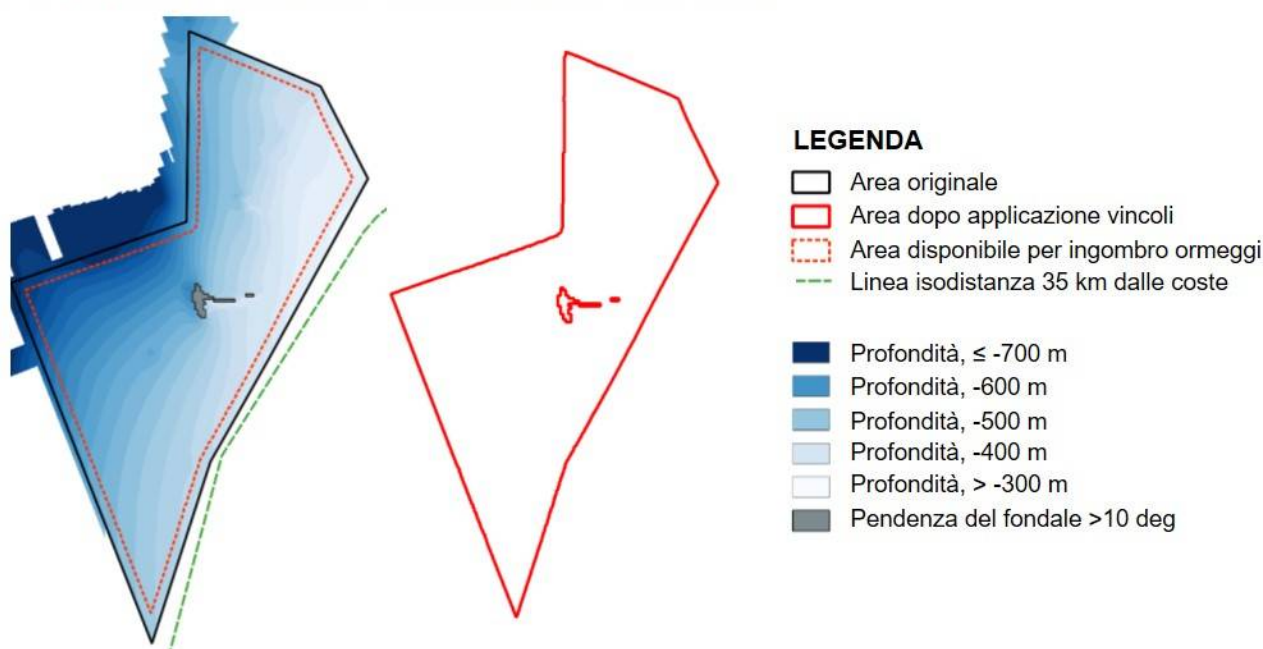


Figura 3.8 – Area disponibile per la valutazioni di layout al netto dei vincoli di localizzazione.

Elaborazione C2WIND.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
14 di 28

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. Analisi del clima anemologico della località

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:

- mappe della ventosità del Global Wind Atlas;
- mappe della ventosità dello New European Wind Atlas;
- mappe della ventosità del Atlante Eolico Italiano RSE;

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 preliminare.

FONTE	VELOCITÀ MEDIA DEL VENTO
Global Wind Atlas	5.64 m/s @ 10 mMSL, 7.26 m/s @ 100 mMSL
New European Wind Atlas MESO	6.82 m/s @ 50 mMSL, 7.01 m/s @ 100 mMSL
Atlante Eolico d'Italia	6.85 m/s @ 50 mMSL, 7.16 m/s @ 100 mMSL

Un ulteriore studio specialistico è stato commissionato al consulente C2WIND per una migliore stima della risorsa eolica disponibile; 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.

4.2. Note sui modelli a mesoscala

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

- modelli in macroscale: scale di lunghezza da 20 a 200 km;
- modelli a mesoscale: scale di lunghezza da 0.1 a 20 km;
- modelli in microscale: scale di lunghezza da 0.01 a 0.1 km.

I modelli in macroscale sono modelli di rianalisi rilevanti per la caratterizzazione della risorsa eolica a livello di macro area ma non catturano bene gli effetti meso e microscale 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 mesoscale che usano set di dati di rianalisi come input e calcolano, attraverso 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 mesoscale riducono 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,



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELP000b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

15 di 28

dall'altro, catturano i fenomeni legati alle 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) estratte dal database commerciale Vortex in una posizione interna all'area di progetto. Il set di dati comprende valori della velocità e della direzione del vento insieme ad altri parametri ambientali per diverse quote di riferimento da 50 a 300 mMSL.
- serie temporali di rianalisi a lungo termine (30 anni) per i nodi dati prossimi alla posizione di progetto estratte 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 3.5. La serie temporale di ERA5 comprende velocità e direzione del vento a 10 e 100 mMSL, mentre la serie MERRA2 comprende velocità e direzione del vento a 50 m MSL.

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DEL PARCO EOLICO

Posizione dei punti di estrazione dati rispetto all'area di indagine

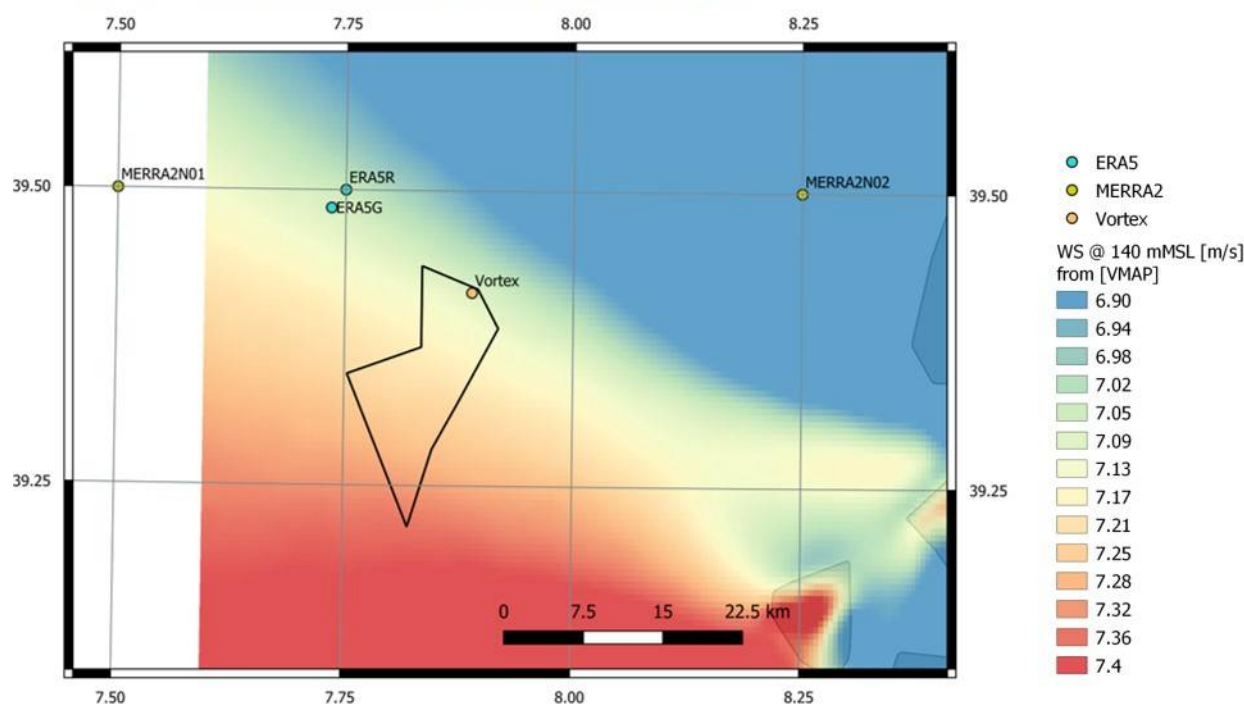


Figura 4.1 – Punti di estrazione dati per la valutazione della risorsa energetica.

Elaborazione C2WIND.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELP000b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

16 di 28

I punti di estrazione dati sono riportati in Figura 4.1. 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 basano 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 4.2 riporta una serie temporale di velocità e direzione del vento a 140 mMSL estratta dal dataset Vortex per l'anno 2018.

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DEL PARCO EOLICO

serie storiche delle velocità e della direzione del vento a 140 mMSL

dati secondo VORTEX per l'anno 2018

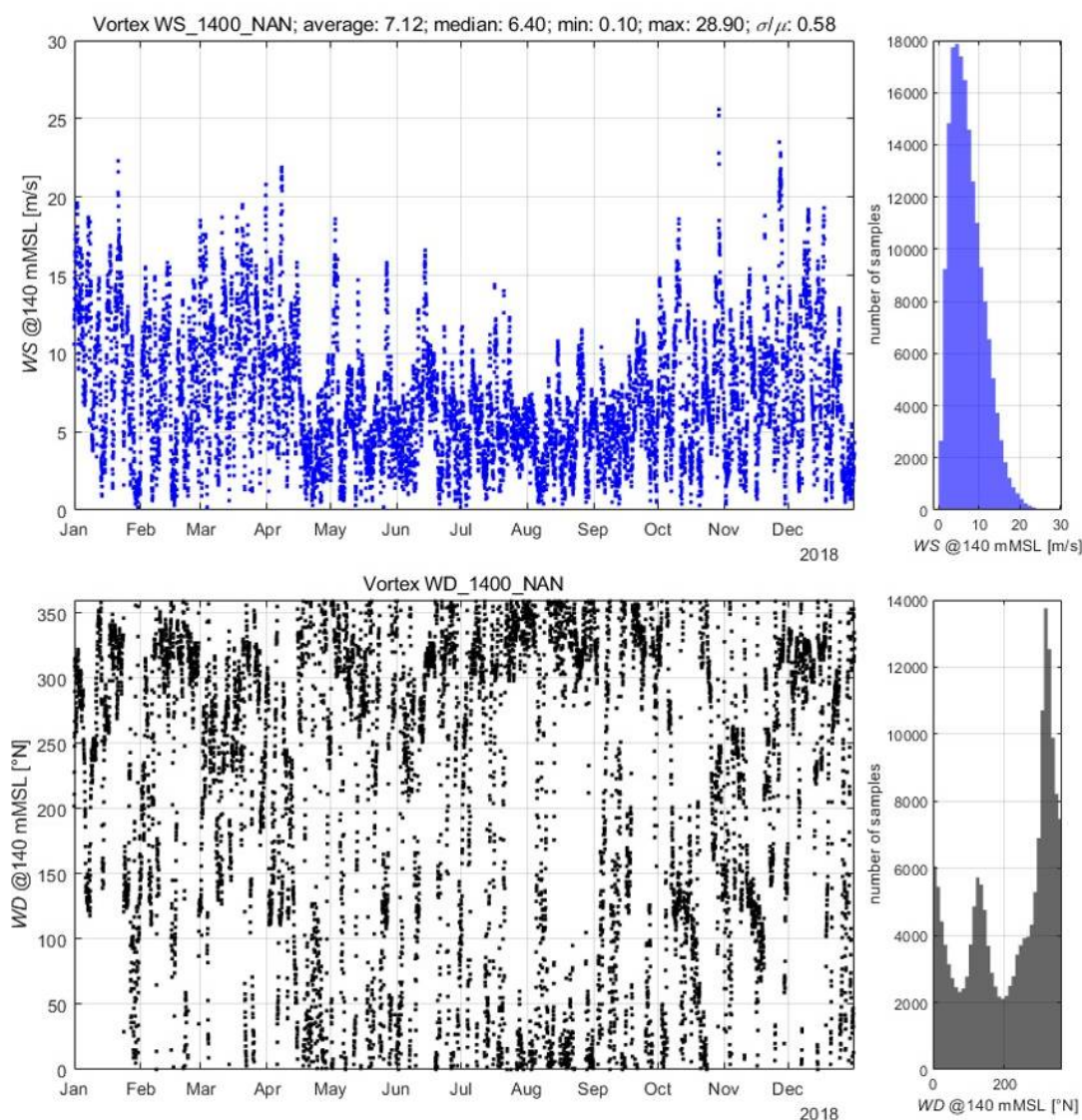


Figura 4.2 – Serie temporali per la valutazione della risorsa eolica.

Velocità del vento (in alto) e della direzione del vento (in basso) a 140 mMSL estratte dal dataset Vortex per l'anno 2018.

Elaborazione C2WIND.

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. La rosa dei venti mostra significativi contributi di frequenza ed energia nei settori 315 e 135 gradi nord. Anche le rose dei venti dei dataset ERA5 e MERRA2 convergono a questa conclusione. La variabilità intermensile del regime di vento è infine descritta dalle rose dei venti di Figura 4.4.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
17 di 28

ANALISI DI PRODUCIBILITÀ DEL PARCO EOLICO

distribuzione delle probabilità di vento, approssimazione statistica secondo Weibull e rosa dei venti

Dati VORTEX, 20 anni, @140 mMSL

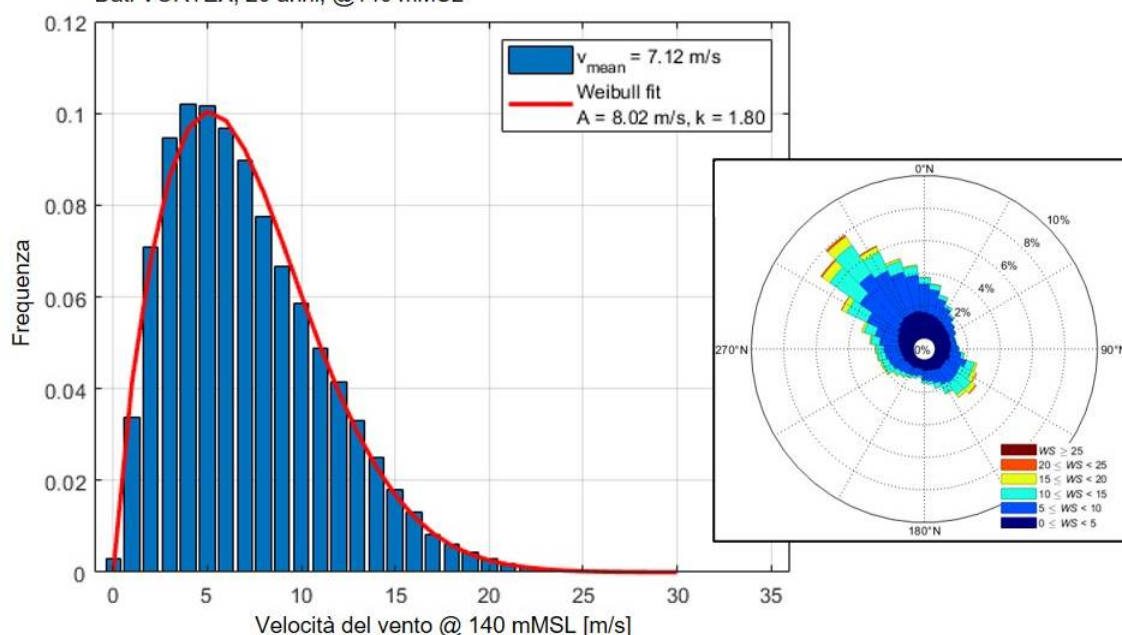


Figura 4.3 – Approssimazione di Weibull del dataset di vento Vortex.

Elaborazione iLStudio su dati C2WIND.

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Criteri localizzativi del parco eolico – Velocità del vento, rose dei venti mensili @ 140 mMSL

Elaborazione C2Wind su dati Vortex, periodo di riferimento 20 anni

C2WIND

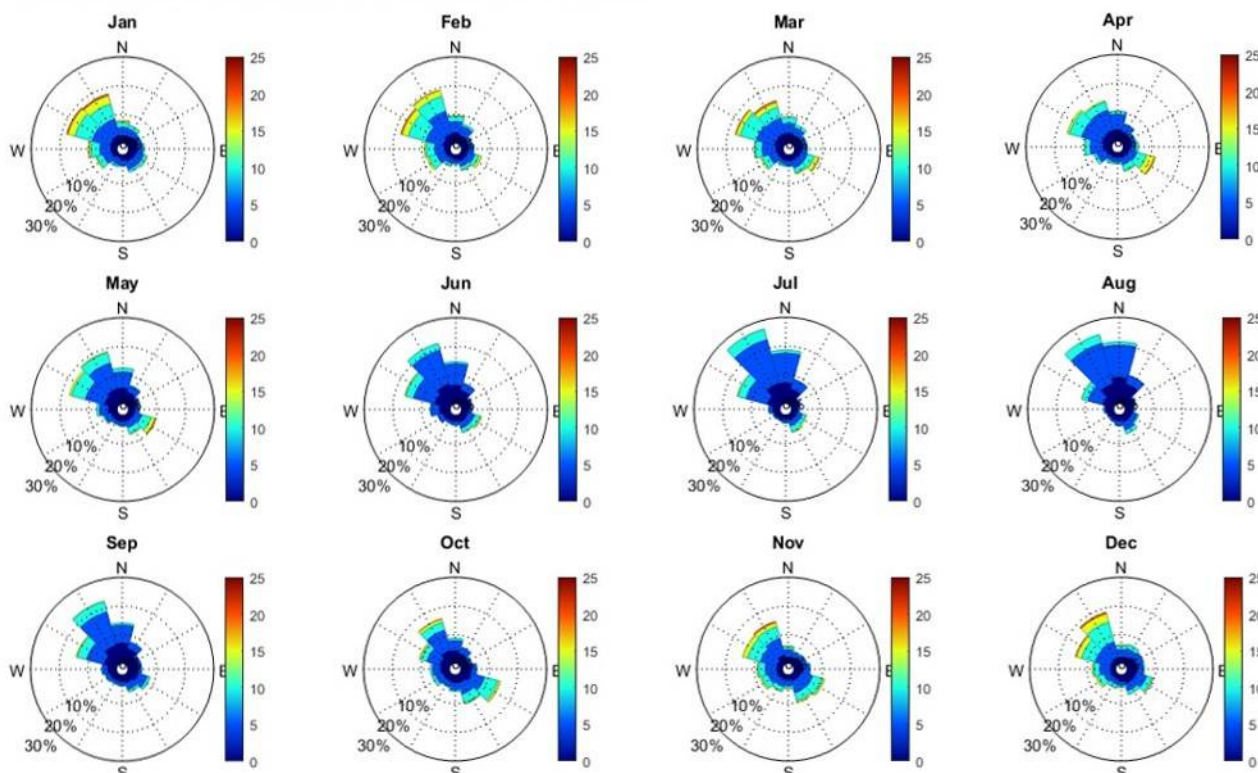


Figura 4.4 – Rose dei venti a 140 mMSL per la località di progetto. Media di lungo periodo (20 anni).

Elaborazione iLStudio su dati C2WIND.



Ichnusa wind power srl

ilStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
18 di 28

4.4.1. Stima della ventosità di lungo periodo

È stata effettuata una analisi MCP (Misura – Correlazione – Predizione) 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 20 anni.

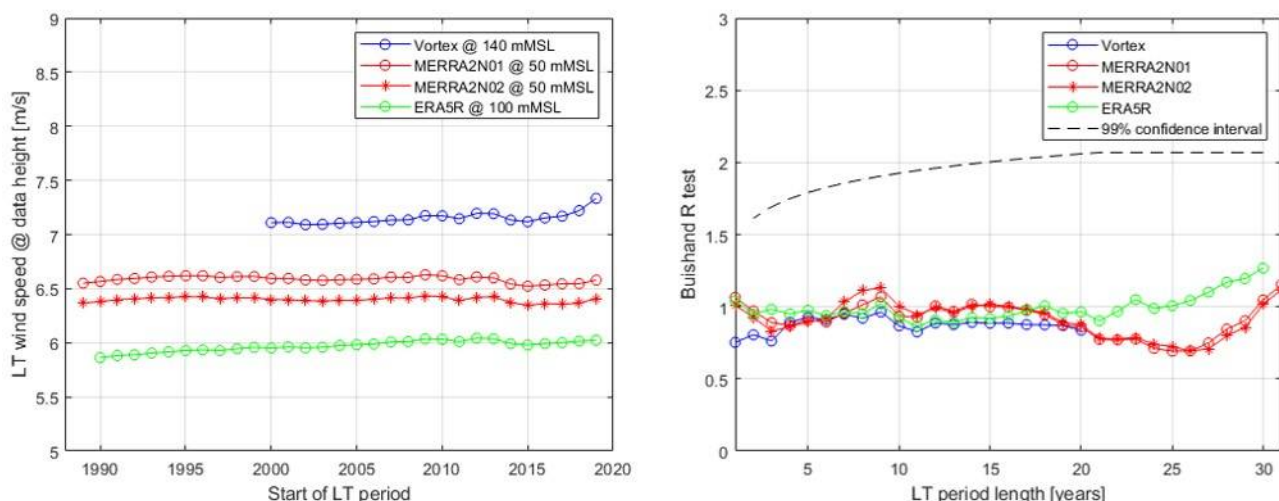


Figura 4.5 – Velocità media del vento di lungo periodo.

Valori per diverse serie temporali Vortex, ERA5N e MERRA2N e test della gamma Buishand per la coerenza delle serie temporali. Elaborazione C2WIND.

4.4.2. Stima della variabilità spaziale del vento

La variazione spaziale della velocità del vento all'interno dell'area di analisi è stata modellata a partire dal dataset di vento a mesoscala considerando i regimi di velocità e direzione a 140 mMSL per il ventennio dal 1° gennaio 2000 al 1° gennaio 2020 (velocità media del vento 7.1 m/s @140 mMSL) ed estrapolando spazialmente in relazione alla distribuzione geografica della velocità media del vento.

4.4.3. Analisi del profilo verticale di velocità

Per il calcolo della producibilità energetica del sito si fa riferimento a due configurazioni di aerogeneratore, una *commerciale* basata sulla miglior configurazione commerciale proposta alla data del presente documento, ed una *prevedibile* coerente con le previsioni di sviluppo dell'industria di settore. Nello specifico, per ciò che riguarda gli aspetti puramente dimensionali, in accordo con le risultanze del report tecnico di NREL (National Renewable Energy Laboratory) "Definition of the IEA 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine" (datato marzo 2020) per la definizione di una turbina offshore di riferimento compatibile con i trend di sviluppo dettati dall'industria di settore, fa riferimento ad un diametro rotore di 240 m (NREL, 2021). Alla data del presente documento sono peraltro in studio controllori e soluzioni tecniche per nuovi aerogeneratori offshore con potenze fino a 20 MW e diametri rotore fino a 250 m (TNO Innovation for Life, 2020) (DTU, 2020).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

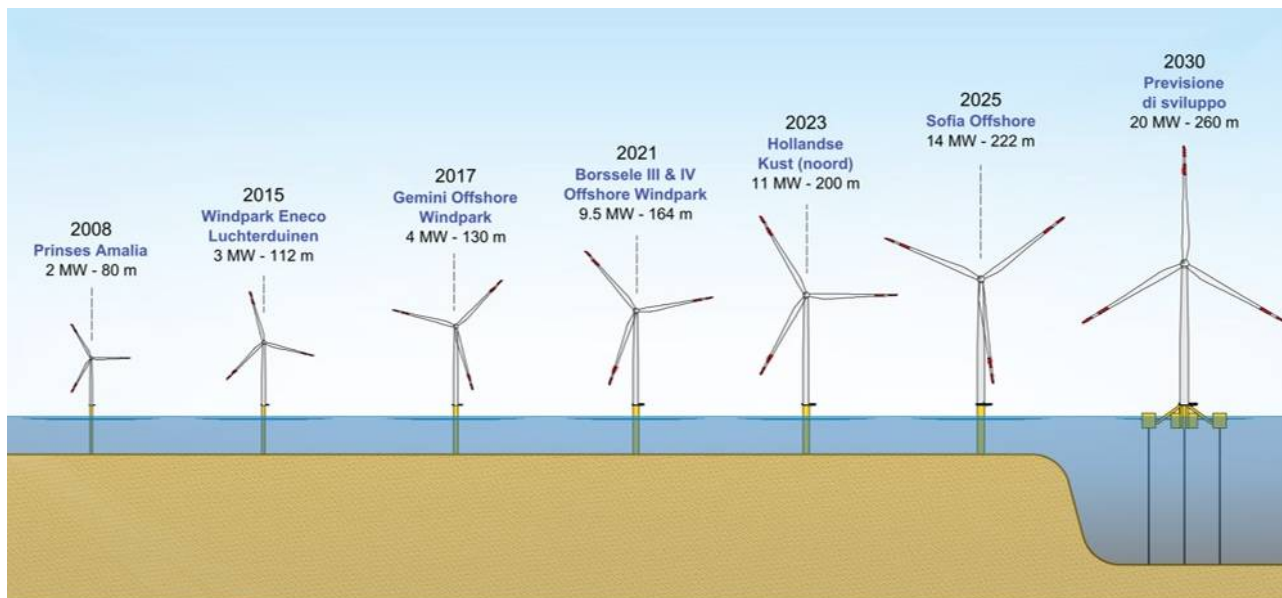
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
19 di 28



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Previsione di crescita delle dimensioni (diametro rotore) e potenza elettrica nominale. Proposte progettuali internazionali. Elaborazione iLStudio su dati (energy.gov, 2021), (NREL, 2020) e (Van Oord, 2022)

Figura 4.6 – Previsione di crescita delle dimensioni degli aerogeneratori in termini di altezza hub, diametro rotore e potenza elettrica nominale. Soluzioni standard commerciali.

Elaborazione iLStudio.

Per le valutazioni di producibilità si considerano quindi le due soluzioni mostrate in Tabella 4.2 (fermo restando che, in una fase successiva di ingegneria di dettaglio, alcuni parametri saranno eventualmente suscettibili di variazione).

Tabella 4.2 – Configurazioni di aerogeneratore ipotizzate per il calcolo della producibilità energetica.

Elaborazione iLStudio.

CONFIGURAZIONE DI CALCOLO	DIAMETRO ROTORE	ALTEZZA MASSIMA	QUOTA HUB	POTENZA NOMINALE	TIPICO DI RIFERIMENTO
Commerciale (produzione di serie dal 2024)	220 m	250 m	140 m	12 MW	General Electric GE-12-220
Prevedibile (installazione su prototipo al 2023)	250 m	280 m	155 m	12 MW	NREL 15MW offshore reference turbine

Operando un fit sui dati puntuali dei profili verticali di velocità del dataset Vortex, il profilo di velocità di lungo periodo è ben approssimato tra 100 e 200 mMSL mediante legge di potenza (*power law*) con *wind shear medio* pari a 0.076.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
20 di 28

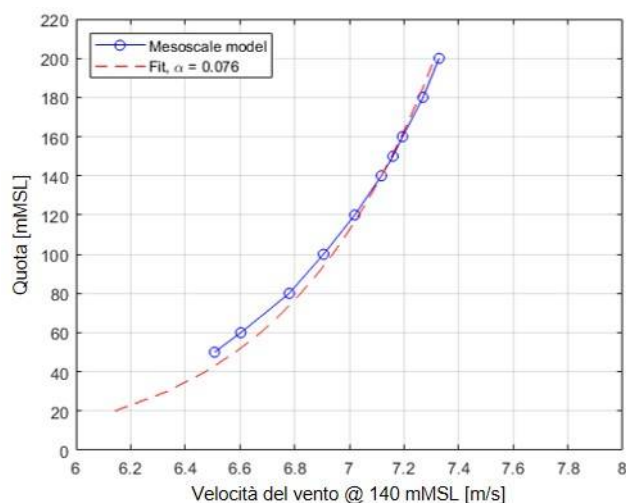


Figura 4-7 – Profilo verticale di velocità del vento.

Wind shear medio ottenuto per il dataset Vortex su un periodo di 20 anni; sovrapposizione con il profilo del vento ottenuto applicando la legge di potenza con wind shear medio pari a quello calcolato.
Elaborazione C2WIND.

Tabella 4.3 – Wind shear utilizzato per l'estrapolazione verticale della velocità del vento.

Elaborazione C2WIND.

Direzione [deg N]	Shear exponent [-]	Frequenza [-]	Direzione [deg N]	Shear exponent [-]	Frequenza [-]
0	0.046	0.0393	180	0.150	0.0130
10	0.043	0.0336	190	0.133	0.0122
20	0.036	0.0279	200	0.121	0.0121
30	0.021	0.0234	210	0.121	0.0134
40	0.013	0.0196	220	0.111	0.0149
50	-0.009	0.0164	230	0.105	0.0172
60	-0.019	0.0149	240	0.110	0.0210
70	-0.031	0.0133	250	0.106	0.0215
80	-0.048	0.0134	260	0.101	0.0227
90	-0.020	0.0147	270	0.090	0.0236
100	0.049	0.0180	280	0.088	0.0271
110	0.114	0.0240	290	0.082	0.0332
120	0.154	0.0316	300	0.071	0.0497
130	0.172	0.0322	310	0.059	0.0710
140	0.165	0.0297	320	0.054	0.0787
150	0.159	0.0240	330	0.051	0.0631
160	0.173	0.0185	340	0.046	0.0507
170	0.176	0.0152	350	0.047	0.0452



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

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 6.

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. Con questo spirito, la valutazione che segue si basa su configurazioni di aerogeneratore del tipo in Tabella 4.2 con potenza nominale elettrica di 12 MW diametro rotore 220 e 250 m, altezza hub 140 e 155 mMSL.

Il riferimento ad un aerogeneratore “commerciale” consente l'accesso a dati *robusti* per l'esecuzione dei calcoli e la verifica di bontà dei risultati. A tale scopo, la Figura 5.1 mostra le curve di potenza della turbina “commerciale” GE-12-220 e della configurazione “prevedibile” valutate considerando aria con densità 1.225 kg/m³.

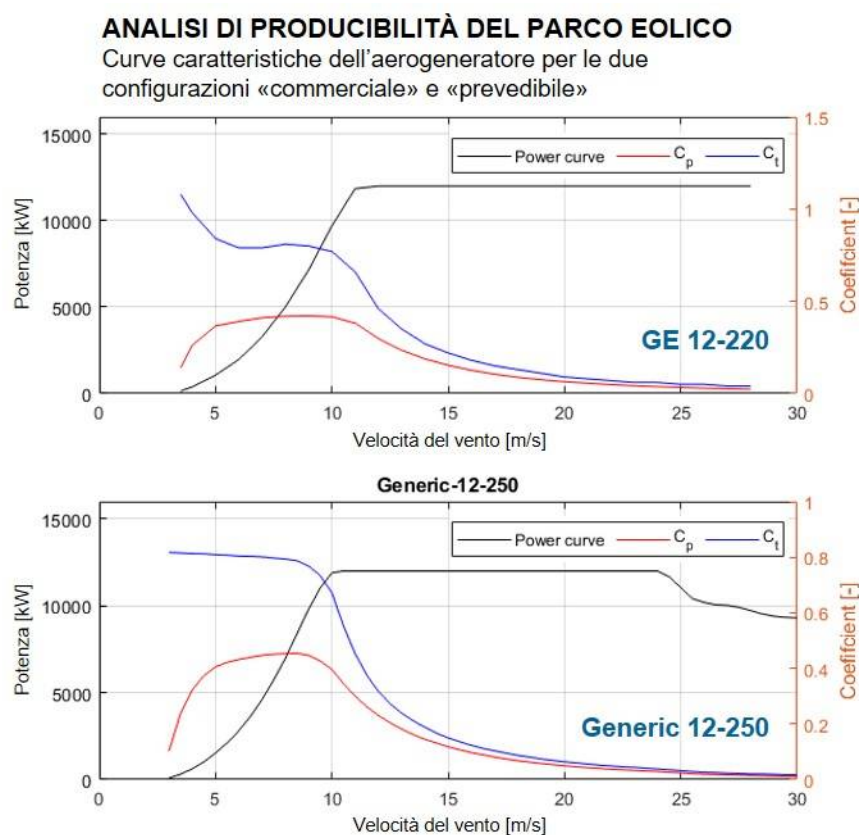


Figura 5.1 – Curva di potenza, coefficienti di potenza e di spinta per i modelli di aerogeneratore impiegati per le analisi.

Elaborazione C2WIND.



5.2. Generazione delle alternative di layout

Una serie di layout costituiti da 42 aerogeneratori 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. Alcuni esempi delle alternative di layout elaborate sono mostrati in Figura 5.2.

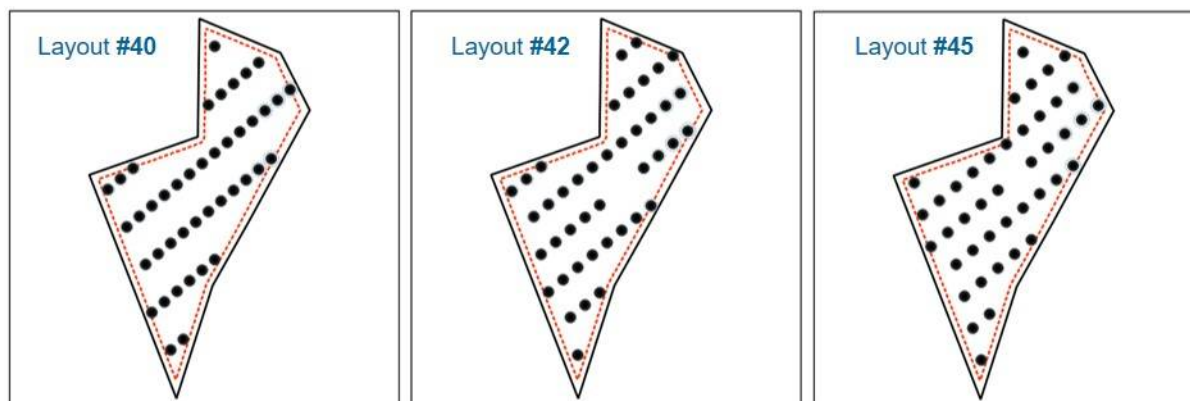


Figura 5.2 – Esempi di alternative di layout generate nell'ambito della fase di progetto.

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 che 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 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.

I layout sub-ottimali generati dal C2WPST, corrispondenti alle soluzioni con le perdite di scia più basse, sono



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
23 di 28

stati successivamente implementati nel software commerciale WindPRO per valutare la produzione annuale di energia (AEP) lorda e al netto delle perdite di scia.



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

WindPRO è una suite software per la progettazione e pianificazione di parchi eolici riconosciuta e accettata a livello internazionale. L'ambiente software copre tutte le fasi di analisi e progettazione, dall'analisi dei dati eolici, al calcolo dei rendimenti energetici, dalla quantificazione delle incertezze alla valutazione dell'idoneità del sito. Le figure seguenti riportano un estratto degli output software relativi alla producibilità e alle caratteristiche prestazionali degli aerogeneratori.

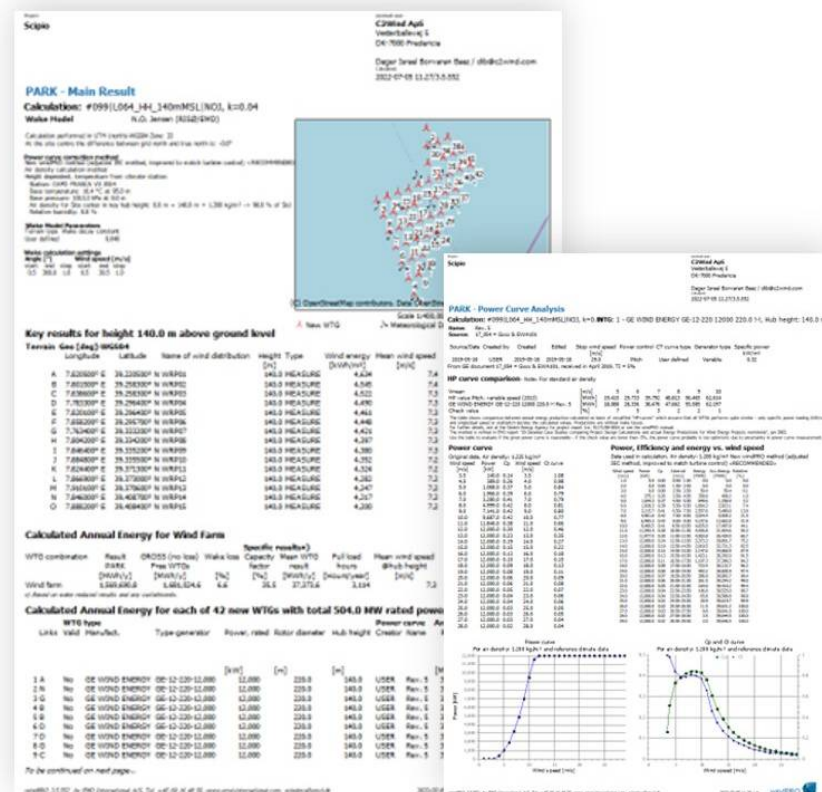


Figura 5.4 – Esempio di output del software di calcolo della producibilità.

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.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
24 di 28

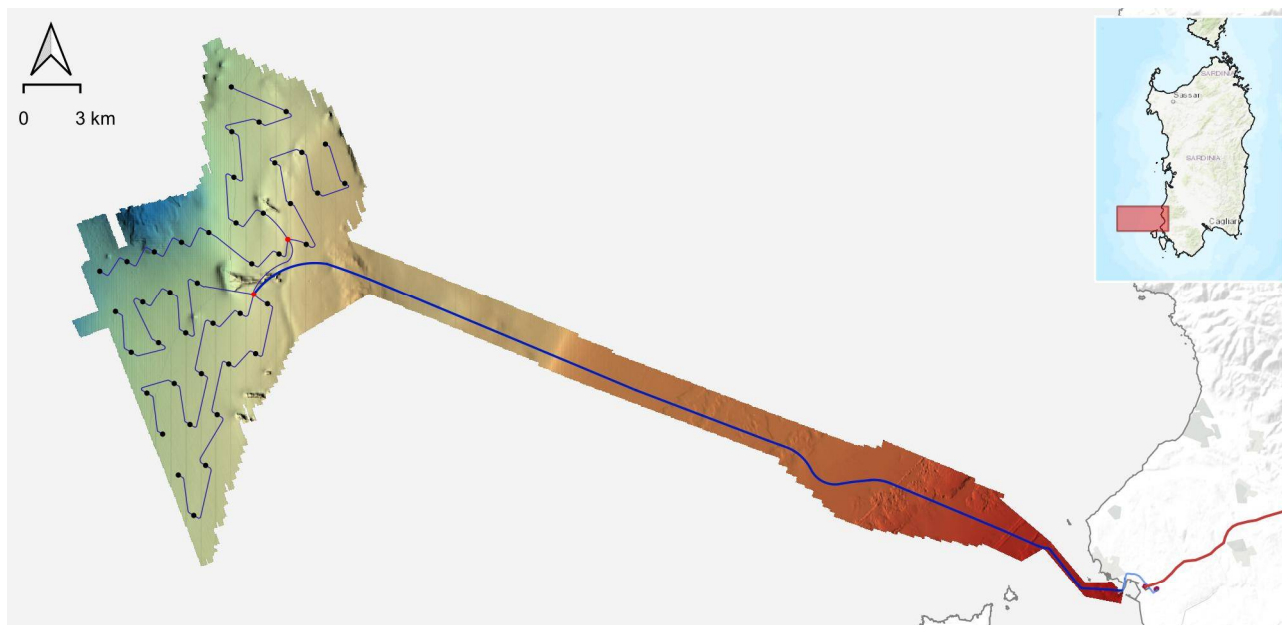
6. CONSUNTIVO DEI RISULTATI

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.

Tabella 6.1 – Coordinate strutture offshore per la soluzione di layout proposta.

Coordinate secondo EPSG32632 UTM 32N.

ID struttura	Easting	Northing	ID struttura	Easting	Northing	ID struttura	Easting	Northing
WTG01	398152	4342533	WTG15	396063	4356466	WTG29	402048	4353683
WTG02	400137	4365178	WTG16	396895	4354301	WTG30	400164	4362816
WTG03	393181	4355443	WTG17	397726	4352147	WTG31	400275	4360409
WTG04	394013	4353278	WTG18	398557	4349997	WTG32	401825	4358513
WTG05	394844	4351124	WTG19	399389	4347839	WTG33	402658	4356356
WTG06	395674	4348973	WTG20	397504	4356973	WTG34	401604	4363324
WTG07	396505	4346815	WTG21	398337	4354808	WTG35	402436	4361171
WTG08	397334	4344660	WTG22	399169	4352654	WTG36	403266	4359021
WTG09	394623	4355950	WTG23	400000	4350504	WTG37	404099	4356864
WTG10	395455	4353784	WTG24	401424	4351049	WTG38	403036	4363878
WTG11	396287	4351630	WTG25	398946	4357488	WTG39	403868	4361725
WTG12	397117	4349480	WTG26	400606	4353175	WTG40	404699	4359575
WTG13	397949	4347322	WTG27	400387	4357995	WTG41	405113	4362160
WTG14	398778	4345167	WTG28	401219	4355838	WTG42	406140	4360083



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Ubicazione impianto offshore su mappa batimetrica - Tracciati rete IAC ed elettrodotto Ofec

Elaborazione iLStudio su dati campagna geofisica FUGRO / NEXTGeo

LEGENDA

Strutture e impianti

— Rete inter-array IAC 66kV

— Elettrodotto di esportazione Ofec 220kV

• WTG

• FOS

Livello batimetrico, mMSL



Figura 6.1 – Ubicazione del parco eolico e layout di impianto.

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
25 di 28

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 Tabella 6.2.

L'analisi di producibilità teorica restituisce, per le due configurazioni di aerogeneratore considerate, producibilità lorde (gross AEP, gross Annual Energy Production) tra un minimo di 1681 e un massimo di 1969 GWh/anno per le due configurazioni “commerciale” e “prevedibile”. Si stima inoltre un'incidenza delle perdite di scia pari al 6.6% e 6.8% rispettivamente cui va sommato un ulteriore contributo di perdita per dissipazione elettrica e indisponibilità dell'impianto (availability) cautelativamente quantificabili attorno al 10.3% dell'AEP al netto della scia. Risulta dunque una produzione di energia netta stimata (net AEP, net Annual Energy Production) tra circa 1408 GWh/anno per la configurazione “commerciale” e circa 1647 GWh/anno per la configurazione “prevedibile”.

Tabella 6.2 – Consuntivo caratteristiche e prestazioni dell'output di layout.

CONFIGURAZIONE LAYOUT	42 x WTG + 2 x FOS	42 x WTG + 2 x FOS
CONFIGURAZIONE AEROGENERATORE	“prevedibile”	“commerciale”
Potenza nominale	12 MW	12 MW
Diametro rotore	250 m	220 m
Quota Hub	155 mMSL	140 mMSL
BATIMETRIA DELL'AREA		
Profondità minima	~ 340 m	~ 340m
Profondità massima	~ 670 m	~ 670 m
PRESTAZIONI ENERGETICHE		
AEP lordo	1969 GWh/anno	1681 GWh/anno
Perdita di scia	6.8%	6.6%
Perdita availability	10.3%	10.3%
AEP netto	1647 GWh/anno	1408 GWh/anno
Capacity factor netto teorico	37.3%	31.9%



Ichtnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
26 di 28

7. 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", orientata alla minimizzazione delle interferenze con l'esistente assetto ambientale e antropico, ha restituito un'area di indagine preliminare di circa 144 km² alla quale sono stati sovrapposti ulteriori vincoli relativi alla riduzione 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.

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 315 e 135 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 42 aerogeneratori da 12 MW per una capacità elettrica nominale di 504 MW. Le dimensioni e la curva caratteristica sono state stimate in riferimento a soluzioni commerciali e prevedibili scenari di sviluppo della tecnologia ipotizzando due differenti soluzioni tecniche 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 504 MW determina un AEP lordo variabile tra un minimo di 1681 e un massimo di circa 1969 GWh/anno al variare della configurazione di calcolo ("commerciale" vs "prevedibile" rispettivamente) con minime perdite di scia comprese tra il 6.2% e il 6.8% ("commerciale" vs "prevedibile" rispettivamente). La producibilità netta, considerando anche perdite non fluidodinamiche di tipo elettrico e di availability dell'impianto, varia infine tra 1408 GWh/anno e 1647 GWh/anno (configurazione "commerciale" vs "prevedibile").



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:
C0421BR09RELP000b

Data emissione:
Marzo 2023

Pagina
27 di 28

RIFERIMENTI

DTU, 2020. *orbit.dtu.dk*. [Online]

Available at: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/control-system-design-for-a-20-mw-reference-wind-turbine/fingerprints/>

[Consultato il giorno 2021].

EMODnet, 2021. *EMODnet Bathymetry*. s.l.:s.n.

EMODnet, 2021. *EMODnet Human Activities*. s.l.:EMODnet.

NREL, 2021. *IEA Wind TCP Task 37 - Definitio of the IEA Wind 15-Megawatt Offshore Reference Wind Turbine - Technical Report*, s.l.: NREL.

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

Technical University of Denmark (DTU), 2021. *Global Wind Atlas*. [Online]

Available at: <https://globalwindatlas.info/>

[Consultato il giorno Marzo 2022].

TNO Innovation for Life, 2020. *TNO Innovation for Life*. [Online]

Available at: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/renewable-electricity/wind-energy/cost-effective-windturbines-sea/10-20-mw-offshore-wind-turbines/>

[Consultato il giorno 2021].



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica – Analisi della producibilità del sito

Codice documento:

C0421BR09RELPRO00b

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

28 di 28

Il presente documento, composto da n. 34 fogli 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.

Taranto, Marzo 2023

Dott. Ing. Luigi Severini